SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



Tomo I

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO 2014

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO 2014

Dirección General de Servicios Técnicos



Lic. Gerardo Ruiz Esparza
Secretario

Mtro. Raúl Murrieta Cummings
Subsecretario de Infraestructura

Ing. Clemente Poon Hung
Director General de Servicios Técnicos

Secretaria de Comunicaciones y Trasportes

Subsecretaria de Infraestructura

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán No. 1895
Col. Acacias
Delegación Benito Juárez
03240 México D.F

Derechos Reservados
Prohibida su reproducción total o parcial

ISBN 978-607-96936-3-3

Primera Edición

AGRADECIMIENTOS

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes agradece al Comité de Conservación de Carreteras de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., por su participación en la elaboración y revisión de esta Guía

Índice General

Tomo I

1. Presentación

2. Generalidades de la Conservación
   - *2.1 Antecedentes*
   - *2.2 Sistemas de Gestión*

3. Auscultación, Estudios, Proyectos y Dictámenes
   - *3.1 Pavimentos*
   - *3.2 Drenaje y Subdrenaje*
   - *3.3 Taludes*
   - *3.4 Puentes (Inspección)*

4. Clasificación de la Conservación de Carreteras

5. Técnicas Tradicionales para la Conservación
   - *5.1 Pavimentos*
   - *5.2 Drenaje y Subdrenaje*
   - *5.3 Estabilidad de Taludes*
   - *5.4 Puentes*
   - *5.5 Señalamiento*
   - *5.6 Seguridad Vial*
   - *5.7 Derecho de Vía*
   - *5.8 Impacto Ambiental*

6. Innovaciones Tecnológicas en Pavimentos
   - *6.1 Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño*
   - *6.2 Mezcla Asfáltica Tipo SMA*
   - *6.3 Mezcla Asfáltica Tipo CASAA*
   - *6.4 Mezcla Asfáltica de Granulometría Abierta (Open Graded)*
   - *6.5 Riego de Sello Sincronizado y con Fibras*
   - *6.6 Slurry Seal y Microaglomerado*
   - *6.7 Reciclado en Caliente de Carpeta Asfáltica en el Lugar*
   - *6.8 Recuperación en Frío con Emulsión Asfáltica*
   - *6.9 Recuperación de Capas con Espuma Asfáltica*
   - *6.10 Recuperación de Capas con Cemento Portland*
   - *6.11 Micro-Fracturación (Rubblizing) de Pavimentos de Concreto Hidráulico*
   - *6.12 Experiencias en la Estabilización de Capas de Pavimento con Polímeros*

Tomo II

7. Supervisión, Control y Verificación de Calidad

7.1 Supervisión en la Conservación de Carreteras
7.2 Control y Verificación de Calidad

8. Esquemas de Contratación para la Conservación de Carreteras

9. Atención de Emergencias

10. Acrónimos de Organismos

11. Glosario y Términos Técnicos

12. Apéndices

3. Auscultación, Estudios, Proyectos y Dictámenes
   3.1 Pavimentos
   A 3.1.1 Principales Fallas en Pavimentos y su Origen
   A 3.1.2 Manual del Usuario de la Herramienta de Apoyo para Seleccionar Alternativas Superficiales de Conservación

   3.3 Taludes
   A 3.3.1 Formato Reporte de Auscultación de Taludes (y Ejemplo)

   3.4 Puentes (Inspección)
   A 3.4.1 Ejemplo de Formato Base de Datos de SIPUMEX
   A 3.4.2 Ejemplo de Formato Reporte de Inspección
   A 3.4.3 Ejemplo de Formato Reporte Fotográfico
   A 3.4.4 Ejemplo de Plano de Levantamiento Geométrico (1 de 2)
   A 3.4.4 Ejemplo de Plano de Levantamiento Geométrico (2 de 2)
   A 3.4.5 Ejemplo de Plano de Levantamiento de Daños (1 de 2)
   A 3.4.5 Ejemplo de Plano de Levantamiento de Daños (2 de 2)

4. Clasificación de la Conservación de Carreteras
   A 4.1.1 Aspectos Prácticos en la Conservación de Carreteras a Cargo de la DGCC
   A 4.1.2 Datos de Inversión en Conservación: CAPUFE Y DGCC
   A 4.1.3 Planeación de la Conservación en la DGCC

5. Técnicas Tradicionales para la Conservación
   5.3 Estabilidad de Taludes
   A 5.3.1 Ejemplo Cálculo de Estabilidad de un Talud en Roca
   A 5.3.2 Secuencia de Cálculo para Diseño de Anclas
   A 5.3.3 Normas para Componentes de Anclas

A 5.3.4 Especificaciones de Materiales para Anclas

5.4 Puentes
A 5.4.1 Formato de Programa de Mantenimiento Menor de Puentes
A 5.4.2 Otros Tipos de Juntas de Dilatación para Puentes
A 5.4.3 Otros Tipos de Apoyos para Puentes
A 5.4.4 Tipos de Estribos, de Acuerdo al Reporte SIPUMEX
A 5.4.5 Tipos de Pilas, de Acuerdo al Reporte SIPUMEX
A 5.4.6 Procedimiento Constructivo de Cambio de Apoyos
A 5.4.7 Procedimiento Constructivo para el Tratamiento de Acero de Refuerzo Expuesto y Oxidado
A 5.4.8 Procedimiento para la Aplicación de Pintura en Banquetas, Guarniciones y Parapetos de Concreto
A 5.4.9 Procedimiento para la Aplicación de Pintura en Parapetos Metálicos
A 5.4.10 Procedimiento para Realizar la Reparación de Desconches y Oquedades enTrabes, Losas y Diafragmas
A 5.4.11 Procedimiento para Realizar Reparaciones en la Estructura de Acero de un Puente con Armadura de Paso Inferior
A 5.4.12 Procedimiento para la Reparación de Grietas en la Mampostería
A 5.4.13 Procedimiento para Reparación de Fracturas en Estribos de Concreto Ciclópeo
A 5.4.14 Procedimiento de Reparación de Losa de Protección de un Cono de Derrame
A 5.4.15 Consideraciones de Diseño para Enrocamiento
A 5.4.16 Procedimiento para la Colocación de Losa de Protección de Concreto, así como para la Sustitución de una Losa Dañada
A 5.4.17 Procedimiento Constructivo para el Reforzamiento Incrementando el Número de Trabes y Colocando una Sobrelosa
A 5.4.18 Procedimiento Constructivo para Reforzamiento con Preesfuerzo Externo Longitudinal y Transversal
A 5.4.19 Procedimiento Constructivo para Sustituir Presfuerzo Vertical
A 5.4.20 Procedimiento Constructivo para Recimentación con Pilastrones y Presfuerzo
A 5.4.21 Procedimiento Constructivo para Refuerzo de Pilastrones con Encamisado de Concreto
A 5.4.22 Procedimiento Constructivo para Recimentación con Ampliación de Zapata y Protección Contra Socavación con Enrocamiento

5.5 Señalamiento
A 5.5.1 Características del Señalamiento

5.6 Seguridad Vial
A 5.6.1 Factores que Intervienen en la Seguridad Vial

6. Innovaciones Tecnológicas en Pavimentos
6.1 Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño
A 6.1.1 Ensayes de Calidad para Agregados Pétreos Utilizados en Mezclas Asfálticas de Alto Desempeño
A 6.1.2 Ensayes de Calidad para Cementos Asfalticos Grado Desempeño (PG)

6.7 Reciclado en Caliente de Carpeta Asfáltica en el Lugar
A 6.7.1 Diseño de Morteros Asfálticos

6.9 Recuperación de Capas con Espuma Asfáltica
A 6.9.1 Características del Asfalto Espumado
A 6.9.2 Diseño de la Estabilización con Asfalto Espumado

9. Atención de emergencias
A 9.1.1 Recomendaciones Técnicas Generales
A 9.1.2 Procedimiento para la Instalación de Puentes Tipo Bailey
A 9.1.3 Reglas Generales de Operación del Fondo de Desastres Naturales FONDEN

13. Bibliografía

1. Presentación

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



1. PRESENTACIÓN

México cuenta con una longitud aproximada de 300,000 km de autopistas, carreteras y caminos rurales, por los cuales se trasladan más de cien millones de personas y se transporta el 80% de la carga nacional, en la generación de diversas actividades sociales, culturales, comerciales y económicas, lo cual constituye un factor fundamental y detonante en el desarrollo del país.

Esta importante red de obras viales, requiere de diversas acciones para lograr mantenerla operando con adecuados niveles de servicio y brindar a los usuarios de estas vías un tránsito confortable y seguro.

La aplicación cotidiana y dinámica de las acciones para atender la conservación de autopistas, carreteras y caminos en nuestro país, ha generado una amplia experiencia nacional, con aportaciones técnicas novedosas y la adopción de innovaciones tecnológicas, que deben ser aprovechadas por los ingenieros y técnicos que participan en el Sector del transporte, orientando a los interesados en los aspectos de gestión y operación de las obras viales; propiciando mejores prácticas de trabajo al utilizar adecuadamente los materiales y las técnicas de construcción; así como asegurando la calidad y la durabilidad de las obras en operación.

Aun cuando en las dependencias institucionales y en algunas empresas de reconocida capacidad tecnológica, se dispone del acervo normativo y documental necesario para la aplicación de la experiencia que México tiene en el área de conservación de obras viales, resulta de gran beneficio que el medio profesional y técnico nacional disponga en un sólo documento, de una recopilación ordenada de los procedimientos y técnicas que actualmente se aplican en esta importante área.

Atendiendo esta necesidad, la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, promueve esta "Guía de Procedimientos y Técnicas para la Conservación de Carreteras en México", en la cual se presentan desde las definiciones de conceptos hasta las diversas prácticas de trabajo, que permiten atender actualmente la gestión de la conservación de carreteras.

El propósito de esta Guía es propiciar que los profesionales y técnicos encargados de realizar trabajos de conservación de carreteras, tanto en el sector oficial como en la iniciativa privada, cuenten con un compendio de los procedimientos y técnicas disponibles en nuestro medio, para su mejor comprensión y aplicación.

Importancia de la Conservación de Carreteras

Durante la operación de las carreteras, en ellas inciden diversos factores que afectan su desempeño y paulatinamente van disminuyendo los niveles de servicio para los que fueron proyectadas.

Los factores principales son: el tipo de vehículos y su peso, así como el número de vehículos que transitan una carretera en un periodo determinado, ocasionando deterioros, deformaciones y agrietamientos en la superficie de rodadura; los fenómenos meteorológicos, como la precipitación pluvial, la radiación solar y el viento, que afectan gradualmente la resistencia y durabilidad de las estructuras; el tipo y la calidad de materiales utilizados en la construcción, que normalmente presentan el comportamiento previsto y una durabilidad limitada, conforme a lo proyectado.

Otros factores que también afectan la operación de las carreteras, son la geología y la orografía de las zonas por donde cruzan estas obras, los cuales dan lugar a inestabilidades de los estratos naturales cercanos a las obras viales, originadas principalmente por el flujo o escurrimiento interno del agua, por la disminución de la resistencia de los suelos y eventualmente por los movimientos sísmicos; estas inestabilidades se manifiestan como caídas de materiales sueltos, deslaves y corrimientos de volúmenes de estratos naturales, así como fallas y cortes de circulación.

Por otra parte, los escurrimientos superficiales extraordinarios del agua por el paso eventual de tormentas y huracanes, provocan el rompimiento de terraplenes, fallas de puentes y obstrucciones en las obras de drenaje.

Los deterioros y fallas que se presentan en una carretera se traducen en pérdidas de tiempo en los recorridos previstos del tráfico y pueden originar accidentes con pérdidas humanas y materiales.

Para poder valorar estos aspectos, ha sido conveniente utilizar un indicador denominado “costo de operación” de una carretera, el cual representa la suma total de los gastos que efectúan los usuarios al transitarla, como son el consumo de combustibles, la depreciación de los vehículos, el desgaste de neumáticos, el costo del tiempo de los usuarios, etc.

Es evidente que cuando una carretera presenta deterioros y fallas como las mencionadas, el costo de su operación se incrementa notablemente, ocasionando pérdidas económicas, problemas sociales, molestias y quejas, entre los usuarios.

La Conservación de Carreteras tiene como propósito preservarlas en buenas condiciones de operación, para que los costos de operación se mantengan en niveles aceptables y no se presenten incrementos notables que afecten el tiempo y la economía de los usuarios.

Si se toma en cuenta que las carreteras son el factor principal que propicia el desarrollo social, económico y cultural de los habitantes de México, resulta imprescindible que a estas obras viales se les destinen recursos para asegurar que sus niveles de servicio y de seguridad sean elevados y aceptables, así como tratar de prevenir que los fenómenos naturales no provoquen incrementos considerables en sus costos de operación.

En la Figura 1.1 se presentan las inversiones que ha destinado el Gobierno Federal en los últimos veinte años, para la conservación de las carreteras federales, así como la tendencia que se ha observado en el mejoramiento promedio del estado de la superficie de rodadura, en esta red de carreteras.

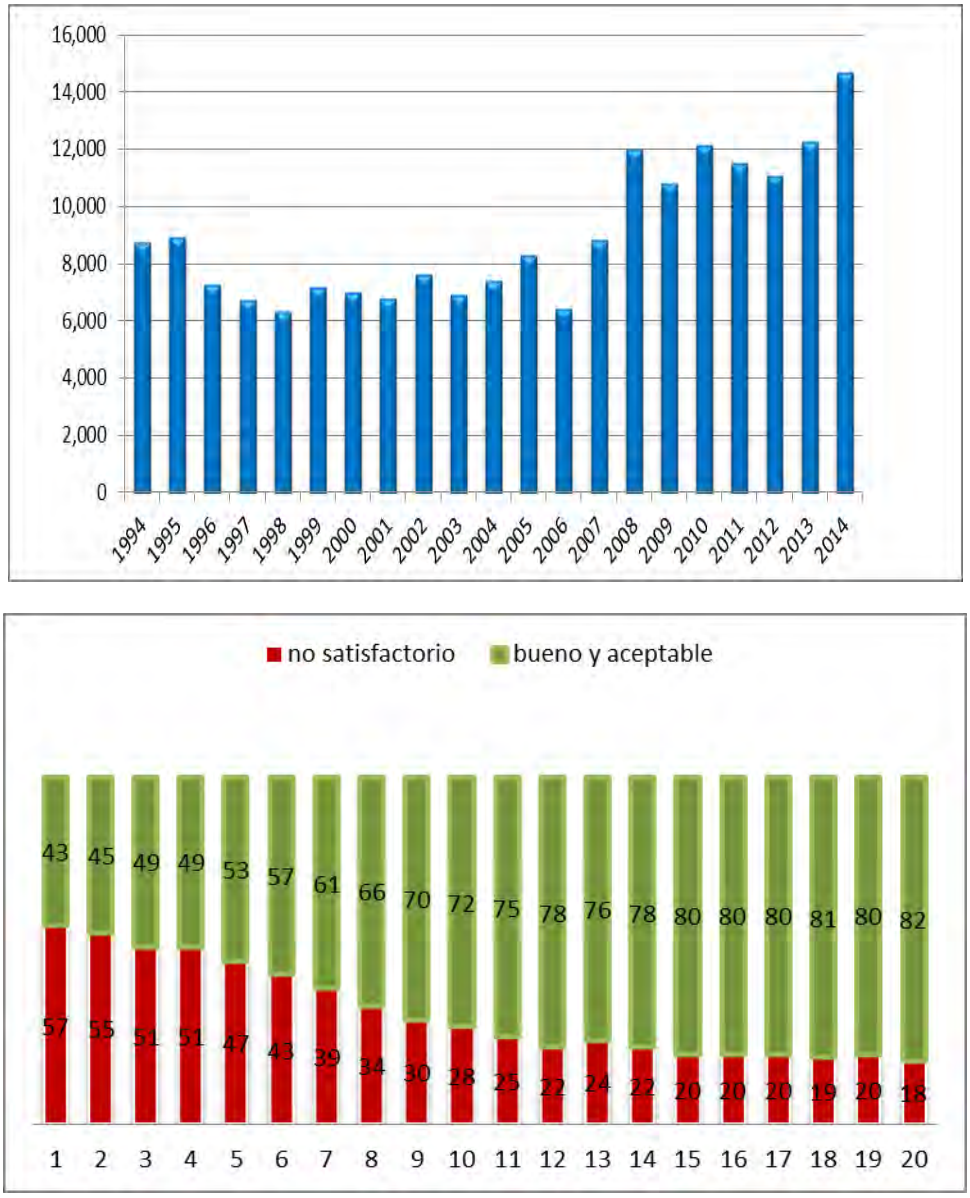


Figura 1.1. Inversiones anuales en millones de pesos para conservación de carreteras y porcentaje del estado de la superficie de rodadura de la Red de Carreteras Federales

De manera similar, los Organismos y Entidades paraestatales, así como los Gobiernos Estatales y Municipales, tienen el compromiso de conservar en buenas condiciones de operación las autopistas, vialidades suburbanas y urbanas, que se encuentran bajo su jurisdicción, y que se mantengan con elevados niveles de servicio, a efecto de brindar a los usuarios de estas vías de comunicación adecuadas condiciones de confort, economía y seguridad.

Sin embargo, la disponibilidad de los recursos que se destinan a la infraestructura carretera, así como las políticas de distribución de los mismos, motivadas quizás por la necesidad de promover una mayor integración territorial, dan como resultado que se orienten con una gran proporción a la construcción y modernización de carreteras y por otra parte, se restrinjan las inversiones para la conservación de carreteras, obligando a retrasar la aplicación de medidas y acciones adecuadas para mantener en buen estado y elevar los niveles de servicio, lo cual implica poner en riesgo la capacidad de operación de la red de carreteras que es vital para el desarrollo nacional.

Objetivos de la Guía

El Objetivo General de esta Guía es presentar los aspectos, criterios, procedimientos, técnicas y prácticas recomendables, que son aplicables en México para atender la programación, los estudios, proyectos, la contratación y la ejecución de la conservación de carreteras, actividades que son necesarias para obtener adecuados niveles de servicio en estas vías de comunicación, buscando el mejor aprovechamiento de los recursos disponibles y asegurando el cumplimiento de las expectativas de confort y seguridad de los usuarios.

Se mencionan a continuación los Objetivos Específicos de esta Guía:

- Presentar de manera objetiva y clara la terminología y conceptos que se emplean en todas las etapas de la conservación, aclarando los sinónimos y términos técnicos que comúnmente causan confusión en su aplicación.
- Comentar los antecedentes e importancia de la gestión de la conservación de carreteras, así como el sistema de gestión actual que se aplica en el medio institucional para la administración de los recursos de inversión y la programación de actividades. Así también, distinguir los tipos de conservación y características de aplicación que una obra vial puede tener para incrementar su vida útil, definiendo los criterios que aplican las diversas dependencias encargadas de esta actividad.
- Plantear las actividades que se realizan en los estudios y proyectos, como son la auscultación de las obras, la definición de condiciones estructurales y de la calidad de materiales existentes, la aplicación de métodos de diseño estructural, el análisis de alternativas de solución, la selección de la opción de mayor costo-beneficio, las especificaciones de calidad y aspectos particulares que se deben incluir en el proyecto.
- Describir las técnicas de conservación que tradicionalmente se han estado aplicando en la conservación de carreteras, para mantener los niveles de servicio en buenas condiciones de operación, desglosando en cada una de estas técnicas: las condiciones de aplicación, ventajas y limitaciones, materiales y equipo empleados, procedimiento constructivo y aspectos de acabado para su aceptación, incluyendo las referencias normativas y bibliográficas para que el interesado pueda consultar con mayor detalle las técnicas presentadas.
- Mostrar las técnicas de conservación de carreteras que contienen innovaciones tecnológicas ya sea en el equipo de aplicación, en los materiales utilizados o en las características de desempeño durante su vida útil, las cuales permiten preservar o reforzar estructuralmente los pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico, describiendo sus condiciones de aplicación, ventajas y desventajas, calidad de materiales utilizados, equipo de aplicación, procedimiento constructivo y especificaciones particulares, así como las referencias normativas y bibliográficas que le permitan al interesado consultar con mayor detalle las técnicas innovadoras presentadas.
- Describir los fundamentos técnicos, atribuciones y responsabilidades de los participantes en las acciones de conservación de carreteras, para asegurar la calidad de las obras y los materiales utilizados, definiendo y caracterizando la supervisión, el control y la verificación de calidad, durante el proceso constructivo, así como los procedimientos de muestreo y determinación de la calidad, las referencias normativas aplicables y los criterios de aceptación y rechazo.
- Plantear los diversos tipos de contratación que se utilizan en México, así como sus características particulares y alcances, las referencias legales y normativas que deben cumplirse.
- Definir los alcances, características y condiciones de trabajo que se aplican antes, durante y después de una contingencia provocada por un fenómeno meteorológico o un accidente que interrumpa o afecte la operación de una carretera, para atender la emergencia con los procedimientos y técnicas disponibles, a fin de restablecer en el menor tiempo posible la operación de la obra vial.
- Complementar los aspectos descritos en las secciones técnicas contenidas en este documento, incluyendo un glosario, apéndices y una bibliografía, a fin de que los interesados dispongan de otros elementos para lograr una mayor comprensión de cada uno de los temas técnicos tratados.

2. Generalidades de la Conservación

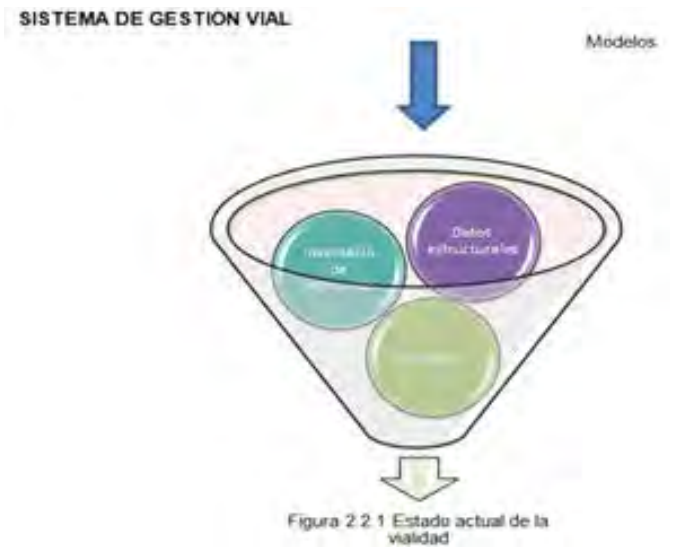


Figura 2.2.1 Estado actual de la vialidad











2. GENERALIDADES DE LA CONSERVACIÓN

2.1 ANTECEDENTES

Para hablar de Conservación es necesario citar diferentes definiciones que han causado confusión e incluso controversia:

Conservación: Preservar una cosa en buen estado o en una situación óptima para evitar su degradación.

Mantenimiento: Acción de mantener a una persona (proporcionarle el alimento o lo necesario para vivir).

Rehabilitación: Conjunto de técnicas y métodos que sirven para recuperar una función.

Reconstrucción: Reparación o nueva construcción de una cosa destruida, deteriorada o dañada.

Para fines prácticos, en adelante utilizaremos el término CONSERVACIÓN, al referirnos a las acciones que se hacen para conservar cualquier elemento del camino en buen estado o en una situación óptima para evitar su degradación.


Angulo S. O. del Palacio Nacional. En el entresuelo que da a la calle de la Corregidora estaban las oficinas de la Secretaría de Relaciones. En el piso bajo se hallaba el Archivo General de la Nación. Este ocupa ahora también el entresuelo (Foto del Siglo XIX)

Figura 2.1.1. Palacio Nacional (siglo XIX)

Breve Cronología de la Conservación en México

La labor de la Conservación de carreteras en México, su evolución e institucionalización no ha sido fácil. Para llegar a lo que actualmente conocemos, han pasado muchos años y diversos cambios en la estructura oficial que tiene a su cargo esta actividad. A manera de resumen y sólo para conocimiento general, se exponen cronológicamente eventos que incidieron a lo largo de la historia, particularmente en la Dependencia normativa en lo que a carreteras se refiere: la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

- A partir de 1574 los caminos que se abrieron en el territorio nacional fueron auspiciados por el sistema de "Consulados", por lo que al finalizar la época colonial, el país contaba ya con una pequeña red carretera y caminos de herradura.

- El 8 de noviembre de 1821 se crea la Secretaría de Estado a la cual se le asigna la responsabilidad de atender las actividades relacionadas con la construcción y reconstrucción de caminos, calzadas y puentes.

  El 23 de febrero de 1861, el Presidente Benito Juárez emite el Decreto sobre la distribución de las Ramas de la Administración Pública, en el que se establece la Secretaría de Fomento, Comunicaciones y Obras Públicas, Figura 2.1.2.



Figura 2.1.2. Territorio Nacional

- El 13 de mayo de 1891 se crea la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas **(SCOP)**, la cual tenía a su cargo la planeación, construcción y conservación de los caminos del país.

- Posteriormente, en 1917 y dentro de la Secretaría, fue constituida la Dirección de Caminos y Puentes a cargo de las funciones de su especialidad.



Figura 2.1.3. Secretaria de Obras Públicas (1960)

- En el año de 1925 se integra como organismo público descentralizado la Comisión Nacional de Caminos, constituida por los Departamentos de Proyectos, Construcción, Cooperación, Puentes, Conservación y Contabilidad.

- En 1960, dependiendo de la Secretaría de Obras Públicas, se crean las Direcciones Generales de Construcción de Carreteras Federales, Carreteras en Cooperación y de Conservación de Carreteras Federales, esta última integrada por los Departamentos de Obra, Técnico y Administrativo, dedicándose a la construcción y conservación de las redes federal y estatal de carreteras, en coordinación con las autoridades locales responsables, Figura 2.1.3.

- Para 1970, la Dirección General de Conservación de Carreteras Federales cambió su denominación a Dirección General de Conservación de Obras Públicas, teniendo a su cargo el mantenimiento de la red nacional de caminos tanto federales como estatales y vecinales. Esta Dirección General estaba integrada por los Departamentos de Obras, Técnico, de Proyectos, de Programación y Presupuesto y de una Oficina Administrativa.

- En 1977 se creó la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (SAHOP) quedando incorporadas la Dirección General de Carreteras Federales, la Dirección General de Carreteras en Cooperación y la Dirección General de Conservación de Carreteras, entre otras.

- La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal del 15 de noviembre de 1982, asignó a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes llevar a cabo la construcción y conservación de caminos y puentes, construir aeropuertos federales, cooperar con los gobiernos estatales y con las autoridades municipales en la construcción de obras de ese mismo género. Figura 2.1.4.



Figura 2.1.4. Carretera Tijuana Ensenada forma parte de la transpeninsular puesta en servicio en 1966

- El 17 de noviembre de 1989, como resultado de los ajustes efectuados en el Sector Público, la Unidad Administrativa responsable de la Conservación cambió su denominación a la Dirección General de Construcción y Conservación de Obra Pública.

- Según el Diario Oficial de la Federación, de fecha 19 de marzo de 1994, se publicó el Reglamento Interior de la Secretaría, en el que se modificó el nombre de esta Unidad Administrativa al de Dirección General de Conservación de Carreteras con iguales funciones.

- En noviembre de 1995, la Coordinación Sectorial de Energía e Industria de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), autorizó la estructura orgánica y ocupacional no básica con vigencia a partir de agosto del mismo año.

- En noviembre de 2007, se autorizó la hoy vigente estructura orgánica, misma que se puede consultar en las páginas oficiales de la SCT.

- Dato importante y digno de mencionar, es que hasta 1989 esta Unidad Administrativa tenía a su cargo la conservación de las carreteras alimentadoras y caminos rurales. Fue en ese año que se le transfirieron todos los recursos materiales, humanos y de equipo inherentes a este rubro al Fideicomiso Comisión Nacional de Caminos Alimentadores (CONACAL). Actualmente, CONACAL se encuentra extinto y las actividades las lleva a cabo la Dirección General de Carreteras Alimentadoras.

Desde luego que otras Dependencias u Organismos tienen su propia evolución en lo que a responsabilidad de la conservación de carreteras se refiere; tal es el caso de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE) o las Juntas Locales de Caminos en cada entidad del país. Sin embargo, para fines prácticos o ilustrativos decidimos concentrarnos en la historia de la Dirección Normativa que en la estructura Orgánica de la Secretaría de estado, es la que ha marcado la pauta en el tema en estudio.

Clasificación de la Conservación de Carreteras

Los pavimentos con el trascurso del tiempo, sufren una serie de fallas o deterioros que al manifestarse en la superficie de rodadura disminuyen su capacidad para proporcionar un tránsito cómodo y seguro al usuario. Estas fallas y deterioros son producidos por la repetición continua de cargas, debidos a las condiciones propias de la estructura del pavimento y de la acción de los agentes climáticos.

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodadura es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo y seguro, será por demás importante el corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción para su arreglo. Por ello, es lógico que una gran parte del esfuerzo en la conservación de carreteras se dedique a estas labores.

El objetivo principal de la Conservación es garantizar el tránsito, la seguridad y el confort de los usuarios del camino durante cualquier época del año.

La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) es la responsable de las actividades propias de este rubro, para lo cual ha subdividido éstas de modo que atiendan, de manera puntual, todas las necesidades pero ajustándose a la disposición de los recursos autorizados en cada ejercicio presupuestal. Figura 2.1.5.

Para preservar el estado físico de la red federal de carreteras libres de peaje, la DGCC desarrolla anualmente los siguientes subprogramas:

- Conservación rutinaria de tramos
- Conservación rutinaria de puentes
- Conservación periódica
- Reconstrucción de tramos
- Reconstrucción de puentes
- Señalamiento
- Atención a puntos de conflicto
- Mantenimiento integral

Conservación Rutinaria de Tramos

En este Subprograma se realizan las labores que tienen como fin conservar en buenas condiciones la superficie de rodadura, las zonas laterales, las obras de drenaje y subdrenaje, el cercado, los cortes, terraplenes y todos los elementos del camino dentro de la franja del derecho de vía.

Los trabajos que se ejecutan son, entre otros:

En la superficie de rodadura: bacheo, relleno de grietas, renivelaciones aisladas, riegos de sello aislados, riegos asfálticos de protección, retiro de obstáculos, rastreos y/o recargues en caminos revestidos o en terracerías.

En las zonas laterales: limpieza de cunetas, desazolve de alcantarillas, deshierbe, retiro o pepena de basura, reparación o reposición del cercado, recargue de taludes, rastreo del derecho de vía, etcétera.

Esta actividad se realiza por Administración Directa o por contrato:

Conservación por Administración Directa

La conservación de carreteras se remonta a varias décadas atrás; inicialmente se hacia la conservación con los propios medios con que contaban las dependencias: mano de obra, equipo y maquinaria, bancos de material propios, asfalto de la paraestatal, oficinas, instalaciones, vehículos autopropulsados, etcétera. A este tipo de modalidad se le llamó Conservación por Administración Directa.



Figura 2.1.5. Elaboración de mezcla asfáltica para los caminos

Conservación por Contrato

A inicios de la década de los 90's se empezó a incursionar en la conservación rutinaria contratada. Con ayuda de empresas particulares se ejecutaban los trabajos de conservación, utilizando al personal de la Dependencia para enseñar a las empresas que incursionaban en esta modalidad, luego incorporando a los viejos camineros jubilados, o los que en su momento fueron incorporándose al programa de retiro voluntario y luego en los albores del año 2000 con la gran mayoría que se liquidó, formando empresas privadas con amplia experiencia. A esta modalidad se le llamó Conservación por Contrato.

Además se han implementado en algunas Dependencias contratos plurianuales o multianuales, de modo que siempre esté atendido este subprograma para garantizar el objetivo principal de la conservación.

Conservación Rutinaria de Puentes

Los trabajos que se realizan principalmente son: limpieza de la superficie de rodadura, de los drenes de la superestructura y de las coronas de las subestructura, reparación y pintura de parapetos, resanes y reparaciones menores en las superestructura y subestructura para atenuar el deterioro de los puentes, dichos trabajos se realizan cada año ya que es el periodo mínimo que requieren para su conservación.

Conservación Periódica

Se denomina conservación periódica a todas las obras de rehabilitación que en forma periódica o eventual son necesarias para que en un camino ofrezca las condiciones adecuadas de servicio.

Las actividades principales que constituyen la conservación periódica son: recuperación de pavimentos, renivelación, tratamientos superficiales, bacheo profundo, reconstrucción de terraplenes, rehabilitación de bases, reconstrucción de carpetas, riegos de sello, restitución de señalamiento horizontal y obras de prevención de derrumbes.

Reconstrucción de Tramos

Esta actividad es la más completa y costosa, ya que rehabilita parcial o totalmente la estructura de los pavimentos, comprendiendo la recuperación de una parte de la estructura, previo tratamiento de estabilización con adición de pétreos, productos asfálticos, cemento Portland u otros aditivos, tratamiento de la capa descubierta, tendido de la parte recuperada y de la carpeta asfáltica, restitución o reparación de obras menores de drenaje dañadas, instalación de sistemas de subdrenaje y otros.

Reconstrucción de Puentes

Se llevan a cabo actividades como el reforzamiento de superestructura y/o subestructura, protecciones contra socavación, recimentaciones, sustituciones de superestructura y adecuación de puentes angostos a los anchos de calzada existentes o para mejorar su capacidad hidráulica; los cuales en cada tipo de trabajo a realizarse tienen un costo diferente por las características geométricas y de materiales propias de cada estructura y del sitio donde se encuentran, con la finalidad de mejorar su parámetro de calidad de no satisfactorio a bueno y adecuando su estado físico a las cargas y condiciones del entorno, de tal manera que garanticen la seguridad y comodidad de los usuarios.

Señalamiento

Se contemplan tanto el señalamiento vertical como el horizontal y dispositivos de seguridad tales como: botones, defensa o barrera metálica, terminales de amortiguamiento de impacto disipadoras de energía, barreras centrales, vallas antideslumbrantes, etcétera. Se ha implementado como un subprograma independiente por la importancia que tiene la Seguridad Vial, máxime que la Organización de las Naciones Unidas declaró éste como el Decenio de la Seguridad, como una meta en todos los países integrantes de la Organización.

Atención de Puntos de Conflicto

Un punto de conflicto es el sitio o tramo carretero donde ocurren 4 accidentes o más por año, en promedio, considerando que las circunstancias generadoras de los accidentes son el entorno, el conductor, el vehículo y el camino, de tal manera que la SCT se ha dado a la tarea de llevar a cabo el Programa Nacional de Atención de Puntos de Conflicto, con la finalidad de reducir los índices de accidentalidad en las carreteras federales libres de peaje, por lo que es necesario realizar trabajos que incrementen la seguridad vial a los usuarios.

Mantenimiento Integral

Los trabajos que se desarrollan son: Reconstrucción de Tramos y Puentes, la Conservación Periódica y la Conservación Rutinaria en tramos y puentes; todos ellos en un sólo rubro “Mantenimiento Integral”, programando los trabajos para tres años, coordinándose la DGCC con los centros SCT en cada entidad federativa, para las acciones técnico-administrativas que de ello deriven.

Además se ha previsto, dentro de los alcances de los trabajos a desarrollar, el concepto de “Servicios de Gestión de Trabajos” (programación, seguimiento, evaluación del programa de obras e inventario general de la red contratada). Adicionalmente se prevé en los alcances, el concepto de “Servicios de Vialidad” en comunicaciones, vigilancia y atención de accidentes e incidentes.

2.2 SISTEMAS DE GESTIÓN

En México son utilizados diferentes tipos de Sistemas de Gestión, aplicados a la Ingeniería Civil; en específico en los trabajos de conservación de carreteras a la red existente. Estos sistemas son aplicados a pavimentos y puentes.

Sistema de Gestión Vial (SGV)

Existen SGV públicos y privados, los cuales se diferencian en los objetivos que busca cada uno de ellos. Los públicos tienen como propósito principal minimizar (inversiones) los costos de operación de la red, y los privados buscan maximizar las utilidades de la administración, lo que no significa una minimización de los costos de operación de la red. El SGV lejos de ser sólo un paquete computacional, debe ser entendido como la visión sistemática de las tareas que desarrolla la agencia, es decir, el SGV es la agencia misma entendida a partir de los flujos de información que se producen en ella.

Para almacenar y actualizar la información requerida y modificada por la planificación, construcción, evaluación, reconstrucción, gestión del tránsito e investigación, el SGV requiere de una base de datos donde, además, se tenga la información respecto a las características presentes en la red. Esto implica conocer tanto el estado físico y capacidad de la infraestructura (inventarios), así como también las características de la demanda (conteo de vehículos). Para la toma de decisiones de largo plazo, el SGV debe contar con modelos que le ayuden a predecir el comportamiento futuro, tanto de la oferta (modelos de deterioro de la carretera), como de la demanda (modelos de generación de viajes, de tasas de crecimiento). Figura 2.2.1.

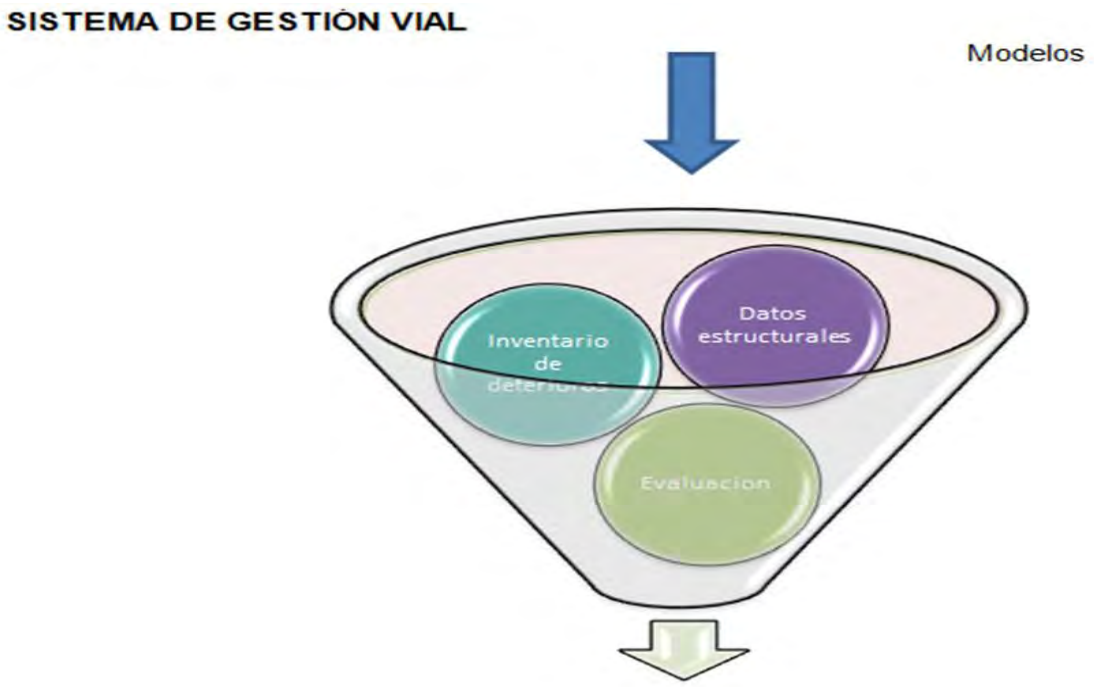


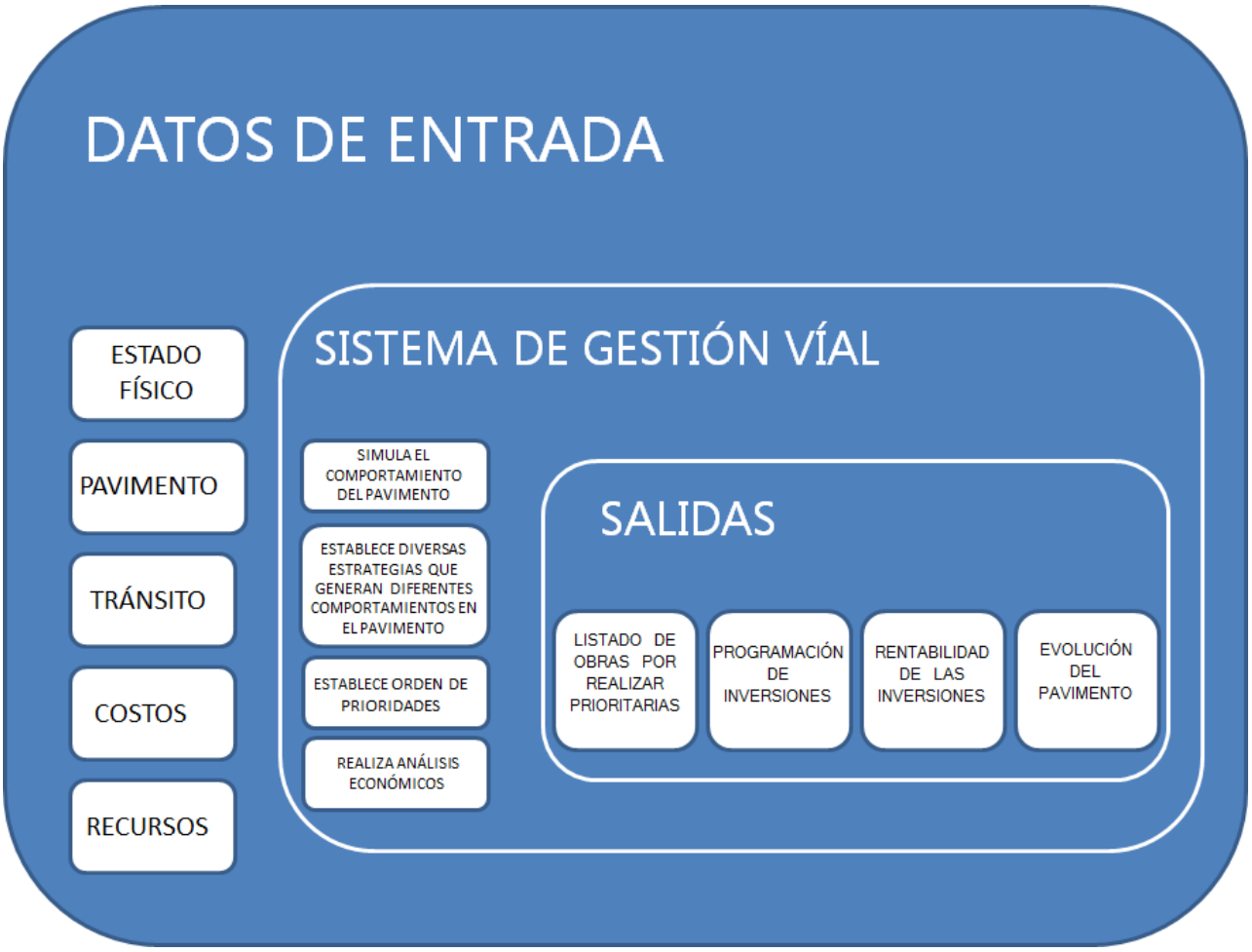
Figura 2.2.1. Estado actual de la vialidad

El principal objetivo de cualquier Sistema de Gestión, es el de optimizar los recursos disponibles, mediante la aplicación de estrategias de conservación, el cual se logra con el cumplimiento de las siguientes premisas:

a) Establecer un marco económico para decidir los niveles óptimos de financiamiento de la conservación y del estado de las carreteras en el conjunto del país, tanto a largo como a corto plazo.

b) Facilitar la preparación de los programas anuales de trabajo y definir los requisitos en materia de recursos y presupuestos. Permitir la racionalización y la optimización del reparto de fondos entre los diferentes trabajos de mantenimiento y las entidades encargadas del mismo, en especial en condiciones de restricción presupuestaria.

c) Permitir el control de la realización de los trabajos y la verificación de su eficacia.



La necesidad de disponer de un modelo de gestión que permita la comparación rápida de estrategias de conservación con una precisión aceptable, facilitando las fases de recopilación y de actualización de datos, se debe plantear de manera oportuna a fin de que los responsables de la definición de las políticas de conservación, cuenten con apoyo para propuestas ante las autoridades superiores, así como sustentar ante los Organismos Financieros o de control, la inversión requerida para una red de carreteras.

Sistema de Gestión en Pavimentos

Etapas de los Sistemas de Gestión de Pavimentos

Debe incluir, además de un software para el proceso y análisis de información, un conjunto de componentes para implementar la gestión de pavimentos como uno de los procesos fundamentales de las organizaciones operadoras de carreteras. Así, todo sistema de gestión de pavimentos debe integrarse a partir de:

Definición de Objetivos. Esta etapa es la base, ya que su buena ejecución significa reducción en tiempo y dinero. Para esto, se deben definir estándares de conservación, de acuerdo a importancia y urgencia de los trabajos.

Recolección de datos. Definen en forma precisa la información documental y de campo que se requiere para la operación del sistema, así como los métodos para obtenerla. La base de todo sistema son los datos con los cuales se modela el comportamiento de infraestructura bajo las condiciones de solicitación proyectadas.

Los datos a recolectar son:

- Estudio de Tránsito
- Estudio de Medio Ambiente
- Capacidad Estructural
- Deflexiones
- IRI
- Rodera

Análisis de datos. El análisis consiste en determinar la condición actual y comportamiento futuro de la infraestructura. Este análisis utiliza diversos indicadores que representan a las distintas secciones del pavimento, entre éstos:

- Número Estructural (SN)
- Índice de Condición de Pavimentos (PCI)

Modulación de Pavimentos. A lo largo de la generación de los Sistemas de Gestión de Pavimentos, se encuentra un sin número de estructuras diferentes, ya sea por características del terreno, diseño estructural, etcétera; se debe lograr una red dividida de sectores homogéneos, cuyo fin es utilizar modelos de deterioros en forma ordenada y eficiente.

Comprenden algoritmos para definir las unidades de análisis del sistema (agrupaciones de tramos o segmentos homogéneos), calcular y agregar indicadores de la capacidad del estado de los pavimentos y estimar su evolución, calcular costos de operación vehicular y otros costos de usuario, así como determinar los beneficios de las inversiones para la conservación en el corto, mediano o largo plazo.

Estas herramientas tienen un doble propósito: diagnosticar la condición actual de los pavimentos e identificar las estrategias para reducir, en el mediano plazo, la brecha entre la condición actual y la deseada.

Toma de Decisión. Son reglas para la toma de decisiones que se formulan en términos de indicadores como nivel de tránsito, capacidad funcional o estructura, condición general del pavimento, costos de operación vehicular, tiempos de recorrido, rentabilidad de las acciones de conservación, entre otros. De acuerdo con el tipo de análisis, la aplicación de estos criterios de decisión puede dar lugar a la selección de una

alternativa de proyecto para un tramo, la integración de un programa preliminar de obras para una red o subred, o la adopción de una política general de largo plazo para una red.

Implementación y Alcances. Son mecanismos para pasar de los programas preliminares a la elaboración de proyectos ejecutivos y supervisión de obras.

El diagrama de la Figura 2.2.2, presenta la estructura de un sistema de gestión de pavimentos basado en los componentes descritos.

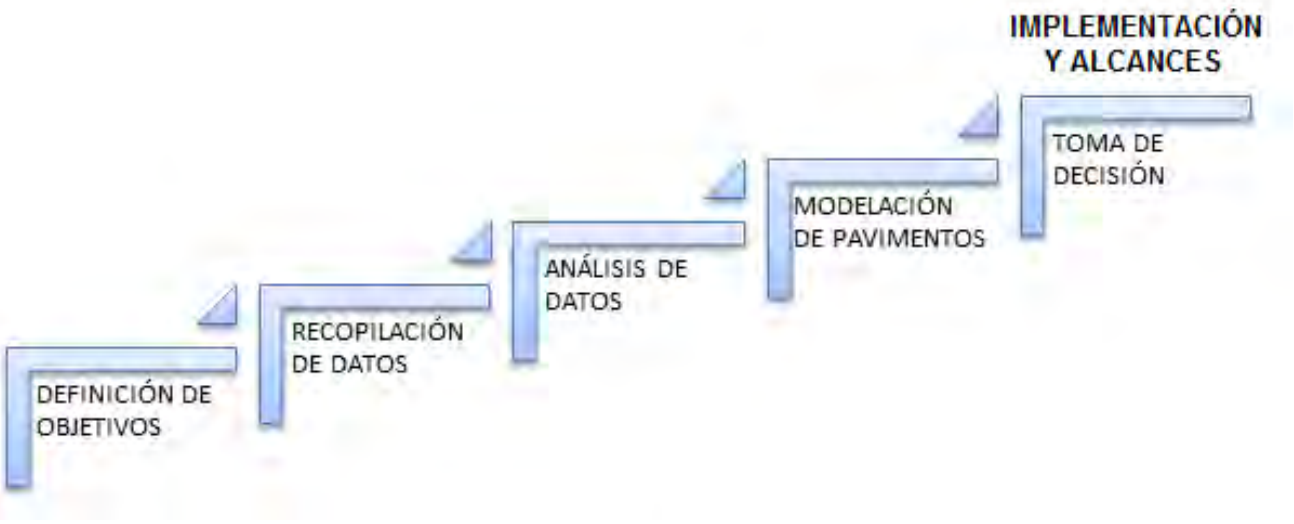


Figura 2.2.2. Diagrama de flujo

Análisis de Sistemas de Gestión de Pavimentos

Respecto a los tipos de análisis o tipos de análisis de los sistemas de gestión de pavimentos modernos, se distinguen los siguientes:

Planeación Estratégica. Involucra el análisis de una red de carreteras con el fin de estimar la inversión para su conservación y desarrollo a largo plazo. Este tipo de planeación resulta de interés para los gobiernos nacionales o regionales y debe formar parte de sus instrumentos generales de planeación.

Planeación Táctica. Se refiere a la formulación de programas de obra anuales o multianuales sujetos a restricciones de presupuesto, a mediano plazo, a partir de un análisis de las necesidades de conservación periódica basado en la evaluación técnica y económica de alternativas de intervención

Evaluación de Proyectos. Constituye una fase de planeación a corto plazo en la cual los trabajos considerados en planeación táctica se retoman para integrar los programas de obra definitivos.

La evaluación de proyectos es de interés para cualquier organización responsable de la operación, conservación y desarrollo de redes de carreteras.

Ciclo de Gestión

Los pavimentos son objeto de deterioro continuo, cuya magnitud depende de las cargas de tránsito y los factores ambientales, de los materiales y procedimientos empleados en construcción y de las estrategias para la conservación.

Por ello, es necesario revisarlos en forma periódica, para evitar que su condición caiga por debajo de niveles admisibles. Lo anterior confiere a la aplicación de los sistemas de gestión de pavimentos un carácter cíclico, que da lugar a lo que se conoce como "ciclo de gestión", el cual se refiere a la aplicación reiterada de los componentes del sistema.

Las acciones de conservación también provocan cambios; al respecto, la aplicación cíclica de los sistemas de gestión de pavimentos permite verificar de manera permanente el logro de los resultados esperados, Figura 2.2.3.

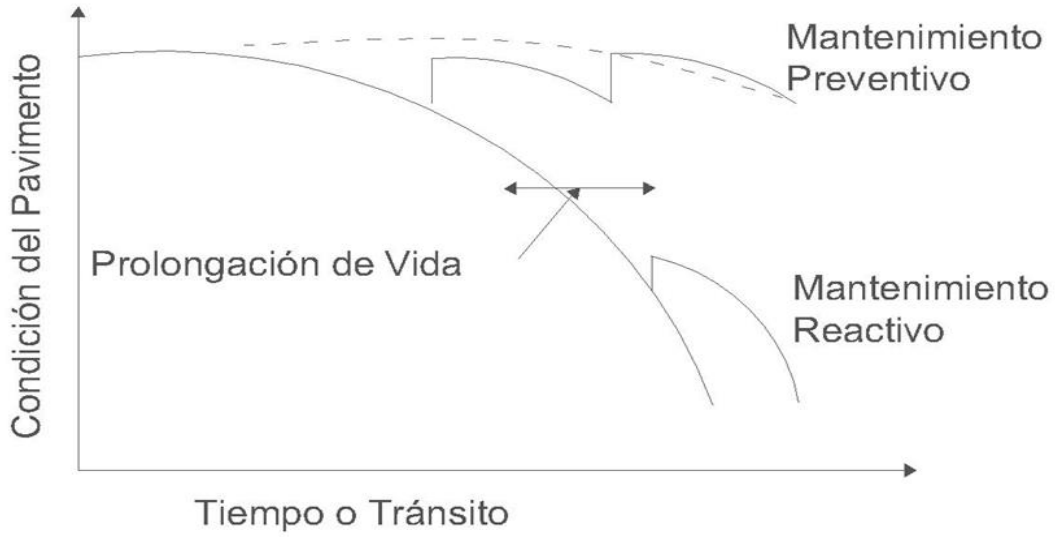


Figura 2.2.3

Modelo de Gestión HDM-4

El Modelo HDM-4 es una herramienta diseñada para apoyar la toma de decisiones relacionadas con la gestión de la conservación y rehabilitación de pavimentos de redes viales, principalmente en aplicaciones dirigidas a la planeación estratégica y a la programación táctica de actividades de intervención. También pueden ser empleados en la estimación futura del deterioro de pavimentos sujetos a determinado nivel de solicitación, aprovechando los modelos de deterioro con los cuales cuenta.

A pesar de que la herramienta en sí es un *software*, hay que considerar que su adecuada utilización debe darse en el marco de un sistema de gestión; el HDM-4 es tan sólo un componente de ese sistema, no el sistema en sí mismo, como se ha asumido erróneamente. Tampoco se debe llegar al extremo de reducir su potencialidad pensando que sólo es un programa computacional, porque en este caso (muchas veces por desconocimiento) no se aplicaría de manera correcta o se desaprovecharía su real dimensión.

El HDM-4 realiza las siguientes funciones:

- Predecir la evolución futura del estado de los pavimentos.
- Calcular costos de operación vehicular y otros costos de usuario.
- Realizar análisis costo-beneficio para un conjunto de alternativas, considerando los flujos de gasto corriente e inversión y los ahorros en costos de usuario de cada alternativa.

- Evaluar estrategias de largo plazo. En ausencia de restricciones presupuestales, HDM-4 identifica la estrategia más recomendable con la base en indicadores de rentabilidad económica.
- Obtener un programa preliminar de obra para una red o subred representada como un conjunto de segmentos homogéneos. Para este tipo de análisis, HDM-4 compara en términos económicos un conjunto de alternativas definidas por el usuario para cada tramo y, si no existen restricciones presupuestales, integra el programa con base en las alternativas con una mejor relación costo-beneficio.

- Evaluar proyectos de conservación a partir del análisis costo-beneficio de un conjunto de segmentos homogéneos definidos por el usuario.

Si bien las funciones anteriores pueden considerarse una implementación muy completa de las funciones de los sistemas de gestión de pavimentos, también puede apreciarse que sólo comprende las herramientas de análisis, de manera que el uso de HDM-4 como apoyo a las actividades de gestión de pavimentos de una organización, requiere la integración por separado del resto de los componentes. Ello explica que, en general, las iniciativas basadas en asumir que HDM-4 es un sistema de gestión de pavimentos no regresen más allá de la adquisición del software y la ejecución de unas pocas corridas.

Consideraciones Relevantes de la Aplicación del HDM-4

El solo hecho de iniciar un proceso de implementación del HDM-4 es en sí mismo un beneficio para las organizaciones, dado que, para cumplir con esta meta, se deben cubrir ciertos requerimientos y tener en cuenta ciertas consideraciones que muchas veces no serían materia de análisis ni prioridad; por ello, sentar las bases para una aplicación del software debe ser visto más como una oportunidad que como un problema.

También vale la pena destacar que, como consecuencia del primer "boom" de interés por los temas y la utilización de la herramienta HDM-4, algunas instituciones y organismos consideraron pertinente llevar a cabo programas de formación y capacitación de usuarios en un marco más formal y responsable. Dentro de los aspectos que merecían una crítica mayor, después de varios años y experiencias de aplicación en distintos países, se tiene una aplicación limitada en la implementación y el uso de una herramienta como el HDM-4, sino en los conceptos de gestión. Hoy, muchos ven la gestión vial como un gasto, no como una inversión y una oportunidad para largo plazo.

Una situación frecuente, que fue observada en varios países, tiene que ver con el uso puntual y aislado del HDM-4 simplemente para cumplir requerimientos particulares de evaluación de carteras de proyectos o iniciativas de inversión por exigencias de entidades como el Banco Mundial o el BID, o de los mismos entes nacionales gubernamentales y de control. Después de cumplir este requisito, es importante que se aproveche para realizar proyecciones o para tomarlo como antecedente en futuros procesos similares de evaluación y estructuración de programas de inversión en proyectos viales.

En síntesis, con base en una visión objetiva de las experiencias conocidas, se incluye que los éxitos o fracasos observados en la implementación del HDM-4 en algunos países de América Latina no son debidos a la herramienta en sí, sino a lo adecuada que haya sido su aplicación.

Sistema de Gestión en Puentes (SIPUMEX)

Es un sistema que cuenta con una base de datos en la que se tiene el inventario de todos los puentes de la red carretera federal libre de peaje, con sus características geométricas y estructurales básicas, su estado físico y los datos de tránsito de los vehículos que soportan.

Por medio de este sistema se han elaborado los programas anuales de reconstrucción de puentes desde 1994 hasta la fecha.

Antes de 1980, México no disponía de un procedimiento para llevar a cabo sistemáticamente el mantenimiento de puentes de la red carretera federal. En 1981, las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- No se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales.
- Se desconocía del número de puentes existentes en la red.

- No se contaba con un sistema que permitiese llevar a cabo, de manera ordenada y metódica, el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior, se procedió a levantar un inventario nacional de puentes en el que se determinó que la red federal de carreteras contaba entonces con 4,500 puentes.

Entre 1992 y 1994 se llevó a cabo la implementación del SIPUMEX. Las autoridades de la SCT iniciaron previamente una investigación en todo el mundo para saber si se contaba con un sistema para tal fin y si había la posibilidad de implementarlo en nuestro país.

El sistema de Puentes de México (SIPUMEX) es parte esencial de la SCT para dar mantenimiento a los puentes de la red federal de carreteras libres de peaje. El sistema contiene un inventario detallado de todos los puentes que están a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC), el cual en 2014 dio un total de 8,493.

Los objetivos del SIPUMEX son:

- Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.

- Asegurar que el mantenimiento de los puentes de la red federal se lleve a cabo de manera óptima.

Escala de Calificaciones:

0. Estructuras recientes construidas o reparadas, sin problemas.

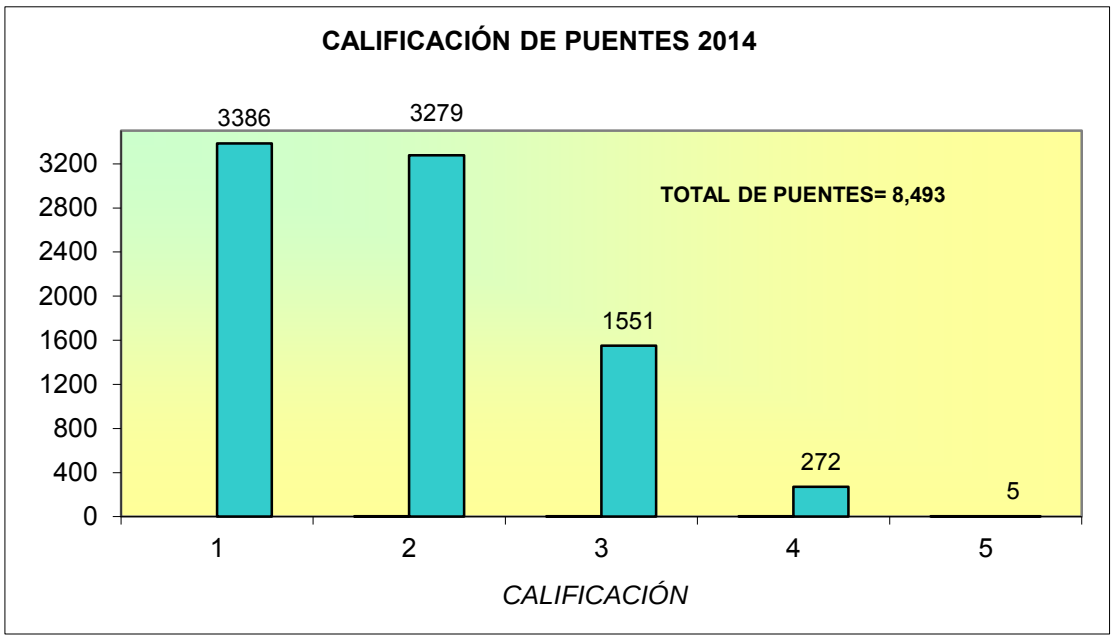
1. Puentes en buen estado. No requieren atención.

2. Estructuras con problemas menores, plazo de atención indefinido.

3. Daño significativo, reparación necesaria en un plazo de 4 a 6 años.

4. Daños importantes, reparación necesaria en un plazo de 2 a 4 años.

5. Daño extremo, requiere atención en un plazo no mayor a 2 años.



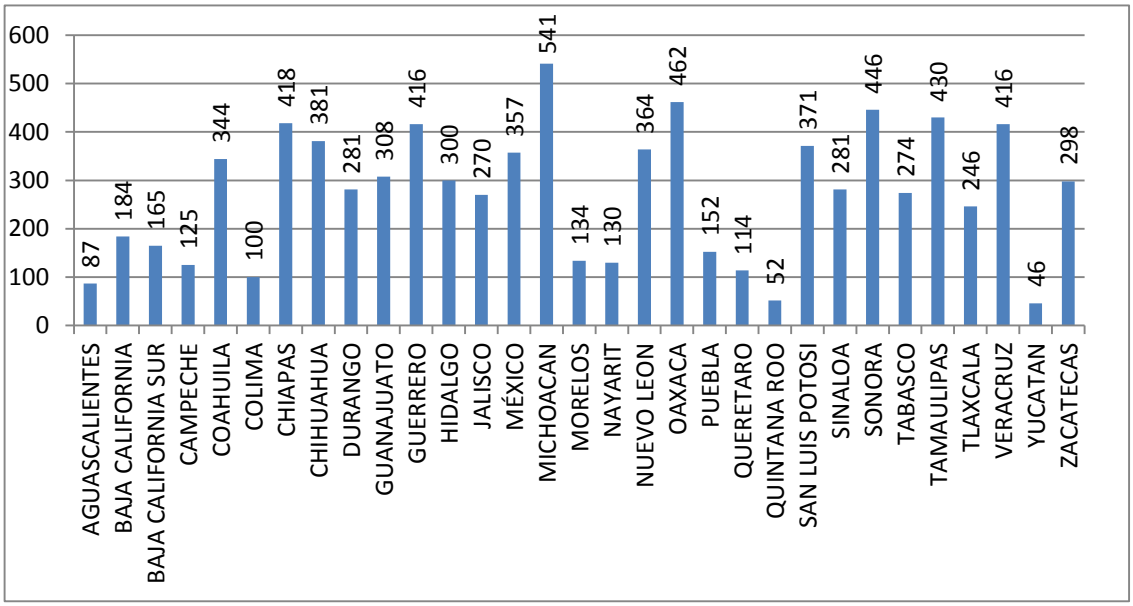


Figura 2.2.4. Puentes 2014 = 8,493

Estructura del SIPUMEX

El SIPUMEX está formado por varios módulos que contiene información importante de cada uno de los puentes, la cual servirá para lograr los objetivos del sistema.

Inventario. Se caracteriza por una serie de información administrativa, estructural, geométrica y técnica. La acción de recopilación, registro, almacenamiento y aplicación de la información es llamada actividad de inventario y tiene por objeto dar a la autoridad administradora una información básica general de cada uno de los puentes.

La información utilizada en el inventario tiene que ser recopilada en el sitio puente; para ello se utilizan las formas de registro creadas con este fin. Los campos de las formas corresponden con los campos de información en las pantallas del sistema.

Inspección Principal. Es una inspección visual de las estructuras para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. Los datos que se obtienen consideran la entidad federativa en que se ubica la estructura, la carretera, el kilometraje, el tramo, el año de construcción, el tipo de superestructura, los materiales de que está construida, el tránsito diario promedio anual, su clasificación, etcétera. También se asignan calificaciones a los 14 elementos principales que constituyen el puente, con escala de 0 a 5: (“0”) se da en una estructura que no presenta daños en ninguno de sus elementos; (“5”) se da cuando requiere atención inmediata.

Jerarquización. Se establecen las prioridades para los trabajos de reforzamiento o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las inspecciones principales, con base en las condiciones de los puentes, la capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el tránsito diario promedio anual.

Inspecciones Especiales. Son inspecciones detalladas, con el uso de equipo especial, para determinar los daños y sus causas, así como programar los proyectos de rehabilitación.

Catálogo de Conceptos (Libro de Costos). Elaboración de un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.

Mapa de Puentes. Sistema para localizar los puentes de la red en mapas.

Diseño de Reparación de Puentes. Preparación de un manual de diseño de reparaciones con base en las inspecciones especiales.

Análisis Costo-Beneficio. Se realiza en función de alternativas de reparación, costos de operación, desviaciones del tránsito y costos de reparación.

Inspecciones Rutinarias. Son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad diaria del tránsito.

Mantenimiento Menor y Limpieza. Es la ejecución de trabajos menores como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes, reparación de parapetos, etcétera.

Evaluación de la Capacidad de Carga. Es un análisis de la capacidad de carga para satisfacer los requerimientos que le impone el paso de los vehículos.

Rutas para transporte pesado. Se trata de establecer rutas para vehículos pesados especiales, de modo que no provoquen daños a los puentes.

Fotografías. Establecimiento de una base de datos que contenga fotografías de los puentes, tomadas durante las inspecciones principales.

Sistema de Archivo. Maneja todo el material de archivo del SIPUMEX.

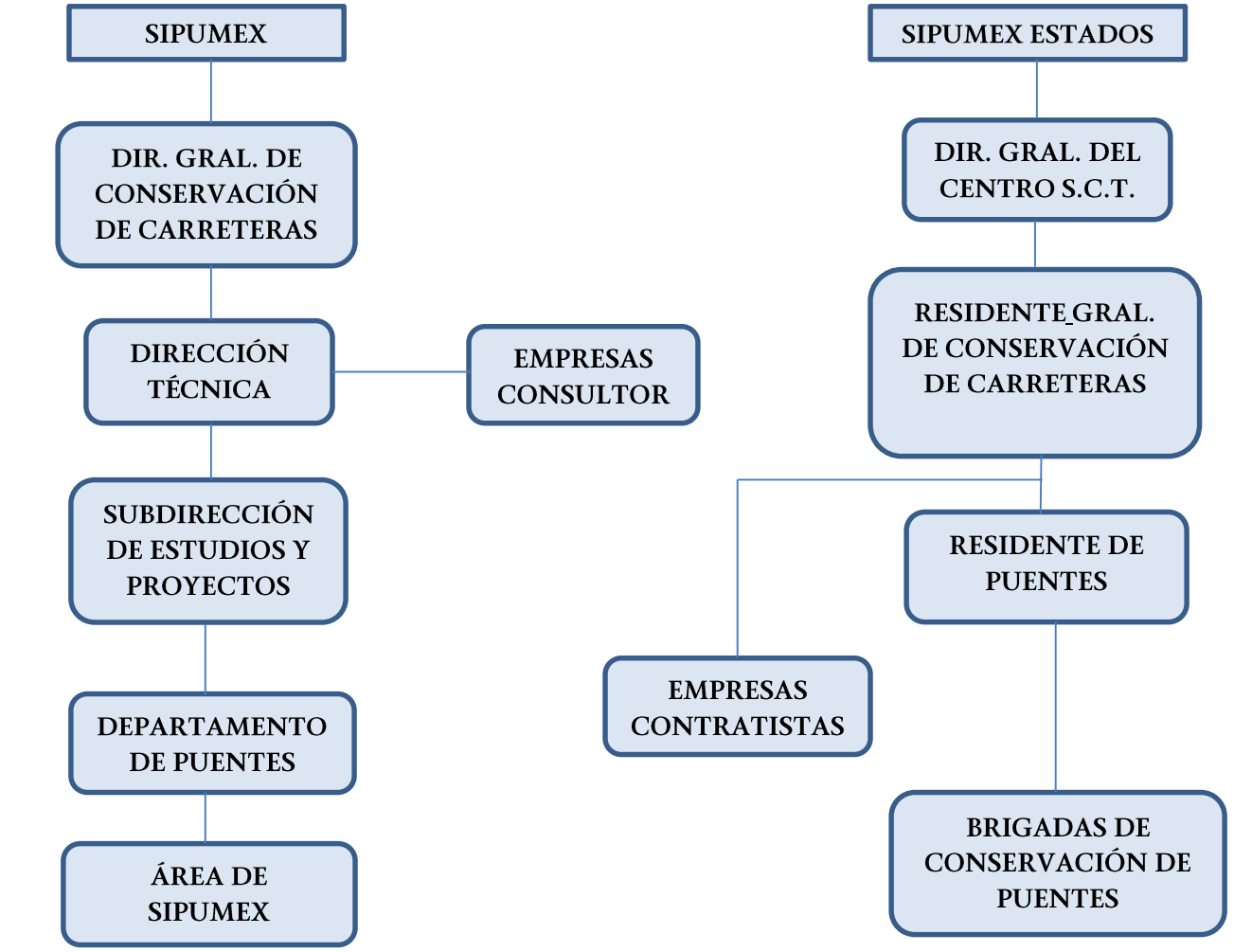
Diseño y Especificaciones para Puentes Nuevos. Incluye el ajuste a las normas de diseño existentes, con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.

Presupuesto y Control de Avance. Elaboración de presupuestos y control de los avances de los trabajos.

Supervisión de Obra. Introducción de nuevos procedimientos de supervisión de obras, incluyendo manuales.

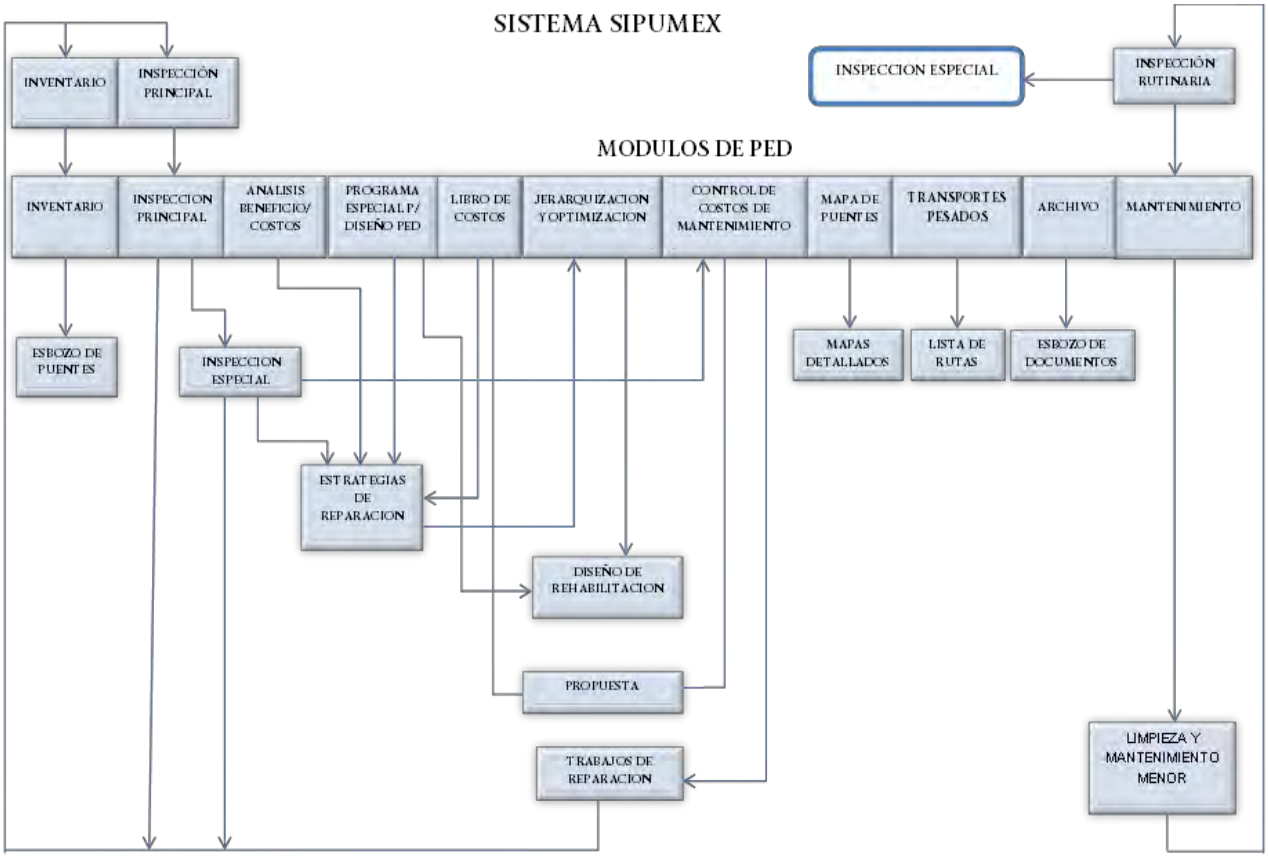
Juntas Asfálticas para Puentes de Concreto. Procedimiento de diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes.

ORGANIZACIÓN Y OPERACIÓN DEL SIPUMEX

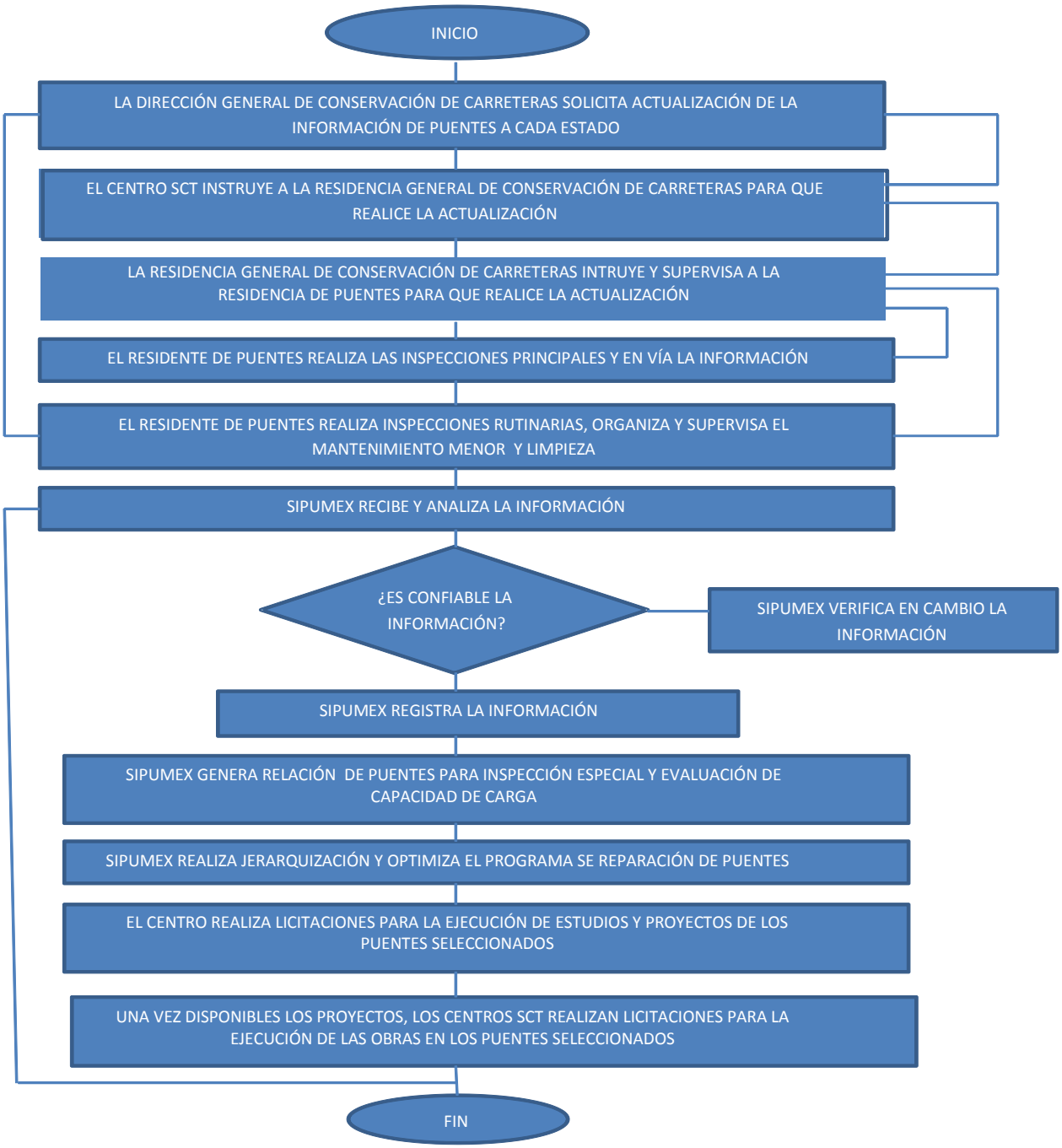


ACTIVIDADES: ALIMENTACIÓN, Y ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN GLOBAL DE LOS PUENTES PERTENECIENTES A LA RED CARRETERA FEDERAL DE TODOS LOS ESTADOS. MANEJO DE LA INFORMACIÓN, SELECCIÓN Y PLANEACIÓN DE LOS ESTUDIOS Y PROYECTOS Y OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN.

ACTIVIDADES: ALIMENTACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN PROPIA DE LOS PUENTES PERTENENCIENTES A LA RED CARRETERA FEDERAL EN CADA ESTADO. LICITACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS Y OBRAS DE RECONSTRUCCIÓN


SISTEMA SIPUMEX
INVENTARIO
INSPECCIÓN PRINCIPAL
INSPECCION ESPECIAL
INSPECCIÓN RUTINARIA
MODULOS DE PED
INVENTARIO
INSPECCION PRINCIPAL
ANALISIS BENEFICIO/ COSTOS
PROGRAMA ESPECIAL P/ DISEÑO PED
LIBRO DE COSTOS
JERARQUIZACION Y OPTIMIZACION
CONTROL DE COSTOS DE MANTENIMIENTO
MAPA DE PUENTES
TRANSPORTES PESADOS
ARCHIVO
MANTENIMIENTO
ESBOZO DE PUENTES
INSPECCION ESPECIAL
MAPAS DETALLADOS
LISTA DE RUTAS
ESBOZO DE DOCUMENTOS
ESTRATEGIAS DE REPARACION
DISEÑO DE REHABILITACION
PROPUESTA
TRABAJOS DE REPARACION
LIMPIEZA Y MANTENIMIENTO MENOR

FLUJO DE ACTIVIDADES DE SIPUMEX



Resultados de la Aplicación del SIPUMEX

Mediante el SIPUMEX, la DGCC ha elaborado los programas anuales de reconstrucción de puentes desde 1994 hasta la fecha. En total, se han atendido 1,737 de estas estructuras, con lo que se ha podido garantizar su estabilidad estructural y, por ende, la seguridad de los usuarios de la red carretera federal libre de peaje.

A 2014, el sistema carretero federal consta, como se dijo, de 8,493 puentes, los cuales están divididos de acuerdo con el tipo de carretera federal a la que pertenecen: red básica, red secundaria y corredor. La Figura 2.2.4 muestra la cantidad de puentes adscritos a cada una de las redes en que se dividen las carreteras federales.

A su vez, los puentes están subdivididos según la entidad federativa de la que forman parte. Su gestión y administración están reguladas por DGCC.

Como puede observarse en la Figura 2.2.4 el estado con mayor número de puentes es Michoacán le siguen Oaxaca, Sonora, Veracruz, Chiapas, Tamaulipas y Guerrero, todos ellos con un número superior a los 400 en su inventario. Esta gran cantidad representa la accidentalidad de su orografía.

Por otro lado, los estados con el menor número de puentes son Yucatán, Quinta Roo, Campeche, Aguascalientes, Colima, Querétaro y Tabasco; los primeros tres y Tabasco deben su pequeña cantidad también a la orografía, no a su desarrollo carretero.

La Figura 2.2.4 muestra los diferentes tipos de sistemas constructivos presentes en la superestructura del total de puentes del inventario de SIPUMEX de 2014.

Puede observarse que la gran mayoría de los puentes de la red federal de carreteras libres de peaje posee una superestructura de concreto reforzado (61% del total). El siguiente sistema estructural más utilizado es el concreto presforzado, con un 24% del total; le siguen por mucha diferencia el concreto y el acero, con un 8%.

El sistema cuenta con una base de datos en la que se tiene el inventario de todos los puentes de la red carretera federal libre de peaje, con sus características geométricas y estructurales básicas, su estado físico y los datos de tránsito de los vehículos que soportan.

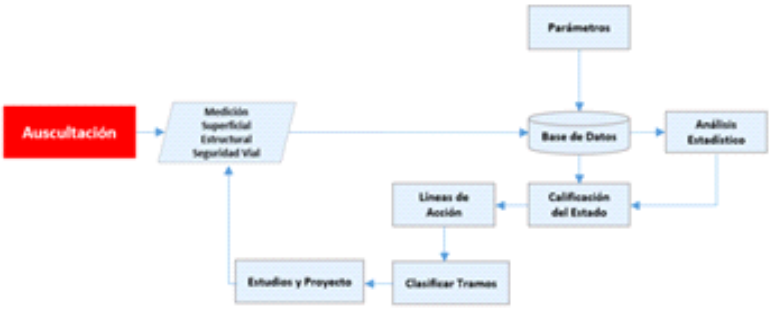
Personal de los Centros SCT realiza anualmente las inspecciones visuales de los puentes que lo ameriten según una previa programación, y se actualiza la base de datos central localizada en la DGCC. Cuando se presentan situaciones como emergencias hidrometereológicas o sísmicas, los puentes son inspeccionados nuevamente.

El estado físico de los puentes se denota con una calificación que va de “cero” (puentes que no requieren atención) a “cinco” (condición crítica de los puentes que requieren atención en el año en curso o en el siguiente).

Utilizando como parámetros la calificación de los puentes y el tránsito diario promedio anual de vehículos, se obtiene un listado preliminar de puentes a reconstruir en orden de prioridad. Este listado da origen al programa de estudios y proyectos de puentes del año en que se realiza la jerarquización y al programa de obras de reconstrucción de puentes del año siguiente, en función de los recursos autorizados.

3. Auscultación, Estudios, Proyectos y Dictámenes







3. AUSCULTACIÓN, ESTUDIOS, PROYECTOS Y DICTÁMENES

Introducción

Se mencionan a continuación las etapas de atención para atender la conservación de las carreteras, y también se describen los aspectos relevantes que muestran la importancia de su ejecución.

- Auscultación
- Evaluación
- Estudios y Proyectos

Estas etapas forman parte de un ciclo de acciones que es necesario aplicar en las carreteras en operación, para atender adecuadamente su conservación, conforme se muestra para mayor objetividad en la Figura 3.1.



Figura 3.1. Ciclo de etapas para atender la conservación de carreteras

La auscultación de una red de carreteras en operación tiene como objetivo fundamental medir sus condiciones de servicio actuales (en términos del estado de conservación), de los elementos siguientes:

- Pavimento
- Seguridad vial
- Obras de drenaje

- Derecho de vía
- Señalamiento
- Cortes y taludes
- Estructuras

Al respecto, gran parte de la red carretera del país tiene una antigüedad de más de cincuenta años, a lo largo de los cuales el autotransporte ha estado sometido a innovaciones tecnológicas, de manera que las características de un gran número de carreteras han dejado de responder a los requerimiento del transporte que circula por ellas, de 35 a 80 toneladas de peso bruto vehicular y de 6 a 9 ejes.

Por otra parte, el vehículo de proyecto de mayor longitud pasó de 15 a 31 metros, esto sin contar la multiplicación del parque vehicular. Esta situación explica el deterioro de la red y a su vez las necesidades de mantenimiento, rehabilitación y de modernización.

Para determinar las acciones de mantenimiento es necesario auscultar la red de carreteras para conocer sus condiciones actuales. Debido a sus características y a la gran cantidad de datos por recolectar y analizar, es necesario utilizar equipos de alto rendimiento para asegurar que se ausculte de manera eficiente, en el menor tiempo posible y se cuente con datos vigentes.

Por la longitud de la red, el equipo de alto rendimiento asegura que la medición de los tramos ocurra en un periodo menor que el que se genera con métodos tradicionales y por tanto que todas carreteras cuenten con información vigente respecto de los parámetros medidos.

Los datos obtenidos durante la auscultación sirven para calificar y evaluar las características de la red en términos de sus condiciones superficiales, estructurales y de seguridad vial. En la Figura 3.2 se muestra el procedimiento de auscultación y en la Figura 3.3 las principales acciones que integran el proceso de evaluación de los tramos carreteros.

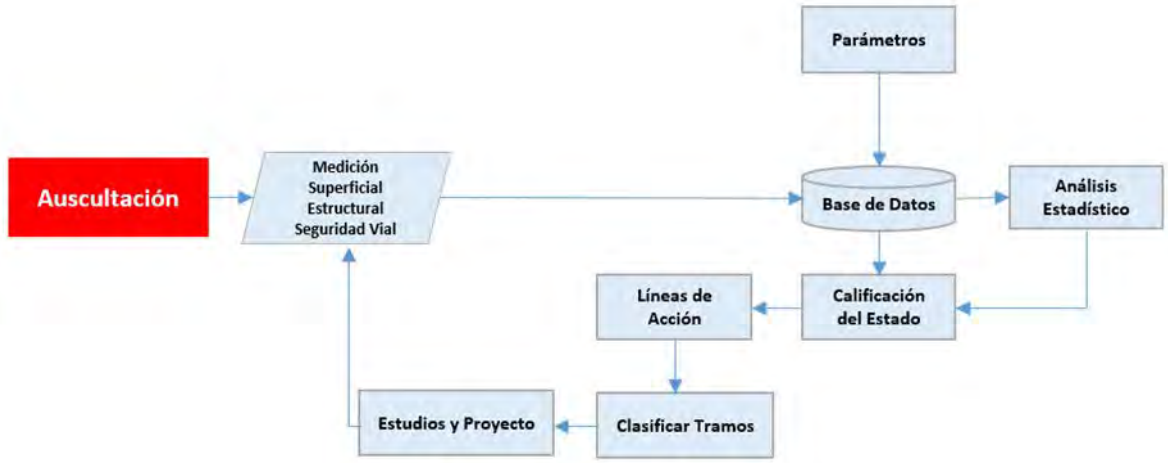


Figura 3.2. Procedimiento para auscultar una red de carreteras

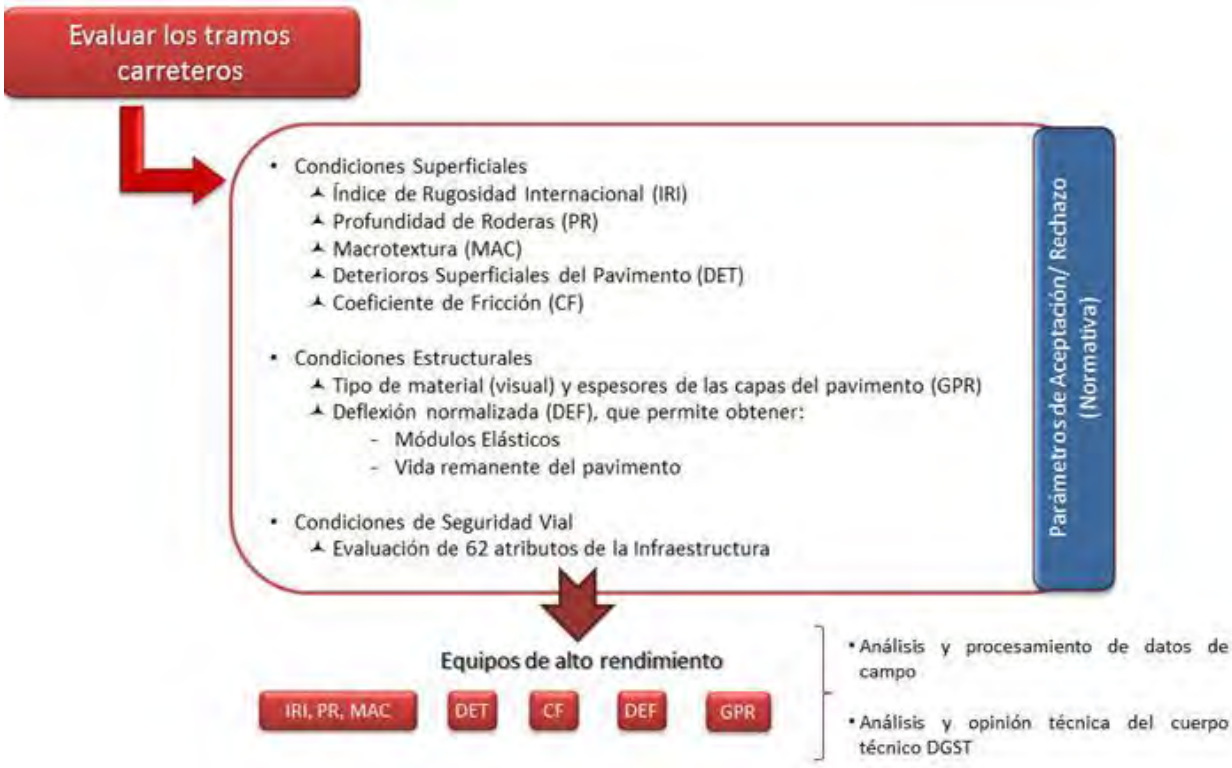


Figura 3.3. Acciones para evaluar tramos específicos de carreteras

Los resultados de la evaluación permiten conocer el estado físico de cada tramo y clasificarlos, determinando sus niveles de atención. Con base en esto, las áreas responsables pueden determinar las acciones de conservación de la red, previa la formulación de los estudios y proyectos ejecutivos correspondientes de cada tramo ó subtramo, para asegurar condiciones óptimas de funcionamiento en cuanto a servicio y seguridad para los usuarios, como se indica en la Figura 3.4.



Figura 3.4. Formulación de estudios y proyectos

Dependiendo de los resultados de la evaluación, se seleccionan las acciones de conservación, de acuerdo a su clasificación, rutinaria, periódica o reconstrucción, así como los procedimientos (no técnicas) que deben utilizarse. Por ejemplo, en el caso de pavimentos, el mejoramiento superficial, la rehabilitación o la reconstrucción.

Dependiendo del tipo de conservación y del procedimiento que se emplee, se deberán realizar los estudios y proyectos correspondientes. Los datos obtenidos mediante la auscultación también son utilizados para la evaluación de alternativas y optimizaciones de proyecto, con el fin de obtener la mejor relación de costo-beneficio previo a su construcción.

En la siguiente campaña de auscultación se medirán las condiciones de la red después de las acciones de conservación o modernización, a fin de continuar con el ciclo de medición, evaluación y conservación de la red.

3.1 PAVIMENTOS

Conforme se indicó en la Introducción, en México se aplican una serie de equipos y procedimientos para definir la conservación de carreteras, detallándose a continuación las etapas que corresponden para definir la conservación de los pavimentos:

Auscultación

La auscultación de pavimentos es aplicable a una red de carreteras a cargo de una Dependencia, para que a través de un sistema de gestión se determinen las inversiones requeridas para conservarla en buen estado de operación, se definan las prioridades de atención y se realice la programación de los trabajos por ejecutar. La auscultación se realiza con equipos de tecnología reciente de alto rendimiento (que funciona a velocidades de operación) para obtener diversa información sobre las condiciones de servicio y estructurales de los pavimentos.

Evaluación

La evaluación de un pavimento se aplica a un tramo específico de una carretera y tiene como objetivo determinar las condiciones de servicio, de capacidad estructural y de calidad de materiales, mediante equipo especializado y diversos procedimientos, a fin de determinar su estado de servicio o de funcionamiento.

Estudios

El análisis de la información obtenida en la evaluación de un pavimento se realiza mediante la aplicación de criterios y métodos de diseño, considerando además otros aspectos como el nivel de tránsito prevaleciente y las condiciones de drenaje y climáticas del lugar, a efecto de revisar su vida remanente y definir diversas opciones de rehabilitación o de reconstrucción, que permitan lograr un nuevo periodo de vida útil, con un mejor nivel de servicio y de seguridad, para finalmente seleccionar la que resulte más conveniente, considerando su costo-beneficio.

Dictamen Técnico

Cuando sólo se requiere mejorar las condiciones de la superficie de rodadura de un tramo específico de una carretera, para resolver fallas de tipo funcional, se formula un Dictamen Técnico, aplicando estudios específicos orientados a confirmar que el origen de las fallas sólo afecta a la superficie de rodadura.

Proyecto

El proyecto es formulado para definir los aspectos particulares y las especificaciones de calidad y acabados, a fin de que pueda llevarse a cabo la ejecución de los trabajos de conservación que fueron seleccionados y aprobados por la Dependencia responsable, como la mejor alternativa para atender la rehabilitación o reconstrucción del pavimento de un tramo carretero.

Situación Actual y Perspectivas

Hasta finales del siglo pasado (año 2000), la evaluación de campo de un pavimento se realizaba utilizando equipo y herramientas tradicionales, y aplicando técnicas y referencias normativas anteriores.

A partir del año 2000 se utilizan equipos con mejor tecnología y mayor eficiencia, que combinadas con la aplicación de una normativa actualizada y de nuevas técnicas de rehabilitación, permiten generar una mayor confianza en los diagnósticos del comportamiento y en las soluciones para la conservación, que se describen en esta sección.

Es importante señalar que un gran porcentaje de la red de carreteras en México fue construida entre las décadas de los setenta y los noventa del siglo pasado, con materiales cuya calidad estaba definida por especificaciones que ahora son obsoletas, lo que da como resultado ante los actuales niveles de tránsito y de camiones pesados que circulan por esta red con muchos años de servicio, que se requiera de grandes inversiones económicas para efectuar su rehabilitación o reconstrucción, utilizando mejores materiales y aplicando nuevas técnicas.

Lo anterior también representa un reto para que en la auscultación y evaluación de la superficie y estructura de los pavimentos, se apliquen procedimientos y técnicas actualizadas, a fin de que las decisiones de rehabilitación estén apoyadas en información suficiente y más confiable.

Adicionalmente conviene mencionar que los países de mayor desarrollo tecnológico están aplicando tecnologías que permiten evaluar a nivel de diseño de mezclas, el desempeño y durabilidad de los materiales, probados bajo niveles de esfuerzos más apegados a las condiciones reales en que trabajarán en las carreteras, lo que les permite asegurar mejores comportamientos y niveles de servicio, con la consecuente disminución de los costos de operación.

Por lo tanto, será necesario continuar aplicando el equipo de auscultación, los procedimientos de evaluación y las técnicas de rehabilitación de pavimentos, que actualmente se disponen en nuestro país, complementando y adoptando tecnologías innovadoras que definan con mayor confiabilidad tanto la capacidad estructural como las acciones de rehabilitación, con el aprovechamiento de los materiales existentes en combinación con otros productos que los mejoren, aplicando diseños que evalúen el desempeño de los materiales bajo las condiciones reales de tránsito y ambientales prevalecientes, lo que permitirá asegurar el nivel de servicio y la durabilidad previstos.

Etapas y Trabajos para la Conservación de Pavimentos

En la Tabla 3.1.1 se presentan las etapas y tipos de solución que se aplican para definir la conservación de pavimentos.

Etapas para evaluar y definir la conservación de pavimentos	Tipo de solución para definir la conservación de pavimentos		
	Mejoramiento superficial	Rehabilitación	Reconstrucción
Auscultación (Para Gestión de Pavimentos)	x	x	x
Evaluación	x	x	x
Estudios	x	x	x
Dictamen Técnico	x		
Proyecto		x	x

Tabla 3.1.1. Etapas y tipo de solución para la conservación de pavimentos

En la Tabla 3.1.2 se muestran los trabajos que son necesarios realizar, relacionándolos también con los tipos de solución que es posible aplicar, para mejorar la operación de carreteras.

Etapa	Trabajo por Ejecutar en el Pavimento que se Evalúa	Tipo de solución para la conservación de un pavimento		
		Mejoramiento Superficial	Rehabilitación	Reconstrucción
Auscultación y Evaluación	Índice de Servicio Actual	x	x	
	Deterioros	x	x	x
	Regularidad Superficial	x	x	
	Capacidad Estructural		x	x
	Estructura, Grados de Compactación y Calidad de Materiales	x	x	x
	Condiciones de Drenaje		x	x
	Levantamiento Topográfico	x	x	x
	Señalamiento Existente			x
Estudio	Análisis del Pavimento Existente	x	x	x
	Delimitación de Tramos Homogéneos	x	x	x
	Análisis del Tránsito		x	x
	Análisis de las Condiciones Ambientales	x	x	x
	Definición de Opciones de Conservación	x	x	x
	Análisis Estructural		x	x
	Análisis de Costos de Alternativas	x	x	x
	Análisis de Costo-Beneficio			x
	Propuesta de la Alternativa Seleccionada	x	x	x
	Hidrología, Drenaje y Subdrenaje		x	x
	Revisión del Alineamiento Vertical y Horizontal			x
Dictamen Técnico	Procedimiento de Ejecución, Especificaciones de Obra, Volúmenes, Catálogo de Conceptos y Presupuesto base Bancos de Materiales	x	x	x
Proyecto	Diseño de Mezclas			x
	Secciones de la Ejecución		x	x
	Procedimiento de Construcción		x	x
	Obras de Drenaje y Subdrenaje		x	x
	Especificaciones Particulares de Obra		x	x
	Plano Tipo de Secciones y Perfiles de la Nueva Rasante			x
	Volúmenes de Materiales por Ejecutar			x
	Señalamientos Vertical y Horizontal			x
	Señalamiento de Protección de Obra		x	x
	Catálogo de Conceptos		x	x
	Presupuesto Base		x	x
	Número de Trabajos por Ejecutar	12	24	30

Tablas 3.1.2. Etapas y trabajos para definir la conservación de pavimentos

Es conveniente mencionar que las Dependencias y Organismos responsables de conservar las obras viales en nuestro país, a través de las licitaciones correspondientes para la evaluación de pavimentos y particularmente en sus Términos de Referencia, especifican el equipo, procedimientos y características de cada uno de los trabajos por ejecutar, pudiendo presentarse algunas diferencias con lo indicado en la Tabla 3.1.2.

Se describen a continuación las aplicaciones típicas de los tres tipos de acción de conservación para pavimentos.

Mejoramiento Superficial

Esta acción de conservación se aplica cuando el pavimento presenta fallas de tipo funcional. Es decir, cuando los deterioros que presente el pavimento sólo afectan a la capa de rodadura y se requiere efectuar algún trabajo superficial para corregir las fallas observadas y mejorar las características de funcionalidad de la carretera.

En este caso, tradicionalmente se ha aplicado una auscultación y un estudio del pavimento con ciertos tipos de trabajo, que permitan definir las acciones por ejecutar mediante la formulación de un dictamen técnico y un análisis de costos.

Rehabilitación

Las acciones de rehabilitación se aplican para corregir fallas de tipo estructural en el pavimento, requiriéndose aumentar la capacidad de soporte para un nuevo periodo de vida útil, mediante el tratamiento de alguna capa existente en el pavimento para mejorar su resistencia y generalmente sustituyendo la capa de rodadura existente con una nueva capa.

Una particularidad de la rehabilitación es que sólo se trata de aumentar la capacidad estructural del pavimento existente y dotarlo de una nueva capa de rodadura para mejorar su funcionalidad superficial.

Para ello se realiza una auscultación del pavimento existente y de sus condiciones de drenaje, una serie de estudios para evaluar su capacidad estructural, su vida remanente y cuando menos tres opciones de rehabilitación, aplicando cuando menos tres métodos de diseño para analizar cada una de las alternativas propuestas. Se selecciona la alternativa más conveniente, con base en un análisis de viabilidad técnica y de costos, y finalmente se formula el proyecto para definir la ejecución de los trabajos y sus especificaciones de calidad.

Reconstrucción

Cuando un pavimento tiene una capacidad estructural muy deficiente y quizás también esté desplantado sobre terracerías de mala calidad, se requerirá construir una nueva estructura mejorando si es necesario la capa subrasante o las capas superiores de las terracerías, para un nuevo periodo de vida de servicio.

En ocasiones también se trata de realizar una ampliación con nuevos carriles de circulación y efectuar la reconstrucción del pavimento existente, por lo que estos trabajos también corresponden a una modernización de la obra vial.

Siempre será recomendable que en la reconstrucción se aprovechen los materiales existentes del pavimento, mejorándolos con nuevos materiales o aditivos y construyendo una nueva capa de rodadura.

Para una reconstrucción se requiere efectuar una auscultación muy completa del pavimento, de sus condiciones de drenaje y un levantamiento topográfico, así como realizar una serie de estudios y un análisis estructural mediante métodos de diseño, para definir las opciones de reconstrucción que se propongan.

También se selecciona la alternativa más conveniente mediante un análisis de su costo-beneficio. Finalmente se elaboran el proyecto geométrico, de reconstrucción y de señalamiento.

Auscultación y Evaluación de Pavimentos

La auscultación de un pavimento se realiza para obtener una serie de indicadores de servicio en una red de carreteras, para “alimentar” un Sistema de Gestión que utilice una Dependencia, para la jerarquización y programación de inversiones. Mientras que la evaluación de un pavimento en un tramo específico permite revisar sus condiciones de servicio y estructurales, a fin de proponer medidas de conservación que aumenten su nivel de servicio o corrijan alguna deficiencia.

En la Tabla 3.1.3 se muestran los distintos procedimientos y equipos que se aplican en México, para atender la auscultación y evaluación de los pavimentos.

Característica por evaluar	Procedimiento o Equipo	
	Aplicado en Evaluación (Tramo Específico)	Aplicado en Auscultación (Red de Carreteras)
Índice de Servicio Actual	Evaluación de Grupo Mediante Recorridos a Velocidad de Operación Perfilómetro de California	Mays Ride Meter Vehículo "Multifunción"
Deterioros	Evaluación Mediante Recorridos a Pie "Gerpho" Vehículo "Multifunción"	Vehículo "Multifunción" "Gerpho"
Profundidad de Rodera	Regla de Tres Metros o Vehículo "Multifunción"	Vehículo "Multifunción" Perfilómetro Láser
Regularidad Superficial (IRI)	Perfilógrafo de California Vehículo "Multifunción"	Vehículo "Multifunción" Perfilómetro Láser
Resistencia al Derrapamiento (Coeficiente de fricción)	Medidor de Fricción	Medidor de Fricción
Macro Textura Superficial	Círculo de Arena	
Micro Textura Superficial	Péndulo Inglés	
Espesores de la Estructura	Sondeo a Cielo Abierto Radar de Penetración Terrestre (RPT)	Radar de Penetración Terrestre (RPT)
Capacidad Estructural	Viga Benkelman Deflectómetro de Impactos (Fwd)	Deflectómetro de Impactos (FWD)
Resistencia de la Subrasante	Ensaye CBR en Laboratorio CBR en el Lugar	
Calidad de Materiales	Ensayes en Laboratorio	
Módulos Dinámicos de Materiales	Deflectómetro de Impactos (FWD)	Deflectómetro de Impactos (FWD)

Tablas 3.1.3. Procedimientos y equipos aplicables en auscultación de pavimentos

Se comentan de manera breve los procedimientos, el equipo y los criterios que usualmente se aplican en México, para efectuar la auscultación y evaluación de pavimentos, así como también se indican las referencias para consultar información con mayor detalle.

Índice de Servicio Actual (ISA)

El concepto de Índice de Servicio Actual o "Serviciabilidad" de un pavimento fue definido por la ASSHTO desde 1961, como resultado de la investigación que realizó en tramos de prueba a escala natural, con diversos tipos de pavimento. La forma en que se define este Índice es mediante la percepción de un grupo de usuarios que recorren a la velocidad de operación, en un mismo tipo de vehículo, el pavimento por evaluar, valorando el grado de confort que experimentan y anotando un valor de calificación por cada kilómetro recorrido, conforme la escala que se indica en la Tabla 3.1.4.

Calificación	Nivel de Servicio
5	Muy bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy malo
0	Intransitable

Tabla 3.1.4. Escala de calificación del índice de servicio actual

La calificación puede definirse con aproximación a un décimo de la escala de medición. El grupo de usuarios debe recorrer por separado el tramo por evaluar, para no tener influencia de la percepción de los otros evaluadores y las calificaciones de todo el grupo se promedian para definir este indicador.

A través del ISA se puede observar la tendencia típica en que un pavimento va reduciendo su nivel de servicio, con respecto al tiempo, por efecto de su "degradación". En la Figura 3.1.1 se muestra el comportamiento usual de "degradación" de un pavimento y los efectos que se logran por la aplicación de estrategias de rehabilitación.

En la evaluación de un pavimento, se define el ISA para que en el análisis de las alternativas de conservación, se comparen sus curvas de degradación correspondientes, a efecto de definir la que más resulte conveniente, considerando además su costo y viabilidad técnica.

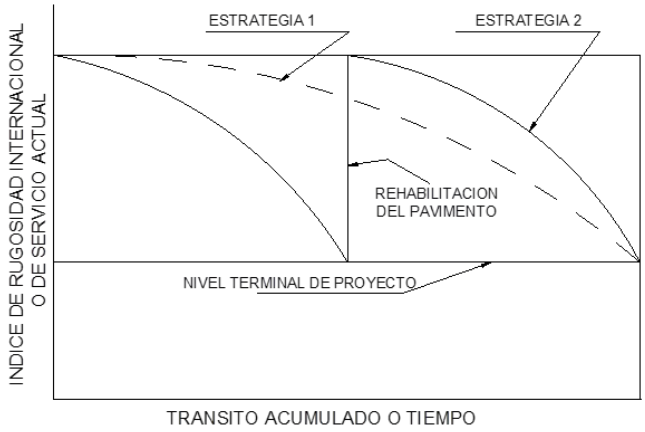


Figura 3.1.1. Curva de degradación típica de un pavimento con el tiempo

Actualmente se ha correlacionado el ISA o "serviciabilidad", con un indicador denominado "Índice de Rugosidad Internacional" (IRI), que se obtiene con equipos de alto rendimiento y que recorren la carretera a la velocidad de operación, existiendo varios equipos con los que se puede obtener este indicador, como el que muestra en la Figura 3.1.2. En México la SCT ha establecido un valor de aceptación del IRI aplicable a la etapa de auscultación de pavimentos, el cual debe ser menor de 2.8 cm/km. Cuando los pavimentos tienen valores de IRI por arriba de este valor, se considera que requieren alguna acción de conservación para mejorar este indicador.

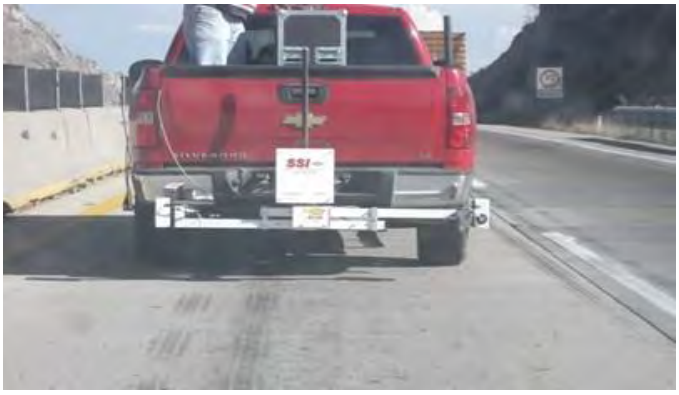


Figura 3.1.2. Analizador de regularidad superficial (IRI)

Fallas o Deterioros

Levantamiento de Fallas

La manera tradicional para evaluar las fallas que presente un pavimento, consiste en realizar un levantamiento de los deterioros que presente la superficie de rodadura con recorridos a pie para revisar kilómetro por kilómetro la carretera en estudio.

Las fallas pueden deberse a diversas causas, siendo las más comunes una estructura deficiente del pavimento, el clima y el drenaje prevalecientes, así como deficiencias de construcción por un control de calidad inadecuado.

Se califican los defectos conforme al grado de severidad observado y se determina el porcentaje de área dañada, con relación a la superficie total del pavimento, anotando los resultados en un Formato Tipo, el cual también se incluye en la sección de Apéndices de esta Guía.

Conforme con este formato de evaluación, los deterioros se agrupan en dieciséis tipos, de los cuales tres se refieren a deformaciones, cinco a agrietamientos en la superficie y ocho a defectos atribuibles a la mala calidad de los materiales o al procedimiento constructivo.

Por otra parte, la severidad de los daños se clasifica en cinco niveles, como 1 (muy ligeros), 2 (ligeros), 3 (moderados), 4 (severos) y 5 (muy severos), de acuerdo a la importancia o magnitud de los defectos observados, y debe definirse la extensión en que se presentan, de acuerdo a cinco niveles del área afectada, definida como: menos de 10%, entre 10 y 20%, entre 20 y 50%, entre 50 y 80% y más de 80%, todo con relación al área total de la superficie del pavimento.

La valoración de cada tipo de falla también debe relacionarse con las posibles causas que la originan, para lo cual se utiliza alguno de los Catálogos disponibles, como son: el Catálogo de Fallas de Pavimentos elaborado por la Dirección General de Conservación de Obras Públicas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en 1984, el Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte en 1991, y los Catálogos de Deterioros de Pavimentos Flexibles y Rígidos elaborados por el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica en 2002.

Adicionalmente se pueden disponer de algunos más, cuyas referencias se incluyen en la Sección de Bibliografía de esta Guía, recomendándose especialmente a los interesados la consulta de los Catálogos denominados: “DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL for the Long-Term Pavement Performance Program” de la FHWA de los EUA, así como el “Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles” de la República de Colombia, porque presentan una información bastante detallada y objetiva de todas las fallas en los pavimentos y de sus causas.

Como ya se comentó en esta misma sección, en la parte de la descripción de las Principales Fallas en Pavimentos y su Origen, para homologar criterios que definan el grado de severidad y el porcentaje de área dañada, se recomienda utilizar los que se indican en los Catálogos de Deterioros de Pavimentos Flexibles y Rígidos elaborados por el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.

Aplicación de Equipo de Alto Rendimiento para Evaluar Fallas

Actualmente se puede disponer de equipos que tienen incorporados sistemas tecnológicos que permiten hacer un levantamiento de las condiciones de la superficie de rodadura, recorriendo la carretera a una velocidad similar a la de operación.

Tal es el caso del equipo denominado: "Gerpho" que obtiene el estado superficial del pavimento a velocidad de operación o también se puede utilizar otro vehículo "multifunción" que entre otros indicadores que puede obtener se encuentra el indicador de daños. Ambos equipos se están comenzando a utilizar en México sólo para proyectos especiales e importantes de carreteras, y principalmente para la alimentación de datos para programas de evaluación integral de las redes, a cargo de la SCT.

Sin embargo, es conveniente señalar que cada vez más se utilizarán estos equipos de alto rendimiento en la auscultación de deterioros de pavimentos.

En las Figuras 3.1.3 y 3.1.4 se muestran esquemas del vehículo "multifunción" y los resultados que es posible obtener con su aplicación.

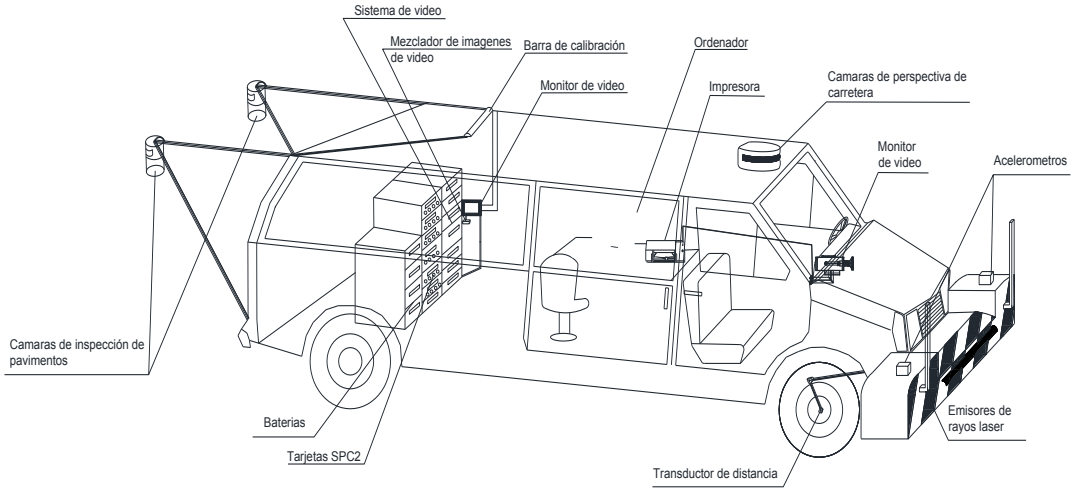


Figura 3.1.3. Características de un vehículo "multifunción" para auscultación de pavimentos



Figura 3.1.4. Información que se obtiene de un vehículo "multifunción"

Profundidad de Rodera

El procedimiento tradicional que se utiliza en México para medir la profundidad de la deformación permanente o "rodera", es mediante la colocación de una regla metálica de aluminio con longitud de tres metros, en el sentido transversal de la carretera, midiendo la depresión en la zona de mayor profundidad, con un micrómetro de vernier, en centímetros con aproximación de un milímetro.

En la Figura 3.1.5 se puede observar el dispositivo que se aplica para realizar esta medición, la cual es bastante sencilla de realizar, pero la toma de datos es puntual y lenta.



Figura 3.1.5. Medición de la profundidad de rodera con viga de tres metros

El valor máximo de "rodera" que ha sido utilizado para considerar que el pavimento ha fallado, de acuerdo con las hipótesis de los métodos de diseño, es de 2.5 cm.

Para el caso de medir la profundidad de rodera en una red de carreteras, para la aplicación de un Sistema de Gestión de Pavimentos, se utiliza un Perfilógrafo transversal "láser", montado en un vehículo del tipo "multifunción" que ya se comentó anteriormente, que apoyado con un sistema de cómputo, puede obtener información continua en recorridos que se realizan a la velocidad de operación de la carretera.

Regularidad Superficial

La evaluación de la regularidad superficial de un pavimento, en México se puede realizar con un equipo denominado: "Perfilógrafo Longitudinal de California", el cual consiste de una estructura de aluminio de longitud considerable, apoyada en los extremos por un dispositivo de ruedas, para lograr un efecto de "puente".

Al centro de la estructura se cuenta con una rueda de "bicicleta", conectada a un módulo de cómputo, con los cuales se miden y acumulan las depresiones que presente el pavimento por arriba y debajo de una franja de tolerancia, al recorrer con este dispositivo una longitud de prueba en la carretera, que normalmente es del orden de 500 m. A esta acumulación se le denomina "Índice de Perfil" y su unidad de medida es "mm/km".

En la Figura 3.1.6 se muestra el Perfilógrafo Longitudinal de California, aclarándose que este tipo de Perfilógrafo es que se adoptó para México, entre otros tipos que se disponen en el medio técnico internacional de carreteras. En la Figura 3.1.7 se presenta el criterio de medición del Perfilógrado, basado en la acumulación de depresiones por arriba y debajo de una franja de tolerancia establecida por convención.



Figura 3.1.6. Perfilógrafo Longitudinal de California

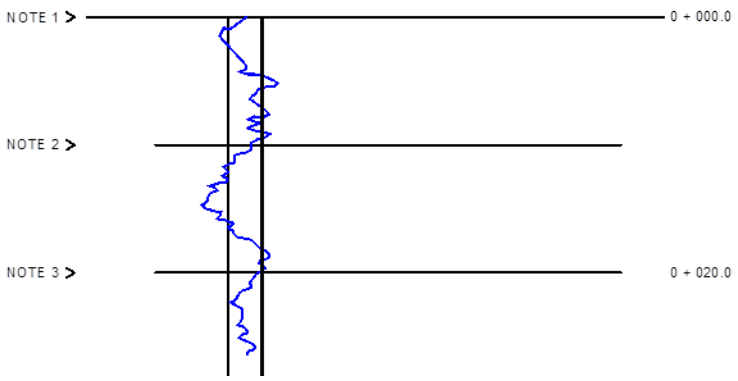


Figura 3.1.7. Ejemplo de depresiones en la superficie de un pavimento y la franja de tolerancia establecida

El Índice de Perfil determinado con este equipo, se utiliza en México para la aceptación de capas asfálticas recién construidas, existiendo criterios definidos en la Normativa SCT para aceptar o sancionar la capa asfáltica colocada, en función de los resultados de Índice de Perfil que se obtengan.

El valor de aceptación límite establecido en la Normativa SCT para capa asfáltica o pavimento rígido de pavimento nuevo es de 14 cm/km, mientras que para capa asfáltica en etapa de conservación de carreteras, es de 31 cm/km.

Resistencia al Derrapamiento (Coeficiente de Fricción)

La resistencia al derrapamiento o el coeficiente de fricción, se determina en forma directa midiendo el rozamiento entre la superficie del pavimento mojado, por considerarse la condición más crítica (debido al reconocimiento de la importante influencia que genera el agua en la adherencia), y una llanta de dimensiones y dureza especiales.

Existen distintos equipos y procedimientos de ensayos para determinar la resistencia al deslizamiento. Dentro de los más conocidos a nivel internacional se encuentran: el SCRIM, el MuMeter, el DFT y el Grip Tester, para mediciones continuas de alto rendimiento, mientras que para mediciones puntuales se utiliza el Péndulo Inglés (TRRL).

En México se utilizan diversos equipos para medir el coeficiente de fricción, mostrándose en las Figuras 3.1.8 y 3.1.9 el funcionamiento de dos equipos típicos.





Figuras 3.1.8 y 3.1.9. Operación de dos equipos típicos para medir el coeficiente de fricción

Es conveniente aclarar que independientemente del equipo que se utilice para medir el coeficiente de fricción, es necesario que antes efectuar la evaluación de un pavimento, el equipo debe ser calibrado por el Instituto Mexicano del Transporte.

El coeficiente de fricción es usado principalmente en la aplicación de Sistemas de Gestión de Pavimentos, en evaluación de la superficie de rodamiento para definir la conservación de carreteras, así como para la aceptación de capas asfálticas y de concreto hidráulico recién construidas.

En la Normativa SCT se indica un valor mínimo de coeficiente de fricción de 0.6, determinado a una velocidad de operación del equipo de 75 km/h, en condiciones de pavimento húmedo, para aceptación y pago de las capas construidas, aunque conviene aclarar que en otros países la velocidad de operación del equipo es de 65 km/h.

Péndulo Inglés (TRRL)

Otra forma de medir el coeficiente de fricción es mediante el dispositivo denominado “Péndulo Inglés (TRRL)”, para medidas puntuales de bajo rendimiento. Este equipo se usa para evaluar tramos de carretera y en el laboratorio también se emplea para medir la pérdida de rozamiento en el aparato de pulimento acelerado, para valorar el efecto de pulido de materiales susceptibles de degradarse a corto plazo.

En la Figura 3.1.10 se muestra el Péndulo Inglés aplicado en la superficie de una capa asfáltica. El dispositivo previamente calibrado, se coloca en la superficie previamente humedecida por evaluar. El brazo móvil se levanta hasta una cierta altura y se suelta para que por gravedad el pie del brazo, que tiene un hule de dureza especificada, pase rozando la superficie y se eleve hacia el otro lado por efecto de péndulo, midiendo el ángulo al que es capaz de alcanzar en una escala graduada, después de haber rozado el pavimento.



Figura 3.1.10. Aplicación del Péndulo Inglés en un pavimento asfáltico

Microtextura y Macrotextura

La Microtextura (textura del agregado) corresponde a la textura superficial o irregularidades propias de la superficie de las partículas del material pétreo, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulido que afectan a la adherencia.

La magnitud de la Microtextura depende de la rugosidad inicial en la superficie del agregado y de la capacidad del agregado, de acuerdo a sus características mineralógicas, de mantener su rugosidad contra el pulimento debido al paso repetido de vehículos, observándose que en agregados calizos el problema de pulimento es más notable que para agregados de origen volcánico.

Por otra parte, la Macrotextura (textura del camino) se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. La Macrotextura inicial está determinada por el tamaño, forma y granulometría del agregado usado, además de las técnicas de construcción empleadas en la colocación de la superficie de rodamiento del pavimento.

La Macrotextura es importante para proporcionar canales de salida de agua en la interacción neumático-pavimento, evitando de esta forma que cause el efecto llamado “hidroplaneo”, además de que mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento, al reducir las proyecciones del agua y producir una reflexión difusa.

En la Figura 3.1.11 se ilustra esquemáticamente las condiciones de micro y macro textura.

La Macrotextura se presenta en dos formas:

1. Macrotextura Positiva, que es típicamente la que se obtiene a través de los tratamientos superficiales (riegos de sello).

2. Macrotextura Negativa, que se obtiene con la aplicación de las mezclas drenantes. (tipo CASAA y SMA).

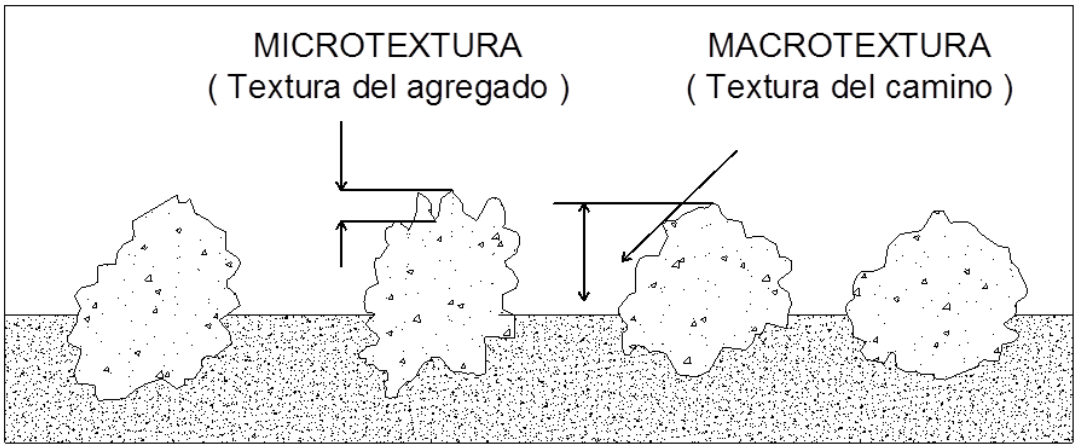


Figura 3.1.1.11. Aplicación del Péndulo Inglés en un pavimento asfáltico

Ambas ofrecen, en diferente grado, las ventajas mencionadas. En cambio, son muy diferentes en lo referente al ruido. La Macrotextura positiva aumenta el ruido del paso de vehículos, mientras que las mezclas drenantes (Macrotextura Negativa) llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en el contacto rueda-pavimento, sino también el producido por el motor, por absorción acústica.

La Microtextura se evalúa a través del coeficiente de fricción aplicando el MuMeter, el Péndulo Inglés u otros equipos ya comentados, mientras que la Macrotextura puede ser evaluada a través de la prueba del círculo de arena (mancha de arena). Figura 3.1.12.



Figura 3.1.12. Prueba del círculo de arena para evaluar la macrotextura superficial

Capacidad Estructural del Pavimento en el Sitio

Viga Benkelman

Para valorar la capacidad estructural de un pavimento en el campo, se ha utilizado en México durante muchos años un dispositivo denominado "Viga Benkelman".

Con este equipo se determina, en la superficie de un pavimento flexible, la recuperación elástica (deflexión) de la estructura, por efecto de la aplicación de una carga en un eje tándem de 8.2 ton cuando posteriormente se retira del lugar de medición.

La Viga Benkelman es una estructura de aluminio que se coloca en el pavimento, con un brazo que se extiende y cuyo extremo se ubica entre las ruedas traseras de un vehículo con eje tándem y peso de 8.2 ton.

La Viga tiene una articulación que permite una acción de pivote con el brazo extendido y cuenta con un medidor de deformación, con el cual se determina la deflexión del pavimento, cuando las llantas se retiran del extremo del brazo. Adicionalmente se mide la temperatura en la superficie del pavimento, para efectuar una corrección por temperatura en el valor obtenido.

El procedimiento de ensaye con Viga Benkelman se puede consultar en la sección de Apéndices de esta Guía y en la Figura 3.1.13 se puede observar el dispositivo de trabajo para la determinación de la deflexión en el pavimento con la Viga Benkelman.



Figura 3.1.13. Determinación de la recuperación elástica del pavimento con Viga Benkelman

La determinación de deflexiones generalmente se realiza a cada 20 m en la rodada derecha del carril de la carretera, cubriendo un tramo de prueba de 500 m de longitud. Las deflexiones obtenidas se manejan estadísticamente para obtener su valor promedio y su desviación estándar y con estos valores se determina la "deflexión característica", a través de una fórmula de inferencia estadística.

En una auscultación con Viga Benkelman se acostumbra efectuar un tramo de prueba por cada cinco kilómetros o menos, si en la detección de deterioros se delimita un tramo homogéneo menor.

Los métodos de análisis por deflexiones con Viga Benkelman, aplicables en México, han sido el del Instituto del Asfalto y el del Estado de California, ambos de los EUA, en los que también es necesario realizar el análisis de tránsito que pasa por la carretera en estudio. Las referencias de estos Métodos se incluyen en la sección de Bibliografía de esta Guía.

El criterio de análisis considera que los pavimentos que tienen una estructura deficiente, presentan valores elevados de deflexión característica, por lo que requieren una capa de refuerzo adicional para reducir sus niveles de deflexión.

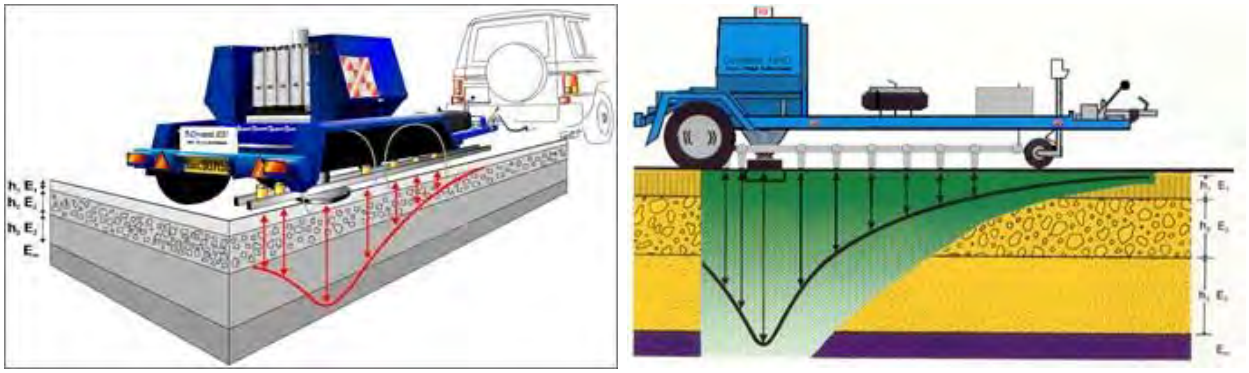
Deflectómetro de Impacto

Una alternativa para evaluar la capacidad estructural del pavimento en el sitio, es el equipo denominado: "Deflectómetro de Impacto", FWD (Falling Weight Deflectometer) o HWD (Heavy Weight Deflectometer), según el modelo utilizado. Figura 3.1.14.

En la actualidad, el Deflectómetro de Impacto se aplica en la evaluación de pavimentos por su eficiencia, economía y porque no afecta a la estructura del pavimento, obteniendo la capacidad estructural del pavimento, a través de la "cuenca" de deflexiones generada. Figuras 3.1.15 y 3.1.16.



Figura 3.1.14. Deflectómetro de Impacto utilizado en la evaluación de pavimentos



Figuras 3.1.15 y 3.1.16. Cortes esquemáticos de las deflexiones obtenidas con el Deflectómetro de Impacto

El equipo es capaz de levantar masas determinadas y soltarlas en caída libre, generando una onda por el impacto que es transmitida al pavimento. La placa de carga, en la parte inferior del sistema, es capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento; además, permite la medición de las cargas y esfuerzos aplicados sobre la superficie y debe ser resistente al agua y a los impactos durante el desarrollo de los trabajos.

El Deflectómetro cuenta con transductores de deflexión que miden el desplazamiento vertical máximo, para cada punto del pavimento evaluado, obteniendo así la cuenca de deflexiones. El número de transductores o geófonos depende del tipo de prueba que se realice y del tipo de estudio en el pavimento.

Los impactos que se aplican producen esfuerzos sobre el pavimento, que simulan a los que son transmitidos por el tránsito, pudiéndose adoptar el esfuerzo producido por un eje equivalente.

El procedimiento de evaluación depende de las condiciones específicas del pavimento y de la longitud por estudiar; por ejemplo, para estudios de rehabilitación de carreteras, las mediciones se realizan a intervalos desde 50 hasta 200 m, mientras que para una evaluación de red de carreteras, pueden ir desde 500 m hasta 5 km, dependiendo de la longitud por evaluar.

Existen algunas limitaciones para la medición de las deflexiones con este tipo de equipo; la más importante es la pendiente Longitudinal, ya que el equipo no puede realizar mediciones en pendientes mayores del 5%.

Uno de los indicadores que se obtienen con el Deflectómetro de Impacto son las deflexiones obtenidas tanto en la placa de impacto como en los geófonos o sensores ubicados a determinadas distancias, para registrar la respuesta de disipación de la carga en la profundidad.

A través de esta disposición de los sensores en la medición, se define la capacidad resistente del pavimento, resaltándose que el nivel de deflexiones y la pendiente de la cuenca de deflexión indica la resistencia del pavimento. En la Figura 3.1.17 se muestra la valoración de la cuenca de deflexiones, con base en la magnitud obtenida y en la pendiente determinada.

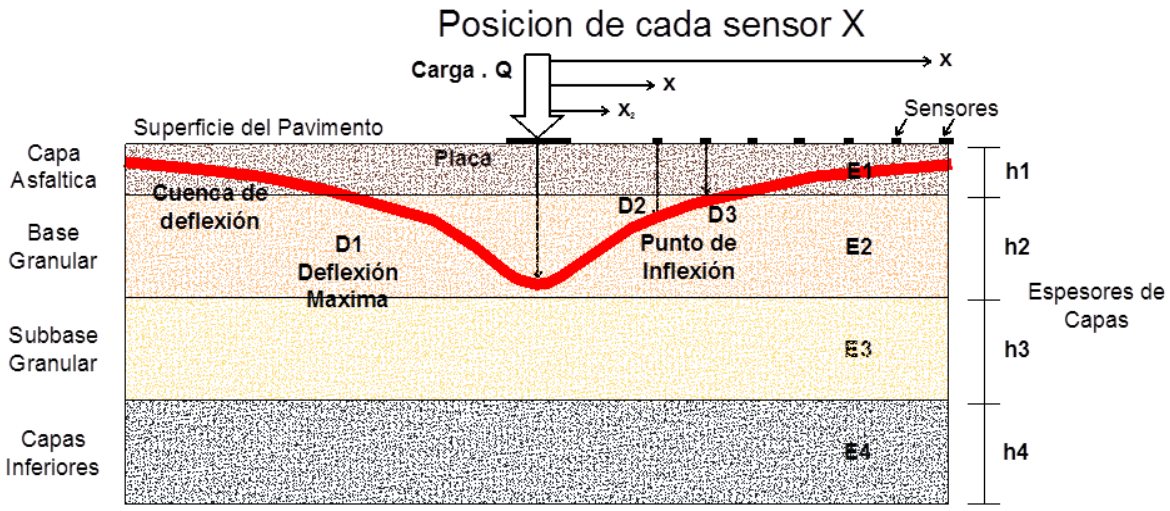


Figura 3.1.17. Cuencas típicas de deflexión en la aplicación del Deflectómetro de Impacto

En la aplicación de Deflectómetros de Impacto se determina la capacidad estructural del pavimento, utilizando programas de cómputo que analizan las deflexiones obtenidas y con base en los espesores del pavimento, se definen los módulos de elasticidad de los materiales en cada capa del pavimento. A esta forma de análisis se le denomina “retrocálculo”.

El “retrocálculo” es una solución inversa del problema del cálculo de las deflexiones de superficie en una estructura de pavimento para la cual: la carga, las propiedades elásticas de los materiales y el espesor de las capas se conocen.

El principio de la técnica de retrocálculo es que un conjunto inicial de valores característicos del módulo de elasticidad de las capas se ajusta continuamente hasta la cuenca de deflexión estimada, para que se aproxime lo suficiente a la cuenca de deflexión medida (Figura 3.1.17).

Existen diversos programas con los cuales se puede realizar el proceso de "retrocálculo", como el ELMOD6 (Evaluation of Layer Moduli and Overall Design) creado por la empresa Dynatest. Fundamentalmente este programa se basa en los modelos de un pavimento con un sistema de capas elásticas usando la solución de las ecuaciones de Odemark-Boussinesq, que incorpora soluciones para materiales con propiedades no lineales (comúnmente exhibidos en sub-rasantes compuestas de materiales cohesivos) Figura 3.1.18.

En la Tabla 3.1.1 se muestra el rango de valores típicos de módulo elástico que es posible obtener con la aplicación del Deflectómetro de Impacto "FWD", para cada una de las capas del pavimento y de la capa subrasante ®.

Con el uso de Deflectómetros de Impacto, se puede disponer de datos sobre la estructura del pavimento que, utilizados en los métodos de diseño para la revisión estructural del pavimento, permiten el análisis de alternativas de rehabilitación con mayor confiabilidad.

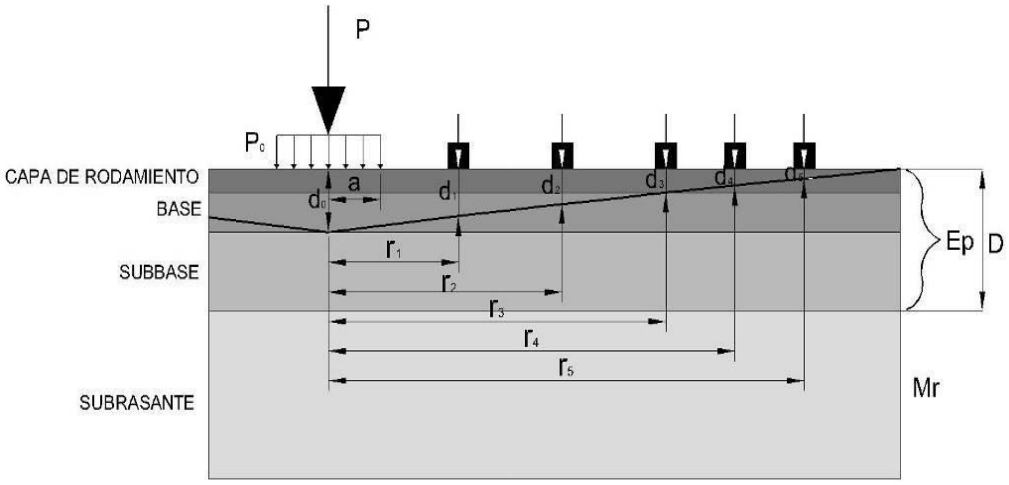


Figura 3.1.18. Proceso de retrocálculo, ajuste por iteración de cuenca de deflexión medida y calculada

Material	Módulos (Ksi MPA)
Bituminosas a 68° F (20 °C)	400 - 1000 (3,800 - 7,000)
Concreto delgado	1,500 a 2500 (8,000 - 1,500)
PCC	3,000 - 600 (20,000 - 40,000)
Base Granular / Subbase	15 - 150 (100 - 1,000)
Subrasante	5 - 50 (30-300)

Tabla 3.1.1. Rango de valores típicos de módulo elástico, con la aplicación del Deflectómetro de Impacto FWD

Determinación de la Estructura de Pavimentos

Ejecución de Sondeos

Tradicionalmente se realizan sondeos de exploración directa para medir los espesores de las capas en la estructura del pavimento, determinar en cada capa su grado de compactación y la humedad existente, así como

recabar muestras que posteriormente son analizadas en el laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas y características de calidad, para deducir de esta información las características estructurales.

Es importante señalar que este procedimiento generalmente resulta costoso, requiere de un tiempo considerable y es de carácter destructivo. Adicionalmente es importante considerar que se requiere cerrar un carril de la carretera en operación para realizar este trabajo, además de colocar bandereros y señalamiento de protección para evitar accidentes.

Por ello, es común que en la evaluación de la estructura del pavimento mediante sondeos a cielo abierto, se utilice el criterio de realizar un sondeo a cada kilómetro, alternando los sondeos en el carril derecho de un sentido y otro de la circulación. Adicionalmente se intercala, entre sondeo y sondeo, la realización de calas en la orilla de la capa asfáltica, para determinar los espesores de la estructura del pavimento. De esta forma se logra contar con datos de los espesores de la estructura a cada 500 m.

Generalmente el procedimiento para la ejecución de un sondeo en pavimentos, es el siguiente:

1. Controlar y canalizar el tránsito con bandereros, así como colocar señalamiento de protección en la zona cercana al lugar donde se realiza el sondeo.

2. Obtener una muestra de la capa o las capas asfálticas existentes o en su caso, de la losa de concreto hidráulico, mediante el uso de una perforadora (Figura 3.1.19). De esta manera se obtienen muestras de la o las capas asfálticas o de concreto hidráulico, para su análisis en el laboratorio y se determinan sus espesores, en centímetros con aproximación al milímetro.



Figura 3.1.19. Toma de muestra de capa asfáltica con perforadora

3. Se marca en el pavimento el área para la ejecución del sondeo, que generalmente tiene una sección de 40 cm de ancho por 80 cm de largo y se ubica en el carril de circulación a una distancia de 60 cm, entre la orilla de la capa asfáltica hasta el centro del ancho del sondeo.

4. Se recorta o induce un aserrado con equipo portátil en las marcas que delimitan el área del sondeo, hasta una profundidad del espesor de la capa asfáltica o de concreto hidráulico existente, para facilitar su remoción.

5. Con herramienta manual o con equipo neumático de corte, se desintegra y retira la capa asfáltica o de concreto hidráulico y se descubre y limpia la superficie de la primera capa que sirve de asiento a la capa superior.

6. En la capa descubierta se procede a efectuar una cala para determinar el grado de compactación y la humedad del material pétreo existente, con una profundidad del espesor de la capa descubierta, conforme al procedimiento que se indica en el **Norma M·MMP·08/03** Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica, de la SCT. El nivel inferior de la capa analizada se define cualitativamente por el tipo de material, el color, la graduación de las partículas y su acomodo, en comparación con las que presente la capa subyacente.

7. A continuación, se efectúa un recorte y disgregación del material pétreo en la capa descubierta, con herramienta de mano, para obtener una muestra alterada que se recupera en una bolsa o recipiente de muestreo, para ser analizada en el laboratorio.

8. Una vez tomada la muestra, se continúa sacando el material excedente de la capa descubierta en toda el área del sondeo, hasta descubrir y limpiar la superficie de la siguiente capa.

9. Los pasos 6, 7 y 8 se vuelven a realizar en cada una de las capas subyacentes que se van descubriendo, para obtener la compactación, humedad y recabar la muestra de material pétreo para su análisis en el laboratorio.

10. Generalmente el sondeo se realiza hasta lograr definir toda la estructura del pavimento y además la capa de desplante o capa subrasante. En algunas evaluaciones especiales, puede ser necesario que adicionalmente se obtenga información del material de la capa inferior a la capa subrasante, para tener más certeza sobre la calidad de las terracerías.

11. Cuando el sondeo está concluido, con una regla se procede a medir el espesor de cada una de las capas del pavimento, en centímetros y con aproximación de un milímetro, ver Figura 3.1.20.

12. Se procede a rellenar el sondeo por capas, con el material remanente de cada capa, compactándolo con pisón de mano, hasta llegar al nivel de desplante de la capa asfáltica. Para rellenar la parte faltante de la capa asfáltica, se utiliza mezcla asfáltica recién producida y se compacta hasta lograr igualar el nivel de la superficie de rodadura.



Figura 3.1.20. Medición de espesores de la estructura del pavimento

13. Finalmente, se limpia todo el material suelto en la superficie donde se realizó el sondeo y se retira el señalamiento de protección.

Es importante comentar que todas las muestras de materiales que se recaben de un sondeo, que se envían al laboratorio para determinar su calidad, deben ser adecuadamente identificadas, para evitar confusiones de su procedencia. De igual manera, en el laboratorio deben ser registradas en un libro de control de muestras, para su manejo interno y la formulación del informe de calidad correspondiente.

Los datos que deben considerarse para identificar una muestra, son los siguientes:

- Número de muestra
- Nombre de la obra
- Número y ubicación del sondeo
- Localización del sitio de muestreo en la carretera
- Tipo de material
- Profundidad a la que se tomó la muestra
- Espesor de la capa
- Responsable del muestreo
- Fecha y hora de muestreo
- Uso a que se destina el material muestreado

Para mayor detalle sobre el muestreo de materiales pétreos para terracerías y pavimentos, pueden consultarse las **Normas M·MMP·1·01/03** Muestreo de Materiales para Terracerías y **M·MMP·4·04·001/02** Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la SCT.

Definición de la Estructura del Pavimento Mediante Equipos de Alto Rendimiento

Para determinar los espesores de la estructura del pavimento de forma eficiente y confiable, sin ocasionar desvíos del tránsito y sin dañar el pavimento, se utiliza en México un equipo denominado: "Radar de Penetración Terrestre" (RPT), el cual realiza de manera continua la toma de "radiografías" a la velocidad de operación de la carretera en estudio.

En la Figura 3.1.21 se muestra el equipo y en la Figura 3.1.22 los resultados que se obtienen con su aplicación. Como se puede apreciar, la información que se obtiene es cuantiosa y confiable, aunque su aplicación representa un mayor costo, en comparación con la forma tradicional en que se obtiene esta información.



Figura 3.1.21. Radar de penetración terrestre

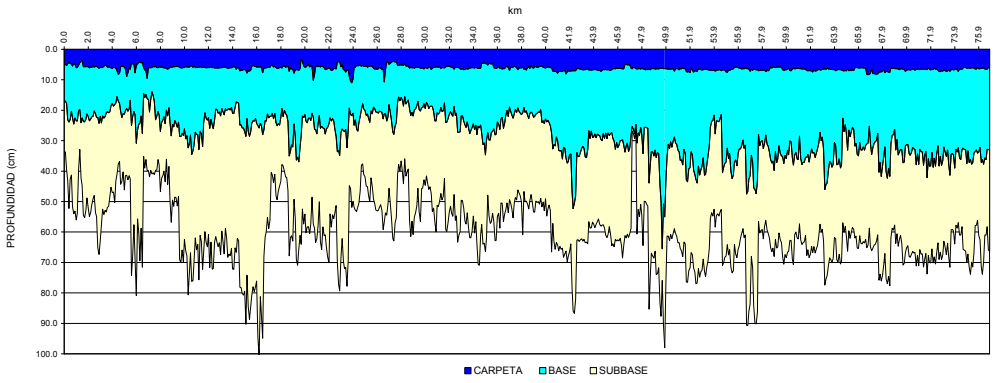


Figura 3.1.22. Estructura del pavimento determinada con el radar de penetración terrestre

Determinación del Valor Soporte de California en el Lugar

En el análisis que se realiza para definir la capacidad estructural del pavimento, aplicando algún método de diseño, se requiere contar con la resistencia del material que conforma la capa subrasante, la cual es la capa de apoyo al pavimento.

Este parámetro es indispensable y se puede obtener en el laboratorio mediante la ejecución de un ensaye en el material muestreado de la capa subrasante, reproduciendo las condiciones de acomodo y de humedad del sitio en donde fue tomado.

En México, el ensaye que se utiliza para determinar la resistencia del material de la capa subrasante, así como de los materiales pétreos de las capas intermedias del pavimento flexible y de la capa de apoyo del pavimento rígido, se denomina: "Valor Soporte de California" (CBR).

Sin embargo, en el laboratorio resulta complicado y requiere mucho tiempo lograr reproducir las condiciones reales existentes del material por analizar, por lo que alternativamente se dispone de un ensaye para determinar el CBR en el sitio, en las condiciones reales en que se encuentra el material.

En la Figura 3.1.23 se muestra la aplicación del ensaye para determinar el CBR en el lugar, el cual se realiza de acuerdo con lo indicado en la **Norma M·MMP·1·12/08** Valor Soporte de California (CBR), de la SCT.



Figura 3.1.23. Determinación del parámetro CBR en el lugar

Determinación de la Calidad de Materiales Existentes en Pavimentos

Las muestras de materiales recabadas en cada una de las capas del pavimento, de todos los sondeos realizados, se envían adecuadamente identificadas para evitar errores, a un laboratorio para que se les determinen las características de calidad y de desempeño que les correspondan, de acuerdo con su ubicación en la estructura en estudio.

Dependiendo de la función que el material de cada capa tenga en la estructura, en el laboratorio se determinan las pruebas o ensayes de calidad, conforme se describe en la Tabla 3.1.5, indicándose su referencia en la Normativa SCT.

Los procedimientos de prueba que se aplican en México son los que están contenidos en la Normativa SCT, los cuales se pueden consultar tanto en la Página de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes como en la del Instituto Mexicano del Transporte.

Característica de Calidad y Referencia en la Normativa SCT	Losa de Concreto Hidráulico	Capa Asfáltica	Base y Subbase	Capa Subrasante
Contenido de Asfalto		x		
Peso Volumétrico de la Capa Asfáltica en el Lugar	x	x		
Porcentaje de Vacíos		x		
Resistencia a la Compresión Axial	x			
Peso Volumétrico Seco Máximo M·MMP·1·09/03 Compactación AASHTO		x	x	x
Grado de Compactación M·MMP·1·08/03 Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica			x	x
Contenido de Agua (M·MMP·1·04/03 Contenido de Agua)		x	x	x
Valor soporte de California (CBR) y expansión M·MMP·1·011/08 Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio			x	x
Composición Granulométrica M·MMP·1·06/03 Granulometría de Materiales Compactibles para Terracerías M·MMP·4·04·002/02 Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas		x	x	x
Equivalente de Arena M·MMP·1·04·004/02 Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas			x	
Desgaste Los Ángeles M·MMP·1·04·006/02 Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales para Mezclas Asfálticas			x	
Límite líquido y Límite Plástico M·MMP·1·07/03 Límites de Consistencia			x	x

Tabla 3.1.5. Pruebas de laboratorio para determinar las características de calidad de materiales muestreados en pavimentos existentes

Condiciones de Drenaje y Subdrenaje

La auscultación de las condiciones de drenaje y subdrenaje existentes para evaluar su efecto en el comportamiento de un pavimento, es de suma importancia y debe ser efectuada con el mayor cuidado posible, porque en muchos casos el éxito de la conservación de un pavimento está supeditado a resolver el desalojo eficiente del agua que se encuentra cercana en la superficie o en los estratos adyacentes a la carretera.

En la sección de Drenaje y Subdrenaje de esta Guía, se trata la forma en que se realiza la evaluación de las obras existentes y de su funcionamiento.

Levantamiento Topográfico

En la evaluación del pavimento de un tramo de carretera para definir su conservación, es necesario realizar un levantamiento topográfico para revisar las condiciones de alineamiento vertical y horizontal, así como para formular el proyecto de la nueva rasante, cuando se trata de una rehabilitación o reconstrucción. También se utiliza el levantamiento topográfico como referencia para definir los volúmenes de materiales que se utilizarán en los trabajos de conservación y para la cuantificación de los volúmenes de materiales colocados, al término de la conservación efectuada.

En estos trabajos se utilizan estaciones totales, niveles fijos y de mano, estadales y balizas, así como diversos accesorios topográficos. Comúnmente se realiza un "replanteo" del trazo del eje del tramo por evaluar, con referencia a dos bancos de nivel fijos permanentes por cada kilómetro (mojoneras de concreto hidráulico) ubicados a los lados de la corona de la carretera. El levantamiento o replanteo del trazo se efectúa a través de estacas colocadas a un lado de la corona, en los puntos principales del alineamiento horizontal y a cada 20 metros ó menos en zona de curvas.

El levantamiento horizontal incluye, además del trazo del camino, los detalles aledaños que se encuentren a lo largo y ancho del eje, tales como vías de comunicación, obras de drenaje, líneas y ductos de conducción diversa, cercas, construcciones cercanas al derecho de vía, etcétera.

También se realiza un levantamiento vertical del eje del trazo y de las secciones transversales del camino, a cada 20 metros, con un ancho que abarque el derecho de vía o en donde existan terraplenes y cortes, hasta los "ceros" o nivel final constructivo, indicando principalmente los límites de la corona y los puntos de quiebre notorios de la sección.

Generalmente en los Términos de Referencia que formulan las Dependencias responsables de las obras, para el desarrollo de la evaluación, estudio y proyecto, se indican las condiciones de trabajo, las comprobaciones topográficas, las aproximaciones y las tolerancias que deberán observarse en el levantamiento topográfico de un tramo en estudio.

La información topográfica obtenida en el levantamiento, se presenta en formatos de registro de datos y con ella se elaboran con el apoyo de programas de cómputo, diversos planos específicos con el alineamiento horizontal y vertical del tramo en estudio, así como con las secciones transversales del eje. Con esta información se formula en la etapa de proyecto los planos Tipo de secciones y perfiles de la nueva rasante, para la solución de conservación seleccionada.

Para obtener mayor detalle sobre el levantamiento topográfico de tramos de carreteras, se puede consultar la serie de normas contenidas en la Normativa SCT, con la denominación **N·PRY·CARV·1·01** Estudios Topográficos.

Levantamiento del Señalamiento Existente

Para el caso en que sea necesario aplicar una rehabilitación o una reconstrucción del pavimento en una carretera, es común que además se requiera efectuar una complementación o el mejoramiento del señalamiento existente, tanto horizontal como vertical, por lo que también se debe efectuar un levantamiento de las señales para conocer su ubicación, grado de cumplimiento con la Normativa SCT y el estado físico de servicio.

En la Sección de Señalamiento de esta Guía, que se incluye más adelante, se podrán conocer los aspectos y acciones que son aplicables para llevar a cabo este levantamiento, así como los criterios y referencias normativas para efectuar el proyecto del señalamiento horizontal y vertical, así como del señalamiento de protección de obra, con objeto de mejorar el funcionamiento y la seguridad del tramo en estudio.

Estudios del Pavimento

Análisis de Datos del Pavimento Existente

Después de haber realizado la auscultación en el campo de los diversos aspectos que afectan el comportamiento de un pavimento, toda la información obtenida se analiza en gabinete, elaborando tablas resumen y calculando para cada característica particular sus medidas de tendencia central y de dispersión, a fin de valorar estadísticamente el nivel de influencia que tiene cada parámetro o característica, en el comportamiento y nivel de servicio de la carretera. Además es típico graficar la información obtenida de cada parámetro, para poder observar con mayor objetividad la tendencia de los resultados.

También resulta objetivo presentar los resultados de calidad de los materiales de cada capa del pavimento y de la capa subrasante, tanto en la tabla resumen como en la gráfica correspondiente, comparándolos con los requisitos de calidad especificados por la Normativa SCT, en función de su uso dentro de la estructura del pavimento.

En la Figura 3.1.24 se presenta una gráfica de ejemplo sobre los espesores obtenidos en la auscultación de la estructura de un pavimento.

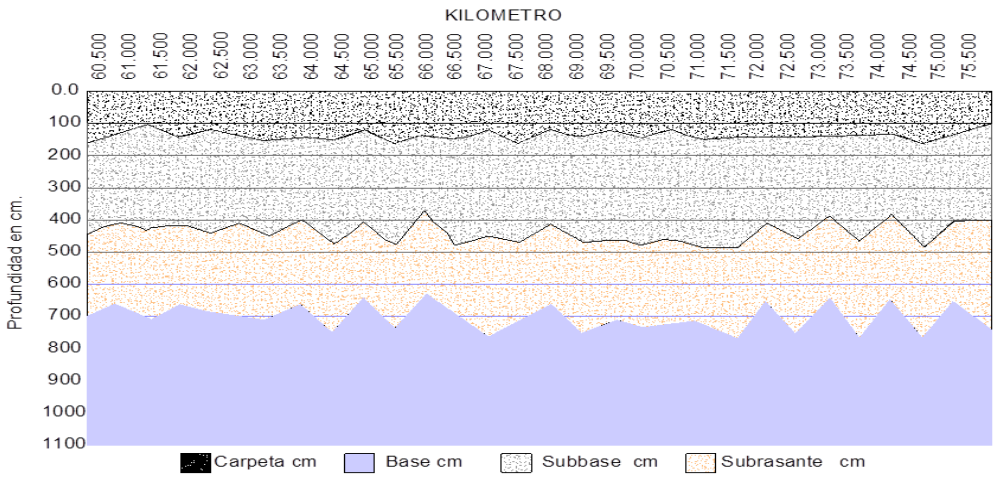


Figura 3.1.24. Gráfica de espesores de pavimento de una carretera evaluada

Delimitación de Tramos Homogéneos

Con la información obtenida y analizada de la evaluación de un pavimento, es común realizar una delimitación de tramos de la carretera en estudio, en los que se observe una tendencia de presentar un comportamiento o datos de características con valores sensiblemente similares. La información que generalmente se analiza es la siguiente:

- Deterioros de la Superficie
- Índice Internacional de Rugosidad (IRI)
- Profundidad de Rodera (PR)
- Capacidad Estructural
- Espesores de la Estructura
- Compactación y Calidad de Materiales
- Condiciones de Drenaje y Subdrenaje

La delimitación de tramos homogéneos tiene como por objeto revisar si es posible correlacionar el comportamiento del pavimento con la estructura y calidad de los materiales existentes, así como con las condiciones de drenaje y subdrenaje prevalecientes, a efecto de que si presentan características y condiciones similares, se definan opciones de conservación particulares para cada tramo delimitado.

Sin embargo, es importante considerar que las soluciones que se planteen para cada tramo delimitado, no deben ser divergentes entre cada uno de ellos y tampoco es conveniente que se apliquen a longitudes de carretera muy pequeñas. Se recomienda que se utilice un criterio para definir una longitud mínima en la delimitación de tramos homogéneos, del orden de 5 km, longitud que se estima de tamaño adecuado para definir soluciones específicas de conservación.

Análisis de Tránsito

La información del tránsito que circula por una carretera en evaluación, es otro de los parámetros importantes para atender su conservación. Los datos que son necesarios recabar para el estudio de un tramo, son los siguientes:

- Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)
- Clasificación Vehicular
- Tasa de Crecimiento Anual

La información de tránsito generalmente se puede obtener a través de la Página de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, en la sección de Datos Viales. Esta Dependencia realiza permanentemente conteos de tránsito en diversos puntos sensibles de cada una de las carreteras que conforman la red nacional de México.

La estadística de datos viales que se puede consultar en esta Página es desde el año 2004 hasta el año 2014, aclarándose que la información que se presenta en un determinado año, realmente corresponde a los conteos realizados el año anterior.

A través de un tratamiento estadístico de la información de tránsito de varios años, se determina la tasa de crecimiento anual, mientras que la clasificación vehicular y el TDPA que se aplican para el análisis estructural son los del último año, a efecto de definir las acciones de conservación con la proyección del tránsito en el horizonte del proyecto requerido.

Aunque se dispone de varios métodos para definir la tasa de crecimiento anual del tránsito en el tramo en estudio, se recomienda aplicar el "Método de Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados", porque su cálculo estadístico permite obtener resultados confiables. Por otra parte, es importante que en cada análisis se observe la tendencia de los valores de TDPA de los años que se tenga información, para considerar sólo los valores de los años consecutivos que definan un crecimiento sostenido, principalmente en los últimos años.

En la sección de Apéndices de esta Guía, se presenta un ejemplo sobre la determinación de la tasa de crecimiento del tránsito, aplicando el Método de Regresión Lineal con Mínimos Cuadrados.

En el caso de que no se tenga información disponible del tránsito para atender alguna carretera, se recurre a la realización de aforos, los cuales consisten en el conteo y clasificación de los vehículos que pasan por uno o varios puntos del tramo en estudio, durante un periodo de tiempo que no sea menor de una semana.

El conteo de vehículos y de su clasificación por tipo, durante el aforo del tránsito en un punto de la carretera en estudio, generalmente se realiza con el apoyo de un formato, el cual se incluye en la Sección de Apéndices de esta Guía. También es necesario contabilizar el tránsito diario promedio, obtenido en el periodo del aforo, para proceder a calcular el TDPA mediante ajustes con la aplicación de los factores mensual y diario.

Para determinar el TDPA con la información de un estudio de aforo, se utiliza otro formato que también se incluye en los Apéndices de esta Guía.

Para el análisis de la información del tránsito obtenida de los aforos realizados en un tramo, se aplican los criterios y procedimiento de cálculo incluidos en el capítulo Volumen de Tránsito del Libro titulado: "Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones" de los autores Rafael Cal y Mayor R. y James Cárdenas G., cuyas referencias se incluyen en la sección de Bibliografía de esta Guía.

La información del tránsito es utilizada en la aplicación de los métodos de diseño, cada uno de los cuales tiene una metodología particular para convertir los tipos de vehículos que circulan por una carretera en ejes equivalentes con un determinado peso, que con la proyección que se considere para el número de años como horizonte de proyecto, finalmente se calcula el número total de ejes equivalentes para el periodo de diseño.

Adicionalmente es conveniente señalar que actualmente el Instituto Mexicano del Transporte promueve la aplicación de un nuevo criterio para el análisis del tránsito y de su configuración para evaluar el peso de los vehículos en una carretera troncal.

El criterio está basado en obtener la información del peso real de los vehículos a través de básculas de pesaje instaladas en algún lugar de la carretera en estudio, para que con un tratamiento estadístico de las cargas, se definan los "espectros de carga".

En la Figura 3.1.25, se muestra un ejemplo de un espectro de carga, cuya aplicación se puede realizar en los métodos de diseño de pavimentos. Particularmente en la sección de Innovaciones Tecnológicas de esta Guía, se comenta un nuevo método de diseño que propone el IMT, basado en la aplicación de los espectros de carga definidos para un tramo de carretera.

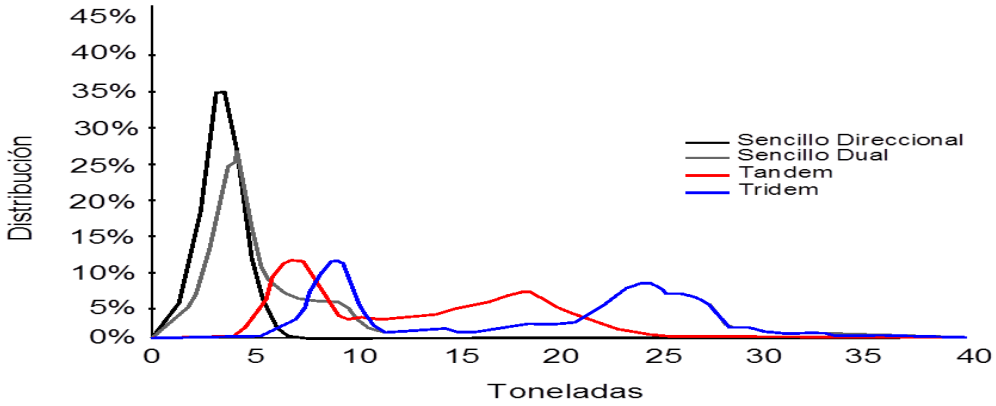


Figura 3.1.25. Ejemplo de un espectro de carga sobre los vehículos que pasan por un tramo de carretera

Análisis de las Condiciones Ambientales

Resulta muy importante la influencia que tiene el medio ambiente en el pavimento, como ya se ha comentado anteriormente, por lo que es necesario obtener las características de los fenómenos meteorológicos en el lugar en donde se ubica una carretera. La información que es útil corresponde a los aspectos siguientes:

- Clima Predominante
- Precipitación Pluvial
- Temperaturas Máxima y Mínima

Para el caso de México generalmente se recurre a la información estadística que aportan las estaciones meteorológicas y se utilizan los criterios de clasificación del clima "Köppen-Geiger".

A través de mapas regionales en donde se puede ubicar el lugar de ubicación de la carretera y consultando las Tablas de Clasificación "Köppen-Geiger" se obtienen las características climatológicas que prevalecen en un determinado lugar (Figura 3.1.26). En la sección de Apéndices de esta Guía se presentan la información para efectuar la Clasificación mencionada.

Es importante considerar los efectos del clima en la aplicación de los métodos de diseño con los que se definirán las alternativas de conservación de una carretera. Particularmente se pueden considerar soluciones de rehabilitación o de tipo de materiales para que se asegure un mejor comportamiento y la durabilidad previstos en el diseño.

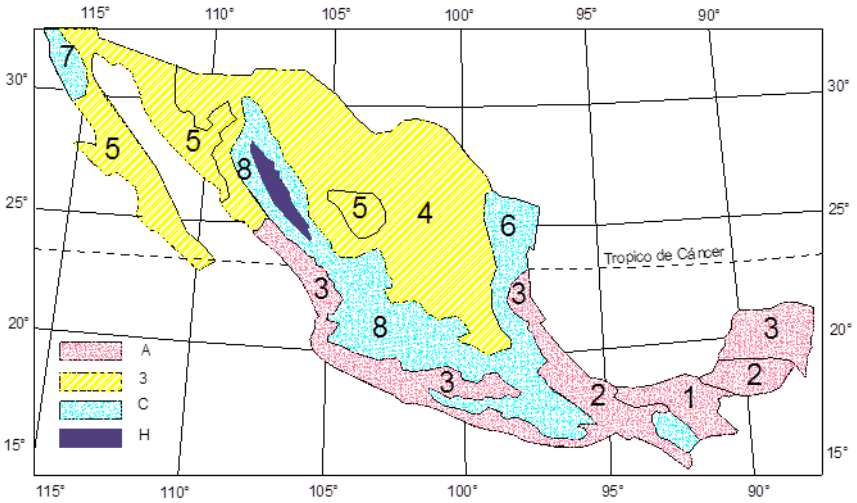


Figura 3.1.26. Mapas de regiones de México para la clasificación del clima

Definición de Opciones de Conservación

En México se dispone de una serie de soluciones técnicas para atender la conservación de las carreteras, cuya aplicación depende de las condiciones de servicio del pavimento, de la disponibilidad de equipos y materiales, así como del costo de cada solución.

Para definir la aplicación de cada una de estas técnicas, se pueden consultar las secciones incluidas en esta Guía, sobre Técnicas Tradicionales para la Conservación de Pavimentos e Innovaciones Tecnológicas, en donde se indican las ventajas y limitaciones de cada una de ellas.

En la Tabla 3.1.6 se indican de manera enunciativa las distintas opciones de conservación que se disponen para mejorar la operación del pavimento de una carretera.

Técnica de Conservación	Tipo de Conservación en el Pavimento		
	Mejoramiento Superficial	Rehabilitación	Reconstrucción
Calafateo y Sellado de Juntas	x	x	
Bacheo Superficial	x		
Bacheo Profundo		x	
Riego de Asfalto	x		
Carpeta de un Riego	x		
Carpeta de Dos o Tres Riegos	x		
Capa Asfáltica de Granulometría Densa	x	x	
Recorte o Fresado Superficial	x	x	
Renivelaciones Aisladas	x		
Capa Asfáltica de Granulometría Abierta	x	x	x
Capa Asfáltica de Alto Desempeño		x	x
Capa Asfáltica Tipo CASAA	x	x	x
Capa Asfáltica Tipo SMA	x	x	x
Mortero Asfáltico (Slurry Seal)	x	x	
Microaglomerado (Micro Surfacing)	x	x	
Reciclado Asfáltico en Planta		x	
Reciclado Asfáltico en el Lugar "In Situ"		x	
Recuperación del Pavimento con Adición de Nuevos Materiales Pétreos		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Emulsión Asfáltica		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Asfalto Espumado		x	x
Recuperación del Pavimento con Adición de Cemento Portland		x	x
Capa Delgada de Concreto Hidráulico (White Topping)		x	
Concreto Compactado con Rodillos			x
Reparación de Losas de Concreto Hidráulico		x	
Reposición de Losas de Concreto Hidráulico		x	
Inyección de Lechadas para Estabilización de Terracerías		x	x
Estabilización de la Capa subrasante con cal			x

Tabla 3.1.6. Tipos de conservación para carreteras que se disponen en México

Análisis Estructural

El análisis de un pavimento en operación, se realiza con la aplicación de diversos métodos de diseño de pavimentos, considerando el tránsito, la estructura y calidad de materiales existentes, el medio ambiente prevaleciente y las condiciones de drenaje circundantes, comentándose a continuación, de manera resumida, las particularidades de cada uno de los métodos de diseño aplicables, así como sus ventajas y limitaciones.

Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM para Pavimentos Flexibles

Este Método es el único que ha sido desarrollado en México a petición de la Secretaría de Obras Públicas (hoy SCT) y su metodología está basada en investigaciones experimentales de tramos de prueba, carreteras en servicio y pruebas de laboratorio. Fue desarrollado entre 1962 y 1980 para las condiciones típicas del país.

Es aplicable para condiciones de clima seco, subtropical y tropical, para materiales estabilizados sólo con compactación y para capas asfálticas delgadas. Considera un modelo rígido plástico y criterio de capacidad de carga de Terzaghi para deformación permanente y un modelo elástico para fracturamiento por fatiga de las capas asfálticas (Figura 3.1.27).

El tránsito (TPDA) se convierte en ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton, considerando coeficientes de daño para distintas profundidades del pavimento, proyectado al periodo de vida de diseño en años y utilizando la tasa de crecimiento anual.

Utiliza un enfoque probabilístico para estimar niveles de confianza, un cálculo analítico de los coeficientes de daño por el paso de los vehículos y analiza estructuras formadas hasta con cinco capas.

El método proporciona un análisis confiable si los datos que se utilizan en el diseño son representativas de las condiciones reales en que opera o se proyecta una carretera. Sin embargo, si alguno de los datos de diseño no son reales o son supuestos, debe esperarse que el comportamiento y la durabilidad del pavimento no sea el previsto para el periodo de vida de servicio.

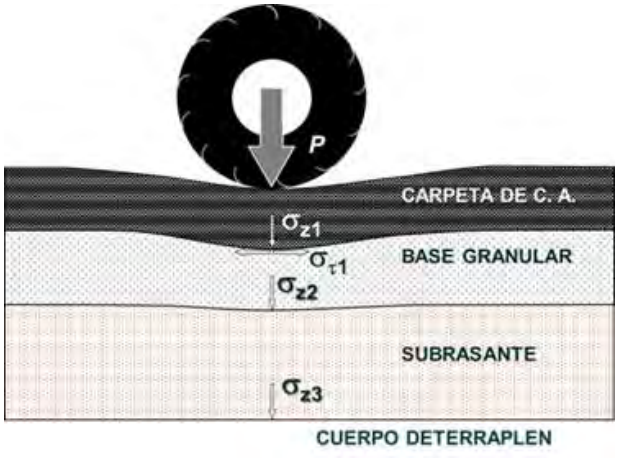


Figura 3.1.27. Esfuerzos que generan la deformación permanente y la fatiga

Una limitación de este Método es que sólo analiza capas hidráulicas y asfálticas, por lo que no puede utilizarse con capas estabilizadas con cemento Portland.

En la sección de Bibliografía de esta Guía, se incluye la fuente de consulta de este Método de diseño.

Método de la AASHTO para Pavimentos Flexibles y Semirrígidos

El actual método de la AASHTO 1993, describe con detalle los procedimientos para obtener la sección estructural de los pavimentos flexibles. Esta versión de 1993 incluye importantes modificaciones para mejorar la confiabilidad del método.

Se basa en las ecuaciones de la AASHTO de 1961 definidas con tramos de prueba a escala natural y para todo tipo de pavimentos. El diseño consiste en encontrar un número estructural SN para el pavimento flexible que pueda soportar el nivel de carga solicitado (Figura 3.1.28).

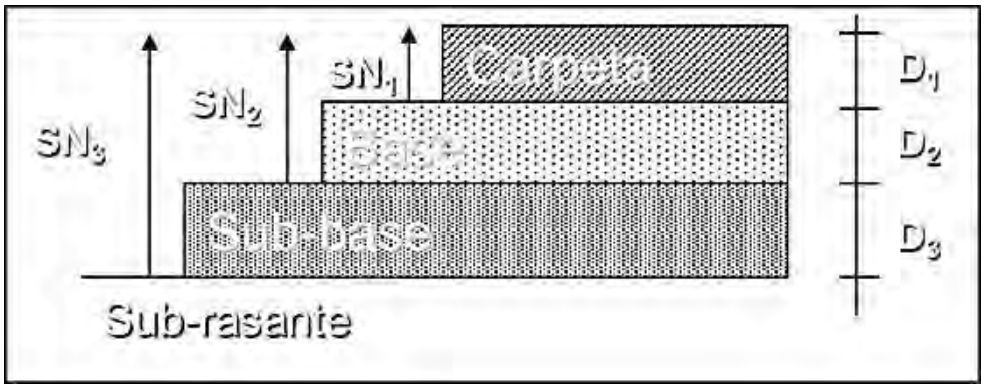


Figura 3.1.28. Concepto de número estructural de cada capa del pavimento

El tránsito pesado se convierte en ejes sencillos de 18,000 lb sin tomar en cuenta los vehículos ligeros, y debe calcularse el crecimiento del tránsito, en función de la vida útil en años y la tasa de crecimiento anual.

En el diseño se deben establecer los índices de servicio inicial y final para el periodo de vida de proyecto, denominado "pérdida de serviciabilidad", emplea el concepto de nivel de confianza, toma en cuenta los efectos del clima y de drenaje y deben considerarse las variaciones de la capa subrasante o de la capa de desplante, debido a los cambios del contenido de agua.

El diseño de la estructura del pavimento depende que el Ingeniero que lo utilice, aplique un buen criterio basado en la determinación de los parámetros reales en que trabajará el pavimento, lo cual ha sido difícil de lograr en nuestro medio, por las limitaciones técnicas, de recursos y de tiempo.

Sin embargo, se considera que la metodología AASHTO se ajusta bien a las condiciones de nuestro medio, por lo que es requerida y aceptada por las Dependencias y Organismos de carreteras de México.

Este método es aplicable tanto para pavimentos de tipo flexible como semirrígido, sin alguna limitación, salvo que el periodo mínimo de vida de diseño se establece en 20 años.

En la sección de Bibliografía de esta Guía, se incluye la fuente de consulta de este método de diseño.

Método del Instituto del Asfalto de EUA

El método publicado en 1993, presenta cambios significativos con respecto a los métodos anteriores para el diseño de pavimento asfálticos. Se basa en la teoría elástica multicapa, considera el uso de cementos o emulsiones asfálticas en parte o en toda la estructura del pavimento y considera el análisis por deformación permanente y por fatiga.

El pavimento se diseña para soportar los efectos acumulados del tránsito para cualquier periodo de tiempo (periodo de diseño), desde 1 hasta 35 años, aunque establece el criterio de que la vida útil del pavimento o "periodo de análisis" puede ser extendida indefinidamente a través de sobrecarpetas u otras acciones de rehabilitación.

El tránsito se convierte mediante factores de equivalencia de carga o de daño, para ejes sencillos, dobles o triples, con cargas desde 0.5 hasta 41 ton, a ejes equivalentes y la proyección del tránsito en el periodo de análisis se realiza aplicando factores en función del periodo de análisis y la tasa de crecimiento entre 2 y 10%. Otra alternativa válida en el método es utilizar los ejes equivalentes obtenidos con la metodología de AASHTO.

Utiliza como parámetro de resistencia de la subrasante el Módulo de Resiliencia (MR) aunque acepta la correlación con el valor de CBR. Además establece que se limite el MR en función del tránsito esperado. El método permite la utilización de capas formadas con materiales pétreos naturales (sub-base y base), siempre

que tengan la calidad y compactación requeridas. Además considera tres niveles de clima para seleccionar distintos grados de dureza en los asfaltos por utilizar.

De acuerdo con la experiencia que en México se ha obtenido en su aplicación, se estima un método que tiende a obtener estructuras robustas que no son muy usuales en el medio nacional. Una limitación del método es que está planteado para obtener estructuras de pavimento formadas principalmente con capas asfálticas (Figura 3.1.29).

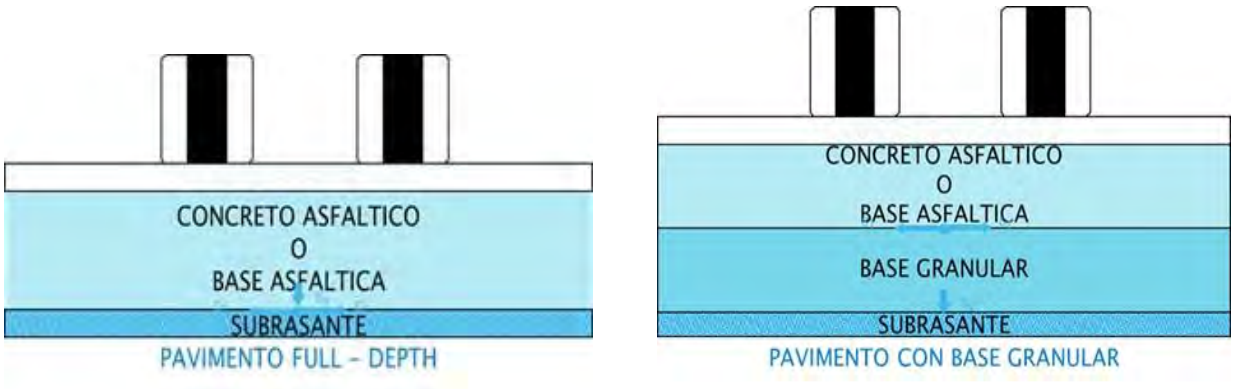


Figura 3.1.29. Estructuras de pavimento típicas del método del Instituto del Asfalto de EUA

En la sección de Bibliografía de esta Guía, se incluye la fuente de consulta de este método de diseño.

Comparación de Resultados con la Aplicación de los Métodos de Diseño de Pavimentos Flexibles

En la Tabla 3.1.7 se muestra un resumen de las secciones de pavimentos obtenidas con la aplicación de diversos métodos de diseño de pavimentos flexibles, en función de su Número Estructural Equivalente SN, en el que puede observarse que cada método presenta resultados que difieren entre los otros métodos aplicados, por lo que es importante que el Ingeniero diseñador aplique un buen criterio para definir la estructura que esté apegada a las condiciones reales del pavimento evaluado. Se aclara que el Método denominado "MOPU" en la Tabla 3.1.7, es el del Ministerio de Obras Públicas de España, el cual no se aplica en México.

TRÁNSITO	AÑOS	II UNAM	MOPU	I ASFALTO	AASHTO
Ligero	20	2.7	3.1	4.4	3.6
	30	2.9	4.7	5.0	4.1
Mediano	20	3.3	6.1	6.3	4.8
	30	3.6	6.9	6.9	5.3
Pesado	20	4.0	6.3	7.9	6.0
	30	4.3	7.2	9.2	6.6
Muy Pesado	20	4.3	7.0	8.8	6.5
	30	4.5	8.2	10.0	7.1

Tabla 3.1.7. Resumen de las secciones de pavimentos obtenidas, en función de su número estructural equivalente SN ®

Método de Diseño de la Portland Cement Asociation (PCA) para Pavimentos Rígidos

La metodología de diseño de este método está basada en el conocimiento de las teorías de pavimentos, experiencia en el comportamiento de tramos y en resultados de investigaciones diversas. El diseño considera la fatiga del pavimento y la erosión de la subbase (capa de apoyo).

Como los pavimentos rígidos trabajan principalmente a flexión, la resistencia del concreto se le conoce como Módulo de Ruptura (MR), el cual es una resistencia a la flexión a la edad de prueba de 28 días, y se recomiendan que los valores de MR estén entre 41 y 50 kg/cm^2.

Considera como parámetro de la resistencia de la sub-rasante, el Módulo de Reacción de Westergaard (k) (Figura 3.1.30), aunque es posible correlacionarla con el valor soporte de California (CBR).

Para el análisis del tránsito, sólo se consideran los vehículos pesados con al menos 6 ruedas, y para el cálculo de las repeticiones esperadas (Re) en el periodo de diseño, que como mínimo se consideran 20 años el tránsito pesado promedio diario anual, su porcentaje por cada tipo de eje, los factores por sentido y carril, el factor de crecimiento anual, y los 365 días de un año.

En el diseño se define el tipo de trasferencia de carga, el soporte lateral y el factor de seguridad de cargas, que depende de la importancia de la carretera.

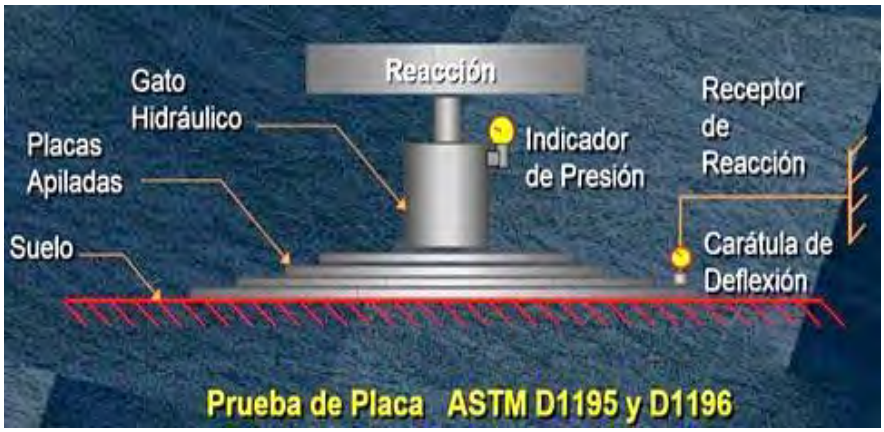


Figura 3.1.30. Ensaye para determinar el módulo de reacción de la subrasante

El procedimiento de diseño consiste en definir adecuadamente los parámetros antes citados y suponer un espesor inicial, para obtener para cuántos años y para cuánto tránsito sirve ese pavimento, y por iteraciones se busca igualar el periodo de diseño, mediante el análisis de fatiga y de erosión. Se considera que mientras más se acerquen los valores de fatiga y erosión al 100%, sin rebasarlo, el diseño del pavimento se optimiza.

En cuanto a su nivel de aplicación, se considera que esté método ha tenido mayor aceptación en México y se utiliza predominantemente para el diseño de pavimentos rígidos.

En la sección de Bibliografía de esta Guía, se incluye la fuente de consulta de este método de diseño.

Método de Diseño de la AASHTO para Pavimentos Rígidos

La AASHTO en su guía de 1993 también incluye la metodología para el diseño de pavimentos rígidos, la cual está basada en la experiencia de tramos de prueba a escala natural de 1961 y con el tiempo ha ido incorporando actualizaciones y mejoramientos en sus métodos de diseño.

Al igual que el método de la PCA, la AASHTO indica que los factores que afectan a los pavimentos rígidos son el espesor, la serviciabilidad inicial y final, el tránsito pesado, la transferencia de carga, las propiedades del concreto, la resistencia de la subrasante, el drenaje y la confiabilidad. Estos parámetros se incluyen en la ecuación de diseño (Figura 3.1.31).



Figura 3.1.31. Parámetros que incluye la ecuación de diseño de la AASHTO para pavimentos rígidos

En un pavimento rígido, la respuesta del pavimento es diferente y por lo tanto, son diferentes el factor de equivalencia de carga y el número de ejes equivalente. Es decir, el efecto de daño de un eje específico en la serviciabilidad del pavimento, comparado con el efecto producido por un eje de 8.2 ton, cambia con el tipo de pavimento, el espesor y la serviciabilidad final.

Por tanto, los factores de equivalencia de carga se pueden basar en los esfuerzos equivalentes, la deflexión equivalente y en la pérdida de serviciabilidad.

En el procedimiento de diseño se define un factor por carril, el tipo de transferencia de carga, el módulo de elasticidad y el módulo de ruptura del concreto, recomendándose un valor de MR de 48 kg/cm^2, el módulo de reacción de la subrasante que puede correlacionarse con el CBR, los coeficientes de drenaje en función de las condiciones prevalecientes en el lugar y la confiabilidad, en función de la probabilidad de que el pavimento llegue a su vida útil.

A manera de resumen, puede comentarse que se dispone en México de diversos métodos de diseño de pavimentos, que son razonablemente confiables para su aplicación en el análisis estructural, con objeto de definir las opciones de conservación de las carreteras.

La recomendación indispensable para lograr resultados confiables, es que el proyectista determine las condiciones reales del funcionamiento del pavimento, como son la resistencia crítica de la subrasante, las condiciones de drenaje, el clima prevaleciente, el tránsito representativo, la estructura y calidad del pavimento, así como definir con buen criterio el factor de confiabilidad para poder lograr el comportamiento y la durabilidad de los trabajos por ejecutar.

Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos para las Carreteras de la República Mexicana

A partir de 2013, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes dispone de un Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos, que fue elaborado bajo la iniciativa de la Dirección General de Técnicos, considerando diversos parámetros de calidad y resistencia de suelos y materiales, así como diferentes niveles de tránsito y condiciones regionales de clima, para México.

El Catálogo de secciones estructurales para pavimentos debe ser considerado como una guía rápida de consulta para revisar de manera sencilla las soluciones de conservación de pavimentos que fueron seleccionadas en la

etapa de aplicación de los métodos de diseño, recomendándose que los interesados se familiaricen con este documento técnico para que puedan efectuar una comparación objetiva de las soluciones obtenidas.

El Catálogo incluye las estructuras típicas que son aplicables en México, tanto de pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, y las secciones estructurales de pavimento que presente este documento, no deben considerarse por encima del diseño que se realice en un estudio específico de un tramo carretero.

En la sección de Bibliografía de esta Guía, se incluye la referencia técnica de este Catálogo de Secciones Estructurales de Pavimentos, para su consulta.

Análisis de Costos de Alternativas

Es importante que se realice un análisis de precios lo más actualizado posible, de las alternativas de conservación que se hayan definido para el pavimento de una carretera. Generalmente a través de este análisis comparativo de costos, se puede seleccionar la opción de conservación que resulte más conveniente, siempre y cuando todas las alternativas se encuentren en condiciones similares para resolver las deficiencias del pavimento en estudio y para alcanzar el mismo periodo de servicio.

En cada caso específico de análisis de costos, se debe realizar un estudio de mercado y tomar en cuenta el costo real de los materiales específicos por utilizar y de sus distancias de acarreo, el costo de la aplicación del equipo específico seleccionado y las condiciones socioeconómicas prevalecientes del lugar de aplicación.

En el caso de que las soluciones correspondan a un mejoramiento superficial del pavimento, para resolver deficiencias de tipo funcional, es usual que a través de la comparación de costos de las alternativas se seleccione la que resulte más económica, procediendo a realizar la propuesta correspondiente a la Dependencia responsable. Una vez que se acepte la alternativa seleccionada, se procede a la formulación del Dictamen Técnico correspondiente, en donde se incluyen los documentos técnicos que le permitirán a la Dependencia licitar y contratar su ejecución.

En el caso de que las acciones de conservación correspondan a una rehabilitación o a una reconstrucción, el análisis de costos no es suficiente para seleccionar la alternativa más conveniente, por lo que adicionalmente es necesario realizar un análisis de costo-beneficio, además de que se debe integrar un proyecto para poder llevar a la práctica la solución seleccionada y aprobada.

Análisis de Costo-Beneficio de las Alternativas de Conservación

Una vez que se han definido las alternativas de conservación para el pavimento que se evalúa, se realiza una valoración técnica-económica de cada una de ellas, seleccionando aquella que resulte más conveniente y proponiéndola a la Dependencia responsable, a efecto de que determine si la alternativa seleccionada es procedente para continuar con la ejecución del proyecto correspondiente.

Los aspectos de interés en este análisis, para cada una de las alternativas definidas, son los costos de ejecución, la disponibilidad de equipo y materiales, la confiabilidad de alcanzar el periodo de vida del proyecto, las estrategias de mantenimiento a lo largo de su vida útil, el costo de operación estimado y el costo o beneficio que se espera para los usuarios. La comparación de los aspectos de las alternativas definidas, permite distinguir la opción de conservación que presente los mayores beneficios.

Actualmente este análisis se realiza con una de las aplicaciones del Sistema denominado HDM-4, describiéndose a continuación los aspectos de interés de este sistema.

El HDM-4 es un conjunto de herramientas para el análisis técnico y económico de alternativas de inversión relacionadas con la conservación y mejoramiento de carreteras; estas herramientas se encuentran integradas en un programa de cómputo desarrollado por la Universidad de Birmingham, como producto principal del Estudio Internacional sobre Desarrollo y Gestión de Carreteras (ISOHDM por las siglas de International Study of Highway Development and Management).

Los beneficios económicos de las opciones evaluadas se determinan mediante la comparación de los flujos de costos de las medidas analizadas con la alternativa base (opción de “no hacer nada” o de “hacer lo mínimo

posible"). En general, la mayor parte de los beneficios generados por las medidas evaluadas corresponden a la reducción en los costos de operación vehicular con respecto al caso base.

De acuerdo con la Guía de Aplicación del HDM-4, el análisis por tramos (o proyectos) consiste en la evaluación de uno o más tramos de carretera u opciones de inversión. Para tal efecto, se analiza un tramo de carretera con las medidas seleccionadas por el proyectista, a partir de los costos y beneficios asociados, los cuales son pronosticados anualmente durante el período de análisis. Se determinan los indicadores económicos para las diferentes opciones de solución. El análisis de tramos se utiliza para establecer la factibilidad económica o técnica de la inversión en mejoras a los caminos al considerar los aspectos siguientes:

- Comportamiento estructural del pavimento.
- Predicciones del ciclo de vida para el deterioro del camino, los efectos que tendrá el esquema seleccionado de conservación y para los costos.
- Costos y beneficios para el usuario del camino.
- Comparaciones económicas entre las opciones evaluadas.

Se lleva a cabo un análisis costo beneficio financiero, con objeto de evaluar la viabilidad de cada una de las propuestas de rehabilitación del pavimento y para determinar cuál es la más viable económicamente entre ellas. Para realizar dicho análisis se definen a continuación los conceptos de aplicación:

- **Tasa de Actualización o Descuento.** Se utiliza para expresar las transacciones que ocurren en el futuro a precios actuales, considerando la pérdida del valor de oportunidad del dinero en el tiempo.
- **Alternativa Base.** Es la alternativa contra la cual se comparan las distintas opciones de inversión. Normalmente corresponde a estándares de conservación mínima o rutinaria.
- **Valor Presente Neto (VPN).** Es una medida del Beneficio que rinde un proyecto de Inversión a través de toda su vida útil. Si VPN > 0 el proyecto es rentable. A mayor VPN mayor rentabilidad.
- **Tasa Interna de Retorno (TIR).** Es la tasa que iguala el valor presente neto a cero. El proyecto es rentable si la TIR es mayor que la tasa de actualización.
- **Relación Costo-Beneficio.** Es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a un fin determinado. Elimina la sensibilidad del VPN al tamaño del proyecto.

El estudio de costo-beneficio sobre las opciones de conservación de un pavimento, requiere de la valoración de diversos parámetros y de la predicción de las estrategias de mantenimiento de cada una de las opciones a comparar, para finalmente seleccionar la más conveniente, con base en los resultados obtenidos en este tipo de estudio.

En la Tabla 3.1.8 se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos en un estudio de costo-beneficio realizado para definir la conservación del pavimento de una carretera.

Unidad monetaria: Peso Mexicano (Millones)

Tasa de actualización: 8.00%

Sensibilidad: Base Sensitivity Scenario

La otra entre paréntesis es el número de residuos para la TR en un rango de -90 a 900

Alternativa	Valores presente de los costos locales de la agencia (RAC)	Valores presente de los costos locales de la agencia (CAP)	Incremento en costos de la agencia (C)	Incremento en costos de la agencia (B)	Beneficios exógenos pesos (E)	Valor presente neto (VPN = B + E + C)	Relación VPN costos (VPN RAC)	Relación VPN costos (VPN CAP)	Tasa interna de retorno (TR)
Alternativa Base	42.133	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
OPCIÓN 1	540.240	503.447	498.112	4,099.753	0.000	3,601.64	6.637	7.114	3.24 (1)
OPCIÓN 2	643.010	600.218	600.883	4,102.067	0.000	3,501.18	5.445	5.775	31.0 (1)
OPCIÓN 3	543.234	505.435	501.101	4,108.383	0.000	3607.282	5.540	7.123	31.1 (1)

Tabla 3.1.8. Ejemplo de resultados de un estudio de costo beneficio

Herramienta de Apoyo para la Selección de Tratamientos Superficiales de Conservación

Con la finalidad de apoyar en la selección de los tratamientos de mejoramiento superficial de conservación de pavimentos, la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. (AMIVTAC) cuenta con una herramienta opcional que se puede utilizar en los dictámenes técnicos y en los proyectos de conservación, para la selección adecuada de un tratamiento superficial específico, principalmente en capas de rodadura y protección del pavimento, bajo las siguientes consideraciones:

- Características del pavimento. Calidad funcional del pavimento. Incluye los parámetros de servicio que se utilizan actualmente en cada caso, su descripción, causas y posible solución.

- Fallas superficiales del pavimento. Se mencionan las principales fallas superficiales de los pavimentos flexibles con sus correspondientes descripciones y niveles de deterioro.

- Parámetros adicionales. Resistencia al acuaplaneo, reducción del nivel de ruido, procesos constructivos de menor afectación al usuario y mejoramiento del IRI, que son muy importantes para el confort y seguridad del usuario, por lo que son incorporados dentro de la herramienta para que se utilice en la toma de decisiones. Se incluye su descripción y su relación con los tratamientos que los corrigen o mejoran.

- Parámetros como vida útil y costos de referencia de los tratamientos, también se incluyen y pueden ser ajustados por el usuario para las condiciones específicas de cada proyecto.

Como resultado, la herramienta de apoyo selecciona las tres alternativas de mejor relación costo-beneficio, con base en los parámetros antes mencionados y los costos de las reparaciones en el pavimento, previas al tratamiento, cuando se requieran.

La selección de la mejor alternativa es decisión del proyectista, proponiendo la que mejor se adapte a las necesidades de mantenimiento de la obra vial.

La herramienta informática de la AMIVTAC está disponible para su uso en los sitios de Internet de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT y de la Asociación citada.

En el **Apéndice 3.1.2** de esta Guía se incluye el Manual del Usuario de la herramienta de apoyo para la selección y propuesta de una alternativa de conservación superficial de pavimentos.

Dictamen Técnico

Como ya se comentó al inicio de esta sección, la formulación de un Dictamen Técnico es usual para el caso de que las acciones de conservación correspondan a un mejoramiento superficial del pavimento, en el que sólo se requiera resolver alguna o algunas deficiencias de tipo funcional.

El Dictamen Técnico le permite a la Dependencia responsable justificar la inversión que se aplicará en un tramo de carretera determinado, así como también le permite disponer de los elementos necesarios para que pueda proceder a la licitación y contratación de los trabajos correspondientes.

Los documentos técnicos que se adjuntan en un Dictamen Técnico, generalmente son los siguientes:

- Descripción Ejecutiva de la Evaluación y Estudios Realizados
- Descripción de las Alternativas de Mejoramiento y de la Solución Seleccionada
- Procedimiento de Ejecución
- Especificaciones Particulares
- Volúmenes de Trabajo
- Catálogo de Conceptos
- Presupuesto Base
- Planos Topográficos del Alineamiento Horizontal y Vertical del Tramo en Estudio
- Señalamiento de Protección de Obra

En el inciso siguiente sobre Proyecto, se comenta el contenido de estos documentos, que son aplicables tanto para los Dictámenes Técnicos como para Proyectos.

Proyecto

La etapa del proyecto para conservación de pavimentos abarca diversos aspectos que son muy específicos del tipo, importancia y longitud de la carretera que se atiende, así como del tipo de conservación por realizar.

Como puede observarse en la Tabla 3.1.2 incluida al inicio de esta sección, de manera enunciativa se indican 24 trabajos diversos para atender una rehabilitación, mientras que se enuncian 30 trabajos, si se trata de una reconstrucción.

Particularmente sobre los trabajos que se aplican directamente en el pavimento, a continuación se comentan los criterios y procedimientos que se aplican para definir los bancos de materiales y el diseño de mezclas. Por lo que respecta a los otros trabajos que forman parte del proyecto, sobre procedimiento de ejecución, especificaciones particulares, volúmenes de trabajo, catálogo de conceptos y presupuesto base, se comentan los aspectos generales sobre el contenido de cada documento.

También es conveniente señalar que en otras secciones respectivas de esta Guía, se tratan los trabajos del proyecto que tienen que ver con el mejoramiento del drenaje y subdrenaje, así como con el proyecto de señalamiento horizontal, vertical y de protección de obra.

Bancos de Materiales

Aunque el cumplimiento de la calidad de materiales que se establece en un proyecto, le corresponde a la empresa Contratista encargada de la ejecución de los trabajos de conservación de un pavimento, ha sido costumbre que en la etapa de proyecto se estudien y definan las fuentes de suministro de suelos y materiales pétreos que será necesario utilizar y cuyos requisitos de calidad se señalan en el procedimiento de ejecución y en las especificaciones particulares.

Esto tiene por objeto orientar a las empresas participantes en el proceso de licitación de los trabajos, sobre los materiales disponibles cercanos a la obra, las distancias de acarreo que es posible considerar y el o los tratamientos que pudieran requerir los materiales para el cumplimiento de la calidad, a efecto de que sus propuestas económicas sean consistentes con las condiciones del proyecto y la disponibilidad de materiales.

Generalmente la definición de bancos, en esta etapa, se realiza apoyándose en bancos de materiales abiertos que están siendo explotados para otras obras o de bancos que fueron utilizados anteriormente y que disponen de volúmenes de material aprovechables. El Inventario de Bancos de Materiales que dispone la SCT, es una fuente de información útil para estudiar y seleccionar los bancos para una obra, a nivel de proyecto.

El estudio de un banco de material pétreo para ser seleccionado en un proyecto, comprende el procedimiento que se describe a continuación de manera resumida:

a) Recabar información diversa sobre el banco que se estudia, que generalmente es la siguiente: el nombre que se le conoce, la ubicación con relación al tramo por conservar, el tipo de material y tratamientos que usualmente se aplican para mejorar su calidad, la accesibilidad, los usos que se le ha dado al material, la facilidad de explotación, las condiciones de drenaje, el volumen potencialmente aprovechable y las restricciones ecológicas.

b) Tomar muestras de diversos frentes del banco, conforme se señala en la Normativa SCT relativa a la calidad de materiales de diversos usos, con objeto de que estas muestras sean representativas del material existente en el banco.

c) Determinar las características de calidad de los materiales muestreados, en el laboratorio, que sean aplicables al uso al que se pretende destinar, y revisar si cumplen con lo indicado en el procedimiento de ejecución o en las especificaciones particulares.

d) En el caso de cumplimiento de la calidad requerida, definir los coeficientes de variación volumétrica del material de banco, para fines de extracción y pago.

e) En el caso de falta de cumplimiento de la calidad requerida, definir el o los tratamientos que conviene aplicar para mejorar la calidad del material estudiado. También conviene definir la posibilidad de que el material cumpla la calidad requerida, con la mezcla de materiales de otro banco o con la adición de aditivos.

f) Formular un croquis de ubicación del banco seleccionado y los informes de la calidad en que se compare con los requisitos de proyecto, indicando toda la información determinada y recabada. En la Sección de Apéndices de esta Guía, se incluyen los ejemplos de formatos típicos que se utilizan para los bancos de materiales que se proponen en un proyecto.

Diseño de Mezclas

En algunos proyectos especiales y particularmente para la estabilización de las capas existentes del pavimento y para la capa de rodadura, se requiere determinar los parámetros de diseño o de desempeño de los materiales que se utilizarán mezclados con otros materiales o aditivos.

El objeto del diseño de mezclas en esta etapa, es definir los valores de desempeño que se indicarán en las especificaciones particulares del proyecto.

A nivel laboratorio se realiza el diseño de mezclas, utilizando los materiales muestreados que sean representativos del material pétreo existente en la o las capas del pavimento, así como de los bancos previamente seleccionados.

Generalmente el diseño se realiza variando las proporciones de materiales o aditivos, con objeto de conocer la tendencia de su desempeño o comportamiento mecánico. El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas

de diseño, permite delimitar los porcentajes que son convenientes para asegurar el comportamiento esperado y que en muchas ocasiones es definido durante la aplicación del diseño del pavimento.

Una vez definido las proporciones y los parámetros del diseño, se formulan los informes de calidad de los materiales mezclados y se incorporan los parámetros de aceptación en las especificaciones particulares del proyecto.

En las secciones de esta Guía, en donde se describen las técnicas de conservación de pavimentos, se comenta con mayor detalle el procedimiento de diseño de materiales que se requiere para definir las proporciones y los parámetros de comportamiento de la mezcla correspondiente a cada técnica por aplicar.

Procedimiento de Ejecución

En este documento se indica el equipo y tipo de materiales por utilizar, haciendo referencia a las normas e incisos que traten la construcción y la calidad de los materiales por utilizar, que estén contenidos en la Normativa SCT, a efecto de que se conviertan en Especificaciones Particulares, así como también se describe de manera detallada y ordenada cada uno de los pasos y cuidados para realizar el trabajo de mejoramiento del pavimento.

Es importante que en el Procedimiento de Ejecución se haga referencia a aquellos incisos y Títulos de la Normativa SCT, que servirán como especificaciones de construcción y de calidad de materiales y acabados, para el cumplimiento y la aceptación de los trabajos de conservación del pavimento.

Especificaciones Particulares

Se deben describir en este documento, el equipo y procedimiento de construcción, así como las características y requisitos de calidad de aquellos materiales que no estén contemplados en la Normativa SCT o que sean de una aplicación inusual o que correspondan a una técnica considerada como innovación tecnológica.

La descripción detallada de una técnica considerada como Especial o Particular, permitirá a la Dependencia definir el costo y las características de evaluación para la licitación de los trabajos correspondientes y al constructor, le permitirá lograr una ejecución apegada a las condiciones del desempeño establecidas en el diseño de la nueva estructura del pavimento por conservar.

Volúmenes de Trabajo

Se deben calcular los volúmenes de materiales y de trabajo que se realizarán en la ejecución de la alternativa seleccionada para atender el mejoramiento superficial del pavimento, considerando que es usual indicar los volúmenes de materiales ya colocados y los trabajos ejecutados en la obra.

Catálogo de Conceptos

Se incluye la información ordenada de los conceptos sobre los trabajos que se ejecutan en el mejoramiento del pavimento, así como los volúmenes de materiales y de trabajo, para que durante el proceso de licitación que convoque la Dependencia, las empresas participantes puedan presentar de manera desglosada el importe económico que propongan para cada concepto. Es común que el formato que se utilice para indicar los conceptos, lo proporcione la propia Dependencia responsable.

Presupuesto Base

En este documento se presenta el desglose de los costos que se hayan estimado para cada uno de los conceptos que conforman el Catálogo, así como el costo total, a efecto que este presupuesto le sirva a la Dependencia para programar la inversión que se requiere, así como una referencia para la comparación de las propuestas económicas de las empresas participantes en el proceso de licitación.

Formulación de Planos Tipo de Secciones y de Perfiles de la Nueva Rasante

Cuando la Dependencia responsable aprueba la solución de conservación aplicable al tramo en estudio, se procede a formular los ajustes en los planos tipo y en las secciones transversales obtenidos en el levantamiento topográfico, a efecto de que se formulen los documentos de referencia para la ejecución de los trabajos de conservación del pavimento.

Los planos que generalmente se formulan para integrarse al proyecto son los siguientes:

- Planta General Escala 1:2000
- Sección Tipo
- Sección Estructural
- Perfil de la Nueva Rasante
- Secciones Transversales con la Ubicación de la Nueva Rasante

A través de las Secciones Transversales se cuantifican los volúmenes de materiales que se requerirán para los trabajos de conservación por ejecutar, mismos que se consignan en los documentos del proyecto antes enunciados.

3.2 DRENAJE Y SUBDRENAJE

Se denomina drenaje a la captación, conducción y desalojo del agua superficial y del subsuelo por medios naturales o artificiales.

El drenaje y subdrenaje son indispensables para el correcto funcionamiento de la carretera, ya que su objetivo principal es protegerla, asegurando que los elementos del drenaje o subdrenaje se encuentren libres de obstáculos y no sean alteradas sus secciones transversales ni su pendiente.

Drenaje Superficial. Conjunto de obras destinadas a la recogida de las aguas pluviales o de deshielo, su canalización y evacuación a los cauces naturales, sistemas de alcantarillado o a la capa freática del terreno.

Drenaje Subterráneo. Su misión es impedir el acceso del agua a capas superiores de la carretera, especialmente al firme, por lo que debe controlar el nivel freático del terreno y los posibles acuíferos y corrientes subterráneas existentes. Emplea diversos tipos de drenes subterráneos, arquetas y tuberías de desagüe.

Así bien por su disposición geométrica con respecto al eje de la vía: (Tabla 3.2.1).

Drenaje Longitudinal. Canaliza las aguas caídas sobre la plataforma y taludes de la explanación de forma paralela a la calzada, restituyéndolas a sus cauces naturales. Para ello se emplean elementos como las cunetas, caces, colectores, sumideros, arquetas y bajantes.

Drenaje Transversal. Permite el paso del agua a través de los cauces naturales bloqueados por la infraestructura viaria, de forma que no se produzcan destrozos en esta última. Comprende pequeñas y grandes obras de paso, como puentes o viaductos.

Los elementos que conforman el drenaje y subdrenaje son los siguientes:

a) Puentes y Alcantarillas
b) Cunetas
c) Vados
d) Tubos y Tubos Perforados
e) Bombeo
f) Contracunetas
g) Lavaderos
h) Canales Naturales
i) Bordillos

TIPO DE DRENAJE	DRENAJE SUPERFICIAL		DRENAJE SUBTERRÁNEO	
	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	LONGITUDINAL
Puentes		X		
Alcantarilla	X			
Cunetas		X		
Vados	X			
Tubos Lisos y Tubos Perforados			X	X
Bombeo	X			
Contracunetas		X		
Lavaderos	X			
Canales Naturales	X	X	X	X
Bordillo		X		

Tabla 3.2.1. Comparativa entre drenaje y subterráneo

a) Puentes y Alcantarillas

Son estructuras destinadas a salvar obstáculos naturales, como ríos, valles, lagos o brazos de mar; y obstáculos artificiales, como vías férreas o carreteras, con el fin de unir caminos de viajeros, animales y mercancías. Para claros mayores de 6 metros se utilizan puentes, mientras que en claros menores se utilizan alcantarillas, que pueden ser a base de tubos, bóvedas, losas o cajones.

Un puente está formado por estribos, pilas o apoyos centrales, cimientos, que forman la base de ambos. Suele llamarse a los puentes obras de drenaje mayor y a las alcantarillas de drenaje menor.



Figura 3.2.1. Puente

La adecuada elección de la ubicación, alineación y pendiente de una alcantarilla es importante, ya que de ella depende su comportamiento hidráulico, los costos de construcción y mantenimiento, la estabilidad hidráulica de la corriente natural y la seguridad de la carretera.



Figura 3.2.2. Alcantarilla de tubo



Figura 3.2.3. Alcantarilla de losa

En general, se obtendrá la mejor ubicación de una alcantarilla cuando ésta se proyecta siguiendo la alineación y pendiente del cauce natural, ya que existe un balance de factores, tales como la pendiente del cauce, la velocidad del agua y su capacidad de transportar materiales en suspensión y arrastre de fondo. Cuando se cambia cualquiera de estos factores es necesario compensar con cambios en otro de ellos. Por ejemplo, si se acorta un canal largo, se aumenta la pendiente y como consecuencia, aumenta la velocidad. Un aumento en la velocidad tiene como efecto secundario problemas de erosión, que agrandan la sección hasta que las pérdidas por fricción compensan el aumento de pendiente y reducen la velocidad hasta límites bajo aquellos que producen erosión. En un caso como el expuesto o en general para prevenir la erosión se puede revestir el cauce, o darle al canal una forma tal que reduzca la velocidad, debido al aumento de la rugosidad.

Ubicación en Planta

Desde el punto de vista económico el reemplazo de la ubicación natural del cauce por otra normal o casi normal al eje del camino, implica la disminución del largo del conducto, el acondicionamiento del cauce y la construcción adicional de un canal de entrada y/o de salida. Las distintas soluciones que podrían darse en el caso general, de un cauce con fuerte esviaje aparecen en la Figura 3.2.5.



Figura 3.2.4. Alcantarilla de cajón

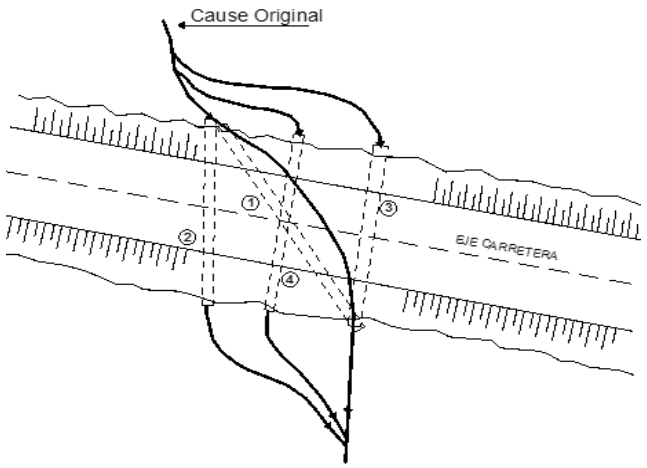


Figura 3.2.5. Cauces con fuerte esviaje respecto del eje del camino

Caso 1. Se conserva la entrada y la salida del canal natural. Esta solución de la longitud máxima de alcantarilla colocando la alcantarilla ligeramente a un lado del canal natural se puede obtener por lo general una mejor función, siendo necesario desviar la corriente.

Caso 2. La entrada se coloca en el canal natural y la salida se desplaza para tener una alcantarilla casi normal al eje de la carretera. Como en este caso se ha alargado la línea de flujo, esto será a costa de reducir la pendiente. Las estructuras de entrada y salida y la alineación del canal deben hacerse a modo de minimizar los efectos de cambios bruscos de dirección. Ello podría aumentar la sección de la alcantarilla comparada con la de la solución anterior. En el efecto será necesario considerar estructuras especiales en la entrada y salida, la construcción del canal a la salida y su mantención.

Caso 3. Se ha desplazado la entrada de modo que la salida descargue directamente en el canal natural. El canal de acercamiento a la alcantarilla debe tener una buena alineación con ella para necesitar una entrada o salida especial. El tamaño de la alcantarilla puede ser influenciado por el hecho que al aumentar la longitud de flujo debe reducirse la pendiente. Habrá costos adicionales por construcción y mantención del canal, un posible mayor diámetro y protección del terraplén en la entrada.

Caso 4. En este caso se ha desplazado, tanto la entrada como la salida. No se obtiene un mejoramiento hidráulico con esta solución y sólo conviene usarla cuando hay restricciones de espacio para otras soluciones. En este caso se requieren estructuras especiales de entrada y de salida de canales de acercamiento en los dos extremos, los que deben considerarse en el costo, además de una posible mayor sección de la alcantarilla debido a la disminución de la pendiente.

Perfil Longitudinal

La mayoría de las alcantarillas se colocan siguiendo la pendiente natural del cauce, sin embargo, en ciertos casos puede resultar aconsejable alterar la situación existente. Estas modificaciones de pendiente pueden usarse para disminuir la erosión en el o en los tubos de la alcantarilla, inducir el depósito de sedimentos, mejorar las condiciones hidráulicas, acortar las alcantarillas o reducir los requerimientos estructurales. Sin embargo, las alteraciones de la pendiente deben ser estudiadas en forma cuidadosa de tal modo de no producir efectos indeseables.

En la Figuras 3.2.6 a la 3.2.10, se indican los perfiles longitudinales de alcantarillas más usuales, con sus respectivas estructuras especiales de salida o de entrada.

En general, al cambiar la pendiente en cada uno de estos casos, debe tenerse especial cuidado que el terreno de cimentación de la alcantarilla no permita asentamientos, debiendo ser terreno natural firme o relleno estructural

debidamente compactado, en caso contrario las fuerzas de corte causadas por el asentamiento de terraplenes importantes, pueden causar el colapso total de la estructura.

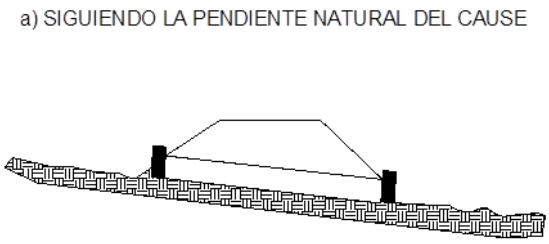


Figura 3.2.6. Pendiente del cauce

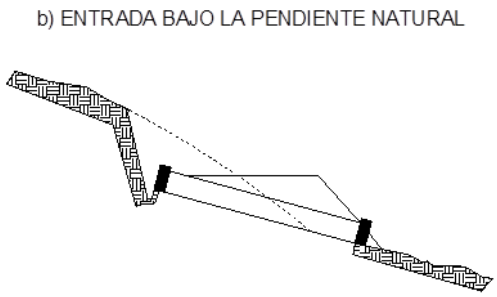


Figura 3.2.7. Pendiente entrada baja

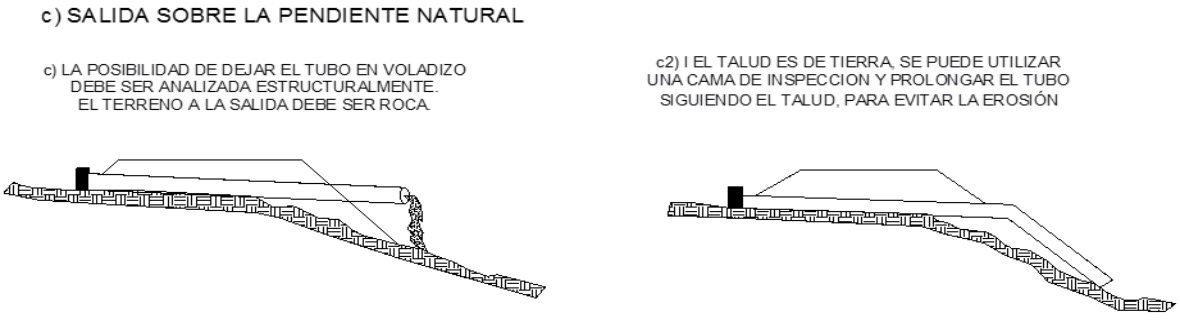


Figura 3.2.8. Pendiente tubo de voladizo

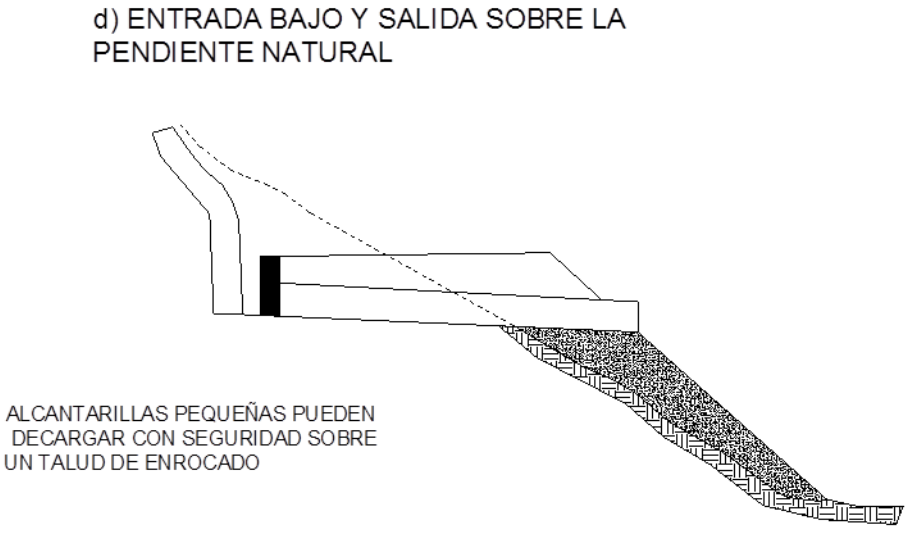


Figura 3.2.9. Entrada bajo y salida

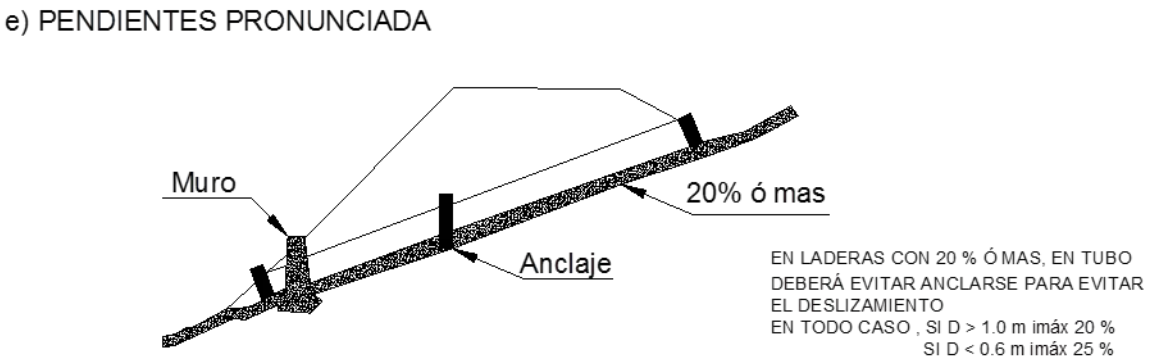


Figura 3.2.10. Pendientes pronunciadas

b)Cunetas

Las cunetas son zanjas que se hacen en uno o ambos lados del camino, con el propósito de conducir las aguas provenientes de la corona y lugares adyacentes hacia un lugar determinado, donde no provoque daños, su diseño se basa en los principios de los canales abiertos. Estas obras de drenaje se pueden presentar en dos tipos: en cortes en balcón donde hay cuneta en un solo lado y en cortes en cajón, donde hay cuneta en ambos lados, Figuras 3.2.11 y 3.2.12.

La cuneta se dispone en el extremo del acotamiento, en contacto inmediato con el corte. Su situación le permite recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud y los del área comprendida entre el coronamiento del corte y la contracuneta, si la hubiere o el terreno natural aguas arriba del corte, si no hay contracunetas. También la cuneta puede recibir agua que haya caído sobre la corona de la vía, cuando la pendiente transversal de ésta tenga la inclinación apropiada para ello.

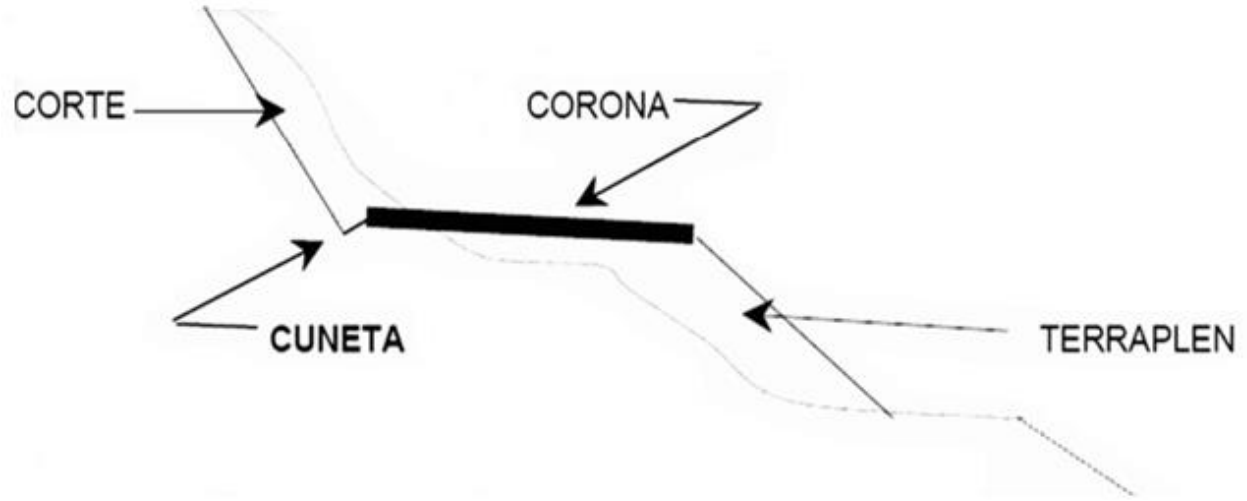


Figura 3.2.11. Cunetas

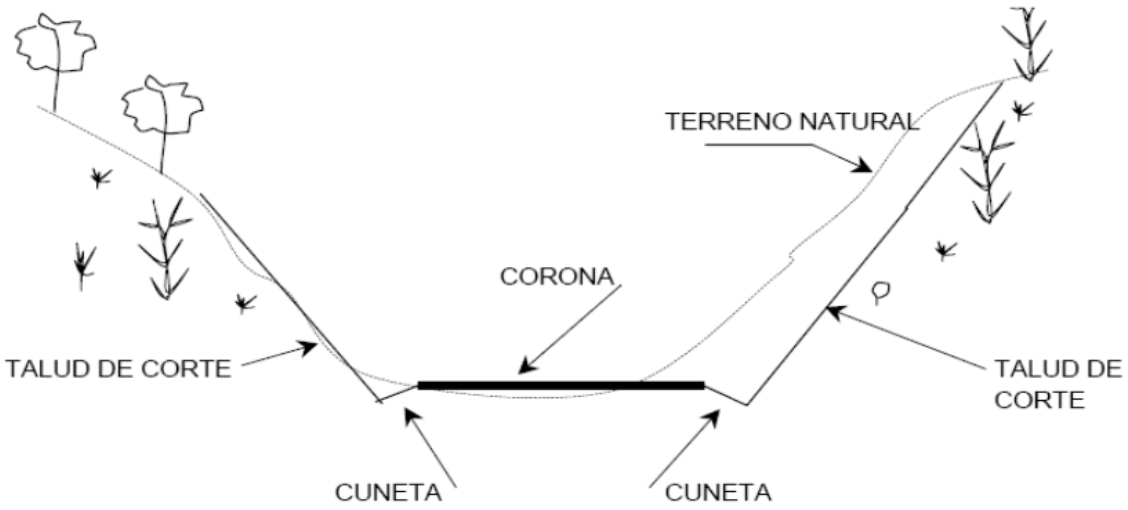


Figura 3.2.12. Cunetas

c) Vados

Son estructuras muy pegadas al terreno natural, generalmente losas a piso; tienen ventajas en cauces amplios con tirantes pequeños y régimen torrencial por corto tiempo. Figura 3.2.13.

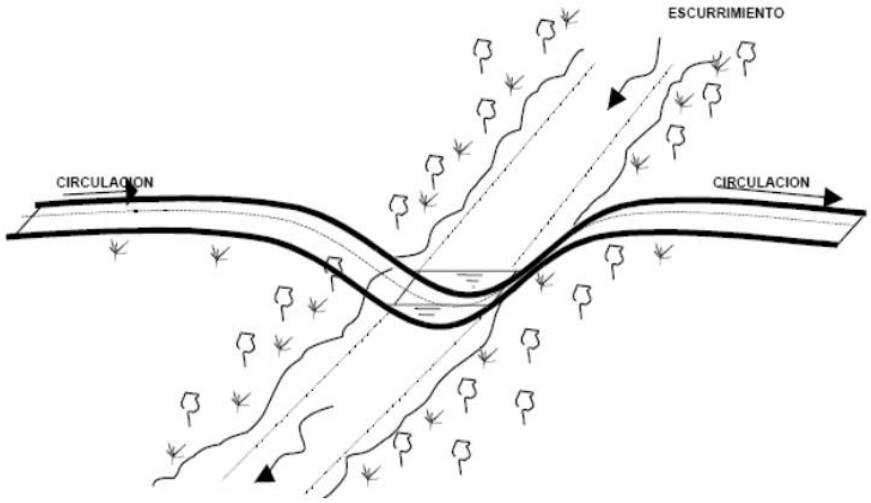


Figura 3.2.13. Vados

d) Tubos y Tubos Perforados

Son elementos de solución para el drenaje que van implementados bajo las terracerías de la carretera que se va a construir. Existen varios tipos de tubo, como los de lámina corrugada, tubos de sección circular con doble capa de cemento asfáltico, tubos de concreto y tubos desarmables intercambiables. El tubo va colocado transversalmente al camino y permite la continuidad del caudal existente, si está correctamente calculado. El

diámetro del tubo depende del gasto que se genere por el escurrimiento natural, el que puede variar entre 0.45 cm y 1.50 cm de diámetro regularmente, Figura 3.2.14.

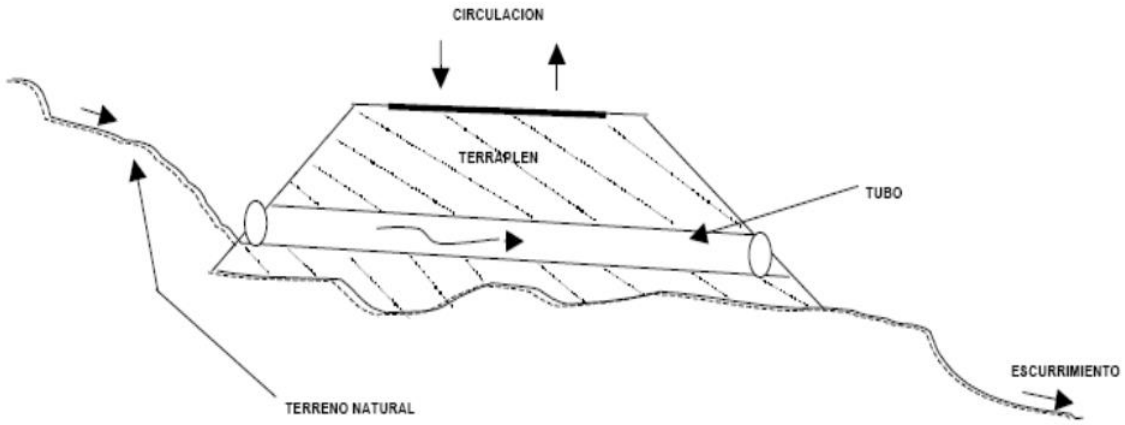


Figura 3.2.14. Tubos

Una práctica común son los sistemas de subdrenaje de tubería perforada, inmersa en un material filtrante; las perforaciones son con el fin de captar el agua hacia el interior del tubo, estos sistemas se aplican con el objeto de inducir el agua rápida y fácilmente. Figura 3.2.15.

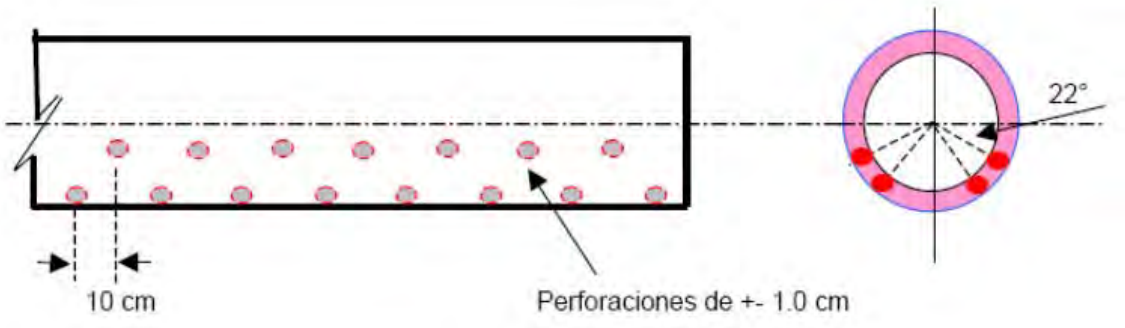


Figura 3.2.15. Tubos perforados

e) Bombeo

Se denomina Bombeo a la pendiente transversal que se da en las carreteras para permitir que el agua que directamente cae sobre ellas escurra hacia sus dos hombros. Figuras 3.2.16 a la 3.2.19.

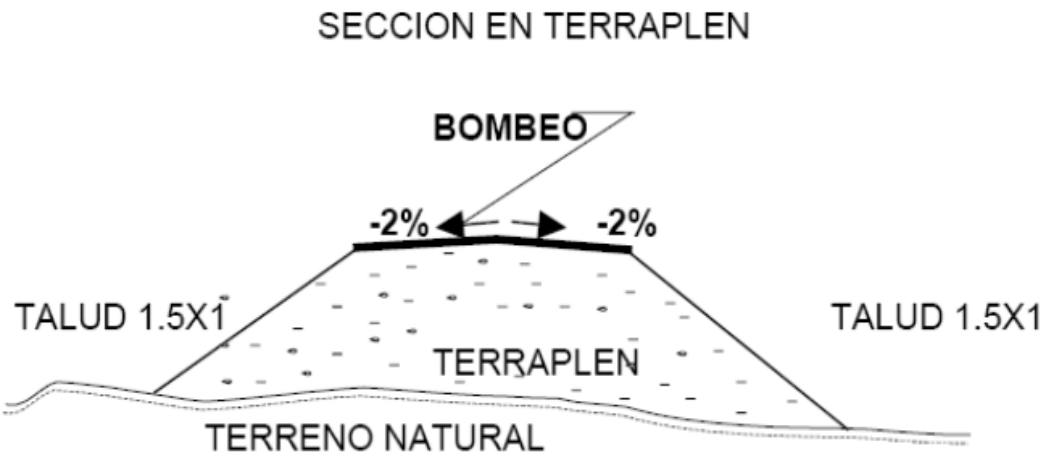


Figura 3.2.16. Bombeo en un cuerpo de terraplén

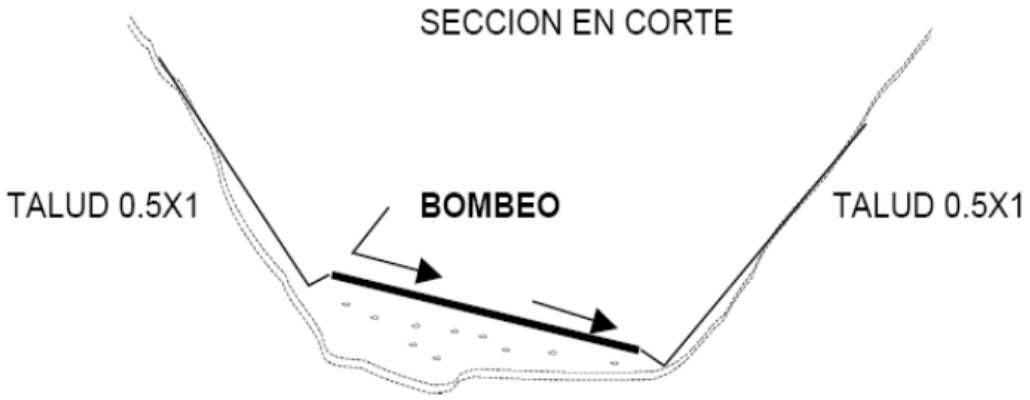


Figura 3.2.17. Bombeo en corte

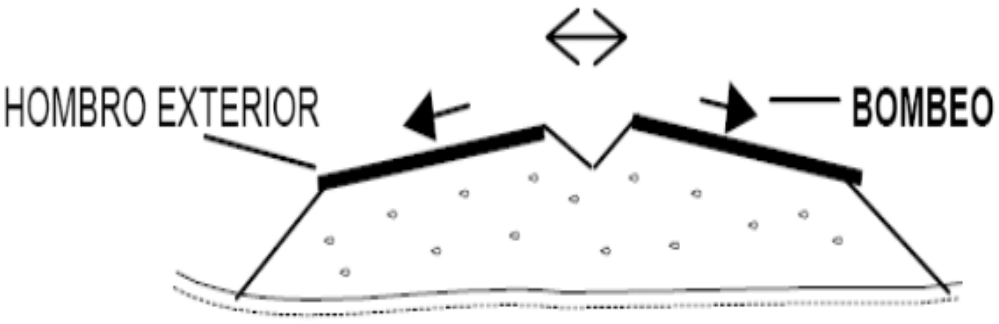


Figura 3.2.18. Bombeo en dos cuerpos de terraplén

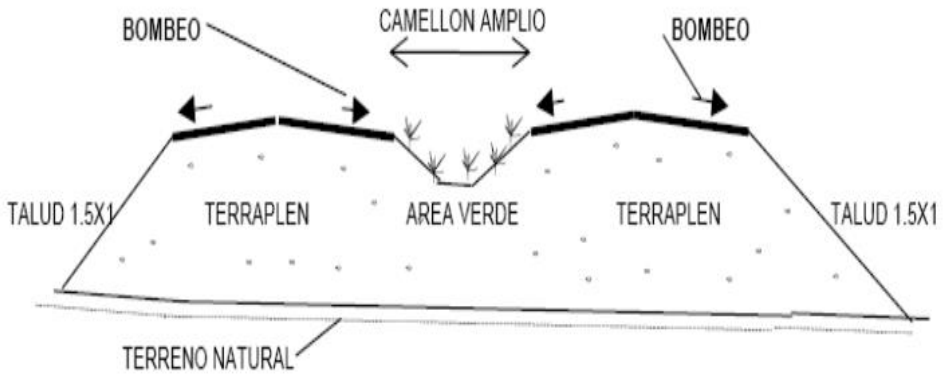


Figura 3.2.19. Bombeo en dos cuerpos separados de terraplén

f) Contracunetas

Se denominan contracunetas a los canales excavados en el terreno natural o formados con pequeños bordos, que se localizan aguas arriba de los taludes de los cortes, con la finalidad de interceptar el agua superficial que escurre ladera abajo desde mayores alturas, para evitar la erosión del talud y el congestionamiento de las cunetas y la corona de la vía terrestre por el agua y su material de arrastre, Figuras 3.2.20 y 3.2.21.

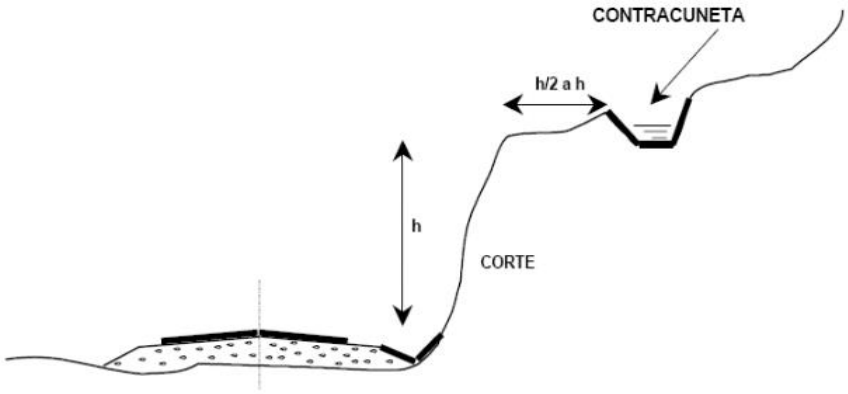


Figura 3.2.20. Contracuneta

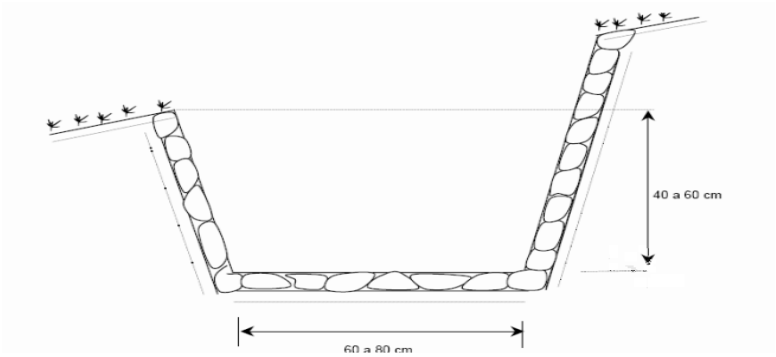


Figura 3.2.21. Dimensiones de una contracuneta

g)Lavaderos

Son canales que se conectan con los bordillos y bajan transversalmente por los taludes, con la misión de conducir el agua de lluvia que escurre por los acotamientos hasta lugares alejados de los terraplenes, en donde no cause problemas a la carretera. En general son estructuras de muy fuerte pendiente, característica principal de éstos. Cuando se disponen en los caminos están sobre los terraplenes, sobre los lados en terraplén, de cortes en balcón o en los lados interiores de curvas, cuando corresponden a secciones también en terraplén.

En tramos en tangentes suelen disponerse cada 60 ó 100 m, pero esta separación es variable, dependiendo de la pendiente longitudinal de la vía terrestre y del régimen de precipitación pluvial en la zona. Figura 3.2.22.

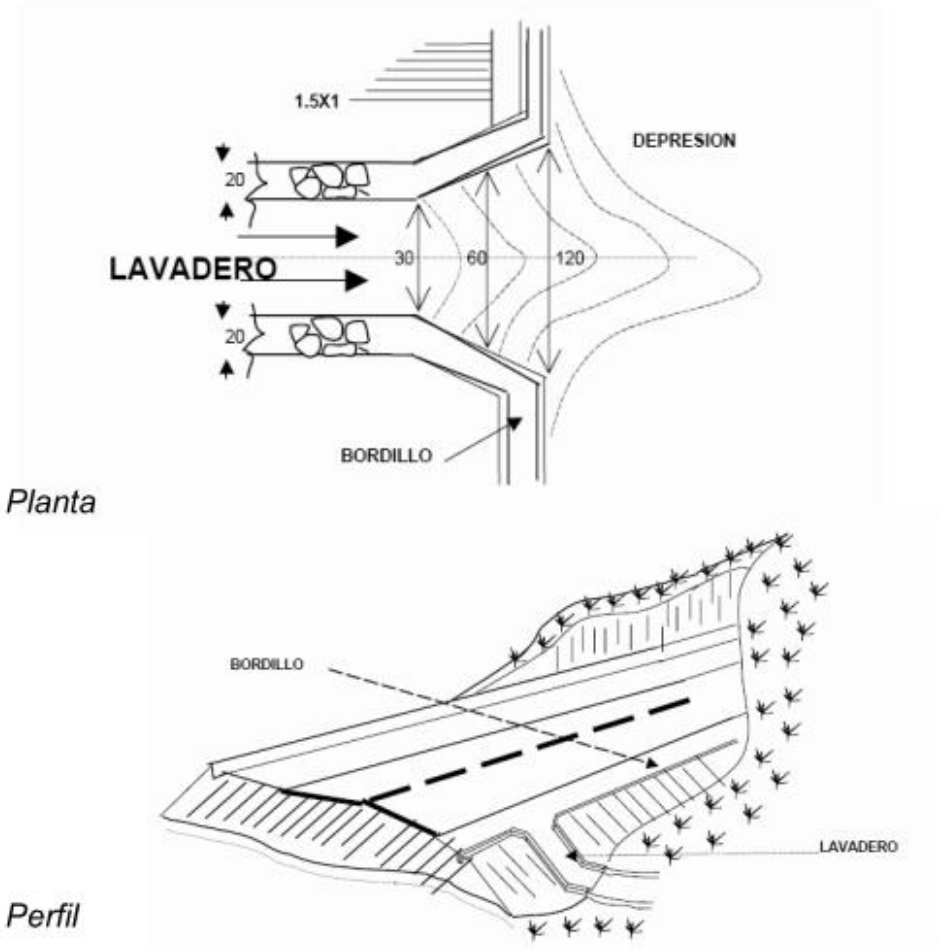


Figura 3.2.22. Lavaderos

h) Canales Naturales

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua existentes de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño. Las corrientes subterráneas que y transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos pueden hacerse suposiciones empíricas razonablemente consistentes con las observaciones y experiencias reales, de tal manera que las condiciones del flujo en estos canales se vuelvan manejables medianamente el tratamiento analítico de la hidráulica teórica.

i) Bordillos

Los bordillos son estructuras que se colocan en el borde exterior del acotamiento en las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en la parte inferior de las secciones de terraplén en curva. Son pequeños bordos que forman una barrera para conducir el agua hacia los lavaderos o bajantes, evitando erosiones en los taludes y saturación de éstos por el agua que cae sobre la corona de la vía, Figura 3.2.23.

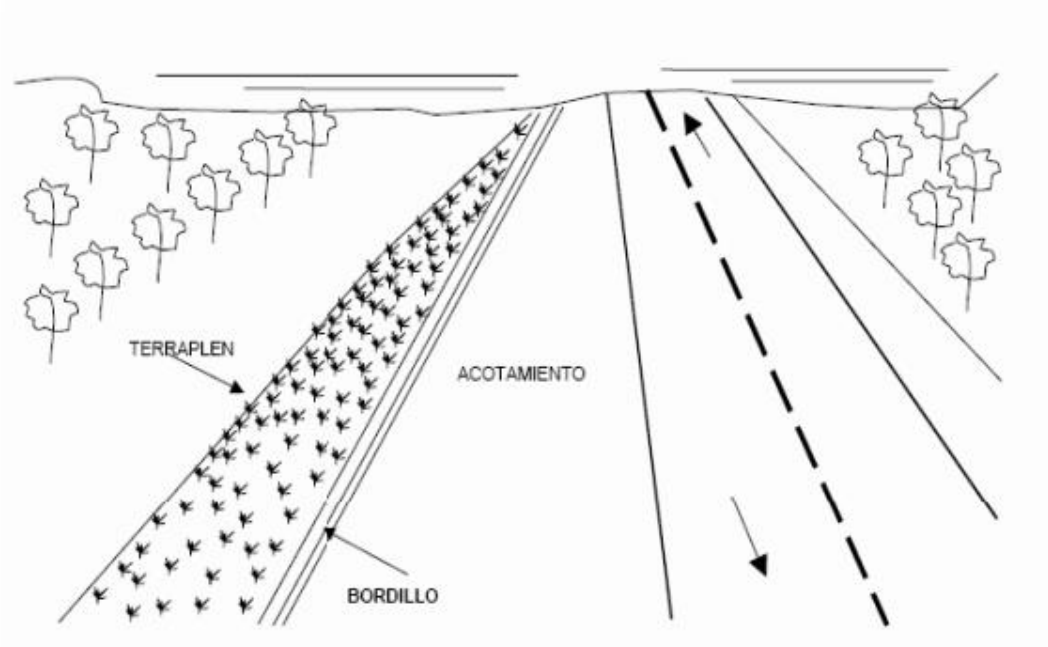


Figura 3.2.23. Ubicación de bordillos

Función y Efecto de un Sistema de Drenaje

Conducir de manera eficaz el agua proveniente de escurrimientos superficiales y subterráneos, fuera de la carretera, tomando en cuenta los daños que aquella pueda causar a la carretera.

Las fallas en las obras de drenaje pueden resultar de difícil detección, ya que en muchos casos se trata de obras no accesibles y de funcionamiento ocasional.

Un sistema de drenaje con obstrucciones, pérdidas o roturas, puede resultar incluso perjudicial para el conjunto de las obras que si no existieran, ya que por su ineficiencia pueden llegar a revertir su funcionamiento, provocando la entrada de agua en los lugares de donde se requiere evacuarla.

El drenaje en una carretera busca encauzar el agua de la zona de cruce de la obra vial, reorientar el drenaje natural que puede verse afectado por el trazo y evitar que el agua infiltrada pueda comprometer la estabilidad de la estructura del pavimento, de los terraplenes o cortes del camino.

Con la finalidad de eliminar el agua proveniente de las avenidas, se diseñan las obras de drenaje vial, abarcando los tipos más comunes de alcantarillas de tubos (lámina corrugada, concreto), alcantarillas de cajones simples, dobles y triples y alcantarillas de arco. También obras de drenaje superficial como bajadas de agua, cunetas, disipadores de energía, sumideros, etc. así como obras de drenaje subterráneo como subdrenes, drenes longitudinales, sifones, etcétera.

Auscultación

Para determinar el estado que guardan las obras de drenaje y subdrenaje, se realiza una inspección física detallada, en la que se observen todos aquellos detalles que pudieran afectar el sistema de drenaje. Para ello se recurre a la utilización de un formato que permite determinar los aspectos y condiciones de funcionalidad de las obras. Los aspectos por observan son entre otros: fisuras, grietas, deformaciones, aleros, cabezotes, indicios de socavación, azolves, obstrucciones, etcétera.

Formato de Auscultación de Drenaje

A continuación se muestra el formato típico que se utiliza para llevar a cabo la auscultación de las obras de drenaje, Figura 3.2.24.

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

B.4.-INVENTARIO OBRAS DE DRENAJE

Carretera:
Tramo:
Subtramo:
Tipo de red:

Nº	UBICACIÓN	NÚMERO DE LÍNEAS DE TUBERÍA	TIPO DE OBRA	DIMENSIONES (M)	MATERIAL	OBRAS AZOLVADAS		ESTADO FÍSICO	RECOMENDACIONES GENERALES
						S	%		

Recomendaciones Generales de los trabajos a realizar

1.-Limpieza General
2.-Desazolve
3.-Zampeado
4.-Reparacion en elementos estructurales
  4.1.-Reparacion en Estribos
  4.2.-Reparacion en Aleros
  4.3.-Reparacion en Tuberia
  4.4.-Reparacion en Cabezote
  4.5.-Reparacion en Guarnición
5.-Canalizar Entrada y/o salida.
6.-Obra fuera de servicio

Figura 3.2.24

También se realiza un listado de terracería para obras complementarias, donde se coloca su ubicación, estado y alineamiento entre otros, para tener un panorama general de los trabajos que son preventivos o correctivos. En campo el especialista debe tener en mente los efectos que se causarán por no contar con el drenaje complementario, a efecto de proponer los trabajos más adecuados y posibles a realizarse. El formato es llenado en el momento del recorrido y sustentado con fotografías de cada una de las estructuras que se reportan en el sitio, ubicándolas con su cadenamiento como se muestra en el formato. Figura 3.2.24.

Estudios

El objeto del drenaje en los caminos es, en primer término, el reducir al máximo posible la cantidad de agua que de una u otra forma llega al mismo, y en segundo término dar salida rápida al agua que llegue al camino.

Los estudios para el drenaje superficial se pueden dividir en los siguientes grupos:

1. Estudios Topográficos
2. Estudios Hidrológicos
3. Estudios Hidráulicos

Para que un camino tenga buen drenaje debe evitarse que el agua circule en cantidades excesivas por el mismo, destruyendo el pavimento y originando la formación de baches, así como también que el agua que debe escurrir por las cunetas se estanque y reblandezca las terracerías originando pérdidas de estabilidad de las mismas con sus consiguientes asentamientos perjudiciales. Debe evitarse también que los cortes, formados por materiales de mala calidad, se saturen de agua con peligro de derrumbes o deslizamientos según el tipo de material del corte, y debe evitarse además, que el agua subterránea reblandezca la subrasante con su consiguiente peligro.

El prever un buen drenaje es uno de los factores más importantes en el proyecto de un camino y por lo tanto debe preverse desde la localización misma tratando de alojar siempre el camino sobre suelos estables, permanentes y naturalmente drenados. Sin embargo, debido a la necesidad de un alineamiento determinado, el camino puede atravesar suelos variables, permeables unos e impermeables otros, obligando ello a la construcción de obras de drenaje de acuerdo con las condiciones requeridas. La experiencia en el análisis y estudio de muchos caminos en mal estado ha enseñado que el drenaje inadecuado, más que ninguna otra causa, ha sido el responsable del daño que han sufrido.

Estudios Topográficos

La selección del tamaño y tipo de estructura de drenaje, aceptable a un sitio determinado, depende grandemente de la precisión con que se puedan señalar sobre los planos topográficos o sobre fotografías aéreas de los alrededores de la carretera, las cuencas de los arroyos y corrientes de agua que cruzan la vía, el perfil longitudinal del canal a la entrada y salida de la alcantarilla y su sección transversal, la sección transversal del terraplén, las cotas de inundación permisibles a la entrada y salida de la estructura, la naturaleza del lecho del canal, las posibilidades de erosión, etc. Se muestra un modelo de levantamiento topográfico donde se indican los datos fundamentales a anotar. Figura 3.2.25.

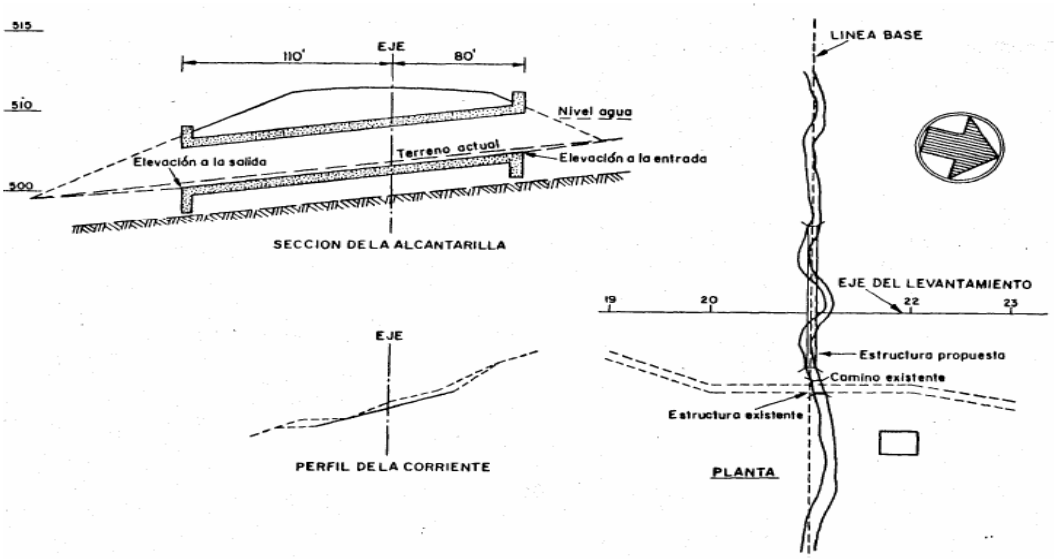


Figura 3.2.25. Levantamiento topográfico para el emplazamiento de una alcantarilla

Estudio Hidrológico

Los estudios hidrológicos permiten determinar el caudal de diseño de la estructura, el cual está en correspondencia con el tamaño y característica de la cuenca, su cubierta de suelo y la tormenta de diseño. Para un estudio hidrológico apropiado, se ha dividido según el tamaño en: métodos para cuencas menores y cuencas medianas.

Método Racional Modificado

El Método Racional es utilizable en cuencas pequeñas, menores de 25 km². Supone que el escurrimiento máximo proveniente de una tormenta es proporcional a la lluvia caída, supuesto que se cumple en forma más rigurosa en cuencas mayoritariamente impermeables o en la medida que la magnitud de la lluvia crece y el área aportante se satura.

Este método amplía el campo de aplicación del método racional, puesto que se considera el efecto de la no uniformidad de las lluvias mediante un coeficiente de uniformidad. De este modo, se admiten variaciones en el reparto temporal de la lluvia neta que favorecen el desarrollo de los caudales punta, y solucionan el problema que planteaba la antigua hipótesis de lluvia neta constante admitida en la fórmula racional, que ofrecía resultados poco acordes con la realidad.

El coeficiente de uniformidad representa el cociente entre los caudales punta en el caso de suponer la lluvia neta variable y en el caso de considerarla constante dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración de la cuenca en cuestión.

Según dicha formulación, el caudal punta de avenida en el punto de cruce de una vaguada con el trazado, para un período de retorno dado, se obtiene mediante la expresión:

$$\mathbf{Q = CU \times \frac{CIA}{3.6}}$$

Donde:

Q: Caudal punta correspondiente a un determinado período de retorno (m^3/s)
I: Máxima intensidad media de precipitación, correspondiente al período de retorno considerado y a un intervalo igual al tiempo de concentración (mm/h)
A: Superficie de la cuenca (km^2)
C: Coeficiente de escorrentía
CU: Coeficiente de uniformidad

El método racional se ha utilizado ampliamente para la determinación de caudales de diseño en carreteras, debido a su simplicidad y lógica. Sin embargo se deben tener presentes sus limitaciones y las hipótesis involucradas. El método supone que el coeficiente de escorrentía se mantiene constante para distintas tormentas, lo cual es estrictamente válido sólo para áreas impermeables, de allí la necesidad de amplificar los valores de ***(C)*** para períodos de retorno altos.

Determinación del coeficiente de uniformidad *(CU).*

El coeficiente de uniformidad *(CU)* corrige el supuesto reparto uniforme de la escorrentía dentro del intervalo de cálculo de duración igual al tiempo de concentración contemplado en la formulación del método racional.

Aunque el coeficiente de uniformidad varía de un aguacero a otro, su valor medio en una cuenca concreta depende principalmente de su tiempo de concentración. Esta dependencia es tan acusada que, a efectos prácticos, puede despreciarse la influencia de las restantes variables, tales como el régimen de precipitaciones, etc. Según J. R. Témez, su estimación, en valores medios, puede realizarse según la siguiente expresión:

$$CU = 1 + \frac{t_c^{1.25}}{t_c^{1.25} + 14}$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad, que tiene en cuenta la falta de uniformidad en la distribución del aguacero
t_c: Tiempo de concentración (horas)

Dicha expresión está basada en los contrastes realizados en diferentes cursos de agua dotados de estaciones de aforo, y en las conclusiones deducidas de algunos análisis teóricos desarrollados mediante el hidrógrafo unitario.

Tiempo de Concentración (t_c)

El Tiempo de Concentración se define como el lapso de tiempo, bajo precipitación constante, que tarda el agua en ir desde el punto más distante hidráulicamente definido dentro la cuenca hasta el punto de evacuación o control.

Las Tablas 3.2.2 y 3.2.3 resumen las expresiones que se han propuesto para estimar el tiempo de concentración en distintos casos. Por ser este tipo de expresiones producto de resultados empíricos, obtenidos bajo ciertas condiciones particulares, es necesario tener presente que debe juzgarse cualitativamente la factibilidad física del resultado entregado, previo a su aceptación. Como norma general, el tiempo de concentración no debe ser inferior a 10 minutos, salvo que se tengan mediciones en terreno que justifiquen adoptar valores menores.

Autor	Expresión	Unidades	Descripción
Federal Aviation Agency (1970)	$\frac{123{,}72\cdot(1.1-C_e)\cdot L^{0.5}}{(100S)^{0.33}}$	S m/m	Pendiente del cauce principal
		C_E	Coeficiente de escurrimiento
		L km	Longitud de escurrimiento superficial
Izzard (1946)	$\frac{592.28\cdot(0.0000276i+C)Ls^{0.33}}{i^{0.667}\,S^{0.333}}$ (1)	L_s m	Longitud de escurrimiento superficial
		S m/m	Pendiente de media de la causa
		i mm/hr	Intensidad media de lluvia
		C_E	Coeficiente de retardo
Morgaly Y Linsley (1965)	$\frac{7L_s^{0.6}\cdot\eta^{0.6}}{i^{0.4}\cdot S^{0.3}}$ (1)	L_s m	Longitud de escurrimiento superficial
		S m/m	Pendiente de media de la causa
		η	Rugosidad (Manning)
		i mm/hr	Intensidad media de lluvia

Tabla 3.2.2. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones llanas

Autor	Ecuación t_c	Unidades	Descripción	Observaciones
Kirpich	$t_c = 0{,}0078\,k^{0.77}$ $k = 3.28\cdot L/S^{1/2}$	L m Min S m/m	Longitud del cauce principal pendiente del cauce principal	Cuencas pequeñas
Giandotti	$t_c = \frac{4A^{1/2}+1{,}5L}{0{,}8^{1/2}}$	H km Hrs A km^2 L m/m	Altura media descontando la cota de origen de la cuenca (punto de salida) Área de la cuenca Longitud máxima de la cuenca	Áreas menores a $10\,km^2$
California Highway & Public work	$t_c = 0{,}95\cdot(\frac{L^3}{H})^{0.385}$	L km Hrs H m	Longitud del cauce principal Desnivel máximo de cuenca	

Tabla 3.2.3. Fórmulas para el cálculo del tiempo de concentración en regiones con pendientes

Coeficientes de Escurrimiento

Los coeficientes de escurrimiento dependen de las características del terreno, uso y manejo del suelo, condiciones de infiltración, etc. y se necesita un criterio técnico adecuado y experiencia para seleccionar un valor representativo. En las Tablas 3.2.4 y 3.2.5 se indican los rangos usuales de este coeficiente para diversos tipos de situaciones.

Tipo de Terreno	Coeficiente de escorrentía
Pavimentos de adoquín	0,50 – 0,70
Pavimentos asfálticos	0,70 – 0,95
Pavimentos en concreto	0,80 – 0,95
Suelo arenoso con vegetación y pendiente (2% a 7%)	0,15 – 0,20
Suelo arcilloso con pasto y pendiente (2% a 7%)	0,25 – 0,65
Zonas de cultivo	0,20 – 0,40

Tabla 3.2.4. Coeficientes de escurrimientos

Tipo de superficie	Periodo de retorno en años		
	2	15	25
Tierra cultivada			
Plana 0-2 %	0,31	0,38	0,40
Promedio, 2 – 7 %	0,35	0,43	0,44
Pronunciada mayor 7 %	0,39	0,46	0,48
Pasto/matorral			
Plana 0-2 %	0,25	0,32	0,34
Promedio, 2 – 7 %	0,33	0,40	0,42
Pronunciada mayor 7 %	0,37	0,44	0,46
Bosque			
Plana 0-2 %	0,22	0,30	0,31
Promedio, 2 – 7 %	0,31	0,38	0,40
Pronunciada mayor 7 %	0,35	0,43	0,45
Pantano	0,90	0,90	0,90

Tabla 3.2.5. Coeficiente de escurrimiento

El método racional se ha utilizado ampliamente para la determinación de caudales de diseño en carreteras, debido a su simplicidad y lógica. Sin embargo se deben tener presentes sus limitaciones y las hipótesis involucradas. El método supone que el coeficiente de escorrentía se mantiene constante para distintas tormentas, lo cual es estrictamente válido sólo para áreas impermeables, de allí la necesidad de amplificar los valores de **(C)** para períodos de retorno altos. Se asume que el período de retorno de la lluvia de diseño es igual al del caudal máximo.

Determinación de la Intensidad

La intensidad se expresa como el promedio de la lluvia en mm/h para un periodo de retorno determinado y una duración igual al del tiempo de concentración **(t_c)** de la cuenca.

Los valores intensidades se pueden obtener a partir de las curvas Intensidad Duración Frecuencia (IDF). El ajuste de los datos por medio de los mínimos cuadrados resulta en una ecuación en la cual se entra con la duración en minutos y se obtiene la intensidad.

$$\mathbf{I} = \frac{\boldsymbol{A}}{(\boldsymbol{T} + \boldsymbol{d})^{\boldsymbol{b}}}$$

Donde:

I: Intensidad en mm/hora
A, d y b: Coeficiente determinados
T: Duración de la lluvia en minutos

Diseño Hidráulico

Para el caso del diseño hidráulico de puentes, en el Capítulo 3.4 de esta Guía se comenta el procedimiento para determinar los parámetros hidráulicos para su diseño. A continuación se comenta lo referente al diseño hidráulico de las alcantarillas.

Si observamos una alcantarilla, no es más que un conducto cuya sección puede ser circular, ovalada, rectangular, etcétera. Imaginemos que este conducto atraviesa un camino que se encuentra en la ladera de una montaña. Evidentemente, el camino constituye una barrera artificial para el agua que escurre a superficie libre sobre la ladera de la montaña y para todos los cursos de agua que drenan por los múltiples cauces que bajan por la ladera.

Cuando esos flujos encuentran el camino, comienzan a escurrir paralelos al mismo y en la dirección de la pendiente longitudinal del camino. Por esta razón se construyen a los bordes del camino canales o canaletas que conducen el agua paralelo al mismo. Estos canales van recolectando agua en su recorrido hasta llegar a una alcantarilla que la recibe y la cruza transversalmente al otro lado del camino.

De acuerdo a las dimensiones, material de la alcantarilla, caudal, condiciones de entrada y de salida de la misma, etc. irán variando las características hidráulicas del flujo; pudiendo variar desde un flujo a superficie libre con un tirante pequeño, hasta un conducto a presión, cuando fluye totalmente llena. Se han puesto de manifiesto dos formas fundamentales típicas de escurrimiento en alcantarillas, que incluyen todas las demás:

1. Escurrimiento con control de entrada

2. Escurrimiento con control de salida

Entendiendo por sección de control, aquella sección donde existe una relación definida entre el caudal y el tirante. Es la sección en la cual se asume que se desarrolla un tirante próximo al crítico.

En el escurrimiento con control de entrada, el caudal que puede pasar por la alcantarilla, depende fundamentalmente de las condiciones de entrada a la misma. Es decir, depende de la sección transversal del conducto, de la geometría de la embocadura y de la profundidad del agua a la entrada o altura del remanso. En este tipo de escurrimiento no influyen las características del conducto mismo.

En el escurrimiento con control de salida deben agregarse a las anteriores el nivel del agua a la salida, la pendiente, longitud y rugosidad del conducto.

Carga Hidráulica en la Entrada o Profundidad del Remanso

Corresponde a la profundidad del agua en la entrada, medida desde el punto más bajo (umbral o radier de la alcantarilla). Esta obra, al limitar el paso libre del agua, causará un aumento de nivel hacia aguas arriba y en consecuencia puede ocasionar daños a la carretera o a las propiedades vecinas. Se limitará la carga hidráulica máxima con el fin de proteger la vida de los usuarios o vecinos, proteger la estabilidad del terraplén, no producir inundaciones a los terrenos adyacentes, no producir daños a la alcantarilla y a la vía, no causar interrupciones al tráfico y no sobrepasar los límites de velocidad de agua recomendados en las alcantarillas y en el cauce a la salida.

Tanto para alcantarillas con control de entrada como de salida, los tubos, cajones y losas se diseñarán hidráulicamente, respetando una carga máxima He, ver Tabla 3.2.6 según se trate de canales o cauces naturales permanentes o impermanentes. En los canales, la carga máxima de diseño será igual a la dimensión de la alcantarilla. En los cauces naturales se podrá aceptar una carga a la entrada igual a la dimensión de la alcantarilla más 0,3 m para el gasto de diseño.

Tipo de Cauces	Tubos	Cajones	Losas (L≤ 6m)
Canales	D (diámetro)	H (altura total)	H – 0,1 m
Diseño Cauces Naturales	D + 0,3 m	H + 0,3 m	H – 0,1 m
Verificación Cauces Naturales	D + 0,6 m	H + 0,6 m	H
	Pero He máximo no puede sobrepasar la cota exterior del SAP – 0,3m		

Tabla 3.2.6. Carga hidráulica máxima de diseño

Velocidad en la Salida

Los principales factores que afectan a esta velocidad son la pendiente y rugosidad de la alcantarilla, no influyendo la forma y tamaño significativamente, salvo en los casos en que se produce flujo a boca llena.

- Velocidad en alcantarillas que fluyen con control de entrada: La velocidad a la salida de alcantarillas escurriendo con control de entrada, puede obtenerse en forma aproximada, calculando la velocidad media de la sección transversal de escurrimiento en el conducto empleando la fórmula de Manning. Las velocidades obtenidas por este método suelen ser algo mayores que las reales debido a que la altura normal, supuesta al aplicar la fórmula de Manning, rara vez se alcanza en la corta longitud de la mayoría de las alcantarillas.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{1}{n} \cdot R_H^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

- Velocidad en alcantarillas que fluyen con control de salida: En el caso de una alcantarilla con control de salida, la velocidad media en la salida de la alcantarilla será igual al caudal de descarga, dividido por el área de la sección transversal de la corriente en dicho lugar.

$$\mathbf{V} = \frac{Q}{A}$$

Flujo Con Control De Entrada

En el flujo con control de entrada el tirante crítico se forma en las proximidades de la sección de entrada a la alcantarilla, quedando hacia aguas arriba de dicha sección un remanso en flujo subcrítico, y aguas abajo, un flujo supercrítico. De modo que lo que ocurre desde la sección hacia aguas arriba, tiene influencia en el nivel a la entrada de la alcantarilla, pero no tiene ninguna influencia lo que ocurre aguas debajo de dicha sección. Por eso, las variables que intervienen en este tipo de flujo son:

Tipo y dimensiones de la sección transversal. Ej: circular con diam=2 m

- Geometría de la embocadura. Ej: Con alas a 30° con respecto al eje
- Nivel de agua a la entrada. Se utiliza la altura He

Si bien no es sencillo predefinir cuando un flujo tendrá control de entrada, los casos más típicos son aquellos en los cuales:

1) La entrada está descubierta y la pendiente es supercrítica (Figura 3.2.26), pudiendo o no fluir llena la sección en parte del conducto.

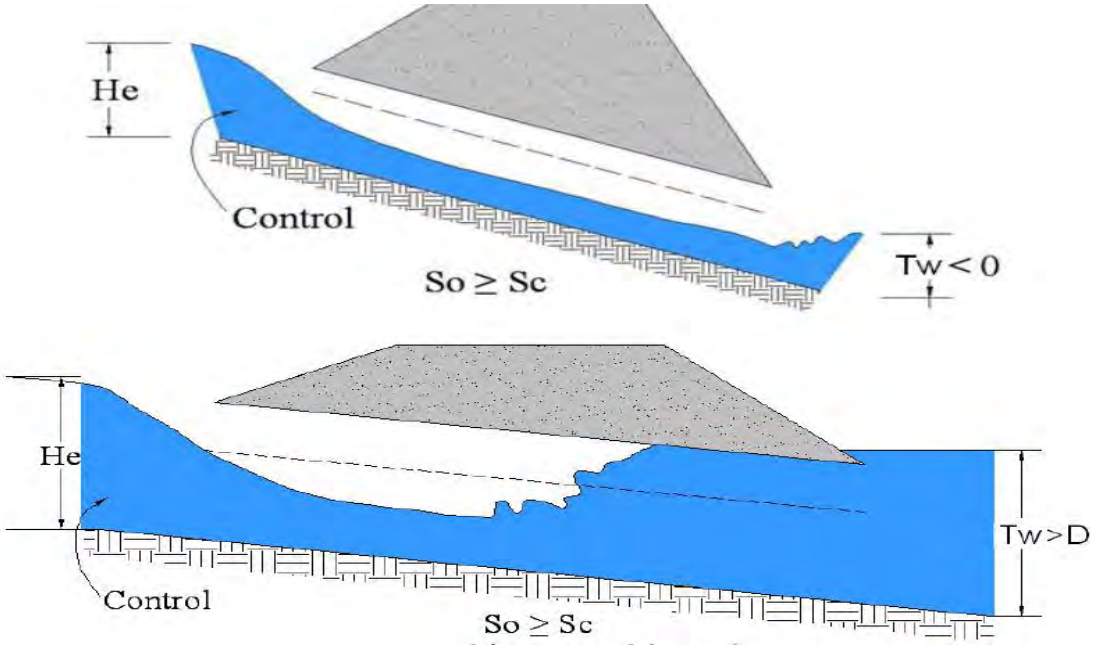


Figura 3.2.26. Flujo con control de entrada. Fuente: Carciente 1985

2) La entrada está sumergida, y sin embargo no fluye lleno el conducto (Figura 3.2.27), pudendo ser suscritica o supercrítica la pendiente.

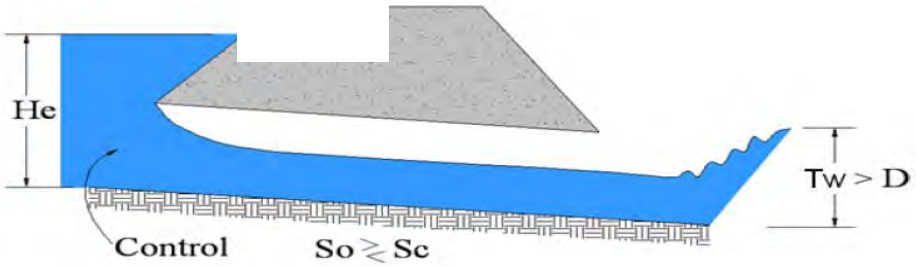


Figura 3.2.27

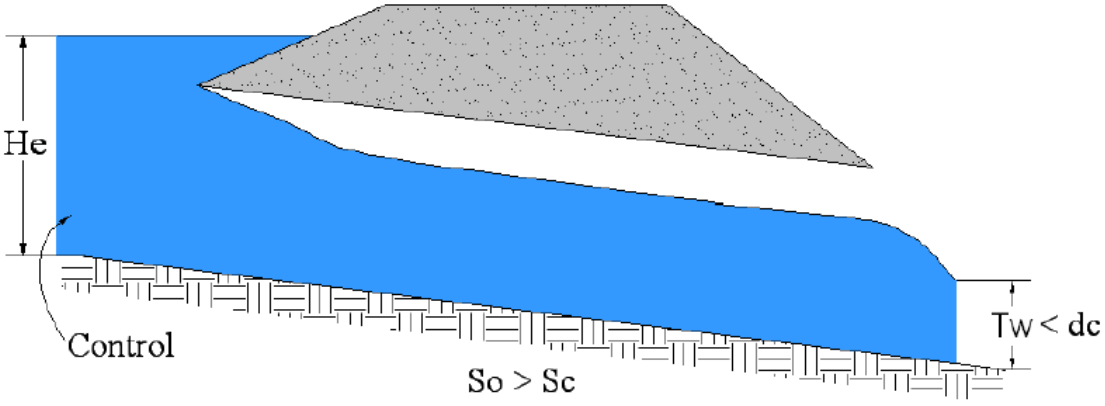


Figura 3.2.28. Flujo de control de entrada

Cálculos para flujo con control de entrada

El procedimiento de cálculo es muy sencillo para este tipo de flujo, y puede plantearse en los siguientes pasos:

Se adopta un caudal de diseño.

1) Se propone un tipo de alcantarilla (forma y dimensiones).

2) Se elige un tipo de entrada.

3) Se calcula el nivel que debe formarse a la entrada "He" necesario para permitir el paso del caudal de diseño. Si ese nivel no supera la altura máxima admisible para el agua a la entrada de la alcantarilla, de acuerdo a los condicionantes de diseño planteados en el problema en cuestión, se continúa en el paso 5; de lo contrario se vuelve al paso 2.

4) Se observa que el nivel "He" no sea demasiado pequeño, es decir, que la alcantarilla no se haya sobredimensionado, pues esto ocasionaría costos excesivos e innecesarios. Se adopta la alcantarilla propuesta como una de las posibles soluciones del problema.

En las Figuras 3.2.26 a 3.2.30 se identifican los ábacos y las ecuaciones que se deben usar en cada caso, dependiendo de la forma de la sección y de la disposición de los elementos a la entrada de la obra, es decir muros frontales, alas, tipo de aristas y forma como empieza el conducto. En la misma Figura se definen las situaciones que pueden darse a la entrada y se definen los ángulos de los muros frontales y de los muros de ala.

El Federal Highway Administration (FHWA) ha generado mediante modelos de regresión, expresiones polinómicas de quinto grado que entregan la carga hidráulica a la entrada directamente. Estas ecuaciones entregan resultados equivalentes a los obtenidos mediante los gráficos y son válidas para cargas comprendidas entre la mitad y tres veces la altura de la alcantarilla. Las expresiones son del tipo siguiente:

$$H_e = \left[a + b \cdot z \cdot F + c \cdot (z \cdot F)^2 + d \cdot (z \cdot F)^3 + e \cdot (z \cdot F)^4 + f \cdot (z \cdot F)^5 - 0.5 \cdot i\right] \cdot D$$

Donde:

He = Carga a la entrada (m)

a...f = Coeficientes de regresión

F = Q/D5/2 en alcantarillas circulares, o bien Q/(BD3/2) en alcantarillas de cajón

Q = Caudal (m^3/s)

D = Altura de la alcantarillo (m); diámetro en el caso de los tubos

B = Ancho de la alcantarilla (m)

i = Pendiente longitudinal (m/m)

z = 1.81130889 (factor de conversión para unidades métricas)

Descripción Según Tipo de Obra	Código	a	b	c	d	e	f
Alcantarillo circular de concreto aristas vivas. Muro Frontal a las 33 ≤ β ≤ 83°	1	0,087483	0,706578	-0,2533	0,0667	-0,0662	0.000251
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, muro frontal, alas 33 ≤ β ≤ 83°	2	0,114099	0,6653562	-0,2336	0.059772	-0,00616	0,000243
Alcantarilla circular de concreto, aristas ranuradas, tubo prolongado (sin muro ni alas)	3	0,108786	0,662381	-0,2338	0,057959	-0,00558	0,000205
Alcantarilla circular de acero corrugado, muro frontal, alas 33 ≤ β ≤ 83°	4	0,167433	0,538595	-0,14937	0,039154	-0,00344	0,000116
Alcantarilla circular de acero corrugado, tubo cortado a bisel (sin alas)	5	0,107137	0,757789	-0,3615	0,123393	-0,01606	0,000767
Alcantarilla circular de acero corrugado, tubo prolongado (sin muros ni alas)	6	0,187321	0,567719	-0,15654	0,044505	-0,00344	0,00009
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, muro frontal, alas 33 ≤ β ≤ 83°	7	0,072493	0,507087	-0,11747	0,02217	-0,00149	0,000038
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, muro frontal, alas 33 β = 17 ó 100°	8	0,122117	0,505435	-0,10856	0,020781	-0,00137	0,000035
Alcantarilla de cajón, aristas vivas, muro frontal, alas con β = 0°	9	0,144138	0,461363	-0,09215	0,020003	-0,00136	0,000036
Alcantarilla de cajón, aristas biseladas, muro frontal, alas 50°	10	0,156609	0,398935	0,06404	0,011201	-0,00064	0,000015

Tabla 3.2.6. Coeficientes de regresión

Flujo con Control de Salida

El escurrimiento en alcantarillas con control de salida puede presentarse con conducto lleno o parcialmente lleno, ya sea en una zona o en toda la longitud de la alcantarilla. Si cualquier sección transversal escurre llena, se dice que el escurrimiento es a sección llena. En la Figura 3.2.29 se muestra el flujo de una alcantarilla en condiciones de escurrimiento con control de salida sumergida.

Los procedimientos de cálculo son diferentes si la salida es sumergida o no y por lo tanto se analizarán los distintos casos separadamente.

Las variables que intervienen en este tipo de flujo son las mismas que intervienen en el control de entrada más las que corresponden al tramo entre esta sección y la sección salida:

- Tipo y dimensiones de la sección transversal. Ej: circular con diám=2m
- Geometría de la embocadura. Ej: Con alas a 30° con respecto al eje
- Nivel de agua a la entrada. Se utiliza la altura He
- Nivel de agua a la salida
- Pendiente del conducto
- Rugosidad del conducto
- Largo del conducto

En el caso de flujo con control de salida comienzan a intervenir en el cálculo las características del flujo en la alcantarilla y a la salida de la misma. Desde el punto de vista del cálculo conviene identificar distintos tipos de escurrimiento en alcantarillas con control de salida. Para el cálculo se presentan cuatro tipos de flujo con control de salida: Figuras 3.2.30.

a) Sección llena con nivel aguas abajo por encima del dintel de la sección de salida.

b) Sección llena con nivel aguas abajo por debajo del dintel de la sección de salida.

c) Sección parcialmente llena en un tramo del conducto.

d) Sección parcialmente llena en todo el conducto.

Cálculos para flujo con control de salida

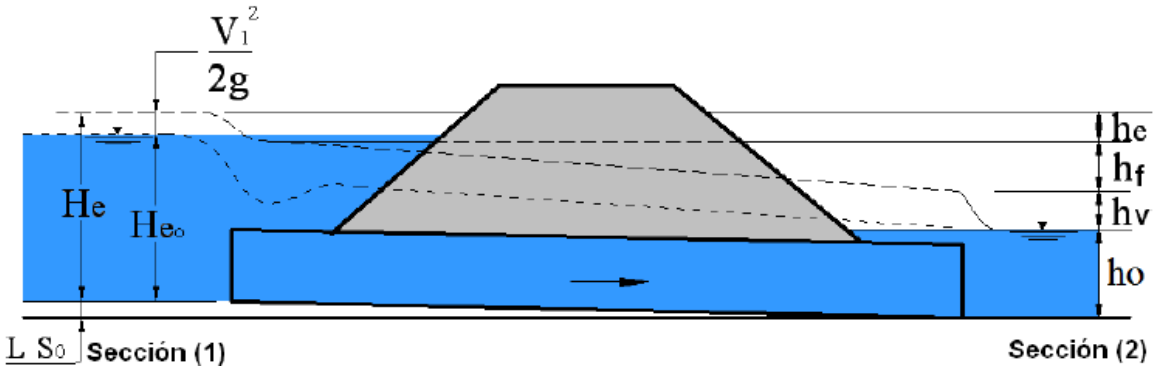


Figura 3.2.29

Si planteamos la ecuación de energía entre la entrada y la salida de la alcantarilla, resulta una ecuación general del tipo:

$$H_e = H + ho - L \cdot S_0$$

H_e = Profundidad de agua en la entrada (m)
H = Energía empleada en la obtención de carga de velocidad a la salida, más la perdida por fricción y pérdidas a la entrada **(hv+hf+he)**
ho = Profundidad de agua en la salida. Es el mayor entre:
ó **Tw** (Altura de agua a la salida de la alcantarilla)
L = Longitud de la alcantarilla (m)
S_0 = Pendiente de la alcantarilla (m/m)

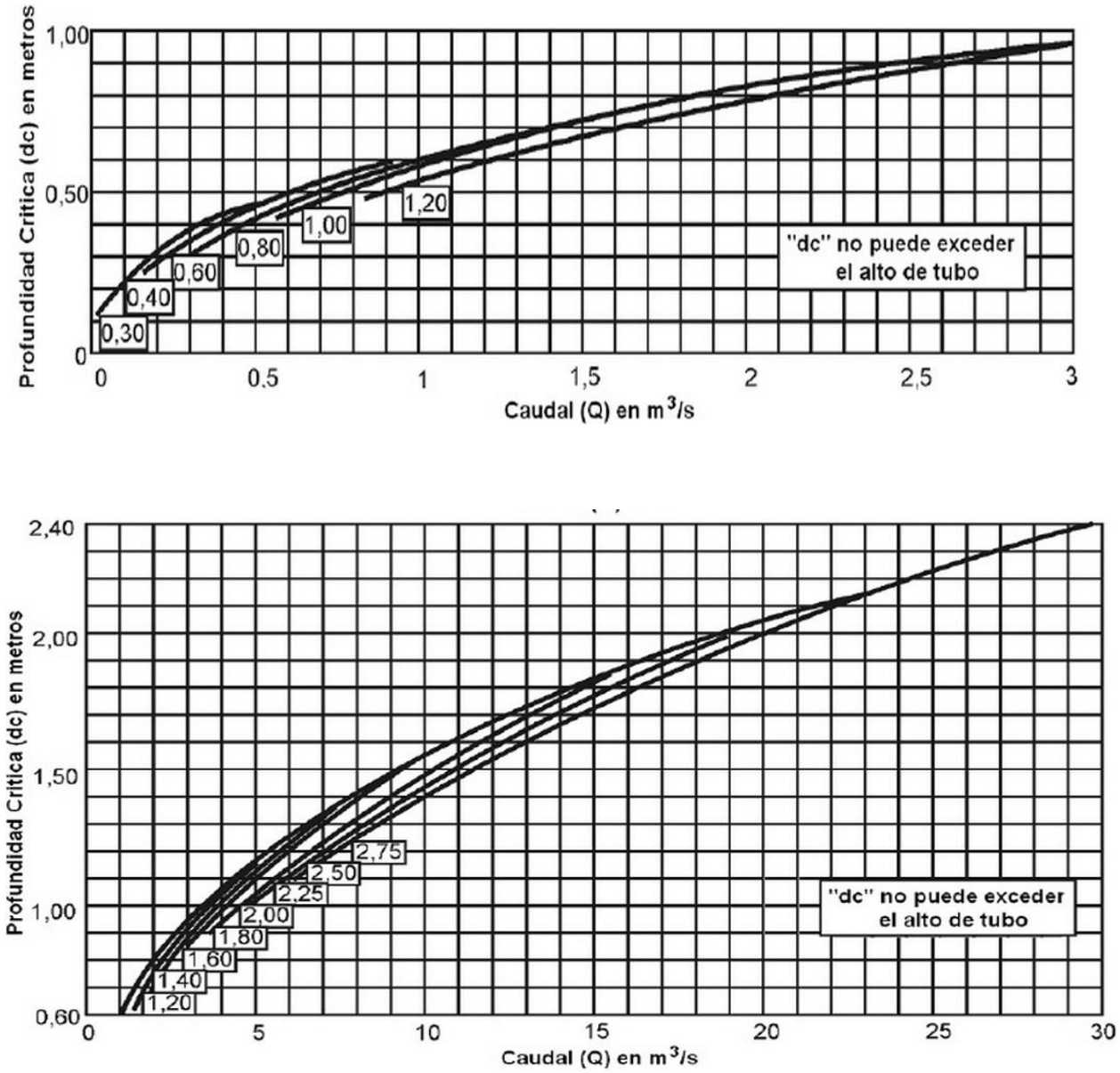
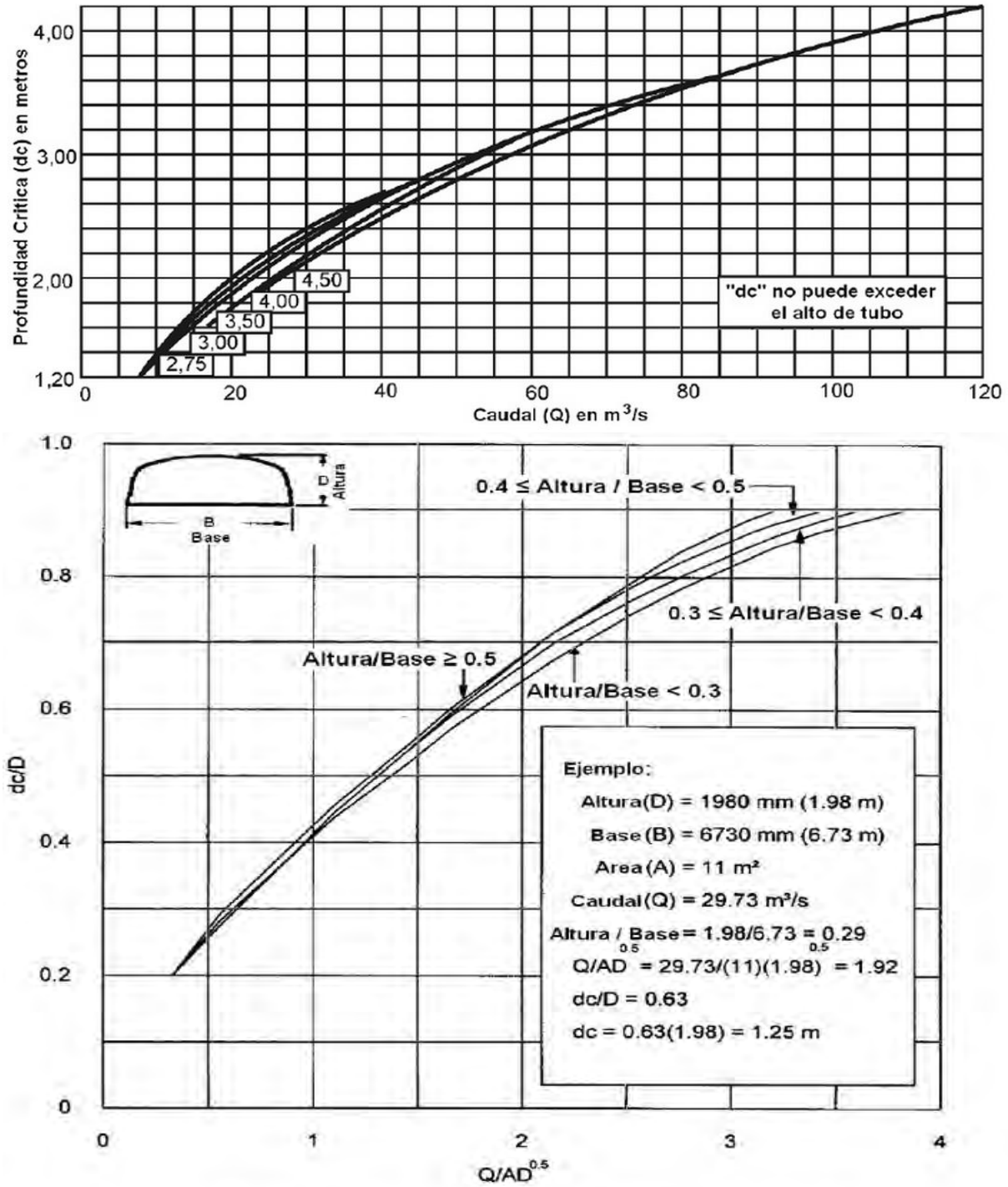
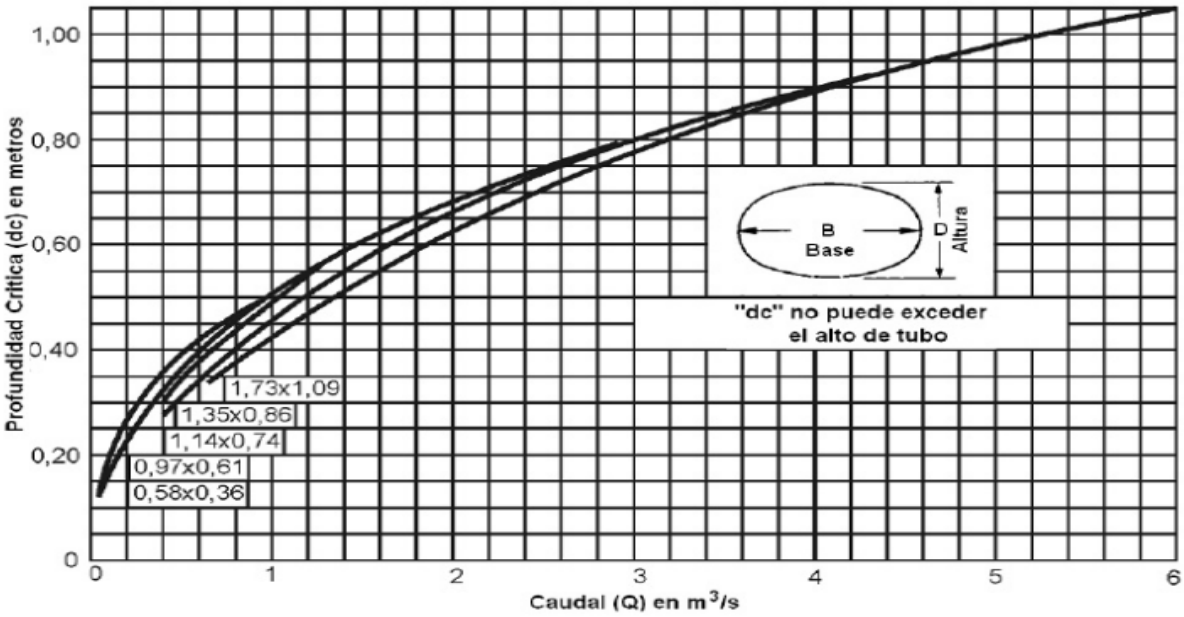


Figura 3.2.30



Dimensiones Críticas para alcantarillas de cajón de metal corrugado.

Figura 3.2.31


Profundidad Crítica (dc) en metros
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0
0
1
2
3
4
5
6
Caudal (Q) en m3/s
B
Base
D
Altura
"dc" no puede exceder
el alto de tubo
1,73x1,09
1,35x0,86
1,14x0,74
0,97x0,61
0,58x0,36

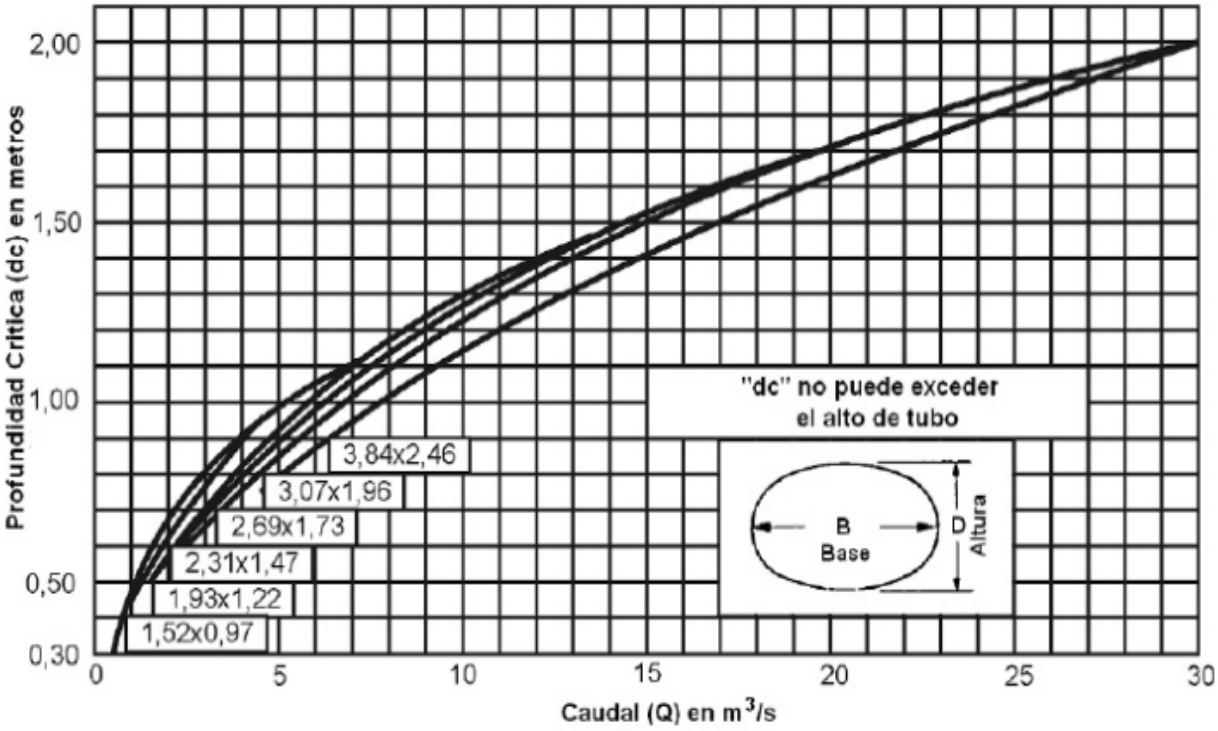

Profundidad Crítica (dc) en metros
2,00
1,50
1,00
0,50
0,30
0
5
10
15
20
25
30
Caudal (Q) en m3/s
"dc" no puede exceder
el alto de tubo
B
Base
D
Altura
3,84x2,46
3,07x1,96
2,69x1,73
2,31x1,47
1,93x1,22
1,52x0,97

Figura 3.2.32

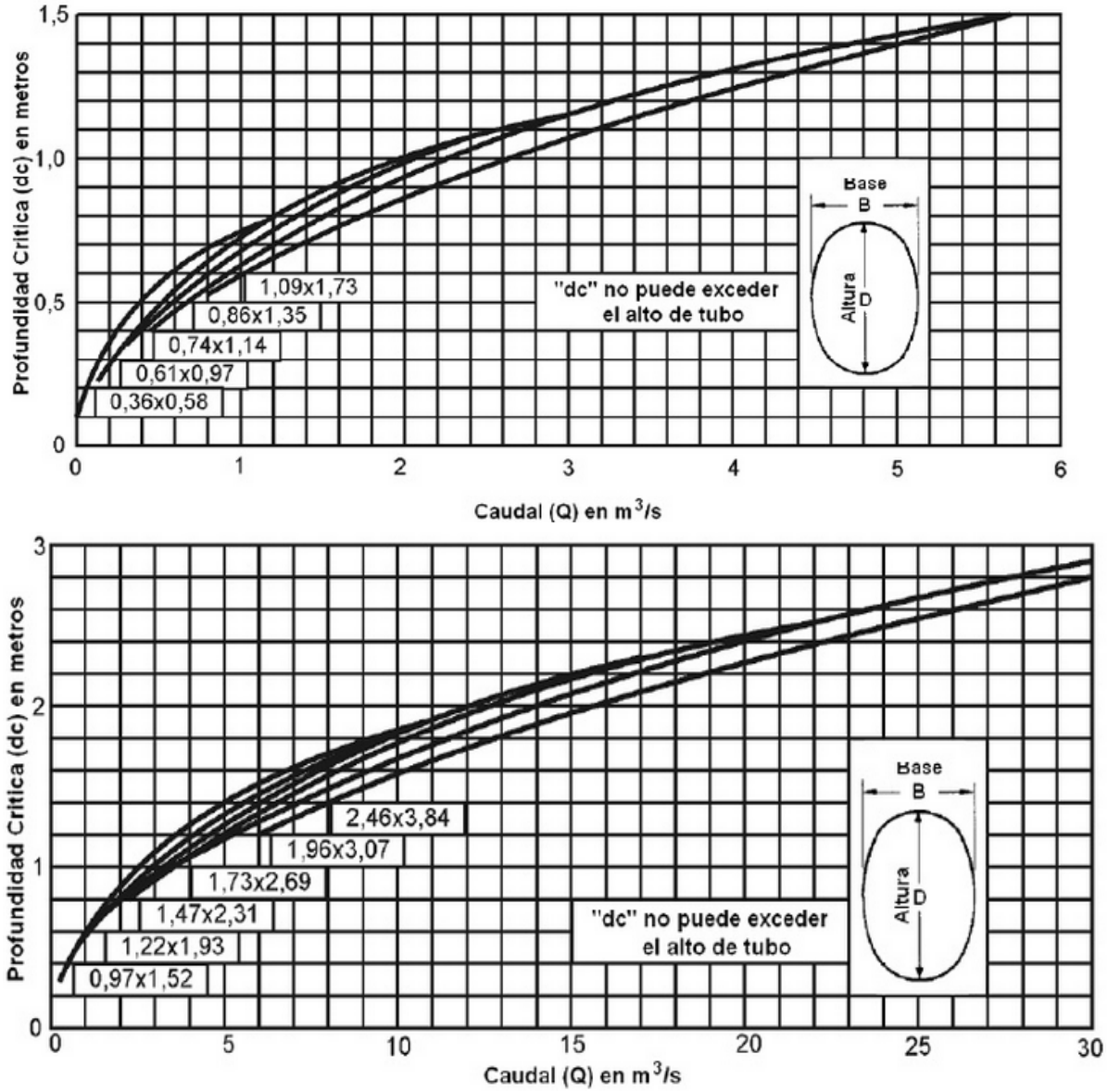


Figura 3.2.33. Gráficos para determinar los gastos

Dictámenes

De la auscultación se define el estado que guardan las estructuras existentes, de la revisión hidráulica se determina si las obras son suficientes y en caso contrario se dictamina la necesidad de reforzar, restaurar y/o diseñar estructuras nuevas.

3.3 TALUDES

Generalidades

Talud es una superficie inclinada respecto a la horizontal; si se da en forma natural se le denomina ladera, por el contrario, si es hecha por el hombre, se le llama corte o talud artificial; el primero se da cuando se realiza una excavación en una formación térrea, del tipo que ésta fuere, mientras que se llama talud artificial a los lados inclinados de los terraplenes.

Para efectos de la construcción de infraestructura carretera, los taludes se presentan en formaciones térreas que pueden ser suelos o rocas, en sus distintos grados de alteración y cuyo comportamiento depende intensamente de fenómenos ambientales como las lluvias, los cambios de temperatura, eventos sísmicos, el viento, entre otros.

Para una mejor comprensión de su comportamiento, es menester separar el estudio de la estabilidad de los taludes en suelos y en rocas, ya que las metodologías conocidas y de práctica común presentan diferencias de enfoques. Sin embargo, en la etapa de auscultación de los taludes existentes para su conservación, así como de la realización de todos los estudios necesarios para conocer su comportamiento, se tratan de forma unificada, pues mantienen elementos en común; aunado a ello, en esta etapa se define si se habla de suelos o de rocas.

Por tanto, para su estudio y la definición de las soluciones a adoptar en la etapa de conservación de las carreteras en México, en esta Guía, se dividen en los siguientes temas: Auscultación, Reconocimiento Geológico, Levantamiento Topográfico, Estudio Hidráulico e Hidrológico, Estudio Geotécnico, Propuesta de Alternativas y Proyecto Ejecutivo.

Auscultación

Tratándose de carreteras existentes, los taludes en cortes o en terraplenes y las laderas naturales deben auscultarse para determinar su estado y su comportamiento; ésta debe ser una inspección, si bien rutinaria, con cierto grado de detalle, que permita definir si está en buenas condiciones o presenta algún riesgo al usuario de la vialidad, a corto, mediano y largo plazo.

La auscultación debe incluir observaciones de la geología local y regional, de la hidráulica y de la hidrología, de las condiciones del drenaje y subdrenaje actuales, de las obras complementarias de drenaje, del derecho de vía, de su comportamiento geotécnico y del impacto al ambiente que podría generar la obra de conservación; esta revisión se realiza utilizando el "Formato para Reporte de Auscultación de Taludes", el cual se incluye en el **Apéndice A.3.3.1** de esta Guía.

La auscultación permite definir las condiciones actuales del talud y la necesidad de realizarle adecuaciones, por lo que debe llevarse a cabo un levantamiento topográfico para disponer de una planta topográfica, perfiles y secciones.

De igual manera se realiza un levantamiento geológico detallado, se recaba información hidráulica e hidrológica para la determinación de gastos y se hace una revisión numérica detallada de obras de drenaje, con el fin de definir su suficiencia hidráulica o diseñar obras nuevas en la zona de incidencia en el talud; el estudio geotécnico complementado con la información anterior, permite formar el modelo geotécnico para analizar el comportamiento del talud a corto, mediano y largo plazo.

Reconocimiento Geológico – Geotécnico

Reconocimiento Geológico. Los taludes en cortes o terraplenes son estructuras térreas, por lo que es necesario determinar el origen de los materiales que las forman, y las condiciones actuales que guardan después de haber realizado los cortes o construidos los terraplenes.

Conocer el tipo y origen de los materiales, los contactos entre macizos rocosos y suelos residuales o depositados, echados o buzamientos de las capas o el grado y patrón de fracturamiento de las rocas, así como estimar la compacidad o consistencia y la permeabilidad de los depósitos, es información de mucha utilidad que amplía el criterio para formar los modelos geotécnicos que representen las condiciones prevalecientes "in situ" en el talud.

Por tanto, el reconocimiento geológico debe incluir levantamientos geológicos superficiales, que consisten en las inspecciones detalladas de la zona de influencia del talud que permiten identificar, clasificar y cartografiar las principales unidades geológicas existentes en el área de estudio, así como reconocer sus características litológicas y estructurales.

Esta actividad es muy importante en la exploración geológica, ya que con base en estos levantamientos es posible cubrir grandes áreas en un tiempo relativamente corto y a un costo muy bajo, aportando información valiosa de las condiciones geológicas superficiales del sitio, además de que permite planear adecuadamente la investigación del subsuelo y efectuar las interpolaciones a diferentes profundidades.

En suma, el Geólogo debe tener una visión de los métodos de trabajo de los ingenieros civiles, así como de las técnicas de construcción para que su interpretación y opiniones tengan esa garantía, en su informe de campo debe identificar las estructuras geológicas, las rocas y los suelos del sitio, tomar fotografías de las formaciones geológicas, y de todos los detalles que advierta; de particular interés es su interpretación del origen de los suelos, debe aclarar si se trata de suelos residuales o transportados, la probable estratigrafía del sitio y la posible profundidad del estrato rocoso o duro.

La información obtenida de esta forma debe plasmarse en un plano que incluya una planta topográfica y geológica y cortes en diferentes direcciones para mostrar probables perfiles litoestratigráficos, buzamientos y echados de los diferentes depósitos e incluir recomendaciones de exploración y muestreo para verificar espesores y tipo de materiales.

Reconocimiento Geotécnico. El Ingeniero Geotecnista que inspeccione el sitio debe buscar manifestaciones del comportamiento del subsuelo en todo el entorno, advertir si se observan estructuras inclinadas o con fisuras, si existen grietas en la superficie de la zona, si existen ríos y arroyos cercanos y en su caso señales de inundaciones, recopilar información acerca de la sismicidad de la región y comportamiento de las estructuras; el clima es un factor que debe aclarar y junto con la orografía para determinar si se trata de una zona desértica, una altiplanicie o una llanura costera.

Con la información recabada en ambos reconocimientos, se podrá interpretar el grado de dificultad del problema que se ha planteado, así como identificar las dos o tres soluciones posibles que podrían adoptarse. Debe también imaginarse el procedimiento constructivo y estimar el costo.

Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico debe incluir una planta con curvas de nivel a cada 0.5 m, los perfiles y las secciones transversales necesarias. Los alcances del levantamiento topográfico no deben estar limitados por el derecho de vía, ni por cuestiones meramente económicas, sino por las características geométricas del corte o terraplén, tales como altura, longitud, inclinación y el tipo y características geológicas de los materiales, ya que estos determinan el comportamiento del área necesaria por estudiar.

El levantamiento topográfico se realiza de acuerdo con la **Norma N·PRY·CAR·1·01·001** a **003** Ejecución de Estudios Topográficos y Aerofotogramétricos para Carreteras, Trazo y Nivelación de Ejes para el Estudio Topográfico y Levantamiento de las Secciones Transversales para el Estudio Topográfico, respectivamente, y con los Términos de Referencia y Especificaciones Particulares que para el caso se hayan elaborado.

Estudio Hidráulico e Hidrológico

Los estudios hidráulico e hidrológico tienen la finalidad de determinar el volumen de agua que cae en la zona de ubicación del talud, particularmente en la corona, en el cuerpo y en el pie, para revisar los elementos que

permiten encauzar dicho volumen (cunetas, contracunetas, alcantarillas y hasta puentes) y determinar la suficiencia de ellos o proveer a la estructura térrea de obras nuevas para asegurar su capacidad de desalojo, para que no causen daños por erosión al escurrir superficialmente o por infiltración en el cuerpo del talud.

Estos estudios se realizan siguiendo lineamientos generales expresados en la **Norma N·PRY·CAR·1·06·001** a **006** y **M·PRY·CAR·1·06·003** a **005** Estudios Hidráulicos - Hidrológicos para Puentes y con los Términos de Referencia y Especificaciones Particulares que para el caso se hayan elaborado; es oportuno señalar que estas Normas y Manuales se refieren, en la mayoría de los casos, a Estudios Hidráulicos e Hidrológicos para cuencas grandes que disponen de información pluviométrica y son específicos para el diseño de puentes; sin embargo, algunos de los métodos que ahí se consideran, son aplicables a áreas o cuencas pequeñas, como el caso de la mayoría de los taludes carreteros.

Estudio Geotécnico

El estudio geotécnico en conjunción con el reconocimiento geológico, con los estudios topográficos, hidráulicos e hidrológicos, permite reunir la información que da lugar a la formación del modelo geotécnico para el análisis de la estabilidad de los taludes; de este análisis se deriva la necesidad o no, de estabilizar, de reforzar, de proteger y hasta sólo de dotar al talud de un arreglo arquitectónico agradable y seguro al usuario.

Su importancia radica en determinar de la manera más precisa posible la caracterización de los depósitos de suelo o de los macizos rocosos, con valores representativos de los parámetros de: resistencia, permeabilidad, deformabilidad, fracturamiento, contactos, etcétera. Sin embargo, esta caracterización tiene en sus limitantes económicas una restricción, particularmente en el caso de vías terrestres, ya que en éste ámbito se tienen enormes longitudes de cortes y terraplenes, por lo que cualquier cantidad de dinero no sería suficiente para atender esta necesidad. Es por ello que estos trabajos se hacen con ciertos criterios prácticos, cuyo soporte ha sido la experiencia acumulada a lo largo de los años y de las propias carreteras.

El conocimiento “in situ” de las masas de suelo y/o rocas se hace, en la ingeniería práctica, por medio de exploración directa o indirecta: para la primera existen distintos métodos, incluyendo el reconocimiento geológico, que dependen de los materiales que se vayan a explorar; la exploración indirecta se hace por medio de fotogeología y de métodos geofísicos.

La fotogeología se define como la técnica de utilizar las fotografías aéreas para obtener información geológica, identificando e interpretando los rasgos, colores y tonalidades de la superficie terrestre.

La fotogeología permite planear en forma adecuada los trabajos de campo, reduce en gran medida el tiempo de los recorridos geológicos de campo y, en muchos casos, revela características de interés geológico que de otra forma requerirían una exhaustiva exploración.

Exploración Geofísica

Los métodos de exploración geofísica representan economía en tiempo y costo, sin embargo nunca sustituyen a los estudios directos, sino lo complementan.

En la práctica de la Ingeniería Geotécnica de Vías Terrestres, los métodos más utilizados son el Método Sísmico y el Método Eléctrico.

Método Sísmico. Consiste en determinar el tiempo de arribo de las ondas sísmicas generadas por una explosión o impacto de una masa a sismodetectores o geófonos que transforman la vibración mecánica en señales eléctricas que son amplificadas, filtradas y registradas en un sismógrafo.

Método Eléctrico. Está basado en las diferencias de conductividad eléctrica que presentan los materiales del subsuelo, las que se correlacionan con las características geológicas. En la ingeniería práctica se conocen dos variantes principales de los métodos geofísicos eléctricos: el de resistividad y el de caída de potencial.

Al medir la corriente y la diferencia de tensión entre dos electrodos de potencial, puede medirse la resistividad en un punto situado entre ambos electrodos y a una profundidad igual a la distancia entre éstos.

La precisión de este método para predecir la estratigrafía del subsuelo es, por lo general, menor que la de refracción sísmica y por ello se utiliza menos; sin embargo es más confiable para determinar la posición del nivel freático.

Ambos métodos permiten determinar con bastante precisión las fronteras entre diferentes estratos; una combinación de ambos es más eficiente en dicha determinación, sin embargo, la práctica común en aras de la economía, es utilizar un sólo método.

La información obtenida se presenta en planos con perfiles que muestran resistividad por estratos y su posible denominación como material del subsuelo, obtenida a partir de la correlación respectiva, en el caso del método eléctrico. Tabla 3.3.1.

MATERIALES	RESISTIVIDAD (OHMS)
Arcillas	3 - 30
Margas	10 - 100
Esquistos	30 - 300
Arenas y gravas	100 - 1000
Calizas	300 - 3000
Rocas intrusivas	1000 - 10000

Tabla 3.3.1. Valores usuales de la resistividad de suelos y rocas

Para el caso del método sísmico de refracción, también se presentan perfiles que muestran velocidades de onda y la probable denominación del material, obtenida de forma análoga como en el caso del método eléctrico. Tabla 3.3.2.

MATERIALES	VELOCIDAD (m/s)
Suelo superficial	170 - 500
Arcilla	1000 - 2800
Arcilla arenosa	975 - 1160
Arcilla arenosa cementada	1160 - 1280
Limo	760
Aluvión	550 - 1000
Aluvión profundo	1100 - 2360
Depósito glaciar	490 - 1700
Dunas	500
Loes	400 - 475
Arena seca	300
Arenisca	2400 - 4000
Lutita	1800 - 3800
Marga	300 - 4700
Caliza	3000 - 5700
Granito	3000 - 5000
Basalto	4000 - 6000
Dolerita	4000 - 7000
Gabro	4000 - 7000
Mármol	3500 - 6000
Cuarcita	5000 - 6500

Tabla 3.3.2. Velocidades de onda para distintos materiales

Los resultados obtenidos a partir de la información geofísica se comparan y se complementan con la información geológica, que conjuntamente permiten conocer un poco mejor al subsuelo, pero que es necesario corroborar con exploración directa puntual.

Exploración, Muestreo y Ensayes de Laboratorio

La exploración geotécnica directa y el muestreo pueden ser de tipo superficial y/o profundo. La primera se hace a base de excavación de pozos a cielo abierto, llevados a relativa poca profundidad; está condicionada al equipo manual o mecánico pero de corto alcance, además de la presencia del nivel freático o la presencia de rocas. Las profundidades prácticas no superan los 5 m; ocasionalmente se excavan pozos a cielo abierto exploratorios más allá de estas profundidades, para casos especiales en los que se requiere recuperar muestras de alta confiabilidad. Una de las ventajas de este tipo de exploración y muestreo es la observación directa del perfil estratigráfico y de la recuperación de muestras inalteradas confiables, por el Ingeniero Geotecnista.

Por su parte, la exploración profunda normalmente es mecánica y se hace con equipo rotatorio, en ella se realiza la prueba de penetración estándar (estandarizada en la Norma ASTM), que consiste en hincar 60 cm a golpes un tubo muestreador, dividido éste en 3 secciones, una de 15 cm, otra central de 30 cm y una más de otros 15 cm; se cuenta el número de golpes (N) para hincar los 30 cm centrales y este valor es el que se correlaciona con varias propiedades de los suelos. Figura 3.3.1.

El tubo muestreador es un tubo partido recuperador de muestras representativas alteradas que permiten identificar manual y visualmente los materiales muestreados y formar el perfil estratigráfico preliminar representativo del sondeo.

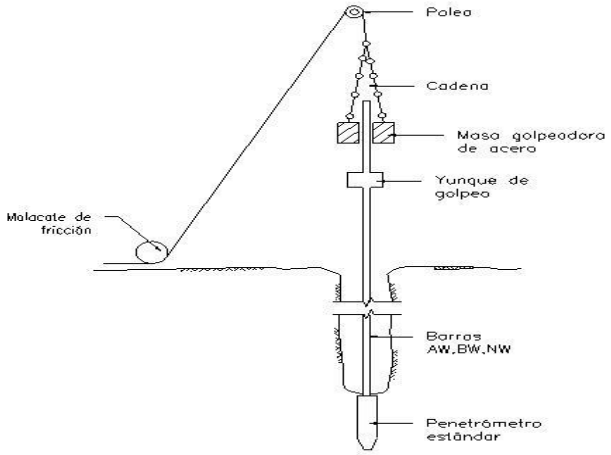


Figura 3.3.1. Prueba de penetración estándar (Petróleos Mexicanos, México 1975)

Alternativamente este equipo exploratorio permite hacer el cambio del tubo partido por un tubo de pared delgada (muestreador Shelby) que se hinca a presión y permite recuperar muestras prácticamente inalteradas, lo que se realiza en estratos arcillosos o limo arcillosos suaves o de consistencia blanda, que en la prueba de penetración estándar no superan los 8 golpes.

Análogamente el equipo también permite hacer el cambio por un muestreador de suelos más compactos, con número de golpes arriba de los 8 y hasta 30 o 40, denominado muestreador Denison; por el contrario, cuando se detectan rocas suaves o muy fracturadas se avanza con brocas tricónicas (ver Tabla 3.3.3) que permiten recuperar muestras muy alteradas y lavadas, pero esta condición se da cuando el muestreador de tubo partido ya necesitó 50 golpes o más para su hincado, lo que es un sinónimo de la dureza del material, Figura 3.3.3.

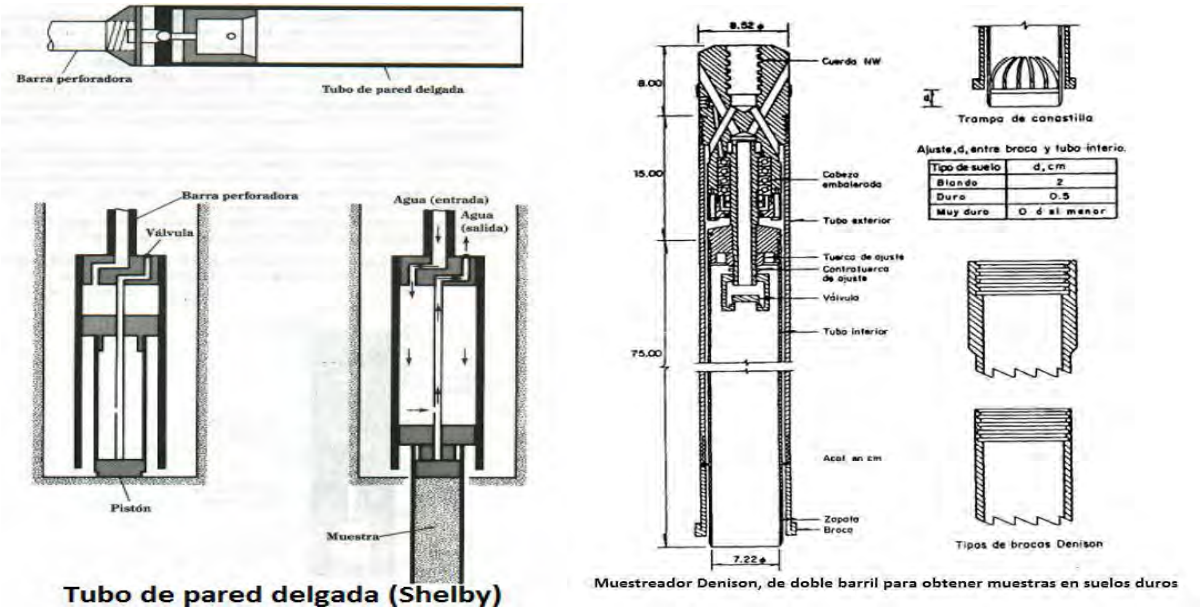


Figura 3.3.2. Muestreadores Shelby y Denison

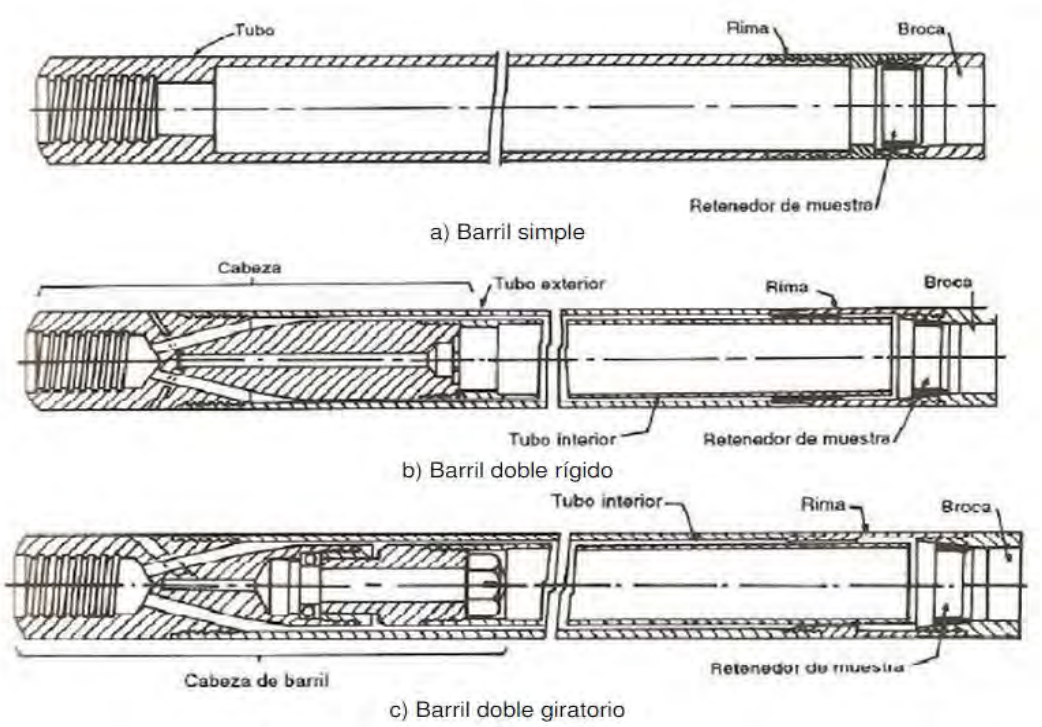


Figura 3.3.3. Barriles muestreadores convencionales (Manual de diseño de obras civiles, B.1.4)

Broca	Diámetro Exterior del Ademe		Diámetro Exterior de la Broca		Diámetro Interior de la Broca	
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
EX	46	1 13/16	37,5	1 15/32	20,5	27/32
AX	57	2 1/4	47,5	1 7/8	20,5	1 3/16
BX	73	2 7/8	51,5	2 12/32	42	1 21/32
1NX	89	3 1/2	75,5	1 61/64	55	2 5/32

Tabla 3.3.3. Diámetros utilizados en perforación

Una de las ventajas del penetrómetro estándar es que derivado de su uso práctico, existen correlaciones entre el número de golpes y algunas propiedades de los suelos, tales como el peso volumétrico, densidad, cohesión, ángulo de fricción interna para condiciones no drenadas, entre otras. Sin embargo, no es recomendable utilizarlo en el muestreo de gravas y gravillas o fragmentos pequeños de roca, pues el número de golpes resultante no representa la compacidad de esos materiales.

Una vez recuperadas las muestras, alteradas y/o inalteradas, debidamente protegidas para que no pierdan su contenido de agua y no sufran alteraciones, se efectúa de manera preliminar un perfil estratigráfico a partir del número de golpes y de la clasificación visual y manual de las muestras de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS); este perfil permite programar los ensayes definitivos que nos van arrojar valores de las propiedades índice (para clasificación definitiva, de acuerdo con el SUCS, ver clasificación SUCS en la sección de Apéndices) y mecánicas, representativas de cada estrato y cuyos valores también permiten confirmar y/o modificar la estratigrafía preliminar formada.

En general, y para el caso de suelos y en muestras tanto alteradas como inalteradas, se realizan las siguientes pruebas:

- Contenido natural de agua
- Densidad de sólidos
- Análisis granulométrico o determinación del porcentaje de finos
- Límites de consistencia y
- Pesos volumétricos

Por su parte, sólo en las muestras inalteradas se realizan pruebas de resistencia al esfuerzo cortante, tales como:

- Compresión simple
- Compresión triaxial rápida (UU, por sus siglas en inglés)
- Compresión triaxial rápida consolidada (CU) o
- Compresión triaxial consolidada drenada (CD o lenta)

De forma análoga se realizan pruebas de deformabilidad, como la prueba de:

- Consolidación unidimensional

En el caso de núcleos de roca:

- Peso volumétrico y eventualmente
- Resistencia por compresión de núcleos

En este caso obtener el Índice de Calidad de la Roca (RQD, por sus siglas en inglés) es de mayor utilidad, ya que este valor muestra la calidad del macizo y su grado de fracturamiento, lo que es más representativo de su comportamiento.

La determinación de este índice se hace a partir de la longitud total de exploración, es decir, se miden todos los fragmentos de núcleos con longitud de 10 cm o mayor, se suman sus valores y el resultado se divide entre la longitud total explorada, que multiplicada por 100 expresa porcentaje. Adicionalmente se obtiene el porcentaje de recuperación de muestras que consiste en dividir la longitud total recuperada de núcleos entre la longitud total explorada; también se expresa en porcentaje. Ambos resultados permiten estimar la calidad del macizo rocoso.

Para consulta de los procedimientos de ensaye de las pruebas antes mencionadas, se incluyen las fuentes en la sección de bibliografía.

Factores que Influyen en la Estabilidad de un Talud

Factores internos. La geometría (altura e inclinación), las condiciones geológicas, las hidrogeológicas (que tiene que ver con el flujo del agua en el cuerpo del talud) y la geotecnia, que está relacionada con resistencia y deformabilidad del subsuelo, así como el estado de esfuerzos “in situ”, son factores intrínsecos de la masa de suelo o del macizo rocoso, que si no se les altera, no causan algún movimiento extraordinario.

Factores externos. Por el contrario, los factores externos, como sobrecargas, cargas dinámicas, cambios en las condiciones hidrogeológicas, factores climáticos, cambio en la geometría y reducción de los parámetros resistentes, son desencadenantes de las modificaciones de las condiciones de equilibrio del talud.

En la Tabla 3.3.4 se muestran de forma resumida estos factores, a los que se les denomina factores condicionantes y factores desencadenantes, respectivamente.

Factores condicionantes	Factores desencadenantes
Estratigrafía y litología	Sobrecargas estáticas
Estructura geológica	Cargas dinámicas
Condiciones hidrogeológicas y comportamiento hidrogeológico de los materiales	Cambios en las condiciones hidrogeológicas
Propiedades físicas, resistentes y deformaciones	Factores climáticos
Esfuerzos naturales y estado esfuerzo-deformación	Variaciones en la geometría
	Reducción de parámetros resistentes

Tabla 3.3.4. Factores influyentes en la inestabilidad de taludes

Estabilidad de Taludes en Suelos

Debido a diferentes tipos de suelo, compleja estratigrafía y variadas condiciones de carga, existen diversas formas en que puede fallar un talud.

En suelos, generalmente los taludes fallan con superficies curvas, con variantes que están condicionadas por la morfología y la estratigrafía del subsuelo que forma el talud. La más frecuente es la aproximadamente circular con superficie de falla pasando por el pie del talud, o por debajo de éste; cabe aclararse que para que se den estos dos casos, se requiere de un material bastante homogéneo o formado por varios estratos de propiedades geotécnicas homogéneas; cuando el suelo es heterogéneo, que sucede con frecuencia en laderas naturales, las superficies de falla no son circulares y consiste en una combinación de secciones planas y curvas. En la Figura 3.3.4 se muestran diferentes tipos de fallas de taludes en suelos.

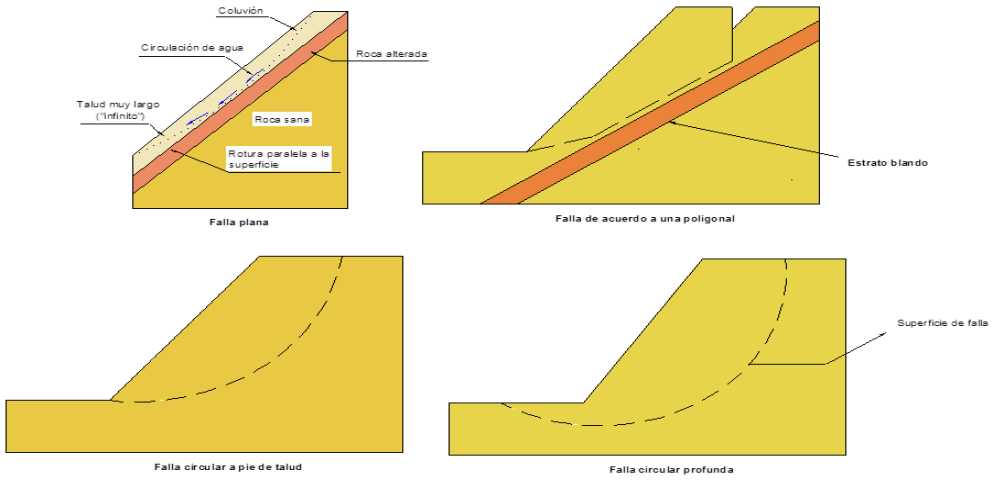


Figura 3.3.4. Tipos de superficies de falla en suelos

Las fallas planas o de cuñas son comunes en taludes o terrenos donde existe un estrato de suelo o una lente con resistencia relativamente baja.

La gran mayoría de las fallas de talud se presentan de manera casi súbita, pero algunas pueden ocurrir paulatinamente. Estas fallas progresivas se desarrollan por varias secciones curvas en suelos estratificados en que las primeras fallas provocan las posteriores y así sucesivamente.

Un aspecto muy importante a investigar es la posible presencia de deslizamientos naturales, activos o inactivos, en las laderas donde se proyectan excavaciones, ya que las obras pueden reactivar los movimientos al modificar las condiciones iniciales de la ladera (geometría, hidrogeología, estados de esfuerzos, etcétera.).

La presencia de posibles inestabilidades de laderas naturales modifica el diseño del corte o sugiere, muy probablemente, el cambio de trazo. En estos casos se deben investigar aspectos como la magnitud y profundidad de la inestabilidad, la actividad actual o pasada, la posición del Nivel de Aguas Freáticas (NAF), entre otros.

Los taludes son estables cuando la fuerza resistente proporcionada por la resistencia al corte del suelo es mayor que la fuerza activa generada por el esfuerzo cortante, que se da por las condiciones ambientales y de carga.

En este marco, se hace notar que el efecto hidráulico es decisivo en las fallas de los taludes, por lo que es necesario considerarlo en los análisis, además de tomar en cuenta todos los elementos para canalizar el agua, tanto superficial como subterránea, así como aminorar los daños que pudiera provocar, particularmente el efecto de erosión externa e interna y la reducción de la resistencia al esfuerzo cortante por el incremento de las presiones intersticiales en el cuerpo del talud, de acuerdo con la ley de resistencia al esfuerzo cortante siguiente:

$$\tau = c + (\delta - u) \tan \phi$$

Donde:

c = es la cohesión aparente,
δ = es el esfuerzo normal total,
u = es la presión del agua y
ϕ = es el ángulo de fricción interna en condiciones no drenadas.

De forma análoga, es menester tomar en cuenta la presión ejercida sobre grietas de tensión que pudiesen tener los taludes, así como el incremento del peso por la saturación de los materiales.

Análisis. Los análisis de estabilidad se aplican para diseño nuevo o cuando el talud presenta problemas de inestabilidad o ha fallado.

Los métodos de análisis de estabilidad de taludes se basan en planteamientos físico – matemáticos que consideran las fuerzas estabilizadoras y las desestabilizadoras. Se pueden agrupar en: Determinísticos y Probabilísticos.

En los métodos determinísticos se seleccionan los valores adecuados de los parámetros físicos y resistentes que gobiernan el comportamiento del material, para que, a partir de ellos y de las leyes de comportamiento adecuado se defina el factor de seguridad. Se utilizan dos métodos: de equilibrio límite y de esfuerzo – deformación. En esta Guía se tratarán los métodos de equilibrio límite, por ser los de uso más frecuente y práctico.

Por su parte, los métodos probabilísticos consideran la probabilidad de falla de un talud bajo condiciones determinadas. Es necesario conocer las funciones de distribución de los diferentes valores considerados como variables aleatorias en los análisis, obteniéndose a partir de ellas los factores de seguridad, asociados, cada uno de ellos, a una determinada probabilidad de ocurrencia.

La selección del método de análisis más adecuado dependerá de:

- Las características geológicas y geomecánicas de los materiales (suelos o macizos rocosos)
- Los datos disponibles del talud y su entorno (geométricos, geológicos, geomecánicos, hidrogeológicos, etcétera.
- Alcance y objetivos del estudio, grado de detalle y resultados que se esperan

Estos factores son interdependientes entre sí; no se puede efectuar un análisis detallado si no se dispone de los datos necesarios y suficientes; similarmente, un caso de estabilidad complejo no puede ser atendido con un

método simple, por el hecho de disponer de pocos datos de campo o laboratorio. De forma análoga, es necesario tener en cuenta que tanto los datos de campo como los de laboratorio deben ser obtenidos en función del método de análisis que se vaya a emplear y del tratamiento que se les vaya a dar. Después de ello, hay que elegir un modelo que represente mejor las condiciones de campo.

Métodos de Equilibrio Límite. Analizan el equilibrio de una masa potencialmente inestable y consiste en comparar las fuerzas que generan el movimiento contra las fuerzas resistentes, es decir, las que se oponen a aquel, a lo largo de una determinada superficie de falla. El procedimiento de análisis consiste en:

- Seleccionar una superficie teórica de falla y
- Considerar el criterio de falla de Mohr – Coulomb
- Definir un factor de seguridad (FS)

Para su utilización se hacen las siguientes suposiciones:

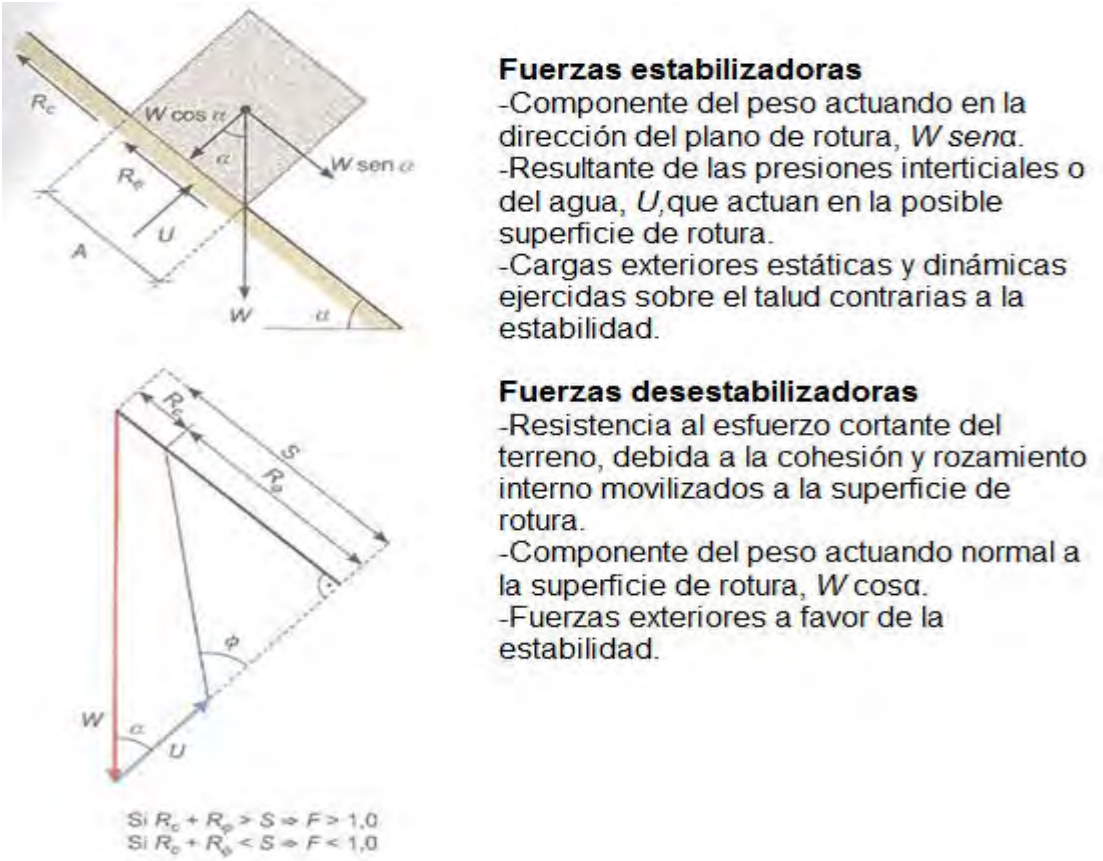
- La superficie de falla propuesta debe ser de tal geometría que permita que ocurra el deslizamiento.
- La distribución de las fuerzas actuando en la superficie de falla puede ser calculada utilizando datos conocidos como: peso específico del material, presión del agua, etcétera.
- La resistencia se moviliza simultáneamente a lo largo de toda la superficie de falla.
- Además, para cada método en particular se hacen suposiciones adicionales.

Bajo estas consideraciones se establecen las ecuaciones de equilibrio entre las fuerzas que inducen el deslizamiento y las resistentes. Los resultados se expresan como un factor de seguridad del talud para la superficie analizada, es decir:

FS = (Fuerzas estabilizadoras / Fuerzas desestabilizadoras) que en términos de esfuerzos queda como
FS = (Esfuerzos cortantes resistentes / Esfuerzos cortantes actuantes)

En resumen, el procedimiento de cálculo consiste en suponer una superficie de falla, analizarla, obtener el FS, suponer otra superficie de falla, analizarla y obtener un segundo FS y así sucesivamente, hasta obtener el FS Mínimo, que es el que representa las peores condiciones de estabilidad del talud.

Si se supone que no actúan fuerzas externas, las únicas fuerzas que actúan son las debidas al peso del material W, la cohesión c, y la fricción ϕ del plano de deslizamiento. Figura 3.3.5.



Fuerzas estabilizadoras
-Componente del peso actuando en la dirección del plano de rotura, *W sen*α.
-Resultante de las presiones interticiales o del agua, *U*, que actuan en la posible superficie de rotura.
-Cargas exteriores estáticas y dinámicas ejercidas sobre el talud contrarias a la estabilidad.

Fuerzas desestabilizadoras
-Resistencia al esfuerzo cortante del terreno, debida a la cohesión y rozamiento interno movilizados a la superficie de rotura.
-Componente del peso actuando normal a la superficie de rotura, *W* cosα.
-Fuerzas exteriores a favor de la estabilidad.

Figura 3.3.5. Fuerzas que intervienen en la estabilidad de un talud

Entonces se puede establecer la siguiente relación para obtener el factor de seguridad FS:

FS = $(R_c + R_\phi)/S$,

Donde:

$\mathbf{R_c}$ **=**	**cA =**	Fuerza resistente debidas a la cohesión
$\mathbf{R_\phi}$ **=**	**W cos α tan ϕ=**	Fuerzas resistentes debidas a la fricción
S =	**W sen α =**	Fuerzas que generan el deslizamiento
A=		Área del plano de falla

En el caso de que exista agua en el plano de falla, se hace la siguiente consideración:
$\mathbf{R_\phi}$ **=** $(W\cos\alpha - U)\tan\phi$

Existen varios métodos para el cálculo del factor de seguridad por equilibrio límite, con distinto grado de complejidad, desarrollados originalmente para suelos. Estos métodos proporcionan el factor de seguridad a partir de resolución inmediata de ecuaciones simples, por ejemplo el método de Taylor y el de Fellenius, mientras que los métodos numéricos necesitan sistemas de ecuaciones y procesos de cálculo iterativo, tales como los métodos de Morgenstern y Price y el de Spencer. **Referencia Bibliográfica**

Los métodos de equilibrio límite se clasifican en:

- Métodos que consideran el análisis del bloque o masa total
- Métodos que consideran la masa dividida en dovelas

Los primeros métodos son válidos para materiales homogéneos y únicamente realizan el cálculo y la comparación de fuerzas en un punto de la superficie de falla; los segundos pueden considerar materiales heterogéneos y requieren de hipótesis sobre localización, posición y distribución de fuerzas que actúan sobre las dovelas.

El cálculo de las fuerzas actuantes se hace para cada una de las dovelas, para, finalmente integrar los resultados obtenidos. Los métodos más comunes que consideran dovelas son el de Bishop modificado para análisis de fallas curvas y el de Jambu, válido para el análisis de fallas curvas, planas y poligonales.

Para los taludes en suelos existen métodos clásicos más representativos:

- Análisis de fallas planas en taludes "infinitos".
- Análisis de varios bloques que interaccionan entre sí, representativos de superficies de falla de tipo poligonal (método de cuñas).
- Métodos que analizan el equilibrio total de una masa deslizante, de desarrollo circular o logarítmico, para análisis de fallas curvas.
- Métodos de las dovelas, cuyo planteamiento original es debido a Fellenius.

En la práctica de la Ingeniería Geotécnica, los métodos más utilizados son: el de las Cuñas, el de Taylor, el Bishop simplificado, el del Talud Infinito y el originalmente desarrollado por Fellenius o método sueco. Para el desarrollo y aplicación de estos métodos, cuya referencia se incluye en la sección de Bibliográfica de esta Guía.

En esta Guía se describe un ejemplo de la aplicación del método de Bishop simplificado, desarrollado por el año de 1955, por ser de uso más frecuente y bastante representativo de los taludes que con frecuencia se analizan en carreteras que atraviesan depósitos de suelos residuales.

Este método, que consiste en analizar dovelas, supone:

- Superficie de falla circular.
- La masa deslizante se divide en un número "n" de dovelas.
- Establece el equilibrio de momentos de las fuerzas actuantes en cada dovela, con respecto al centro del círculo.
- De la condición de equilibrio de las fuerzas verticales en cada dovela, se obtienen las fuerzas N normales a la superficie de falla.
- Que las fuerzas de contacto entre cada dos dovelas están equilibradas, por tanto no influyen.
- Finalmente se obtiene el Factor de Seguridad (FS) de la superficie considerada a partir de iteraciones.

Para mayor claridad de las fuerzas que actúan en cada dovela y las expresiones matemáticas que se obtienen, así como un ábaco complementario resultante. Consúltese la Figura 3.3.6.

El método de Bishop simplificado

A partir de las fuerzas actuantes sobres cada una de las rebanadas consideradas en el talud, se establece el equilibrio de momentos:

$$\Sigma S \cdot R = \Sigma W \cdot x = \Sigma W \cdot R \operatorname{sen} \alpha$$

Como:

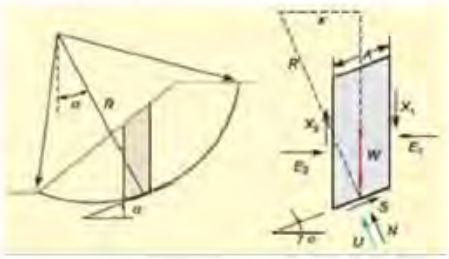
$$F = (cA + Ntg\phi)/S$$

El valor de S es:

$$S = (cA + Ntg\phi)/F$$

Luego:

$$\Sigma \frac{cA + Ntg\phi}{F} R = \Sigma(WRsen\alpha)$$



Fuerza actuando en una rebanada

$$F = \frac{\Sigma(cA + Ntg\phi)}{\Sigma(Wsen\alpha)}$$

Para despejar la incógnita N se establece el equilibrio vertical en la rebanada:

$$W + \Delta X = N\cos\alpha + U\cos\alpha + S\operatorname{sen}\alpha$$

Sustituyendo S y despejando N se obtiene:

$$N = \frac{W + \Delta X - U\cos\alpha - [(cA - Ntg\phi)/F]sen\alpha}{\cos\alpha}$$

De donde:

$$N = \frac{W + \Delta X - [(cAsen\alpha/F) + U\cos\alpha]}{\cos\alpha + [tg\phi sen\alpha/F]}$$

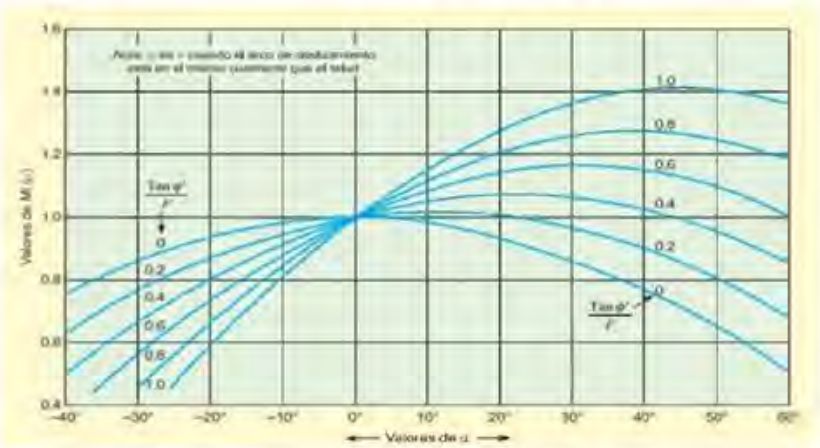
Y el coeficiente de seguridad (queda considerado ΔX=0):

$$F = \frac{\Sigma[cA\cos\alpha + (W - U\cos\alpha)tg\phi][1/Mi(\alpha)]}{\Sigma W sen\alpha}$$

Donde:

$$Mi(\alpha) = \cos\alpha\left(1 + \frac{tg\phi tg\alpha}{F}\right)$$

Para el cálculo de Mi(x) puede utilizarse el ábaco de la siguiente figura:



Ábaco para obtener el valor de Mi (α) de la expresión de Bishop

Figura 3.3.6. Desarrollo del método de Bishop simplificado

Una vez obtenido el FS de la superficie considerada, se supone otra superficie circular y se calcula el nuevo valor del FS y así sucesivamente hasta obtener el mínimo. Habitualmente estas expresiones se programan y analizan círculos con diferentes centros y radios, hasta encontrar el que proporcione el valor de FS mínimo, lo cual se logra considerando una cuadrícula de centros de círculos de falla factibles. Figura 3.3.7.

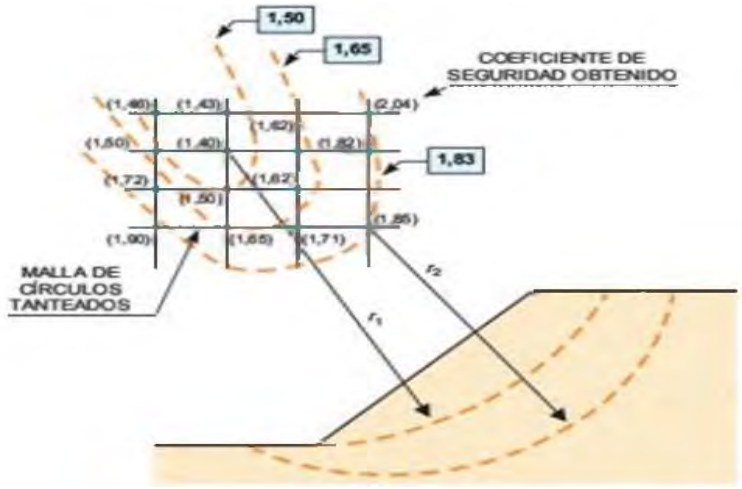


Figura 3.3.7. Tanteo con diversos círculos (con diferentes centros y radios) y obtención del factor de seguridad mínimo

Estabilidad de Taludes en Rocas

Para el caso de las rocas, las fallas están condicionadas por el grado de fracturamiento del macizo rocoso y por la orientación y distribución de las discontinuidades con respecto al talud, por lo que la estabilidad depende directamente de los parámetros de resistencia de las discontinuidades y de la matriz rocosa. Tal es el caso que, tanto en macizos rocosos muy competentes como en blandos, las discontinuidades determinan la situación de los planos de falla.

Las formas más comunes de fallas de taludes en roca son: Falla Plana, en Cuña y por Volteo, y en el caso de macizos intensamente fracturados Falla Circular. En la Figura 3.3.8 se muestran diferentes tipos de fallas de taludes en roca, curvas de resistencia para el macizo y relaciones altura e inclinación del talud.

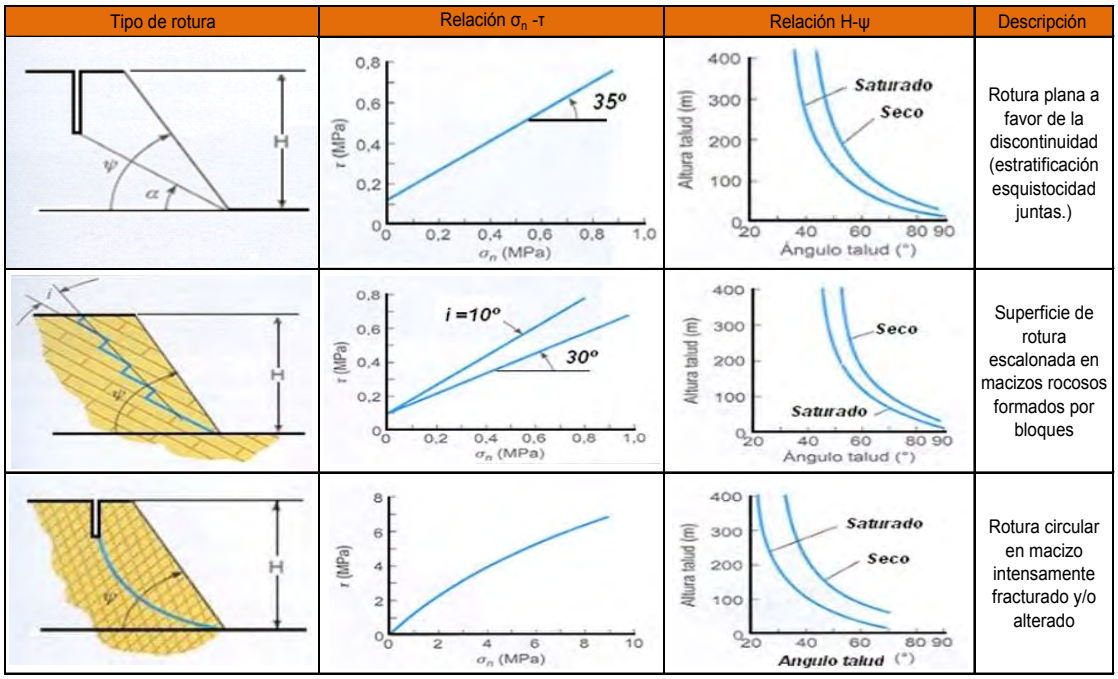


Figura 3.3.8. Tipos de falla en macizos rocosos, curva de resistencia para el macizo y relación entre inclinación y altura del talud

Mientras que en la Figura 3.3.9 se presentan algunas representaciones estereográficas para distintos tipos de fallas.

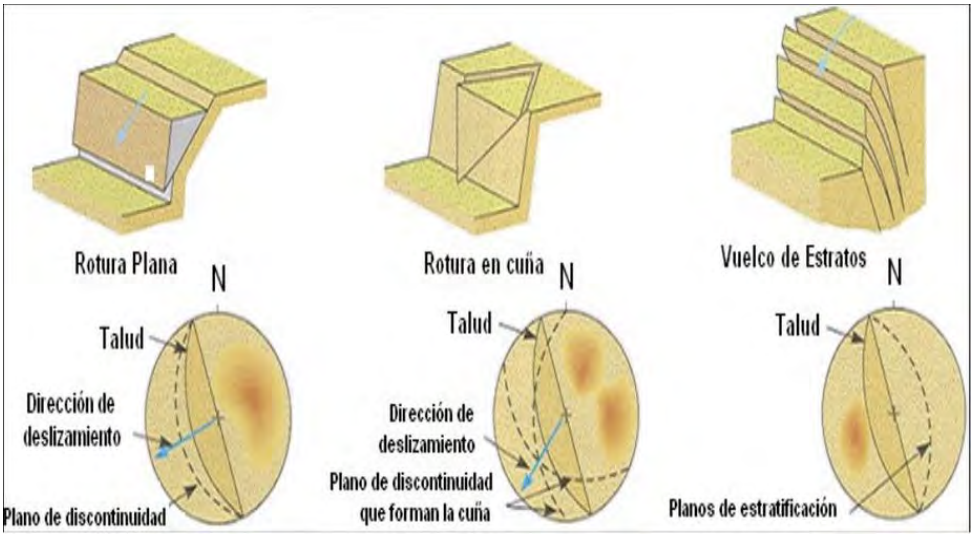


Figura 3.3.9. Representación estereográfica de los planos de discontinuidad con respecto a la orientación del talud para algunos tipos de fallas en macizos rocosos

Existen algunas condiciones geométricas para que se den las fallas planas o en cuña. En la Figura 3.3.10 se muestran estas condiciones.

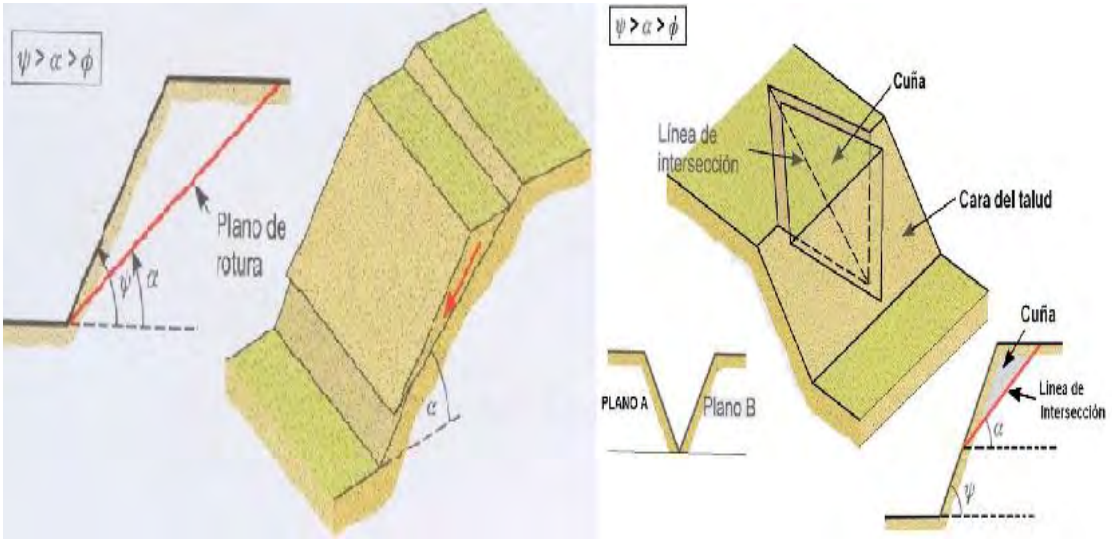


Figura 3.3.10. Condiciones para falla plana y para falla de cuña

Por otra parte, para el caso de Fallas por Volteo, también existen algunas condicionantes de tipo geológico, consistente en que sean estratos fracturados en bloques con buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección paralela o casi paralela al mismo. En las Figuras 3.3.11 y 3.3.12 se muestra un esquema representativo de esta condición.

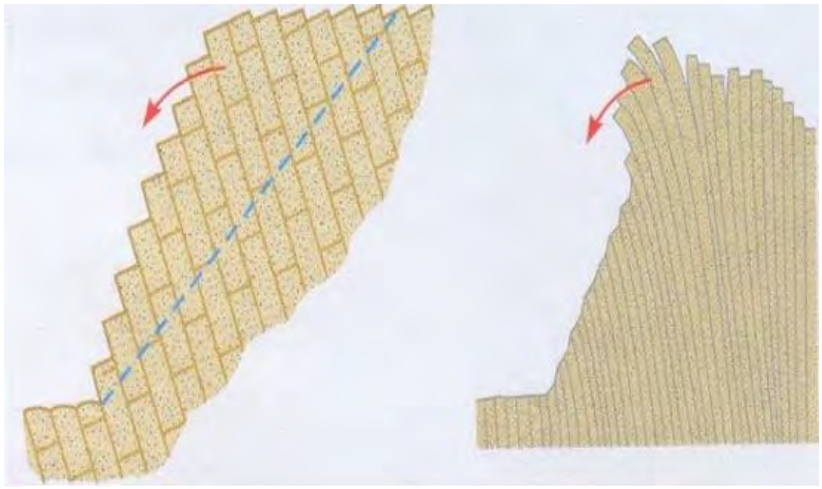


Figura 3.3.11. Esquemas de taludes con estructura de estratos favorable al vuelco



Figura 3.3.12. Bloques rocosos de un talud que han sufrido proceso de vuelco (BC, Canadá)

En cuanto a las fallas curvas en rocas, se dan sólo en macizos intensamente fracturados, en donde las discontinuidades no gobiernan el comportamiento mecánico. Figura 3.3.13.



Figura 3.3.13. Esquema de falla curva en macizos rocosos

Para fallas en rocas, los métodos se basan igualmente en ecuaciones del equilibrio entre las fuerzas actuantes, establecidas en base a la geometría de cada tipo de falla.

Análisis de Alternativas de Solución

Cuando un talud ha sufrido falla o deformaciones excesivas o cuando por razones constructivas, ambientales, económicas, etcétera se precise excavar un talud con mayor ángulo del correspondiente a la propia resistencia del terreno y que implique riesgo de inestabilidad, invariablemente deben adoptarse medidas para su estabilización.

Para diseñar y aplicar estas medidas es necesario conocer:

- Las propiedades y el comportamiento geomecánico del terreno.
- El mecanismo y tipo de falla, incluyendo la velocidad y dirección del movimiento y la geometría de la falla.
- Los factores geológicos, hidrogeológicos y de otro tipo que influyen o determinan la causa de la inestabilidad; especial atención merecen el nivel freático, las presiones hidráulicas y la permeabilidad de los materiales.

El acopio de esta información se realiza de acuerdo con los lineamientos descritos anteriormente, en este mismo apartado.

Para el diseño de las medidas de estabilización deben tomarse en consideración:

- Los medios económicos y materiales disponibles.
- La magnitud y dimensiones de la inestabilidad, que dan lugar a la urgencia de intervención, por su implicación con la seguridad del usuario y la continuidad del tránsito.

En la Figura 3.3.14 se muestran las distintas fuerzas, tanto estabilizadoras como desestabilizadoras, que siempre que se analice la estabilidad de un talud, deben estar presentes, como mínimo, ya que de este conocimiento se derivan los probables métodos de estabilización.

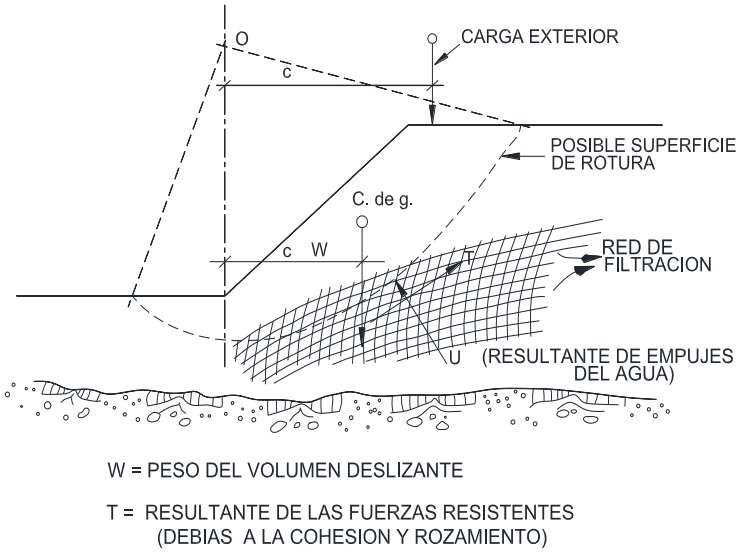


Figura 3.3.14. Esquema de fuerzas actuantes en el problema de estabilidad de un talud (Oteo. 1995)

Soluciones Típicas de Estabilidad de Taludes

Soluciones en Suelos: Las medidas de estabilización más comunes pueden ser:

- Modificación de la geometría del talud
- Diseño de sistemas de drenaje adecuados
- Aumento de la resistencia del subsuelo mediante la introducción en el cuerpo del talud de elementos estructurales resistentes
- Construcción de muros u otros elementos de contención

Modificación de la Geometría del Talud. En la Figura 3.3.15 se muestran en forma esquemática, distintas formas de modificar la geometría de un talud para aumentar el factor de seguridad.

Diseño de Sistemas de Drenaje Adecuados. Un buen sistema de drenaje elimina o disminuye el agua presente en la superficie y/o en el cuerpo del talud, disminuyendo por ende las presiones intersticiales, y las presiones hidrostáticas en las grietas de tensión.

El agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, ya sea erosionando superficial e internamente al subsuelo o disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante.

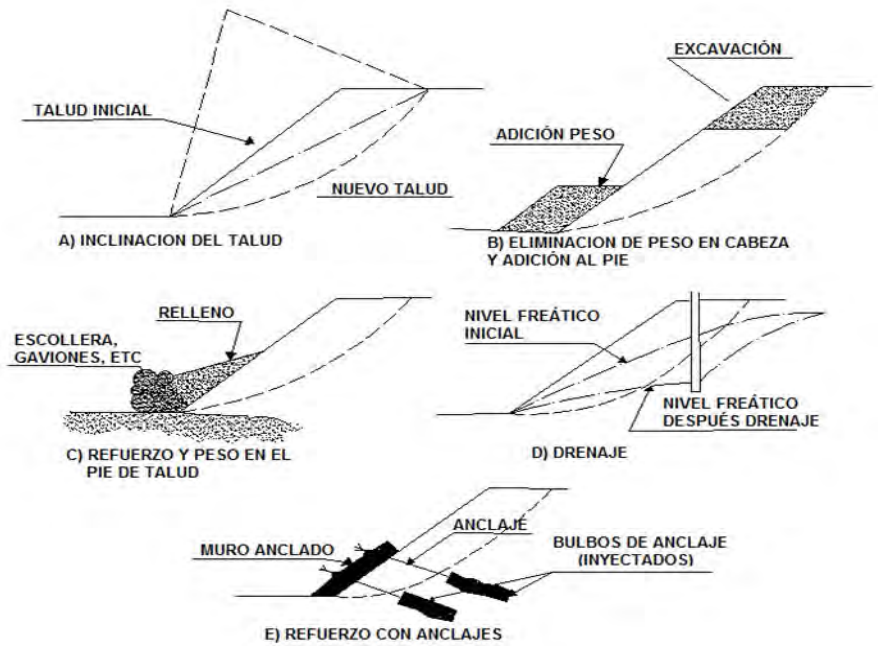


Figura 3.3.15. Métodos tradicionales para aumentar la seguridad de un talud (Oteo, 1995)

En las Figuras 3.3.16 y 3.3.17 se presentan de manera esquemática, algunos posibles sistemas de drenaje, que deben ser dispuestos de forma eficaz, para obtener buenos resultados.

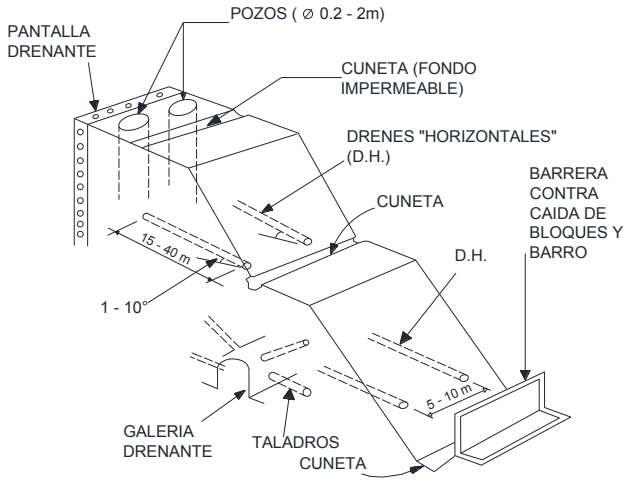


Figura 3.3.16. Medidas de drenaje y protección en taludes (Uriel y otros, 1991)

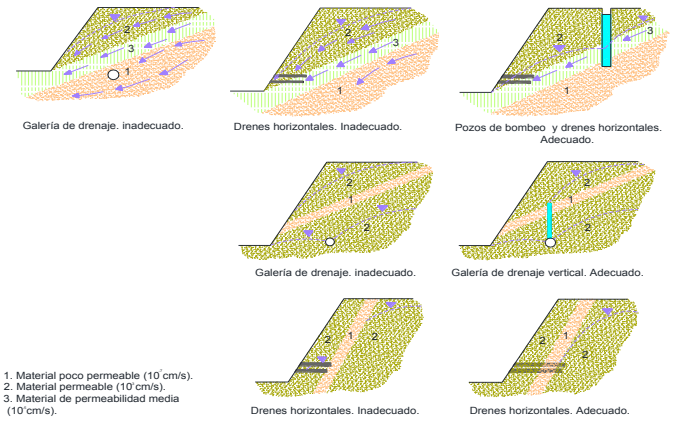


Figura 3.3.17. Disposición y eficacia de sistema de drenaje en un talud

Diseño de Elementos Estructurales Resistentes. Tienen como finalidad aumentar la resistencia al esfuerzo cortante mediante algunos de los siguientes sistemas:

- Introducción de elementos que mejoren la resistencia del subsuelo en la superficie de falla (pilotes, micropilotes, columnas de jet grouting).

- Introducción de elementos que aumenten las fuerzas tangenciales en la superficie de falla (anclajes).

Muros y Elementos de Contención. Generalmente los muros se construyen al pie del talud como elementos resistentes, de contención o de sostenimiento; su efectividad se da más en el caso de inestabilidades superficiales. Tienen pro y contras.

Los diferentes tipos de muros tienen una serie de características que los hacen adecuados en diferentes casos de estabilización. Por ejemplo, los muros de gaviones, que son muros flexibles, que consisten en rellenos de fragmentos rocosos contenidos en una malla de acero; trabajan por gravedad y pueden construirse con escalonamiento hacia el exterior o el interior del talud. Las Figuras 3.3.18 y 3.3.19 muestran estos sistemas.

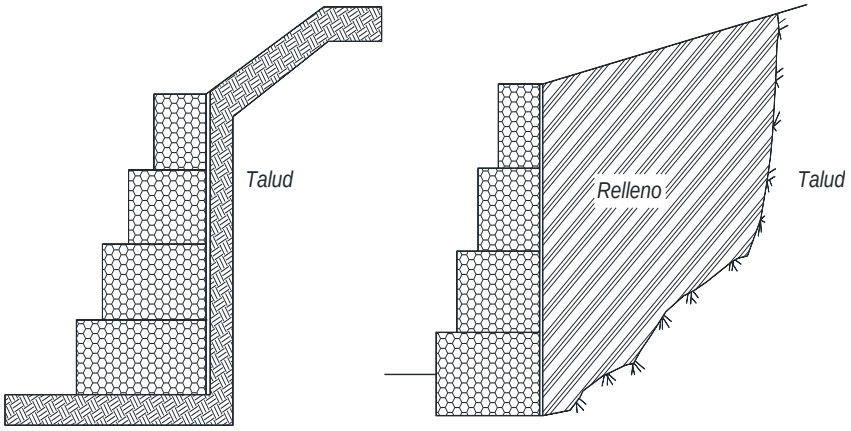


Figura 3.3.1. Muros de gaviones escalonados, con relleno entre el muro y el talud



Figura 3.3.19. Muro de gaviones a pie de talud y cuneta de drenaje (foto L. González de Vallejo)

Muros Pantalla. Consistentes en elementos de concreto armado construidos "in situ" en zanjas excavadas por debajo de la superficie del terreno, cuya acción estabilizadora es similar a la de las pantallas de pilotes.

Tierra Armada es otro tipo de muros flexibles construido por un paramento exterior prefabricado de concreto o chapas metálicas y un relleno de suelo, reforzado mediante bandas metálicas o de material sintético, anclados al talud.

Ocasionalmente se utilizan muros anclados, es decir muros reforzados con anclaje para mejorar la resistencia al vuelco y al deslizamiento.

Medidas de Protección Superficial. Tienen como finalidad: eliminar los problemas de caídos, aumentar la seguridad del talud frente a fallas superficiales, evitar o reducir la erosión y la meteorización en el frente del talud y evitar la entrada de agua de escurrimiento superficial al talud.

Las soluciones más comunes consisten en:

- Instalación de mallas metálicas
- Construcción de muros de revestimiento al pie del talud
- Concreto lanzado
- Colocación de geotextiles

- Impermeabilización
- Siembra de especies que contribuyan a reforzar el terreno y evitar la erosión superficial

Soluciones en Rocas

Los taludes excavados en macizos rocosos fracturados presentan problemas de desprendimientos de bloques; entre los métodos para estabilizar los bloques inestables están:

- Instalación de bulones para fijar los bloques; cuando éstos son de grandes dimensiones debe utilizarse anclaje.

- Instalación de cables y mallas para estabilizar zonas muy fracturadas; consiste en la colocación de una malla de doble o triple torsión a la que se le superpone una serie de cables para formar una retícula, anclados a la roca en sus extremos y tensados.

- Eliminación manual de bloques mediante palancas, martillos y hasta mediante voladuras controladas; en tal caso deben eliminarse únicamente los bloques adecuados pues de lo contrario el efecto puede ser perjudicial.

3.4 PUENTES (INSPECCIÓN)

La forma de conocer la condición exacta y evaluar cada uno de los elementos de un puente, es mediante un programa de inspecciones. La inspección es una actividad compleja, que debe realizarse en forma organizada y sistemática, ya que de ella dependen las recomendaciones para corregir los defectos, señalar restricciones de carga y velocidad y para minimizar la posibilidad de pasar por alto algunas deficiencias que pueden convertirse en daños severos si no son reparadas a tiempo.

Para obtener información satisfactoria, las inspecciones se llevan a cabo con una cierta periodicidad.

Se hacen varios tipos de inspección con distintas finalidades:

1. Para trabajos de mantenimiento normal o rutinario.
2. Para evaluación estructural.
3. Para permiso de tránsito de cargas especiales.
4. Por emergencias.

Para programar **los trabajos de mantenimiento rutinario**, se hace en forma anual, al efectuarse un inventario de las necesidades de todos los elementos del camino.

Las inspecciones para evaluación estructural se recomienda realizarlas cada 2 a 4 años, sin embargo, los puentes de condición dudosa o con deficiencias conocidas, se vigilan con mayor frecuencia. Por ser este tipo de inspecciones de carácter minucioso, se requieren herramientas y equipo apropiados.

Debido al desarrollo de nuestro país, se ha tenido la necesidad de transportar cargas con exceso de peso y dimensiones, para ello se revisan todos los puentes localizados en la ruta o rutas escogidas, determinando normas, especificaciones y preceptos que deben cumplirse durante la transportación, incluyendo la construcción de desviaciones, recalces, apuntalamientos o reforzamientos que se requieran de acuerdo con el Dictamen Técnico (para mayor detalle consultar el manual de pesos y dimensiones editado por el IMT).

Por fenómenos meteorológicos, como ciclones, lluvias torrenciales, sismos o por colisiones o impactos provocados, principalmente por accidentes, se presentan situaciones de emergencia, como asentamientos, erosiones, socavaciones, etcétera, que deben evaluarse inmediatamente.

La inspección ayuda a detectar fallas a tiempo para prevenir problemas futuros; existen tres tipos:

- **Inspección Preliminar.** Se realiza, por lo menos, una vez al año en cada puente por personal capacitado específicamente para la identificación y evaluación de daños. El personal contará con un equipo de inspección y será fundamentalmente visual.

  Al término de la inspección preliminar, se procederá a dar una calificación del estado global de la obra.

  Grupo "A". Puentes que por la gravedad de sus daños requieren atención inmediata.

  Grupo "B". Puentes que presentan daños que deben ser atendidos en un plazo mediano (seis años), porque su situación puede degradarse a la situación "A".

  Grupo "C". Puentes que sólo presentan daños menores que se pueden corregir con tareas de mantenimiento rutinario a cargo de las brigadas de conservación.

- **Inspección Detallada.** A realizarse, por lo menos, una vez al año en aquellos puentes que hayan sido clasificados en el grupo "A" durante la inspección preliminar. Para ello se deberá contar con equipos que permitan el acceso a todas las partes del puente para observar detalladamente todos sus elementos, y que permita la medición cuantitativa de las respuestas de la estructura con precisión suficiente.

- **Inspección Especial.** Se realiza por personal altamente especializado en aquellos puentes que vayan a ser rehabilitados y tendrá por objeto recabar los datos necesarios para la realización del proyecto ejecutivo. En las actividades a realizar, se incluyen el levantamiento geométrico de la estructura, la determinación de la naturaleza y extensión de los daños y la realización de diversos estudios que permitan determinar la causa y mecanismo de propagación de los daños.

Evidentemente, el sistema más sencillo para aportar datos para el conocimiento del estado de una estructura es la simple observación visual de la misma. Para que de ella puedan extraerse datos útiles deben darse tres condiciones básicas:

Poder ver. Lo que significa poder acceder a todas las partes que se desean inspeccionar, y en su caso ayudarse con medios complementarios al ojo humano.

Saber ver. Para lo cual se necesita un equipo humano de inspección calificado y con suficiente experiencia.

Saber lo que se quiere ver. Es decir, hay que preparar con antelación las inspecciones, estudiando el proyecto, los posibles incidentes ocurridos en la construcción y los informes obtenidos en anteriores inspecciones, si existen.

En muchos casos será imposible la observación detallada sin unos medios auxiliares de acceso a los distintos puntos de la misma.

Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal de la inspección a las distintas partes de la estructura se incluyen, desde los medios más rudimentarios y básicos (cuerdas, cinturones de seguridad, escaleras, etcétera) a sistemas complejos como las pasarelas y canastillas desarrolladas para la inspección de puentes, pasando por sistemas integrados en la propia estructura (agujeros de acceso a pilas huecas, escaleras de acceso y vigas cajón en puentes).

Independientemente de los medios auxiliares que facilitan el acceso a las partes de la estructura que se deseen inspeccionar, no deben olvidarse los medios que sirven de auxilio a la propia vista humana, y pueden encuadrarse dentro de estos medios auxiliares: plomadas, niveles, lupas micrométricas, binoculares, cámaras fotográficas, etcétera; hasta las cámaras y equipos de vídeo, que permiten ver y grabar partes en zonas inaccesibles para el inspector.

Para determinar el equipo que se utilizará en una inspección es muy importante tener en cuenta el equipo existente y su utilidad. Existen muchos y muy variados pero los más útiles e imprescindibles son:

- Botiquín
- Transportación
- Botas
- Nivel de mano
- Caja de herramientas (llaves)
- Cinturón de herramientas
- Cepillo de alambre
- Crayones o gises
- Escaleras
- Pasarelas
- Canastillas
- Tirfos
- Poleas
- Cables de acero de varios diámetros (5/16")

- Cuerdas o lazos
- Cintas métricas y metros
- Radios (walky-talky)
- Cámaras fotográficas
- Libreta de campo
- Chalecos salvavidas
- Grietómetros
- Chalecos antirreflejantes
- Nudos de acero (perros)
- Arneses

El equipo para inspección debe incluir:

Equipo General

Es el equipo básico que utiliza la brigada y que puede traer como sus propias herramientas personales para trabajo y seguridad:

- Binoculares
- Martillo ligero
- Lámpara sorda
- Navaja de bolsillo
- Flexómetro
- Libreta de campo
- Cámara (preferible 35 mm)
- Casco
- Botas
- Gafas
- Chaleco salvavidas
- Chaleco antirreflejante

Equipo para Señalamiento

Debe utilizarse y es muy necesario cuando se inspeccionan las calzadas:

- Conos de plástico
- Triángulos
- Chalecos antirreflejantes
- Señales de seguridad

Equipo para Nivelación

Cuando el procedimiento de la inspección lo requiera y sea necesario, para la nivelación del puente se debe contar con el siguiente equipo de topografía:

- Estación y total
- Nivel de mano
- Estadales
- Cintas métricas
- Balizas
- Libreta de tránsito

Los daños que presenta la estructura ante una primera inspección visual, nos permite determinar el agrietamiento, las deformaciones y las flechas de la estructura, o si existe carbonatación o corrosión.

Una inspección visual debe completarse con una auscultación con métodos topográficos, magnéticos, eléctricos y químicos para determinar corrimientos, posiciones de armadura, profundidades de carbonatación y contenido de ion-cloro y acercarse a la determinación del grado de corrosión de las armaduras.

Los ensayes estáticos y dinámicos sirven para conocer la variación de determinados parámetros generales del puente, como son la rigidez, el amortiguamiento, los modos de vibración, etcétera.

Los diferentes elementos que deben ser inspeccionados normalmente son agrupados en cuatro grandes divisiones:

1. Cimientos.
2. Subestructura.
3. Superestructura.
4. Equipamientos.

En general se deben considerar los siguientes puntos de inspección:

1. Juntas de dilatación.
2. Apoyos.
3. En puentes de concreto reforzado:
   - Diafragmas
   - Nervaduras
   - Losas
   - Flechas
   - Revisión del gálibo
4. En puentes de concreto presforzado:
   - Diafragmas
   - Nervaduras
   - Losa
   - Revisión del gálibo
   - Anclajes
   - Flechas
5. En estructuras metálicas:
   - Rotura de remaches, pernos o soldaduras
   - Fallas en la protección con anticorrosivos
   - Nodos
   - Corrosión
   - Pandeo, alabeo o rotura de elementos
   - Conexión entre sistema de piso y estructura
   - Fallas en el sistema de piso
   - Espesores actuales de los elementos estructurales
   - Revisión del gálibo
6. Estudio del cauce:
   - Efectos de socavación
   - Encauzamiento
   - Obstrucción

7. Subestructura:
   - Socavación
   - Destrucción por impacto
   - Hundimientos
   - Desplomes
   - Agrietamientos

8. Revisión de accesos y conos de derrame.

9. Drenaje de la superestructura y la subestructura.

10. Señalamiento.

11. Alumbrado.

Es importante observar todos los elementos del puente y tomar apuntes de los detalles y dimensiones, a fin de llenar correctamente el Formato del Reporte de la Inspección.

Superestructura

La inspección de los elementos de la superestructura y los daños típicos que éstos presentan varían notablemente dependiendo de que se trate de puentes metálicos, puentes de concreto armado o pretensado u obras prefabricadas.

Armaduras Metálicas. Vigilar las uniones del armazón, que son puntos críticos en los que se acumulan residuos que provocan la corrosión y pérdida de sección en elementos de la armadura.

Vigas y Largueros. En el caso de las vigas de acero, debe vigilarse la existencia de grietas y de corrosión, principalmente, en las alas superiores, alrededor de los remaches, pernos y en las áreas de soldadura. Asegurarse de que estén adecuadamente sostenidas, que no haya torceduras o desplazamientos, ni tengan daños debidos a colisiones o pérdidas de sección por corrosión.

Para las trabes de concreto, en caso de existir grietas, deben observarse por un tiempo para determinar si son activas y con la ayuda de un Grietómetro medirlas. Debe tomarse en cuenta si han sido tratadas con inyecciones de resina epóxicas, igual atención requieren las áreas que sufren desintegración de concreto y la existencia de las vibraciones o deflexiones excesivas.

En los elementos pretensados, como trabes o diafragmas, es importante la vigilancia frecuente para que el agua no penetre por las fisuras ni por los anclajes extremos de los ductos, ya que cualquier inicio de corrosión es difícil de detectar.

Es importante checar que la altura de los gálibos sea la requerida para evitar accidentes o colisiones con las trabes u otro elemento del puente.

También, deben revisarse los miembros principales de la armadura que son susceptibles de daños por colisión, principalmente al paso de cargas voluminosas.

Subestructura

Dentro del término subestructura se incluyen estribos, pilas y sistemas de apoyo. Dentro de la amplia variedad de defectos y deterioros observables en este tipo de elementos, deben incluirse en un informe las fisuras y grietas que puedan observarse y que puedan ser indicios de otros problemas relacionados con la cimentación, el mal funcionamiento de apoyos, etcétera.

Pilas y estribos. Revisar su cimentación, principalmente cuando es directa para detectar cualquier inicio de erosión o socavación, la presencia y severidad de grietas, así como mencionar cualquier cambio en la posición o verticalidad. Revisar la existencia de grietas, ya que éstas pueden ser indicios de socavación o hundimientos.

Apoyos. Es importante asegurar su adecuado funcionamiento, cuidando que no existan daños en los pernos de anclaje, estén ajustados adecuadamente, libres de materiales extraños para que haya libertad de movimientos

Se debe asegurar que no existan:

- Grietas por compresión, intemperismo o sobrecarga
- Humedad
- Sedimentación

Por lo regular los apoyos de los extremos son los más susceptibles de daños y necesitan limpieza continua para asegurar su funcionalidad.

Cimentación

Normalmente la inaccesibilidad de la cimentación hace que las posibles fallas tengan que ser detectadas indirectamente en forma de movimientos excesivos, fisuración, etcétera, o a través de otros signos en la superestructura.

Por su interés con relación a posibles fallas en la cimentación cabe señalar la utilidad de dos actividades:

Nivelación del tablero e Inspecciones subacuáticas.



Figura 3.4.1. Inspección subacuática con buzos

Algunas consideraciones que deben observarse, a fin de determinar las condiciones de la cimentación:

Accesos. Detectar la presencia de deslaves, asentamientos o rugosidades que motiven que los vehículos que se acercan al puente causen esfuerzos de impacto indeseables.

Cauces. Verificar la suficiencia del cauce bajo la estructura, cerciorándose de que no esté obstruido por depósitos de materiales de arrastre, como bancos de arena y crecimiento de vegetación que puede modificar la orientación de la corriente, causando socavación a las pilas o a los estribos.

Equipamiento

Dentro de los equipamientos se incluye la inspección de calzada y aceras, juntas de dilatación, sistemas de drenaje, parapeto, barandales, señalización, etcétera.

Juntas de Expansión. Observar que tengan el espacio adecuado para los desplazamientos por efectos térmicos y que estén libres de basura.

Tableros. Buscar agrietamientos, descascaramientos, baches u otras evidencias de deterioro.

Señales y Dispositivos Viales. Deben revisarse la presencia, la legibilidad, la visibilidad y la necesidad de las señales y dispositivos viales existentes.

Sistemas de Drenaje. Revisar el drenaje para evitar encharcamientos, que los drenes estén libres de basura y funcionen correctamente.

Parapetos. Detectar daños causados por golpes de colisiones de vehículos.

En el caso de tableros de acero, revisar signos de corrosión, barras quebradas, soldaduras frágiles, etcétera.

Reporte de la Inspección

Los puntos esenciales que comprende un reporte de inspección son:

- Identificación
- Características geométricas
- Características funcionales
- Características estructurales
- Calzada y elementos auxiliares
- Estado de conservación
- Observaciones

La estructuración en capítulos del reporte de inspección contiene en primer lugar los datos esenciales desde un punto de vista de inventario:

El Capítulo 1 (datos de identificación), además de contener información general (Número de puente, carretera, kilometraje, población anterior y posterior, etcétera), da una clasificación de la obra (alcantarilla o puente), detallan el tipo de obstáculo salvado (cauce, canal, vías de comunicación).

El Capítulo 2 (características geométricas), incluye datos tanto de la estructura (Número de claros, longitud total, etcétera), como del tablero (Número de carriles, ancho total, etcétera).

Por su parte, **el Capítulo 3** (características funcionales) recoge las limitaciones de carga, de velocidad y de gálibo.

El Capítulo 4 (características estructurales) se configura mediante campos de información en los que únicamente es necesario marcar con una cruz aquellas casillas que corresponden al caso estudiado. Estos campos de información son los siguientes:

Tipología general: arco, pórtico, prefabricado, tramos isostaticos o hiperestáticos, marco, tubo, puente colgante o atirantado, etcétera.

Cimentación: superficial (zapatas, losas), profunda (cajones, pilotes, pantallas) y el material de la misma.

Estribos: tipología (muro frontal con aletas o muros en vuelta, estribo perdido, etcétera), material del estribo (piedra, ladrillo, tierra armada, concreto).

Pilas: No. de pilas, tipología (muro corrido, fuste múltiple, prismáticas), sección, material (piedra, concreto, otros).

Tablero: esquema estructural (alma llena o aligerada, celosía), directriz (recta o curva), sección transversal (losa maciza o aligerada), sección cajón, tablero nervado, material.

Apoyos: No. de líneas de apoyo, No. total de apoyos, tipología, material.

Juntas: No. de juntas, longitud, tipología, material.

El Capítulo 5 (calzada y elementos auxiliares), contiene información sobre defensas de pilas y estribos, barreras, barandales, y pretiles, señalización, iluminación, drenes, conducciones, etcétera.

Finalmente **el Capítulo 6** se dedica a recoger información sobre el estado de conservación del puente.

En el **Apéndice 5.4.3** se muestra un formato tipo, para el reporte de la inspección del estado físico del puente, estos formatos pueden variar cuando se trata de puentes especiales, involucrando las características de cada puente.

Reporte Fotográfico

Consiste en una colección de fotografías tomadas a la estructura inspeccionada, donde se muestra principalmente: los accesos, las calzadas, las juntas de dilatación, los apoyos, las secciones transversales y longitudinales de la superestructura, los daños que presenta, etcétera.

Es de gran ayuda para ilustrar el estado del puente en todos sus elementos y sobre todo para mostrar los detalles de los daños. Es el complemento del reporte de la inspección.

Es importante la cantidad y calidad de las fotografías para mostrar lo más detallado posible los daños de la estructura, con el fin de esbozar el estado del puente.

Reporte de Fallas

Consiste en ilustrar en un plano o planos necesarios la localización exacta de las fallas (desconchamientos, grietas, caídos, etcétera), para apreciar su magnitud real y hacer más seguro el cálculo del proyecto de rehabilitación.

El reporte de fallas y el reporte fotográfico son un complemento importante para el reporte global de la inspección, ya que hace más tangible el trabajo que se realizó en el puente.

En el reporte de fallas se indican las dimensiones reales de una grieta, áreas de resquebrajamientos, desconchamientos, caídos, etcétera.

Planos de levantamiento geométrico y de daños. En el **Apéndice de esta Guía** se muestra, a manera de ejemplo, un plano de levantamiento geométrico y de daños.

También a manera de ejemplo, a continuación se enlistan algunos problemas que pueden existir en los puentes y que es menester detectarlos para hacer una adecuada inspección:

- Deformaciones de la superestructura
- Asentamientos
- Apoyos desnivelados
- Socavación visible en pilas y estribos
- Grietas en el puente
- Elementos cimentados por encima de las profundidades estimadas de socavación
- Obstrucciones al cauce en la zona del puente
- Puentes con pobre mantenimiento
- Puentes mal orientados, en curvas o sesgados
- Puentes con reducida capacidad hidráulica
- Puentes con múltiples pilas muy cercanas y cimentadas superficialmente

En resumen, cuando se realiza la inspección de un puente se hacen las siguientes actividades:

Un croquis de la geometría del puente y sus accesos, en él se recaban las dimensiones que se van obteniendo durante la inspección.

Por otro lado también se realizan croquis de los elementos del puente y sus accesos, con el fin de recabar en ellos daños y dimensiones de los mismos.

Con ambas informaciones, en gabinete se forma el plano de levantamiento geométrico y de daños.

Se toman fotografías de la geometría de cada uno de los elementos del puente y de sus accesos, así como de los daños encontrados y sus dimensiones. Se lleva una secuencia ordenada de fotografías para posteriormente poderlas identificar en gabinete y relacionarlas exactamente con los daños observados.



Figura 3.4.2. Personal realizando levantamiento geométrico



Figura 3.4.3. Personal realizando levantamiento geométrico

Si fuera el caso, se realizan las pruebas necesarias a los materiales, a partir de la extracción de núcleos del concreto y/o pruebas con el esclerómetro; verificación de la distribución del acero de refuerzo con calas o pachómetro; pruebas de carbonatación del concreto, excavación para conocer nivel de desplante; etcétera.



Figura 3.4.4. Extracción de núcleos en la losa para determinar espesor de carpeta asfáltica, espesor de la losa y resistencia del concreto

Previamente a la extracción de núcleos, se realiza una verificación de la existencia de acero de refuerzo y su ubicación exacta con el "pachómetro".

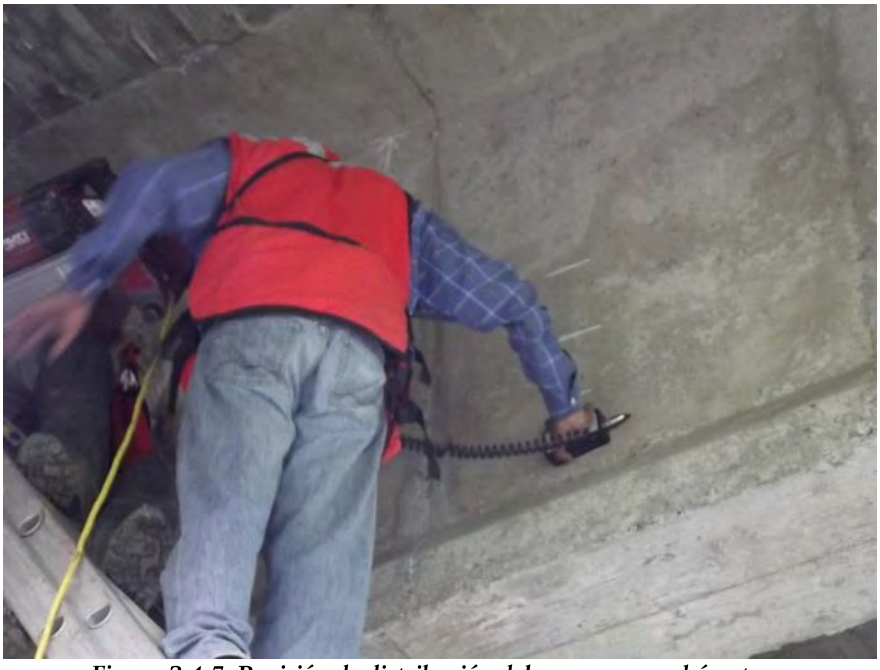


Figura 3.4.5. Revisión de distribución del acero con pachómetro



Figura 3.4.6. Personal verificando distribución de acero de refuerzo y presfuerzo en una trabe dañada



Figura 3.4.7. Personal verificando la carbonatación del concreto con el uso de azul de metileno

4. Clasificación de la Conservación de Carreteras



4. CLASIFICACIÓN DE LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

En el presente Capítulo se detallan, entre otras cosas, los procedimientos a que deben sujetarse las labores más usuales en la conservación de carreteras. Se dan algunas ideas (a manera de planeación) respecto a la periodicidad de las mismas y, cuando ello es posible, se proporciona una base numérica para juzgar, en un momento dado, si cierta parte de la carretera está recibiendo la conservación adecuada.

Es necesario hacer hincapié en que estos procedimientos son complemento de lo enunciado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte (Normativa), en los documentos técnicos que la Dependencia ha emitido o formalizado y que de ninguna manera los sustituyen o los anulan.

Los ingenieros o técnicos que participen en la actividad de conservar carreteras ya sean libres, de cuota, concesionadas, estatales, municipales, caminos alimentadores o privados, encontrarán en este Capítulo la orientación del cómo, qué, dónde, quién y todas las respuestas a las preguntas más recurrentes que se le presentarán en el desempeño de sus funciones, de tal modo que siempre se utilicen la misma terminología, definiciones, procedimientos y nomenclaturas.

Pretende ser de consulta rápida en la solución o entendimiento de los alcances de la conservación, por lo que puede ser consultada por los ingenieros recién egresados de las Universidades, los que recién incursionan en esta actividad, los que son Servidores Públicos y los que, en general, quieran corroborar tal o cual concepto específico durante el desempeño de sus funciones.

Si el lector quiere profundizar en un tema o técnica en particular, deberá remitirse a las referencias bibliográficas, Apéndices, tablas, Normativa, Manuales o al Glosario de términos, que son parte de la presente Guía.

Conservación Rutinaria de Tramos

Son los trabajos cotidianos que se aplican en la superficie de rodadura y en el derecho de vía para mantener transitable la carretera. Con el fin de homologar los criterios y dar directrices en cuanto a este trabajo tan complejo, a continuación se precisa a qué nos referimos y cuáles son los trabajos más representativos.

a)Superficie de Rodadura

Considerando que, de todos los elementos que constituyen un camino, la superficie de rodadura es lo que más determina la posibilidad de un tránsito rápido, cómodo y seguro, es por demás importante corregir oportunamente sus deterioros para evitar que progresen y obliguen a una reconstrucción (mucho más costosa) para su arreglo. Por ello, es lógico que una gran parte del esfuerzo en la conservación de carreteras se dedique a estas labores.

En la presente Guía se describirán las labores que son más usuales para conservar en buenas condiciones la superficie de rodadura, cuando está constituida por un pavimento flexible o rígido.

Bacheo

Definición. Conjunto de labores requeridas para reponer una porción de la superficie de rodadura que ha sido destruida y removida por el tránsito. Estas pequeñas áreas se dividen por su tamaño en calaveras o en baches, según sea su dimensión mayor considerándose como límite quince (15) centímetros.

Detección. El bacheo es una actividad que debe dársele prioridad, por lo tanto deben programarse recorridos diarios para detectar zonas susceptibles de formación de baches y atenderse preventivamente. Si se detecta un bache, debe atenderse en un plazo no mayor a 48 horas.

A manera de ejemplo se describe el procedimiento para reparar un bache, por ser éste un concepto de los más representativos de las actividades de la conservación de carreteras:

Los baches se dividen en profundos y superficiales, siendo estos últimos los que afectan exclusivamente a la carpeta. El procedimiento para su reparación debe ser el siguiente:

1. La zona por reparar debe limpiarse de materia extraña, tal como tierra, hierbas, desechos de animales u otros.

2. Debe definirse y marcarse el área por reparar, cuidando que tenga forma rectangular y que dos de sus lados sean perpendiculares al eje del camino.

3. De acuerdo con el área delimitada, se efectúa la excavación, llegando hasta la profundidad necesaria para remover todo el material alterado, ya sea por exceso de agua o de finos plásticos.

4. Si al efectuar la excavación se ve la necesidad de ampliar el área de la misma, para poder remover todo el material alterado, la ampliación respectiva es a su vez rectangular y de lados paralelos y perpendiculares al eje del camino.

5. Se completa la excavación hasta la profundidad prefijada, cuidando de obtener paredes verticales en los extremos y de remover todo el material suelto. Figura 4.1.

6. En el caso de baches profundos, la excavación debe ser más amplia en la carpeta, para que al reconstruirla cubra la unión o junta entre capas inferiores.

7. En el caso de baches profundos, para obtener condiciones de trabajo apropiadas que garanticen la debida colocación y compactación del material con el que se rellene la oquedad, deben considerarse los siguientes lineamientos:

   a. Si la profundidad es de cuarenta (40) centímetros o mayor, el ancho mínimo debe ser de sesenta (60) centímetros.
   b. El lado menor debe ser, cuando menos, el doble del ancho del pisón o una y media veces el ancho del rodillo ligero.

8. El bacheo se efectúa con mezcla asfáltica o concreto asfáltico, que cumpla con lo indicado en el Proyecto o en los Trabajos por Ejecutar para carpeta y/o bases asfálticas. Cuando la oquedad tenga una profundidad mayor de siete (7) centímetros, debe rellenarse en varias capas. La capa superficial debe tener de cuatro (4) a seis (6) centímetros de espesor suelto y en ella puede usarse material pétreo hasta de diecinueve (19) milímetros (3/4”). Las capas inferiores deben tener un espesor suelto no mayor de diez (10) centímetros y en ellas se puede usar material pétreo con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros (1 ½”).

9. La capa superficial debe dejarse ligeramente excedida en volumen, aproximadamente en un veinte por ciento (20%), para que al compactarse quede al mismo nivel de la superficie de rodadura existente. Figura 4.2.

10. En caso de baches profundos, y cuando se considere económico el procedimiento, pueden construirse las capas inferiores con materiales usados en la construcción de subbases o bases, cuidando que se cumplan los siguientes requisitos:

    a. Para el relleno correspondiente a las capas de terracería o subbase, puede usarse material de subbase o base.

b. Para el relleno correspondiente a la capa de base, debe utilizarse exclusivamente material que cumpla con el Proyecto o con los Trabajos por Ejecutar, relativos a esta capa.
c. En ambos casos, los materiales deben compactarse de acuerdo con lo indicado en el Proyecto o en los Trabajos por Ejecutar.

11. Independientemente del espesor y tipo de la carpeta existente, incluyendo el caso de baches aislados en bases impregnadas, la capa superficial del bacheo debe ser mezcla asfáltica o concreto asfáltico con un espesor no menor de cuatro (4) centímetros compactos.

12. Antes de iniciar el relleno con mezcla asfáltica, debe darse en las paredes y piso, un riego de liga con el tipo de producto asfáltico y a la temperatura que indique el Proyecto o los Trabajos por Ejecutar.

13. Las capas deben compactarse con pisón de mano, placa vibratoria o rodillo ligero de 1 ton, pero nunca dejarse a la acción del tránsito sin la debida compactación.

14. Debe sellarse la zona bacheada en un lapso no mayor de quince (15) días, siguiendo los lineamientos dados en el Capítulo 5.1 de esta Guía.



Figura 4.1. Cajeo del bache



Figura 4.2. Relleno y compactación del bache

Relleno de Grietas

Las grietas son una manifestación muy frecuente de falla y su causa puede tener su origen en cualquiera de los elementos de la estructura del pavimento o de los materiales subyacentes.

No es posible, en el caso de las grietas, dar un valor numérico que indique cuándo son susceptibles de corrección mediante labores de conservación y cuándo debe procederse a efectuar una reconstrucción. Sin embargo, puede establecerse que siempre que se presenten agrietamientos en un pavimento, debe procederse de inmediato a su relleno o corrección, de la manera que se describe en el Proyecto o en los Trabajos por Ejecutar, para evitar que la falla progrese y puedan presentarse deterioros mayores en el pavimento, independientemente de realizar los estudios necesarios para localizar y suprimir la causa de la falla. Figuras 4.3 y 4.4.

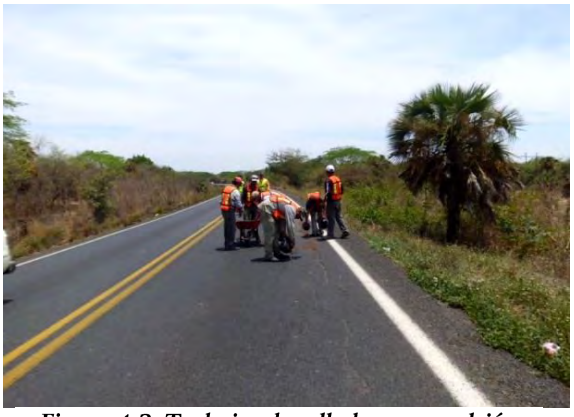


Figura 4.3. Trabajos de sellado con emulsión asfálticas y arena



Figura 4.4. Grietas selladas

Renivelación

Definición. Conjunto de labores requeridas para reponer la porción de la superficie de rodadura que ha sufrido alguna deformación y/o desplazamiento de su nivel original.

La causa de este deterioro se estudia con el auxilio del laboratorio, a fin de efectuar la corrección adecuada y que garantice que la deformación no vuelva a presentarse en un lapso previsible.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera Renivelación, como una labor de conservación rutinaria, cuando el volumen de la superficie tratada no exceda de cincuenta (50) metros cúbicos continuos.

Siempre que existan asentamientos y se programe alguna reconstrucción sobre la superficie de rodadura, se deben efectuar previamente los trabajos de Renivelación necesarios, para lograr uniformidad en los espesores y en la superficie de rodamiento de las nuevas carpetas. Figuras 4.5 y 4.6.



Figura 4.5. Riego de liga con emulsión, previo al tendido



Figura 4.6. Tendido de mezcla asfáltica con motoconformadora en renivelación

Riego de Sello

Definición. Aplicación de un material asfáltico que se cubre con una capa de material pétreo, para impermeabilizar el pavimento, protegerlo del desgaste y proporcionar una superficie antiderrapante.

Atendiendo a la magnitud de los trabajos y organización establecida para efectuarlos, se considera el riego de sello como labor de conservación rutinaria cuando la longitud de la superficie tratada no exceda de mil (1,000) metros lineales continuos.

Los riegos de sello deben programarse para ejecutarlos antes de la temporada de lluvias, de tal modo que se proteja la superficie de rodadura de infiltraciones perjudiciales para la estructura del pavimento. Figuras 4.7 y 4.8.



Figura 4.7. Aplicación de riego de liga asfáltico



Figura 4.8. Aplicación de material pétreo en riego de sello

b) Obras de Drenaje

En cualquier labor de conservación relacionada con el drenaje, la base para lograr un funcionamiento eficiente del mismo, es disponer de un sistema de inspección establecido que permita una adecuada programación de los trabajos.

Estas inspecciones y la programación correspondiente deben sujetarse a los siguientes lineamientos generales:

1. Deben efectuarse como mínimo dos inspecciones al año de todo el sistema, de manera que una de ellas se lleve a cabo con la anticipación suficiente para programar las labores de limpieza y/o reparaciones urgentes y terminarlas antes de la temporada de lluvias. Al término de dicha temporada debe efectuarse otra inspección general, con objeto de apreciar los desperfectos que las obras puedan haber sufrido y programar su reparación durante la temporada de secas.

2. Independientemente de las anteriores, deben efectuarse inspecciones durante las lluvias fuertes o tormentas y después de ellas, ya que ésta es la única manera efectiva de juzgar si las obras y su funcionamiento son adecuados.

3. Durante la temporada de lluvias, debe darse atención preferente a las labores de limpieza, efectuándolas con la periodicidad necesaria para cumplir con estándares que se dan en las siguientes páginas de este Capítulo.

4. Es necesario poner de relieve que en el caso de obras de drenaje, las labores de conservación no deben limitarse a mantener en buenas condiciones las existentes, sino que debe estudiarse constantemente su funcionamiento para lograr corregir, mediante las obras adicionales, los defectos u omisiones de proyecto y/o construcción, que la experiencia en la conservación del camino indique como necesarias. Figuras 4.9 y 4.10.




Figuras 4.9 y 4.10. Ejemplos de obras de drenaje

Limpieza de Cunetas y Contracunetas

Consiste en la remoción de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas, troncos u otros que reduzcan las secciones de las cunetas y contracunetas, impidiendo el escurrimiento libre del agua.

Las cunetas son zanjas de sección determinada construidas en uno o ambos lados de la corona en los cortes, destinadas a captar y encauzar hacia afuera de la carretera el agua que escurre como efecto del bombeo de la superficie de la corona, así como la que escurre por los taludes de los cortes. Figuras 4.11 y 4.12.

Las contracunetas son canales de sección y ubicación determinadas, que se construyen en la parte superior de los cortes, y que tienen por objeto impedir el escurrimiento del agua por la cara del talud. Figura 4.13.

En ningún caso debe permitirse que una cuneta o contracunetas tenga azolve u otro obstáculo que ocupe más de un tercio (1/3) de su profundidad.




Figuras 4.11 y 4.12. Ejemplos de cunetas

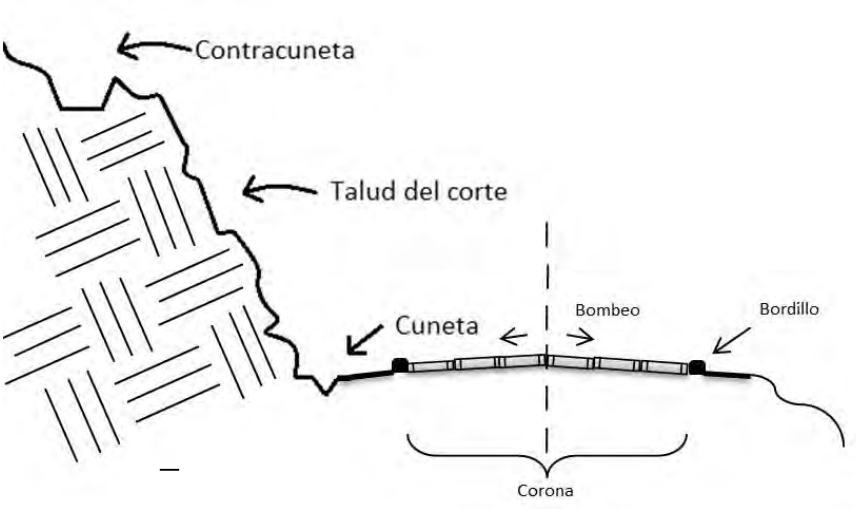


Figura 4.13. Corte transversal esquemático de cuneta y contracuneta

Limpieza de Alcantarillas

Consiste en la remoción de materiales ajenos, tales como tierra, piedras, hierbas troncos u otros que obstruccionen la entrada, salida o el interior de la alcantarilla, impidiendo el libre escurrimiento del agua.

Se llama alcantarilla a una estructura de claro menor de seis (6) metros, o mayor de seis (6) metros con terraplén, que tiene por objeto permitir el paso del agua en forma tal, que el tránsito en una obra vial pueda ser permanente en todo tiempo bajo condiciones normales o anormales previstas.

Existen además algunos otros tipos de obras especiales, como son acueductos y sifones, cuyos trabajos de conservación son similares a los de las alcantarillas, por lo que se incluyen dentro de este inciso. Al mencionar las alcantarillas se hace referencia en forma genérica a todas ellas.

La limpieza de alcantarillas debe efectuarse por lo menos dos veces al año, una antes de la temporada de lluvias y otra durante ésta de acuerdo con los resultados de las inspecciones, y tiene por objeto lograr que en ningún caso lleguen a tener azolve u otro obstáculo que obstruya más del veinte por ciento (20%) del área de la sección transversal o que en altura sobrepase la tercera parte del claro vertical de la alcantarilla. Figura 4.14.



Figura 4.14. Ejemplo de alcantarilla

Limpieza de Canales de Entrada y Salida

Consiste en la remoción de azolve y otro material que obstruya la sección de los cauces naturales y/o artificiales que conducen el agua hacia la alcantarilla o hacia afuera de ella. Los canales son las rectificaciones de cruces mediante excavaciones, que se efectúan para encauzar el agua hacia la obra de drenaje, o bien para permitir el libre escurrimiento de la misma, una vez que ha pasado por dicha obra.

Como los canales no son en general revestidos, es difícil conocer la sección transversal de construcción y, por lo mismo, no puede darse un valor numérico que norme su conservación. Sin embargo, la vigilancia oportuna de su funcionamiento hace prever las modificaciones o ampliaciones en sección o cambios de trazo que sean necesarios y eficientes. Conviene hacer notar que la labor que se realice en limpia de canales de entrada evita que se azolve la propia alcantarilla, con la ventaja de no tener limitación de espacio y trabajar a cielo abierto. Figuras 4.15 y 4.16.




Figuras 4.15 y 4.16. Ejemplo de limpieza de canales de entrada y salida

Reparación de Obras de Drenaje

Son constantes las modificaciones que pueden y deben hacerse a las cunetas, contracunetas, canales y alcantarillas para obtener un funcionamiento más eficiente del drenaje. Para lograr lo anterior, dada la índole de los trabajos, debe contarse con personal capacitado para ejecutarlos correctamente. Esto, a la larga, resulta económico, ya que un pequeño desperfecto corregido oportunamente por personal capacitado y con experiencia evita daños y gastos mayores. Figuras 4.17 y 4.18.




Figuras 4.17 y 4.18. Ejemplo de reparación de obras de drenaje

c) Zonas Laterales del Derecho de Vía

Derecho de vía es la faja de terreno cuyo ancho corresponde determinar a la Secretaría y la cual se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y, en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación y/o de sus servicios auxiliares. Es, por lo tanto, un bien de dominio público, sujeto al régimen legal correspondiente.

En general el ancho es como mínimo de veinte (20) metros a cada lado del eje de las carreteras, aunque, por condiciones especiales se fijan anchos mayores o menores, según convenga.

Las zonas laterales son las porciones del derecho de vía, no ocupadas por la estructura del camino.

Deshierbe

Consiste en la remoción y retiro de la vegetación existente en el derecho de vía, con objeto de evitar la presencia de materia vegetal en la zona lateral del camino, impedir daños al mismo y permitir buena visibilidad, de acuerdo con el ancho y altura máxima fijados en el proyecto. Comprende la ejecución de alguna o todas las operaciones siguientes:

1. Roza, que consiste en cortar la maleza, hierba, zacate o residuos de las siembras.

2. Limpia y carga, que consiste en juntar y retirar el producto del deshierbe al lugar que indique la Secretaría.

Debe evitar que:

1. Reste visibilidad al usuario del camino.

2. Tape parcial o totalmente el señalamiento, reduciendo su eficiencia o anulándolo.

3. Propicie el incremento de la humedad del suelo, lo cual suele ser perjudicial.

4. Cause pésima impresión en el usuario, quien lo interpreta como signo de descuido en la conservación del camino.

5. Propicie las invasiones al derecho de vía por los propietarios de predios colindantes.

Se debe efectuar periódicamente el deshierbe de las zonas laterales del derecho de vía, considerando los aspectos siguientes:

- En ningún caso debe permitirse la existencia de hierba en los acotamientos.

- La hierba no debe sobrepasar los treinta (30) centímetros de altura en una faja de cinco (5) metros colindantes a la corona del camino.

- La hierba no debe sobrepasar de un (1) metro de altura en el resto del derecho de vía.

- Cuando el proyecto incluya pasto, plantas de ornato o seto en camellones, glorietas o isletas, éstas deben conservarse.

El Deshierbe debe realizarse después de la temporada de lluvias una vez que la vegetación tiró la última semilla. Durante el periodo de lluvias se limita a despejar el señalamiento y los dispositivos de seguridad para que sigan operando adecuadamente.

En carreteras de cuota o en carreteras en donde se evalúa por cumplimiento de estándares (Proyectos de inversión a largo plazo) esta actividad debe ser permanente, según la metodología establecida en el Proyecto o en los Trabajos por Ejecutar. Figura 4.19.



Figura 4.19. Ejemplo de deshierbe

Obras Marginales

Consiste en aquellas obras situadas en las zonas laterales del derecho de vía, que contribuyen a una mejor utilización del camino por los usuarios.

Las obras marginales típicas son:

- Acceso. Corresponden a obras de tipo particular como gasolineras, restaurantes, hoteles u otros, o bien, a obras de uso general como son accesos a poblados o entronques con otros caminos. Figuras 4.20 y 4.21.





Figuras 4.20 y 4.21. Ejemplos de accesos

- Paraderos. Son estructuras diseñadas para permitir a las personas que esperan un autobús, guarecerse del sol o la lluvia mientras llega su vehículo de transporte. Figura 4.22.



Figura 4.22. Ejemplo de paradero

- Miradores. Son zonas de estacionamiento, anexas a los caminos, ubicados en lugares desde los cuales se pueden admirar los paisajes.

Cualquier obra marginal que exista, o que se proyecte construir, debe cumplir con las siguientes condiciones básicas:

- No interferir con la adecuada operación y conservación del camino.
- Tener un aspecto decoroso, que no desmerezca la apariencia general de la carretera.
- Obtener los permisos de SCT correspondientes y establecidos en la Ley General de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.

Rastreos

Consiste en el reacomodo del material superficial de las zonas laterales del derecho de vía para lograr una superficie regular. Figuras 4.23 y 4.24.

Se efectúan para lograr los siguientes objetivos:

- Rellenar pequeños deslaves y evitar que éstos se agranden o aumenten en número.
- Extender pequeños volúmenes de material depositado, producto de limpieza de obras o deshierbes.
- Facilitar el deshierbe en lo sucesivo, principalmente porque un terreno uniforme permite cortar la hierba más al ras o usar equipo mecánico.
- Obtener una superficie sensiblemente plana y uniforme, que tiene las siguientes ventajas:
    - Propicia un mejor drenaje superficial, evitando que se produzcan deslaves al disminuir la velocidad del escurrimiento del agua.
    - Mejora el aspecto general del camino.




Figuras 4.23 y 4.24. Rastreo

Conservación Rutinaria de Puentes

Comprende trabajos cotidianos para mantener los puentes en buenas condiciones de operación. Los principales conceptos de la Conservación Rutinaria de Puentes son:

- Limpieza de la superficie del puente
- Reparación de elementos de concreto o mampostería
- Reparación y pintura de parapetos
- Reparación o sustitución de juntas transversales de dilatación

Limpieza de la Superficie del Puente

Consiste en eliminar toda materia extraña que afecte el funcionamiento de la calzada en cuanto a imagen, drenaje y seguridad.

Se debe ejecutar según el programa semanal de actividades de la Contratista, respetando el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular correspondiente. Figuras 4.25 y 4.26.




Figuras 4.25 y 4.26. Ejemplo de limpieza de la superficie de puentes

Reparación de Elementos de Concreto o Mampostería

Son las actividades que se ejecutan para reponer o restituir una parte del elemento del puente que ha sido dañada, ya sea por impactos en accidentes o por las inclemencias del tiempo. Se reparan, entre otros: remates de concreto en parapetos, conos de derrame, banquetas, aleros, pilastrones de barandales o parapetos, guarniciones, losas de transición, zampeados y en general cualquier afectación a un elemento del puente.

Se debe ejecutar según el programa semanal de actividades de la Contratista, respetando el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular correspondiente. Figuras 4.27 y 4.28.





Figuras 4.27 y 4.28. Ejemplo de reparación de elementos de concreto

Reparación y Pintura de Parapetos de Acero

Son las actividades que se ejecutan para reponer o restituir una parte del parapeto metálico que ha sido dañada, ya sea por impactos en accidentes o por las inclemencias del tiempo. Se repara en el siguiente orden:

- Retiro de la porción de metal dañado en forma manual o con ayuda de equipo de corte.
- Soldadura del elemento nuevo, previamente fabricado en taller.
- Pintura del elemento nuevo.

Se debe ejecutar según el programa semanal de actividades de la Contratista, respetando el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular correspondiente. Figuras 4.29 y 4.30





Figuras 4.29 y 4.30. Ejemplo de reparación y pintura de parapetos

Reparación o Sustitución de Juntas Transversales de Dilatación

Las juntas de dilatación son elementos que permiten la transición entre la estructura del pavimento y la estructura del puente, además de ser elementos que absorben las dilataciones por temperatura. La reparación o sustitución debe hacerse de manera rápida una vez detectada la deficiencia, de modo que se elimine el riesgo de accidente al usuario y la infiltración de agua dañe los elementos inferiores del puente.

Se debe ejecutar según el programa semanal de actividades de la Contratista, respetando el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular correspondiente. Figuras 4.31 y 4.32.





Figuras 4.31 y 4.32. Ejemplo de reparación de juntas transversales

Conservación Periódica

La conservación periódica está dirigida a restituir las características de servicio de la superficie de rodadura. Este subprograma contribuye a mejorar el estado físico de las carreteras y es el más importante desde el punto de vista presupuestal, ya que representa el 47% de la inversión del PNCC. Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico.

Principales conceptos de conservación periódica:

1. Fresado
2. Carpeta Asfáltica
3. Renivelación
4. Tratamientos Superficiales

1. Fresado

El Fresado es el proceso de corte y retiro de la capa de rodadura, utilizando perfiladoras o fresadoras autopropulsadas. Figura 4.33.



Figura 4.33. Ejemplo de Fresado

2. Carpeta Asfáltica

Consiste en una capa delgada de mezcla asfáltica que normalmente no se le considera valor estructural, utilizada como superficie de rodadura, utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular.

En los Capítulos 5 y 6, se detallan las técnicas para la conservación relativas a tratamientos superficiales. Figuras 4.34 y 4.35.





Figuras 4.34 y 4.35. Ejemplo de tendido de carpeta asfáltica

3. Renivelación

Consiste en una capa sin valor estructural; su objeto es restituir la sección transversal y longitudinal de la superficie de rodadura. En algunos casos es un trabajo preliminar al tendido de una carpeta asfáltica. Se ejecuta en tramos continuos o en tramos aislados para rehabilitar superficialmente un tramo carretero, con espesores entre 3 y 5 cm, utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación particular. Figuras 4.36 y 4.37.





Figuras 4.36 y 4.37. Ejemplo de renivelación con pavimentadora

4. Tratamientos Superficiales

Son trabajos cuyo objeto es restituir la capa de desgaste y sus características como superficie de rodadura (confort, anti ruido, antiderrapante, impermeabilizante, etcétera). Se ejecuta en tramos continuos o en tramos aislados para rehabilitar superficialmente un tramo carretero, utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación particular.

En los Capítulos 5 y 6, se detallan las técnicas para la conservación relativas a tratamientos superficiales. Figura 4.38.



Figura 4.38. Ejemplo de riego de sello

Reconstrucción

Reconstrucción de Tramos

Es el conjunto de acciones que se realiza en el pavimento para restituir sus características estructurales.

Este subprograma contribuye a mejorar el estado físico de las carreteras.

Principales conceptos de reconstrucción de tramos:

- Recuperación y estabilización

- Carpeta de concreto asfáltico o hidráulico

Recuperación y Estabilización

Tiene por objeto restituir la capacidad estructural de un pavimento, adicionando o no material de banco, utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación particular.

La recuperación es un proceso de corte de la superficie existente hasta el nivel de proyecto, adicionando o no material de banco, que restablezca la granulometría requerida y responda a un diseño previo; se estabiliza utilizando equipo de recuperación de pavimentos, acondicionado con dispositivos de inyección de emulsiones asfálticas o lechadas de cemento-agua. Figuras 4.39 y 4.40.

Si el equipo de recuperación no logra el acabado idóneo, se utiliza como apoyo motoconformadora para afine y posterior proceso de compactación.





Figuras 4.39 y 4.40. Máquina recuperadora y estabilizadora

Carpeta de Concreto Asfáltico

Consiste en una capa con valor estructural, utilizada como superficie de rodadura y de desgaste. Se ejecuta como resultado de estudios y el proyecto; se considera como concepto único, siempre y cuando el pavimento tenga la capacidad estructural suficiente y la superficie existente cumpla con la geometría transversal y longitudinal para su colocación. En caso que la superficie existente no esté apta, se procede a ejecutar previamente un trabajo de perfilado o fresado con maquinaria que cuente con sensores, utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular.

En los Capítulos 5 y 6, se detallan las técnicas para la conservación relativas a capas asfálticas de rodadura. Figuras 4.41 y 4.42.




Figuras 4.41 y 4.42. Carpeta de concreto asfáltico

Reconstrucción de Puentes

Es el conjunto de acciones que se realizan para rehabilitar las estructuras de modo que puedan soportar el paso de las cargas. Este subprograma es de gran prioridad estratégica en la continuidad del tránsito y en la seguridad de los usuarios.

Principales conceptos de reconstrucción de puentes:

- Reforzamiento de Superestructura
- Sustitución de Superestructura
- Reforzamiento de Subestructura

Reforzamiento de Superestructura

Son trabajos que se ejecutan como resultado de estudios y un proyecto. Los elementos que se refuerzan son: Losa, trabes, diafragmas, parapetos, etcétera utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular.

En el Capítulo 5, se detallan las técnicas de conservación relativas a trabajos de reforzamiento de puentes. Figura 4.43.



Figura 4.43. Ejemplo de trabajos de reforzamiento en superestructura de puente

Sustitución de Superestructura

Son trabajos que se ejecutan como resultado de estudios y un proyecto. Sin embargo, cuando se pone en riesgo la estabilidad de la estructura y según el reporte de inspección, se debe aplicar un protocolo de seguridad que contemple, si es necesario, el cierre al tránsito vehicular del puente, la colocación de señalamiento de protección en obra, la contratación del proyectista y la realización de un plan de contingencia.

Una vez que se cuente con el proyecto, se debe de licitar con tiempos acortados para restablecer la conectividad de la vía terrestre.

Los procedimientos son diversos y se ejecutarán según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificaciones particulares.

En el Capítulo 5, se detallan las técnicas de conservación relativas a trabajos de Sustitución de Superestructuras. Figura 4.44.



Figura 4.44. Ejemplo de sustitución de superestructura en puentes

Reforzamiento de Subestructura

Son trabajos que se ejecutan como resultado de estudios y un proyecto. Los elementos que se refuerzan son: Pilas, estribos, cabezales, coronas, topes antisísmicos, etcétera utilizando procedimientos diversos, según lo indicado en el Proyecto y los Trabajos por Ejecutar o la Especificación Particular.

En el Capítulo 5, se detallan las técnicas de conservación relativas a trabajos de reforzamiento de puentes. Figuras 4.45 y 4.46.





Figuras 4.45 y 4.46. Ejemplo reforzamiento de subestructura

Atención de Puntos de Conflicto

Un punto de conflicto es aquel sitio o tramo carretero donde ocurren cuatro accidentes o más por año, por lo menos en dos años consecutivos. Este subprograma es esencial para incrementar la seguridad vial.

Las principales acciones son la modernización de entronques, modificación del alineamiento horizontal y mejoramiento del señalamiento. Figuras 4.47 y 4.48.





Figuras 4.47 y 4.48. Ejemplo de mejora en puntos de conflicto

Las principales acciones en la atención de puntos de conflicto son:

- Modernización de entronques
- Modificación de la sobreelevación y ampliación de curvas
- Modificación del alineamiento horizontal
- Mejoramiento de la superficie de rodadura
- Colocación de señalamiento

Modernización de Entronques

Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico y/o un Proyecto. En general se mejora un entronque cuando su operación está generando confusión y accidentes o fue construido sin un estudio previo y el alineamiento horizontal y el vertical (si es el caso) no resuelve las necesidades de flujo y vialidad. Figuras 4.49 y 4.50.





Figuras 4.49 y 4.50. Ejemplo de modernización de entronques

Modificación de la Sobreelevación y Ampliación de Curvas

Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico. En general se mejora una curva en su alineamiento horizontal y el vertical cuando su operación está generando confusión y accidentes o fue construido bajo condiciones de tránsito diferentes a las necesidades actuales (cantidad y características de los vehículos). Figuras 4.51 y 4.52.





Figura 4.51 y 4.52. Ejemplo de mejoras en curvas

Modificación del Alineamiento Horizontal

Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico. En general se mejora un tramo carretero en su alineamiento horizontal cuando su operación está generando confusión y accidentes o fue construido bajo condiciones de tránsito diferentes a las necesidades actuales (cantidad y características de los vehículos). Figura 4.53.



Figura 4.53. Ejemplo de mejora del alineamiento horizontal

Mejoramiento de la Superficie de Rodadura

Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico. En general se mejora un tramo carretero, desde el punto de vista de la funcionalidad de su superficie de rodadura, cuando:

Ha perdido sus características de adherencia, hay pérdida de agregados pétreos, no hay el drenaje superficial adecuado, etcétera y su operación está generando accidentes por salidas del camino. Figura 4.54 y 4.55.




Figura 4.54 y 4.55. Mejoramiento superficie de rodadura Slurry Seal

Colocación de Señalamiento

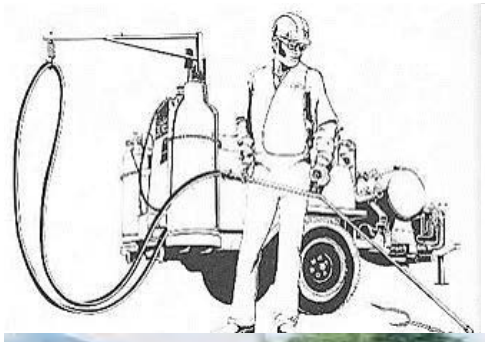
Son trabajos que se ejecutan como resultado de un Dictamen Técnico o, en algunos casos, de un Estudio y Proyecto. En general se mejora el señalamiento horizontal y/o vertical cuando su operación está generando confusión y accidentes o no cumple con sus funciones básicas: Informar, canalizar, alinear, prevenir, restringir o proteger. Figuras 4.56 y 4.57.





Figura 4.56 y 4.57. Ejemplo de colocación de señalamiento

5. Técnicas Tradicionales para la Conservación













5. TÉCNICAS TRADICIONALES PARA LA CONSERVACIÓN

5.1 PAVIMENTOS

En México, se tiene una mayor experiencia en conservación de pavimentos de tipo flexible, en virtud de que son los que más se han construido desde 1925 a la fecha, mientras que los pavimentos de tipo rígido y semirrígido se comenzaron a construir a partir de la década de los noventa.

Por esta razón, las técnicas que se describen en este Capítulo, tienen una mayor aplicación a la conservación de pavimentos de tipo flexible y sólo algunas de estas técnicas se aplican a los pavimentos rígidos; en el Capítulo de Innovaciones Tecnológicas de esta Guía se describe otra técnica novedosa aplicable a la conservación de pavimentos de tipo rígido.

Las técnicas tradicionales de ejecución de los trabajos de conservación de pavimentos flexibles y rígidos, utilizados en México, son las que a continuación se indican:

a) Sellado de fisuras
b) Relleno de grietas
c) Bacheo superficial y profundo
d) Riego asfáltico y riego de sello
e) Fresado superficial y recorte de capas del pavimento
f) Renivelación local con mezcla asfáltica
g) Carpeta de mezcla asfáltica en caliente
h) Reciclado en caliente de carpeta asfáltica en el lugar
i) Reparación de desconchaduras en pavimentos rígidos
j) Sustitución total o parcial de losas de concreto hidráulico
k) Estabilización de bases con emulsión asfáltica
l) Estabilización de bases con cemento Portland

Aunque se conocen, y en casos específicos se han aplicado, otras técnicas que en otros países se utilizan frecuentemente, la experiencia nacional se ha centrado principalmente en las técnicas antes citadas, porque son las que han permitido resolver adecuadamente la prevención, protección, restauración y refuerzo estructural de los pavimentos existentes, siempre supeditándose su selección y aplicación a los limitados recursos de inversión asignados a las Dependencias responsables de la obras viales.

Se hace notar que en el caso del reciclado en caliente de carpeta asfáltica en el lugar, así como en los de la estabilización de bases con asfalto o con cemento Portland, las técnicas tradicionales han sido mejoradas con el empleo de equipos, sistemas y materiales de tecnología reciente, por lo se ha considerado conveniente abordar estas técnicas en el Capítulo de Innovaciones Tecnológicas de esta Guía.

La presentación y descripción de las técnicas de conservación, tienen por objeto orientar a los interesados en una selección apropiada de aquella técnica que permita atender las fallas o deterioros específicos que presente un pavimento, para lo cual se comentan de manera objetiva y resumida las ventajas, limitaciones y condiciones de aplicación de cada técnica.

También se describe de manera objetiva en qué consiste cada técnica, mencionando los materiales que comúnmente se utilizan y sus requisitos de calidad, el equipo y dispositivos de control para su ejecución, el diseño de mezclas en su caso, el procedimiento de construcción y los requisitos de aceptación.

Es necesario mencionar que en la Normativa SCT se dispone de diversas normas y manuales relativos a estas técnicas de trabajo, por lo que en la descripción de cada una de ellas, se indican las referencias correspondientes para la consulta de los interesados con mayor detalle.

a) Sellado de Fisuras

Definición

El sellado de fisuras es la operación de limpieza y aplicación de un material asfáltico en grietas pequeñas que presenta un pavimento en la superficie, de menos de 5 mm de abertura, para evitar la introducción del agua y de partículas finas extrañas, con objeto de mantener el comportamiento mecánico de la estructura, prolongando la vida de servicio del pavimento.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CSV·CAR·2·02·001/10** Limpieza de la Superficie de Rodadura y Acotamientos, **N·CSV·CAR·2·02·002/00** Sellado de Grietas Aisladas en Carpetas Asfálticas y **N·CSV·CAR·2·02·005/02** Sellado de Grietas y Juntas de Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

El sellado de fisuras es una técnica que debe ser aplicada desde que aparecen las primeras fisuras en la superficie del pavimento, porque el agua que se introduce desde la superficie a las capas inferiores, reduce la resistencia de los materiales, causa la migración de finos y con el tiempo va generando nuevas fisuras y grietas.

Las ventajas en la aplicación del sellado de fisuras, son:

- Evita la introducción del agua de lluvia en el pavimento.
- Evita la introducción de partículas en la capa superficial, que provocan despostillamientos y desprendimientos posteriores en las orillas de la grieta.
- Mantiene el comportamiento y la resistencia de las capas estructurales del pavimento.

El sellado de fisuras tiene las limitaciones siguientes:

- No es factible aplicar el sellado en grietas de más de 5 mm de abertura superficial.
- Tampoco es conveniente aplicar el sellado cuando el volumen de fisuras abarca extensiones importantes de la superficie del pavimento.
- No conviene aplicarlo si la superficie del pavimento presenta agrietamientos causados por fatiga (tipo “piel de cocodrilo”).

Condiciones de Aplicación

El sellado de fisuras se aplica cuando las grietas existentes del pavimento tienen menos de 5 mm de abertura en la superficie, su densidad es baja o moderada y el deterioro de los bordes de la fisura es bajo o nulo, considerándose que si se tienen cuando menos dos fisuras en una sección de 100 metros lineales en el pavimento, ya es conveniente aplicar este tratamiento. Los tipos de fisuras típicos que pueden tratarse son:

- Fisuras longitudinales y de borde
- Fisuras transversales
- Fisuras tipo mapa
- Fisuras de reflexión
- Fisuras en losas de concreto hidráulico

Materiales y Requisitos de Calidad

Para efectuar el sellado de fisuras se pueden utilizar selladores comerciales en caliente o emulsiones asfálticas en frío. Cuando se utilizan selladores comerciales en caliente, debe revisarse las características particulares de calidad de cada producto y apegarse estrictamente a las condiciones de calentamiento y aplicación indicadas por la Empresa que los suministre.

Cuando se aplican emulsiones asfálticas, generalmente se utilizan las de tipo catiónico de rompimiento rápido o medio, que cumplan con los requisitos de calidad que indica la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT, aunque también pueden emplearse emulsiones con un residuo asfáltico que tenga una penetración entre 50 y 90 décimas de milímetro, si el lugar de aplicación es de clima caluroso.

También es necesario contar con arena para efectuar el "poreo" en las zonas de sellado, para absorber el material sellante o el asfalto que quede en exceso en la superficie. La arena debe tener un tamaño nominal de 3 mm y se recomienda que tenga un valor en la Prueba de Azul de Metileno menor de 15 mg/g.

Equipo de Aplicación

Para efectuar un sellado de fisuras, se requiere del equipo siguiente:

Equipo de Limpieza de Grietas. Preferentemente utilizar un equipo de aire comprimido capaz de producir una presión de 690 kPa como mínimo en la punta de la lanza y un flujo de aire de 0.7 m^3/s. Se requiere aire seco, por lo que se debe colocar un filtro del tipo aceite - agua en el equipo. Si fuese necesario, se puede utilizar una lanza para aplicar aire seco caliente, sobre todo en época de lluvias.

Aplicación con Petrolizadora e Irrigador (bachador). Petrolizadora con irrigador, sistema de recirculación de la emulsión, bomba de engranes y sistema de calentamiento para la emulsión. La punta del irrigador debe permitir inyectar la emulsión dentro de la grieta sin salpicar fuera de ésta. Figura 5.1.1.



Figura 5.1.1. Petrolizadora o distribuidor

Aplicación con Equipo Portátil. Equipo provisto de tanques de almacenamiento de hasta 380 litros, ideales para trabajos pequeños. Pueden calentar la emulsión hasta la temperatura de trabajo. Provisto de manguera, aplicador y un sistema de bombeo para asegurar la presión adecuada de la emulsión para el relleno de las fisuras.

Procedimiento de Ejecución

Condiciones Climáticas. El sellado de fisuras no se debe aplicar si la temperatura en la superficie del pavimento y/o del aire es menor a 15° C con tendencia a la baja. Puede aplicarse cuando ambas temperaturas sean superiores a 15° C y tiendan a aumentar. Tampoco puede aplicarse cuando haya amenaza de lluvia o esté lloviendo. Figura 5.1.2.



Figura 5.1.2. Equipo portátil para sellado y relleno de grietas

Tampoco es conveniente aplicar cuando exista la posibilidad de temperaturas de congelación en el lugar dentro de un periodo de 24 horas después de haberse efectuado. El sellado no se debe aplicar cuando las condiciones climáticas propicien el retraso de la apertura al tránsito, más allá del plazo marcado por la Dependencia.

El tratamiento de la fisura debe realizarse inmediatamente después de que haya sido limpiada.

Limpieza de las Grietas con Aire Comprimido. Se eliminan las partículas sueltas utilizando aire comprimido seco. Esta operación se hace dos veces sobre la misma grieta. La punta de la lanza en la primera pasada debe estar a menos de 5 cm de altura de la superficie del pavimento. En la segunda pasada la punta de la lanza puede estar más separada del pavimento para limpiar un área mayor. No debe dejarse pasar mucho tiempo entre las dos pasadas del aire comprimido. Figura 5.1.3.



Figura 5.1.3. Limpieza de la grieta

Si hay presencia de humedad excesiva dentro de la grieta, utilizar aire comprimido seco caliente. De esta forma se limpia y se seca la grieta para recibir el material. La operación debe realizarse con precauciones extremas para evitar que el pavimento se oxide o se queme.

El aire comprimido seco caliente no debe ser usado cuando se está en condiciones de llovizna o en condiciones de saturación de agua en el pavimento. En estos casos se debe esperar que las condiciones climáticas sean adecuadas.

Aplicación del Sellador o Emulsión Asfáltica. El sellador o la emulsión asfáltica deben ser inyectadas a la grieta para asegurar que penetre lo suficiente para sellar o rellenar completamente el espesor de la grieta y que haya una correcta adhesión con las paredes de la misma. Figura 5.1.4.

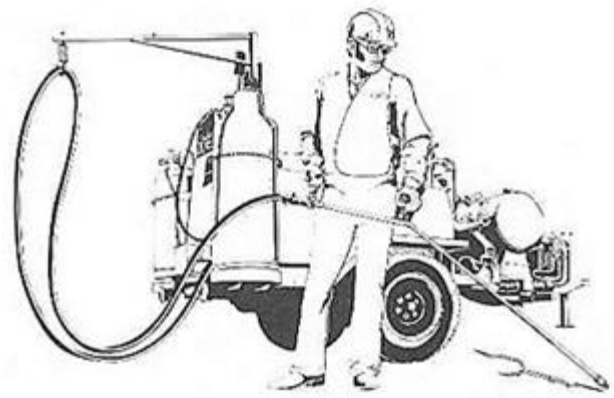


Figura 5.1.4. Aplicación del sellador o la emulsión asfáltica

Para ello se utiliza un sistema de inyección con bomba de engranes y bachador, usando una boquilla del ancho de la grieta para una aplicación correcta dentro de la fisura. Las mayorías de las petrolizadoras cuentan con este sistema de aplicación.

El movimiento del bachador debe ser continuo, llenando la grieta desde abajo. Si hay fisuras donde el residuo asfáltico se ha contraído demasiado o no se aplicó suficiente producto, se debe aplicar nuevamente emulsión para corregir esta falla.

En una operación de sellado, el sellador es aplicado al ras de la superficie o ligeramente abultado en un cajón. El propósito del cajón es crear una cámara para que pueda ser aplicado suficiente material, crear una geometría ideal del sellante sobre la grieta y proporcionar una superficie adecuada para que se pueda adherir a las paredes. El sellador también puede dejarse abultado para evitar la formación de surcos y el daño del tránsito.

Aplicación del "Poreo". Se realiza un "poreo" con arena, aplicando una capa delgada del material que cubra totalmente la emulsión superficial expuesta sobre la grieta. Figura 5.1.5.



Figura 5.1.5. Aplicación de "poreo" con arena en la grieta sellada

Condiciones de Acabado

No se permite exceso de residuos asfálticos o del producto sellador, grietas no cubiertas o apariencia irregular. El encargado de los trabajos debe utilizar el equipo adecuado para producir un mínimo de defectos durante la aplicación.

b)Relleno de Grietas

Definición

El relleno de grietas es la operación de limpieza y aplicación de un material de relleno y un material asfáltico o sellante, en grietas con abertura entre 5 y 25 mm, que presenta un pavimento en la superficie, para evitar la introducción del agua y de partículas finas extrañas, con objeto de mantener el comportamiento mecánico de la estructura, prolongando la vida de servicio del pavimento.

Los interesados en estas técnicas de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CSV·CAR·2·02·001/10** Limpieza de la Superficie de Rodadura y Acotamientos, **N·CSV·CAR·2·02·002/00** Sellado de Grietas Aisladas en Carpetas Asfálticas y **N·CSV·CAR·2·02·005/02** Sellado de Grietas y Juntas de Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

El relleno de grietas es una técnica que debe ser aplicada desde que aparecen las primeras grietas en la superficie del pavimento, porque el agua que se introduce desde la superficie a las capas inferiores, reduce la resistencia de los materiales, causa la migración de finos y con el tiempo va generando nuevas grietas y deterioros o fallas.

Las ventajas en la aplicación del relleno de grietas, son:

- Evita la introducción del agua de lluvia en el pavimento.
- Evita la introducción de partículas en la capa superficial, que provocan despostillamientos y desprendimientos posteriores en las orillas de la grieta.
- Mantiene el comportamiento y la resistencia de las capas estructurales del pavimento.

El sellado de fisuras tiene las limitaciones siguientes:

- No es factible aplicar el relleno en grietas o fisuras de menos de 5 mm de abertura superficial.
- Tampoco es conveniente aplicar el relleno cuando el volumen de grietas abarca extensiones importantes de la superficie del pavimento.
- No se aplica si la superficie del pavimento presenta agrietamientos causados por fatiga (tipo “piel de cocodrilo”).
- Tampoco se aplica en grietas longitudinales en pavimentos de moderado a alto nivel de tránsito, a menos que se aplique una capa de rodadura inmediatamente.

Condiciones de Aplicación

El relleno de grietas se aplica cuando las grietas existentes del pavimento tiene una abertura en la superficie entre 5 y 25 mm, su densidad es baja o moderada y el deterioro de los bordes de la fisura es moderado, considerándose que si se tienen cuando menos dos grietas en una sección de 100 metros lineales en el pavimento, ya es conveniente aplicar este tratamiento. Los tipos de grietas típicas que pueden tratarse son:

- Grietas de borde
- Grietas transversales
- Grietas tipo mapa
- Grietas de reflexión
- Grietas en losas de concreto hidráulico

Materiales y Requisitos de Calidad

Para efectuar el relleno de grietas se pueden utilizar selladores comerciales en caliente o emulsiones asfálticas en frío y materiales comerciales de relleno o morteros asfálticos. Cuando se utilizan materiales de relleno y selladores comerciales en caliente, deben revisarse las características particulares de calidad de cada producto y apegarse estrictamente a las condiciones de calentamiento y aplicación indicadas por la Empresa que los suministre.

Cuando se aplican emulsiones asfálticas, generalmente se utilizan las de tipo catiónico de rompimiento rápido o lento, modificadas con polímero, que cumplan con los requisitos de calidad que indica la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT, aunque también pueden emplearse emulsiones con un residuo asfáltico que tenga una penetración entre 50 y 90 décimas de milímetro, si el lugar de aplicación es de clima caluroso.

Cuando se usen morteros asfálticos, el material pétreo que se requiera para elaborar el mortero asfáltico usado en el relleno de grietas, debe cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 1 de la Recomendación **REA-16/2013**, de la Asociación Mexicana del Asfalto, según se trate de un mortero Tipo I o Tipo II. (Tabla 5.1.1).

Tipo de Mortero	Ancho de la grieta
Tipo I	5 a 10 mm
Tipo II	10 a 25 mm

Tabla 5.1.1. Selección del tipo de mortero asfáltico a utilizar en el tratamiento de grietas

Los aditivos pueden ser utilizados para dar al mortero asfáltico estabilidad y consistencia adecuadas. Los aditivos requeridos y la dosificación, deben estar aprobados y autorizados por la Dependencia responsable.

Equipo de Aplicación

Para efectuar un relleno de grietas, se requiere del equipo siguiente:

Equipos de Corte o Ruteo. Para realizar el corte o ruteo de una grieta y crear un mejor perfil en el tratamiento, se pueden usar cortadoras de disco y "ruteadoras". Sin embargo, estos equipos pueden provocar un mayor daño al pavimento debido a su configuración, además de ser lentos para esta actividad. Figura 5.1.6.



Figura 5.1.6. Equipos de ruteo para pavimentos

El equipo que ha demostrado mejor desempeño para perfilar grietas es la ruteadora de vástago vertical. Ver Tabla 5.1.2.

Operación	Tipo de equipo	Recomendaciones
Corte o fresado de la grieta	Ruteadora de husillo vertical	Se aplica sólo con cortadora de filo, carbono o diamante.
	Ruteadora rotatoria de impacto	Se aplica sólo con cortadora de filo y carbono.
	Sierra	Se aplica sólo en grietas rectas. Sierra de filo de diamante, máximo de 8" de diámetro.

Tabla 5.1.2. Equipos de ruteo para pavimentos

Equipo de Limpieza de Grietas. Preferentemente utilizar un equipo de aire comprimido capaz de producir una presión de 690 kPa como mínimo en la punta de la lanza y un flujo de aire de 0.7 m^3/s. Se requiere aire seco, por lo que se debe colocar un filtro del tipo aceite - agua en el equipo. Figura 5.3.7.

Si fuese necesario, se puede utilizar una lanza para aplicar aire seco caliente, sobre todo en época de lluvias. Figura 5.3.7.

Aplicación con Petrolizadora e Irrigador (bachador). Petrolizadora con irrigador, sistema de recirculación de la emulsión, bomba de engranes y sistema de calentamiento para la emulsión. La punta del irrigador debe permitir inyectar la emulsión dentro de la grieta sin salpicar fuera de ésta.

Aplicación con Equipo Portátil. Equipo provisto de tanques de almacenamiento de hasta 380 litros, ideales para trabajos pequeños. Pueden calentar la emulsión hasta la temperatura de trabajo. Provisto de manguera, aplicador y un sistema de bombeo para asegurar la presión adecuada de la emulsión para el relleno de las fisuras.

Enrasador. Herramienta en forma de U o V, fabricada con hule neopreno y montada sobre una varilla para sujetarla; se utiliza para enrasar el material remanente sobre la grieta, metiendo el producto dentro de la misma. Figura 5.1.7.



Figura 5.1.7. Enrasador para tratamiento de grietas

Procedimiento de Ejecución

Condiciones Climáticas. El relleno de grietas no se debe aplicar si la temperatura en la superficie del pavimento y/o del aire es menor a 15° C con tendencia a la baja. Puede aplicarse cuando ambas temperaturas sean superiores a 15° C y tiendan a aumentar. Tampoco puede aplicarse cuando haya amenaza de lluvia o esté lloviendo.

Tampoco es conveniente aplicar cuando exista la posibilidad de temperaturas de congelación en el lugar dentro de un periodo de 24 horas después de haberse efectuado. El relleno no se debe aplicar cuando las condiciones

climáticas propicien el retraso de la apertura al tránsito más allá del plazo marcado por la dependencia. El tratamiento de la grieta debe realizarse inmediatamente después de que ha sido cortada y limpiada.

Ruteo o Corte de la Grieta. Esta operación se requiere efectuar cuando las grietas tienen una abertura entre 5 y 19 mm. En grietas con abertura mayor a 19 mm, no es necesario efectuar corte o ruteo. Cuando se requiere el corte o ruteo, las grietas deben ser limpiadas y secadas después del corte y antes de la aplicación del material de relleno. El ruteo o corte de las grietas se vuelve especialmente importante en climas donde el movimiento de la grieta es muy alto. El ruteo de la grieta permite que se utilice más material de relleno y proporciona un mejor control en la geometría del canal de la grieta.

Limpieza de las Grietas con Aire Comprimido. Se eliminan las partículas sueltas utilizando aire comprimido seco. Ésta operación se hace dos veces sobre la misma grieta. La punta de la lanza en la primera pasada debe estar a menos de 5 cm de altura de la superficie del pavimento. En la segunda pasada la punta de la lanza puede estar más separada del pavimento para limpiar un área mayor. No dejar pasar mucho tiempo entre las dos pasadas del aire comprimido.

Si hay presencia de humedad excesiva dentro de la grieta, utilizar aire comprimido seco caliente. De esta forma se limpia y seca la grieta para recibir el material. La operación debe realizarse con precauciones extremas para evitar que el pavimento se oxide o se queme.

El aire comprimido seco caliente no debe ser usado cuando se está en condiciones de llovizna o en condiciones de saturación de agua en el pavimento. En estos casos se debe esperar que las condiciones climáticas sean adecuadas.

Colocación de Soporte Cilíndrico Flexible ("cola de rata"). Si en el proyecto se especificó el uso de un soporte flexible, lo cual es típico en un pavimento rígido, éste se colocará dentro de la grieta una vez que se ha realizado una limpieza adecuada. Figura 5.1.8.

Los pasos para colocar el soporte flexible son:

1. Cortar la cantidad adecuada del soporte flexible a utilizar para la grieta. El soporte debe tener un diámetro mayor al de la grieta para que entre a presión.

2. Insertar una punta del soporte en un extremo de la grieta.

3. Meter el soporte en varios puntos a lo largo de la grieta evitando estirarlo o torcerlo.

4. Empezando desde una de las puntas, empujar el cilindro dentro de la grieta hasta la profundidad deseada.

5. Si el ancho de la grieta es mayor que el grosor del soporte flexible disponible, se puede utilizar otro tramo del mismo soporte para cubrir toda la grieta. Figura 5.1.8.

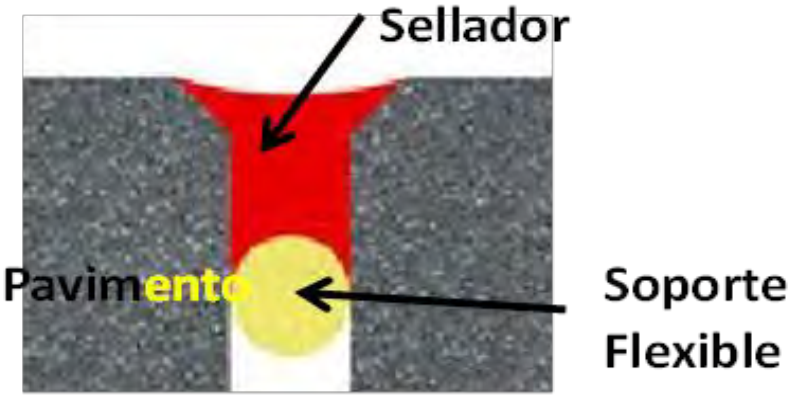


Figura 5.1.8. Colocación de soporte flexible en grietas

Aplicación del Sellador o Emulsión Asfáltica. El sellador o la emulsión asfáltica debe ser inyectada a la grieta para asegurar que penetre lo suficiente para sellar o rellenar completamente el espesor de la grieta y que haya una correcta adhesión con las paredes de la misma.

Para ello se utilizará un sistema de inyección con bomba de engranes y bachador, usando una boquilla del ancho de la grieta para una aplicación correcta dentro de la fisura. La mayoría de las petrolizadoras cuentan con este sistema de aplicación.

El movimiento del bachador debe ser continuo, llenando la grieta desde abajo. Si hay fisuras donde el residuo asfáltico se ha contraído demasiado o no se aplicó suficiente producto, se debe aplicar nuevamente emulsión para corregir esta falla.

En una operación de sellado, el sellador es aplicado al ras de la superficie o ligeramente abultado en un cajón. El propósito del cajón es crear una cámara para que pueda ser aplicado suficiente material, crear una geometría ideal del sellante sobre la grieta y proporcionar una superficie adecuada para que el sellante se pueda adherir a las paredes. El sellador también puede dejarse abultado para evitar la formación de surcos y el daño del tráfico.

Aplicación con Mortero Asfáltico. El mortero asfáltico para el relleno de grietas debe ser aplicado utilizando una vasija metálica con punta que permita hacer la aplicación dentro de la grieta.

Agregar suficiente mortero asfáltico dejando un pequeño exceso para formar la banda protectora en la superficie del pavimento. Usar una herramienta en forma de U o V fabricada con hule neopreno para enrasar el material que se deja en exceso sobre la grieta formando así la banda protectora.

El movimiento de la vasija debe ser continuo, llenando la grieta desde abajo.

Si es necesario se realiza un "poreo" con arena, aplicando una capa delgada del material que cubra totalmente el material expuesto sobre la grieta.

Limpieza. Los excesos o desperdicios de material inherente al tratamiento de grietas deben ser eliminados de todas las áreas de la superficie del pavimento tratado. El encargado del tratamiento debe retirar cualquier residuo asociado a las maniobras de trabajo diario.

Condiciones de Acabado

No se permite exceso de mortero asfáltico, grietas no cubiertas o apariencia irregular. El contratista debe utilizar el equipo adecuado para producir un mínimo de defectos durante la aplicación.

c) Bacheo Aislado Superficial y Profundo

Definición

El bacheo aislado superficial es el conjunto de actividades para reponer la carpeta o capas asfálticas en zonas pequeñas de un pavimento, en donde se inicia el desprendimiento de partículas o la desintegración de la mezcla asfáltica, cuando la base de apoyo se encuentra en una condición estable y sin exceso de agua.

El bacheo aislado profundo es el conjunto de actividades para reponer una zona pequeña del pavimento, que presenta deformación y oquedades por desprendimiento o desintegración, porque algunas capas inferiores del pavimento e incluso la capa subrasante, presentan una condición inestable y saturadas por exceso de agua.

Los interesados en estas técnicas de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CSV·CAR·2·02·003/00** Bacheo Superficial Aislado y **N·CSV·CAR·2·02·004/03** Bacheo Superficial Profundo, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

Se consideran las ventajas siguientes en la aplicación del bacheo superficial y profundo:

- Permite mejorar la circulación de vehículos en las zonas dañadas.
- Detiene el desprendimiento de partículas y la desintegración de la o las capas dañadas en las áreas aledañas a la zona reparada.
- Impide la infiltración de agua en las zonas aledañas a la zona reparada para evitar daños mayores.
- Mejora el comportamiento mecánico del pavimento, en las zonas reparadas.

Sin embargo, el bacheo presenta las limitaciones siguientes:

- Es necesario cerrar la zona por reparar al tránsito, durante la realización del bacheo, con su consecuente afectación.
- Se requiere un tiempo considerable para efectuar el bacheo de una sola zona por reparar.
- Cuando el pavimento presenta un porcentaje importante de zonas por reparar, el bacheo aislado no es aplicable.

Condiciones de Aplicación

Las condiciones de aplicación del bacheo superficial y profundo son las siguientes:

- El bacheo aislado superficial y profundo se aplica sólo a zonas dañadas de pavimentos de tipo flexible. Los daños locales en pavimentos de tipo rígido, tienen un procedimiento diferente de reparación y se tratan en más adelante en este mismo Capítulo.
- El bacheo es aplicable para pavimentos que presentan daños en zonas pequeñas, cuya área total es aproximadamente menor de 1.5% de la superficie total del pavimento por atender. Como ejemplo de aplicación de este criterio, se considera que en una carretera con un pavimento de 7 m de ancho, el área total de las zonas dañadas para efectuar bacheo, debe ser menor de 100 m^2 por cada kilómetro.
- El bacheo en una medida de conservación de tipo preventiva para tratar de mantener las condiciones de operación de un pavimento, pero si el área dañada continúa creciendo y tiende a ser mayor de 1.5% de la superficie total en un corto periodo, será necesario aplicar otro tipo de rehabilitación en combinación con el mejoramiento del subdrenaje local de la carretera.

Materiales y Requisitos de Calidad

Los materiales que se utilizan en el bacheo superficial y profundo son los siguientes:

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice en el riego de liga de las paredes y el fondo donde se coloque mezcla asfáltica en el bacheo superficial y profundo, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Mezcla Asfáltica en Caliente o en Frío. Los materiales pétreos y asfálticos para producir mezcla asfáltica en caliente o en frío, que se utilice en bacheo aislado superficial y profundo, deben cumplir con los requisitos de calidad indicados en las **Normas N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas y **N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT. También la mezcla asfáltica en caliente o en frío que se produzca para bacheo, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·003/08** Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Material Pétreo para Base Hidráulica. El material pétreo que se utilice en bacheo aislado profundo, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·04/08** Materiales para Bases Hidráulicas, de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

El equipo mínimo necesario para realizar el bacheo aislado superficial y profundo, es el siguiente:

- Cortadora de tipo manual con potencia mínima de hp, provisto de sierras de disco de diamante, con un diámetro mínimo que permita recortar en la superficie del pavimento una profundidad mínima de 20 cm.

- Compresor de aire con capacidad de presión mínima de 6 kg/cm^2 y pistones neumáticos para el recorte de materiales del pavimento.

- Petrolizadora con irrigador, sistema de recirculación de la emulsión, bomba de engranes y sistema de calentamiento para la emulsión. La punta del irrigador debe permitir inyectar la emulsión de manera uniforme en las paredes de la excavación.

- Compactador de rodillo metálico de tipo manual, auto propulsable y reversible, provisto de petos limpiadores para evitar que el material se adhiera al rodillo.

- Compactador neumático de tipo manual (“bailarina”).

- Herramientas manuales como picos, palas, pisones metálicos manuales y carretillas.

Procedimiento de Ejecución

El procedimiento de ejecución para bacheo superficial es similar al procedimiento de bacheo profundo, diferenciándose principalmente en que el superficial sólo requiere reponer con nueva mezcla asfáltica la capa asfáltica dañada, mientras que en el profundo, además de reponer la capa asfáltica dañada, es necesario reponer las capas inferiores con nuevo material de base, hasta eliminar las capas que presenten inestabilidad y exceso de agua.

Se describe a continuación y de manera lo más objetiva posible, el procedimiento para efectuar el bacheo aislado superficial:

1. Se realiza un recorrido de inspección para definir las zonas en donde la capa asfáltica presenta daños y se realizará el bacheo, marcándose con pintura el perímetro que será reparado. Es importante señalar que el perímetro del área por reparar debe tener una forma rectangular y dos de sus lados deben estar paralelos al eje del camino mientras que los otros dos deben estar transversales al eje.

   También es necesario que se delimite una distancia entre el contorno de la zona dañada y los lados del perímetro rectangular, de cuando menos 30 cm, para lograr que el nuevo material por colocar, quede unido con el material sólido existente que no presenta daños.

2. Los trabajos de bacheo no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 15º C, o la temperatura tienda a bajar de 15º C, si se va a utilizar mezcla asfáltica en caliente. Si se utiliza mezcla asfáltica en frío, el bacheo no se puede realizar si la temperatura es inferior a 4º C. En ambos casos, tampoco se puede efectuar el bacheo si hay amenaza de lluvia o está lloviendo. Si es necesario aplicar el bacheo en situaciones adversas de clima, se puede recurrir a productos comerciales cuya mezcla asfáltica permite la aplicación aún en estas situaciones.

3. Previo al inicio de los trabajos de bacheo, es necesario colocar bandereros y señalamiento de protección para canalizar el tránsito y evitar accidentes. Los aspectos y características del señalamiento de protección por colocar, se indican en la **Norma N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección

en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

4. En la zona por reparar, se procede a cortar sobre las líneas del perímetro previamente marcado con una cortadora de sierra de diamante, hasta una profundidad del espesor de la capa asfáltica por reponer. Los cortes deben ser lineales y verticales, para lograr levantar posteriormente la capa asfáltica por reponer, dejando una caja de forma regular. Figura 5.1.9.

5. Se procede a levantar en la zona dañada la capa asfáltica por reponer, con ayuda de martillos neumáticos, rompiendo por secciones cortas la capa asfáltica existente.

6. Con ayuda de picos y palas, se levantan y retiran los bloques de la capa asfáltica desintegrada y con estas mismas herramientas se termina levantando y retirando todo el material remanente hasta dejar descubierta la superficie inferior que sirve de apoyo a la capa asfáltica dañada. Figura 5.1.10.

7. Es importante que todo el material retirado sea depositado en lugares previamente definidos y aprobados por la Dependencia responsable, para tratar de evitar alguna contaminación.

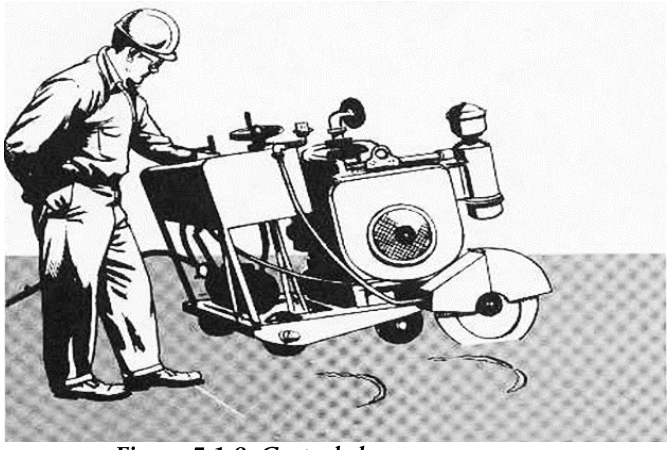


Figura 5.1.9. Corte de la zona por reparar

8. Con escobas se limpia todo el material fino de la caja descubierta y de las zonas de la superficie del pavimento, contiguas al área descubierta, para que no existan partículas finas libres en la zona por reparar. Figura 5.1.10.

9. Con un irrigador y con apoyo de la petrolizadora, se efectúa un riego de emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido, lo más uniforme posible, en el fondo de la caja descubierta y en las paredes laterales, con una dosificación aproximada de 1.2 l/m^2 de emulsión o de 0.8 l/m^2 de residuo asfáltico. Figura 5.1.11.



Figura 5.1.10. Limpieza de la zona descubierta

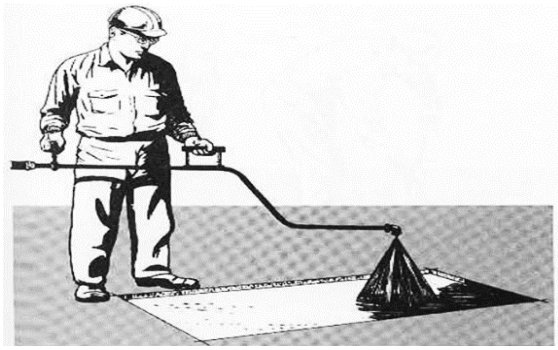
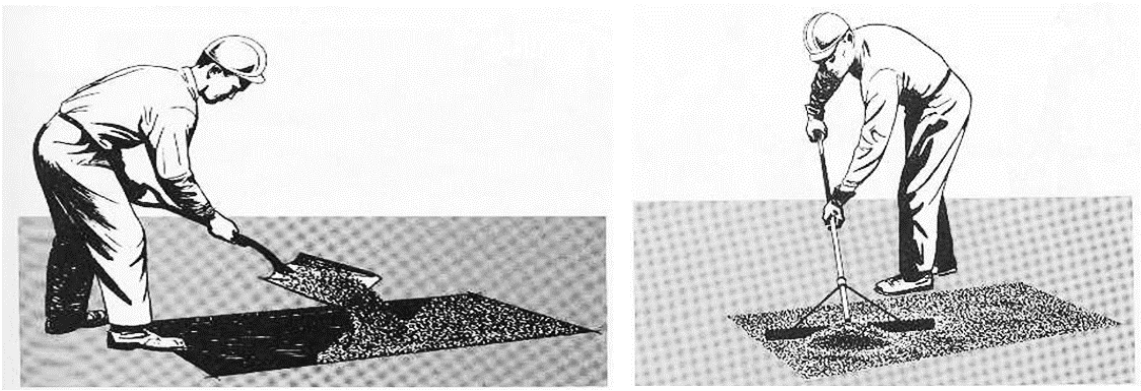


Figura 5.1.11. Aplicación de la emulsión asfáltica

A continuación, se coloca y distribuye de manera uniforme un volumen de mezcla asfáltica en caliente o en frío, en cantidad suficiente para lograr rellenar la caja descubierta y con nivel superior al nivel superficial del pavimento existente, para que una vez compactada se logre el nivel superficial existente. La temperatura de la mezcla debe ser de 110º C como mínimo al iniciar su acomodo. Si se utiliza mezcla fría, la colocación se realiza a la temperatura ambiente. Figuras 5.1.12 y 5.1.13.

La mezcla asfáltica en caliente o en frío que se produzca para bacheo, debe cumplir con las características de comportamiento y con las proporciones obtenidas en el diseño Marshall.



Figuras 5.1.12 y 5.1.13. Colocación y distribución de la mezcla asfáltica

10. Una vez que la mezcla se encuentra uniformemente distribuida en toda el área de la caja, se procede a compactarla utilizando un compactador de rodillo metálico de tipo manual, procurando que se inicie el paso del rodillo de las orillas hacia el centro de la caja y en forma paralela a los lados del rectángulo delimitado, procurando un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada. Figura 5.3.13.

    La compactación debe iniciarse con una temperatura de la mezcla asfáltica en caliente de 100º C como mínimo y debe terminarse antes de que la mezcla asfáltica tenga una temperatura inferior a 85º C. Se debe lograr que la mezcla asfáltica ya compactada alcance un grado de compactación de cuando menos 95% del peso volumétrico máximo de diseño. Figura 5.1.14.

11. Finalmente se elimina todo material suelto de la superficie aledaña a los trabajos de bacheo realizado, se retiran el equipo y herramientas utilizadas y se procede a quitar el señalamiento de protección, para abrir el área reparada al paso del tránsito.

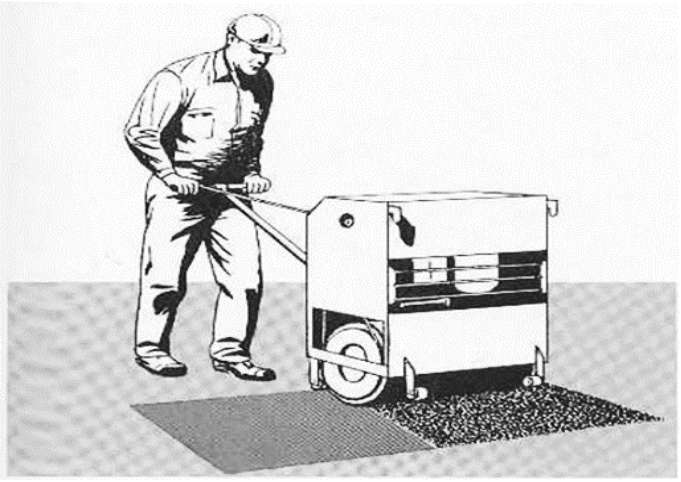


Figura 5.1.14. Compactación de la mezcla asfáltica

Se describe a continuación el procedimiento para realizar un bacheo aislado profundo:

1. Los pasos indicados para el bacheo superficial, del 1 al 6, son similares para este procedimiento.

2. Con apoyo de martillos neumáticos o con picos y palas, se procede a excavar los materiales que conforman las capas inferiores del pavimento, dentro de zona por reparar, revisando las condiciones de saturación en que se encuentran, a medida en que se avanza en la excavación y en el retiro de los materiales inestables.

   Las paredes de la excavación deben quedar verticales y conforme al perímetro de la zona delimitada en la superficie. La excavación se llevará hasta 10 cm debajo de la última capa por reponer, nivelando y limpiando el fondo, y tratando de no afectar las condiciones de acomodo de la capa expuesta. Los materiales inestables y saturados que se extraigan, deberán retirarse y llevarse al lugar de almacenamiento indicado por la Dependencia responsable.

3. A continuación se procede a colocar por capas, con espesor no mayor de 13 cm en estado suelto, el nuevo material de base hidráulica, el cual debe tener una humedad cercana a la humedad óptima determinada en el laboratorio con la prueba AASHTO Modificada, de acuerdo con la **Norma M·MMP·1·09/06** Compactación AASHTO, de la Normativa SCT.

4. Cada capa de material de base se compactará con un compactador manual de tipo neumático (bailarina), hasta que se alcance como mínimo el 95% de compactación, con relación al peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba antes citada. El relleno de material de base se realiza hasta el nivel superior de la capa de desplante de la capa asfáltica.

5. Finalmente se procede a rellenar el volumen faltante con nueva mezcla asfáltica en caliente o en frío, a limpiar la superficie aledaña a la zona reparada, a levantar el equipo y herramientas utilizadas y a quitar el señalamiento de protección para abrir al tránsito, conforme se indicó en los pasos del 7 al 11, en el procedimiento de bacheo superficial descrito anteriormente.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

El bacheo aislado superficial y profundo debe cumplir con los siguientes aspectos de aceptación y de acabado:

- La calidad de la emulsión asfáltica que se utilice en la liga de la nueva mezcla asfáltica, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de los materiales pétreos que se utilicen como base hidráulica y para mezcla asfáltica en caliente o en frío, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de la mezcla asfáltica en caliente o en frío, que se utilicen en bacheo aislado superficial y profundo, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La compactación de las capas conformadas con los materiales de base hidráulica, deben cumplir con el 95 % como mínimo del peso volumétrico seco máximo de la prueba AASHTO Modificada.

- La compactación de la capa de mezcla asfáltica en caliente o en frío, debe cumplir con el 95 % de su peso volumétrico máximo obtenido en el diseño Marshall.

- Se debe verificar que la diferencia de nivel entre la superficie del pavimento existente y la superficie de la zona reparada, no sea mayor de ± 0.5 cm, medida con una regla rígida de longitud suficiente.

d) Riego Asfáltico y Riego de Sello

Definición

El riego asfáltico es una aplicación de una emulsión asfáltica en la superficie del pavimento, de manera uniforme y con una dosificación previamente definida, para impermeabilizar la superficie, tapar fisuras pequeñas y reducir el desprendimiento de partículas, a fin de mantener y prolongar la vida útil de la capa asfáltica existente. Es común denominar también a este tratamiento "riego negro".

El riego de sello es una aplicación, en la superficie del pavimento, de asfalto con o sin polímero y de una capa de material pétreo triturado con una granulometría determinada, para impermeabilizar la superficie, tapar fisuras pequeñas y aumentar el coeficiente de fricción de la capa de rodadura, prolongando la vida útil de la capa asfáltica existente. Actualmente también se le denomina a este tratamiento "capa de rodadura de un riego".

Los interesados en estas técnicas de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, **N·CTR·CAR·1·04·005/00** Riegos de Liga y **N·CSV·CAR·3·02·002/09** Capas de Rodadura de un Riego, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

Se consideran las ventajas siguientes en la aplicación de un riego asfáltico:

- Rejuvenece el asfalto en la superficie del pavimento.
- Sella fisuras y grietas pequeñas evitando la infiltración del agua pluvial.
- Detiene el desprendimiento de partículas en la superficie de la capa asfáltica existente.
- Impermeabiliza la superficie del pavimento reduciendo la infiltración del agua de lluvia.
- Es un tratamiento económico.

El riego asfáltico tiene las limitaciones siguientes:

- Puede reducir la resistencia al deslizamiento de la superficie del pavimento.
- No aporta resistencia estructural al pavimento ni resuelve fallas estructurales.
- No es capaz de sellar grietas mayores de 3 mm.

El Riego de Sello Presenta las Siguientes Ventajas:

- Aumenta el coeficiente de fricción de la superficie del pavimento.
- Sella fisuras y grietas pequeñas, evitando la infiltración del agua.
- Evita el desprendimiento de partículas de la capa asfáltica existente.
- Impermeabiliza la superficie del pavimento reduciendo la infiltración del agua de lluvia.
- Protege y prolonga la vida útil de la capa asfáltica existente.
- Es un tratamiento con un conveniente costo-beneficio.

Como limitaciones, el riego de sello presenta los aspectos siguientes:

- No es capaz de sellar grietas mayores de 5 mm.
- No aporta resistencia estructural al pavimento ni resuelve fallas estructurales.

- Es un tratamiento que puede aumentar el nivel de ruido al paso de los vehículos.
- Puede causar daños a los vehículos por las partículas de material pétreo que queden sueltas, sobre todo en carreteras de alto tránsito y con velocidad de operación alta.

Condiciones de Aplicación

El riego asfáltico presenta las siguientes condiciones en su aplicación:

- La superficie del pavimento existente no debe presentar deformaciones ni agrietamientos severos, así como tampoco debe tener zonas inestables y con materiales saturados de agua en las capas del pavimento. Previamente deben atenderse con bacheo aislado superficial y profundo las fallas locales existentes. Es conveniente aplicar el riego de asfalto cuando la superficie del pavimento presenta un desprendimiento incipiente de partículas, para que sea efectivo. Cuando el pavimento ya tiene una etapa de desprendimiento severo o incluso presenta "calavereo", se reduce mucho la efectividad de este tratamiento.

- Es importante aplicarlo en épocas de estiaje o cuando existan condiciones climáticas favorables, como temperaturas elevadas en el ambiente y sin riesgo de lluvia.

El riego de sello tiene las siguientes condiciones en su aplicación:

- La superficie del pavimento existente no debe presentar deformaciones de más de 1.5 cm ni agrietamientos severos con abertura mayor de 10 mm. Si se tienen condiciones de este tipo, previamente se debe realizar otras medidas de conservación, como renivelaciones locales y relleno de grietas.

- El pavimento tampoco debe tener zonas inestables y con materiales saturados de agua en las capas del pavimento. Previamente deben atenderse con bacheo aislado superficial y profundo las fallas locales existentes.

- El pavimento existente debe tener una estructura suficiente para las condiciones del tránsito. Aunque en ocasiones se utiliza el riego de sello como "tratamiento de espera" o como paliativo, mientras se atiende de manera definitiva la deficiencia estructural del pavimento.

- Es importante aplicarlo en épocas de estiaje o cuando existan condiciones climáticas favorables, como temperaturas elevadas en el ambiente y sin riesgo de lluvia, para favorecer la maduración del asfalto aplicado y el anclaje de las partículas del material pétreo.

Materiales y Requisitos de Calidad

El riego de asfalto sólo requiere del material siguiente, para su utilización:

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice en la aplicación del riego asfáltico en superficies de pavimentos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos**,** de la Normativa SCT.

El riego de sello utiliza los materiales siguientes para su aplicación:

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice en la aplicación de riego de sello, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos**,** de la Normativa SCT.

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido, Modificada con Polímero. Para mejorar el desempeño del riego de sello, es posible utilizar una emulsión asfáltica modificada con polímero del tipo I, la cual debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos, de la Normativa SCT.

Material Pétreo Triturado Para Carpetas de Riegos. El material pétreo que se utilice en la aplicación de riego de sello, debe ser producto de trituración y cumplir con la granulometría y los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

Se requiere el equipo que se describe a continuación, para aplicar riegos asfálticos y de sello:

Petrolizadora. Con capacidad para aplicar un flujo uniforme de emulsión asfáltica a temperatura constante en anchos variables y dosificaciones controladas, provisto de tanque de almacenamiento del material asfáltico, dispositivos de calentamiento y de control de temperatura, odómetro, medidores de presión, bomba y barras de circulación que se ajusten lateral y verticalmente. Figura 5.1.15.

Esparcidor del Material Pétreo. Equipo con almacenamiento para el material pétreo, mecánico autopropulsado o remolcado con camión, con compuerta frontal para aplicar de manera uniforme el material pétreo en la cantidad requerida.

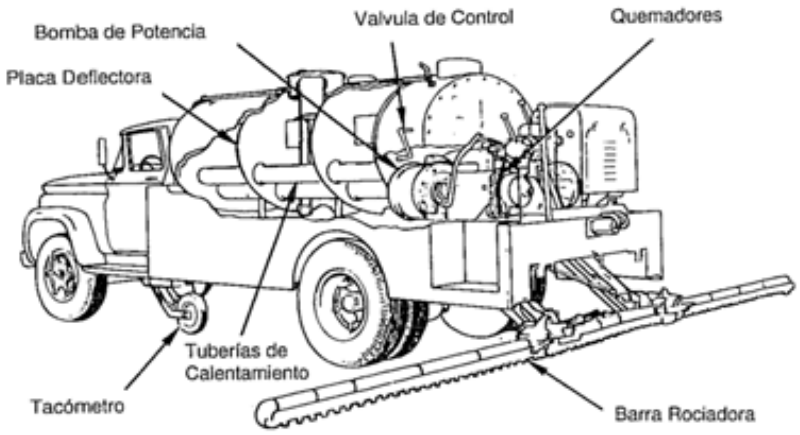


Figura 5.1.15. Petrolizadora para riegos de asfalto y sus dispositivos de aplicación

Compactador de Neumáticos Ligero. Equipo de compactación de ruedas neumáticas con peso máximo de 4 ton, autopropulsable.

Barredora Mecánica. Con escoba rotatoria autopropulsada, para la limpieza de la superficie del pavimento.

Procedimiento de Ejecución

Se describe a continuación el procedimiento para la ejecución de un riego asfáltico:

1. Se verifica que el tramo de carretera en donde se aplicará el riego asfáltico, reúna las condiciones para lograr una aplicación eficiente, descritas anteriormente. Además se efectúa un recorrido para valorar la superficie del pavimento y definir la tasa de dosificación, conforme a la textura y estado de envejecimiento del asfalto expuesto en la superficie.

   Generalmente la dosificación de un riego de asfalto se encuentra entre 0.7 y 1.2 litros/m^2 de emulsión asfáltica, que corresponde a una tasa aproximada entre 0.5 y 0.8 litros/m^2 de residuo asfáltico.

2. La aplicación del riego se debe efectuar cuando no haya amenaza de lluvia o esté lloviendo, la temperatura ambiente sea superior a 10º C y con tendencia a aumentar, y no haya viento apreciable que impida una aplicación uniforme del asfalto.

3. En el caso que se considere que la superficie por tratar requiere una dosificación inferior a 0.5 litros/m^2 de emulsión asfáltica, habrá que diluir la emulsión con agua potable que tenga un pH entre 1.8 y 2.0. La dilución debe efectuarse agregando el agua a la emulsión, en la proporción que permita obtener un residuo asfáltico menor de 0.65.

4. Antes del inicio de la aplicación, se debe cerrar el tramo por tratar al tránsito, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

5. Se elimina el polvo y las partículas sueltas en la superficie de rodadura, mediante una barredora mecánica. Se debe verificar que la superficie esté libre de polvo y en caso contrario, se debe efectuar otro barrido de la superficie.

6. Se verifica que los aspersores de la barra de circulación estén limpios y con la inclinación correcta con respecto al eje de la barra Figura 5.1.16. Se calibra la altura de la barra de circulación del asfalto, para que con la potencia de la bomba y la temperatura en que se aplicará la emulsión asfáltica, se obtenga un esparcido uniforme, mediante un cubrimiento "doble" o "triple" de los abanicos de la emulsión. Figuras 5.1.17 y 5.1.18.



Figura 5.1.16. Ángulo de inclinación de las espreas en la barra de distribución

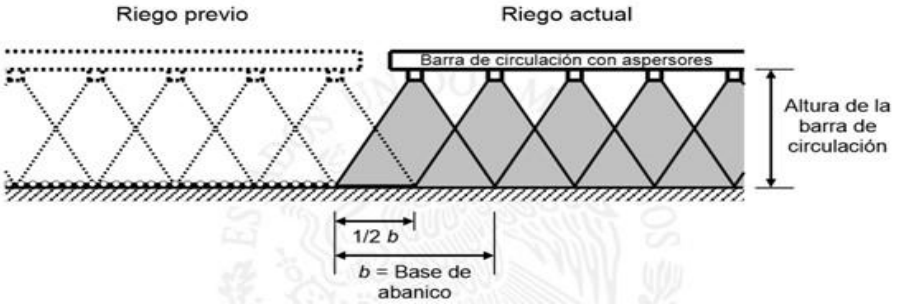


Figura 5.1.17. Cubrimiento "doble" de los abanicos del asfalto

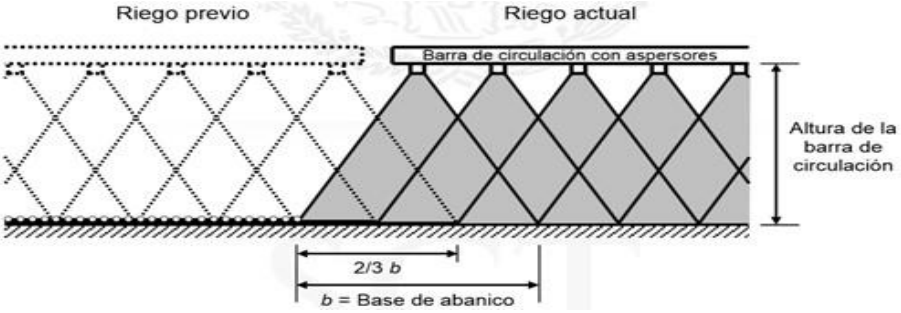


Figura 5.1.18. Cubrimiento "triple" de los abanicos del asfalto

7. Se aplica el riego de la emulsión asfáltica en un tramo de longitud corta, con la petrolizadora, a la velocidad de paso y con la potencia de la bomba que se consideren necesarios para lograr la dosificación previamente definida, colocando una sección de espuma de poliuretano con un área de 1 m^2 en el área de aplicación del riego, para determinar por diferencia de pesos, si en las condiciones en que se aplica el riego, se logra la tasa requerida. De no ser así, se efectúan los ajustes necesarios y se vuelve a verificar la dosificación. La verificación de la dosificación puede consultarse con detalle en la Recomendación de la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) denominada: **REA 117/2014** Capas de rodadura con riego de sello, en su Anexo III.

8. Una vez calibrados la velocidad de paso de la petrolizadora, la potencia de la bomba y la altura de la barra de distribución, se procede a la aplicación del riego de la emulsión en el tramo a tratar, verificando en forma continua que la aplicación se apegue a las condiciones de operación previamente definidas. Figura 5.1.16. En la aplicación del riego de asfalto en carriles contiguos, se debe traslapar el abanico extremo con el riego previo, la mitad de la base del abanico o las dos terceras partes de la base, según se trate de un riego de cubrimiento “doble” o “triple”. Figuras 5.1.17 y 5.1.18.

9. Se debe dejar un espacio de tiempo no menor de una hora, para que el asfalto aplicado madure y se desaloje o evapore el agua de la emulsión, antes de abrir al tránsito.

10. En el caso de que se detecten zonas en la superficie con un exceso de asfalto, se debe aplicar un “poreo” de arena fina, para que absorba el asfalto excedido. Figura 5.1.19.



Figura 5.1.19. Aplicación del riego asfáltico con la petrolizadora

11. Una vez terminada la aplicación del riego asfáltico, se procede a retirar el señalamiento de protección en obra y se abre el tramo tratado a la circulación del tránsito.

A continuación se describe el procedimiento de ejecución de un riego de sello:

1. Se verifica que el tramo de carretera en donde se aplicará el riego de sello, reúna las condiciones para lograr una aplicación eficiente, descritas anteriormente. Además se efectúa un recorrido para valorar la superficie del pavimento y definir una dosificación aproximada de la tasa de dosificación del asfalto por aplicar, conforme a la textura y estado de envejecimiento del asfalto expuesto en la superficie.

   Generalmente la dosificación del riego de asfalto por aplicar se encuentra entre 1.2 y 1.6 litros/m^2 de emulsión asfáltica, que corresponde a una tasa aproximada entre 0.8 y 1.0 litros/m^2 de residuo asfáltico. Sin embargo, se deben valorar los aspectos siguientes que inciden en el desempeño adecuado del riego de sello, para definir la dosificación del asfalto por aplicar:

   - Experiencia local
   - Condición y textura de la superficie del pavimento

- Condiciones prevalecientes de clima
- Intensidad del tránsito y porcentaje de vehículos pesados
- Absorción, densidad y tamaño máximo del material pétreo por utilizar
- Material pétreo pre envuelto con asfalto

Previo a la aplicación del riego de sello, en la práctica nacional se ha recurrido a realizar mosaicos de prueba en las zonas de canalización del tramo por tratar, aplicando diversas dosificaciones de asfalto y del material pétreo, para evaluar su comportamiento real, con las condiciones antes citadas, para seleccionar las dosificaciones de materiales que mejor desempeño presenten.

2. Una vez definida la dosificación aproximada del asfalto por aplicar, con el asfalto y el material pétreo por utilizar, en el laboratorio se puede realizar un diseño de la dosificación de ambos materiales, mediante cualquiera de los tres métodos que propone la AMAAC en su Recomendación **REA 117/2014** Capas de Rodadura con Riego de Sello.

3. Se procede a la aplicación del riego de sello, verificando las condiciones de clima, el señalamiento de protección en obra, la limpieza de la superficie, la calibración y la verificación del riego de asfalto por aplicar, conforme se indicó en los pasos 2 y del 4 al 8, descritos anteriormente para la aplicación del riego asfáltico.

4. Una vez aplicado el riego de la emulsión asfáltica, se procede al esparcido del material pétreo cuidando que ambas aplicaciones se realicen en forma casi simultánea, para que el material pétreo quede embebido en la emulsión asfáltica antes de que inicie la fase de rompimiento (Figura 5.1.20).

   La tasa de aplicación del material pétreo oscila entre 10 y 12 litros/m^2, para un material pétreo del tipo 3-A, aunque se puede precisar la dosificación con las consideraciones y los métodos de diseño comentados anteriormente. Figura 5.1.20.



Figura 5.1.20. Esparcido del material pétreo

5. En forma inmediata, se pasa el compactador de ruedas neumáticas sobre el riego de sello aplicado, para que las partículas del material pétreo se orienten y acomoden dentro de la película del asfalto. Figura 5.1.21.

6. Una vez terminada la aplicación del riego de sello, se deja un espacio de tiempo en reposo el tramo tratado, para que el asfalto madure y desarrolle la suficiente cohesión entre la superficie y el material pétreo, estimándose que es adecuado un lapso mínimo entre 4 y 6 horas.



Figura 5.1.21. Acomodo del material pétreo con el compactador de ruedas neumáticas

7. Es importante verificar que no haya material pétreo suelto, después de aplicado el tratamiento. En el caso de que existan partículas sueltas, se debe barrerlas y levantarlas, para evitar afectaciones al paso de los vehículos.

8. Una vez terminada la aplicación del riego de sello, se procede a retirar el señalamiento de protección en obra y se abre el tramo tratado a la circulación del tránsito.

La aplicación antes descrita del riego de sello se ha considerado tradicional en el medio nacional, aunque se ha mejorado su desempeño utilizando emulsiones asfálticas modificadas con polímero o aplicando al material pétreo una pre envuelta con una dosificación baja de asfalto en planta, para aumentar la adherencia y la cohesión del asfalto con el material pétreo. Sin embargo, aún con estas modificaciones, es aplicable el procedimiento de ejecución antes descrito.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Las condiciones de aceptación y de acabado para los tratamientos de riego asfáltico y de riego de sello, son las siguientes:

- La calidad de la emulsión asfáltica que se utilice en el riego asfáltico y de sello, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad del material pétreo que se utilice en el riego de sello, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La dosificación de materiales aplicada en el riego de sello, debe ser la que se estableció previamente o mediante el diseño realizado en el laboratorio.

- El acabado final de la superficie tratada con el riego de sello, debe ser uniforme, no presentar deformaciones apreciables ni afloramientos de asfalto, ni tener pérdida sensible del material pétreo.

- La superficie del pavimento del tramo tratado con el riego de sello, debe tener un coeficiente de fricción en condiciones de pavimento mojado, de 0.6 como mínimo, medido con equipo MuMeter o similar a una velocidad de 75 km/h, conforme con el procedimiento de prueba indicado en la **Norma ASTM E670-94 (2000)**.

e) Fresado Superficial y Recorte de Capas del Pavimento

Definición

El fresado superficial es el recorte o desbaste de la capa superior del pavimento, en un espesor reducido no mayor de 3 cm, para corregir zonas con deformación, minimizar el agrietamiento de la capa superficial, obtener una superficie de textura rugosa para mejorar la adherencia con una nueva capa asfáltica y mantener en lo posible el nivel de la rasante existente.

El recorte de capas de pavimento es la remoción de sólo la capa asfáltica o de algunas capas del pavimento, para sustituirlas con nuevos materiales a fin de reforzar la estructura existente con una nueva capa asfáltica o lograr una nueva estructura.

Los interesados en estas técnicas de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CSV·CAR·3·02·006/10** Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos Asfálticos, **N·CSV·CAR·3·02·007/10** Recorte de Carpetas Asfálticas, **N·CSV·CAR·3·02·009/06** Fresado de la Superficie de Rodadura en Pavimentos de Concreto Hidráulico y **N·CSV·CAR·4·02·003/03** Recorte de Pavimentos, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

Se tienen las ventajas siguientes en el fresado superficial:

- Se mejora la regularidad superficial de la carretera, cuando se estima conveniente mejorar esta característica.
- Se aumenta el coeficiente de fricción de la superficie del pavimento, cuando sólo se requiere mejorar esta propiedad.
- Se elimina un espesor reducido en la superficie de la capa de rodadura, que por su exposición al tránsito y a las condiciones ambientales, y presenta uno o algunos de diversos deterioros, tales como fisuras y grietas de baja magnitud, deformaciones moderadas, asfalto envejecido o en exceso, superficie lisa y de las mi naciones.
- Se obtiene una superficie con una textura muy rugosa y una mayor adherencia para unir una nueva capa de rodadura y que se logre un comportamiento integral de la nueva capa con la estructura del pavimento. Figura 5.1.22.
- Se mantiene en lo posible el nivel de la rasante existente.



Figura 5.1.22. Aspecto de la textura rugosa de una superficie fresada

Las ventajas de un recorte de capas de pavimento son las siguientes:

- Se elimina la capa de rodadura o las capas del pavimento que por el tiempo de servicio, el mal comportamiento o la baja calidad de materiales, no permite mejorar el nivel de servicio ni aumentar la vida útil del pavimento existente.

- Permite reforzar la capacidad estructural o una nueva estructura, con la construcción de una nueva capa asfáltica o de capas del pavimento con nuevos materiales de mejor calidad, sin un aumento notable del nivel de la rasante existente.

Sin embargo, estos tratamientos tienen las limitaciones siguientes:

- Generalmente no se aprovechan los materiales que se fresan o recortan, enviándose a zonas de almacenamiento o tiraderos.

- Son operaciones de costo elevado, porque requieren del uso de equipos de alto desgaste y del acarreo de los materiales removidos hasta el lugar de almacenamiento.

Condiciones de Aplicación

El fresado superficial y el recorte de capas de pavimento, debe atender la siguiente condición en su aplicación:

- Antes de efectuar un fresado superficial, se deben atender las zonas de materiales con inestabilidad o saturación de agua, mediante bacheo aislado superficial y profundo.

Materiales y Requisitos de Calidad

Para el fresado superficial y el recorte de capas de pavimento, no aplica este inciso.

Equipo de Aplicación

Fresadora. Equipo de corte autopropulsado, con el peso y potencia suficiente para producir un fresado uniforme, provisto de: cabeza de corte con ancho mínimo de 0.9 m y de preferencia del ancho del carril, capaz de controlar la profundidad del fresado o generar un plano de corte geométrico que cumpla con el nivel de proyecto, por medio de controles electrónicos; discos de corte montados en la cabeza de corte, con dientes de carburo o diamantados, en cantidad tal que produzcan un patrón de corte fino con espaciamiento no mayor de 8.5 mm y capacidad para cortar la capa asfáltica hasta 5 cm de profundidad; cilindros hidráulicos para mantener constante la presión sobre la cabeza de corte; dispositivos para controlar su alineación, detectar variaciones en el nivel de la superficie por fresar y ajustar automáticamente la cabeza de corte para producir una superficie nivelada, conforme al proyecto. Figura 5.1.23.

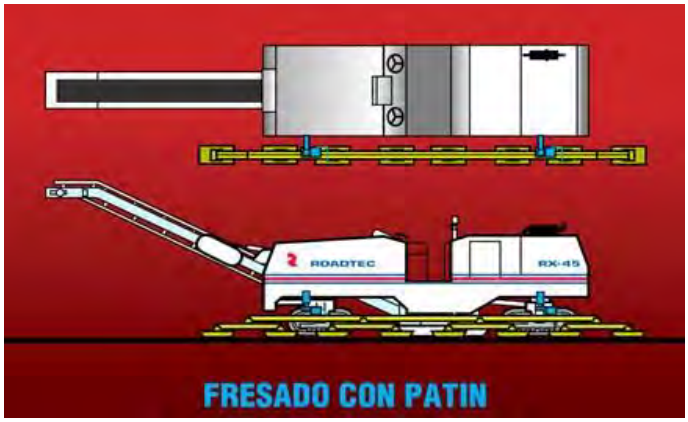


Figura 5.1.23. Dispositivo de patín para controlar el nivel del fresado

Recuperadora. Equipo de corte autopropulsado, diseñado específicamente para cortar y disgregar la capa asfáltica, la base y la subbase del pavimento, con dispositivos para la reducción de emisiones de polvo y con capacidad de corte y disgregado del ancho de un carril. Figura 5.1.24.



Figura 5.1.24. Recuperadora de pavimentos

Camión Cisterna. Para el suministro de agua a la fresadora, con capacidad suficiente para reducir las operaciones del equipo.

Cargadores Frontales. Autopropulsados y reversibles, de ruedas o montados sobre orugas, con la potencia y capacidad compatibles con la geometría del corte, para la excavación y carga de materiales producto del recorte de las capas del pavimento.

Camiones de Volteo. Para recibir el material fresado o del recorte del pavimento y trasladarlo al lugar de almacenamiento.

Barredora Mecánica. Con escoba rotatoria autopropulsada, para la limpieza de la superficie del pavimento.

Procedimiento de Ejecución

A continuación se describe el procedimiento de ejecución del fresado superficial:

1. El fresado superficial se debe efectuar cuando no haya amenaza de lluvia o esté lloviendo y en general haya condiciones climáticas favorables.

2. Antes del inicio del trabajo de fresado, se debe cerrar al tránsito el tramo por conservar al tránsito, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

3. Para el inicio de los trabajos de fresado, se realiza una nivelación topográfica a fin de indicar los niveles de corte que debe seguir la fresadora, para que se logren las secciones y pendientes indicadas en el proyecto.

4. Se procede a recortar la superficie de la capa de rodadura, utilizando la fresadora, generalmente en el sentido paralelo al eje del camino, y con la profundidad de corte definida en el proyecto. Figura 5.1.25. El fresado se debe realizar de tal forma que no se afecten elementos adyacentes del camino, como cunetas, bordillos u otras estructuras.

5. Cuando la superficie fresada vaya a quedar como superficie de rodadura, el recorte debe ser continuo en tramos no menores de 50 m y a todo el ancho del carril, para lograr mejorar la regularidad superficial y la resistencia al deslizamiento, conforme lo indica el proyecto.

6. Cuando la superficie fresada vaya a quedar como desplante de una nueva capa asfáltica, se recortará la capa asfáltica en el espesor que indique el proyecto. En el caso de que el espesor de recorte sea mayor de 5 cm, se fresará la capa en dos o más pasadas.



Figura 5.1.25. Operación de la fresadora

7. En el fresado de la capa del pavimento, la fresadora debe recibir un flujo de agua del camión cisterna para evitar el calentamiento durante el corte del espesor y evitar la emisión notable de polvo, a su vez, la fresadora envía el material removido a los camiones de volteo, para que sea trasladado al lugar de almacenamiento indicado por la Dependencia responsable.

8. Una vez finalizado el fresado superficial, se efectúa un barrido de la superficie tratada, para eliminar las partículas sueltas, sobre todo si la superficie fresada se abrirá a la circulación del tránsito.

9. Una vez terminada la aplicación del fresado superficial, se procede a retirar el señalamiento de protección en obra y se abre el tramo tratado a la circulación del tránsito, cuando la superficie fresada funcione como superficie de rodadura.

10. En el caso de que la superficie fresada funcione como desplante de una nueva capa asfáltica, se procede a efectuar las operaciones de colocación de esta capa.

A continuación de describe el procedimiento de ejecución del recorte de capas de pavimento:

1. El recorte de capas de pavimento debe efectuarse cuando no haya amenaza de lluvia o esté lloviendo, y en general que haya condiciones climáticas favorables.

2. Antes del inicio de los trabajos, se debe cerrar al tránsito el tramo por conservar, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

3. Para el inicio de los trabajos de corte, se realiza una nivelación topográfica a fin de indicar los niveles de corte que debe seguir la recuperadora, para que se logren las secciones y pendientes indicadas en el proyecto.

4. Se procede a recortar la capa de rodadura y las capas intermedias del pavimento, utilizando la recuperadora, generalmente en el sentido paralelo al eje del camino y con la profundidad de corte definida en el proyecto, Figura 5.3.25. El recorte se debe realizar de tal forma que no se afecten elementos adyacentes del camino, como cunetas, bordillos u otras estructuras.

5. El corte y disgregación se puede realizar por etapas, dependiendo de la profundidad indicada en el proyecto, cuidando que los cortes dejen paredes verticales y no afecten el acomodo de los materiales que no se retirarán.

6. Los materiales cortados y disgregados, producto del recorte efectuado, serán cargados con cargadores frontales a los camiones de volteo para su traslado al lugar de almacenamiento indicado por la Dependencia responsable.

7. Una vez realizado el recorte de las capas y retirado los materiales del lugar, se estará en condiciones de proceder a colocar la nueva capa asfáltica o las capas intermedias y la capa de rodadura del pavimento, utilizando nuevos materiales de mejor calidad.

8. Al término de la reconstrucción del pavimento, se estará en condiciones de retirar el señalamiento de protección para abrir el tramo a la circulación del tránsito.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Se comentan a continuación las condiciones de aceptación y de acabado, de los trabajos de fresado superficial:

- La superficie fresada debe tener una textura y un acabado uniformes.

- El Índice de Perfil en la superficie fresada que quede como rodadura, debe ser igual o menor de 14 cm/km o igual o menor del valor indicado en el proyecto.

- Si así lo indica el proyecto, el Coeficiente de Fricción en la superficie fresada que quede como rodadura, debe ser mayor de 0.6, medido con equipo MuMeter o similar en condiciones de pavimento mojado y a una velocidad de 75 km/h.

- La pendiente transversal del pavimento en la superficie fresada, debe ser de 2 ± 0.5 % en tramos rectos, o en curvas con la sobre elevación que le corresponda.

- Al final de los trabajos, la zona de fresado debe quedar libre de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de corte, para no afectar la operación de la carretera.

Para los trabajos de recorte de capas de pavimento, las condiciones de aceptación y de acabado, son las siguientes:

- Las caras laterales del recorte deben quedar rectas, uniformes y verticales, y deben haberse efectuado con la geometría indicada en el proyecto, con una tolerancia de ± 3 cm, mientras que el fondo del corte debe quedar en el nivel de proyecto, con una tolerancia de ± 1 cm.

- Las zonas adyacentes a la zona del recorte de capas, no deben haber sido afectadas.

- La estructura del pavimento adyacente, la superficie de rodadura y otras estructuras fuera de la zona de recorte, no deben haber sido dañadas o alteradas.

- El material extraído de la capa asfáltica, base o subbase, deben haber sido depositados en el lugar indicado por la Dependencia responsable.

f) Renivelación Local con Mezcla Asfáltica

Definición

La renivelación local con mezcla asfáltica consiste en las operaciones para rellenar y compactar con mezcla asfáltica, las zonas del pavimento que presentan deformaciones transversales o longitudinales apreciables, con objeto de mejorar la regularidad superficial, la comodidad y seguridad de los usuarios, así como hacer eficiente el drenaje superficial hacia las zonas laterales del pavimento.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando la **Norma N·CSV·CAR·3·02·001/10** Renivelaciones Locales en Pavimentos Asfálticos, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

La renivelación con mezcla asfáltica tiene las ventajas siguientes:

- Permite rellenar depresiones apreciables en la superficie del pavimento asfáltico, para mejorar la regularidad, la comodidad y seguridad de los usuarios.
- Permite impermeabilizar las zonas donde se coloquen, para evitar la infiltración de agua de lluvia al pavimento, así como mejorar el drenaje hacia los acotamientos.
- Permite mejorar el coeficiente de fricción en las zonas reparadas.

Sin embargo, se tienen las limitaciones siguientes con la utilización de la renivelación local:

- Las renivelación no se deben considerar como un refuerzo estructural al pavimento.
- En depresiones menores de 1 cm no es conveniente aplicar una renivelación con mezcla asfáltica. Para depresiones reducidas es conveniente utilizar mortero asfáltico o efectuar un fresado superficial.
- Para depresiones mayores de 3 cm, tampoco es conveniente colocar renivelación. En este caso se recomienda recortar la capa asfáltica y colocar una nueva, siempre y cuando la estructura del pavimento sea adecuada.

Condiciones de Aplicación

Para aplicar una renivelación local es necesario atender las condiciones siguientes:

- Debe revisarse previamente que el pavimento tiene una estructura adecuada para la intensidad del tránsito y las condiciones geológicas y ambientales. Con la suficiente anticipación, se debe realizar el bacheo aislado profundo que el pavimento requiera para resolver zonas con materiales inestables y saturados con agua.
- Deben definirse las zonas en que se aplicará la renivelación, considerando que las depresiones por tratar deben tener un espesor en la parte más baja, entre 1 y 3 cm.
- En el caso de que se tenga necesidad de renivelar una zona de gran extensión, con una depresión mayor a 5 cm, es conveniente considerar que la renivelación se debe efectuar por capas, para evitar un acomodo inadecuado de la renivelación, y conforme se indica. Figura 5.1.26.

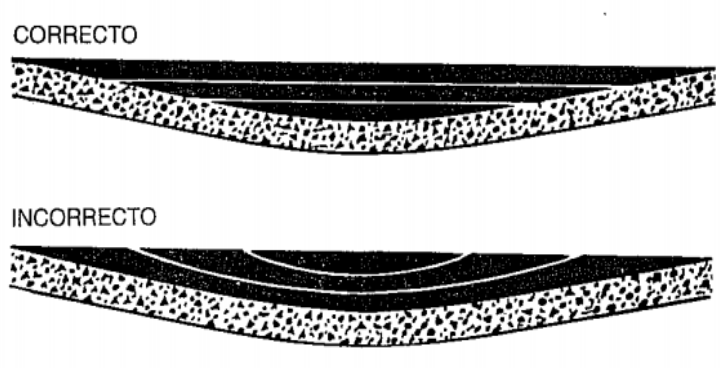


Figura 5.1.26. Forma en que se deben realizar las renivelaciones

Materiales y Requisitos de Calidad

Se requieren los materiales siguientes para efectuar una renivelación local en el pavimento:

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice en el riego de liga de las zonas en donde se coloque mezcla asfáltica en la renivelación, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Mezcla Asfáltica en Caliente o en Frío. Los materiales pétreos y asfálticos para producir mezcla asfáltica en caliente o en frío, que se utilicen en renivelación local, deben cumplir con los requisitos de calidad indicados en las **Normas N·CMT·4·94/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas y **N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT. Para este tratamiento es conveniente que el tamaño máximo del material pétreo sea de 12.7 mm (1/2 pulg.), para asegurar el tendido y la compactación adecuada de la mezcla asfáltica. También la mezcla asfáltica en caliente o en frío que se produzca para renivelación, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·003/08** Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

Se requiere el equipo siguiente para efectuar una renivelación local con mezcla asfáltica:

Equipo de Corte o Fresadora. Equipo de corte autopropulsada, con el peso y potencia suficiente para producir un fresado uniforme, provisto de: cabeza de corte con ancho mínimo de 0.9 m y de preferencia del ancho del carril, capaz de controlar la profundidad del fresado o generar un plano de corte geométrico que cumpla con el nivel de proyecto, por medio de controles electrónicos; discos de corte montados en la cabeza de corte, con dientes de carburo o diamantados, en cantidad tal que produzcan un patrón de corte fino con espaciamiento no mayor de 8.5 mm y capacidad para cortar la capa asfáltica hasta 5 cm de profundidad; cilindros hidráulicos para mantener constante la presión sobre la cabeza de corte; dispositivos para controlar su alineación, detectar variaciones en el nivel de la superficie por fresar y ajustar automáticamente la cabeza de corte para producir una superficie nivelada, conforme se requiera. Figura 5.1.25.

Compresor de Aire. Capaz de producir una presión mínima de 6 kg/cm^2, provisto de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación del aire.

Petrolizadora. Con capacidad para aplicar un flujo uniforme de emulsión asfáltica a temperatura constante, en anchos variables y dosificaciones controladas, provisto de tanque de almacenamiento del material asfáltico, dispositivos de calentamiento y de control de temperatura, odómetro, medidores de presión, bomba y barras de circulación que se ajusten lateral y verticalmente. Figura 5.1.15.

Pavimentadora. Equipo autopropulsable para extender y precompactar la capa asfáltica reniveladora con el ancho, sección y espesor requeridos. Provista de enrasador que se ajuste automáticamente en el sentido transversal y proporcione una textura lisa y uniforme, tolva receptora de la mezcla para asegurar un tendido

homogéneo, sistema de distribución para repartir la mezcla uniformemente frente al enrasador y sensores de control automático de niveles. Figura 5.1.27.

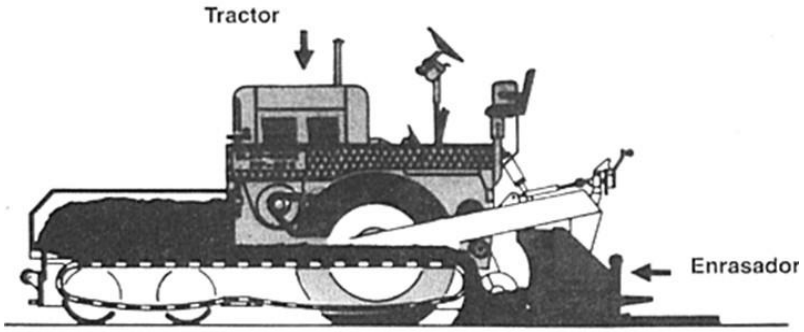


Figura 5.1.27. Pavimentadora típica de mezcla asfáltica

Compactadores. De rodillo metálicos, autopropulsados, reversibles, provistos de un sistema de rocío por agua y petos limpiadores para evitar que el agua se adhiera a los rodillos, con un ancho mínimo de 1.40 cm y peso de 8 a 10 ton.

Barredora Mecánica. Con escoba rotatoria autopropulsada, para la limpieza de la superficie del pavimento.

Procedimiento de Ejecución

Se describe a continuación el procedimiento de ejecución de las renivelaciones locales con mezcla asfáltica:

1. Se efectúa un recorrido previo para definir las zonas donde se realizará la renivelación, delimitando con pintura el perímetro del área por reparar en forma rectangular, con dos de sus lados paralelos al eje del camino.

2. Los trabajos de renivelación no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 15º C, o la temperatura tienda a bajar de 15º C, si se va a utilizar mezcla asfáltica en caliente.

   Si se utiliza mezcla asfáltica en frío, la renivelación no se puede realizar si la temperatura es inferior a 4º C. En ambos casos, tampoco se puede efectuar la renivelación si hay amenaza de lluvia o está lloviendo.

3. Antes del inicio de los trabajos de renivelación, se debe cerrar al tránsito el tramo por conservar, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

4. En la zona por renivelar, se efectúa en las orillas internas del área marcada, en el sentido longitudinal, un recorteo rebaje de la capa asfáltica existente, con un espesor ligeramente menor al de la depresión máxima de la zona, para que cuando se tienda la mezcla asfáltica de renivelación se logre un espesor uniforme.

   Con herramienta manual también se realiza un “picado” en la superficie del área por renivelar, que no se haya alcanzado a recortar en la parte de mayor depresión, espaciando los orificios de “picado” entre sí en 20 o 30 cm, para asegurar una mayor adhesión entre la superficie asfáltica existente y la capa asfáltica reniveladora.

5. Se retira el material cortado y suelto, trasladándose al lugar de almacenamiento indicado por la Dependencia responsable. Con aspersores de aire, se eliminan las partículas sueltas y el polvo de la zona por renivelar.

6. Se procede a aplicar el riego de liga con una emulsión catiónica de rompimiento rápido, mediante la petrolizadora, para lo cual previamente se verifica la inclinación de los aspersores, se calibra la altura de la barra de distribución y se efectúa un tramo de prueba para asegurar la dosificación por aplicar, conforme se indicó en los pasos6 y 7 de la aplicación de Riego Asfáltico y Riego de Sello antes comentado en esta Guía.

   La dosificación depende de la textura de la superficie, pero es común aplicar 0.8 litros/m2 de emulsión, que corresponde a una tasa de 0.5 litros/m^2 de residuo asfáltico. Es importante que el asfalto de la liga aplicada no quede con exceso, para evitar delaminaciones o corrimientos, así como exudación posterior de asfalto en la superficie.

7. Se procede a la colocación de la mezcla asfáltica en caliente o en frío en la zona por renivelar, mediante la pavimentadora, extendiendo la mezcla en el sentido del eje del camino. Si se utiliza mezcla asfáltica en caliente, la temperatura de tendido y compactación se determinarán mediante la curva viscosidad-temperatura del material asfáltico utilizado.

   En el extendido de la mezcla asfáltica, se tiene cuidado que el espesor de la capa reniveladora quede ligeramente por arriba del nivel de la superficie asfáltica existente, para que cuando sea compactada, la mezcla asfáltica quede con la sección transversal y dentro de las tolerancias establecidas en el proyecto.

   Si el área por renivelar es reducida, el riego de liga puede ser aplicado con aspersores manuales y la mezcla asfáltica también puede ser colocada y extenderse a mano. En este caso, la mezcla asfáltica se extiende en cantidad suficiente de las orillas del área por renivelar hacia el centro, para evitar segregación, y con un enrasador adecuado la superficie se termina uniformemente con un espesor ligeramente arriba del nivel de la superficie existente.

8. Inmediatamente después de tener el material extendido, se procede a la compactación de la capa asfáltica de renivelación, utilizando un compactador metálico preferentemente con peso de 8 a 10 ton, compactando la mezcla en el sentido longitudinal al eje de la carretera, de las orillas hacia el centro del área renivelada en tangentes y del interior al exterior en zona de curva, hasta alcanzar el mismo nivel de la carpeta existente, efectuando pasadas con un traslape de cuando menos la mitad del ancho del compactador en cada pasada.

   Se tiene cuidado de mantener humedecidos los rodillos del compactador para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera y se provoquen imperfecciones en el acabado de la capa reniveladora. También se tiene cuidado de evitar que el compactador permanezca estacionado por periodos prolongados sobre la capa asfáltica recién compactada, para que no se produzcan deformaciones en la capa terminada.

   Si se utiliza mezcla asfáltica en caliente, la compactación debe terminarse antes de que la mezcla tenga una temperatura menor de 90° C.

9. Una vez terminada la capa asfáltica reniveladora, se procede a retirar el señalamiento de protección para abrir el tramo a la circulación del tránsito.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Se comentan a continuación las condiciones de aceptación y de acabado de las capas asfálticas de renivelación:

- La calidad de la emulsión asfáltica que se utilice en la liga de la nueva mezcla asfáltica de renivelación, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de materiales pétreos y asfálticos, que se utilicen en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente o en frío, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de la mezcla asfáltica en caliente o en frío, que se utilice en renivelaciones locales, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La textura en la superficie del área renivelada debe ser uniforme y similar al resto de la carpeta existente.

- Se debe verificar que la diferencia de nivel entre los bordes de la superficie del pavimento existente y la superficie de la zona reparada, no sea mayor de ± 0.2 cm, medida con una regla rígida de longitud suficiente.

- Se debe verificar que la pendiente transversal de la capa reniveladora colocada sea de ± 0.5 %.

g)Carpeta de Mezcla Asfáltica en Caliente

Definición

La carpeta de mezcla asfáltica de granulometría densa es una capa superior y estructural del pavimento para que los vehículos de una carretera transiten con comodidad, seguridad y economía, que se construye con una mezcla de materiales pétreos producidos por trituración con una granulometría definida para lograr una alta densificación, aglutinados con un material asfáltico modificado o no, en proporciones que se definen mediante un diseño a fin de que sus características volumétricas y de comportamiento mecánico cumplan con los requisitos establecidos en el proyecto, y para que pueda producirse, tenderse y compactarse, uniformemente.

La mezcla asfáltica se denomina **"en caliente"**, si en su elaboración se utiliza un cemento asfáltico y se efectúa la mezcla en una planta de mezclado, en donde se elevan las temperaturas de los materiales por encima de 120º C, que se definen con la viscosidad del asfalto utilizado, para ser tendida y compactada con una temperatura elevada.

La mezcla asfáltica se denomina **"en frío"**, si en su elaboración se utiliza un rebajado asfáltico o emulsión asfáltica, y se efectúa en una planta de mezclado, en donde la mezcla de materiales se efectúa a la temperatura ambiente o en algunos casos el material asfáltico se mezcla con una temperatura máxima de 60º C, para ser tendida y compactada a la temperatura ambiente, pero no menor de 4º C.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando la **Norma N·CSV·CAR·3·02·005/10** Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa y **N·CTR·CAR·1·04·008/13** Capas de Rodadura con Mezcla en Frío, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

La carpeta de mezcla asfáltica de granulometría densa, tiene las ventajas siguientes:

- Tiene una resistencia mecánica que contribuye al comportamiento estructural del pavimento.

- Presenta una textura superficial adecuada para proporcionar seguridad al paso de los vehículos del tránsito.

- Es una capa flexible que permite una regularidad superficial para proporcionar comodidad al paso del tránsito.

- Es una capa impermeable que evita que el agua de lluvia se infiltre a las capas inferiores del pavimento y si se construye de manera que su superficie tenga una pendiente transversal, permite el desalojo del agua pluvial hacia las obras de drenaje laterales de la carretera.

- Tiene una apariencia y color adecuados, para resaltar las marcas horizontales del señalamiento.

Se tienen las limitaciones siguientes en una carpeta asfáltica de granulometría densa:

- Presenta una determinada vida de servicio, que debe evaluarse durante la operación de la carretera, para efectuar oportunamente medidas de conservación rutinarias o periódicas, que permita mantener o prolongar su vida útil.

- No resuelve los daños o deterioros que tiene un pavimento en sus capas inferiores, por lo que estos daños se reflejarán en esta capa, si no se corrigen previamente.

- La textura cerrada superficial presenta hidroplaneo al paso de los neumáticos de los vehículos, cuando se presenta una precipitación intensa, así como el fenómeno de "rocío" en los parabrisas, que limita la visión de los usuarios.

Condiciones de Aplicación

La carpeta asfáltica de granulometría densa presenta las siguientes condiciones de aplicación:

- Se debe revisar previamente que el pavimento tenga una estructura suficiente para la intensidad del tránsito que se espera en su periodo de proyecto.

- Si existe una capa asfáltica en el pavimento por conservar, se debe revisar que esta capa no presente deterioros tales como deformaciones permanentes mayores de 2 cm, agrietamiento longitudinal, transversal o de "piel de cocodrilo" de alto grado de severidad, zonas locales inestables o con saturación de agua. En caso afirmativo, previamente se deben atender estos deterioros, con diversas medidas de conservación que ya se comentaron en esta sección de la Guía, como son la renivelación local, fresado superficial, recorte de capa asfáltica y bacheo aislado superficial y profundo.

- Si se aplica en un pavimento rígido, también se reflejarán con el tiempo las grietas transversales de contracción y los deterioros que existan en la superficie de la losa de concreto hidráulico, por lo que deben repararse previamente estos daños y analizar la conveniencia de aplicar una membrana geotextil para retardar la reflexión de grietas.

Materiales y Requisitos de Calidad

Material Pétreo Producto de Trituración. El material pétreo para elaborar mezcla asfáltica de granulometría densa, debe ser producto de trituración y cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas**,** de la Normativa SCT.

Cemento Asfáltico Grado "Viscosidad". El cemento asfáltico grado "viscosidad" que se utilice para elaborar mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos**,** de la Normativa SCT.

Cemento Asfáltico Grado "Viscosidad" Modificado con Polímero. El cemento asfáltico grado "viscosidad" modificado con polímero, que se utilice para elaborar mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·002/06** Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, de la Normativa SCT.

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Medio o Lento. La emulsión asfáltica que se utilice en la elaboración de mezcla asfáltica en frío de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Rebajado Asfáltico Tipo FR-3. El rebajado asfáltico del tipo FR-3 que se utilice en la elaboración de mezcla asfáltica en frío de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Mezcla Asfáltica en Caliente o en Frío. La mezcla asfáltica en caliente o en frío de granulometría densa, que se produzca para construir carpeta asfáltica de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·003/08** Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice en el riego de liga para carpeta asfáltica de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

Se requiere el equipo que se describe a continuación, para construir una carpeta asfáltica de granulometría densa:

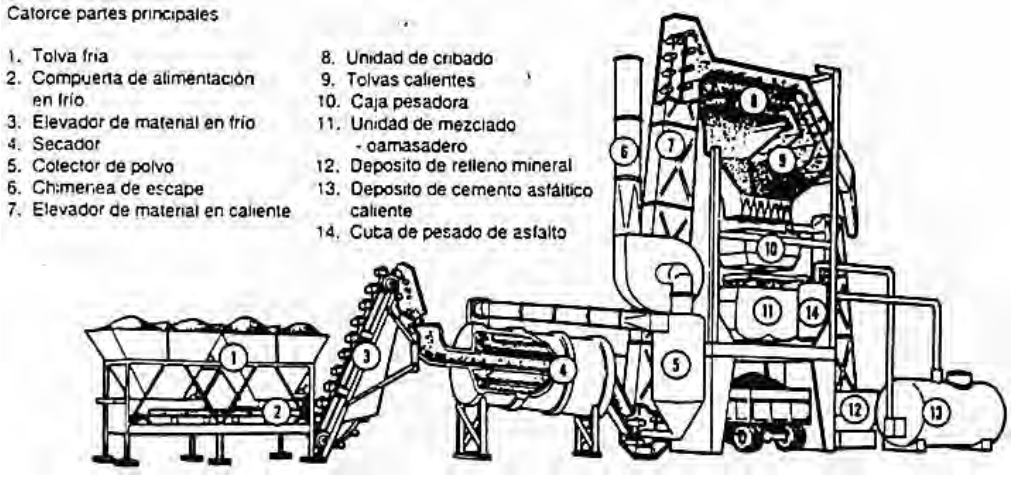
Equipo de Trituración y Cribado. Disposición de trituradoras y cribadoras en tres fases (primaria, secundaria y terciaria), para producir cuando menos tres fracciones de material pétreo triturado, en tamaños clasificados, con una forma angulosa y octaédrica y un porcentaje notable de finos inertes. Figura 5.1.28.

Planta de Elaboración de Mezcla Asfáltica. Provista de cuando menos tres tolvas de alimentación de material pétreo para fracciones en tres tamaños diferentes, con capacidad para producir la mezcla durante 15 min sin ser alimentados; tambor secador con inclinación ajustable, para eliminar la humedad de los materiales pétreos, antes de ser mezclados con el asfalto, en el caso de mezclas en caliente; dispositivo de recolección y reincorporación de polvo ("colector de polvo"), que impida la pérdida de finos de trituración y evite la contaminación ambiental; medidores de temperatura y pirógrafos para registrar automáticamente las temperaturas del material pétreo y del asfalto, por separado, en el caso de mezclas en caliente; silo para mantener almacenados y protegidos de la humedad los finos de aportación (filler) con sistema para dosificación ajustable; dispositivos para dosificar los materiales pétreos por peso y controlar la granulometría obtenida en el diseño de la mezcla; equipo para calentar el cemento asfáltico y controlar la temperatura de mezclado, en el caso de mezclas en caliente; dispositivo para dosificar por peso el material asfáltico; mezclador con dispositivo para controlar el tiempo de mezclado; silo de almacenamiento de la mezcla asfáltica, aislado térmicamente, en el caso de mezcla asfáltica en caliente.

Existen tres tipos de plantas de elaboración de mezcla asfáltica en caliente, mencionando a continuación sus características principales:

- Planta de producción discontinua o de **"bachas":** Estas plantas son muy reconocidas para producir mezclas de buena calidad uniforme, pero tienen un precio de adquisición y de mantenimiento elevado, y además requieren instalaciones fijas. Figura 5.1.29.

Figura 5.1.28. Esquema de las etapas de trituración y cribado de materiales pétreos



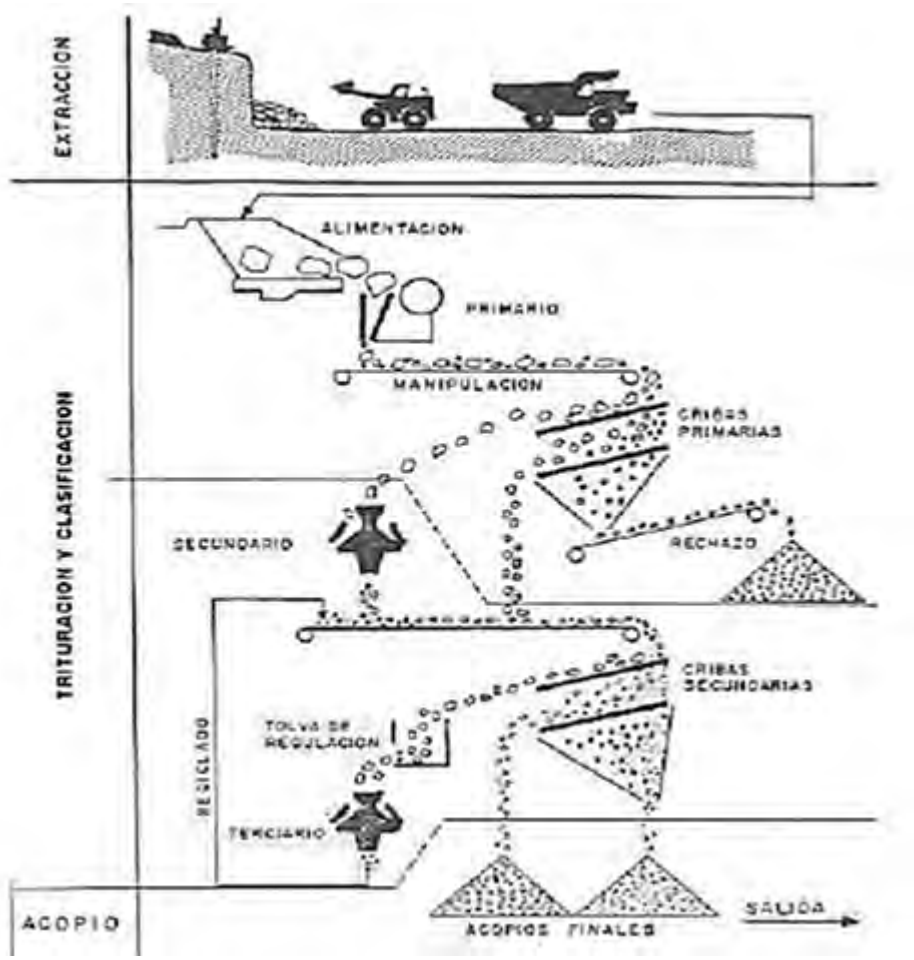


Figura 5.1.29. Planta de producción discontinua o de "bachas"

- Planta de producción continua o de **"tambor"**: Son las más comunes en el medio nacional y producen mezcla de calidad variable, aunque tienen un costo de adquisición y de mantenimiento bajo, además de que son fáciles de mover e instalar. Figura 5.1.30.

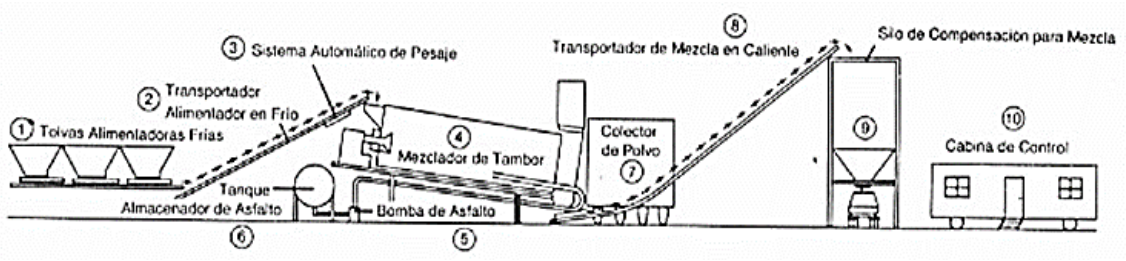


Figura 5.1.30. Esquema de una planta de producción continua o de "tambor"

- Planta de producción continúa de **"contraflujo"**: Estas plantas son muy versátiles porque pueden estar montadas en un tráiler, producen mezcla de calidad uniforme, aunque tienen un costo de adquisición elevado porque cuentan con todos los dispositivos de control de calidad requeridos. Además el sistema de mezclado se realiza en una zona posterior del tambor, de manera más eficiente.

  En la Figura 5.1.31 se muestra el secado de materiales pétreos de forma controlada, con avance en contraflujo en relación de la flama del "quemador" y en la Figura 5.1.32, una planta de "contraflujo" montada en un tráiler.

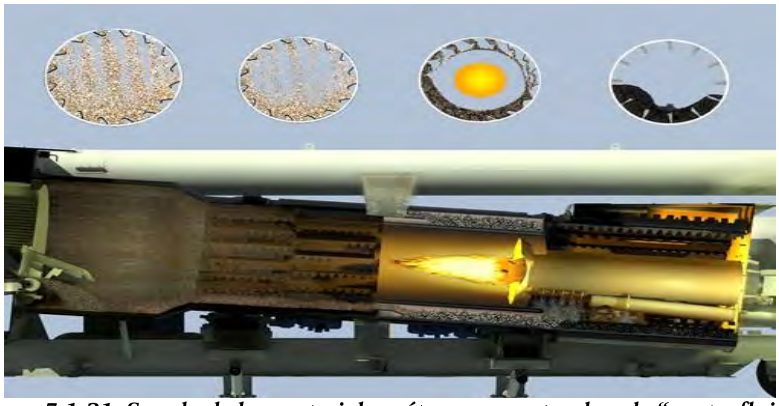


Figura 5.1.31. Secado de los materiales pétreos en un tambor de "contraflujo"

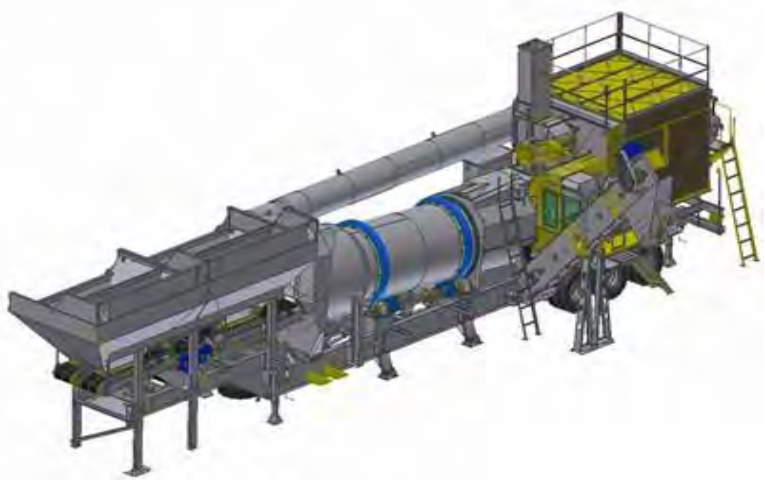


Figura 5.1.32. Planta de producción continua de "contraflujo" montada en un tráiler

En la Tabla 5.1.3 se presenta una comparación de las características de producción de los tres tipos de plantas.

Comparación de características de tres tipos de plantas para producir mezcla asfáltica en caliente		
Planta de "Bachas"	**Planta de "Tambor Secador Mezclador"**	**Planta de "Contraflujo"**
Mezclador tipo "Pug-mill" de doble eje	Mezcla en el tambor	Mezclador externo rotativo
Mezcla por "bachada"	Mezcla continua	Mezcla continua
Sistema de bachada y mezclado circular	Sistema de caída y mezclado por gravedad	Sistema de aletas dentadas de multiagitación y avance lineal

Tabla 5.1.3. Comparación de características de tres tipos de plantas

Petrolizadora. Con capacidad para aplicar un flujo uniforme de emulsión asfáltica a temperatura constante, en anchos variables y dosificaciones controladas, provisto de tanque de almacenamiento del material asfáltico, dispositivos de calentamiento y de control de temperatura, odómetro, medidores de presión, bomba y barras de circulación que se ajusten lateral y verticalmente. Figura 5.1.33.



Figura 5.1.33. Petrolizadora

Pavimentadora. Equipo auto propulsable para extender y precompactar la mezcla asfáltica con el ancho, sección y espesor requeridos. Provista de enrasador que se ajuste automáticamente en el sentido transversal y proporcione una textura lisa y uniforme, tolva receptora de la mezcla para asegurar un tendido homogéneo, sistema de distribución para repartir la mezcla uniformemente frente al enrasador y sensores de control automático de niveles. Figura 5.1.34.



Figura 5.1.34. Pavimentadora con sensores de control automático de niveles

Compactadores. De rodillos metálicos, de ruedas neumáticas o vibratorios, autopropulsados, reversibles, provistos de un sistema de rocío por agua y petos limpiadores para evitar que el agua se adhiera a los rodillos metálicos y a las ruedas, con un ancho mínimo de 1.40 cm y peso de 8 a 10 ton. Figura 5.1.35.

Barredora Mecánica. Con escoba rotatoria autopropulsada, para la limpieza de la superficie del pavimento.



Figura 5.1.35. Compactador de rodillos metálicos, de ruedas neumáticas y tipo vibratorio

Procedimiento de Ejecución

A continuación se describe el procedimiento de producción y ejecución de una carpeta asfáltica de granulometría densa:

- **Diseño y Producción de la Mezcla Asfáltica de Granulometría Densa**

1. En forma previa al inicio de los trabajos de producción, tendido y compactación de la carpeta asfáltica, se debe realizar el muestreo representativo de las fracciones del material pétreo triturado, en los almacenes contiguos a la planta de mezclado.

   Las fracciones de material deben estar separadas en diversos tamaños, siendo recomendable que se tengan tres fracciones si la mezcla tiene un tamaño máximo entre 25.4 y 38.1 mm (1" y 1 1/2"). Si la mezcla tiene un tamaño máximo entre 19.0 y 12.5 mm (3/4" y ½"), cuando menos se deben tener dos fracciones de tamaños.

   Los materiales muestreados deben ser analizados en el laboratorio para determinar por separado sus características de calidad y su composición granulométrica. En el caso de que cumplan la calidad indicada en el proyecto se efectuará un estudio para determinar las proporciones de las fracciones que una vez mezcladas, logren tener una curva de granulometría densa que quede dentro de la zona de aceptación granulométrica indicada en la Norma de referencia o en el proyecto. Figura 5.1.36.

2. Con la curva granulométrica que se obtuvo con la mezcla de la proporciones de las fracciones del material pétreo, se procede a realizar el diseño de la mezcla asfáltica, utilizando el método indicado por la Dependencia responsable o por la Norma SCT correspondiente, que ha sido común que sea el Método Marshall. El Procedimiento de diseño Marshall puede consultarse en la Norma SCT.

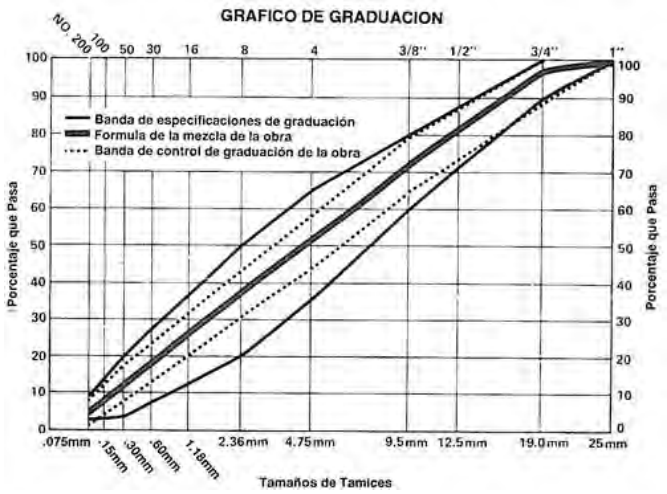


Figura 5.1.36. Gráfico para definir la granulometría de una mezcla asfáltica

Para el diseño y la producción de la mezcla asfáltica en caliente, se determina la curva viscosidad-temperatura con el asfalto por utilizar, para determinar los rangos de temperatura adecuados para el tendido y para la compactación de la mezcla asfáltica. Figura 5.1.37.

En el diseño se determina el contenido óptimo de asfalto que con la granulometría densa del material pétreo ya definida, se logra cumplir con los parámetros volumétricos (peso volumétrico máximo, relación de vacíos y porcentaje de vacíos en el agregado mineral) y de comportamiento mecánico (resistencia a la estabilidad y flujo), indicados en la Norma de aceptación SCT.

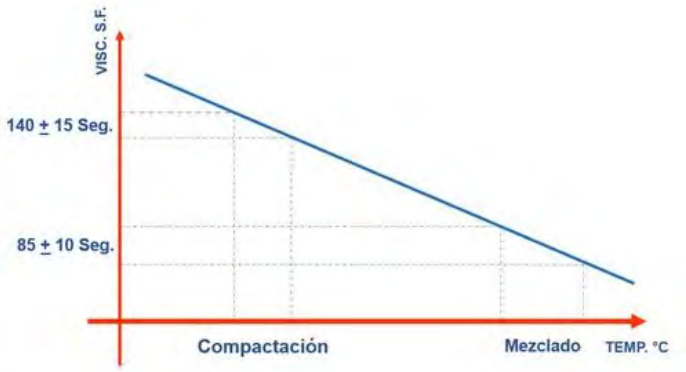


Figura 5.1.37. Curva viscosidad-temperatura de un asfalto

3. Se calibra la planta de producción de mezcla asfáltica, definiendo la apertura de las compuertas de salida en las tolvas de alimentación y la velocidad de paso de la banda de transporte y alimentación del tambor secador, para que se logre obtener la curva granulométrica de trabajo, dentro de sus tolerancias también establecidas, verificando que durante la producción se logra obtener de manera consistente y permanente la granulometría utilizada en el diseño. Figura 5.1.38.

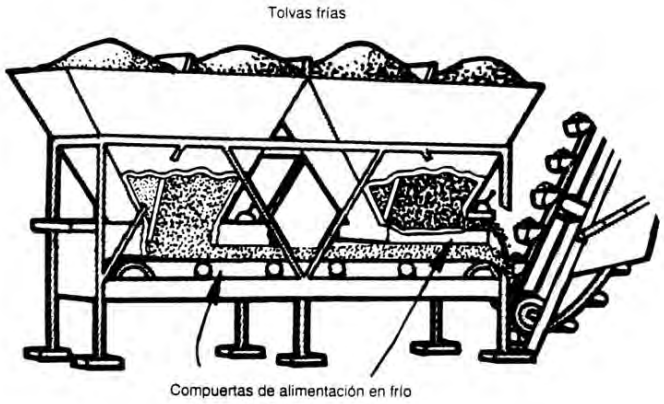


Figura 5.1.38. Tolvas para la alimentación de fracciones del material pétreo

4. Si se produce mezcla en caliente, se verifica que el material pétreo se seque completamente en el tambor secador y que el material pétreo tenga una temperatura de cuando mucho 10º C de la temperatura que tendrá el asfalto en el mezclado. Si el material pétreo no se logra secar completamente en el tambor secador, se requerirá un secado previo en el almacenamiento y la protección de las fracciones del material con lonas, sobre todo de las fracciones finas.

5. Se verifica que los finos estén siendo captados en el recolector de polvo, Figura 5.1.39 y reincorporados en la zona de mezclado con el asfalto. En el caso de que se añada además "filler" mineral de aportación, para complementar el porcentaje requerido, se verifica que la alimentación del "filler" hacia el tambor mezclador sea en el porcentaje definido en el diseño.

6. Si se produce mezcla asfáltica en frío, generalmente no se requiere pasar el material pétreo por un tambor secador, pero se debe verificar que la humedad de los materiales pétreos se encuentre cercana a la de absorción.

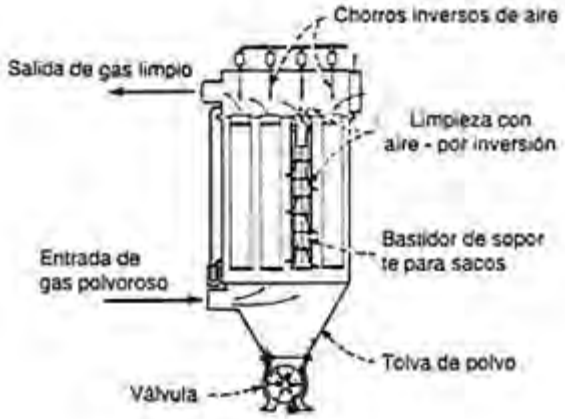


Figura 5.1.39. Recolector típico para evitar la pérdida de finos

7. El asfalto por utilizar debe ser calentado a la temperatura de mezclado, si se produce mezcla en caliente, y debe ser alimentado por control automático de pesado para el mezclado con los materiales pétreos. Si se produce mezcla en frío, generalmente se calienta la emulsión o el rebajado asfáltico a una temperatura de 60° C como máximo y se controla la dosificación por peso para el mezclado con los materiales pétreos.

8. En planta de producción continua en caliente, en el mismo tambor secador se realiza en una segunda fase, el mezclado de los materiales pétreos con el asfalto, como se indica. Figura 5.1.40.

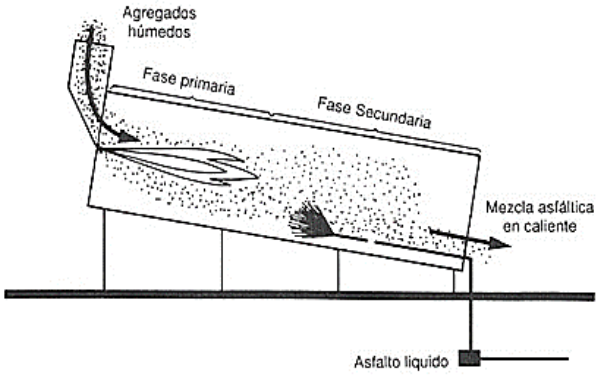


Figura 5.1.40. Secado y mezclado del material pétreo con el asfalto en planta de producción continua

9. La mezcla asfáltica producida se envía a un silo de almacenamiento o puede ser cargada a los camiones de transporte hacia el tramo en que se construirá la carpeta asfáltica de granulometría densa. Figura 5.1.41.

10. En la figura 5.1.42 se muestra una planta de producción continua de tambor secador-mezclador, representativa de las que se disponen en México, con sus dispositivos de alimentación, recolección de polvos y de carga de la mezcla al camión de transporte.

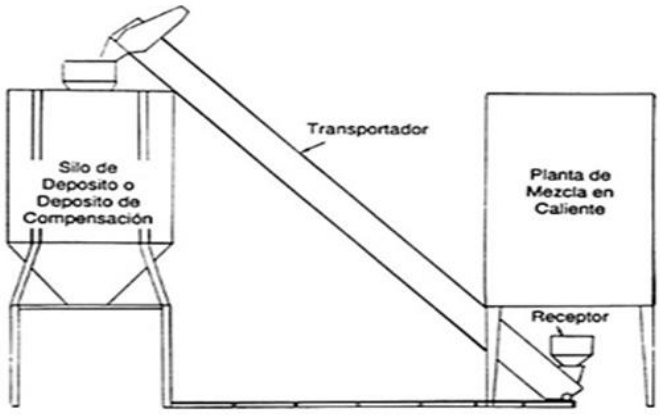


Figura 5.1.41. Salida de la mezcla asfáltica producida al silo de almacenamiento



Figura 5.1.42. Planta de producción continua "de tambor"

- **Traslado, Tendido y Compactación de la Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa**

1. La mezcla asfáltica se traslada en camiones que tengan su caja limpia y la mezcla se cubre con una lona para evitar que se contamine o pierda con mayor rapidez su temperatura, si se trata de mezcla en caliente.

2. Se efectúa un recorrido previo al tramo en donde se construirá la carpeta asfáltica de granulometría densa, para verificar que se tienen las condiciones de aplicación que se señalaron al inicio de este inciso.

3. Los trabajos de construcción de una carpeta asfáltica no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 15° C, o la temperatura tienda a bajar de 15° C, si se va a utilizar mezcla asfáltica en caliente. Si se utiliza mezcla asfáltica en frío, la carpeta asfáltica no se puede realizar si la temperatura es inferior a 4° C. En ambos casos, tampoco se puede efectuar la colocación de la carpeta asfáltica si hay amenaza de lluvia o está lloviendo.

4. Antes del inicio de los trabajos de colocación de la carpeta asfáltica, se debe cerrar el tramo por conservar al tránsito, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/**01 Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10.03.003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

5. Se realiza un tramo de prueba conforme lo indica la **Norma N·CSV·CAR·3·02·005/10** Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa, de la Normativa SCT, para definir el procedimiento de compactación que permita cumplir con los requisitos indicados en el proyecto o en la Norma antes citada, así como para aprovechar con eficiencia el equipo de compactación disponible.

Generalmente en el tramo de prueba se define la forma en que se utilizarán los equipos disponibles de compactación, la velocidad de paso de los equipos y el número de pasadas, necesarios para obtener el porcentaje mínimo de compactación requerido por la Norma SCT o por el proyecto.

6. Se efectúa una nivelación topográfica para establecer los niveles que debe reconocer la pavimentadora durante el tendido de la mezcla asfáltica, para asegurar el cumplimiento de la regularidad superficial (Índice de Perfil).

7. Se hace una limpieza en toda la superficie de la carretera donde se colocará la carpeta asfáltica, utilizando barredoras mecánicas, para eliminar el polvo y las partículas sueltas.

8. Se procede a aplicar el riego de liga con una emulsión catiónica de rompimiento rápido, mediante la petrolizadora, para lo cual previamente se verifica la inclinación de los aspersores, se calibra la altura de la barra de distribución y se efectúa un tramo de prueba para asegurar la dosificación por aplicar, conforme se indicó en los pasos 6 y 7 de la aplicación de Riego Asfáltico y Riego de Sello antes comentado en esta Guía.

   La dosificación depende de la textura de la superficie, pero es común aplicar 0.8 litros/m^2 de emulsión, que corresponde a una tasa de 0.5 litros/m^2 de residuo asfáltico. Es importante que el asfalto de la liga aplicada no quede con exceso, para evitar de laminaciones o corrimientos, así como exudación posterior de asfalto en la superficie.

9. Mediante la pavimentadora, se procede a la colocación de la mezcla asfáltica en caliente o en frío por carril de tendido, extendiendo la mezcla en el sentido del eje del camino. Si se utiliza mezcla asfáltica en caliente, la temperatura de tendido y compactación serán las determinadas mediante la curva viscosidad-temperatura del material asfáltico utilizado.

10. La pavimentadora debe estar provista del dispositivo de control para ajustar automáticamente el tendido de la mezcla asfáltica, para cumplir con el Índice de Perfil requerido en el proyecto o en la Norma SCT correspondiente. Figura 5.1.43.

    En el extendido de la mezcla asfáltica, se tiene cuidado que el espesor de la capa tendida quede con un espesor ligeramente arriba del espesor indicado en el proyecto, para que cuando sea compactada, la mezcla asfáltica quede con la sección transversal requerida y dentro de las tolerancias establecidas.

    Otro aspecto a cuidar es que se tenga el número de camiones suficientes suministrando la mezcla asfáltica, de manera que no se detenga pavimentadora, para no crear juntas frías. Pero a la vez, no es conveniente que se tenga un número de camiones con mezcla asfáltica esperando en fila a la descarga en la pavimentadora, porque la mezcla reduce notablemente su temperatura en esta condición de espera. Figura 5.1.44.



Figura 5.1.43. Pavimentadora con sensores sónicos para el ajuste automático del tendido de la mezcla



Figura 5.1.44. Inadecuada fila de camiones esperando descargar la mezcla asfáltica

11. La segregación de la temperatura en la mezcla debido al traslado en los camiones, es una deficiencia que puede ser corregida si se utiliza un equipo "tranferidor" de mezcla entre el camión y la pavimentadora ("transfer"), ya que este equipo permite efectuar un remezclado para uniformizar la temperatura de la mezcla. Figura 5.1.45.

12. Debe evitarse la intervención del "tornillero" y los "rastrilleros" en el tendido de la mezcla asfáltica de granulometría densa, porque son la principal causa de que la mezcla quede con defectos de acabado y con problemas de segregación de la mezcla, que se manifiesta inmediatamente en desprendimiento de las partículas en la superficie de la carpeta asfáltica.

13. El tendido de la mezcla asfáltica debe realizarse en la pavimentadora, operando el dispositivo denominado "regla de precompactación", que tiene la función de lograr un pre acomodo de la mezcla.

14. Inmediatamente después de tendida la mezcla asfáltica, se debe proceder a la compactación inicial o "armado" de la mezcla asfáltica, mediante el paso de un rodillo metálico, que debe llevar la rueda motriz adelante y la rueda direccional atrás, como se muestra en las Figuras 5.1.46 y 5.1.47 La temperatura de compactación debe quedar comprendida dentro del rango previamente definido en la curva viscosidad-temperatura del asfalto utilizado.



Figura 5.1.45. Equipo transferidor de mezcla para corregir la segregación de la temperatura de la mezcla

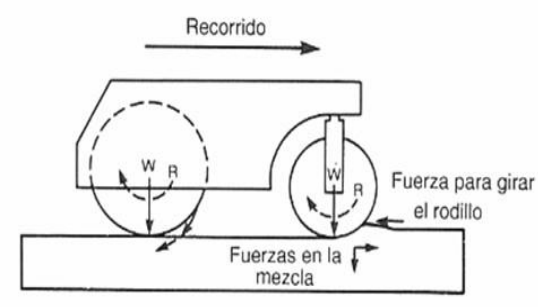


Figura 5.1.46. Forma incorrecta (rueda direccional adelante)

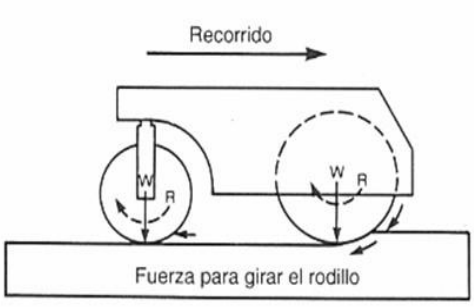


Figura 5.1.47. Forma correcta (rueda motriz adelante)

Una vez "armada" la mezcla, se aplica el procedimiento de compactación definido en el tramo de prueba, utilizando los equipos de compactación disponibles, compactando la mezcla en el sentido longitudinal al eje de la carretera, de las orillas hacia el centro en tangentes y del interior al exterior en zona de curva, bajo las consideraciones siguientes:

En la compactación intermedia puede emplearse compactadores de ruedas neumáticas o de rodillo metálico. También pueden emplearse compactadores vibratorios si las capas tienen un espesor de más de 7 cm o la mezcla se elaboró con asfalto modificado con polímero.

En la compactación final se utiliza un rodillo metálico para borrar las huellas del compactador de ruedas neumáticas y lograr el acabado superficial. La temperatura de la mezcla al final de la compactación no debe ser menor de 100º C, si se utiliza mezcla asfáltica en caliente.

15. Un aspecto especial es la compactación de las juntas longitudinales y transversales, para evitar que queden abiertas y desniveladas, ocasionando infiltración del agua, deterioros prematuros, reducción del confort al paso de los vehículos y una mala apariencia.

    Para las juntas de construcción se recomienda utilizar un polín de madera del espesor de la capa asfáltica por construir, o en su defecto utilizar papel, Figuras 5.1.48 y 5.1.49, ambos insertados en el extremo del tendido de la mezcla, colocando a continuación la rampa correspondiente con mezcla asfáltica, para que el equipo de compactación pueda llegar a compactar la mezcla hasta la zona extrema del tendido. Cuando se inicia un nuevo tendido, se levantan el polín o el papel y la rampa, para que la pavimentadora pueda reconocer el nivel de tendido, evitando abultamientos en las juntas transversales de construcción.

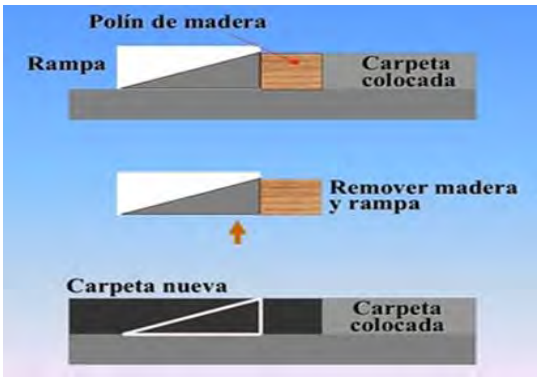


Figura 5.1.48. Polín de madera para construir la junta transversal

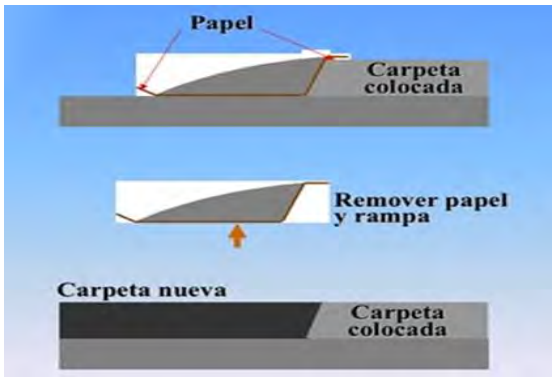


Figura 5.1.49. Papel para construir la junta transversal

La compactación de las juntas longitudinales, debe hacerse pasando el compactador sobre la mezcla anteriormente tendida y compactada, con un traslape en la mezcla recién tendida por compactar, de 15 cm, para que se logre el mismo nivel entre carriles de tendido y se desaparezca la huella de la junta. Figura 5.1.50.

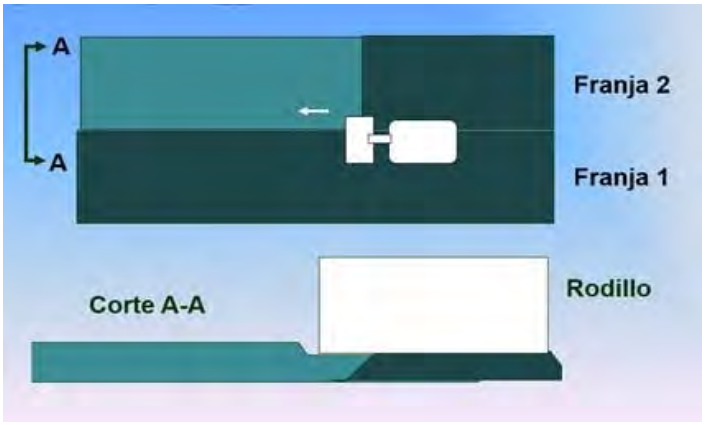


Figura 5.1.50. Compactación de una junta longitudinal

En la junta transversal, el compactador debe pasarse en sentido transversal al eje del camino, para lograr el mismo efecto, como se muestra. Figuras 5.1.51 y 5.1.52.

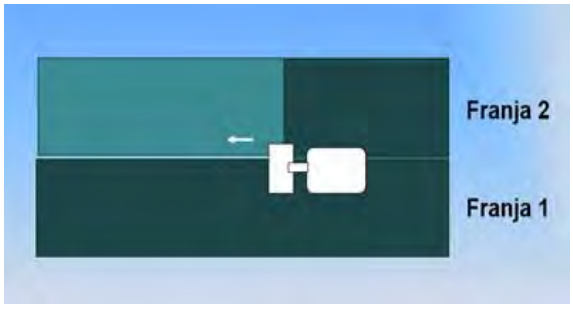


Figura 5.1.51. Paso 1 para compactar la junta transversal

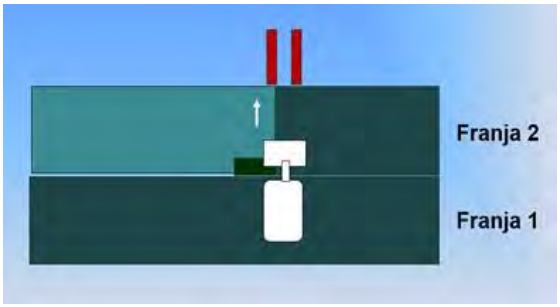


Figura 5.1.52. Paso 2 para compactar la junta

16. Una vez terminado el tendido y compactación de la carpeta asfáltica en todo en ancho de la corona, se formará un chaflán en las orillas de la corona, con mezcla asfáltica adicional, cuya base debe ser de 1.5 veces el espesor de la carpeta asfáltica, compactándolo con equipo metálico manual.

17. Al término de la compactación de la carpeta asfáltica, se retiran todos los equipos utilizados, se procede al retiro del señalamiento de protección en obra y se está en condiciones de abrir el tramo a la circulación del tránsito. En el caso de haber utilizado mezcla en frío, se debe dejar cerrado el tramo cuando menos un día, para que se madure la mezcla y no exista el riesgo de un deterioro prematuro de la superficie de la capa.

18. Para verificar la densidad, la granulometría y el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica tendida, es común efectuar un muestreo extrayendo corazones en la capa asfáltica, Figura 5.1.53, después de unos días de haberse terminado, los cuales se llevan a un laboratorio para determinar los parámetros citados.

    También es conveniente que la Empresa constructora verifique la densidad de la carpeta asfáltica, mediante el uso de un “densímetro nuclear”, que permite obtener valores confiables y de forma inmediata. Figura 5.1.54.



Figura 5.1.53. Extracción de corazones en la carpeta asfáltica construida



Figura 5.1.54. Determinación de la densidad de la mezcla asfáltica con densímetro nuclear

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Se comentan a continuación las condiciones típicas de aceptación y de acabado de la carpeta asfáltica de granulometría densa, aunque es necesario considerar que los requisitos aplicables son los que se establecen en cada proyecto específico:

- La calidad de la emulsión asfáltica que se utilice en la liga de la mezcla asfáltica de granulometría densa, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de materiales pétreos y asfálticos, que se utilicen en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente o en frío, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de la mezcla asfáltica en caliente o en frío, que se utilice en la construcción de carpeta asfáltica, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- El Índice de Perfil que se determine con el Perfilómetro Longitudinal de California, en cada franja de tendido o en cada subtramo con una longitud de 200 m o fracción, debe ser igual o menor de 31 cm/km.

- En caso de que no se cumpla este requisito, la Empresa constructora se obliga a efectuar las medidas que permitan reducir los valores obtenidos, mediante fresado superficial. Para mayor detalle sobre la aplicación de este requisito, los interesados pueden consultar la **Norma N·CSV·CAR·3·02·005/10** Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa, de la Normativa SCT.

- Se verifican los acabados geométricos de la carpeta asfáltica, con nivelación topográfica antes y después de su construcción, debiendo cumplir con un ancho de la sección del eje del camino a la orilla de ± 1.0 cm y la pendiente transversal a cada lado del eje, con relación al indicado en el proyecto, debe ser de ± 0.5%.

- También se determina el espesor de la carpeta asfáltica construida, mediante la nivelación antes y después de los trabajos efectuados, en siete puntos de cada sección transversal nivelada, separada cada sección a cada 20 m sobre el eje longitudinal, verificando que el espesor promedio determinado en cada kilómetro o fracción, sea igual o mayor de 0.98 el espesor de proyecto. Además la desviación estándar de todos los puntos determinados en cada kilómetro, debe ser igual o menor de 0.1 el espesor promedio del tramo.

- El coeficiente de fricción que se determine en la superficie de la carpeta asfáltica de granulometría densa construida, debe ser mayor de 0.6, medida con el equipo MuMeter o similar, en condiciones de pavimento mojado a una velocidad de 75 km/h.

h) Reparación de Desconchaduras en Pavimentos Rígidos

Definición

La reparación de desconchaduras en pavimentos rígidos es una serie de actividades para sustituir con nuevo concreto hidráulico o algún producto especial, las zonas superficiales de las losas de concreto hidráulico que presentan oquedades irregulares por desprendimiento, generalmente cercanas a las juntas de contracción o de construcción, para restituir el nivel de la

Superficie del pavimento en estas zonas y lograr condiciones de regularidad y seguridad para la operación del tránsito.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando la **Norma N·CSV·CAR·4·02·011/03** Reparación de Desconchaduras en Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

La reparación de desconchaduras en pavimentos rígidos presenta las ventajas siguientes:

- Mejora las condiciones de rodadura y de seguridad de la superficie deteriorada.

- Impide la infiltración del agua de lluvia en las juntas cercanas a las desconchaduras.

- Evita que se continúe deteriorando la losa de concreto hidráulico que presenta desconchaduras, por efecto del paso de los vehículos.

Sin embargo, esta técnica tiene las limitaciones siguientes:

- No es conveniente reparar las desconchaduras cuando abarcan un área muy grande en una losa de concreto hidráulico. En este caso lo recomendable es la reposición total o parcial de la losa.

- La reparación requiere equipo especializado y que se realice por personal capacitado, para no afectar el comportamiento de las losas que se reparen y las adyacentes.

Condiciones de Aplicación

La reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico presenta las siguientes condiciones para su aplicación:

- Este tipo de reparación sólo se debe realizar cuando las desconchaduras son superficiales y afectan como máximo un tercio del espesor de la losa.

- Tampoco se debe realizar reparaciones de este tipo cuando las desconchaduras son originadas por una mala alineación de los pasa juntas, en cuyo caso se requiere una reposición de la losa.

Materiales y Requisitos de Calidad

Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico. La grava y la arena que se utilicen en la elaboración de concreto hidráulico para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·002/02** Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT, tomando en cuenta que el tamaño máximo del agregado debe ser menor de 1/5 del espesor del resane.

Agua. El agua que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·003/02** Calidad del Agua para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Cemento Portland Ordinario. El cemento Portland ordinario (tipo CPO) que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·001/02** Calidad de Cemento Portland para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Concreto Hidráulico. El concreto hidráulico que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·005/04** Calidad del Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Productos para Resane y Relleno. Los productos que se utilicen en el resane de la losa de concreto hidráulico y en el relleno de las juntas, deben cumplir con las características de calidad indicados por el fabricante.

Membranas para Curado del Concreto Hidráulico. Las membranas para curado del concreto hidráulico que se utilicen para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·2·006/04** Calidad de Membranas de Curado para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

Equipo de Corte. Con capacidad, potencia y tamaño adecuados para realizar los cortes en la losa de concreto hidráulico, con la profundidad que indique el proyecto.

Compresor de Aire. Capaz de producir una presión mínima de 6 kg/cm^2, provisto de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación del aire.

Martillos Neumáticos. Con un peso máximo de 7 kg.

Vibradores de Inmersión. Con cabeza pequeña y del tamaño que permita acomodar el concreto de resane.

Regla Vibratoria. Con la dimensión y la frecuencia de vibrado adecuados para el volumen de concreto por acomodar.

Dispositivo de Aplicación de Membrana de Curado. Con tanque de almacenamiento y agitador para mantener mezclado el producto durante su aplicación uniforme en la superficie del concreto de resane, provisto de rociador a presión.

Procedimiento de Ejecución

El procedimiento de reparación de desconchaduras en losas de concreto hidráulico, se indica a continuación:

1. Se debe realizar un recorrido previo en el tramo donde se efectuarán los trabajos de reparación de las losas de concreto hidráulico, para definir y delimitar las zonas que serán reparadas, tomando en cuenta que se debe reparar un área cuyas dimensiones consideren una separación entre 5 y 10 cm de las orillas de la desconchadura, como se muestra en la Figura 5.1.55.

   Si existen dos desconchaduras con una distancia menor de 30 cm entre ellas, ambos deterioros se deben realizar en una sola reparación. También se debe considerar que si la desconchadura abarca más del 50% de la junta de una losa, la reparación se debe realizar en toda la longitud.

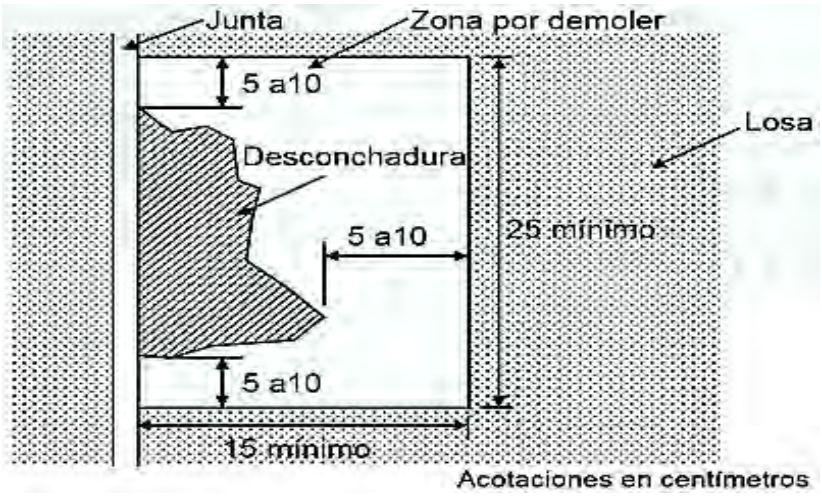


Figura 5.1.55. Dimensiones del área por reparar

2. Antes del inicio de los trabajos de reparación en la losa, se debe cerrar el tramo por conservar al tránsito, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

3. El personal que realice la reparación, debe estar provisto de cascos, anteojos inastillables, dispositivos de protección contra el ruido, ropa protectora y guantes, para su protección personal.

4. Los trabajos de reparación no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 4° C, y si la temperatura es inferior de 12° C se requerirán cubiertas para proteger el resane y aumentar el tiempo de curado del concreto hidráulico. Tampoco se puede efectuar la reparación si hay amenaza de lluvia o está lloviendo. Si se utilizan productos comerciales, su aplicación se debe realizar en las condiciones ambientales que indique el fabricante.

5. Se retira el sello de la junta en la zona donde se efectuará la reparación y más allá en una longitud entre 7.5 y 10 cm en cada extremo.

6. Con el equipo de corte se realiza el aserrado de los tres lados que delimitan la zona por reparar, con una profundidad no menor de 5 cm o a la profundidad de la desconchadura, pero no más de un tercio del espesor de la losa, Figura 5.1.56. Normalmente es necesario extender los cortes más allá de los límites marcados en las esquinas, a una distancia igual a la de la profundidad de los cortes, para asegurar que el corte tenga la profundidad indicada en todo el perímetro del área de reparación en el fondo.

La demolición del concreto por sustituir. Para facilitar la remoción del concreto en áreas grandes, se pueden efectuar cortes auxiliares de poca profundidad, formando una retícula. Figura 5.1.57.

7. Una vez efectuados los cortes, se limpia la zona por reparar eliminando la lechada producida por los cortes antes de que se seque, utilizando agua a presión, cuidando de no contaminar las juntas entre las losas y en su caso las obras de subdrenaje.



Figura 5.1.56. Corte de la losa en la zona por reparar

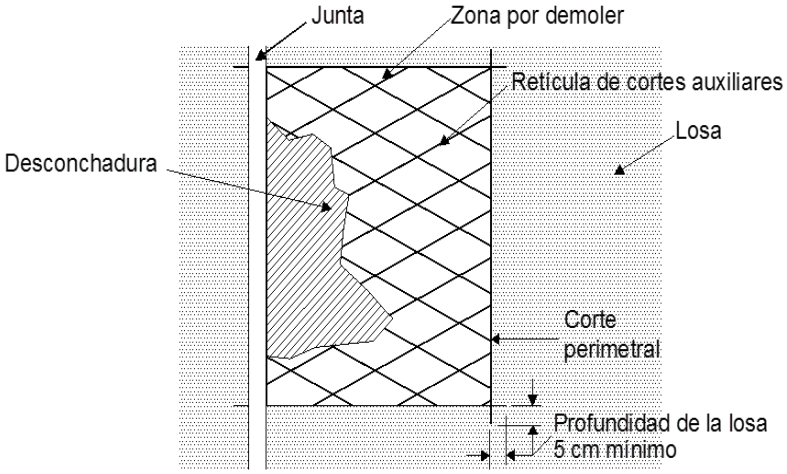


Figura 5.1.57. Retícula de cortes para facilitar la remoción del concreto

8. Para la demolición del concreto se utilizan martillos neumáticos o herramienta manual, cuidando de no afectar las zonas contiguas a la zona de reparación, Figura 5.1.58. La demolición y remoción se realizará hasta la profundidad previamente definida por los cortes, de forma tal que se logren cajas con caras planas paralelas y perpendiculares entre sí, sin afectar el concreto restante que no será sustituido.



Figura 5.1.58. Demolición del concreto hidráulico en la zona por reparar

9. El concreto hidráulico que recibirá el resane, debe estar completamente sano y sus paredes deben estar rugosas para obtener una buena adherencia entre el concreto existente y el nuevo concreto o producto de resane a utilizar.

10. Antes de proceder a colocar el concreto o el producto de resane, se coloca una placa de poliestireno no absorbente en el lado de la junta, con un espesor ligeramente mayor a la mitad del espesor de la caja de la junta y con una profundidad de la demolición, para evitar el contacto del material de resane con la losa adyacente. La placa de poliuretano debe tener una sección superior desprendible para que pueda retirarse una vez efectuado el colado del resane y formar la caja de la junta. Figura 5.1.59.

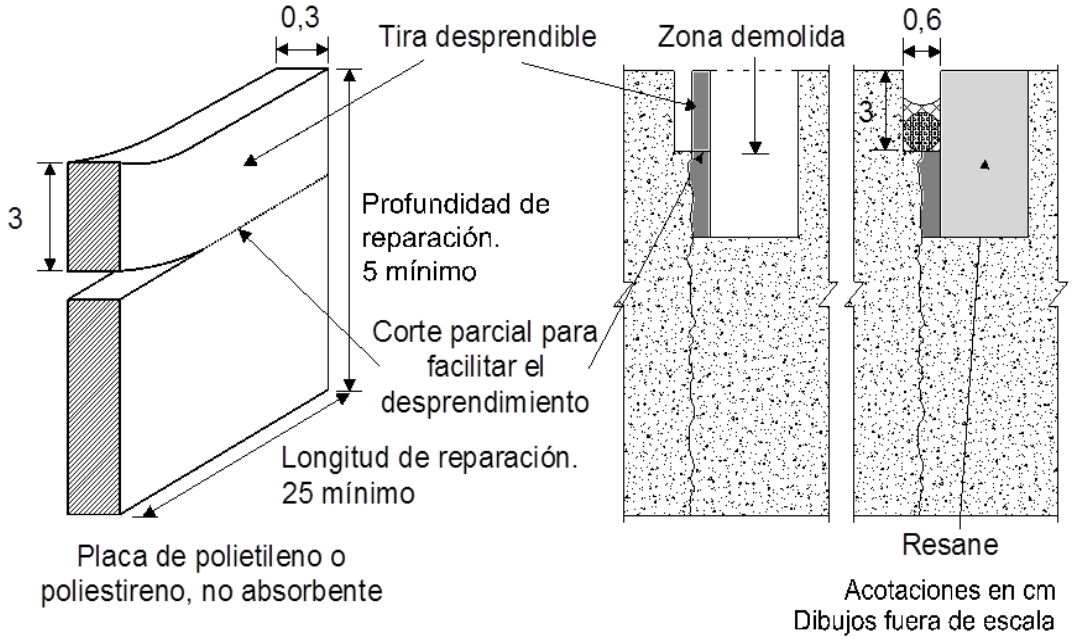


Figura 5.1.59. Placa para evitar el contacto entre el resane y la losa adyacente

11. Antes de efectuar el resane, las superficies deben estar limpias y no tener polvo adherido para lo cual se realiza un cepillado con cepillos de alambre, arena a presión o aire comprimido. Si por alguna circunstancia se suspende el resane, antes de reiniciarlo las superficies se limpiarán nuevamente.

Durante la limpieza se deben tomar en consideración las recomendaciones del fabricante del producto de resane a utilizar.

12. Si se utiliza concreto hidráulico o algún otro material que así lo requiera, se debe aplicar un adhesivo en las paredes y en el fondo de la caja de reparación, para mejorar la unión entre el concreto adyacente y el nuevo material, procurando no dejar adhesivo en exceso o encharcamientos.

13. Se procede a colocar el concreto hidráulico o algún otro producto de resane, en la caja de reparación, evitando segregación de la mezcla en su acomodo. Se debe utilizar el volumen suficiente para cubrir toda el área de reparación, distribuyéndolo adecuadamente sin arrastrarlo.

14. Una vez colocado, se procede a densificarlo mediante vibrado utilizando reglas vibratorias o vibradores de inmersión. Si se utilizan vibradores de inmersión, se introducirán en el concreto con un ángulo entre 15 y 30 grados respecto a la vertical, evitando ser arrastrados por la mezcla para no producir huecos. Si se utiliza regla vibratoria, cuando sea detenida, sus vibradores no operarán por más de 5 segundos después de haberse parado.

15. Para el enrasado se utiliza una llana metálica, que se desplaza desde el centro a las orillas del resane, de tal forma que se mejore la unión entre el material de resane y el concreto existente, así como también lograr que el material de resane quede perfectamente enrasado con la superficie de las losas adyacentes.

16. Una vez colocado el material de resane y antes de que se endurezca, se texturizará la superficie de la reparación, para lograr el mismo acabado y textura de las superficie del pavimento.

17. Después del texturizado y antes de que el material de resane empiece a perder su brillo superficial, se aplicará con el equipo de rociado la película de poliestireno para formar la membrana de curado, en toda la superficie reparada, con una dosificación de 1 litro por cada 5 m^2 de superficie, a menos que el proyecto indique otra dosificación.

18. Se procede a retirar la parte desprendible de la placa de poliuretano colocada en la junta y a continuación se realiza el relleno y sellado de la junta de la zona de reparación efectuada, conforme a las indicaciones del fabricante. Para mayor detalle de esta operación, los interesados pueden consultar la técnica de Relleno de Juntas de esta Guía y la **Norma N·CSV·CAR·2·02·005/02** Sellado de Grietas y Juntas de Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

19. Se debe dejar cerrado el tramo con las reparaciones efectuadas, cuando menos 72 horas o si se utilizó un concreto de resistencia rápida, cuando menos 4 horas.

20. Una vez pasado el tiempo de desarrollo de la resistencia inicial del concreto colocado, se procede al retiro del señalamiento de protección en obra y se está en condiciones de abrir el tramo a la circulación del tránsito.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Al término de la reparación de las desconchaduras en las losas de concreto hidráulico, se requiere cumplir con las condiciones siguientes para su aceptación:

- La calidad de los materiales utilizados en esta técnica, deben cumplir con los requisitos indicados en las Normas SCT referidas en el inciso de Materiales y requisitos de calidad antes comentada.

- La textura y el nivel de las zonas reparadas deben ser similares a las de la superficie de las losas adyacentes.

- El acabado final de la superficie no debe presentar afloramiento del sellado en las juntas o cualquier otro defecto que afecte el drenaje, la calidad de la rodadura o el adecuado comportamiento del sello.

- La zona reparada debe estar limpia y los materiales retirados deben depositarse en el lugar que indique la Dependencia responsable.

i) Reposición Total o Parcial de Losas en Pavimentos Rígidos

Definición

La reposición total o parcial de losas de concreto hidráulico es una serie de actividades para sustituir total o parcialmente algunas losas del pavimento rígido, que presentan una o dos fracturas, con objeto de restablecer el comodidad y la seguridad en la operación de la carretera, además de restituir la capacidad estructural de esa parte del pavimento.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación, consultando las **Normas N·CSV·CAR·4·02·002/03** Demolición de Losas de Concreto Hidráulico y **N·CSV·CAR·4·05·010/03** Reposición Total o Parcial de Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

La reposición de losas de concreto hidráulico tiene las ventajas siguientes:

- Permite eliminar deterioros que afectan el comportamiento del pavimento, tales como las grietas transversales.
- Mejora la textura superficial y aumenta la seguridad para el paso del tránsito.
- Prolonga la vida útil del pavimento rígido.

Sin embargo, la reposición de losas presenta las limitaciones siguientes:

- Es una técnica con operaciones especializadas y complejas, que deben realizarse adecuadamente para asegurar el adecuado comportamiento de las losas repuestas.
- Es una técnica que tiene un costo elevado y requiere de cerrar el tramo por conservar durante un periodo bastante largo, para asegurar que los trabajos se realicen adecuadamente.
- La reposición no aporta una mejora estructural al pavimento.

Condiciones de Aplicación

La reposición de losas de concreto hidráulico tiene las condiciones siguientes para su aplicación:

- Esta técnica se aplica sólo cuando en el pavimento se tienen algunas losas aisladas con deterioros localizados, cuya área total de losas por reparar es menor que el 10% de la superficie total del tramo del pavimento por conservar.

Materiales y Requisitos de Calidad

Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico. La grava y la arena que se utilicen en la elaboración de concreto hidráulico para reponer losas en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·002/02** Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT, tomando en cuenta que el tamaño máximo del agregado debe ser menor de 1/5 del espesor del resane.

Agua. El agua que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reponer losas en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·003/02** Calidad del Agua para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Cemento Portland Ordinario. El cemento Portland ordinario (tipo CPO) que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reponer losas en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·001/02** Calidad de Cemento Portland para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Concreto Hidráulico. El concreto hidráulico que se utilice en la elaboración de concreto hidráulico para reponer losas en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·005/04** Calidad del Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Productos para Relleno de Juntas. Los productos que se utilicen en el relleno de las juntas, deben cumplir con las características de calidad indicados por el fabricante.

Membranas para Curado del Concreto Hidráulico. Las membranas para curado del concreto hidráulico que se utilicen para reparar las desconchaduras en pavimentos rígidos, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·2·02·006/04** Calidad de Membranas de Curado para Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

Equipo de Aplicación

Equipo de Corte. Con capacidad, potencia y tamaño adecuados para realizar los cortes en la losa de concreto hidráulico, con la profundidad que indique el proyecto.

Compresor de Aire. Capaz de producir una presión mínima de 6 kg/cm^2, provisto de los dispositivos necesarios para evitar la contaminación del aire.

Martillos Neumáticos Rotomartillos. Con capacidad para fragmentar o demoler las losas de concreto hidráulico, sin dañar las demás capas del pavimento u otros elementos de la carretera.

Retroexcavadoras. Con la capacidad y potencia para levantar y mover los fragmentos o las losas por reponer.

Revolvedora. Para producir concreto hidráulico en media hora o menos, alimentada manual o mecánicamente, para dosificación en volumen.

Vibradores de Inmersión. Con capacidad para densificar el concreto de la losa por reponer en todo su espesor, lo suficientemente rígidos para asegurar el control de la posición de operación de la cabeza de vibrado.

Regla Vibratoria. Con la dimensión y la frecuencia de vibrado adecuados para el volumen de concreto por acomodar.

Rastra de Texturizado. De yute o de algodón, sin costuras y de dos capas, la inferior de 15 cm más ancha que la superior, que proporcione una franja de contacto de 1 m de ancho como mínimo, para producir una textura abrasiva a todo lo largo de la losa.

Texturizadora. Con dientes de acero de 100 a 150 mm de longitud, con sección transversal de 1 a 2 mm, espaciados de tal forma que produzcan el mismo texturizado que las losas adyacentes mediante pequeños surcos de 3 mm de profundidad, como mínimo, transversales al eje de la carretera.

Dispositivo de Aplicación de Membrana de Curado. Con tanque de almacenamiento y agitador para mantener mezclado el producto durante su aplicación uniforme en la superficie del concreto de resane, provisto de rociador a presión.

Equipo de Perforación para Pasa Juntas y Barras de Amarre. Que cuente con uno o más taladros colocados paralelamente a un marco. En el caso de no existir espacio suficiente para taladros automáticos, se procederá a realizar las perforaciones con un taladro manual.

Dispositivo para la Colocación del Material de Relleno Preformado. Capaz de colocar el material preformado de manera uniforme a lo largo de toda la junta, a la profundidad establecida en el proyecto, sin estirarlo ni punzarlo.

Equipo para la Inyección del Material de Sellado. Con la capacidad suficiente para inyectar el material de sellado en la junta hasta la profundidad requerida, provisto de boquilla cuya forma ajuste dentro de las juntas.

Procedimiento de Ejecución

La reposición total o parcial de losas en pavimentos rígidos, se realiza conforme se describe a continuación:

1. Se debe realizar un recorrido previo en el tramo donde se efectuarán los trabajos de reposición de losas de concreto hidráulico, para definir y delimitar las zonas que serán sustituidas, tomando en cuenta que la longitud mínima por demoler es de un tercio de la longitud de la losa. Es importante que se atiendan los criterios siguientes, para definir la longitud de las losas por reponer.

   Si los deterioros sobrepasan el tercio central de la losa, ésta será demolida y repuesta totalmente.

   Si los deterioros se ubican dentro del tercio más próximo a una junta transversal o en el tercio central, todo el tercio afectado, será demolido y repuesto, como se indica en la Figura 5.1.60.

   Si uno de los límites del área por demoler, está a menos de un tercio de la losa de la junta transversal, la por reponer se extenderá hasta la junta transversal, como se indica en la Figura 5.1.61

   Si la longitud mínima de demolición, en losas con refuerzo continuo, no abarca todos los deterioros, la longitud se extenderá 15 cm a ambos lados, Figura 5.1.62.

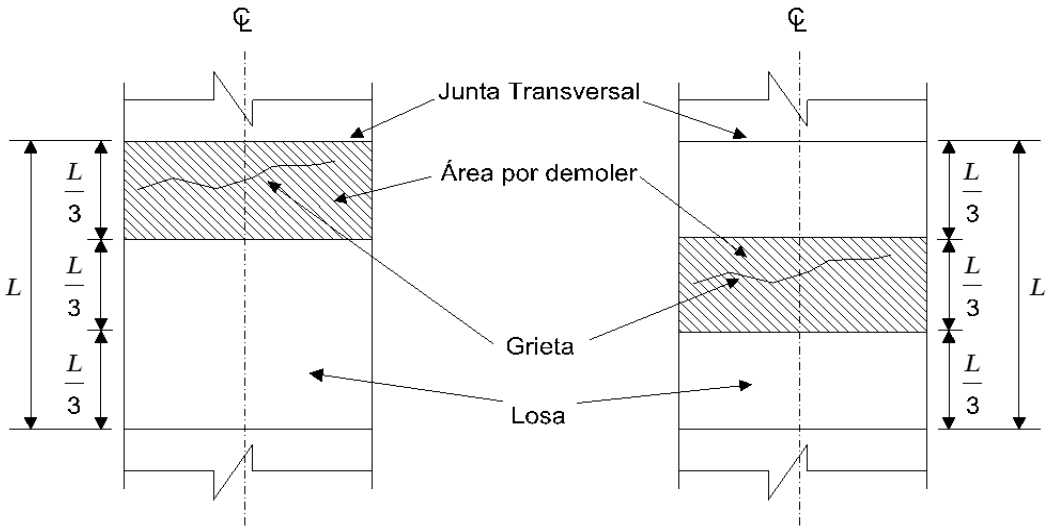


Figura 5.1.60. Delimitación parcial del área por demoler y reponer

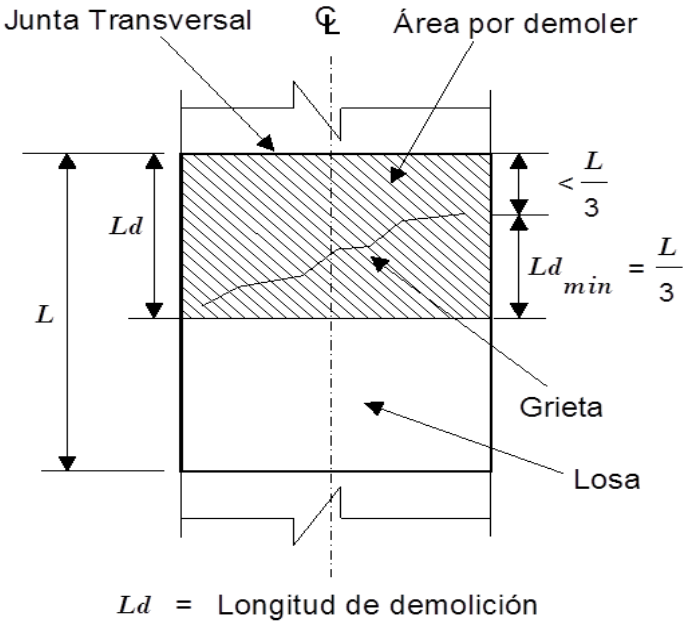


Figura 5.1.61. Extensión del área por demoler hasta la junta transversal

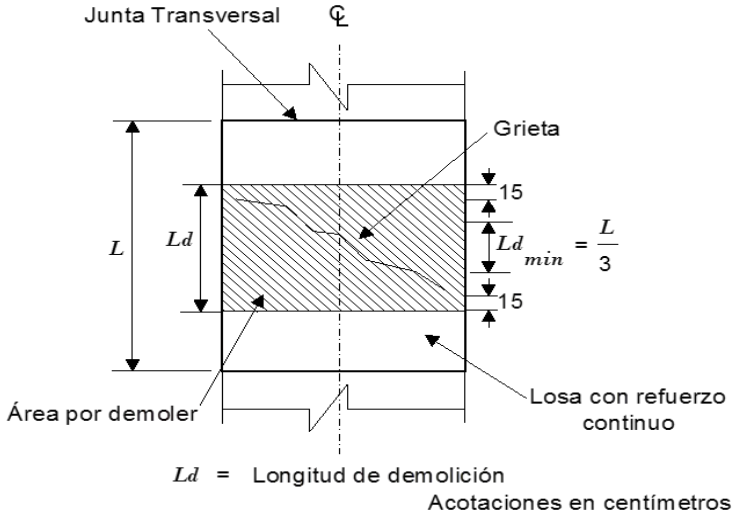


Figura 5.1.62. Extensión del área por demoler en losas con refuerzo continuo

Si los deterioros que motivan la demolición, afectan a más de una losa continua en el sentido longitudinal, se demolerán y repondrán las partes afectadas de cada losa, siguiendo los criterios expuestos anteriormente.

2. Antes del inicio de los trabajos de reposición de losas, se debe cerrar el tramo por conservar al tránsito, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

3. El personal que realice la reposición, debe estar provisto de cascos, anteojos inastillables, dispositivos de protección contra el ruido, ropa protectora y guantes, para su protección personal.

4. Los trabajos de reposición de losas no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 4º C, y si la temperatura es inferior de 12º C se requerirán cubiertas para proteger el resane y aumentar el tiempo de curado del concreto hidráulico. Tampoco se puede efectuar la reparación si hay amenaza de lluvia o está lloviendo.

5. Para proteger la demolición de las zonas del pavimento no dañadas, se realizan cortes de la losa por reponer en las zonas previamente delimitadas, a una distancia de 30 cm de las juntas longitudinales y en el caso de que haya pasa juntas en la junta transversal, el corte también se realiza a 30 cm de los mismos, como se indica en la Figura 5.1.63. Si se tiene programado reponer el otro lado de la junta transversal, no es necesario cortar a esa distancia.

6. Los cortes no deben tener una profundidad mayor de 5 cm en losas sin refuerzo continuo. Sin embargo, en el caso de losas de refuerzo continuo, los cortes no deben tener una profundidad mayor de un cuarto a un tercio del espesor de la losa. Es necesario extender los cortes aproximadamente 5 cm más allá del límite marcados en las esquinas, a fin de que en todo el perímetro de la reparación se tenga la profundidad prevista.

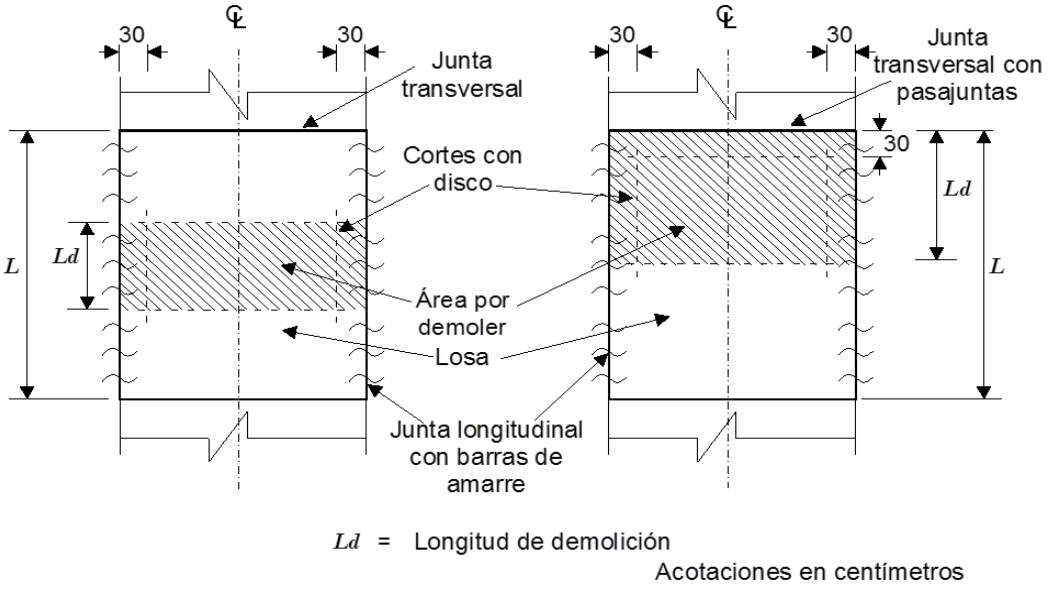


Figura 5.1.63. Zonas de corte para facilitar la demolición del concreto

7. Una vez efectuados los cortes, se procederá a la demolición de la losa por reponer, conforme con los criterios siguientes:

   Levantamiento del concreto deteriorado. Si el pavimento no tiene refuerzo continuo y fue posible realizar los cortes en todo el espesor de la losa, fuera de los pasa juntas y las barras de amarre, los bloques o las losas se levantarán mediante unas anclas o ganchos de acero fijados a la losa y con una cadena fijada a los ganchos, Figura 5.1.64.



Figura 5.1.64. Levantamiento de una losa de concreto hidráulico

Fragmentación del concreto deteriorado. Se demolerá el concreto por reponer utilizando martillos neumáticos o herramientas manuales, en bloques o fragmentos que puedan retirarse posteriormente a mano o con una retroexcavadora, cuidando de que durante la fragmentación no se entierren los pedazos del concreto en la capa de apoyo de la losa. Si se afecta el acomodo de esta capa, será necesario reparar y compactar la capa de apoyo.

La fragmentación se realiza del centro hacia las orillas de la zona delimitada por reponer, con el filo del martillo dirigida al centro de la zona de demolición. Cuando la fragmentación se encuentre aproximadamente a 30 cm de las orillas, la remoción del concreto se debe efectuar manualmente con un martillo de 5 a 7 kg de peso y un cincel, de tal forma que no se dañe más allá de los límites de la zona del concreto por reponer ni los bordes, así como tampoco los pasa juntas o barras de amarre, en su caso.

Al término de la demolición, las paredes deben quedar verticales y libres de material suelto o flojo en la losa, y los pasa juntas y las barras de amarre, libres de residuos.

8. La losa levantada y los fragmentos y residuos del concreto demolido, serán trasladados mediante camiones al lugar en donde serán depositados, que previamente haya definido la Dependencia responsable.

9. En forma previa se definirá el proporcionamiento de materiales para que se elabore el concreto hidráulico que se utilizará en la reposición de losas, quedando bajo la responsabilidad del constructor obtener las características de trabajabilidad y resistencia indicadas en el proyecto, dosificando los materiales en volumen, con excepción del cemento Portland, que se dosificará por peso. Además de que se tengan las condiciones de clima indicadas anteriormente, se verifica que la velocidad de evaporación sobre la superficie de la losa, sea mayor de 1 kg/m^2 por hora, la cual se determina mediante la aplicación de un nomograma que se muestra en la Figura 5.1.65. Para la utilización de este nomograma, es necesario conocer la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura de la superficie del concreto y estimar la velocidad del viento.

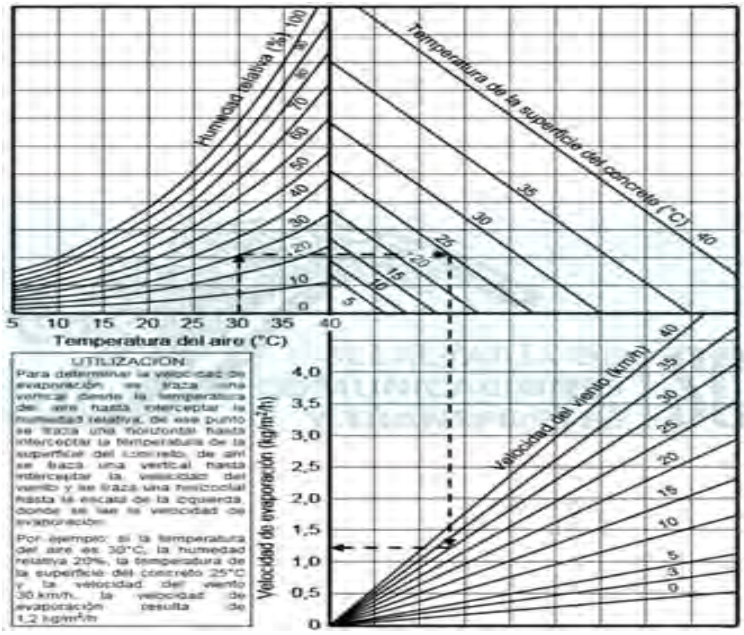


Figura 5.1.65. Nomograma para determinar la velocidad de evaporación

10. Se verifica que la capa de subbase no haya sido dañada durante los trabajos de demolición y en caso que así fuera, se procede a reparar los deterioros y efectuar una compactación de esta capa. Si se observan zonas saturadas de agua, se procede a realizar el bacheo necesario, para eliminar las zonas inestables.

11. Si es necesario reemplazar los pasa juntas, se procede a efectuar las perforaciones correspondientes, en los lugares que indique el proyecto. Si en estos lugares se encuentran grietas, mallas de refuerzo u otras obstrucciones, se perforará en otro lugar o no se colocará la pasa junta, previa aprobación de la Dependencia responsable.

    El diámetro de la perforación depende del calibre de la funda de la pasa junta y del material de fijación, considerando que si utiliza lechada de cemento se requerirán de 5 a 6 mm más que el diámetro exterior de la pasa junta, mientras que si emplean materiales epóxicos, sólo se requiere de 2 mm más. Si el espacio lo permite, se puede utilizar un equipo de perforación para pasa juntas. Figura 5.1.66.



Figura 5.1.66. Operación de un equipo de perforación para pasa juntas

12. Después de haber realizado los orificios, se aplica aire a presión en cada orificio para expulsar el polvo y los residuos, verificando que no haya contaminación de aceite y agua, por un mal funcionamiento del compresor.

13. Se coloca la lechada de cemento o el material epóxico en los orificios, por medio de un dispositivo de inyección con una boquilla lo suficientemente larga para que el material llegue hasta el fondo del orificio, para que al colocar la funda de la pasa junta el material de fijación se extruya hacia afuera a lo largo de todo el orificio, evitando dejar vacíos entre la funda y el concreto de la losa. Figura 5.1.67.



Figura 5.1.67. Colocación de la funda de la pasa junta

Durante la inserción de cada funda por el lado con tapa por delante, ésta se girará una vuelta completa sobre su eje, como se muestra en la Figura 5.1.67, para distribuir uniformemente el material de fijación a su alrededor y evitando que este material permanezca en el fondo y que forme vacíos. En el caso de que el material de fijación se salga del orificio mientras se inserta la funda, se emplea un disco retenedor de plástico para prevenir el escape de la lechada o el epóxico. Figura 5.1.67.

14. Una vez colocadas las fundas y previo al colado de la losa, se insertarán las barras de la pasa junta con un tratamiento antiadherente como grasa, en la mitad de la barra que quedará insertada en la funda, para asegurar el libre movimiento longitudinal de las barras, de ese lado de la junta.

    En el caso de que se repongan dos losas consecutivas y el proyecto indique la colocación de pasa juntas, antes del colado del concreto se instalarán mediante silletas o canastas metálicas de sujeción que las aseguren en la posición correcta durante el colado y vibrado del concreto, sin impedir sus movimientos horizontales.

15. A menos que el proyecto indique otra cosa, el acero de refuerzo de las losas con juntas, se reemplazará completamente. De igual manera, si así lo contempla el proyecto, el acero de refuerzo se reemplazará uniendo las nuevas barras de acero a los segmentos que queden después de remover el concreto. La unión de los segmentos nuevos a los existentes se efectúa mediante sujetadores mecánicos o con uniones soldadas. Figura 5.1.68.

    En el caso de que se repongan dos losas adyacentes en el sentido transversal, si el proyecto así lo indica, se colocan barras de amarre entre ellas, instalando silletas o canastas metálicas de sujeción que las aseguren en la posición correcta durante el colado y vibrado del concreto. Es importante que en una longitud de 45 cm antes y después de una junta transversal, no se coloquen barras de amarre. Salvo que el proyecto indique otra cosa, se utilizan barras de amarre corrugadas del número 10.

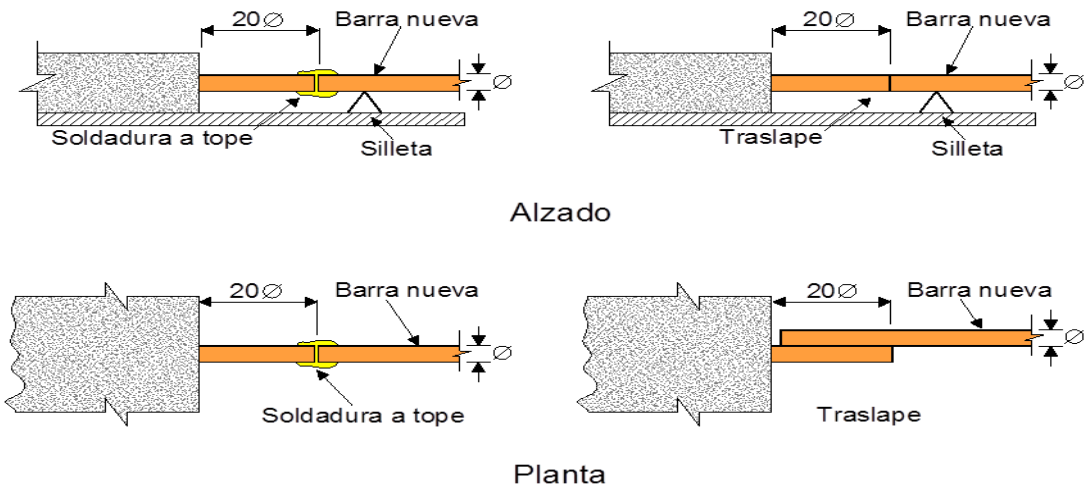


Figura 5.1.68. Uniones de barras de acero de refuerzo

16. A menos que el proyecto indique otra cosa, en el sentido longitudinal de la losa por reponer, se colocan tiras de cartón, de fibra u otro material similar, con un espesor de 5 mm y una altura igual a la profundidad de la junta preexistente, cuidando que quede al ras de la superficie de las losas.

17. La elaboración del concreto hidráulico es responsabilidad del constructor y debe realizarse como lo indica la Fracción G-5 de la **Norma N·CTR·CAS·1·04·009** Carpetas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

18. Inmediatamente antes de la reposición de las losas, la superficie debe estar limpia, libre de polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades, reparados los baches y colocada una membrana de polietileno.

19. Siempre que sea posible, el concreto se colocará en el área de la reposición desde los vehículos de transporte o mezclado, con los cuidados necesarios para distribuirlo uniformemente, evitando movimientos excesivos con las palas. Figura 5.1.69.

20. La reposición se hace colando losas completas o la parte completa por reponer, es decir, que no se acepta la formación de juntas de colado en una misma losa por reponer o en la parte por reponer de una losa.

21. El volumen de concreto hidráulico es responsabilidad del constructor, tomando en cuenta que deben ser terminadas las losas por reponer previamente preparadas. El concreto se extenderá con palas sin arrastrarlo, de manera que tenga una distribución uniforme y sin producir segregación.



Figura 5.1.69. Colocación del concreto en la reposición de una losa

22. Una vez colado el concreto, se densifica mediante vibrado, utilizando vibradores mecánicos uniformemente en todo el volumen de la losa. Los vibradores se introducen verticalmente, sin arrastrarlos por la mezcla, para impedir la formación de huecos o la pérdida del contenido de aire. Si así lo indica el proyecto, se utilizan reglas vibratorias para enrasar la superficie del concreto.

23. En reposiciones menores de 3 m en el sentido longitudinal, se utiliza una regla vibratoria para el enrasado, la cual se desplaza por el pavimento en dirección transversal a las juntas longitudinales, de tal forma que se apoye en las losas adyacentes. Figura 5.1.70.

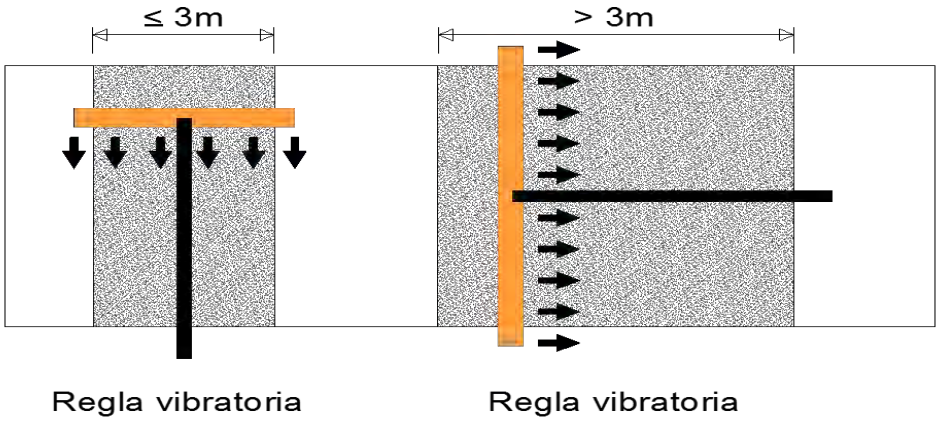


Figura 5.1.70. Dirección de enrase y terminado de la superficie

Para reparaciones mayores de 3 m el enrasado se realiza con regla vibratoria, moviéndola en el sentido longitudinal. Figura 5.1.70.

24. Una vez colocado y enrasado el concreto y antes de que se endurezca, se texturiza la superficie repuesta con un acabado similar a la del resto del pavimento existente, pasando sobre la superficie la rastra de texturizado y la texturizadora. Si así lo indica el proyecto, se utiliza la técnica de denudado químico, que consiste en rociar un retardante de fraguado en la superficie del concreto fresco y después de que la masa de concreto ha endurecido, se aplica un cepillado enérgico con un dispositivo de cerdas metálicas para eliminar el mortero de la superficie de las losas.

25. Después del texturizado y antes de que la superficie del concreto empiece a perder su brillo superficial, se aplicará con el equipo de rociado la película de poliestireno para formar la membrana de curado, en

toda la superficie reparada, con una dosificación de 1 litro por cada 5 m^2 de superficie, a menos que el proyecto indique otra dosificación.

26. Cuando es necesario la formación de juntas en las losas repuestas, éstas se aserran y se sellan como se indica en la Fracción G-13 de la **Norma N·CTR·CAR·1·04·009** Carpetas de Concreto Hidráulico y en la Norma **N·CSV·CAR·2·02·005** Sellado de Grietas y Juntas en Losas de Concreto Hidráulico, de la Normativa SCT.

27. Una vez terminada la losa, se evita el paso del tránsito hasta que el concreto tenga la resistencia suficiente para evitar que sea dañado, que generalmente es de 72 horas si se utiliza concreto normal o de 4 horas, si se utiliza concreto de fraguado rápido.

28. Pasado este periodo, se está en condiciones de abrir al tránsito, retirando los dispositivos de señalamiento de protección.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

La reposición total o parcial de losas en pavimentos rígidos, presenta las condiciones de acabado siguientes para su aceptación:

- La calidad de los materiales utilizados en esta técnica, deben cumplir con los requisitos indicados en las Normas SCT referidas en el inciso de Materiales y requisitos de calidad antes comentada.

- Los materiales para formar los pasajuntas y barras de amarre deben cumplir con los requisitos de calidad indicados en el inciso de Materiales de esta técnica.

- La posición de las pasajuntas no debe diferir en más de 5 cm de lo indicado en el proyecto, con una desviación angular del eje de cada pasajunta determinada en su parte visible, de no más de 1 mm.

- El acero de refuerzo en losas de refuerzo continuo, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en el proyecto.

- La profundidad de las depresiones medida con una regla de 3 metros colocada paralela y perpendicularmente al eje, dentro y parcialmente fuera de la losa repuesta, no debe ser mayor de 5 mm.

- La textura y el nivel de las zonas reparadas deben ser similares a las de la superficie de las losas adyacentes.

- La zona reparada debe estar limpia y los materiales retirados deben depositarse en el lugar que indique la Dependencia responsable.

5.2 DRENAJE Y SUBDRENAJE

Drenaje y Subdrenaje son indispensables para el correcto funcionamiento de la carretera, ya que su objetivo principal es protegerla (debido a su función socio-económica y elevado costo de construcción), asegurándose de que drenaje y subdrenaje se encuentren libres de obstáculos, sin que se vean alteradas sus secciones transversales ni su pendiente.

Los elementos que conforman el Drenaje y Subdrenaje son los siguientes:

a) Puentes
b) Alcantarillas
c) Cunetas y Drenes
d) Vados
e) Tubos y tubos perforados
f) Bombeo
g) Contracunetas
h) Lavaderos
i) Bajadas
j) Bermas
k) Bordillos
l) Vegetación
m) Obras de Subdrenaje
n) Drenes Longitudinales
o) Drenes Transversales
p) Capas Permeables en Pavimentos

La misión del sistema de Drenaje y Subdrenaje es la conducción rápida y eficaz, fuera de la carretera, del agua proveniente de escurrimientos (agua de lluvia) y del subsuelo, tomando en cuenta que el agua puede causar daños a la carretera, ya sea debilitando el pavimento o erosionándolo, destruir terraplén o taludes y socavando alcantarillas o incluso puentes.

Este trabajo consiste en limpiar las cunetas revestidas o no revestidas, con la finalidad de eliminar toda basura o material que obstaculice el libre flujo del agua, evitando estancamientos perjudiciales para la vía, incluyendo los correspondientes a los puentes y demás elementos, siendo por tanto un trabajo permanente que por lo general, se realiza manualmente.

La Conservación de rutina es esencial para proteger la estructura de la carretera y la superficie de rodadura, se requiere ocasionalmente realizar trabajos de mejora bajo la mención de Conservación Periódica.

a) Puentes

Son estructuras de variables metros de claro, se distingue de las alcantarillas por el colchón que estas llevan en la parte superior. La estructura de un Puente está formada por la infraestructura, la subestructura y la superestructura. Los Puentes se utilizan para evacuar las corrientes importantes cuando no es conveniente usar las alcantarillas ya sea por el desempeño o por su costo. Figura 5.2.1.

Actividades de Rutina

- Limpiar y despejar

Actividades Periódicas

- Reparaciones de barandales de Puentes de concreto
- Reparaciones de Puentes de madera



Figura 5.2.1. Los puentes

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad de acuerdo a las normas establecidas.
3. Distribuir los trabajadores con base en la programación. Debe haberse preparado con anterioridad, un estudio técnico que contemple inventario, evaluación y estado de los barandales del Puente, con las respectivas soluciones y procedimiento de reparación de los elementos en mal estado.
4. Ejecutar las reparaciones menores de acuerdo con el estudio y la programación.
5. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
6. Inspeccionar en detalle el cauce aguas arriba y aguas abajo.
7. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

b)Alcantarillas

Es una estructura responsable del drenaje transversal; es decir del paso del agua a través de la obra, en una dirección más o menos perpendicular a ella. Figura 5.2.2.



Figura 5.2.2. Alcantarilla, drenaje trasversal

Actividades de rutina

- Despejar y limpiar
- Reparación de erosiones
- Reparación de grietas

Actividades Periódicas

- Reparación de la tapa de la Alcantarilla
- Construcción de la Alcantarilla con pendiente y caída adecuadas

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación inicial y en actividades de avance.
4. Retirar basuras, piedras, sedimentos, vegetación, y cualquier material extraño, de los elementos de entrada, ducto y salida de las alcantarillas.
5. Trasladar el material retirado, colocándolo en sitios que no afecten el entorno ambiental y evitando depositarlos en puntos que interfieran el sistema de drenaje de la vía.
6. Inspeccionar visualmente que, después de la limpieza, las alcantarillas trabajen eficientemente.

7. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

c) Cunetas y Drenes

Son canales que se adosan a los lados de la corona de la vía y paralelamente al eje longitudinal de la misma. Su objetivo es recibir el agua proveniente del talud y de la superficie de rodadura. Figura 5.2.3.

Actividades de Rutina

- Limpiar y despejar
- Dar forma, pendiente y profundizar
- Controlar la erosión
  - Reparar revestimientos
  - Proteger contra socavación

Actividades Periódicas

- Crear dren de desagüe
- Control de la erosión
  - Revestimiento de la conducción
  - Construir disipador de velocidad



Figura 5.2.3. Cuencas y drenes

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad, para que se garantice la ejecución segura de los trabajos y mantener un adecuado funcionamiento del tránsito para evitar riesgos de accidentes.
2. Todo personal que se involucre en los trabajos debe portar: uniforme especial que tenga partes reflejantes, cascos y todos los elementos que están solicitándose de acuerdo a normativa.
3. Respaldar casos sobresalientes con evidencias fotográficas.
4. Retira todo obstáculo que impida el funcionamiento de la estructura, como es: desperdicios, sedimentos, vegetación, rocas, etc.
5. Depositar los materiales encontrados en donde dispongan las autoridades correspondientes.
6. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

d) Vados

Son estructuras muy pegadas al terreno natural, generalmente losas a piso, tienen ventajas en cauces amplios con tirantes pequeños y régimen torrencial por corto tiempo. La construcción de Vados es económica y accesibles a los cambios rurales por el aprovechamiento de los recursos del lugar, ya que pueden ser construidos de mampostería, concreto simple, ciclópeo y hasta de lámina. Su diseño debe evitar provocar erosión aguas arriba y aguas abajo, además de evitar que se provoque régimen turbulento que también es causa de socavación. Figura 5.2.4.

Actividades de Rutina

- Despejar y limpiar
- Desazolve



Figura 5.2.4. Vados

Actividades Periódicas

- Reparaciones menores

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Ejecutar las reparaciones y revestimiento pertinentes de acuerdo a la programación.
4. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
5. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
6. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

e) Tubos

Estas estructuras son alcantarillas en las cuales usualmente la sección interior es circular y siempre es necesario que tengan un terraplén con un espesor mínimo de 60 cm para un buen funcionamiento estructural. Los Tubos pueden estar construidos de concreto reforzado, lamina corrugada y en algunas ocasiones mampostería y mortero de cemento, esta situación se considera en las bóvedas. Figura 5.2.5.



Figura 5.2.5. Tubos de alcantarilla

Actividades de Rutina

- Desatascar los tubos
- Despejar y limpiar
- Reparaciones mínimas

Actividades Periódicas

- Sustituir los Tubos de drenaje

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Desalojar la mayor cantidad de basura, rocas y residuos del interior del tubo que puedan obstruir el paso del agua.
4. Ejecutar las reparaciones y revestimiento pertinentes de acuerdo a la programación.
5. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
6. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
7. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

f) Bombeo

Es la inclinación que se da a ambos lados del camino, para drenar la superficie del mismo, evitando que el agua se encharque provocando reblandecimientos o que corra por el centro del camino causando daños debido a la erosión. Figura 5.2.6.



Figura 5.2.6. Bombeo

Actividades de Rutina

- Despejar y limpiar

Actividades Periódicas

- Perfilado del camino
- Reposición de afirmado
- Reconformación de plataforma existente

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Riego con agua para tener la humedad óptima.
4. Rellenar del hueco con material granular suelto (en caso de que exista algún bache que impida el escurrimiento del agua por bombeo).
5. Compactación manual con el pisón.
6. Colocación y compactación de la segunda capa y enrasado del exceso.
7. Compactación manual con el pisón.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad.

g) Contracunetas

La función de las Contracunetas es prevenir que llegue al camino un exceso de agua o humedad, aunque la práctica ha demostrado que en muchos casos no es conveniente usarlas, debido a que como se construyen en la parte aguas arriba de los taludes, provocan reblandecimientos y derrumbes. Figura 5.2.7.

Actividades de Rutina

- Despejar y limpiar

Actividades Periódicas

- Revestimiento y reparaciones menores

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Ejecutar las reparaciones y revestimiento pertinentes de acuerdo a la programación.
4. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.



Figura 5.2.7. Contracuneta

5. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
6. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

h) Lavaderos

Son pequeños encauzamientos a través de cubiertas de concreto, lamina, piedra con mortero o piedra acomodada que se colocan en las salidas de las alcantarillas o terrenos erosionables, eliminando los daños que originaría la velocidad del agua. Figura 5.2.8.

Actividades de rutina

- Despejar y limpiar

Actividades Periódicas

- Reparaciones menores

Procedimiento de trabajo

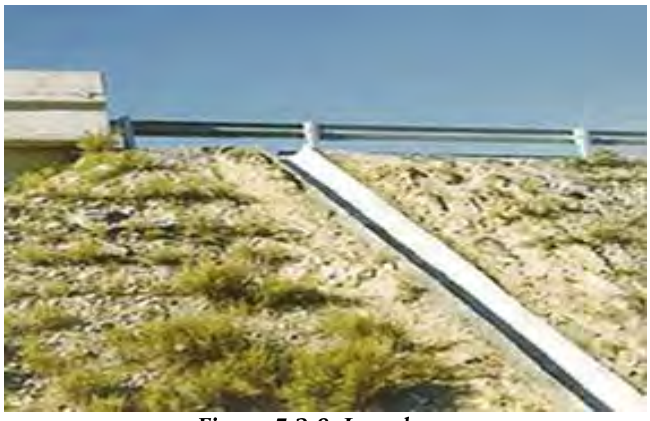


Figura 5.2.8. Lavadero

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Despejar el área donde circula el agua, de vegetación, basura, entre otros elementos que impidan el curso libre del agua desalojada por los lavaderos.
4. Ejecutar las reparaciones y revestimiento pertinentes de acuerdo a la programación.
5. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
6. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
7. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

i) Bajadas

Se denomina así a estructuras de función análoga a los lavaderos, pero constituidas por un tubo apoyando en la superficie inclinada del terreno o enterrado en él. La finalidad de este tipo de obra, es proteger contra la erosión los taludes de terraplenes y cortes, transfiriendo a cauces ubicados al pie de estos taludes las aguas recogidas por los canales laterales e interceptores. Figura 5.2.9.

Actividades de rutina

- Despejar y limpiar

Actividades Periódicas

- Reparaciones menores

Procedimiento de trabajo



Figura 5.2.9. Bajadas

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.

3. Despejar el área donde circula el agua, de vegetación, basura, entre otros elementos que impidan el curso libre del agua desalojada por las bajadas.
4. Ejecutar las reparaciones y revestimiento pertinentes de acuerdo a la programación.
5. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
6. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
7. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

j) Bermas

Las Bermas o escalonamientos pueden realizar la función de drenaje superficial y de conducción, control y eliminación de agua bronca.

Cuando las Bermas son construidas con fines de drenaje la relación peralte-huella que debe tener se encuentra entre 1:1 y 1:15 y son de pequeña dimensiones, escalones; dichos valores pueden aumentar a 1:2 o 1:3. La construcción de las Bermas es sobre el terreno natural, su objeto es eliminar la fuerza de erosión del agua que escurre sobre los taludes de un terraplén, corte o por el terreno natural. Cuando los escalonamientos se hacen en los cortes son para interrumpir la bajada de aguas, generalmente la relación peralte-huella no podrá ser mayor a 0.75 o 1:1. Figura 5.2.10.

Actividades de Rutina

- Despejar y limpiar
- Sello de fisuras y grietas

Actividades Periódicas

- Consiste en la excavación, tapado de hoyos y otras fallas



Figura 5.2.10. Berma o escalamiento

Procedimiento de trabajo

1. Instalar señales de trabajo para alertar a los usuarios.
2. Con el cargador y las escobas amontonar la mayor parte de arena, basura o cualquier cuerpo extraño que impida el funcionamiento de la berma.
3. Con ayuda del cargador llevar la basura al camión de volteo y con las palas, rastrillo y escobas recoger la parte restante del desperdicio.
4. Excavar los baches en todo el espesor de la Berma y a mayor profundidad si la falla afectase otras capas.
5. Remplazar los materiales excavados.
6. Compactar con el óptimo contenido de humedad.
7. Imprimar el parche compactado.
8. Realizar la limpieza pertinente, retirar las señales de trabajo y permitir el tráfico libre.

k) Bordillos

Los Bordillos se colocan en la parte externa del acotamiento de las secciones en tangente, en el borde opuesto al corte en las secciones en balcón o en el lado interno de las secciones del terraplén en curva. Los Bordillos se colocan formando una columna que conducirá el agua hacia los lavaderos y bajadas, evitándose con ello que los taludes se erosionen y saturen por el agua que cae en la corona.

En México, los Bordillos que se emplean están construidos de concreto asfaltico o hidráulico.

La altura de los Bordillos no debe ser rebasada por el agua que se almacena, pero no debe ser muy alto ya que provocaría una sensación psicológica de confinamiento y evitaría la apertura de las puertas de los vehículos. Se recomienda que la altura no sea más de 25 cm, pero tienen un buen desempeño con 12 o 15 cm. Figura 5.2.11.



Figura 5.2.11. Bordillos

Actividades de Rutina

- Despejar y limpiar

Actividades Periódicas

- Reparación de fisuras y grietas

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Ejecutar las reparaciones menores de acuerdo con el estudio y la programación.
4. Hacer limpieza general en el sitio de trabajo.
5. Llevar registro fotográfico del proceso constructivo.
6. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.

l) Vegetación

La Vegetación es una de las protecciones más efectivas contra la acción erosiva del agua, en los cortes, terraplenes y el terreno natural. La Vegetación que es más útil en los taludes es la trepadora o pasto muy tupido y los arbustos en las barreras protectoras del terreno natural. Figura 5.2.12.



Figura 5.2.12. La vegetación

Materiales

Para la ejecución de esta actividad se requieren herramientas manuales tales como: guadaña, podadora, machetes, hachas, sierras y carretillas.

Actividades de Rutina

- Corte de hierbas y control de matas
- Poda de ramas de árboles

Procedimiento de trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Tomar algunas fotografías representativas del lugar donde se ejecuten los trabajos.
4. Quitar los objetos que puedan dañar las herramientas, tales como piedras, troncos, etcétera.

5. Cortar la Vegetación con machete, guadaña o equipo mecánico evitando el daño de cualquier estructura que se encuentre en la zona de los trabajos y que requieran ser protegidos.
6. Trasladar el material cortado al depósito de excedentes, de modo que no afecte a las obras de drenaje.
7. Inspeccionar visualmente que los taludes y el derecho de vía tengan una vegetación corta.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
9. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación final.

m) Obras de Subdrenaje

El Subdrenaje en las carreteras permite reducir los efectos desfavorables del agua interna sobre la estabilidad de las calzadas y de las explanaciones. El agua interna tiene normalmente dos orígenes, interior y exterior. Puede manifestar ascensión capilar o pueden aparecer en los taludes o en la banca. Los objetivos del drenaje interno de las carreteras son: Figura 5.2.13.



Figura 5.2.13. Las obras de subdrenaje

- Facilitar la ejecución de las explanaciones durante la fase de construcción de la carretera
- Aumentar la capacidad portante de la subrasante y reducir así el espesor del pavimento
- Contribuir en la estabilidad de los taludes mediante la orientación más favorable de los flujos de agua interna

En México se aplican dos tipos de obras de Subdrenaje en materia de carreteras:

Existen Subdrenes Longitudinales y Transversales.

n) Drenes Longitudinales

Se colocan alineados de acuerdo al eje de la carretera y coinciden de acuerdo a su alineación tanto horizontal como vertical.

Estos Drenes consisten en excavar una zanja al pie de los taludes de corte, la profundidad mínima debe ser de 1.5 m. Pudiendo llegar hasta 4 m el tubo se coloca en el interior de la zanja sobre una plantilla de concreto pobre, el tubo debe tener perforaciones en su parte baja, y finalmente se rellena con material filtrante.



Figura 5.2.14. Drenes longitudinales

El objetivo de este Dren es el de bajar el nivel freático de la cama del camino y disminuir el área de saturación en el talud de corte. El material de filtración que se emplea es la grava-arena en greña, cuyo tamaño máximo debe ser de 2 pulgadas y con un máximo de 5% de finos que pasen por la malla 200. En caso de que no se cuenten con todos los materiales necesarios, la zanja podrá ser rellenada con rocas que tengan un tamaño máximo de 15 cm. Figura 5.2.14.

A la zanja se le dará la pendiente necesaria para que el agua sea trasladada a una obra de drenaje transversal.

Actividades Periódicas

- Colocación o reemplazo de los tubos que conforman el dren

Procedimiento de trabajo

El procedimiento a seguir para la ejecución de los trabajos es el siguiente:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Localizar en el terreno las dimensiones del dren a recuperar o instalar.
4. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación inicial y en actividades de avance.
5. Ejecutar la excavación, retirar el material y proceder a colocar los materiales para el subdrenaje.
6. Realizar la limpieza del sitio y depositar los materiales sobrantes en el sitio de depósito de excedentes.
7. Inspeccionar visualmente que el subdrenaje trabaje eficientemente, y que no haya sitios donde se estanque el agua.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
9. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación final.

o)Drenes Transversales

Se colocan de manera perpendicular al eje del camino.

Cuando a través de los taludes de corte existen grandes filtraciones, además de la construcción de subdrenes longitudinales también será necesario el empleo de otro tipo de drenaje, uno que impida el flujo y que evite daños mayores, que puedan afectar el camino en su funcionamiento. Figura 5.2.15.



Figura 5.2.15. Drenes transversales

Los subdrenes transversales, son los que se emplean para este fin, este sistema de drenaje consiste en la introducción de tubos de acero de 5 cm. De diámetro, deben estar perforados lateralmente, a través de los taludes, la pendiente hacia el camino puede encontrarse entre 5 y 20°; antes de la introducción de los tubos, se realizara una perforación de 10 cm de diámetro con un equipo especializado, los tubos deben tener una longitud tal que atraviesen las posibles fallas de terreno.

De la permeabilidad de la masa del suelo, es dependiente la velocidad de captación del agua. Algunos especialistas recomiendan, para este tipo de drenaje sea económico que en vez de colocar tubos de acero se inyecte arena a presión o utilizar otates, bambúes o gradúas huecas, que estén llenas con arena y lateralmente perforadas.

Actividades de Rutina

- Retirar basura, roca o cualquier elemento que pueda impedir que el cauce del agua

Actividades Periódicas

- Hacer la limpieza de la tubería de manera constante, procurando que la abertura no esté bloqueada por ningún material que impida el cauce natural del agua

Procedimiento de Trabajo

El procedimiento a seguir para la ejecución de los trabajos es el siguiente:

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Localizar en el terreno las dimensiones del filtro a recuperar o instalar.
4. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación inicial y en actividades de avance.
5. Ejecutar la excavación, retirar el material y proceder a colocar los materiales para el subdrenaje.
6. Realizar la limpieza del sitio y depositar los materiales sobrantes en el sitio de depósito de excedentes.
7. Inspeccionar visualmente que el subdrenaje trabaje eficientemente, y que no haya sitios donde se estanque el agua.
8. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
9. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación final.

p) Capas Permeables en Pavimentos

Capa que se coloca bajo la superficie pavimentada constituida por un material filtrante de manera que, con ayuda de una superficie transversal adecuada y unas correctas instalaciones de salida, puedan drenar el agua que se infiltre desde la superficie del pavimento.

Esta capa puede ser granular o tratada con ligantes hidrocarbonados o con cemento, se puede integrar a la estructura del pavimento. Figura 5.2.16.

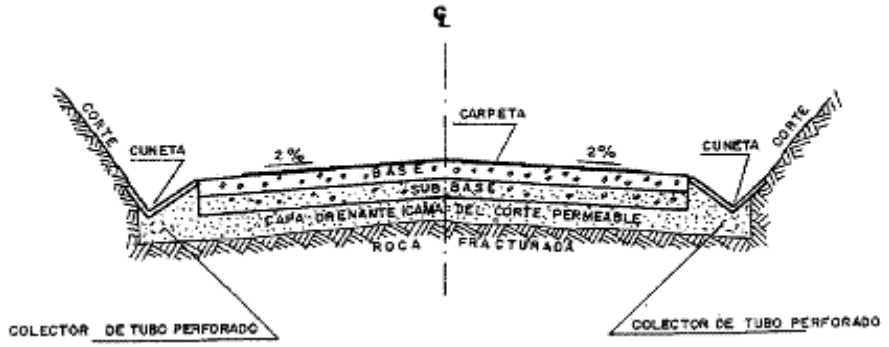


Figura 5.2.16. Las capas permanentes en pavimento están colocadas bajo la superficie pavimentada para que se filtre agua y correcta instalación de salida

Actividades Periódicas

- Sustitución de la capa permeable

Procedimiento de Trabajo

1. Colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad.
2. El personal debe contar con los uniformes, cascos y todos los elementos de seguridad.
3. Localizar en el terreno las dimensiones de la capa que se debe remplazar.
4. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación inicial y en actividades de avance.

5. Ejecutar la excavación, retirar el material y proceder a colocar los materiales que sustituirán la capa anterior.
6. Realizar la limpieza del sitio y depositar los materiales sobrantes en el sitio de depósito de excedentes.
7. Al terminar los trabajos, retirar las señales y dispositivos de seguridad en forma inversa a como fueron colocados.
8. Tomar algunas fotografías representativas, en la situación final.

Conclusiones

Las obras de drenaje en proyectos carreteros, han sido necesarias para la preservación en primera instancia de las carreteras, sirviendo para controlar la erosión, estabilización de taludes y como protección de la estructura del pavimento.

Sin embargo, al mismo tiempo que han sido obras complementarias a la construcción de carreteras, han servido como medidas de mitigación de los impactos generados por la misma, puesto que al realizarse cortes al terreno y al destruir la capa vegetal, el suelo queda expuesto a la erosión lo que es a la vez un impacto negativo al medio ambiente, el cual es controlado con las obras de drenaje.

Las estructuras de subdrenaje son de suma importancia pues los caminos se construyen en el terreno interceptando el sistema de drenaje. Un correcto diseño de éstas, buscará permitir el libre escurrimiento aún en caso de tormentas de gran intensidad: sin embargo, pueden presentarse casos en que el sistema de obras de drenaje no reúna las características ni la ubicación requeridas para drenar con la eficiencia necesaria el agua que llega al derecho de vía, produciéndose modificaciones sustanciales en los escurrimientos que alteran no sólo al sistema hidrológico sino de manera directa altera la vegetación y cambiando el hábitat de la fauna.

5.3 ESTABILIDAD DE TALUDES

A partir de la inspección visual de los taludes existentes en la carretera, sean éstos de cortes o de terraplenes, y de las estructuras complementarias que existieran para estabilizarlos, se obtienen conclusiones acerca del riesgo de inestabilidad de los mismos, en cuyo caso se realizan los análisis de estabilidad correspondientes y de sus resultados se decide si se necesitan hacer trabajos de estabilización, cuyas técnicas se describen a continuación.

Estas técnicas generalmente se agrupan en 6 rubros, de aplicación individual o combinada entre sí alcanzando buenos resultados. Dichos rubros son:

1. Modificación de la geometría del talud.
2. Diseño de sistemas de drenaje adecuados.
3. Aumento de la resistencia del subsuelo mediante la introducción en el cuerpo del talud de elementos estructurales resistentes.
4. Construcción de muros u otros elementos de contención.
5. Técnicas de protección superficial de taludes.
6. Técnicas de estabilización en macizos rocosos.

1. Modificación de la Geometría del Talud

Considerando que la inestabilidad de los taludes se debe en muchos casos a la imposibilidad del terreno para soportar las cargas inducidas por las fuerzas de cuerpo (gravitacionales, dinámicas, etcétera), el cambio en la geometría de un talud pretende remover el material que puede generar la inestabilidad. En la Figura 5.3.1, se muestran en forma esquemática, distintas formas de modificar la geometría de un talud para aumentar el factor de seguridad.

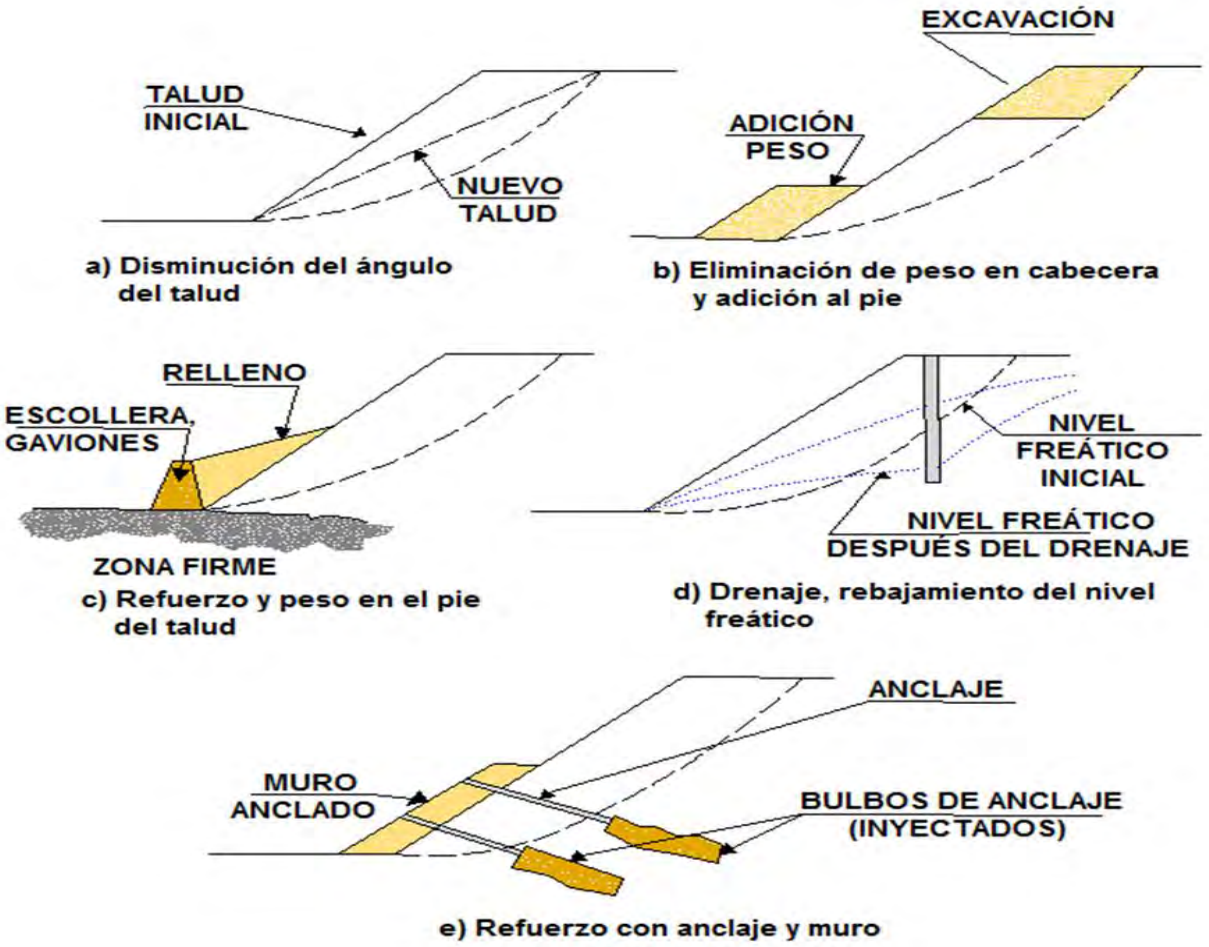


Figura 5.3.1. Métodos tradicionales para aumentar la seguridad de un talud (Oteo, 1995)

Abatimiento del Talud. Se emplea para reparar deslizamientos pequeños que por lo general se dan en materiales intemperizados, en excavaciones de cortes nuevos como medida de prevención o como una manera de prevenir deslizamientos incipientes; considérese que deben acompañarse de medidas de protección para los materiales que quedan expuestos, ya que sin ellas los resultados pueden ser deficientes. En las Figuras 5.3.2 (a, b y c) se aprecia una secuencia fotográfica, con esquemas ilustrativos que muestran una falla local, el abatimiento de talud propiamente y el corte con el talud abatido y protegido con pasto de la región ("tepes"), respectivamente.



Figura 5.3.2

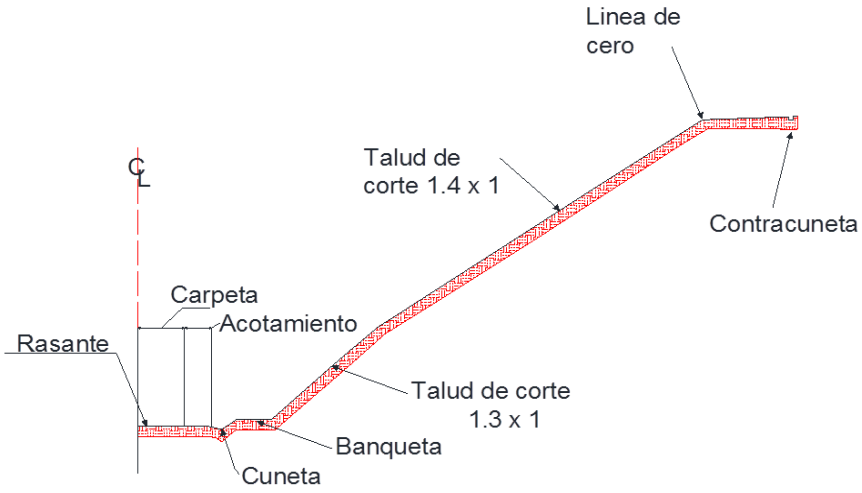


Figura 5.3.2a. Falla local de talud de corte y su estabilización mediante abatimiento vista del corte después de la falla



Figura 5.3.2 b. Falla local de talud de corte y su estabilización mediante abatimiento. Vista durante la ejecución del abatimiento



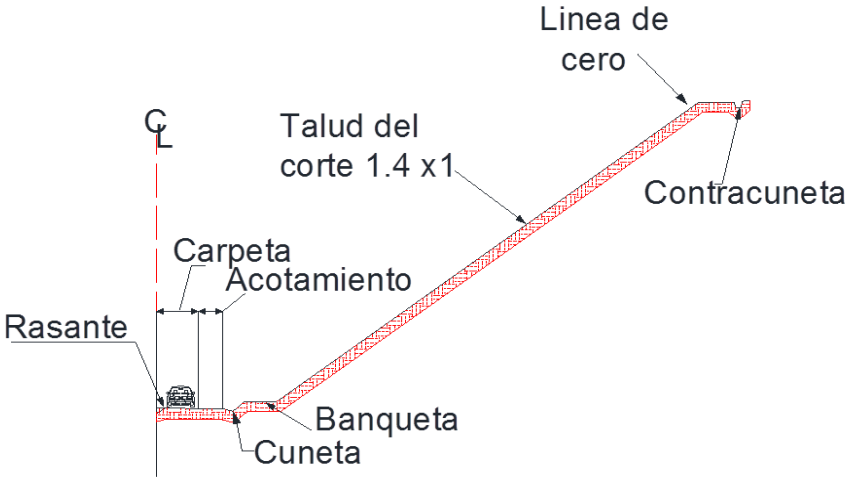


Figura 5.3.2c. Falla local de talud de corte y su estabilización mediante abatimiento. Vista del talud después del abatimiento

Construcción de Bermas de Suelo y Roca en el pie del Talud, "descopetando" la Corona. Su utilización consiste en proporcionar contrapeso en el pie del talud fallado o en incipiente estado de falla. En la práctica son efectivos en la corrección de fallas rotacionales profundas para reparar pequeños deslizamientos en los que el pie esté muy inclinado.

La recomendación particular es que si se emplean bermas, debe revisarse tanto la estabilidad general como la estabilidad en cada uno de los taludes entre ellas. Una de las ventajas principales de las bermas intermedias es la reducción en volumen y velocidad del escurrimiento sobre la cara del talud y por consiguiente la reducción de la erosión e infiltración; además, pueden atrapar fragmentos de roca desprendidos, reduciendo el daño en las estructuras construidas en el pie del talud; una de sus desventajas es que pueden ocasionar mayor infiltración cuando no se realiza el adecuado mantenimiento del drenaje y de la protección superficial. Figuras 5.3.3 y 5.3.4.



Figura 5.3.3. Fotografía que ejemplifica el esquema de la Figura 5.3.4

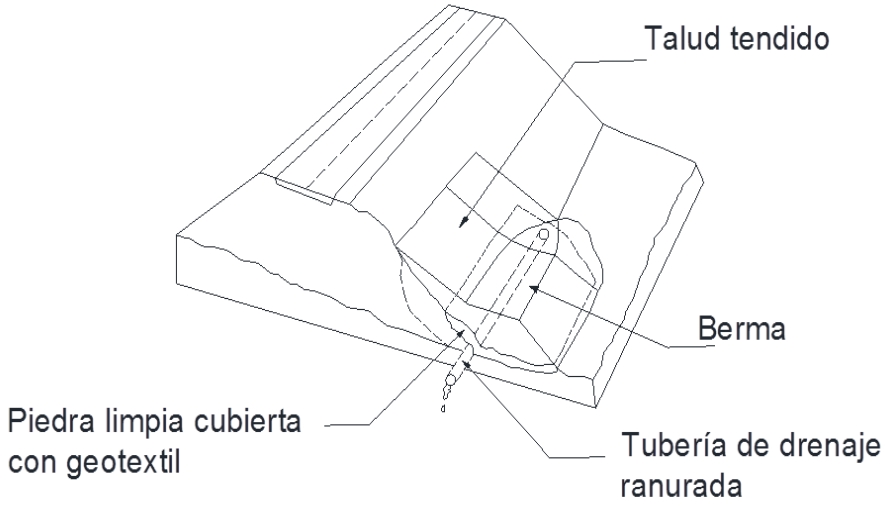


Figura 5.3.4. Esquema que muestra una solución a base de berma

Construcción de Trincheras Estabilizadoras

Las trincheras mejoran las condiciones de estabilidad del terreno y son un buen complemento a los taludes tendidos y las bermas.

El proceso constructivo consiste en que, después de excavar el material inestable, se abren zanjas cuyas paredes y fondo se cubren con geotextil, se rellena la trinchera y se coloca nuevamente geotextil en la parte superior, antes de colocar el suelo del talud. Las trincheras deben extenderse sobre toda la longitud de la falla y se llevan hasta el material competente, por debajo de la zona inestable.

Como relleno debe emplearse, de preferencia, roca triturada no deleznable, la que debe compactarse en espesores no mayores de 60 cm, evitando en todo caso que contenga más del 5% de material fino (pasa malla 200). Figura 5.3.5.

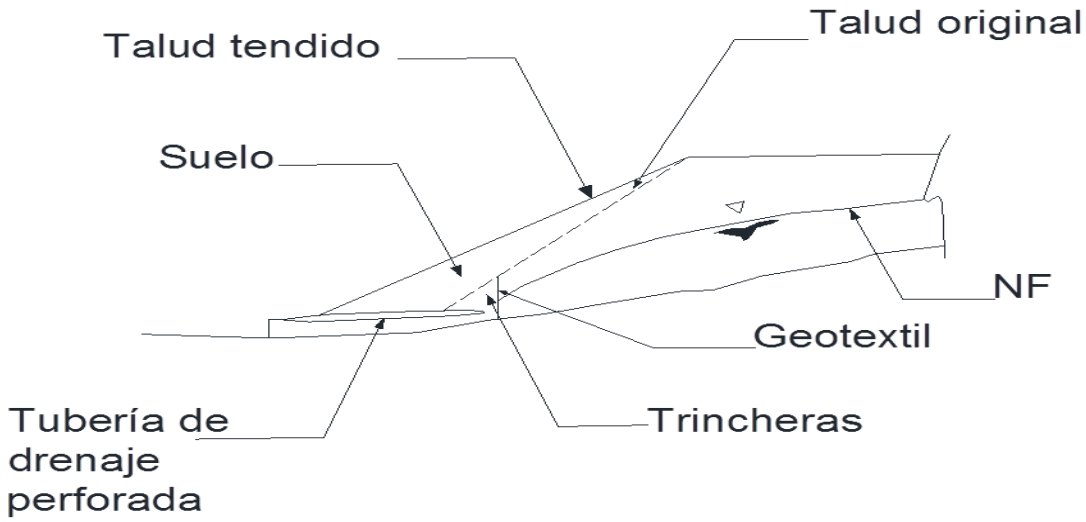


Figura 5.3.5. Esquema que muestra una solución a base de trincheras

Escalonamiento del Talud ("Terraceo")

Se aplica a taludes muy inclinados en los que, por cuestiones de derecho de vía, el tendido del talud resulte complicado; esta solución ayuda a controlar la erosión y a retener caídos provenientes de pequeños deslizamientos. El talud debe reconformarse de manera que el escurrimiento pluvial sea recolectado y conducido fuera del área potencialmente inestable. Esta solución es aplicable a taludes conformados por suelos compactos y su excavación generalmente se realiza combinando de manera manual y mecánica. Figura 5.3.6.

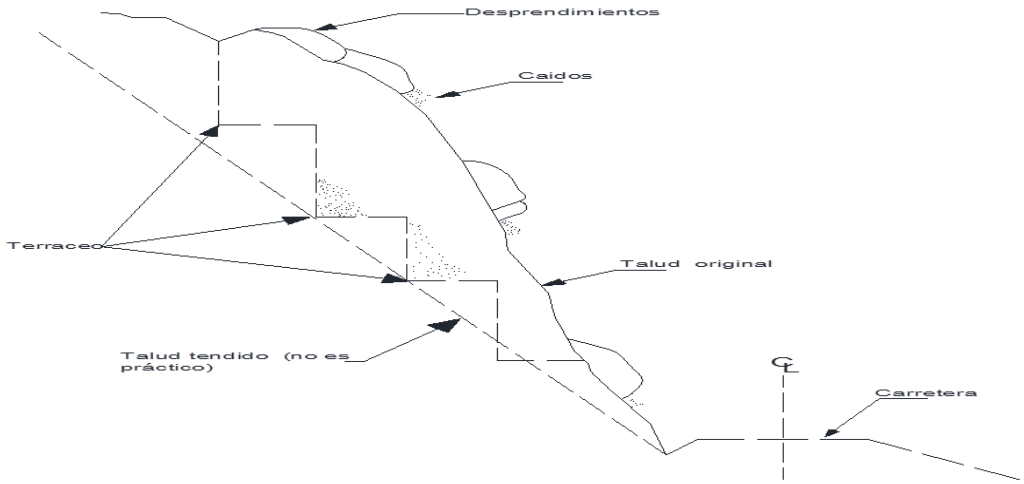


Figura 5.3.6. "Terraceo" de un talud inestable

2. Diseño de Sistemas de Drenaje Adecuados

Un buen sistema de drenaje elimina o disminuye el agua presente en la superficie y/o en el cuerpo del talud, disminuyendo por ende las presiones intersticiales y las presiones hidrostáticas en las grietas de tensión.

El agua es el principal agente que desencadena los problemas de inestabilidad de taludes, ya sea erosionando superficial e internamente al subsuelo o disminuyendo su resistencia al esfuerzo cortante.

En las Figuras 5.3.7 a la 5.3.9 se presentan de manera esquemática, algunos posibles sistemas de drenaje, que deben ser dispuestos de forma eficaz, para obtener buenos resultados.

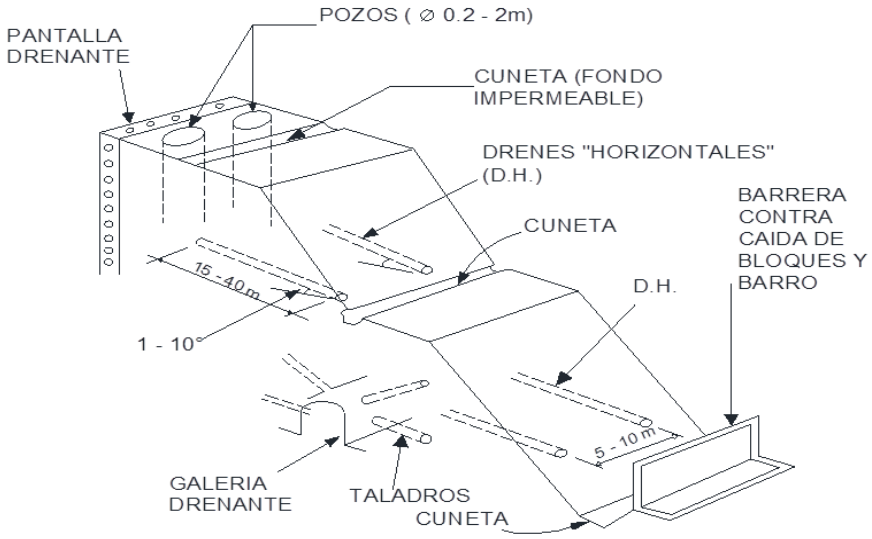


Figura 5.3.7. Sistemas de drenaje y protección en taludes (Uriel y otros, 1991)

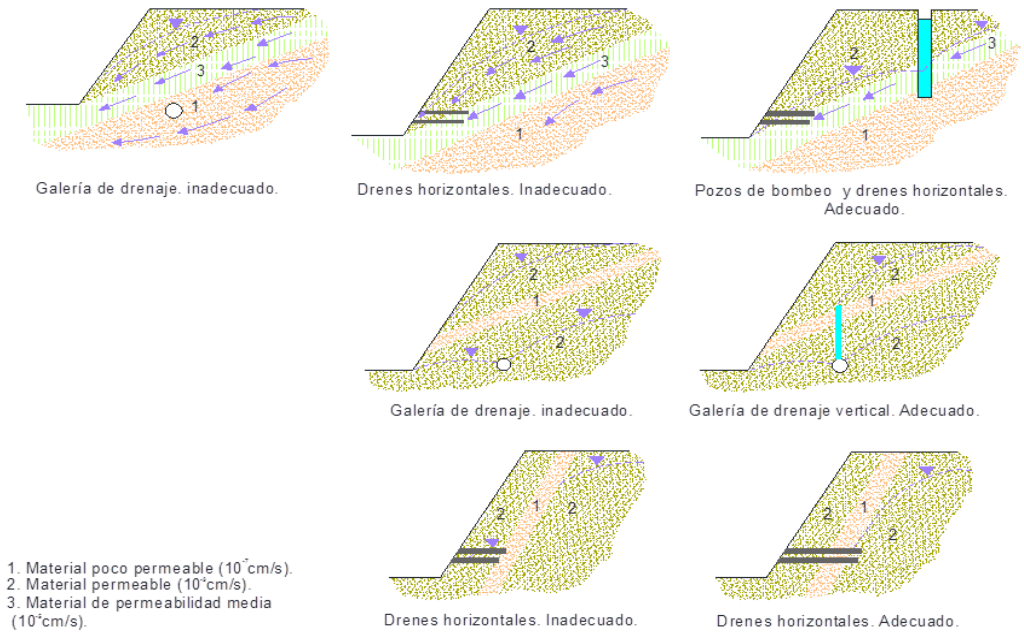


Figura 5.3.8. Disposición y eficacia de los sistemas de drenaje en un talud

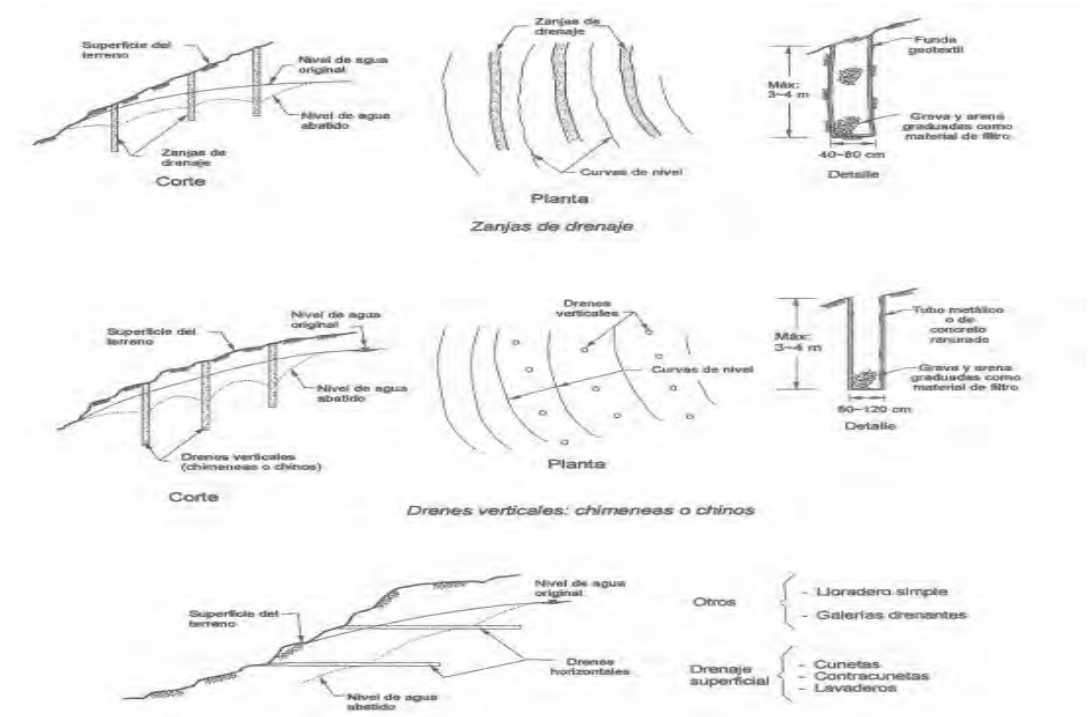


Figura 5.3.9. Algunas técnicas para el drenaje de taludes y cortes

El método normalmente usado en cortes consiste en la colocación de drenes de penetración transversal los cuales constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en tuberías horizontales, ranuradas e insertadas transversalmente en los taludes de cortes o rellenos para aliviar la presión de poro, en la mayor parte de los casos extrayendo agua del suelo.

La tubería se instala mediante perforaciones de diámetro mayor, realizadas sobre el talud del corte con máquina rotatoria. Una vez que se ha realizado la perforación, se limpia y se coloca la tubería de 2 ó 2 ½" de diámetro, perforada y cubierta con geotextil no tejido para evitar la migración de finos por las ranuras.

La parte del tubo del dren que queda próximo a la salida en el interior del corte, debe dejarse sin ranurar en una longitud de 30 cm para evitar la obstrucción de los drenes, debiendo quedar 0.10 m fuera del talud.

Una vez colocado el dren, se sella con un mortero de 150 kg/cm^2 en la parte del tubo próxima al paramento del talud. En las Figuras 5.3.10 a 5.3.13, se observa el proceso de instalación de drenes.

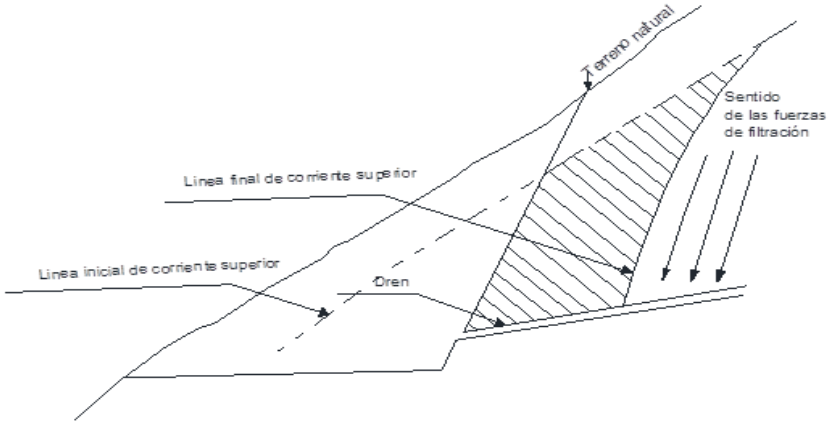


Figura 5.3.10. Esquema donde se muestra la forma de captación de un drenaje transversal de talud



Figura 5.3.11. Detalle de la colocación de un dren transversal de talud

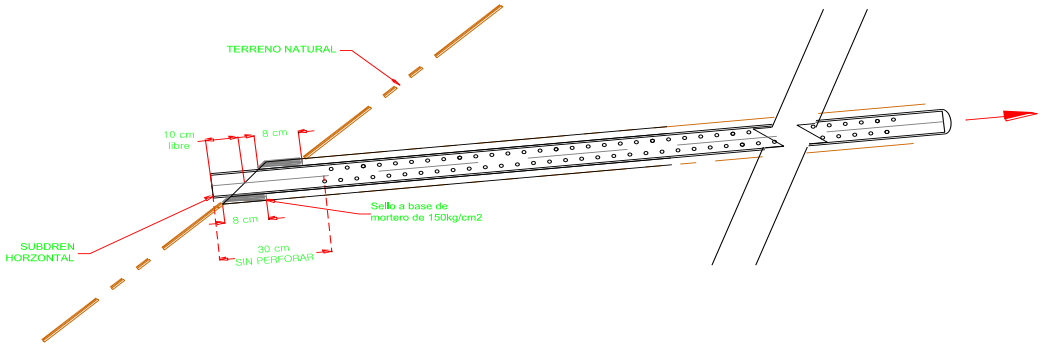


Figura 5.3.12. Corte estabilizado mediante la colocación de drenes

3. Aumento de la Resistencia del Subsuelo Mediante la Introducción en el Cuerpo del Talud de Elementos Estructurales Resistentes

Tienen como finalidad aumentar la resistencia al esfuerzo cortante mediante algunos de los siguientes sistemas:

- Introducción de elementos que mejoren la resistencia del subsuelo en la superficie de falla (pilotes, micro pilotes), o elementos que aumenten las fuerzas tangenciales en la superficie de falla, como inclusiones del tipo de columnas de “Jet Grouting”.

  Para el primer caso, las pantallas de pilotes, son estructuras típicas para mejorar la resistencia del subsuelo, al atravesar la zona deslizada o con posibilidad de deslizamiento y empotrarse en el estrato competente. Según la práctica que ha dado buenos resultados, los diámetros de los pilotes varían entre 0,60 a 2 m, aun cuando es frecuente arriostrarlos con vigas metálicas en la parte visible de los mismos (cabeza del pilote).

Para pantallas a base de micropilotes, cuyo comportamiento mecánico es similar al de la pantalla con pilotes, se utilizan diámetros y longitudes menores, generalmente entre 12 y 15 cm y 15 a 20 m, respectivamente. Figuras 5.3.13 a la 5.3.16.



Figura 5.3.13. Pantalla de pilotes anclada

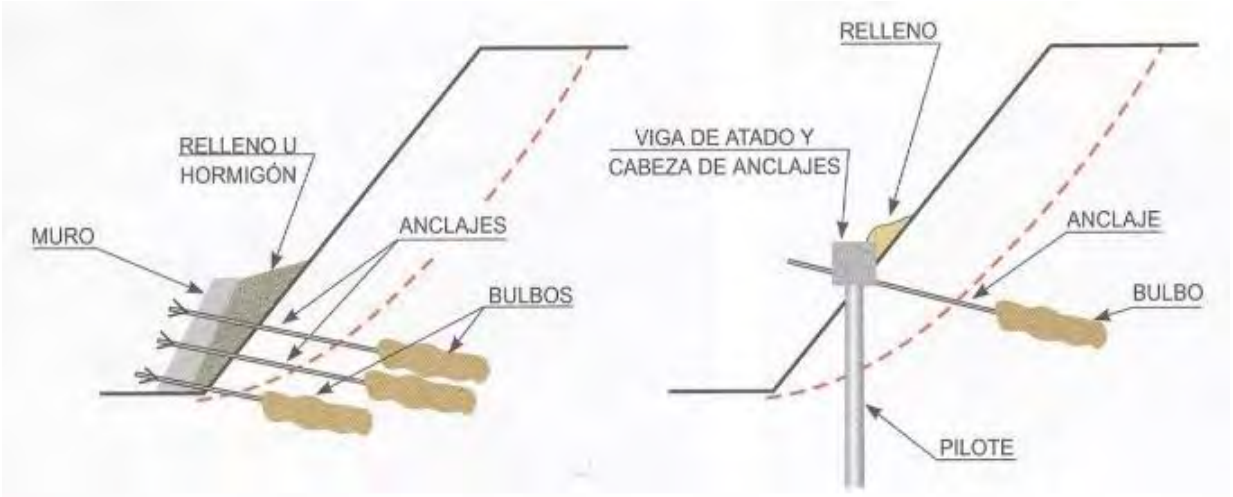


Figura 5.3.14. Pantalla de pilotes anclada



Figura 5.3.15. Instalación de anclaje para reforzar el talud, unidos mediante vigas de concreto armado para que trabajen de manera uniforme

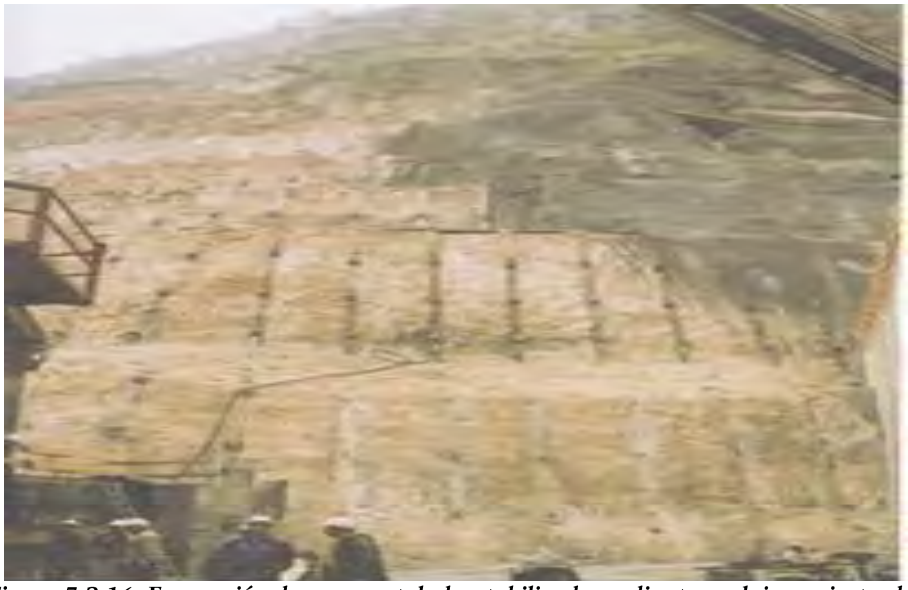


Figura 5.3.16. Excavación de un gran talud, estabilizado mediante anclajes arriostrados

Por su parte el "Jet Grouting" es una técnica relativamente nueva, inventada en los años sesenta (Henn, 1996), que consiste en inyecciones de mortero mediante chorros a alta presión dirigidos lateralmente a las paredes de un pozo. Este chorro excava y mezcla al mismo tiempo el suelo; para mejorar la acción de corte se añade aire a presión. El resultado es una inclusión de suelo mortero con mayor resistencia que el suelo original.

Los métodos comunes de aplicación del Jet Grouting consisten básicamente en dos etapas, la de perforación y la retracción con inyección simultánea. Figura 5.3.17.

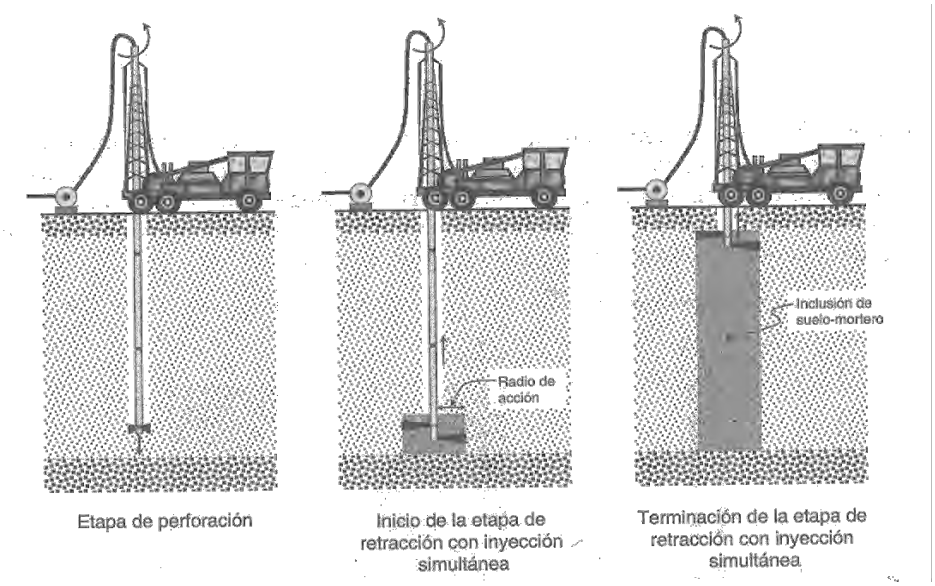


Figura 5.3.17. Etapas básicas de la técnica del Jet Grouting

De acuerdo con el Manual de Construcción Geotécnica, el radio final que se logra con la inclusión del Jet Grouting se denomina radio de acción y depende de los siguientes factores:

- Presión de trabajo que se genera mediante bomba especial con capacidad de 100 a 82,000 kPa
- Tiempo de inyección, que se determina por medio de la velocidad a la que se extrae y rota la barra de perforación.
- Resistencia al esfuerzo cortante del suelo antes del tratamiento.
- Tamaño de los orificios de la barra de perforación.
- Peso específico del mortero de inyección.

En la Figura 5.3.18 se muestran los distintos tipos de obras en donde su aplicación es de mucha utilidad.

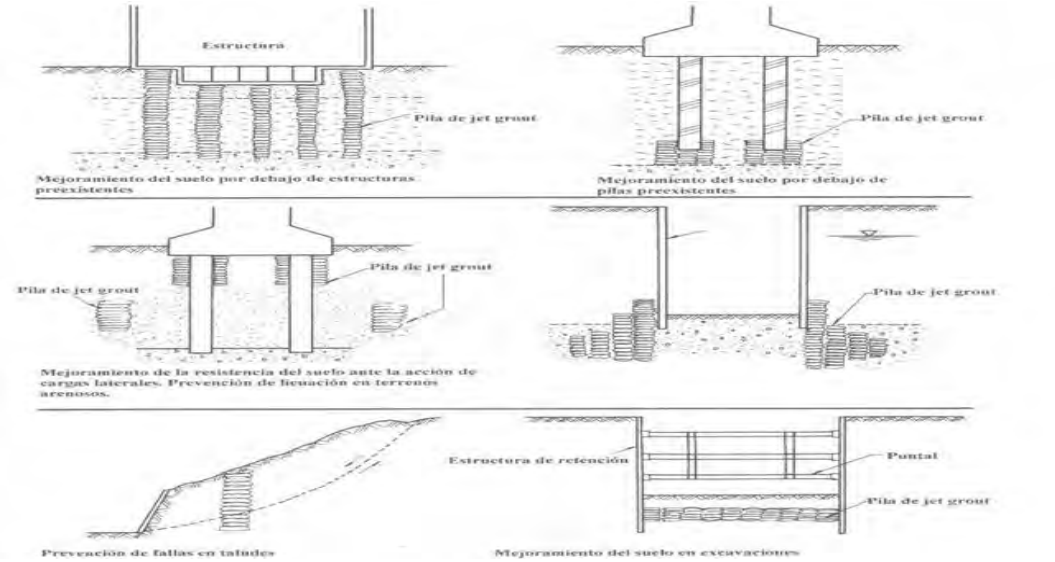


Figura 5.3.18. Diferentes aplicaciones de la técnica Jet Grouting

4. Introducción de Elementos que Aumenten las Fuerzas Tangenciales en la Superficie de Falla (Anclajes)

Las anclas se utilizan para aplicar fuerzas dentro de una masa de suelo o roca con el fin de mantener o restablecer su estabilidad. Los sistemas de anclaje generan las fuerzas externas necesarias para mantener o lograr la estabilidad de taludes o excavaciones a cielo abierto o en túneles o galerías subterráneas. Su utilización puede ser individualmente o como complemento de estructuras de retención.

Las anclas o sistemas de anclaje constituyen la solución idónea para estabilizar muchos cortes carreteros en rocas y suelos. Para un eficiente comportamiento y por tanto un buen resultado, es menester considerar todos los aspectos esenciales para el análisis y diseño, así como revisar detalladamente las dificultades constructivas y considerarlas claramente en los planos constructivos y especificaciones que se generen para la obra.

Como se menciona en la Referencia Bibliográfica, el uso y aplicación de sistemas de anclajes se ha visto favorecido por: el desarrollo de técnicas de perforación e inyección cada vez más eficientes y mejoras en la calidad de los aceros en cuanto a su durabilidad, como consecuencia de la demanda originada por la construcción de excavaciones en grandes áreas y a mayor profundidad, incluso bajo el nivel freático.

Un sistema de anclaje es un sistema constructivo versátil que permite adaptarlo a condiciones geotécnicas muy variadas, utiliza la capacidad del suelo o roca donde se instala como medio de soporte, ocupa menos espacio durante su instalación con sistemas equivalentes y particularmente, para el caso de las carreteras, mantiene la estabilidad de taludes y cortes en situaciones especiales donde constituye la única solución posible.

Sin embargo, presentan algunas restricciones para su uso, relacionadas a las condiciones del medio donde se instalan, tales como: la forma de trabajo de los propios sistemas de anclaje, los procedimientos constructivos que se emplean para colocarlos y la existencia de ambientes agresivos.

Su versatilidad permite utilizarlos en suelos y en rocas, en taludes y en cimentaciones, en carreteras y en presas y hasta en ambientes marinos, considerando la agresividad de este y tomando todas las previsiones para el caso. Para el análisis y el diseño de estos sistemas, en los **Apéndices A.5.3.1 al A.5.3.4** de esta Guía se dan mayores detalles.

A continuación se presentan en las Figuras 5.3.19 a 5.3.41, una secuencia gráfica que muestra los elementos que la componen, así como diferentes tipos de anclas y casos de aplicación.

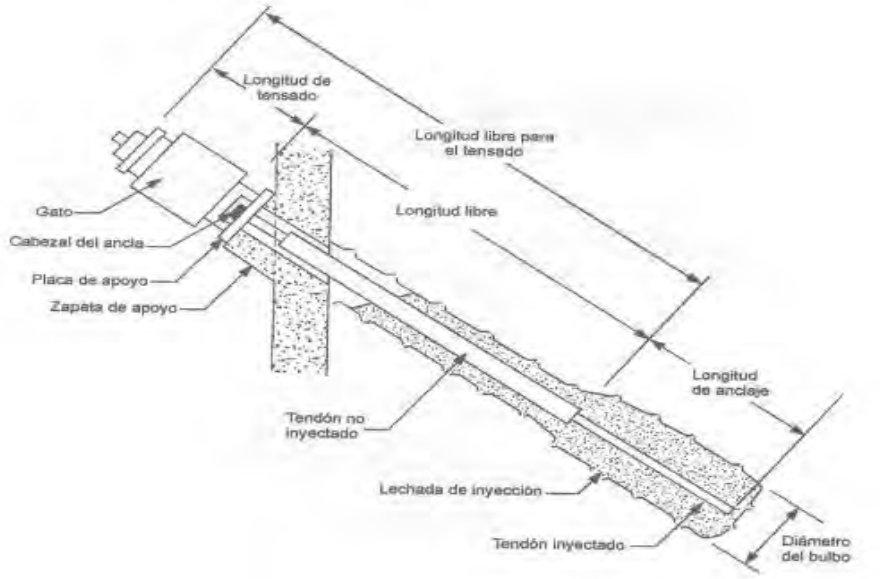


Figura 5.3.19. Principales componentes de un ancla

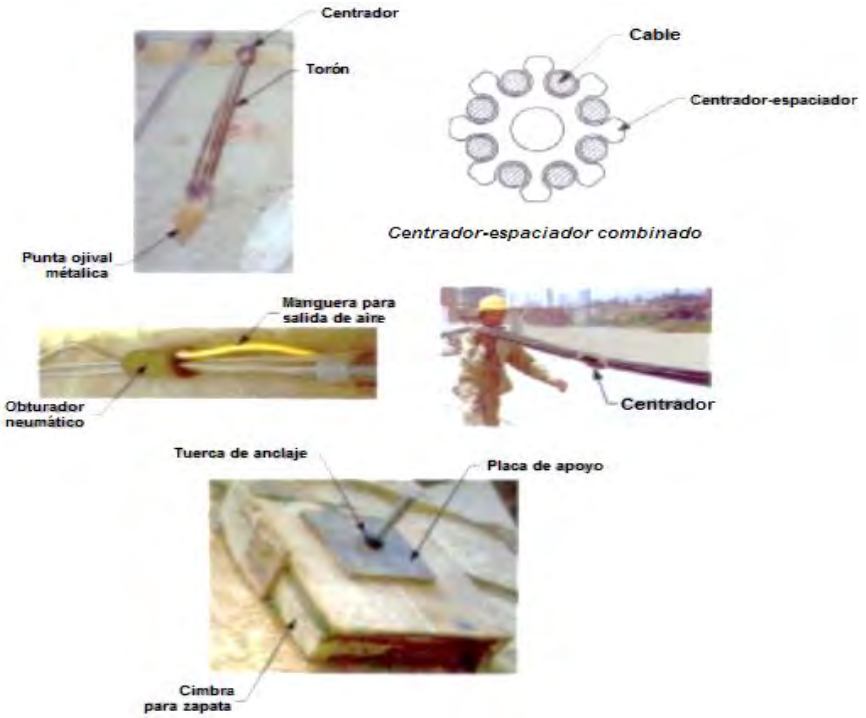


Figura 5.3.20. Diversos dispositivos auxiliares en sistemas de anclaje

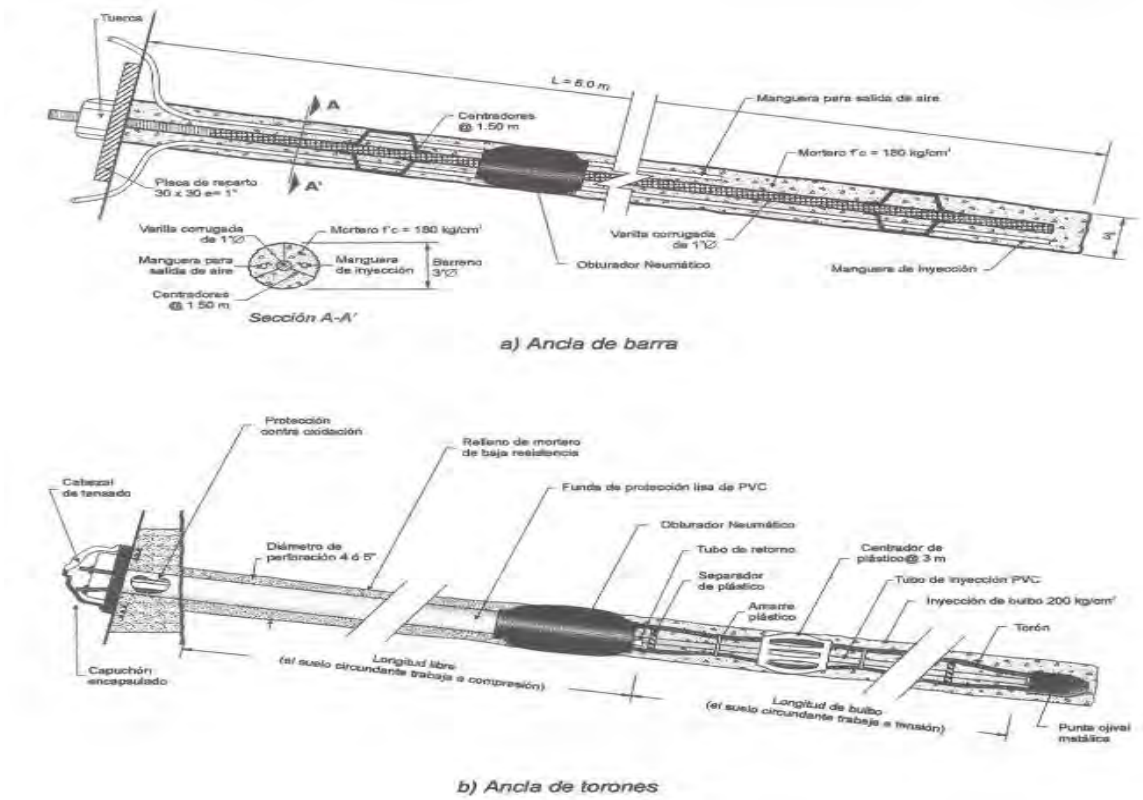


Figura 5.3.21. Anclas de barra de acero y torones

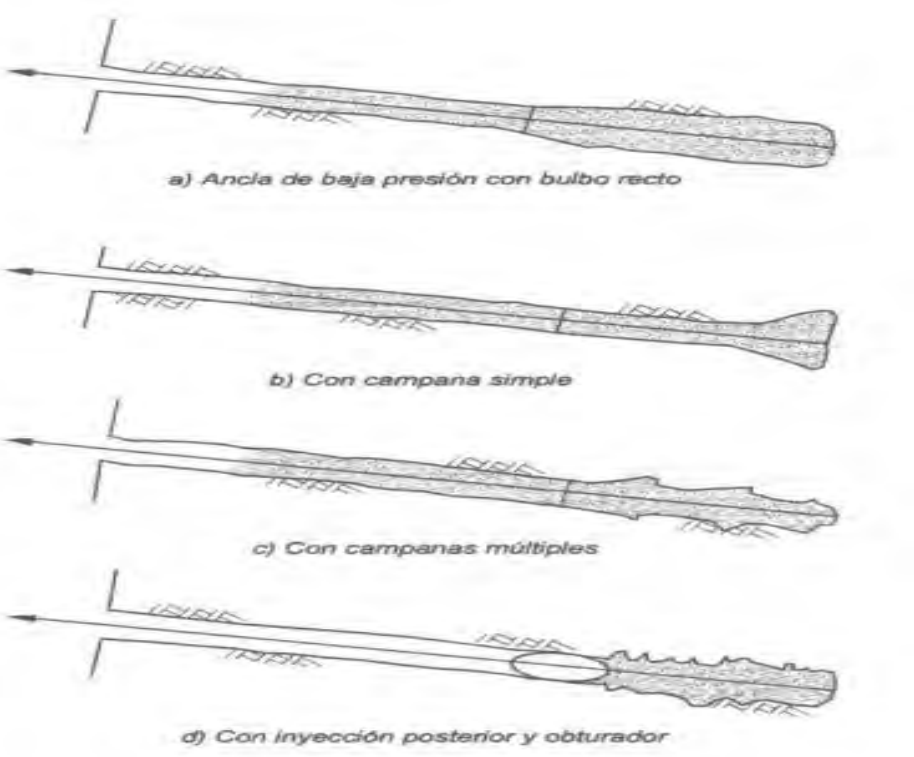


Figura 5.3.22. Anclas de presión y con campana

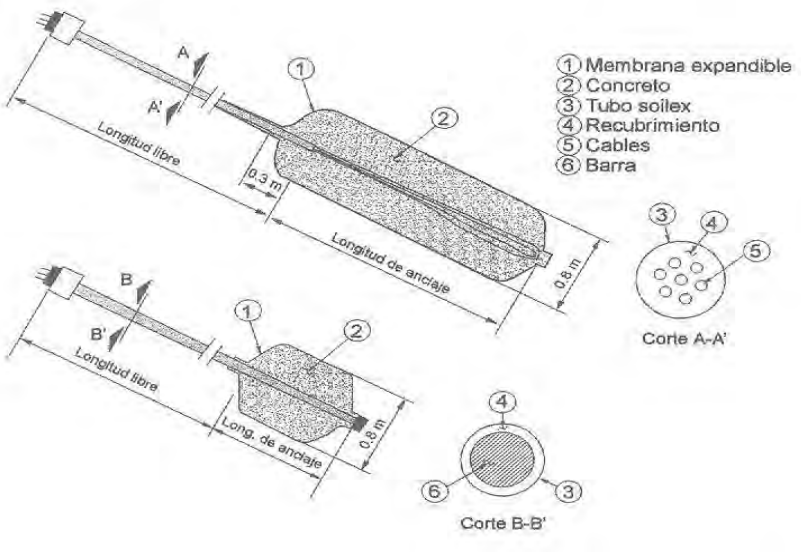


Figura 5.3.23. Ancla con membrana expandible confinada

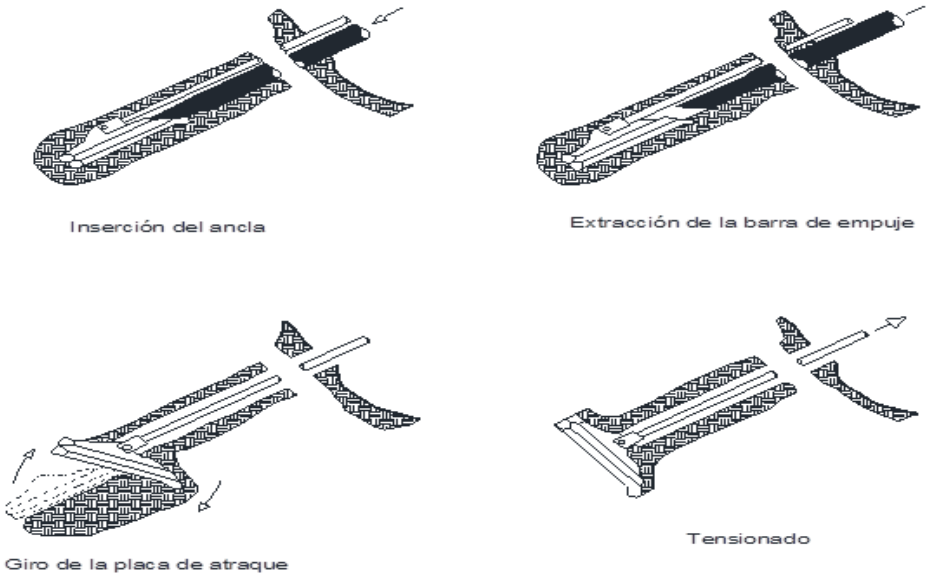


Figura 5.3.24. Ancla de fijación mecánica para suelos blandos (sistema Manta Ray)

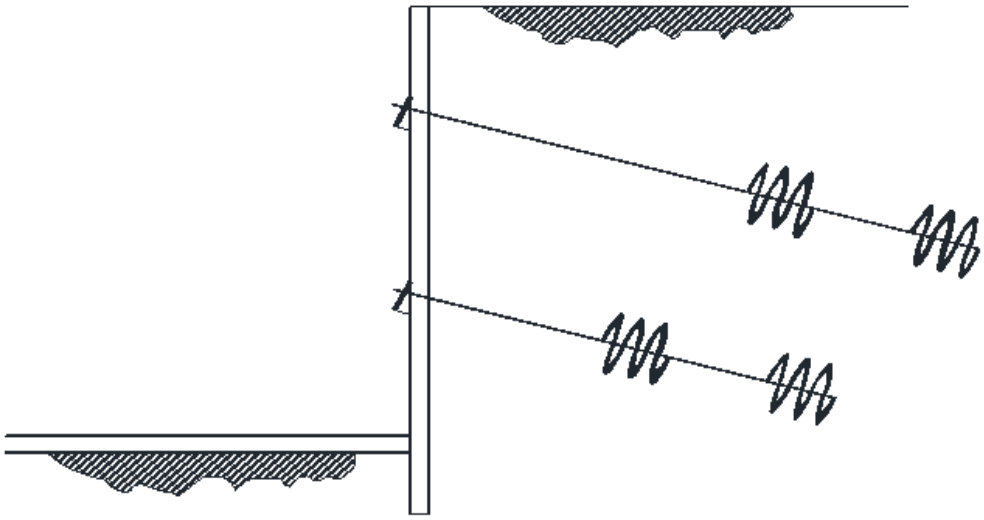


Figura 5.3.25. Anclas de tornillo Helicoidal

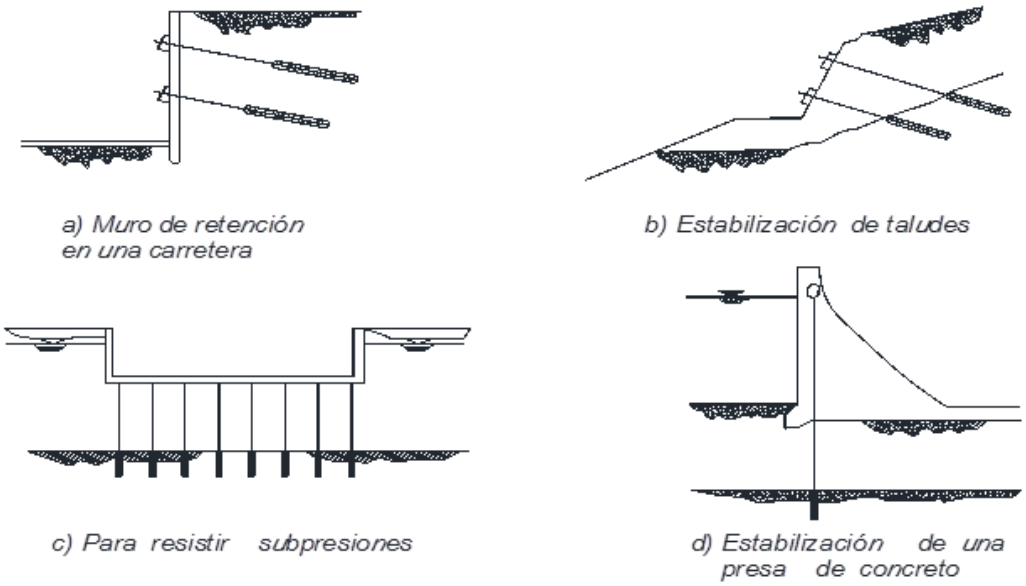


Figura 5.3.26. Algunas aplicaciones de sistemas de anclaje

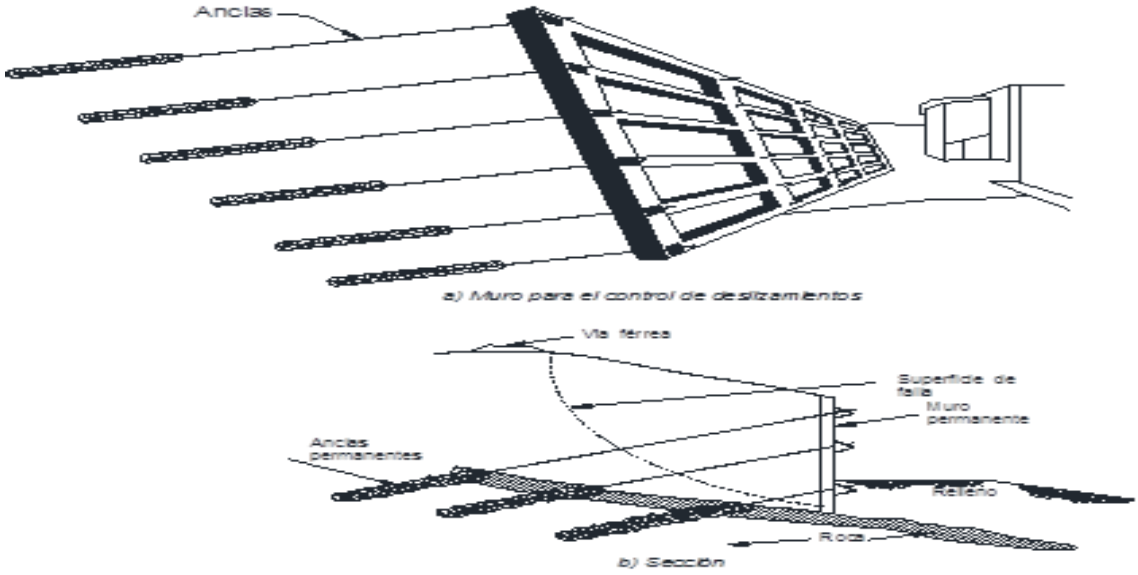


Figura 5.3.27. Ejemplo de muro anclado para estabilizar un deslizamiento

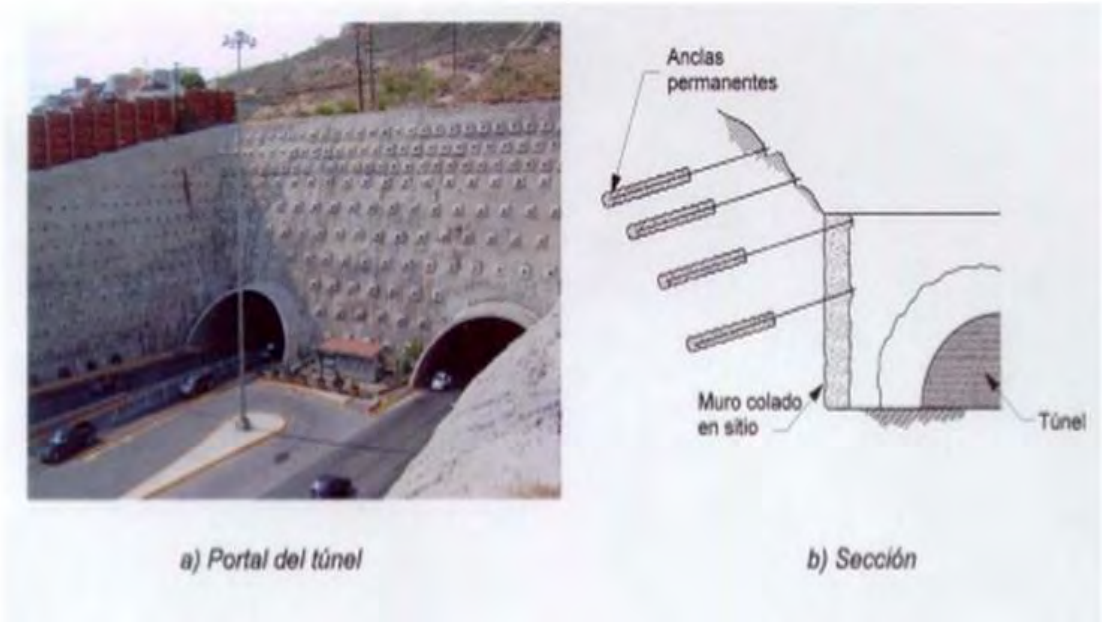


Figura 5.3.28. Muro de retención anclado

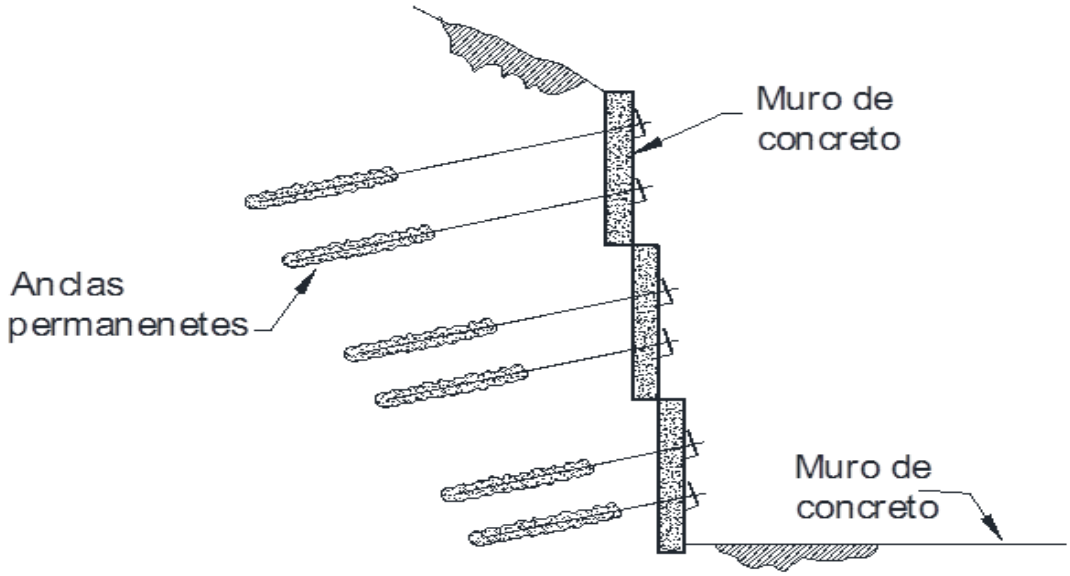


Figura 5.3.29. Muro anclado para estabilizar el portal de un túnel

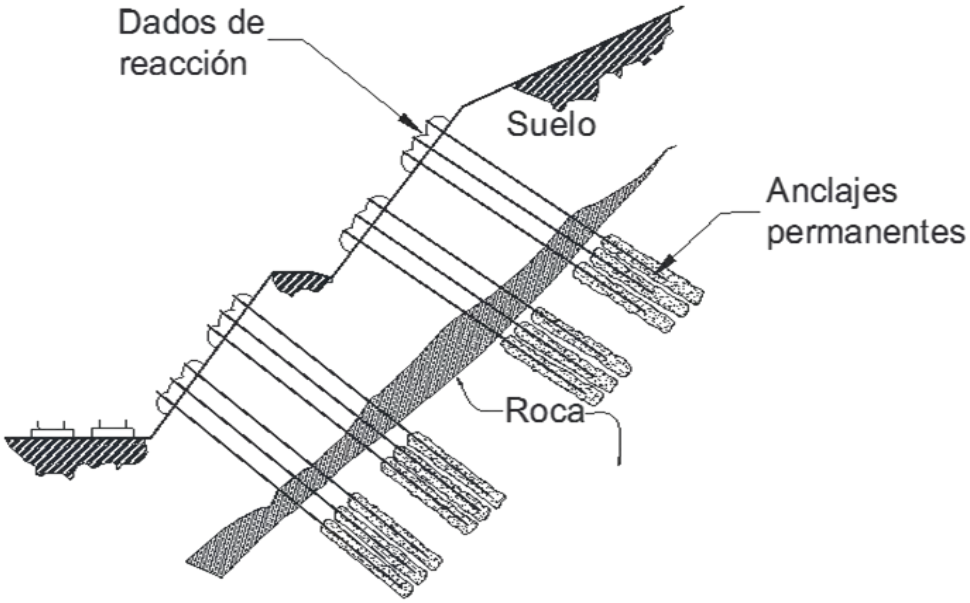


Figura 5.3.30. Anclas con dado de reacción en un macizo rocoso

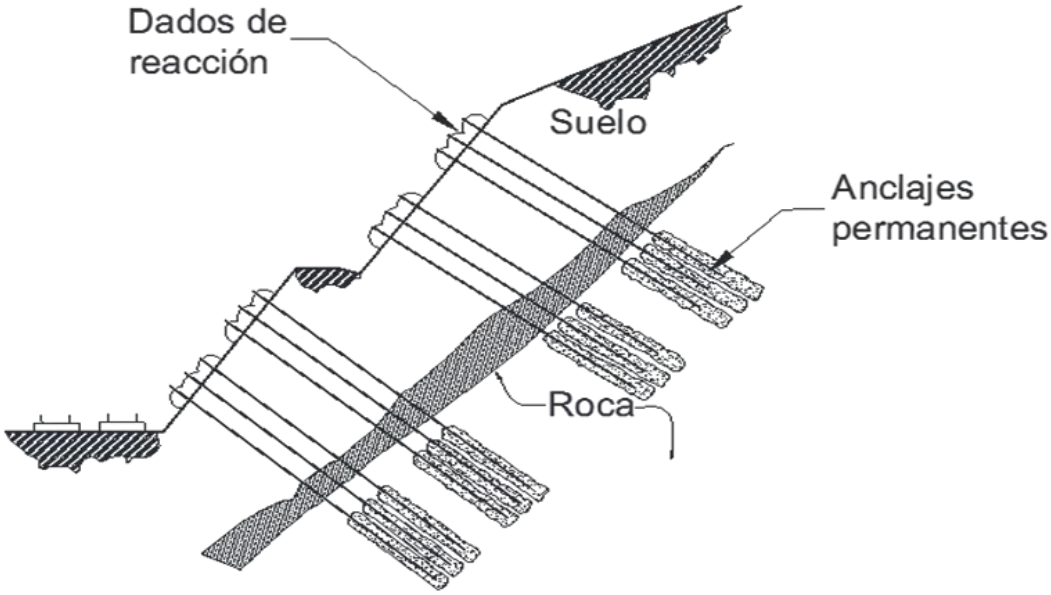


Figura 5.3.31. Estabilización de un corte con anclas empotradas en roca

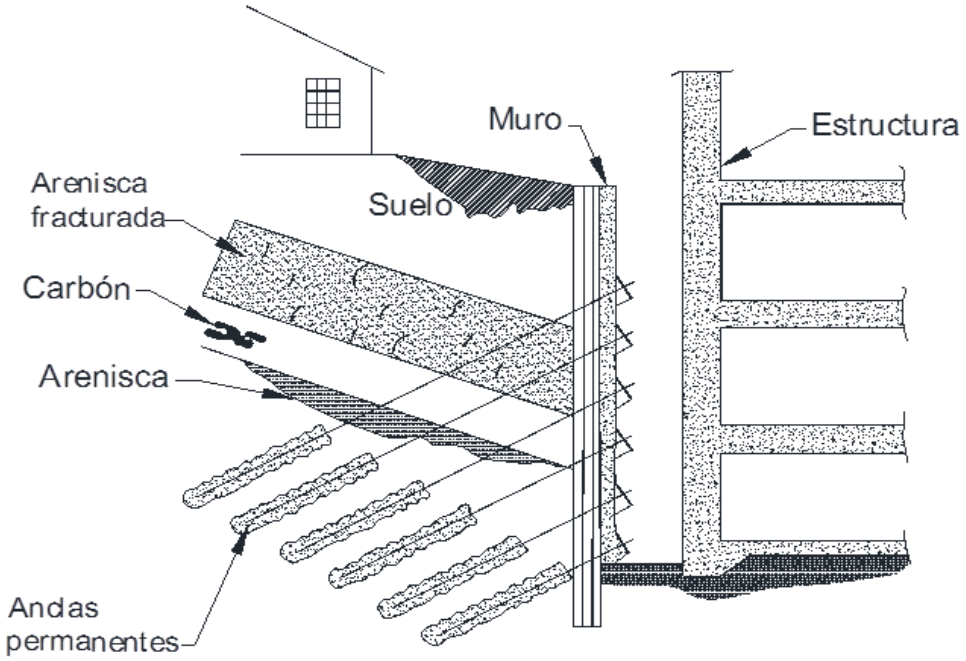


Figura 5.3.32. Uso de anclas para estabilizar un corte en rocas estratificadas de diferentes calidades

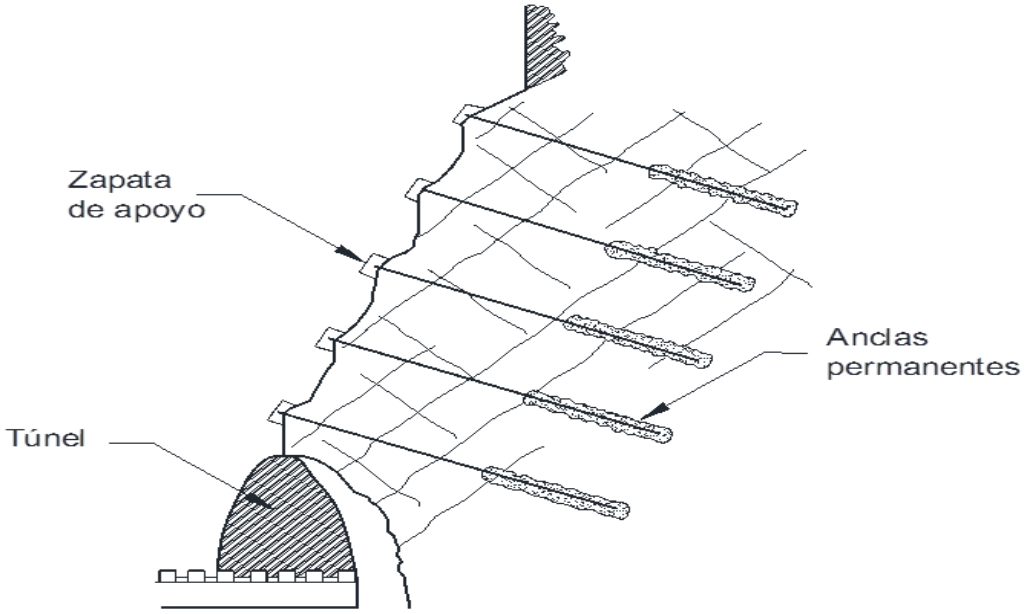


Figura 5.3.33. Anclas en roca para estabilizar el portal de un túnel

Muros y Elementos de Contención. Generalmente los muros se construyen al pie del talud como elementos resistentes, de contención o de sostenimiento; su efectividad se da más en el caso de inestabilidades superficiales aunque también se utilizan como elementos de protección contra erosión.

Los diferentes tipos de muros tienen una serie de características que los hacen adecuados en distintos casos de estabilización; los muros comúnmente usados en estabilización y/o protección de taludes, son los formados a base de gaviones.

Muro de Gaviones. Es un elemento modular en forma de paralelepípedo, tipo caja, confeccionado a partir de redes metálicas con malla hexagonal de triple torsión, llenado con rocas de tamaño entre 4" y 10", costuradas o unidas sus juntas, formando estructuras monolíticas flexibles, destinadas a retener o contener deslizamientos y/o controlar procesos erosivos de suelos en laderas, taludes o terraplenes.

Para su construcción, generalmente se realiza una excavación de 0.50 m de profundidad en donde se instala la base del muro, la cual se forma con gaviones de mayor dimensión; la altura y longitud del muro depende del área del talud por proteger y para adaptar el muro a la geometría del talud, se debe excavar o rellenar para colocar los gaviones.

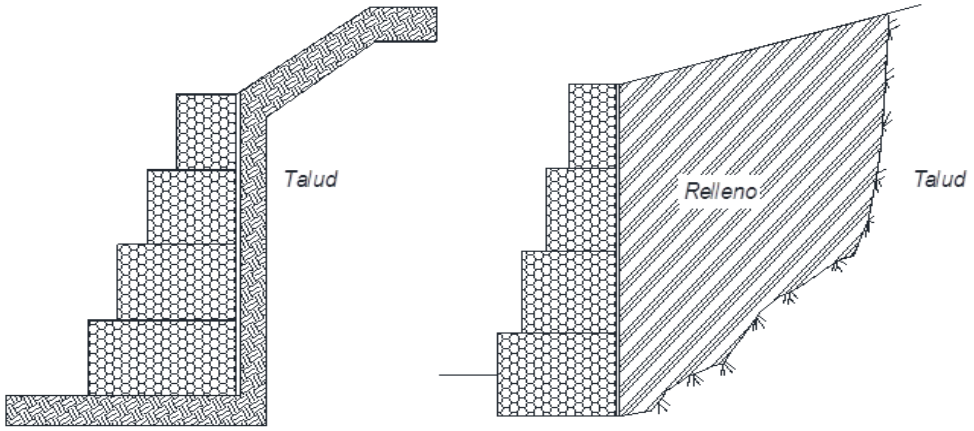


Figura 5.3.34. Muros de gaviones escalonado con relleno y sin relleno entre el muro y el talud

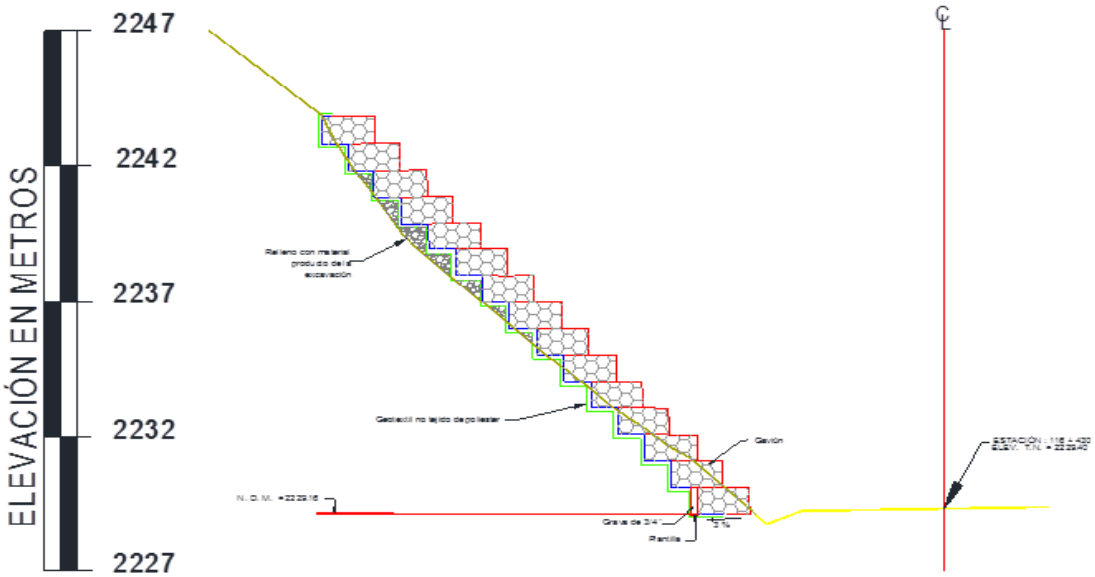


Figura 5.3.35. Sección constructiva de un muro de gaviones escalonado sobre el talud de un corte en carretera



Figura 5.3.36. Muro de gaviones sobre el talud

Ocasionalmente se utilizan muros anclados, es decir muros reforzados con anclaje para mejorar la resistencia al vuelco y al deslizamiento.

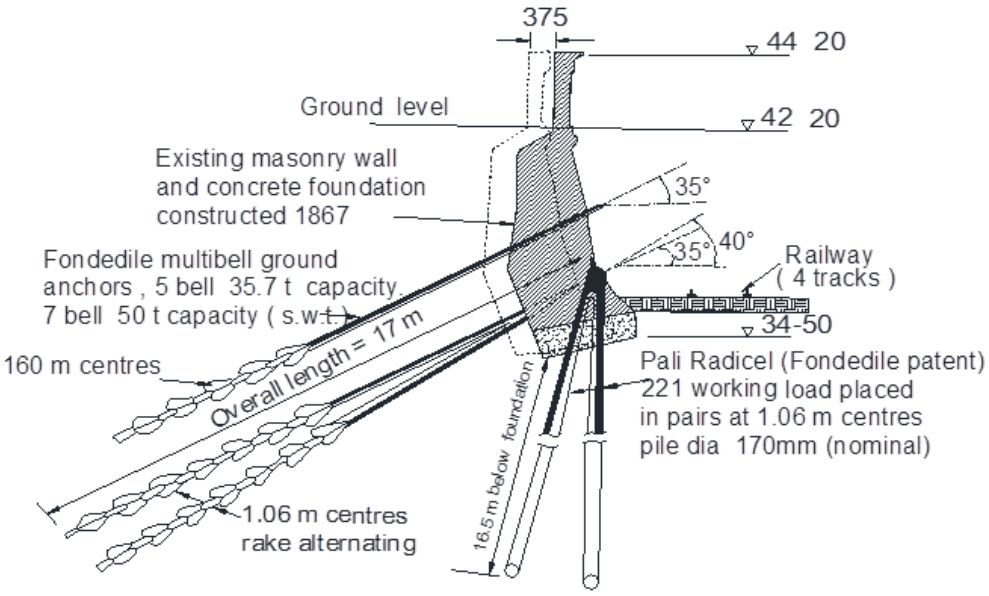


Figura 5.3.37. Estabilización de muro utilizando anclaje presforzado en suelos

Muros de Suelo Cemento. Son otro tipo de estructuras de contención que se utiliza en la estabilización de taludes; generalmente se forman con material producto de excavación mezclado con cemento Portland.

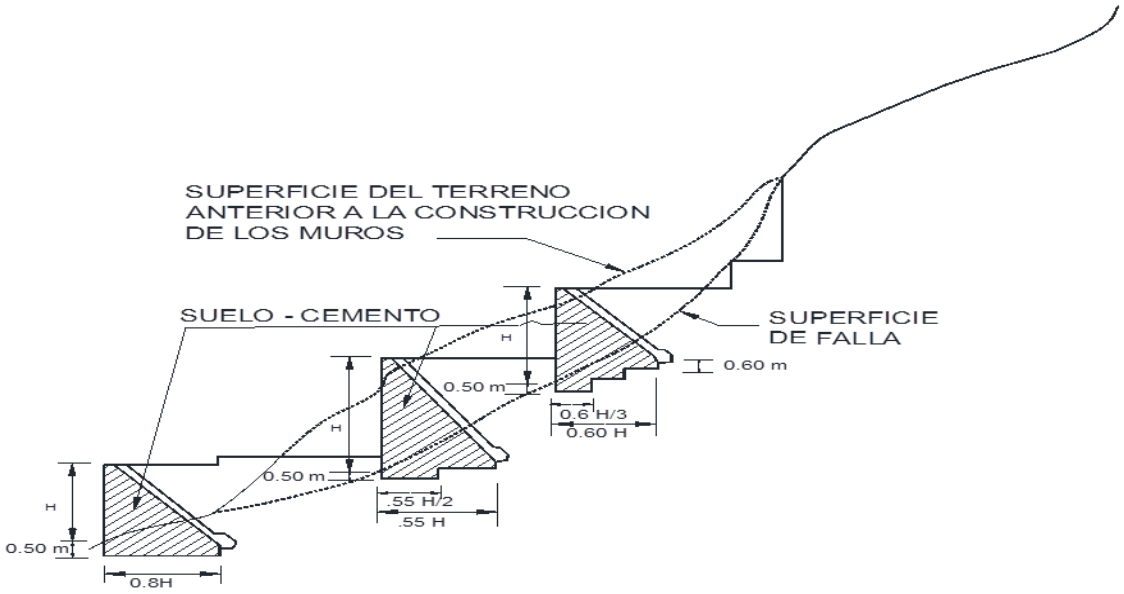


Figura 5.3.38. Esquema que muestra muros escalonados formados con suelo-cemento

Muros Pantalla. Consisten en elementos de concreto armado construidos "in situ" en zanjas excavadas por debajo de la superficie del terreno, cuya acción estabilizadora es similar a la de las pantallas de pilotes.



Figura 5.3.39. Excavación realizada para alojar un muro pantalla

Muros Mecánicamente Estabilizados. Son otro tipo de muros flexibles construidos por un paramento exterior prefabricado de concreto o chapas metálicas y relleno de suelo, reforzado mediante bandas metálicas o de material sintético, anclados al talud.

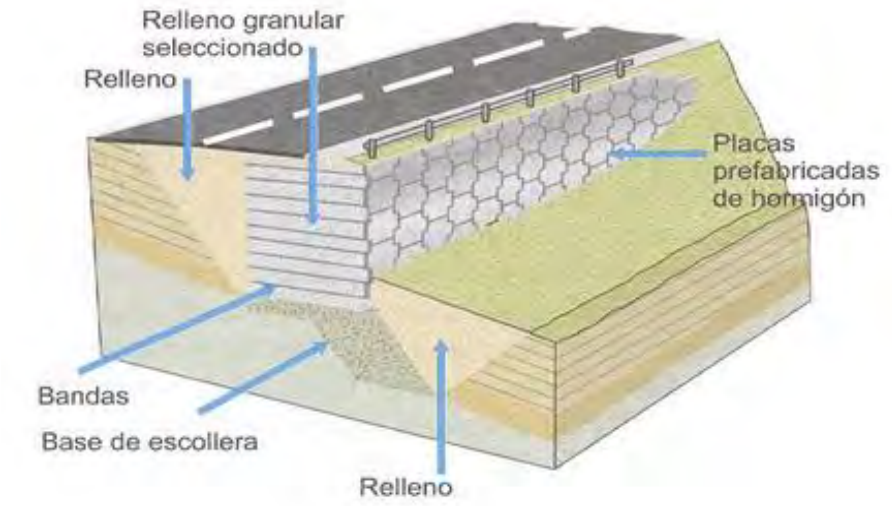


Figura 5.3.40. Muro mecánicamente estabilizado

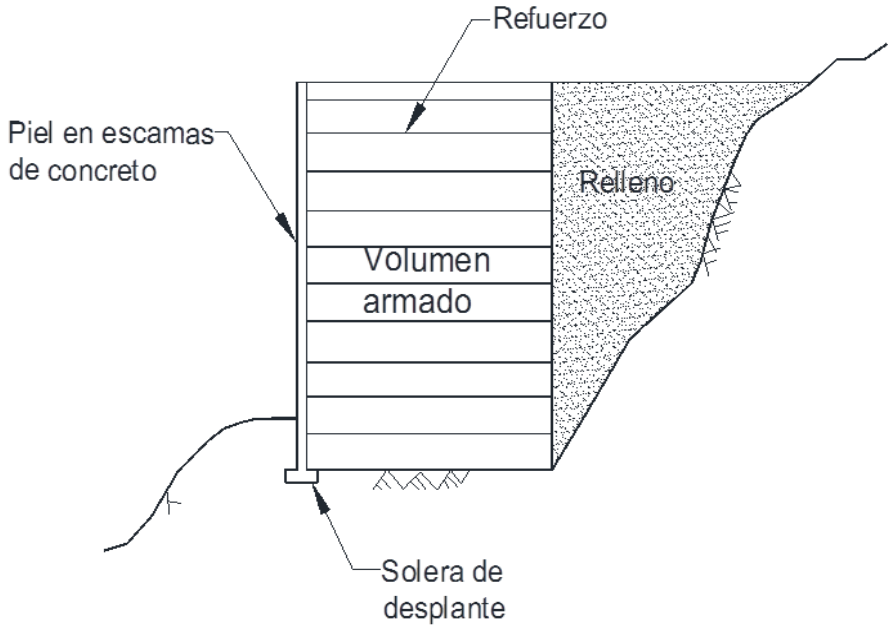


Figura 5.3.41. Esquema de un sistema de retención formado con tierra armada

5. Técnicas de Protección Superficial de Taludes

Finalmente, si el talud no está en riesgo de deslizamiento o no tiene problemas de estabilidad, se pueden adoptar algunas medidas preventivas de protección superficial, las que tienen como finalidad: eliminar los problemas de caídos, aumentar la seguridad del talud frente a fallas superficiales, evitar o reducir la erosión y la meteorización en el frente del talud, evitar la entrada de agua de escurrimiento superficial al talud.

Las soluciones más comunes consisten en:

- Instalación de mallas metálicas.
- Colocación de pasto de la región (tepes).

- Colocación de Geotextiles.

- Colocación de concreto lanzado.

Instalación de Mallas Metálicas

Uno de los problemas más graves que presentan los taludes en las carreteras, es el desprendimiento de material suelto, por lo que una alternativa para evitar que dicho material invada las superficie de rodamiento será colocar malla de alambres de acero galvanizado, que entrelazados mediante el sistema "triple torsión", formen un tejido capaz de soportar determinados esfuerzos de tracción. La malla se fijará mediante anclas.

La malla triple torsión anclada y reforzada con cables, forma un sistema de componentes anclados sobre una superficie evitando y controlando desprendimientos con lo cual se aporta estabilidad superficial al terreno, con una capacidad de carga definida.

Proceso de Instalación

La malla se coloca en toda la superficie con problemas de derrumbe, debiendo quedar por lo menos 2 m sobre la corona del corte después de la línea de ceros y se instala de la siguiente manera:

La malla se suministra en rollos de 3 m de ancho y 120 m de longitud. Los rollos se colocarán en la parte superior del corte, rodándolos cuesta debajo de manera que se forme un lienzo, a lo largo del talud. Para cubrir toda la superficie será necesario unir a lomo de varios lienzos mediante alambre recocido, haciendo amarres tipo armado de varilla para losa. Figura 5.3.42.



Figura 5.3.42. Unión de varios lienzos de malla

Sujeción de la malla

La sujeción de la malla se realiza mediante la colocación de anclas de varilla corrugadas, cementadas con mortero cemento arena de la siguiente manera:

- **Corona del Talud.** Se colocan anclas de 3 m de longitud y ½" de diámetro a cada 2 m, de acuerdo con la Figura 5.3.43.

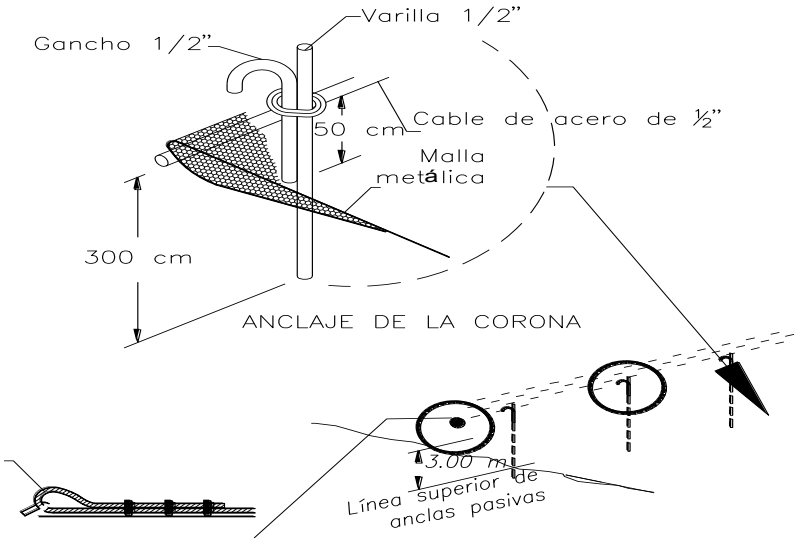
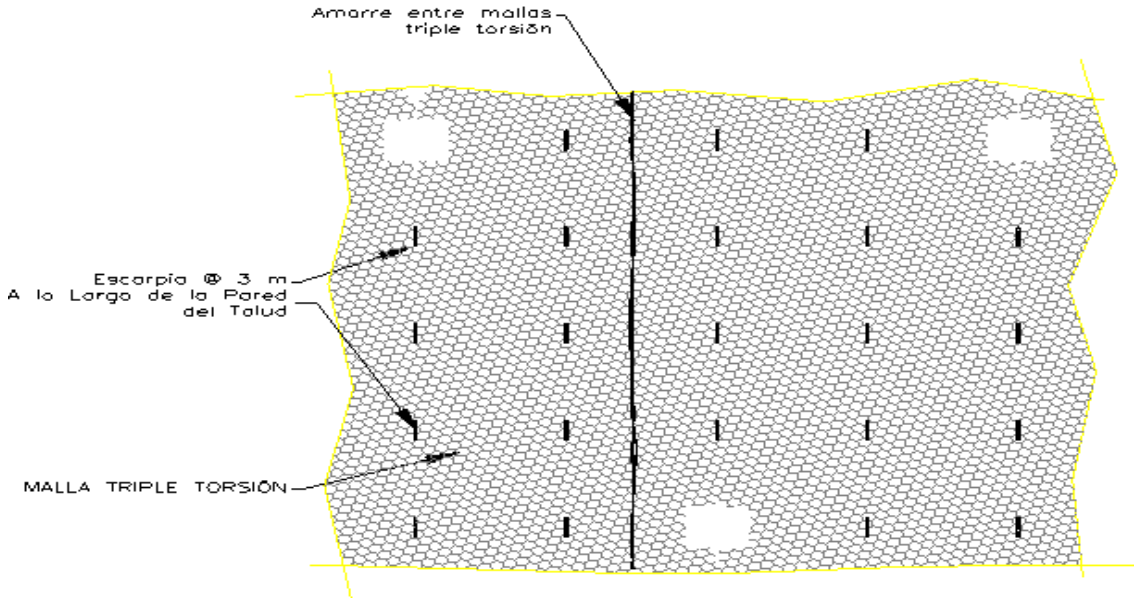
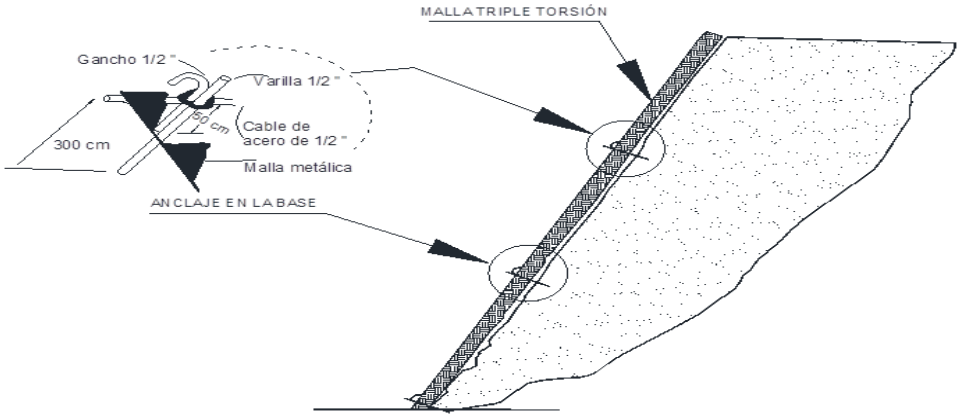


Figura 5.3.43. Colocación de anclas en la corona del talud

- **Cuerpo del talud**. Se colocan anclas de 3 m de longitud y ½" de diámetro a razón de un ancla por cada 15 m^2 de área, de acuerdo con las Figuras 5.3.44, 5.3.44a, 5.3.45 y 5.3.46.



Figuras 5.3.44. Colocación de anclas en el cuerpo del talud, vista frontal



Figuras 5.3.44a. Colocación de anclas en el cuerpo del talud, en corte



Figura 5.3.45. Proceso de amarre y fijación de malla



Figura 5.3.46. Terminado de amarre y fijación de malla

Base del Talud

Se colocan anclas de 3.00 m de longitud y ½" de diámetro a cada 2 m, dejando libre la parte inferior de la malla, que se dobla sobre un cable de acero de ½" de diámetro fijado a anclas de 0.90 m de longitud, el cual debe permitir operaciones de descarga de material acumulado.

Todas las anclas se unen a un cable de acero de ½" de diámetro colocado de manera vertical y longitudinal. En la Figura 5.3.47, se muestra un esquema de un corte protegido con malla triple torsión.

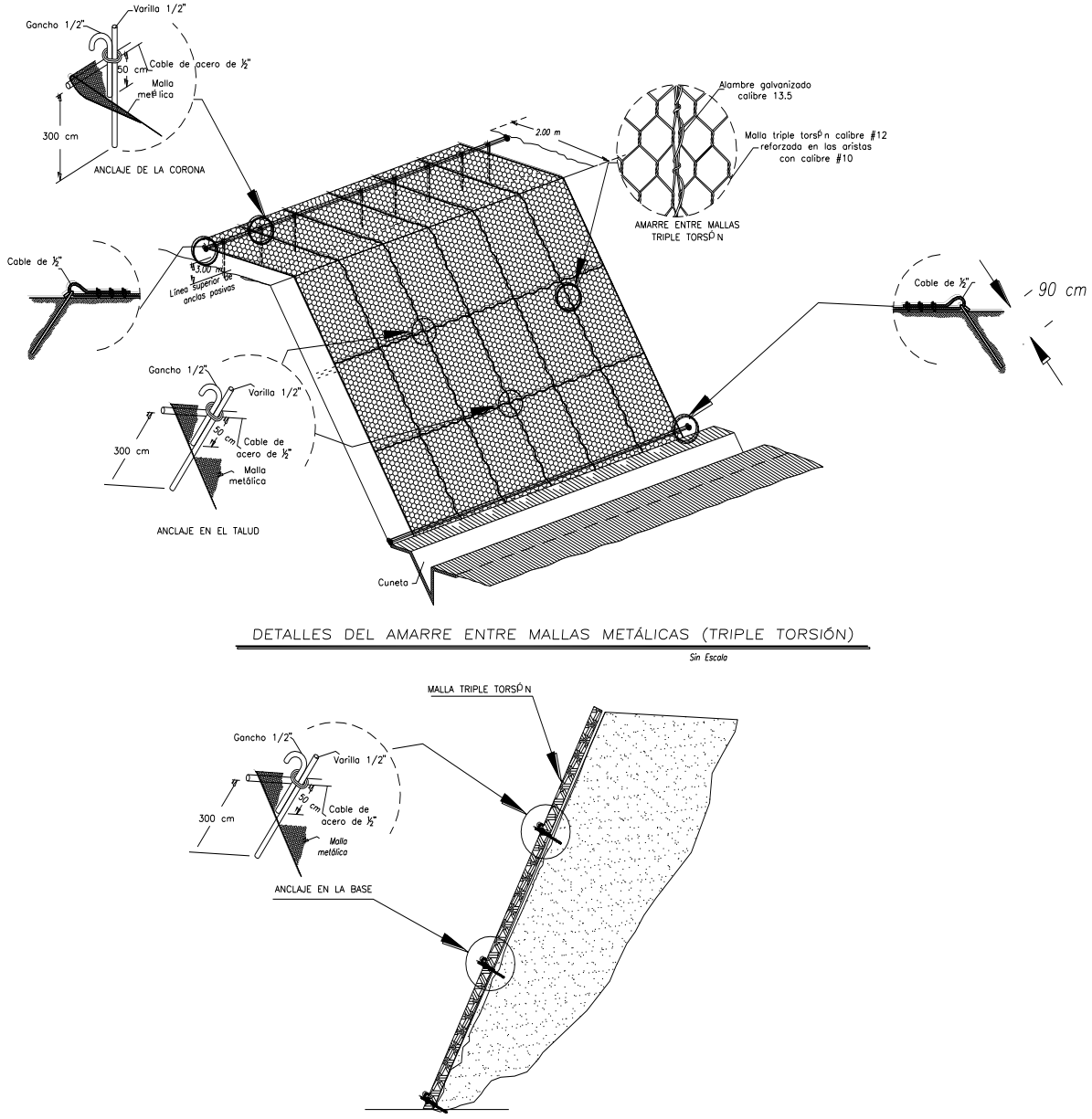


Figura 5.3.47. Detalle de colocación de malla triple torsión

Concreto Lanzado

El concreto lanzado es una mezcla de cemento Portland, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras o malla electrosoldada en algunas ocasiones, que mediante la fuerza controlada de aire a presión a través de una boquilla, se proyecta sobre una superficie a fin de obtener una capa de recubrimiento compacta, homogénea y resistente, para proteger superficies de roca o suelo contra el intemperismo, proveer soporte temporal o definitivo de una excavación, proteger zonas con alto fracturamiento o alteración y preparar superficies de roca sobre las que se apoyan otros elementos de soporte.

El agua de la mezcla se puede incorporar en el momento del mezclado de los agregados pétreos con el cemento Portland y el aditivo, o bien, se pueden mezclar estos materiales en seco, incorporándole directamente el agua en la boquilla al momento de la colocación del concreto lanzado.

El concreto lanzado es simplemente un sistema de colocación del concreto a gran velocidad contra una superficie vertical u horizontal o sobrecabeza. Es un método ideal para colocar concreto, que ofrece algunas diferencias en comparación con el concreto tradicional, tales como:

a) Las partículas individuales de agregado cubiertas con cemento, salen de la boquilla a gran velocidad contra la superficie de aplicación, sobre la cual se adhieren y compactan al mismo tiempo por la fuerza de impacto, creando una masa sólida. Contrariamente a lo que ocurre con el concreto tradicional, que se coloca primero en obra y se compacta después, generalmente por vibración.

b) El tamaño máximo de agregado del concreto lanzado es de 3/8 “(10 mm).

c) En el momento de su impacto sobre la superficie de aplicación, una parte del material es rechazado. Ese material recibe el nombre de “rebote”, por lo que la composición del concreto lanzado colocado es diferente al concreto que sale de la boquilla.

d) La superficie de aplicación, o soporte, puede presentar cualquier forma e inclinación. El concreto lanzado tiene una mayor adherencia a la superficie de aplicación y se coloca en obra por capas. También esto le diferencia del concreto normal. Debido a la fuerza del impacto, los morteros y concretos lanzados logran una adherencia óptima con el material de soporte y permiten obtener la forma de superficie deseada.

e) La relación agua/cemento en el concreto lanzado es generalmente baja, 0.4 y la resistencia cuando es colocado adecuadamente, es mayor.

f) Requiere una mayor cantidad de cemento, entre 350 a 500 kg/m^3.

Para elaborar el concreto lanzado se utilizan los mismos ingredientes que el concreto tradicional, agua, cemento y agregados.

Las propiedades de una mezcla proyectada son parecidas a las de una mezcla tradicional, en lo que respecta a densidad, resistencia a compresión, a la tracción y al cortante. Gracias a su estructura particular, el concreto lanzado es más impermeable y más resistente a los ciclos de congelamiento y deshielo y al fuego, que un concreto tradicional de la misma composición.

Debido a su método de colocación se obtienen concretos más compactos y con mayor adherencia, permitiendo lograr elementos delgados y formas libres que difícilmente pueden construirse con técnicas convencionales.

La ejecución de trabajos con concreto lanzado es un arte que requiere el conocimiento de nociones teóricas y de equipos adecuados, pero especialmente una gran experiencia práctica. Figura 5.3.48.



Figura 5.3.48. Colocación de concreto lanzado

Colocación de Geotextiles

Los geotextiles son materiales textiles de composición sintética, siendo de utilidad en taludes y muros de contención por su versatilidad en aplicaciones geotécnicas (en contacto con tierras y rocas), cumpliendo fundamentalmente funciones de rotura de capilaridad, refuerzo a la tracción y control de erosión.

El geotextil a utilizar debe tener una alta resistencia a la tracción, pues trabaja en dirección contraria a los empujes de tierra, de esta manera absorbe los esfuerzos de empuje y evita el vuelco del talud o la ladera, para ello se colocan tramos de geotextil paralelos al suelo, en la misma ladera.

La elección de un tipo de geotextil para refuerzo, depende en gran medida de la resistencia a la tracción que se requiera. En el mercado se dispone de diferentes variedades.

Geotextiles no Tejidos. Por lo general se emplean en taludes de poca altura, considerando que los esfuerzos son pequeños.

Geomallas. Se emplean en taludes con mayor altura y pendiente, ofreciendo mayor resistencia a la tracción.

Cuando se requiera proteger al talud contra la erosión, el recurso más simple es utilizar geotextiles no tejidos, ya que evitan la erosión del talud confinando los finos mientras se produce la libre circulación de agua.

Siembra de Especies que Contribuyan a Reforzar el Terreno y Evitar la Erosión Superficial (Tepes)

La siembra de pasto natural vivo (Tepes), se realiza con el propósito de proteger los taludes descubiertos evitando así la infiltración de agua; el pasto debe ser de la región para garantizar su germinación y desarrollo. La manera más práctica es la colocación de tepes anclados mediante estacas de madera hasta que las raíces hayan penetrado en el talud, cuando se coloquen en época de estiaje deben ser regados de manera constante para garantizar el desarrollo de estos sobre el talud.

Los tepes generalmente vienen en rollos de 2.50 x 0.75 m y la manera de colocarlos es de forma cuatrapeada para obtener una mejor estabilidad mientras las raíces se desarrollan sobre el corte. Figuras 5.3.49 y 5.3.50.

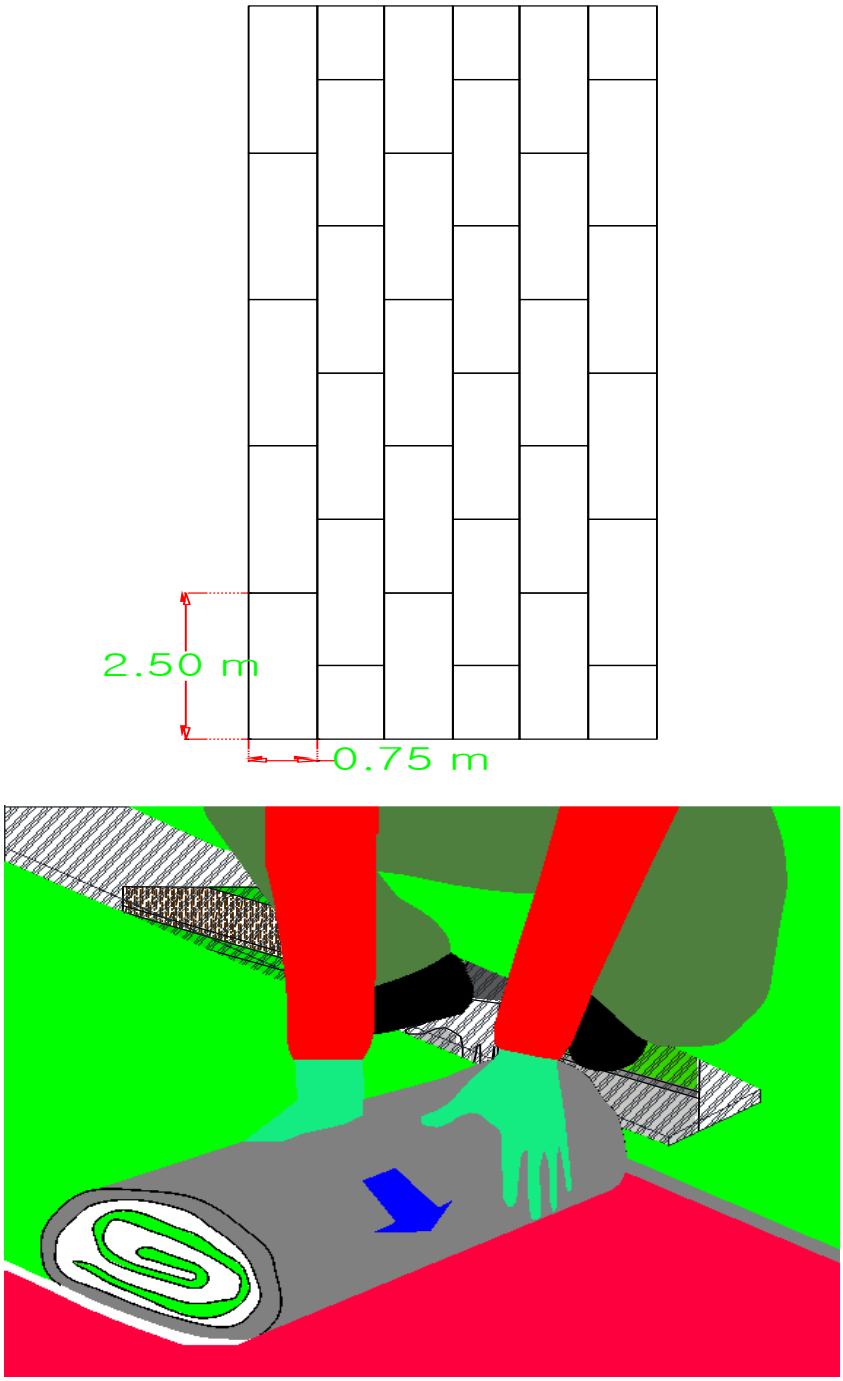


Figura 5.3.49. Esquema que muestra la distribución de la franja para el tendido del pasto



Figura 5.3.50. Talud vegetado con pasto de la región ("tepes")

6. Técnicas de Estabilización en Macizos Rocosos

En las vías terrestres, los taludes excavados en macizos rocosos fracturados presentan, particularmente, problemas de desprendimientos de bloques. Entre los métodos para estabilizarlos están los sistemas de anclaje.

Principios de Funcionamiento. El anclaje de un volumen de suelo o roca implica, fundamentalmente, la transferencia de esfuerzos de tensión a lo largo de un elemento estructural (barra o cable) a un estrato resistente denominado zona de anclaje. Figura. 5.3.51.

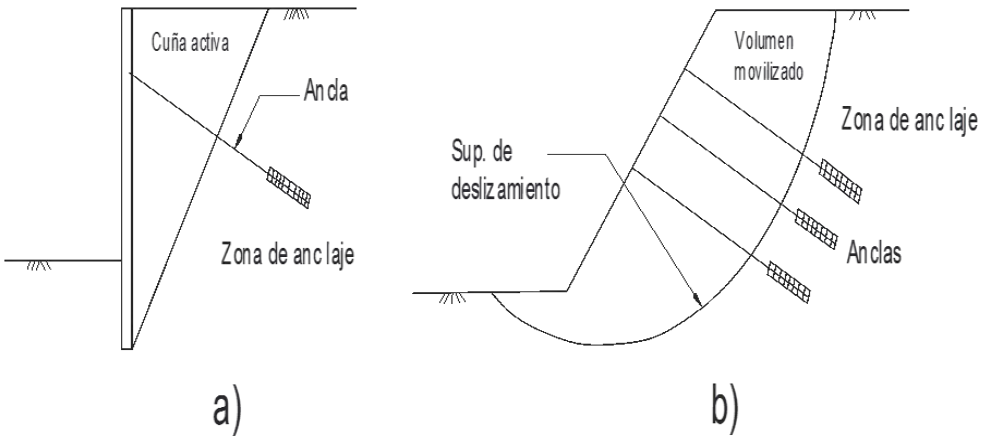


Figura 5.3.51. Definición de una zona de anclaje: a) tablestaca y b) talud

El principio de funcionamiento es simple. Además, se puede estimar con un grado de aproximación aceptable la resistencia última del elemento tensor, encargado de transmitir los esfuerzos al suelo. La complicación, en realidad, surge al momento de estimar la resistencia y variación en el tiempo de los distintos geomateriales susceptibles de ser estabilizados.

Las diversas problemáticas presentadas por el suelo en las obras de ingeniería, aunadas a la experiencia a través de los años, han impulsado el surgimiento de diversos métodos y técnicas, a tal grado, que hoy en día, prácticamente cualquier tipo de suelo es susceptible de ser estabilizado por medio de anclas, con excepción de los materiales altamente orgánicos (turbas).

El anclaje, además de brindar condiciones de seguridad aceptables, es una alternativa económica al uso de estructuras de retención del tipo de gravedad y a los sistemas de apuntalamiento tradicional, cuando hay restricciones de espacio.

El Anclaje Tradicional y los Sistemas para Refuerzo del Suelo. En la práctica se acepta sin mayor dificultad que el macizo rocoso no presenta resistencia a la tensión importante, para compensar esta deficiencia, se suelen insertar elementos con capacidad para resistir los esfuerzos mencionados (principio de los materiales compuestos), en forma similar a los elementos de concreto reforzado. Una vez aceptado lo anterior, conviene establecer una diferencia, entre lo que se considera "refuerzo del suelo" y lo que es el anclaje propiamente dicho.

En un anclaje tradicional la transmisión de esfuerzos al suelo o roca se hace fuera de la superficie potencial de falla. Figura 5.3.52.

El buen desempeño de un sistema de anclaje depende de que se cumplan las siguientes condiciones:

- Una buena adherencia entre el suelo y la longitud de fijación (bulbo de anclaje).
- La zona de anclaje queda ubicada fuera del área de influencia de las cuñas pasiva y activa o de la superficie potencial de falla.
- El tendón esté protegido en forma adecuada contra la corrosión durante su vida útil.
- El conjunto formado por el suelo soportado y el sistema de anclaje tienen un adecuado factor de seguridad contra una falla global.

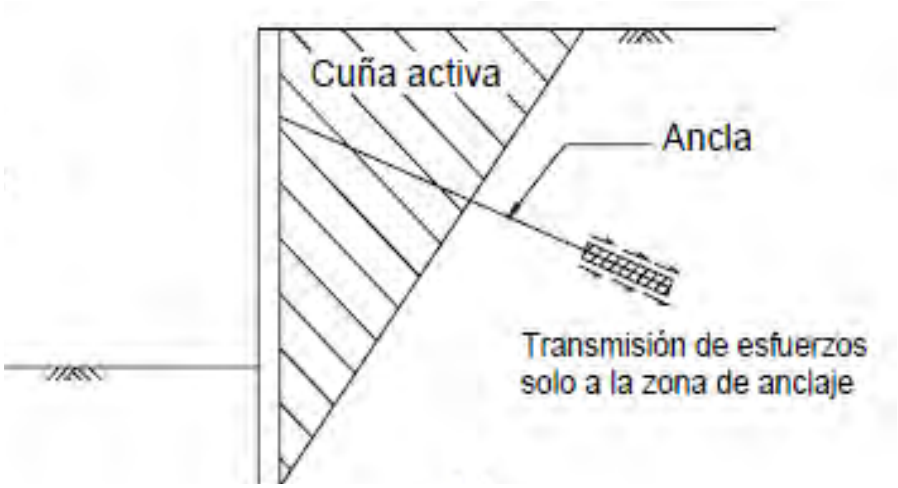


Figura 5.3.52. Forma de trabajo de un ancla

Componentes de un Ancla. La forma de anclaje más avanzada desde el punto de vista técnico (tanto en suelo como en roca), es aquella en la cual el tendón queda sujeto con algún cementante (concreto, mortero o resina) en un estrato firme o resistente, dejando una longitud libre de contacto entre el suelo y el refuerzo.

Las partes constituyentes de dicho sistema se describen brevemente a continuación. Figura 5.3.53.

Cabeza. Es el elemento que conecta el ancla con la estructura a soportar. Dicha estructura puede ser un muro, tablestaca o capa de concreto lanzado reforzada con malla. Debido a que la fuerza de tensión en el tendón se transmite a la estructura a través de la cabeza, es común colocar los separadores a una distancia de dos metros centro a centro en el tramo anclado y del doble en la zona libre.

Tendón. Elemento estructural principal, constituido por cables de acero de alta resistencia o barras de refuerzo de grado estructural. Se debe proteger contra la corrosión, sobre todo si el anclaje es de tipo permanente.

Bulbo de Anclaje. Es el ancla propiamente dicha y se encarga de transmitir los esfuerzos a la masa del suelo. La capacidad de un ancla, está en función de la fricción bulbo-suelo, adherencia y la presión de inyección que actúa en la superficie del bulbo.

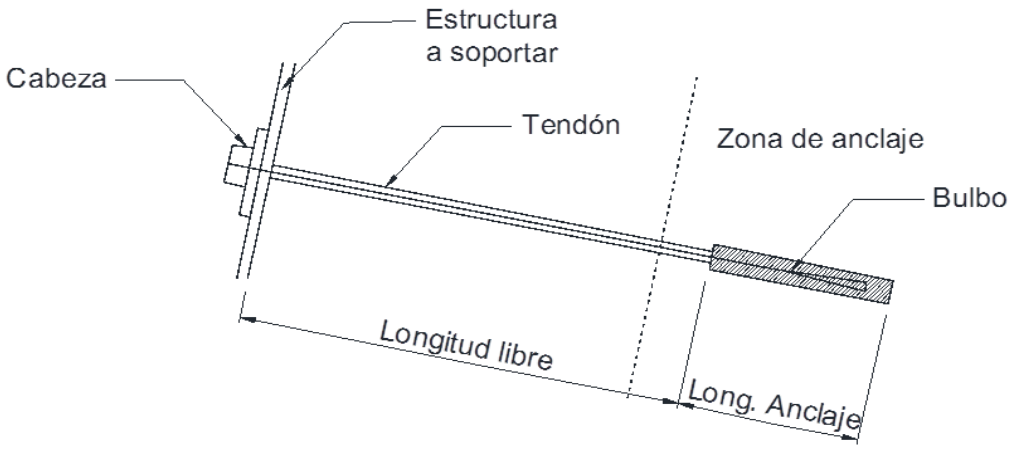


Figura 5.3.53. Partes de un ancla

Barreno. También se puede considerar como parte constituyente del sistema. Debe contar con un diámetro adecuado para recibir las varillas, torones y mortero (normalmente entre 100 y 150 mm). Sus dimensiones deben ser tales que permitan la existencia de una distancia entre el tendón, la pared y longitud suficiente para el desarrollo de las fuerzas de adherencia entre el mortero y las varillas. También debe permitir el desarrollo de las fuerzas de fricción entre el mortero y el terreno. Además de los elementos estructurales que componen el ancla, existe una serie de dispositivos auxiliares, indispensables para una correcta instalación y funcionamiento, entre los cuales están los que se mencionan a continuación. Figura 5.3.54.

Funda de Protección. Es un tubo de PVC liso dentro del cual se aloja el tendón a lo largo de la longitud libre. Cubre la distancia entre la boca del barreno y el obturador. El espacio libre dentro del tubo se rellena con un material anticorrosivo (lechada de cemento o grasa) para evitar la corrosión en la longitud libre.

Tubo de Inyección. Es un tubo con agujeros cubiertos con bandas de hule (manguitos) que se coloca al centro del barreno. La función de estos agujeros es permitir la salida de la lechada de inyección.

Obturador. Tiene como finalidad sellar y aislar al bulbo de inyección del resto del barreno. Se infla con aire a presión para tener un buen sello.

Separadores. Su función es similar a la de aquellos utilizados en las estructuras de concreto armado, dar un recubrimiento mínimo a los cables y evitar que se crucen. Son placas de material plástico con perforaciones circulares. La perforación central permite el paso del tubo de manguitos, mientras que los cables o torones pasan por las perforaciones periféricas. En la práctica es común colocar los separadores a una distancia de dos metros centro a centro en el tramo anclado y del doble en la zona libre.

Centradores. Cumplen con una doble función, asegurar un recubrimiento mínimo en el tendón y prevenir pandeo del anclaje entre los puntos de contacto. No es raro encontrar en la práctica dispositivos que cumplen al mismo tiempo con la función de centrar y espaciar las barras, se les denomina centrador-espaciador.

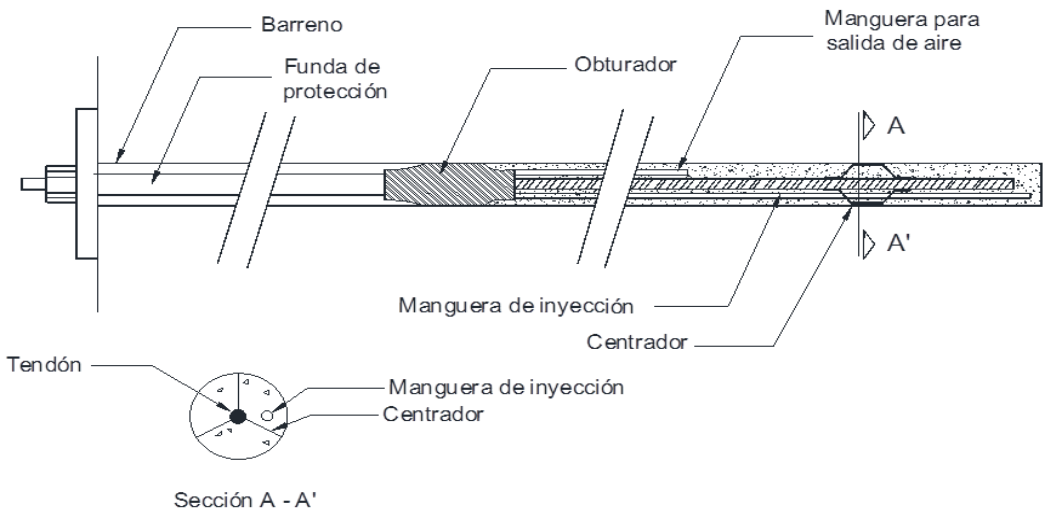


Figura 5.3.54. Dispositivos auxiliares de anclas

Tipos de Anclajes

Anclas de tensión. Son aquellas que ayudan a incrementar el esfuerzo normal en la superficie de deslizamiento potencial y por lo tanto la resistencia al corte (según la ley de Mohr-Coulomb). También se les denomina de tipo activo, ya que proporcionan una fuerza externa desde el inicio. Estas anclas se usan predominantemente en rocas y solo se fijan en su extremo inferior.

Anclas de Fricción. Estas anclas soportan el esfuerzo de tensión que el talud o masa de suelo no puede soportar. Se les denomina de tipo pasivo, ya que solo trabajan hasta que el talud ha sufrido cierto movimiento o deformación. **Estas anclas son las que típicamente se usan en suelos**. La fijación se lleva a cabo con resina o mortero de cemento a todo lo largo del fuste.

El primer uso que se le dio a las anclas fue en el Dique de Cheurfas, Argelia en 1934, desde entonces se han considerado los anclajes como una técnica eficaz, confiable y de bajo costo para las aplicaciones temporales y permanentes en América.

Los anclajes tienen muchas aplicaciones como las especificadas por Hanna (1982) y Xanthakos (1991). Hay diferentes tipos de anclajes y un intervalo aún más grande en los métodos de construcción.

Entre las aplicaciones que se tienen de las anclas, para estabilización de taludes, pueden considerarse las siguientes:

- Protección de las paredes de estructuras amenazadas por suelos que se deslizan
- Estabilización de acantilados
- Soporte simple en excavaciones
- Soporte complejo en excavaciones
- Estructuras de canal
- En estructuras de control de desagües
- Reforzamiento de estructuras existentes
- Estabilización de estructuras subterráneas
- En la construcción de túneles
- Para apuntalar estructuras

En el **Apéndice A.5.3.1** se presenta un Procedimiento de Cálculo de Estabilidad de un Talud en Roca, en el **Apéndice A.5.3.2** se muestra una secuencia general de cálculo para diseño de anclas y en los **Apéndices A.5.3.3 y A.5.3.4**, las Normas y Especificaciones para los materiales de las anclas.

Etapa constructiva

Técnicas de perforación. La mayoría de las aplicaciones de las anclas se realiza perforando a través de los depósitos de materiales; la capacidad que se tiene para penetrar través de materiales pobres y competentes es fundamental para una instalación adecuada y de costo razonable por lo que se debe prestar atención a este aspecto, y no olvidar el otro aspecto fundamental que es el comportamiento propio de los anclajes.

Las perforaciones para los anclajes en roca pueden ser realizadas por uno de estos tres métodos principales dependiendo del estrato de que se trate, diámetro y longitud de la perforación, del equipo de perforación disponible y de la relación costo beneficio.

a) Percurotatorio con martillo por arriba

b) Percurotatorio con martillo por debajo del pozo

c) Rotaria

El primer grupo hace uso de una cabeza rotatoria de percusión montada en un mástil activado hidráulicamente; este método se utiliza principalmente en pozos poco profundos.

El segundo grupo requiere de una cabeza rotatoria montada en un mástil, donde el componente de la percusión lo da un martillo activado neumáticamente que impacta directamente en el momento de perforar; se ha demostrado que este es el método más rápido, más barato y que se aproxima más a la vertical para perforaciones de más de 4" y por arriba de profundidades de 17 m. Cuando este método se utiliza en la cercanía de estructuras delicadas, el daño que se causa por efecto de las vibraciones es mínimo.

La perforación por rotaria para el anclaje en roca invariablemente se asocia con un par de torsión alto, empuje alto, velocidad de perforación baja usando tricónica o similar.

El uso de un par de torsión alto, empuje bajo, velocidad de perforación alta, utilizando broca de diamante o similar no es económico y de hecho es potencialmente perjudicial a la liga que debe existir entre la roca y el mortero por producir perforaciones con paredes muy lisas.

Las perforaciones realizadas con taladros rotatorios pueden efectuarse con aire o vapor de agua, aunque no es recomendable en arcillas o materiales finos plásticos.

En la mayoría de las aplicaciones es necesario el uso de lodos de perforación, para enfriar la broca y elevar el corte a la superficie.

Técnicas de Instalación. En los siguientes incisos se describen algunos tipos de anclajes de tensión y fricción existentes en el mercado (algunos de ellos patentados) y sus técnicas de instalación.

Varilla Inyectada sin Tensar. Es un tipo de anclaje sin tensar, económico y sencillo, que consiste en bombear un mortero grueso en el barreno con una bomba de mano sencilla. Se empuja la varilla en la lechada como se muestra en la Figura 5.3.55. Si es necesario se puede añadir una placa de retén con una tuerca, pero como refuerzo muy ligero se utiliza a veces la varilla sola.

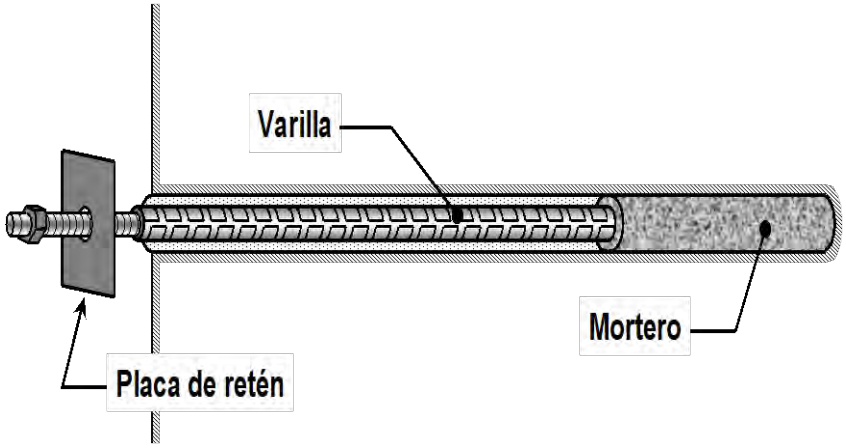


Figura 5.3.55. Varilla inyectada sin tensar

Este tipo de anclaje presenta la desventaja de que tiene que instalarse antes de que se presenten deformaciones importantes, ya que no es posible tensarla.

Ancla Mecánicamente Fijada, Tensada e Inyectada. En la Figura 5.3.56 se muestra un tipo de ancla mecánica de casquillo expansivo. Una cuña que se fija al perno, se jala dentro de un casquillo cónico que al expandirse se presiona contra las paredes del barreno. El tapón de hule sirve para confinar la lechada y para centrar el perno en el barreno además de sellarlo y evitar las pérdidas de lechada. La lechada se inyecta por la boca del barreno y el tubo de regreso llega hasta el final del mismo. La inyección termina después de la salida del aire y de la emisión de la lechada por el tubo de regreso.

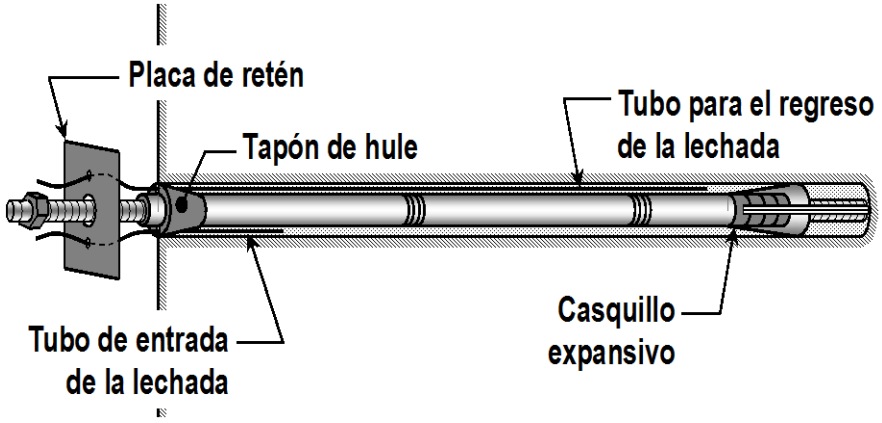


Figura 5.3.56. Ancla mecánica de casquillo expansivo

Es un anclaje muy seguro en roca sana y se pueden lograr cargas de anclaje elevadas.

Presenta la desventaja de ser costosa y requiere de mano de obra experta y supervisión cuidadosa. Los tubos de inyección se dañan fácilmente durante la instalación y es indispensable hacer una prueba con agua antes de inyectar la lechada.

Barra con Rosca, Tensada y Fijada en Resina. Este tipo de sistema combina la mayoría de las ventajas de los sistemas mencionados. Se encuentran resinas con su catalizador (endurecedor) en forma de embutidos de plástico, con el catalizador separado de la resina por otro recipiente de plástico o vidrio. Se empujan las cápsulas dentro del barreno y luego se inserta la barra.

La rotación de la barra durante la inserción rompe las cápsulas con la consecuente mezcla de la resina con el catalizador. Primero se coloca la resina de fraguado rápido, que forma un anclaje sólido que permite que se tense el ancla unos minutos después de la mezcla. La resina de fraguado lento fija luego el resto de la barra.

Este sistema es fácil de instalar y se utiliza en lugares difíciles donde el costo es menos importante que la rapidez y seguridad. Se logran anclas de muy alta resistencia en roca de mala calidad y si se eligen los tiempos de fraguado adecuados, en una sola operación se obtiene un sistema de anclaje totalmente inyectado. Figura 5.3.57.

Tiene la desventaja de que las resinas son muy costosas y tienen un tiempo de almacenaje limitado, sobretodo en climas cálidos.

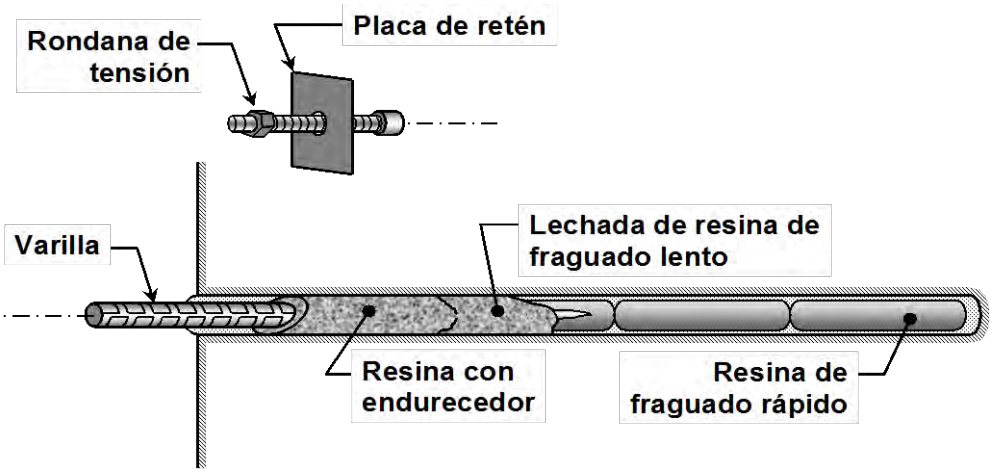


Figura 5.3.57. Ancla fijada con resina

Anclas de Barra y de Cables o Torones. Dos de los tipos de anclas que más son utilizados en la actualidad para la estabilidad de taludes son las de barra y las de cables o torones.

Las anclas de barra están constituidas por una barra de acero especial, su diámetro varía dependiendo del fabricante. Estas anclas existen para cargas de trabajo, permanentes y provisionales, de 150 kN y 170 kN, respectivamente.

En el tramo libre (sección del ancla arriba del plano de anclaje), la barra está cubierta por un tubo plástico rígido de PVC. Este tubo permite que el ancla, en esta sección, no transmita carga al terreno en la zona inestable del macizo. En el tramo de inyección (situado en la parte más profunda del barreno, Figura 5.3.58, la barra queda cubierta por la lechada a fin de realizar el anclaje en el terreno envolvente. En este tramo es importante que la barra quede centrada en la perforación, para garantizar que sea recubierto por la lechada, no solo como protección contra la corrosión del acero, sino también para obtener un buen anclaje.

Las anclas de cables o torones son llamadas también anclas de inyección. Un esquema típico de estos se presenta en la Figura 5.3.58. Están constituidos por cables o torones de acero especial, recubiertos en el tramo libre por un tubo de plástico flexible. Poseen un tubo central de plástico rígido de PVC, alrededor del cual están dispuestos los cables o torones. En el tramo de inyección se instalan anillos espaciadores para distribuir adecuadamente los cables alrededor del tubo plástico.

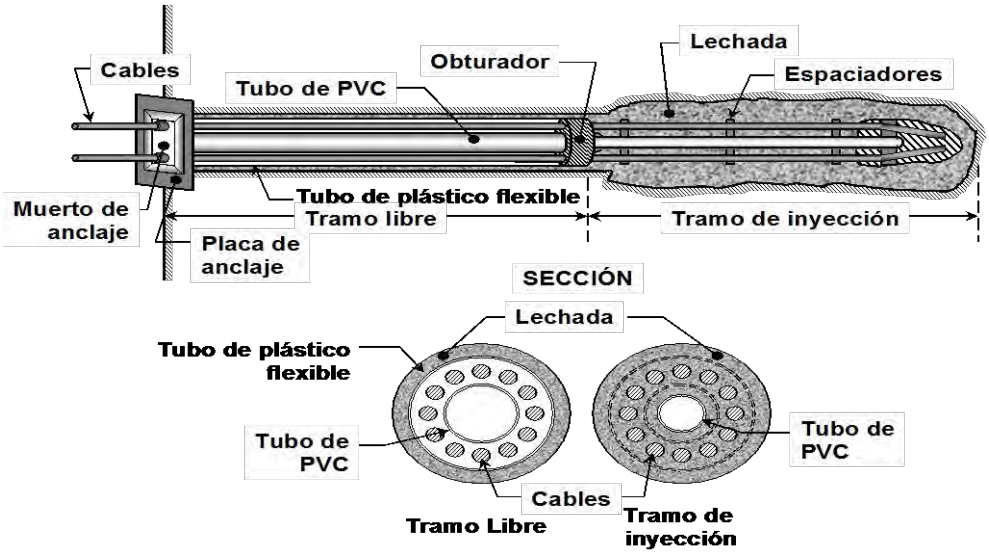


Figura 5.3.58. Características generales de un ancla de cables

Ambos tipos de anclas deben recibir un tratamiento anticorrosivo en el momento de su colocación. Este tratamiento consiste en la limpieza mecánica del óxido de las barras, cables o torones y en la aplicación de pintura anticorrosiva al ancla.

En general las anclas de inyección soportan cargas mayores que las de barra y no requieren una deformación importante para trabajar al máximo. La magnitud de la carga de trabajo depende principalmente del número de cables o torones, del diámetro de estos, de su resistencia, de la presión de inyección y por tanto del tamaño del tramo de inyección. Existe en el mercado una gran variedad de estos dos tipos de anclas; sus características varían dependiendo del fabricante.

Otras Técnicas para Estabilizar Taludes

En las siguientes figuras, de forma esquemática, se muestran distintas formas de solucionar problemas de estabilidad de taludes y/o desprendimientos de rocas.

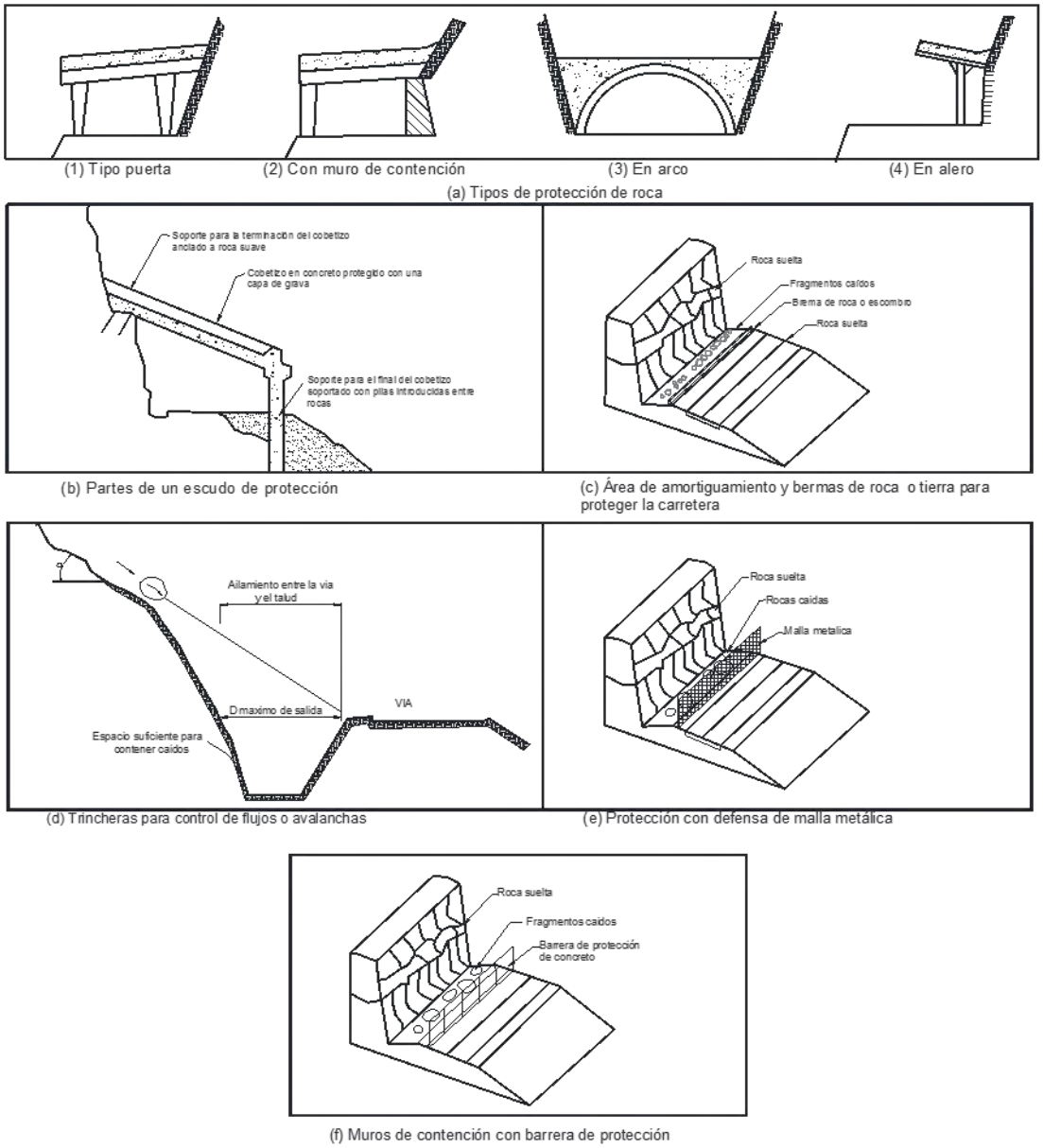


Figura 5.3.59. Otras técnicas para retención de rocas en taludes

Cabe aclararse que la aplicación de estas técnicas es menos frecuente, pero que en algunos casos específicos deben considerarse y analizar la factibilidad de construcción y su relación beneficio costo.

5.4 PUENTES

Generalidades de la Conservación de Puentes

La conservación de puentes es una de las actividades más importantes para llevar a cabo adecuadamente la conservación de una red de carreteras. Su objetivo final, como el de toda labor de conservación, es el mantenimiento de todas las condiciones de servicio de la carretera en el mejor nivel posible.

La falta de mantenimiento adecuado en los puentes da lugar a problemas de funcionalidad y seguridad que pueden ser graves: limitación de cargas, restricciones de paso, riesgo de accidentes, riesgo de interrupciones de la red, y a un importante problema económico por el acortamiento de la vida útil de las obras, amén de las pérdidas económicas inmediatas por la interrupción de su uso.

Las causas y razones más comunes por las que es necesario el mantenimiento de un puente son:

- Errores en el proyecto y/o durante la construcción; vigilancia, mantenimiento o reparaciones inexistentes o inadecuadas.
- Materiales inadecuados o deterioro y degradación de los mismos.
- Variación con el tiempo de las condiciones de tránsito (cargas y velocidades).
- Acciones naturales de tipo físico, mecánico o químico (intemperismo).
- Acciones accidentales, terremotos, avalanchas, inundaciones, explosiones, impacto de vehículos con elementos estructurales del puente.

Según la importancia del deterioro observado, las acciones para el mantenimiento de un puente se clasifican en tres grupos:

1. Mantenimiento rutinario.

2. Reparaciones.

3. Reforzamientos.

El mantenimiento rutinario de los puentes es una labor substantiva que debe realizarse para atenuar su deterioro y evitar que se produzcan daños importantes.

Con los trabajos de reparación, se pretende que los puentes recuperen un nivel de servicio similar al de su condición original. Sin embargo, por la evolución del tránsito, a veces no es posible obtener este resultado y se requieren trabajos de refuerzo y ampliaciones.

Son muchos los problemas que se presentan durante la vida útil de un puente: la presencia de agua por una inadecuada evacuación de la misma da lugar a problemas muy diversos que pueden afectar tanto a los estribos como a las pilas, cabezales, arcos, bóvedas, tableros, vigas, apoyos, terraplenes de acceso, etcétera, ya sea por la propia acción directa del agua (erosión, socavación, humedad), o por su acción como vehículo de otros agentes agresivos (corrosión por sales, ataque por sulfatos, disolución de ligantes en mortero) o por jugar un papel predominante en otros fenómenos (reacción álcali-agregado).

Por otra parte, las grietas de flexión en las trabes de la superestructura son las que se sitúan verticalmente en la zona central del claro. Pueden existir grietas inclinadas en el alma, en la cercanía de los apoyos, que son producidas por esfuerzo cortante. Estas grietas son activas, es decir, su abertura varía bajo el efecto diario del gradiente térmico (insolación del tablero) y debido al tránsito (circulación de vehículos pesados).

La razón esencial de este agrietamiento es la insuficiencia de acero de refuerzo ante las solicitaciones de flexión o cortante de la estructura, por lo que, en ocasiones, la reparación de este tipo de estructuras se hace únicamente

colocando cables de presfuerzo adicional, después de haber inyectado las grietas que estén suficientemente abiertas.

En las estructuras metálicas resulta evidente la importancia de evitar su uso en determinadas zonas de alta humedad, que acabarán sufriendo fuertes problemas de corrosión. La humedad genera los desperfectos en las zonas de apoyo y de juntas. Reviste particular importancia el mantenimiento de los drenes de los tableros para evitar acumulación de agua.

En zonas próximas al mar, existen altas temperaturas del verano y vientos dominantes, por lo que el puente está sometido a un ambiente altamente agresivo, lo que unido a deficiente calidad de los materiales y alta porosidad del concreto pueden producir alta carbonatación del mismo, acelerando la oxidación de las armaduras y el desconche del concreto en muchas zonas.

La oxidación en mayor o menor grado de una armadura activa puede ser extremadamente grave, pues es sabido que la corrosión bajo tensión es un fenómeno que produce su fractura sin previo aviso, poniendo en peligro la estabilidad del puente. Esta corrosión por lo general puede ser debida a dos causas: recubrimientos defectuosos o insuficientes o fallos en la inyección de las vainas, para el caso de estructuras presforzadas.

Lo anterior puede producir pérdidas de recubrimiento, oxidación de armaduras, grietas y fisuras generalizadas en todos los elementos del puente, más a menudo en el tablero y las zonas próximas a las juntas y los drenes. Asimismo puede generarse despegue del concreto de los tirantes en el tablero y arcos, oxidación de las rótulas metálicas, mal funcionamiento de los drenes del tablero, juntas no estancas y muy deterioradas, muchas veces inexistentes.

En cuanto a los materiales: el concreto fabricado con agregados que tienen elevado contenido de feldespatos (granitos, esquistos, pizarras, etcétera), si después tiene un aporte considerable de agua, los agregados pueden reaccionar con el hidróxido cálcico de la pasta de cemento, produciendo nuevos compuestos químicos, como las ceolitas, productos que son expansivos y que en un plazo más o menos largo producen la destrucción del concreto.

De acuerdo con estos datos, la inspección de la estructura nos permite conocer el estado que guardan sus elementos y con ello definir la acción o las acciones que se deben tomar, a partir de las siguientes cuatro alternativas:

1. **Acción cero.** No hacer nada. Puede resultar una acción técnicamente válida en algunas circunstancias.
2. **Acciones normativas.** Colocación de señales. Limitación de uso (imposición de peso máximo, reducción de velocidad, restricción de un solo carril, etcétera)
3. **Acciones preventivas.** Inspecciones más frecuentes, monitoreo de grietas, deformaciones y asentamientos, colocación de apuntalamientos.
4. **Acciones ejecutivas.** Se refiere a la realización de obras en el puente. Para estas obras, pueden considerarse cinco niveles de atención:

    - Mantenimiento
    - Rehabilitación
    - Reparación
    - Modernización
    - Sustitución

La extensión de la vida del puente, que se logra con las obras de conservación, genera de manera directa:

- Costos y beneficios totales de la alternativa, que incluyen: costos de construcción, conservación y operación, así como beneficios inmediatos y futuros en función de la evolución prevista del tránsito y adicionando el valor de rescate de la estructura al término de la vida económica.

Recopilación de Información del Sistema de Puentes de México (SIPUMEX)

La Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) cuenta con un sistema llamado SIPUMEX (Sistema de Puentes de México) que le permite determinar los trabajos de conservación de puentes requeridos en las carreteras federales, cuyo funcionamiento ya se ha descrito en el Tema 2.2 Sistemas de Gestión, de esta Guía.

SIPUMEX Cuenta con una base de datos que incluye el inventario de todos los puentes con sus características geométricas y estructurales básicas, ubicación, materiales con los que están construidos, estado físico y los datos viales.

Esta base de datos se actualiza con los trabajos de inspección programados por la DGCC o los Centros SCT (Ver ejemplo representativo de la base de datos en el **Apéndice 3.4.1**).

El estado físico de los puentes se denota con una calificación que va de "cero" (puentes que no requieren atención) a "cinco" (condición crítica de los puentes que requieren atención en el año en curso o en el siguiente).

Utilizando este parámetro, se realiza un listado de puentes en orden de prioridad y se programa la realización de estudios y proyectos, en su caso, para llevar a cabo los trabajos de rehabilitación o reparación necesarios al año siguiente.

Estudios Previos

Levantamiento Topográfico y/o Topobatimétrico. Determina la configuración topográfica dentro y fuera del cauce. Es de vital importancia, por lo que se realiza el levantamiento topográfico en ambas márgenes del cauce y en el propio cauce; dependiendo de los tirantes de agua, en este último se realiza una batimetría con el equipo adecuado (ecosonda); estos trabajos se efectúan y presentan de acuerdo con la **Normativa N·PRY·CAR·1·01·001** a **006**, referente a Estudios Topográficos.

Estudio Topohidráulico e Hidrológico. La determinación de los gastos que continuarán pasando por debajo del puente reviste importancia fundamental, pues de su magnitud y del estado que guarde la estructura depende que se mantenga como está, se refuerce o amplíe; por lo que los resultados que arrojen estos estudios son definitorios y por tanto se deben realizar apegándose estrictamente a la **Normativa N·PRY·CAR·1·06·001 a 006**, referente a Estudios Hidráulicos e Hidrológicos para Puentes.

Estudio Geotécnico. El estudio geotécnico, que incluye el estudio de socavación, resulta de vital importancia para el buen comportamiento de la estructura, ya que de su realización depende el tipo de cimentación del puente que se haya construido, por lo que para reforzar es necesario conocer el ya existente y lo que debe hacerse para la estructura nueva, revisando y complementando los levantamientos topográficos, debido a que las condiciones topográficas originales por erosión y socavación del cauce han cambiado.

En este sentido y como primer paso, es menester revisar las condiciones geológicas y geotécnicas del entorno, para poder observar los cambios sufridos en relación con las condiciones iniciales en que se construyó la estructura original. Derivado de la Inspección, puede verse el comportamiento de todos los elementos de la estructura y complementando con un recorrido "a pie" se tiene un panorama del comportamiento geológico del entorno más cercano, lo que permite planear la investigación geotécnica necesaria.

El estudio geotécnico debe considerar la exploración y el muestreo adecuados al objetivo, que consiste en la determinación del tipo de cimentación, profundidades de desplante, capacidad de carga, deformaciones que se convierten en asentamientos de los apoyos, estabilidad de excavaciones, empujes, estabilidad global de taludes e incluso de laderas. En cuanto a los materiales del cauce, su compacidad y granulometría para determinar su susceptibilidad a la socavación.

En la práctica cotidiana, la exploración geotécnica se hace a base de excavar y muestrear pozos a cielo abierto, estratégicamente ubicados y llevados a las profundidades que permita el subsuelo o la presencia del nivel freático o la de estratos rocosos.

Cuando este tipo de exploración no es procedente, se realizan sondeos con máquinas percurotatorias, las que permiten explorar hasta profundidades del orden de 60 a 80 m ó incluso más, dependiendo de su capacidad; la ubicación recomendable de estos sondeos exploratorios es un sondeo en cada apoyo, por lo menos. Para mayor detalle de métodos, procedimientos y avances tecnológicos en este renglón, se remite al lector interesado, a la Referencia Bibliográfica **Manual de Construcción Geotécnica**.

Cabe mencionar aquí que en la etapa de exploración y muestreo, de manera común y cotidiana se realiza la prueba de penetración estándar, una prueba de gran utilidad ya que existe mucha información que correlaciona sus resultados con los distintos parámetros útiles en la determinación del comportamiento mecánico de los distintos estratos del subsuelo muestreado. En Capítulos anteriores se ha detallado el procedimiento de su ejecución y uso y de sus limitaciones y se ha mencionado la norma internacional en la que está acotada su utilización.

Los ensayes de laboratorio permiten determinar parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, deformabilidad y características elásticas de los distintos estratos, de manera que con los resultados se puedan formar los modelos geotécnicos que permitan hacer los análisis correspondientes, revisar la cimentación actual y decidir dejarla como está o hacer las modificaciones o reforzamientos necesarios adecuados

Los ensayes de laboratorio complementan y determinan la información obtenida durante la exploración y el muestreo, para formar un perfil estratigráfico y por tanto un modelo geotécnico que se aproxime a las condiciones “in situ”. Por tanto realizarlas correctamente es de fundamental importancia. Las pruebas denominadas “índice”, que se practican a las muestras recuperadas, que pueden ser alteradas o inalteradas, según el método de recuperación, tales como determinación del contenido de agua, distribución granulométrica, límites de consistencia, densidad de sólidos y pesos específicos, permiten clasificar a los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), de uso común.

Esta clasificación conduce a formar un perfil estratigráfico preliminar que da lugar a planear la realización de pruebas mecánicas, que determinan resistencia al esfuerzo cortante y deformabilidad de los estratos, parámetros básicos e indispensables para determinar el comportamiento de las estructuras que se alojen en el subsuelo estudiado. Estas pruebas son desde compresiones simples, hasta compresiones triaxiales en sus diferentes condiciones de drenaje; para deformabilidad se realizan pruebas de consolidación unidimensional en estratos compresibles y saturados. Eventualmente y en condiciones especiales se hacen pruebas de permeabilidad.

Existen pruebas de campo que permiten determinar los parámetros mencionados en condiciones “in situ”, tales como pruebas de placa para resistencia al corte y deformabilidad en cimentaciones, pruebas de corte directo, pruebas de gato plano, pruebas con gato Goodman, estas últimas en macizos rocosos, y que en el ámbito de los puentes se hacen muy poco, con excepción de puentes especiales, que normalmente se construyen en barrancas con problemas de estabilidad en sus laderas.

Análisis de Capacidad de Carga de la Estructura para Condiciones Actuales

Después de realizar la inspección detallada y los estudios previos referidos en el inciso anterior, se hará una evaluación que debe incluir el aspecto estructural y el funcional. En el primero, se determina la capacidad remanente de carga, o bien se define el margen de seguridad entre las acciones aplicadas y las resistencias de los elementos estructurales.

En el aspecto funcional, se determinan las capacidades hidráulica y vial del puente y se comparan con las solicitaciones respectivas.

Para conocer la capacidad resistente de un puente determinado es necesario realizar un modelo matemático del mismo, de la manera más fiel posible. La confección de este modelo se divide en dos partes: la primera, se refiere

a las características geométricas de vinculación con la vialidad y el entorno, determinadas por la tipología del puente en estudio. La segunda, consiste en determinar cuáles son las propiedades resistentes del material que lo constituye. El área, la inercia, el módulo de elasticidad no son sino las manifestaciones más elementales del modelo de material que constituye un puente; estas propiedades se pueden suponer cuando se trata de obra nueva, pero en un estado determinado de deterioro, es difícil suponer dichas propiedades.

Se deduce que la determinación de la capacidad resistente de un puente en un momento determinado no deja de ser una aproximación más o menos exacta y que sin embargo es imprescindible realizar para que la toma de decisión esté lo más fundamentada posible.

Se hace la revisión de la capacidad de carga de la estructura en las condiciones actuales, por momento flexionante y cortante, considerando la carga móvil de diseño y la carga muerta, así como los elementos mecánicos resistentes en la sección estructural original, para obtener la diferencia entre los elementos mecánicos actuantes y los elementos mecánicos resistentes, ya mencionados, la que se tomará con los elementos de refuerzo.

De todo puente en servicio se puede evaluar lo siguiente: por un lado determinar qué capacidad de carga tiene, lo que proporciona sus características resistentes actuales y previsibles en un futuro próximo y, por otro, cuáles son sus características funcionales.

Estas dos propiedades resistentes y funcionales deben compararse con las exigencias mínimas, o aceptables que debe tener un puente para que cumpla su función dentro de la red vial. De esta comparación saldrá una política a seguir que permita establecer las prioridades, sobre qué puentes se deben mantener, cuales reparar o rehabilitar y cuales sustituir y en qué plazo.

La última tarea es evaluar si las deficiencias existentes deben ser reparadas y en caso afirmativo asignar las actuaciones de mantenimiento tipificadas que procedan y un grado de urgencia para efectuarlas. Esta manera de proceder proporciona un índice del estado global de la estructura.

Técnicas para Conservación de Puentes

Como se ha mencionado en el Tema 3.4 de esta Guía y como resultado de los distintos tipos de inspección, según la importancia del deterioro observado, las acciones para el mantenimiento de un puente se clasifican en tres grupos:

1. Mantenimiento rutinario.
2. Reparaciones.
3. Reforzamientos.

En este sentido, en seguida se proponen los procedimientos más usuales para conservar las estructuras, para cada una de las acciones mencionadas.

Mantenimiento Rutinario

Es el conjunto de actividades que se ejecutan en los puentes y que se realizan por lo menos dos veces al año. Su objetivo es la conservación y preservación de todos los componentes principales del puente, lo cual asegura su adecuado funcionamiento y la identificación de posibles daños mayores que deben solucionarse con reparaciones y/o reforzamientos y en casos específicos con ampliaciones o sustitución de la estructura.

El concepto básico del Sistema de Administración de Puentes que el Instituto Mexicano del Transporte (SIAP-IMT, ver Referencia Bibliográfica **Metodologías de Inspección no Destructiva Aplicables)** propone para mantenimiento rutinario, es un formato que indica los conceptos de obra a realizar (ver formato en **Apéndice A 5.4.1**).

Para realizar estas actividades no es necesaria la creación de planos específicos, por lo que solamente basta una lista de tareas a realizar, la cual se apega a un el formato diseñado y establecido Dependencia responsable.

A continuación, en la Figura 5.4.1 se muestran e ilustran con fotografías, algunas actividades comprendidas dentro del mantenimiento rutinario de puentes:



Figura 5.4.1. Algunas actividades comprendidas dentro del mantenimiento rutinario de puentes

Reparaciones

Cuando ya se trata de un mantenimiento mayor (reparación), los trabajos se tendrán que proponer por medio de un proyecto de reparación, en donde se incluyen planos con procedimientos constructivos y cuaderno de concurso (catálogo de conceptos, presupuesto base y especificaciones de construcción), indicando los pasos a seguir para realizar estas reparaciones.

Siguiendo el orden que se presenta en el Reporte de Inspección descrito en el Tema 3.4. Evaluación de Puentes (Inspección) de esta Guía, en los siguientes párrafos se describen tipos, daños, así como en algunos casos los procedimientos constructivos de los distintos elementos de un puente para su reparación.

Tipos, Daños y Procedimiento Constructivo de Juntas de Dilatación

Las juntas son seguramente el elemento más delicado del equipamiento; por definición, tienen la tarea de sellar los espacios libres, requeridos por razones del comportamiento estructural entre dos elementos de un puente.

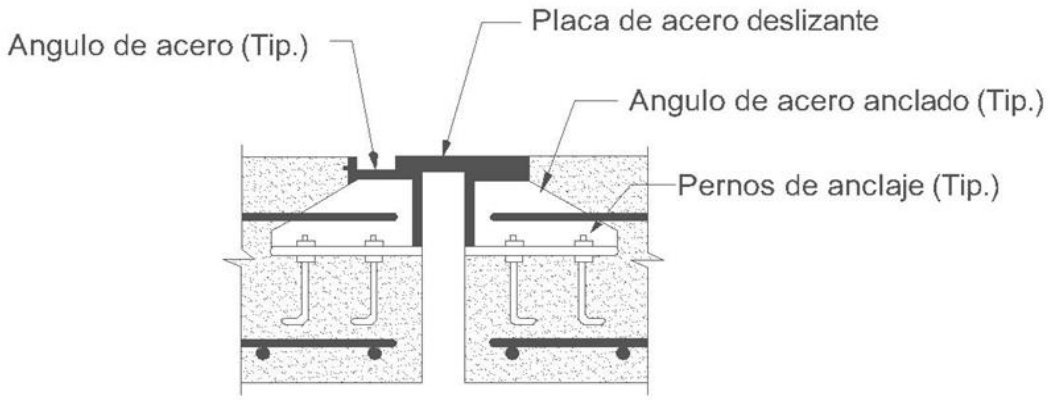
Una junta eficiente debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Transmisión de cargas y libertad de movimiento
- Durabilidad de todos los elementos de la junta
- Emisión baja de ruidos durante el paso de vehículos
- Autolimpiables
- Proporcionar estanqueidad completa

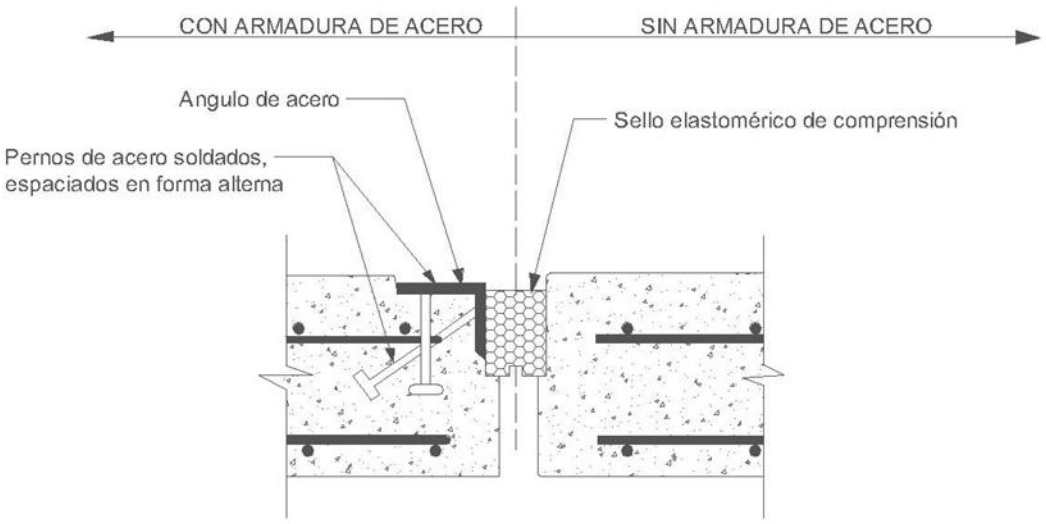
Existen diferentes tipos de juntas, de acuerdo a los rangos de desplazamiento longitudinal a los que podría estar sometido un puente y estos rangos son:

Junta con Poco Rango de Movimiento. Solución adecuada para estructuras pequeñas con abertura de junta de 20 a 40 mm, rango de movimiento limitado, así como sometidas a tránsito ligero y de poca intensidad (puentes con claros pequeños).

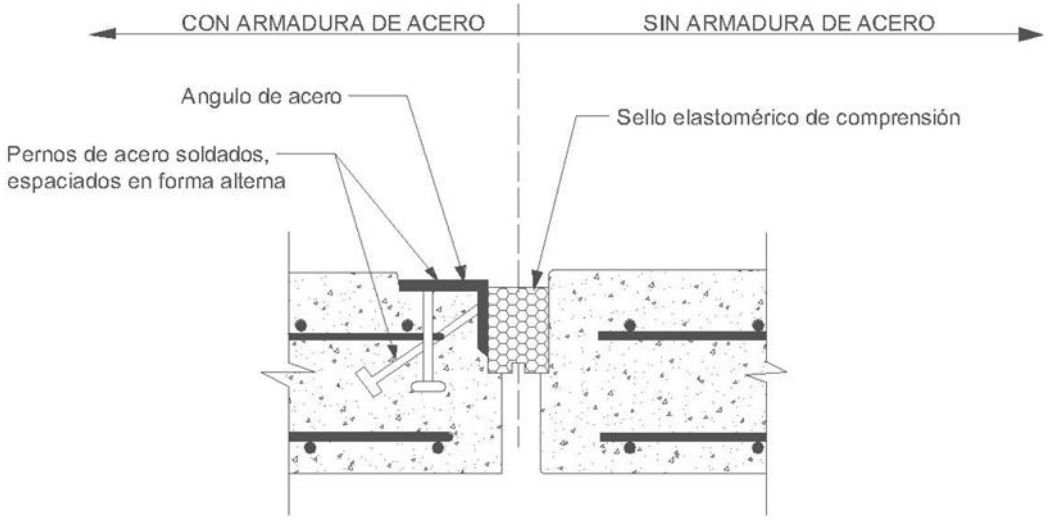
Rango horizontal RH: ± 5 mm. Rango vertical RV: ± 1 mm



a) TIPO PLANCHAS DESLIZANTES



b) JUNTA SELLADA DE COMPRENSIÓN

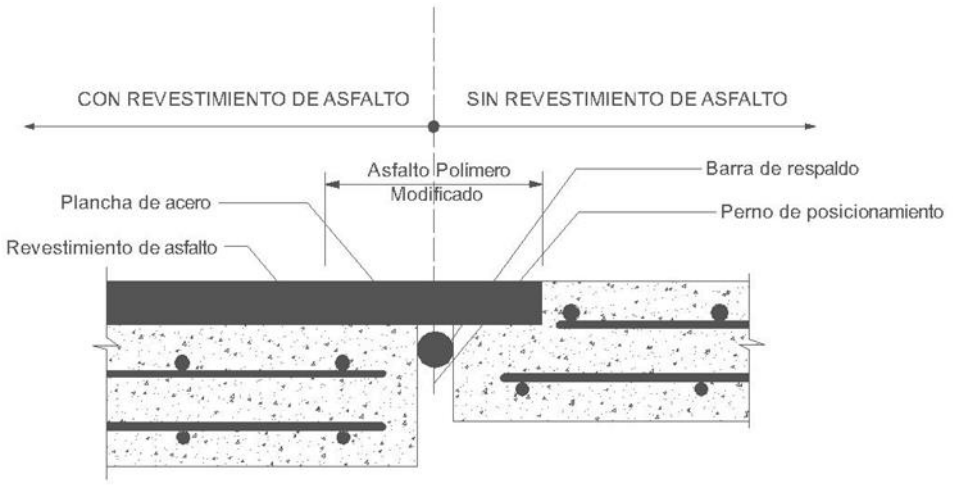


b) JUNTA SELLADA DE COMPRENSIÓN

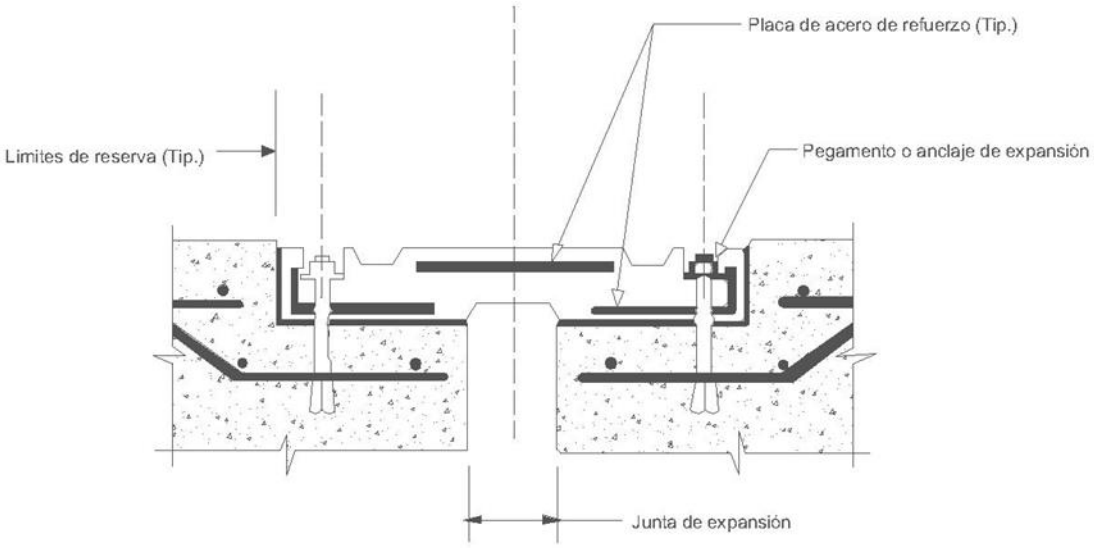
Junta con Mediano Rango de

Movimiento. Se utiliza para puentes de tránsito ligero y pesado, con claros pequeños o medios.

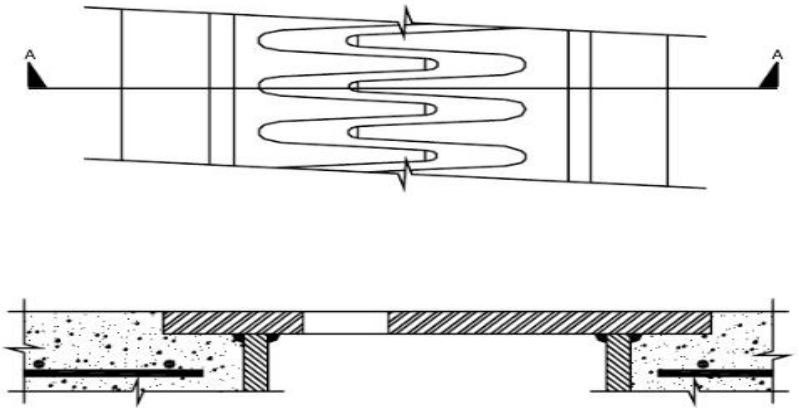
Rango horizontal RH: ± 45 mm. Rango vertical RV: ± 10 mm



c) JUNTA SELLADA DE ASFALTO

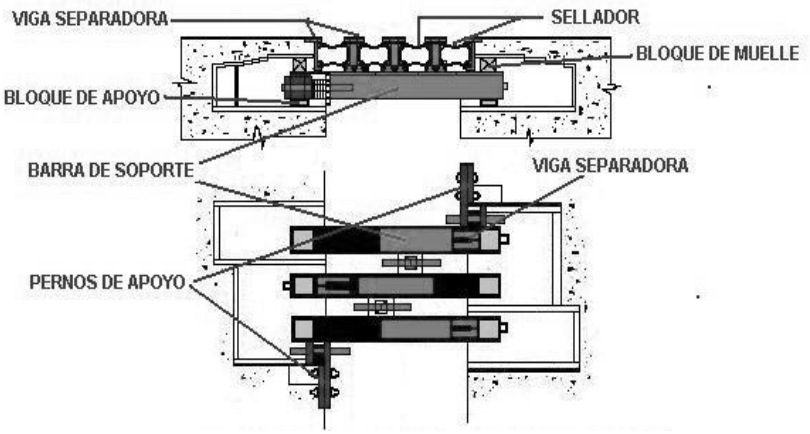


a) JUNTA PANEL BOLT - DOWN



c) JUNTA TIPO PEINE

Juntas con alto rango de movimiento. Generalmente se usan para puentes especiales y son Juntas Modulares, sirven para ajustar movimientos complejos, hasta de 1,20 m, en puentes de claros largos y curvos.



En el **Apéndice A 5.4.2** se muestran otros tipos de juntas de dilatación para puentes.

Las acciones del tránsito inciden directamente sobre ellas mediante solicitaciones de impacto repetitivas, lo que produce el agotamiento por fatiga o el desgaste de sus componentes, a los que hay que añadir la corrosión de los elementos metálicos y el envejecimiento de perfiles de goma, morteros, etcétera. Las acciones que se llevan a cabo son de dos tipos:

Reparación de Juntas. Estos trabajos consisten en: sustitución de módulos, apretado de tuercas y tornillos, reparación del mortero lateral roto o cuarteado, sustitución de perfiles de goma envejecidos o despegados.

Renovación de Juntas. Consiste en cambio de la junta por una nueva. En este caso es posible, en ocasiones, colocar una nueva junta más sencilla que la original, debido a que ya no se toman en cuenta los movimientos iniciales de la estructura (fluencia, retracción, etcétera).

Las juntas tradicionales y las más empleadas, son para movimientos pequeños y los daños que se pueden presentar en ellas son:

Obstrucción de Juntas de Dilatación. Presencia de obstáculos o basura (sólidas) que no permiten su buen funcionamiento (falta de movimientos horizontales y verticales que deben soportar). En la Figura 5.4.2 se ilustra, obstrucción de juntas con asfalto.



Figura 5.4.2. Obstrucción de junta con carpeta asfáltica

También pueden estar cubiertas totalmente por reencarpetamiento, en el que no se deja el espacio libre de la junta.

Deterioro de la Junta. Se presenta rotura del sello o sus elementos, lo que permite el paso del agua a través de la ella, causando daño a la subestructura y a los apoyos. En la Figura 5.4.3 se muestran ejemplo de juntas en buen estado y deteriorada.



Figura 5.4.3. Ejemplo de junta en buen estado y otra deteriorada

Colocación Incompleta de los Elementos de la Junta. Generalmente los extremos de la reserva de la junta (guarnición o banqueta) quedan sin sellar. En la Figura 5.4.4 se ilustra, mediante fotografías, ejemplos de ellas.



Figura 5.4.4. Ejemplo de colocación incompleta de los elementos de una junta

Procedimiento Constructivo para Cambio de Juntas de Calzada

Éste es un ejemplo del procedimiento de cambio de junta tipo Frey-Mex T-50, que se ilustra mediante fotografía en la Figura 5.4.5 y que es el tipo de junta más comúnmente empleado.

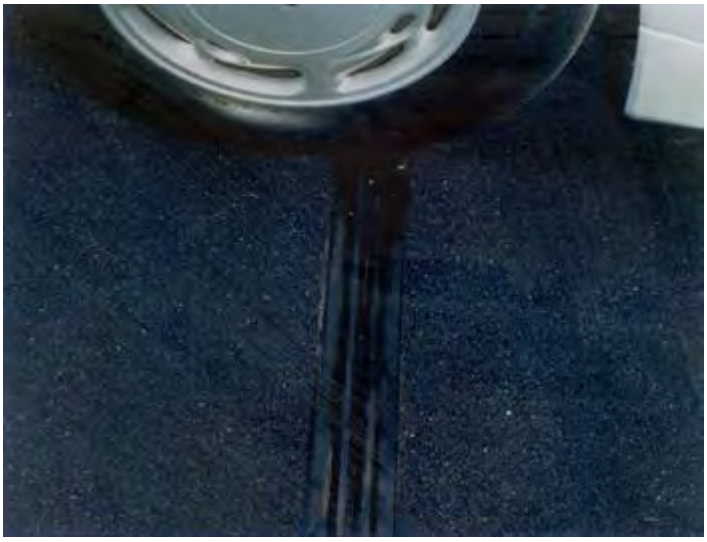
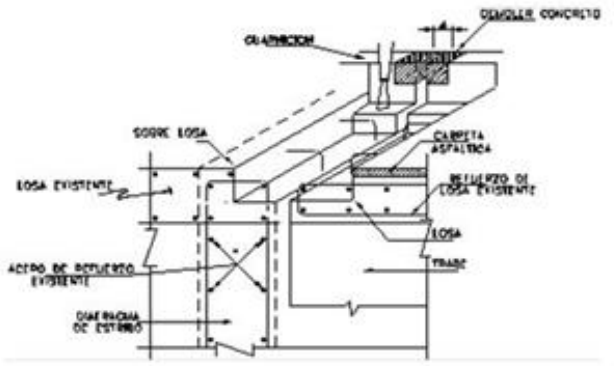
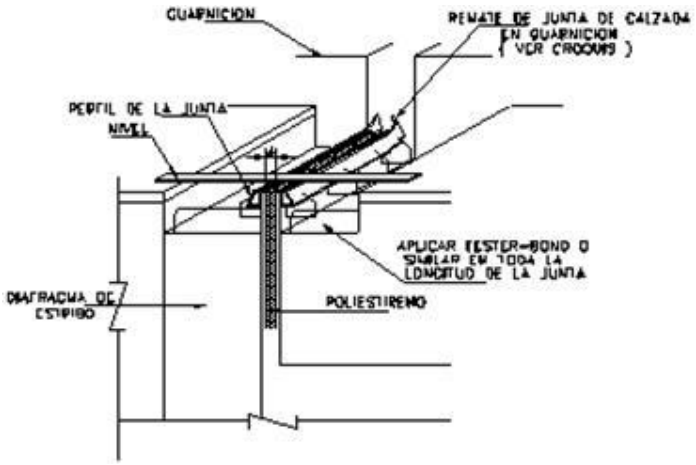


Figura 5.4.5. Junta tipo Frey Mex T-50

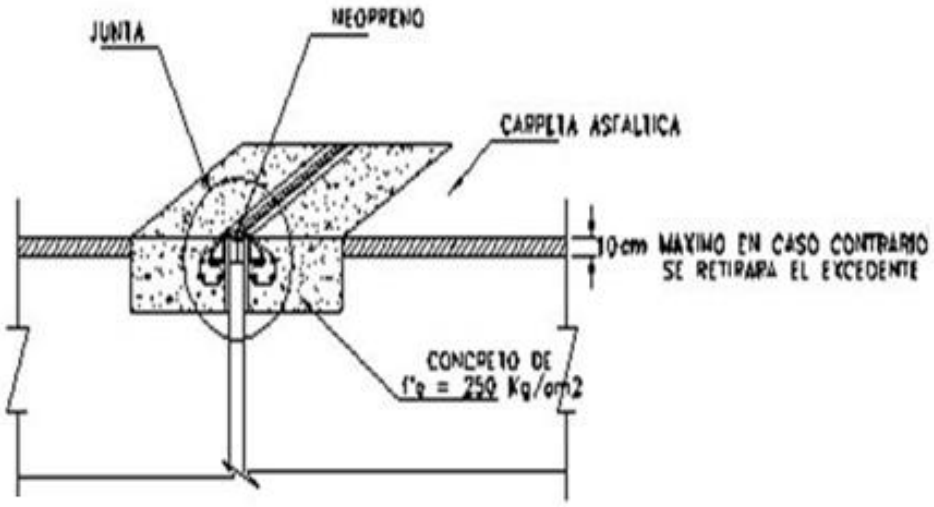
- Cortar y retirar la carpeta asfáltica en un ancho de 20 cm en ambos lados de la junta de dilatación.
- Realizar la demolición parcial de la losa y hasta 15 cm dentro de la banqueta para fijar el remate de la junta de dilatación.



- Retirar ángulos y placa de acero de junta existente.
- Colocar y habilitar perfil en la calzada en ambos lados de la junta.



- Checar nivelación de la junta.



- Colar y vibrar perfectamente zona de juntas.
- Una vez fraguado el concreto se colocará el perfil de neopreno.

En la Figura 5.4.6 se muestra una junta de dilatación reparada.

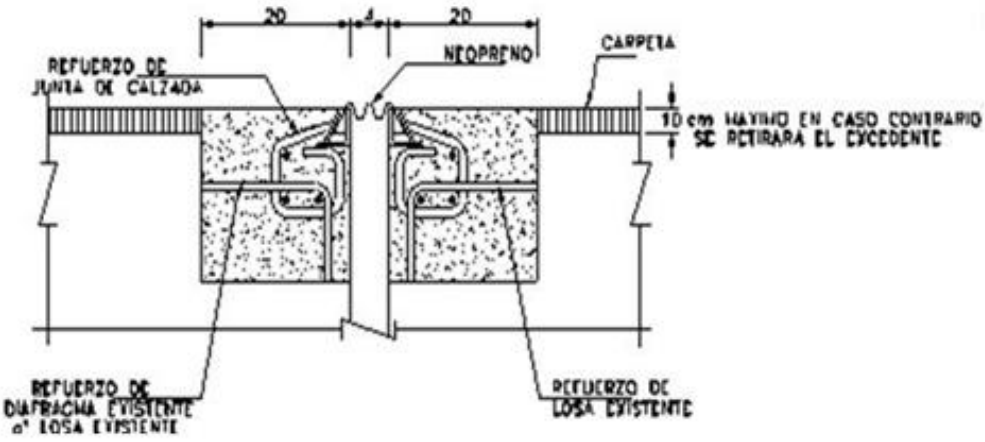




Figura 5.4.6. Junta de dilatación reparada

Tipos, Daños y Procedimiento Constructivo para la Sustitución de Apoyos

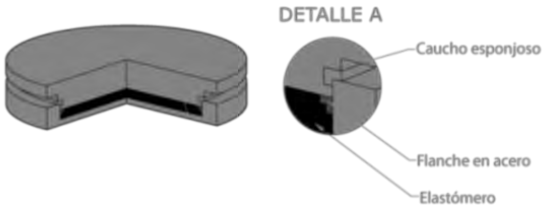
Los apoyos son sistemas mecánicos que transmiten las cargas de la superestructura a la subestructura. Pueden ser fijos (restringen movimiento en todas direcciones) o móviles (solamente existe una reacción que es perpendicular al plano de apoyo) según su función.

Tipos de Apoyos:

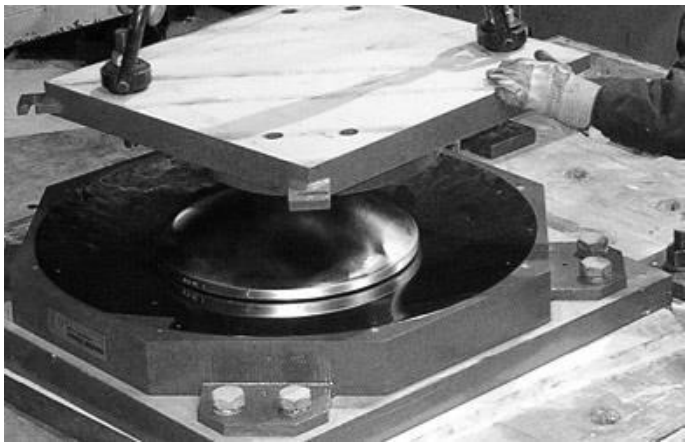
Los apoyos de neopreno integral para puentes, están constituidos en esencia por un bloque de elastómero (neopreno), que llevan intercaladas en su masa y vulcanizadas con la goma, y por tanto firmemente adheridas a ella, unas chapas de acero A-36 (Calidad del Acero, Norma ASTM "American Society for Testing and Materials" A 36 / A 36M-94), como se muestra a continuación:



Los apoyos tipo POT se utilizan cuando se requiere soportar grandes cargas que superan la resistencia de un apoyo reforzado convencional. Los apoyos tipo POT maximizan la resistencia al cortante del elastómero encerrándolo en un cilindro de acero. Este tipo de apoyos permite rotaciones en todas las direcciones y en cuanto a desplazamientos pueden ser fijos (sin desplazamiento), libres (con desplazamiento en todas las direcciones) o con deslizamiento guiado (se desplazan en una dirección). El elastómero al estar dentro del cilindro de acero mantiene su volumen constante y es incompresible, actuando como un pistón en un cilindro hidráulico y ofreciendo una mínima resistencia a cualquier rotación en el eje x.



Los **apoyos de péndulo deslizantes** presentan las excelentes características de apoyos esféricos. El efecto de recentrado se alcanza, según el principio del péndulo, por la superficie principal de deslizamiento curva. Debido al rozamiento en la superficie de deslizamiento se disipa la energía.



Apoyos de péndulo deslizantes

En el **Apéndice A 5.4.3**, se muestran ejemplos de otros tipos de apoyos.

El apoyo utilizado con mayor frecuencia para puentes convencionales es el de neopreno integral.

Es relativamente frecuente la sustitución de apoyos. Cuando los neoprenos están dañados (agrietamiento severo, aplastamiento, deformados, etcétera), es necesario realizar un cambio de apoyos; en la Figura 5.4.7 se ilustra, mediante fotos, algunos tipos de daños:



Daños severos en apoyo de neopreno integral



Apoyo de neopreno aplastado y agrietado



Placas de acero con corrosión



Placas de acero con corrosión y apoyo de neopreno agrietado

Figura 5.4.7. Tipos de daños más frecuentes en apoyos

La acumulación de maleza o basura, como se ilustra en la Figura 5.4.8, afecta a mediano plazo la durabilidad del material del apoyo de neopreno, asimismo la humedad generada en el cabezal causada por el mal funcionamiento de las juntas de dilatación, como se ilustra en la Figura 5.4.9, genera la necesidad de sustituir los apoyos.



Figura 5.4.8. Cabezal con basura y escombro en los apoyos de neopreno



Figura 5.4.9. Cabezal con material pétreo y humedad, en los apoyos de neopreno

El objetivo del cambio de apoyos de neopreno es colocar nuevos dispositivos para reemplazar los existentes, con el fin de preservar el comportamiento estructural del puente; de esta manera evitar que se produzcan daños mayores.

Estas actividades consisten en: proveer la plataforma de trabajo, efectuar la limpieza de los cabezales y el retiro de los apoyos existentes, preparar las bases y colocar los dispositivos de apoyo nuevos.

La **elevación de apoyos** es una de las acciones de conservación más complejas y costosas ya que exige el levantamiento del tablero mediante gatos y el desvío del tránsito.

La definición y cambio de los dispositivos de apoyo debe estar soportada por una memoria de cálculo estructural, y debe tomar en cuenta el régimen estático de la estructura en caso de estructuras continuas en las cuales se pueden presentar solicitaciones excesivas, durante el trabajo, generadas por desplazamientos diferenciales.

También se debe verificar si los diafragmas existentes o las trabes soportarán las acciones generadas para el izaje de la estructura; en caso contrario, primero se tendrán que reforzar estos elementos.

El reemplazo de los dispositivos de apoyo es un trabajo técnico cuidadoso y no deben usarse métodos que impliquen riesgo o peligro.

En el **Apéndice A 5.4.6** se describe el Procedimiento Constructivo de Cambio de Apoyos y en la Figura 5.4.10 se ilustra, mediante fotografías, el eje de algunos puentes con apoyos de neopreno nuevos.



Figura 5.4.10. Eje de puentes con apoyos de neopreno nuevos

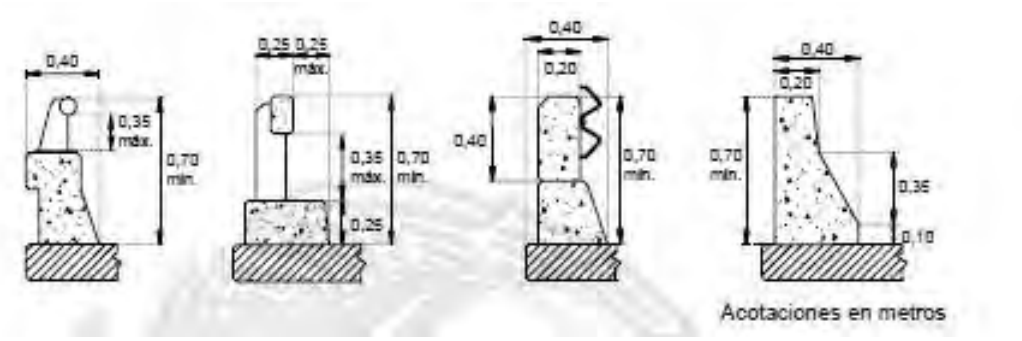
Tipos, Daños y Procedimientos de Reparación en Banquetas, Guarniciones y Parapetos

Por definición las guarniciones son elementos de concreto colocados en las orillas de la calzada de la estructura para encauzar el tránsito vehicular.

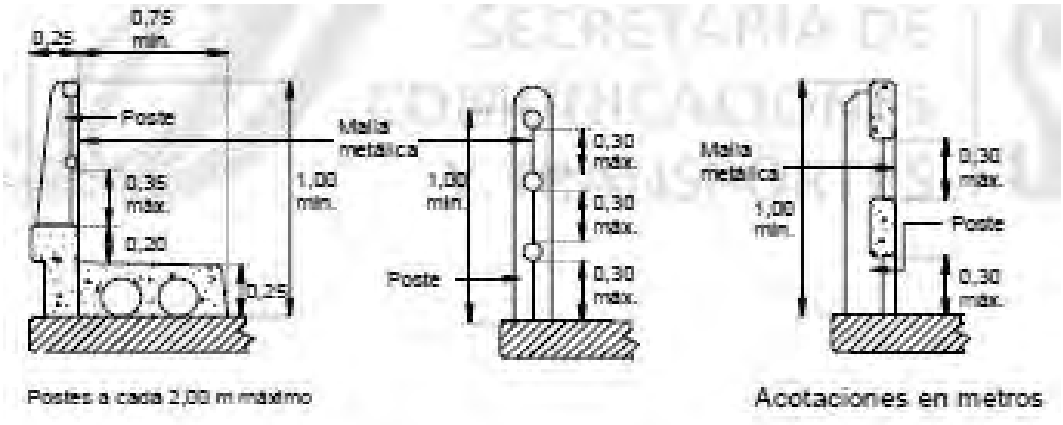
Las banquetas son elementos de concreto construidos en las orillas de la calzada para permitir el paso de peatones en condiciones de seguridad.

Los parapetos son sistemas de postes verticales y elementos longitudinales que se colocan sobre las guarniciones o las banquetas, principalmente para protección de los usuarios; pueden ser de concreto o de acero.

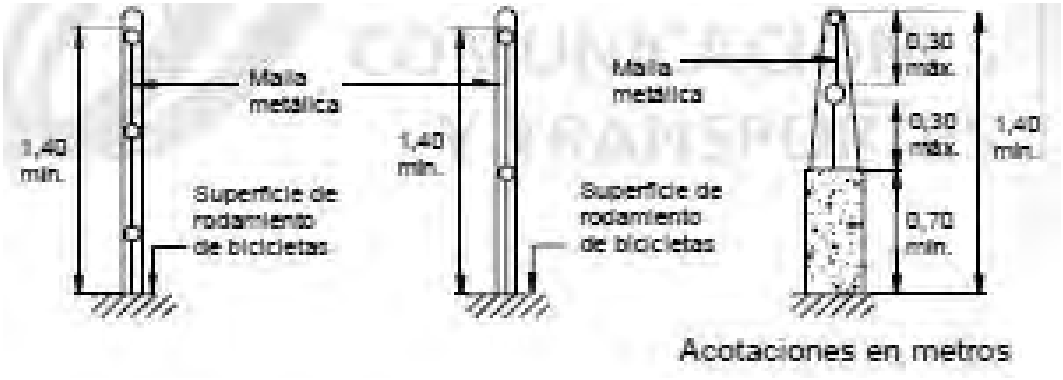
De acuerdo a la **Norma N·PRY·CAR·6·01·002** del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) se tienen los siguientes tipos de parapetos:



Parapetos para vehículos automotores

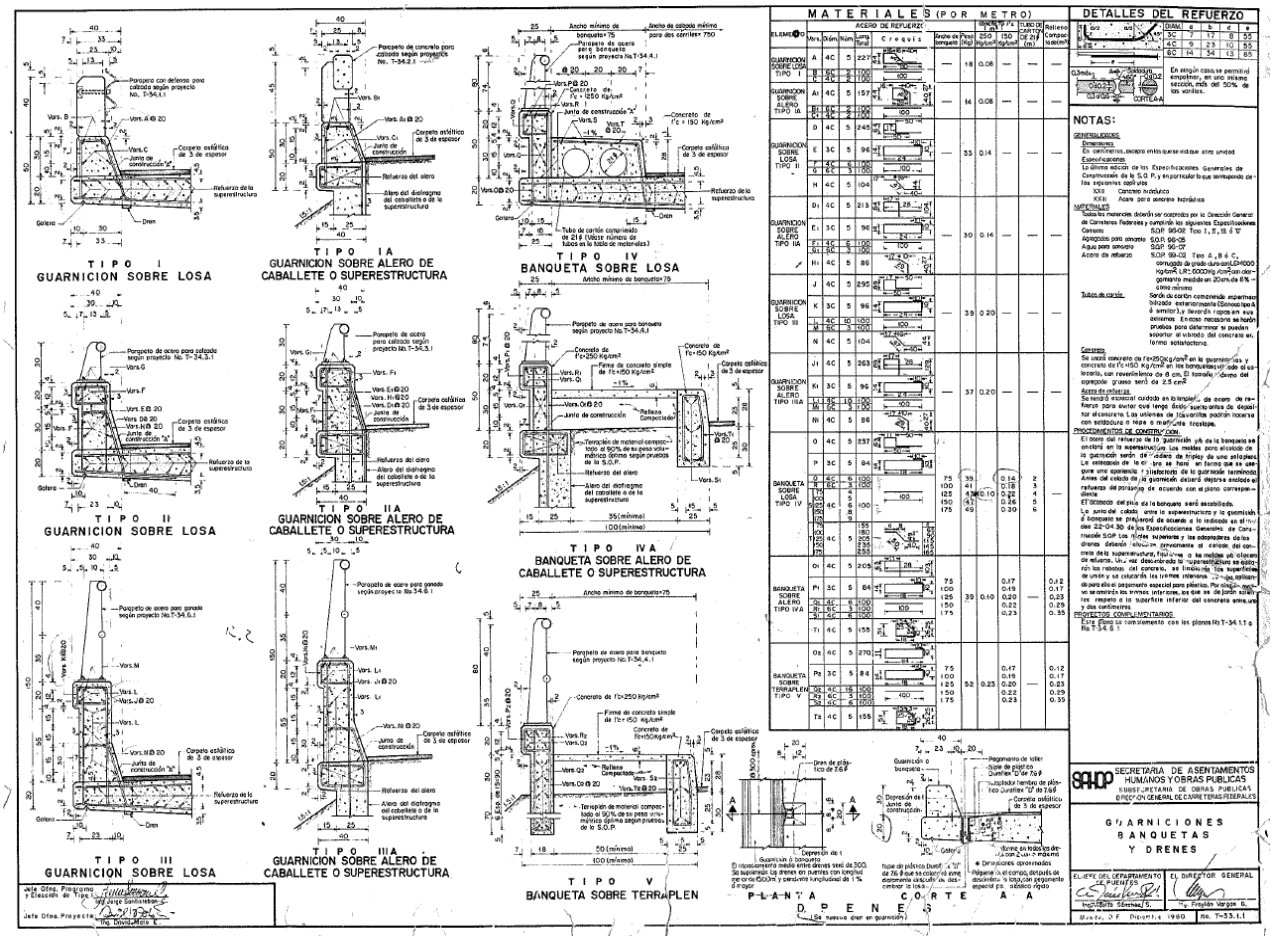


Parapetos peatonales



Parapetos para bicicletas

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) generalmente proyecta estos aditamentos de acuerdo al Manual de Proyectos Tipo de Elementos de Concreto Reforzado, editado por la extinta Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, como se muestra a continuación:



Los daños típicos que se encuentran en estos componentes son:

Deficiencias en su proceso constructivo y/o mal diseño, como se muestra en la Figura 5.4.11.



Figura 5.4.11. Diseño inadecuado de parapeto: falta de longitud

Grietas estructurales y no estructurales producidas por contracción, retracción de fraguado y cambios de temperatura, como se ilustra en las Figuras 5.4.12 y 5.4.13.



Figura 5.4.12. Grieta en guarnición



Figura 5.4.13. Grieta en parapeto de concreto

Deficiencias en la durabilidad del concreto, producidas en algunos casos por carbonatación del concreto, Figura 5.4.14.



Figura 5.4.14. Desconche de concreto por deficiencia en durabilidad y acero de refuerzo expuesto

En los parapetos de acero, los daños típicos que se encuentran son causados principalmente por corrosión y por impactos ocasionados por accidentes de camiones y vehículos, Figuras 5.4.15 a 5.4.18.



Figura 5.4.15.Falta de tramo de tubo



Figura 5.4.16. Guarnición y parapeto con daño



Figura 5.4.17. Parapeto con corrosión



Figura 5.4.18. Daño de parapeto por impacto

A continuación se mencionan los procedimientos empleados para reparar tanto los daños en el concreto, como en el acero de refuerzo y el acero estructural (parapeto metálico).

Tratamiento del Acero de Refuerzo Expuesto y Corroído en el Concreto en Banquetas, Guarniciones y Parapetos

El procedimiento más común para el tratamiento del acero de refuerzo expuesto y oxidado es:

- Se debe descubrir picando todo el concreto que los cubre.
- Se debe eliminar el óxido no adherido (cepillo de alambre o chorro de arena). Después se debe aplicar pintura anticorrosiva.
- Si la varilla presenta pérdida de sección notable se debe reemplazar la sección dañada, si es posible con una nueva, soldada a la antigua.

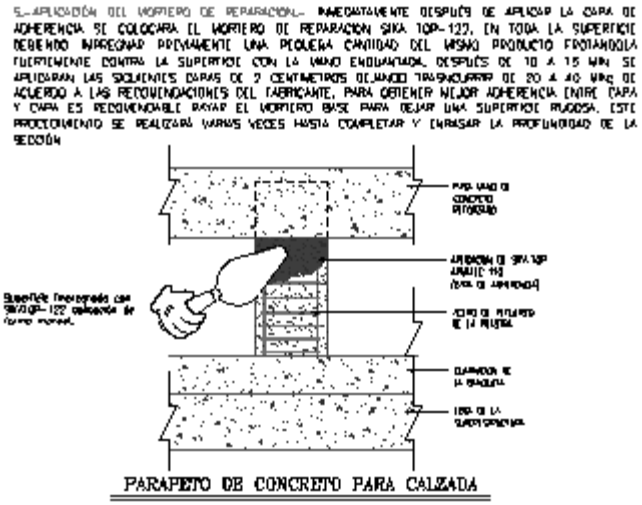
En el **Apéndice A 5.4.7** se muestra de manera esquemática este procedimiento.

Rehabilitación del Concreto Degradado

Posterior a la protección del acero de refuerzo expuesto y corroído, se tendrá que dar un procedimiento para la rehabilitación del concreto degradado, el cual se expone a continuación:

- El concreto alterado se debe sanear demoliéndolo, incluyendo las zonas fisuradas.
- La superficie así obtenida se debe limpiar cuidadosamente (cepillo metálico o chorro de arena) antes de colocar el concreto o el mortero que debe sustituir la zona desaparecida.
- Se debe colocar este nuevo mortero o concreto, que deber cumplir las siguientes condiciones:
    - Tener una adherencia perfecta con el concreto viejo. Es normal para garantizarlo dar una impregnación de resina epóxica a la superficie de contacto.
    - Resistencia mecánica mayor o igual a la del soporte.
    - Baja o nula retracción.
    - Módulo de deformación ligeramente menor al concreto de la pieza de soporte.
    - Coeficiente de dilatación térmica próxima a la del soporte.

Se muestra, de manera esquemática, el procedimiento de rehabilitación del concreto en banquetas, guarniciones y parapetos.



En las Figuras 5.4.19 y 5.4.20 se ilustra el daño de desconche en concreto con acero de refuerzo expuesto en una pilastra, así como la reparación realizada a este elemento.



Figura 5.4.19. Desconche de concreto en



Figura 5.4.20. Pilastras reparadas

Finalmente es necesario realizar un Procedimiento para la aplicación de pintura en banquetas, guarniciones y parapetos de concreto, del cual habla el **Apéndice A 5.4.8** y aquí lo ilustran las Figuras 5.4.21 y 5.4.22, con fotografías.



Figura 5.4.21. Parapeto de concreto sucio y remate de parapeto rayado



Figura 5.4.22. Parapeto de concreto con pintura en buen estado

Cuando se trata de parapetos de acero, el Procedimiento para la Aplicación de Pintura en Parapetos Metálicos se muestra en el **Apéndice A 5.4.9** de manera esquemática y abajo, en fotografías, en las Figuras 5.4.23 y 5.4.24 se ilustra un parapeto sin pintura y con corrosión y otro reparado.



Figura 5.4.23. Parapeto sin pintura y con corrosión



Figura 5.4.24. Parapeto reparado

Daños y Procedimiento Constructivo para la Reparación de la Superestructura (losas, diafragmas y sistema portante)

Un puente tiene como superestructura a todos aquellos elementos que se encuentran posicionados por encima de los estribos y pilas (subestructura), que funcionan como apoyos de aquélla.

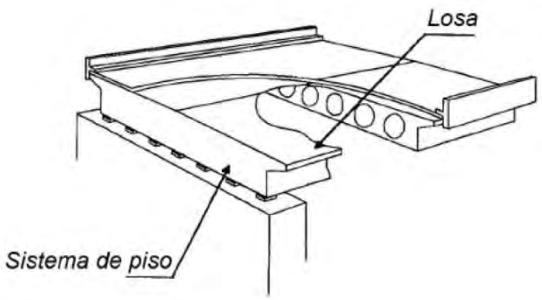
En general se tienen dos tipos de superestructuras: de concreto y de acero.

Superestructuras de Concreto

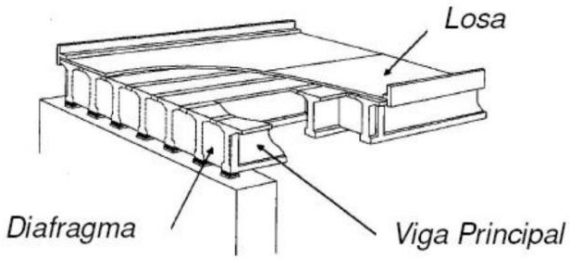
Está constituida por el tablero (losa) y la estructura portante (diafragmas y trabes).

La losa es la que soporta, en primera instancia, las cargas de los vehículos para transmitir sus efectos a la estructura portante. En la mayoría de los casos la losa es de concreto reforzado.

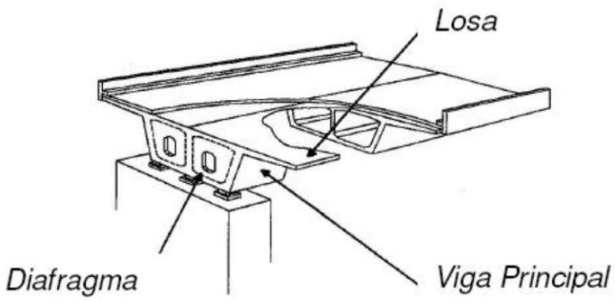
El sistema portante es el que soporta al tablero y salva el claro entre apoyos, transmitiendo las cargas a la subestructura. Para los puentes tradicionales los tipos más comunes son: Nervaduras, Trabes AASHTO, Trabes cajón, Tabletas. Algunos tipos se ilustran a continuación.



Tipo losa



Viga tipo T



Viga tipo cajón

Los daños que se presentan en este tipo de superestructura frecuentemente están en el concreto, en el acero de refuerzo y/o en el acero de presfuerzo, los que se reparan para que no se generen deterioros graves que lleven a tener que realizar un reforzamiento.

Esta necesidad surge por varios motivos, entre los cuales el proceso normal de degradación de las estructuras de concreto armado, al estar sometidas a las acciones ambientales.

La inevitable carbonatación del concreto va penetrando progresivamente hasta alcanzar al acero de refuerzo, que pierde así la protección que les proporcionaba la elevada alcalinidad inicial. Este efecto, unido al ingreso de cloruros procedente, fundamentalmente, de las sales que contiene el agua, facilita la corrosión del acero de refuerzo, con los efectos negativos sobre el concreto, que se manifiestan como fisuración, de laminación y desintegración más o menos localizadas.

Por otra parte, los fenómenos químicos del tipo reacción álcali - agregado y similar, que cuando se producen, dan origen a hinchamientos que se traducen normalmente en fisuración. Esta fisuración es debida en muchos casos a la superación de la resistencia a la tensión.

Estos procesos de degradación están ligados principalmente a dos factores: la mayor o menor permeabilidad del

concreto y la existencia de agua que pueda acceder a la masa del concreto.

Estas causas dan lugar a un conjunto de acciones destinadas a rehabilitar el concreto y el acero de refuerzo y a mejorar el sistema de impermeabilización y evacuación del agua, enemigo número uno de las obras. Los trabajos comunes que se realizan en estos elementos son:

- Reparación de grietas y desconches en trabes, diafragmas y losas.
- Inyección de resinas epóxicas para sellar grietas.

Las Figuras 5.4.25 a 5.4.29, ilustran, mediante fotografías, algunos de los daños mencionados en una superestructura de concreto.



Figura 5.4.25. Grietas en nervadura



Figura 5.4.26. Grieta en diafragma



Figura 5.4.27. Desconche de concreto con acero de refuerzo expuesto y corrosión, en losa plana



Figura 5.4.28. Acero de refuerzo expuesto y corrosión en trabe tipo cajón

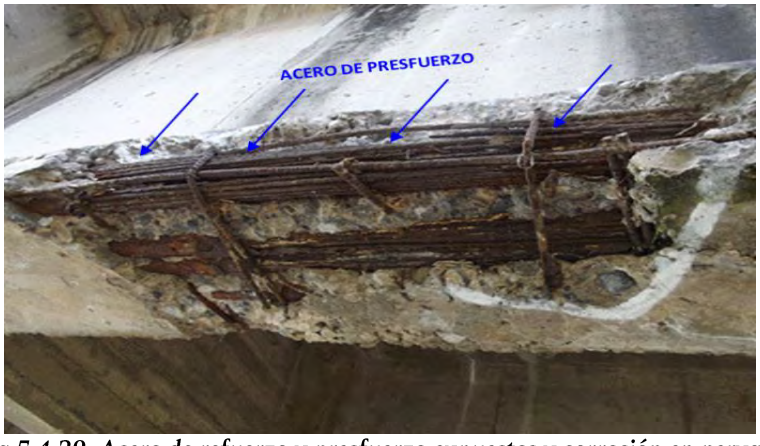


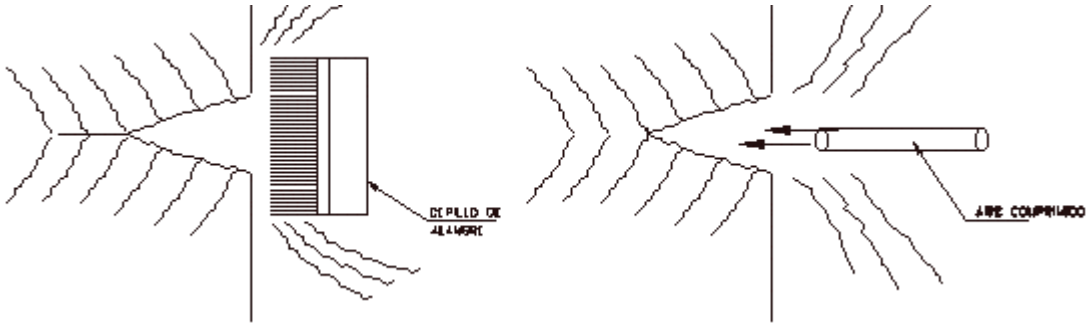
Figura 5.4.29. Acero de refuerzo y presfuerzo expuestos y corrosión en nervadura

En el **Apéndice A 5.4.10** se muestra el Procedimiento para Realizar la Reparación de Grietas, Oquedades y Desconches en Trabes, Diafragmas y Losas.

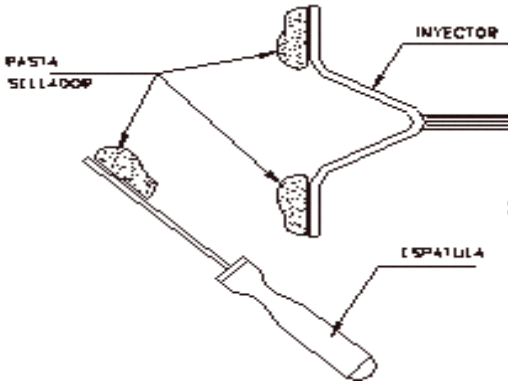
Para la reparación de grietas es necesario realizar un procedimiento de inyección, el cual se muestra a continuación de manera esquemática.

Pasos a seguir para la Inyección de Grietas:

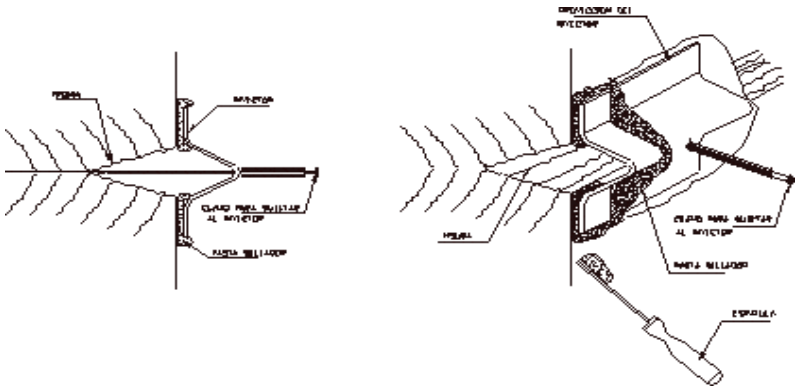
1. Preparación de la Superficie. Limpiar con un cepillo de alambre el área de la grieta removiendo el concreto deteriorado, quedando una superficie libre de grasas y polvo. Cuando exista humedad en la fisura es preciso retirarla a base de aire comprimido de tal manera que la fisura quede totalmente seca.



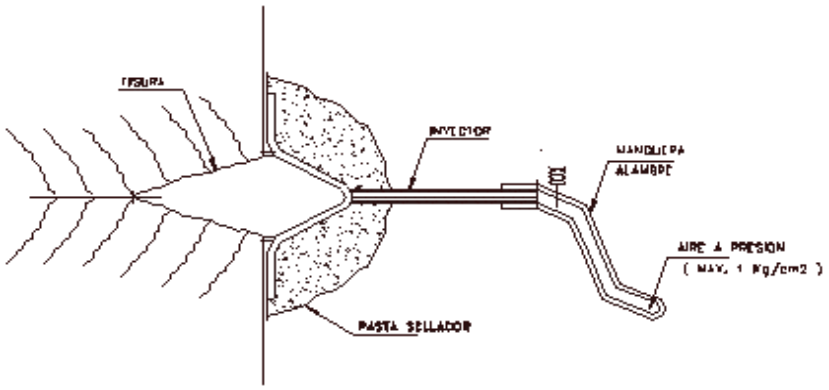
2. Colocación de la Pasta. Colocación de la pasta de poliéster (sellador) con una espátula sobre el inyector; esta pasta deberá ser capaz de soportar la presión de inyección sin que se bote.



3. Colocación de Inyectores. Colocar los inyectores a lo largo de la fisura sujetándolos por medio de un clavo. Colocar pasta sellador a lo largo de toda la fisura de tal manera que no pueda fugarse la resina durante la inyección. Cuando las fisuras atraviesen todo el elemento se deberán colocar inyectores en ambos lados.

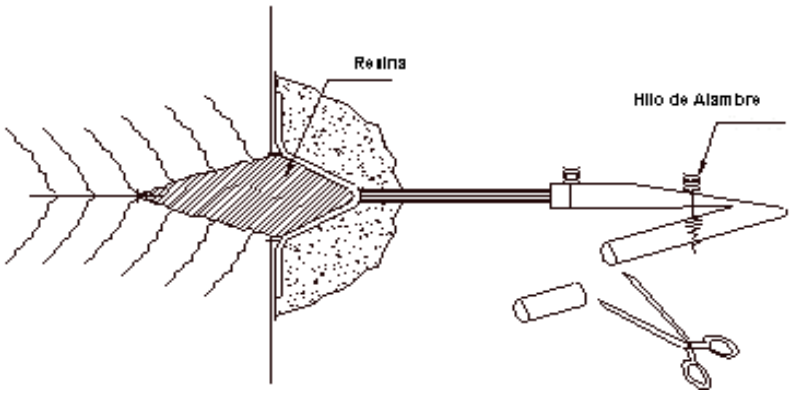


4. Prueba de Sello. Una vez endurecido el sello, se conectan las mangueras a los inyectores y mediante aire a baja presión se debe comprobar la comunicación de todos los puntos de salida y la estanqueidad del sello.

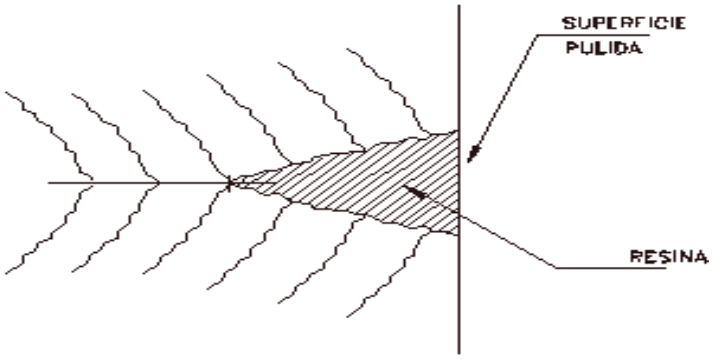


5. Inyección. Una vez comprobada la continuidad de los puntos se debe realizar lo siguiente:

- Preparar la resina.
- Iniciar la inyección por el punto extremo inferior de la fisura hasta que la resina salga por el siguiente punto.
- Cortar la manguera y pizcarla con hilo de alambre de tal manera que esté totalmente cerrada.
- Seguir inyectando hasta que la resina salga por el inyector superior, cerrarlo y mantener la presión durante algunos minutos para asegurar el llenado completo de la fisura.
- Dejar un testigo de resina para que después se pueda verificar su endurecimiento.
- Para realizar la inyección se utiliza un recipiente provisto de un manómetro de manera que se pueda controlar la presión de inyección (no mayor a 5 kg/cm^2 y no menor a 1.5 kg/cm^2).



- Limpieza. Se debe secar la resina por lo menos 24 horas y se verifica que haya endurecido. Una vez endurecida la resina, retirar la pasta selladora e inyectores, y limpiar y pulir la superficie.



La Figura 5.4.30 muestra una losa con desconche y grietas, ya reparadas.



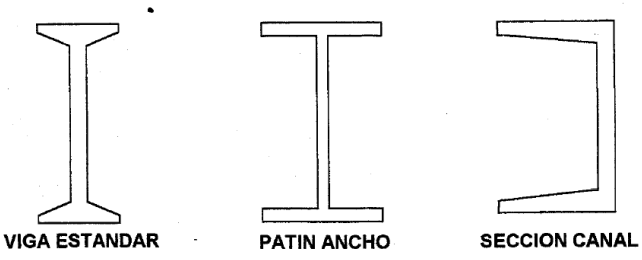
Figura 5.4.30. Losa con desconche y grietas, reparadas

Superestructuras de Acero

En este tipo de estructuras, el sistema portante está formado por vigas metálicas que se apoyan sobre estribos y/o pilas, sobre las cuales se dispone la losa.

Los tipos de sistema portante más utilizados para superestructuras de acero son:

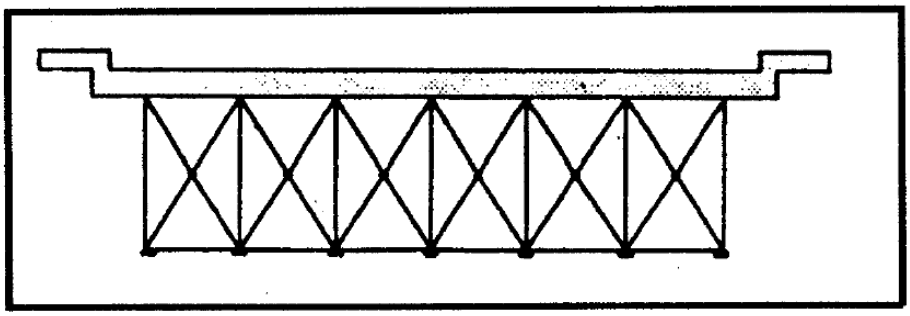
Trabes Laminadas. Son aquellas que se fabrican en planta y son usadas para claros cortos. Los tipos más comunes de perfiles laminados para trabes son los que se muestran:



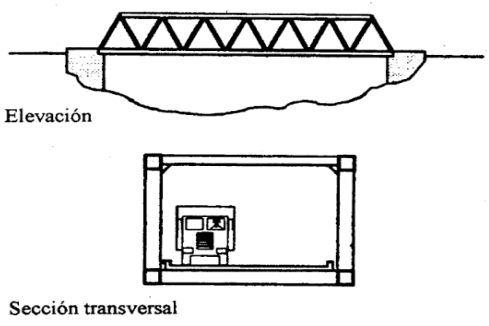
Trabes Compuestas. Éstas se requieren cuando es necesario un módulo de sección mayor que el de las vigas laminadas. Se utilizan para longitudes de claros intermedios. Los elementos básicos de una trabe armada son un alma a la cual se le sueldan o remachan los patines, cuyas formas más comunes son:



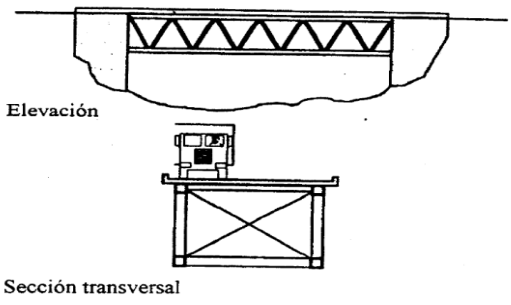
Armaduras. Es un tipo de sistema estructural, que, debido a sus características proporciona capacidades de cargas relativamente altas aunque es muy sensible a fatiga y puede usarse en claros ligeramente mayores que para las trabes laminadas y compuestas. En seguida se muestran algunos ejemplos:



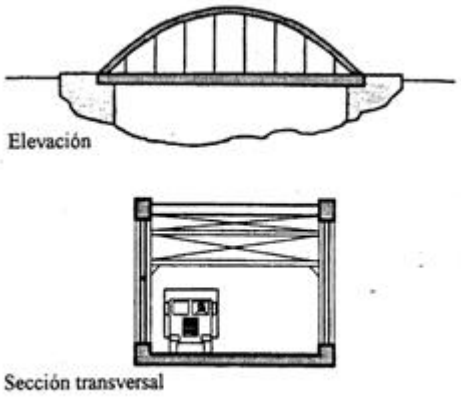
Losa sobre armadura espacial



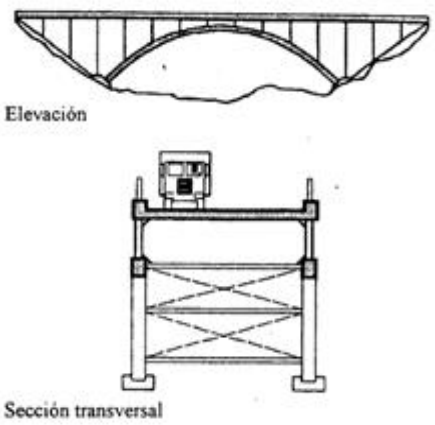
Armadura de paso inferior



Armadura de paso superior



Arco inferior



Arco superior

Los daños que se presentan en este tipo de superestructuras pueden ser producidos por defectos en el diseño, en la construcción o por empleo de material deficiente:

Defecto	Daño
Inadecuada protección del acero. Falta de recubrimiento o material protector del acero (pinturas).	Expone a los elementos de acero a los efectos del agua, aire, intemperie en general, ocasionando su corrosión, que conlleva a la disminución de su resistencia.
Defectos en las uniones. Soldaduras defectuosas (grietas, mordeduras, discontinuidad, burbujas, impurezas).	Puede ocasionar grandes problemas en las estructuras, ya que las uniones representan un elemento fundamental. Desplazamientos indeseados, disminución de la capacidad de resistencia, colapso total o parcial de la estructura.

Las Figuras 5.4.31 a 5.4.38 muestran, con fotografías, algunos daños encontrados en estructuras inspeccionadas.



Figura 5.4.31. Sistema portante c/vigas compuestas



Figura 5.4.32. Tornillos con corrosión



Figura 5.4.33. Sistema portante de armadura



Figura 5.4.34. Placas con fractura en soldadura



Figura 5.4.35. Losa sobre armado espacial



Figura 5.4.36. Corrosión y disminución de sección en placa



Figura 5.4.37. Sistema portante de armadura



Figura 5.4.38. Tornillos faltantes

Las reparaciones que se realizan en este tipo de superestructuras pueden ser:

- Reparaciones por oxidación y corrosión, para lo cual se sigue el Procedimiento para la aplicación de pintura en parapetos metálicos, ver **Apéndice A 5.4.9.**

- Sustitución de elementos que han tenido pérdidas del área de su sección transversal.
- Reemplazo de remaches y pernos.

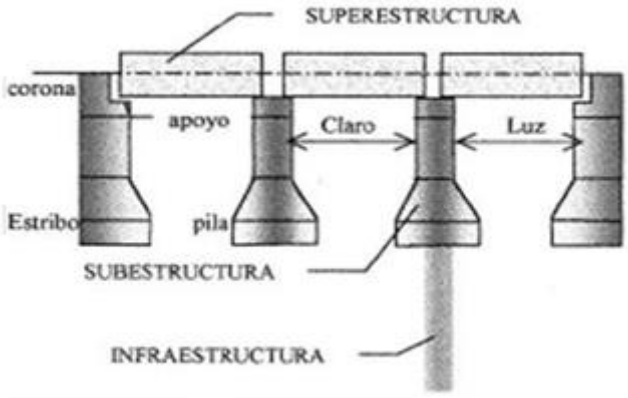
El **Apéndice A 5.4.11** muestra un ejemplo de Reparaciones en la Estructura de Acero de un Puente con Armadura de Paso inferior, para el cual se realizó un procedimiento para eliminar el agua que se encontraba alojada en el interior de las cuerdas inferiores y sellar las uniones de las placas; asimismo se muestra la actividad para dar protección anticorrosiva con pintura. La Figura 5.4.39 muestra una estructura con pintura en buen estado.



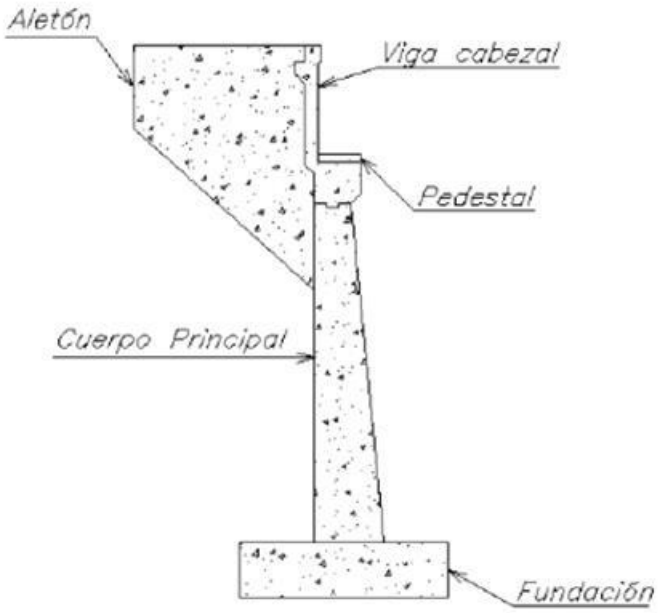
Figura 5.4.39. Puente con pintura en buen estado

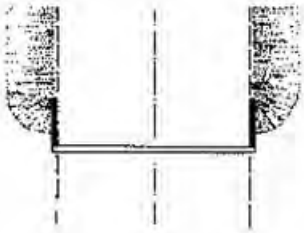
Daños y Procedimiento Constructivo para la Reparación de Subestructuras (estribos, caballetes y pilas)

En un puente la subestructura es el conjunto de elementos encargados de transmitir las cargas de la superestructura y su peso propio a la infraestructura (cimentación); pueden ser estribos, caballetes y pilas.

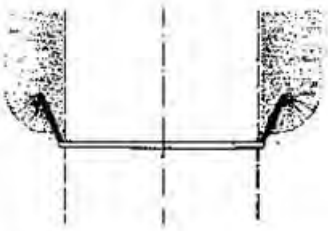


Los estribos y caballetes están ubicados en cada extremo del puente por lo que además de sostener parte de la superestructura, retienen el terraplén. Si es estribo funciona como muro frontal del terraplén y si es caballete requiere de protección del talud del terraplén, ya que éste derrama al frente del caballete. Estos elementos además cuentan con aleros que pueden ser abiertos o cerrados y que también ayudan a contener el talud del terraplén lateral de los accesos.

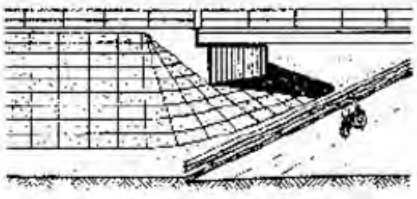




- **MUROS DE VUELTA:** Vinculados al estribo y paralelos al eje del camino, y sostienen lateralmente la tierra.



- **MUROS DE ALA:** Vinculados al estribo e inclinados respecto al eje del camino, y sostienen parte de la tierra.



- **PROTECCIÓN DE TALUDES:** De naturaleza variable, evitan la socavación de la tierra.

En el **Apéndice A 5.4.4** se muestran otros tipos de estribos que considera el reporte de SIPUMEX.

En general, los estribos de puentes antiguos se construyeron con mampostería o concreto simple, ver Figura 5.4.40; actualmente predomina el uso del concreto reforzado, ver Figura 5.4.41.

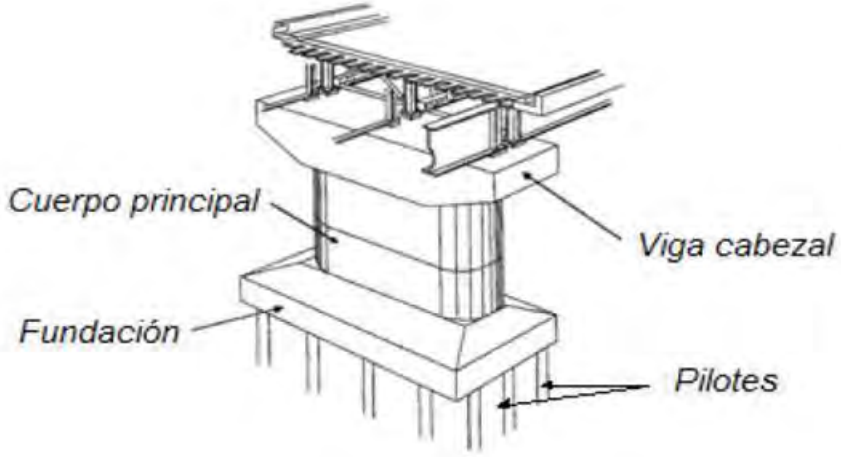


Figura 5.4.40. Estribo de mampostería



Figura 5.4.41 Estribo de concreto reforzado

Las **pilas** son elementos estructurales ubicados entre los estribos o caballetes, y junto con éstos sostienen a la superestructura.



En el **Apéndice A 5.4.5**, se muestran otros tipos de pilas que considera el reporte de SIPUMEX

Desde el punto de vista del material, las pilas pueden ser de mampostería, concreto ciclópeo, concreto reforzado o presforzado, siendo estos últimos dos, los más usados actualmente; las Figuras 5.4.42 a 5.5.44 ilustran estos tipos de pilas.



Figura 5.4.42. Pila de concreto reforzado



Figura 5.4.43. Pila de concreto ciclópeo



Figura 5.4.44. Pila de mampostería

Los daños más frecuentes que se presentan en la subestructura se muestran en las Figuras 5.4.45 a 5.4.50.



Figura 5.4.45. Fisuras, grietas y desconches en el concreto



Figura 5.4.46. Socavación en la cimentación de un estribo



Figura 5.4.47. Asentamiento del terraplén en los conos de derrame frontales de los caballetes



Figura 5.4.48. Elementos incompletos



Figura 5.4.49. Manchas por escurrimientos de agua a través de las juntas que provocan daños en el concreto



Figura 5.4.50. Elementos mal colados

Las reparaciones que se realizan pueden ser:

a) **Reparaciones en el Concreto y el Acero de Refuerzo.** Generalmente estos elementos presentan acumulación de agua en los cabezales y manchas de escurrimiento en su elementos (cuerpo, aleros, cabezal, topes y bancos), por lo que el concreto sufre desconches con o sin acero de refuerzo expuesto y con corrosión, agrietamientos y fracturas; los Procedimientos para tratar estos daños se presentaron en las reparaciones de la superestructura y aplican para la reparación de la subestructura. En la Figura 5.4.51 se muestra un estribo con grietas reparadas.



Figura 5.4.51. Estribo con grietas reparadas

b) **Reparaciones en la Mampostería por Pérdida de Cementante.** Siempre y cuando no sean daños severos y que estos elementos sean aprobados en la revisión estructural, ya que ocasiona la formación de grietas. En el **Apéndice A 5.4.12** se muestra un Procedimiento para la Reparación de Grietas en la Mampostería. En la Figura 5.4.52 se ilustra, mediante fotografía, un elemento con las perforaciones para inyección, uno de los pasos para la reparación de grietas.

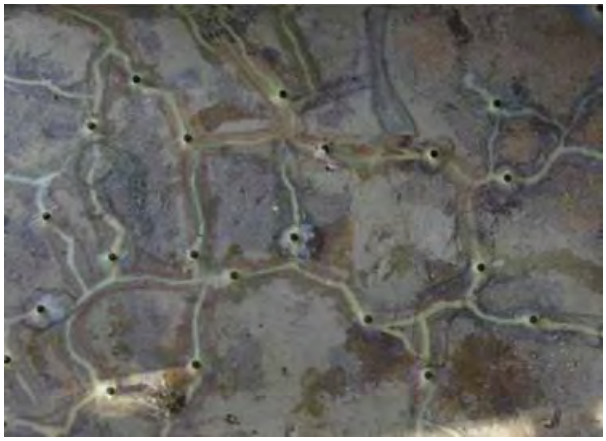


Figura 5.4.52. Inyección de grietas en mampostería

c) **Reparación de Fractura en Estribos de Concreto Ciclópeo.** Algunos estribos, especialmente de alcantarillas, son fabricados con concreto simple; si al hacer la revisión estructural, estos elementos no presentan deficiencia de capacidad de carga, entonces se podrá hacer una reparación como se muestra en el **Apéndice A 5.4.13** Procedimiento Reparación de Fracturas en Estribos de Concreto Ciclópeo.

d) **Protección Contra Socavación**. Estos procedimientos se muestran en la sección de Reparaciones de Cauces y Cimentaciones, ya que generalmente involucran tanto a la subestructura como a la infraestructura.

e) Finalmente, en ocasiones se presentan daños en las losas de protección frontales de los conos de derrame de los caballetes; en el **Apéndice A 5.4.14** se muestra como ejemplo un Procedimiento de Reparación de Losa de Protección de un Cono de Derrame y en la Figura 5.4.53 se ilustra, mediante fotografía, un cono de derrame asentado que generó daño en la losa.



Figura 5.4.53. Asentamiento y pérdida de material del terraplén en cono de derrame que generó daño en losa

Protección de Cauces y Cimentaciones

Socavación. Es un fenómeno natural que afecta principalmente al cauce de ríos y arroyos, pero que no se limita a éstos, ya que la remoción del material del fondo o de las orillas puede ocurrir en cualquier corriente o masa de agua en movimiento, tal como una corriente costera, un estero o, inclusive, un canal. La socavación interesa al ingeniero de vías terrestres debido a la frecuente necesidad de cruzar corrientes de agua, principalmente ríos y esteros, por medio de puentes, que normalmente tienen apoyos sobre la corriente. Desde este punto de vista, el

ingeniero de vías terrestres está principalmente preocupado por 3 formas de socavación, que son las que afectan en forma predominante a sus puentes.

1. La S**ocavación General.** Es el espesor del fondo del cauce en que los materiales allí existentes pueden ser puestos en suspensión por una eventual creciente. En estricto sentido, esta forma de socavación es independiente de la presencia de ningún puente y es la que ocurre en el río antes de construir cualquier estructura. Cualquier apoyo de un puente debe quedar, invariablemente, cimentado por debajo del nivel de la socavación general.

2. La S**ocavación Local.** Es la que se produce en la vecindad de las pilas de un puente situadas en la corriente, como consecuencia de la distorsión de las trayectorias de flujo, causadas por la propia pila. Si este fenómeno progresa lo suficiente, hasta alcanzar profundidades abajo del nivel de desplante de la pila, ocurrirá el colapso total de ésta.

3. La **Socavación por Estrechamiento del Cauce**, producido por invasión a éste de los terraplenes de acceso a la estructura de cruce, produce una reducción de su área hidráulica, con el correspondiente aumento de velocidad y el poder erosivo del agua.

La erosión del fondo de un cauce, en cualquiera de las 3 formas anteriores, es una cuestión de equilibrio entre el aporte sólido que trae el agua a una cierta sección hidráulica y la capacidad que tenga para remover material de esa sección. En las avenidas aumenta la velocidad del agua y, por ende, la capacidad de arrastre del material del fondo depende de la relación entre la velocidad de la corriente y la necesaria para arrastrar el material existente.

La velocidad del agua depende de las características hidráulicas del río y de la intensidad de la avenida, en tanto que la velocidad necesaria para arrastrar al material o velocidad de erosión depende de las características del material del fondo y del tirante.

La protección de la cimentación de un puente contra socavación consiste en tomar todas aquellas medidas con el fin de hacerlo menos vulnerable a daños durante crecientes.

Las técnicas de protección contra socavación más comunes son:

1. Colocación de zampeado sobre el cauce.
2. Colocación de enrocamiento.
3. Protección a base de gaviones.
4. Construcción de dentellones perimetrales.
5. Protección a base de geotextil relleno de concreto.

Colocación de Zampeado Sobre el Cauce

El zampeado es un elemento de protección del cauce contra la socavación que consiste en la colocación de una capa de mampostería de piedra junteada; su función es evitar que el agua esté en contacto directo con los materiales del fondo y detener la erosión que pueda presentarse.

La protección variará dependiendo del material que conforma el fondo y los bordos del cauce, pudiéndose ampliar ésta hasta las márgenes.

El espesor del zampeado empleado varía entre 10 y 15 cm y deberá rematar al inicio y al final con un dentellón del mismo material de 30 cm de ancho mínimo y 1.5 ó 2 m de profundidad.

Colocación de Enrocamiento

Es el método que ha demostrado ser el más efectivo para reducir la profundidad de socavación local; consiste en colocar piedras alrededor de la pila en un espesor de tres veces el diámetro medio del enrocamiento y dos veces

el ancho de la pila; el diámetro promedio de los fragmentos de roca debe ser tal que dicho fragmento no sea arrastrado por la máxima velocidad de la corriente; en el **Apéndice 5.4.2** se dan recomendaciones para determinar el diámetro de los fragmentos de roca, mismo que está en función de la velocidad de la corriente, del tirante y del peso específico de la roca. En la Figura 5.4.54 se ilustra, la colocación de enrocamiento para protección de un caballete.



Figura 5.4.54. Colocación de enrocamiento para protección de caballete

Protección a Base de Gaviones

El gavión es un elemento modular en forma de paralelepípedo, tipo caja, confeccionado a partir de redes metálicas con malla hexagonal de triple torsión, llenado con rocas de tamaño entre 4" y 10", costuradas o unidas sus juntas, formando estructuras monolíticas flexibles, destinadas a retener o contener deslizamientos y/o controlar procesos erosivos de suelos en laderas, taludes o terraplenes.

Su utilización en la protección contra socavación consiste en formar una estructura sobre el cauce o elemento por proteger; el espesor estará en función de las condiciones de la zona siendo las pilas sobre el cauce la zona más crítica debido a la socavación local que se genera. En las **Figuras 5.4.55 y 5.4.55a** se ilustra, mediante fotografía y un corte longitudinal, la protección de un cauce a base de gaviones, aguas abajo.

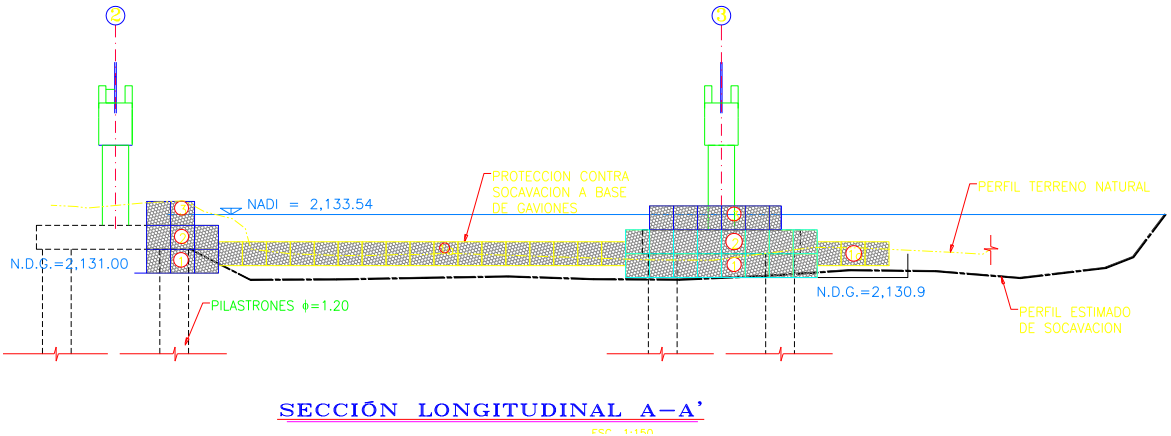


Figura 5.4.55. Protección aguas abajo a base de gaviones



Figura 5.4.55a. Protección aguas abajo a base de gaviones

Construcción de Dentellones Perimetrales en Cimentaciones Superficiales

Consiste en un muro de aproximadamente 0.50 m de espesor el cual se construye en todo el perímetro de la cimentación hasta 1.50 o 2 m por debajo de ésta; el objetivo fundamental de éste es proteger a la cimentación contra la socavación. El dentellón generalmente se construye de concreto ciclópeo, por lo práctico que éste resulta. La Figura 5.4.56 muestra un corte con dentellones para protección de una pila.

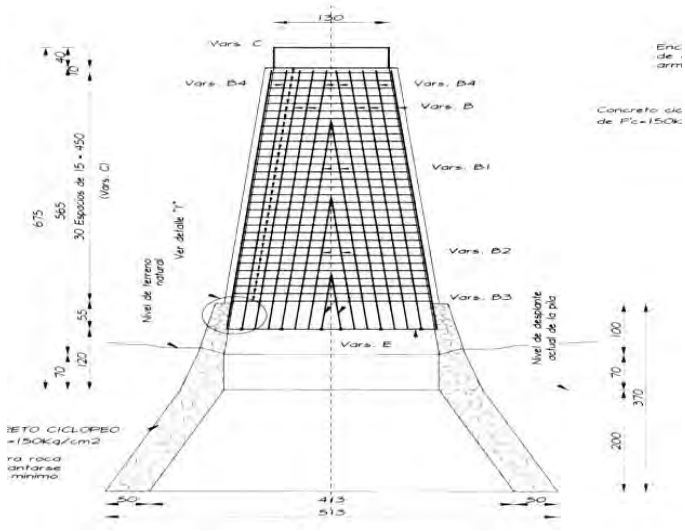


Figura 5.4.56. Dentellones para protección de una pila

La construcción se llevará a cabo excavando y colando por franjas y con el ancho y talud necesarios para poder colocar la cimbra, ver Figura 5.4.57.

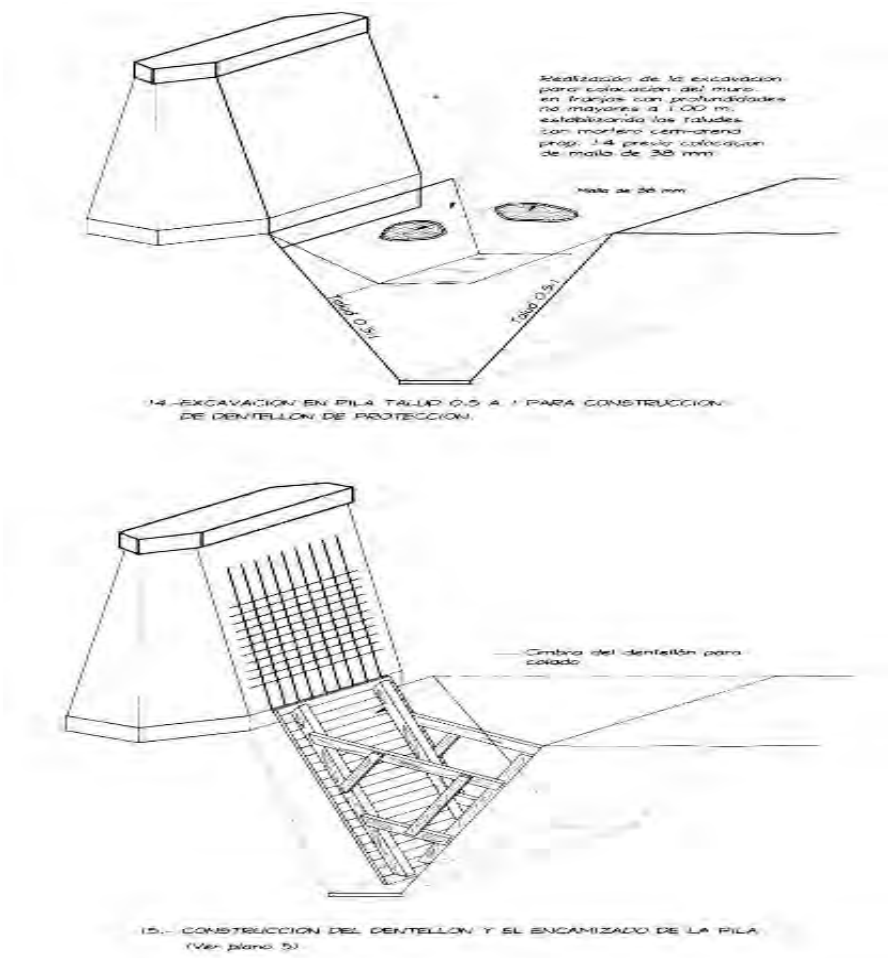


Figura 5.4.57. Construcción por etapas de dentellones de protección de una pila

Protección a Base de Geotextil Relleno de Concreto (Colchacreto)

Es un sistema de control de erosión para ríos y canales, que está compuesto por un Geotextil de Polipropileno de sección rectangular relleno de concreto, con lo cual se forman bloques que se unen para formar la estructura de protección.

Se recomienda utilizar para el llenado un concreto de resistencia a la compresión superior a 100 kg/cm^2; también puede utilizarse mortero o suelo cemento.

Según el método de llenado (por gravedad o por bombeo), los materiales necesarios son:

- Equipo de bombeo para concreto o mortero.
- Mezcladora o trompo mezclador de concreto.
- Equipo pesado (excavadora de oruga o similar) en caso de tener que izar los bloques.
- Canaleta artesanal o tubería de amplio diámetro para descender concreto en caso de optar por el llenado por gravedad.
- Embudo o tubería de 8 pulgadas de diámetro para facilitar la entrada de la mezcla dentro del Bolsacreto.

- Herramienta menor (boggies, cubetas, palas, etcétera).

El geotextil a utilizarse será del tipo no tejido punzonado por agujas y será a criterio la posición en que deban colocarse (transversal o longitudinalmente). Una buena práctica ingenieril muestra que la conformación de una protección en forma de traba (como se coloca la mampostería) ofrece muy buenos resultados para el conjunto.

En las Figuras 5.4.58 y 5.4.59 se muestra, mediante sección tipo y fotografía, la distribución de la zona por proteger y un área debidamente protegida con colchacreto, respectivamente.

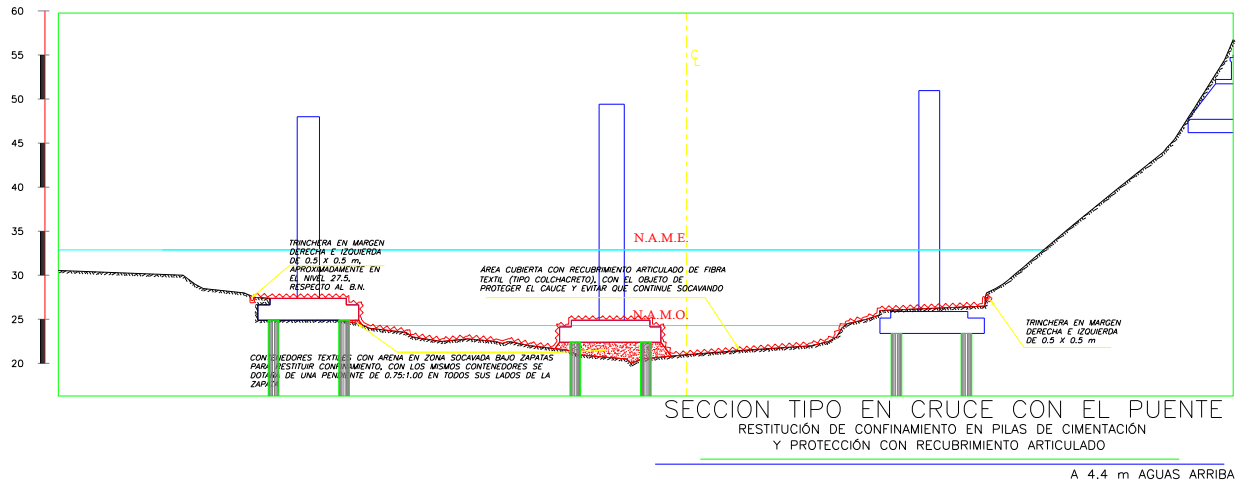


Figura 5.4.58. Las zonas en rojo indican la colocación del colchacreto



Figura 5.4.59. Vista del colchacreto colocado

Daños y Procedimiento Constructivo para la Reparación de Accesos

Cuando el material del terraplén de los accesos no es adecuado y no se cuenta con obras de drenaje suficientes y en buen estado, se presenta erosión ocasionada por el agua de lluvia; muchas veces están protegidos por vegetación.

En las Figuras 5.4.60 y 5.4.61 se muestran, mediante fotografías, daños que se presentan en los terraplenes de acceso, así como elementos que son usados para su protección.



Figura 5.4.60. Erosión en el terraplén de acceso



Figura 5.4.61. Losa de protección acceso incompleta



Figura 5.4.62. Terraplén protegido con losa de concreto que presenta agrietamientos



Figura 5.4.63. Losa de protección del terraplén con cuneta y lavadero, en buen estado



Figura 5.4.64. Losa de protección con zampeado de mampostería

Los accesos generalmente son reparados durante el mantenimiento rutinario por personal de la Dependencia, sin embargo en el **Apéndice A 5.4.15** se muestra un ejemplo de un Procedimiento para la Colocación de Losa de Protección de Concreto, así como para la sustitución de una losa dañada. En caso de reparación no se ejemplifica, ya que esto se trataría con inyección de grietas.

Reforzamiento y/o Rehabilitación

A partir de las conclusiones de la inspección, de las recomendaciones de estudios previos, así como de la revisión de la capacidad de carga y de los materiales de construcción del puente existente, y los requerimientos de la Dependencia de modernizar los caminos, se define la necesidad de reforzar y/o rehabilitar una estructura o la sustitución de ésta por una nueva. En algunos casos sólo requiere conservación rutinaria.

Desde el punto de vista estructural se puede considerar que el refuerzo de un puente se debe, en general, a una o varias de las siguientes razones:

- Necesidad funcional de aumentar la capacidad resistente de un puente.
- Corregir fallos detectados que hacen suponer que ha disminuido la capacidad de carga prevista inicialmente.
- Saneamiento, reparación y refuerzo de puentes sometidos al deterioro natural del tiempo.

Los procedimientos utilizados en el refuerzo de estructuras se clasifican en:

Pasivos. Consisten en la aplicación o adición de elementos que aumenten la resistencia; entre los más utilizados se pueden citar:

- Refuerzo con concreto armado.
- Refuerzo con concreto lanzado.
- Refuerzo con adición de b y perfiles metálicos.

Activos. Consisten en la aplicación de acciones o deformaciones en la estructura que modifican su estado de esfuerzos favoreciendo su comportamiento resistente.

Entre las aplicaciones del refuerzo con concreto armado se pueden citar:

- Refuerzo de pilas y estribos mediante aumento de sección de las mismas.
- Refuerzo de superestructura mediante aumento de sección de sus vigas o losa para aumentar su resistencia a la flexión y/o al cortante.

En todos los casos se ha de garantizar:

- El trabajo conjunto del concreto existente y del refuerzo.
- La limpieza de la superficie de unión.
- La utilización de conectores.
- La aplicación de una resina especial.

Los refuerzos con concreto lanzado (gunita) se adaptan bien cuando hay que recubrir grandes superficies con un pequeño espesor, tanto como para reponer recubrimientos alterados como para el refuerzo con adición de acero. Se necesita una buena preparación de la superficie a tratar y se recomienda el tratamiento con chorro de arena o agua a alta presión. Prácticamente sólo se recomienda el sistema por vía seca, ya que la vía húmeda proporciona un concreto de mala calidad (menor resistencia, menor adherencia, mayor retracción y menor compacidad). El personal que lo aplica debe ser altamente especializado.

Reforzamiento de la superestructura

Se ejecuta con el objetivo de aumentar la capacidad resistente del puente y mejorar las condiciones de servicio de la estructura para las solicitaciones nuevas (carga viva).

Las técnicas más comunes se pueden resumir en las siguientes:

- Reforzamiento con fibras de carbono
- Reforzamiento con placas y perfiles metálicos
- Refuerzo incrementando el número de trabes y colocando una sobrelosa
- Refuerzo con presfuerzo longitudinal, transversal y/o vertical

En las Figuras 5.4.65 a 5.4.68 se dan ejemplos mediante fotografías de estas 4 técnicas de reforzamiento; algunos procedimientos constructivos se presentan aquí y otros en los **Apéndices A 5.4.16, A 5.4.17** y **5.4.18.**



Figura 5.4.65. Superestructura reforzada con presfuerzo externo y ampliación de la sección transversal



Figura 5.4.66. Superestructura reforzada con presfuerzo externo y sobrelosa de concreto reforzado



Figura 5.4.67. Superestructura reforzada con presfuerzo externo longitudinal



Figura 5.4.68. Superestructura reforzada con presfuerzo externo longitudinal

A continuación se describen las técnicas mencionadas y se muestran los procedimientos constructivos.

Reforzamiento con fibras de carbono

El reforzamiento longitudinal y a cortante de trabes de concreto reforzado se puede realizar de forma pasiva, colocando láminas de fibra de carbono CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), las cuales son una combinación de fibra de carbono y una matriz de resina epóxica. Al adherir estas láminas en el patín inferior y el cuerpo del alma de las trabes de concreto reforzado, se brinda a estos elementos mayor resistencia a flexión y a cortante, aumentando la capacidad de carga de la estructura.

La colocación se realiza y muestra según las Figuras 5.4.69 a 5.4.78.



Figura 5.4.69. Colocación de andamios



Figura 5.4.70. Limpieza de trabes de concreto reforzado

Posteriormente se ejecuta la preparación de la superficie de los patines y del cuerpo del alma de las trabes, por medio de un escarificado fino. Este procedimiento se realiza con un cepillado general, que elimina la capa de la superficie hasta obtener un área rugosa. Cuando se presentan oquedades en la superficie, se resanan con mortero hidráulico de baja concentración (“grout”) elaborado con las mismas características que el concreto existente. Figura 5.4.71.



Figura 5.4.71. Escarificado fino en patines y cuerpo de trabe

Para un buen funcionamiento de las fibras de carbono, se redondean las aristas de los patines de cada trabe, utilizando un disco abrasivo que realiza cortes en las esquinas de los patines inferiores hasta lograr chaflanes de 2 cm. Figura 5.4.72.



Figura 5.4.72. Chaflanes en patines

Se procede a la colocación de las láminas de fibra de carbono en sentido longitudinal para realizar el reforzamiento a flexión. Este procedimiento se realiza colocando tres capas de fibra de carbono a lo largo del elemento. Para ello se habilitan tiras de 30 cm de ancho y se prepara la resina epóxica que sirve como adhesivo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Figura 5.4.73.



Figura 5.4.73. Habilitado de láminas de fibra de carbono



Figura 5.4.74. Habilitado de bandas de fibras de carbono



Figura 5.4.75. Colocación de reforzamiento a cortante en trabes

Con ayuda de un rodillo se aplica la primera capa de resina, hasta lograr que penetre lo mejor posible en las irregularidades del patín.



Figura 5.4.76. Aplicación de resina epóxica

Inmediatamente después se coloca la primera capa de las bandas de fibra de carbono sobre la resina todavía húmeda. Esta operación se realiza colocando desde una extremidad de la banda hacia la otra; se debe tener especial cuidado de que las bandas se coloquen sin pliegues y sin estiramientos excesivos a lo largo del patín de las trabes y se verifica que los bordes exteriores de la banda sean colocados paralelamente a la trayectoria antes marcada. Figura 5.4.77.

También para garantizar la adhesión de las bandas con la resina epóxica, se realiza un reafirmado con rodillo dotado de protección de polietileno, lo cual permite la impregnación de la resina en la fibra y elimina las burbujas formadas durante su colocación.



Figura 5.4.77. Colocación longitudinal de bandas de fibra de carbono

De esta forma se colocan las dos primeras capas de fibra de carbono, abarcando de manera uniforme tanto la base del patín de las trabes como sus costados. La tercera capa se coloca únicamente en la base de los patines de las trabes. Las bandas de carbono se colocan según las dimensiones y ubicación especificadas en los planos constructivos correspondientes.

Finalmente se aplica una segunda capa de resina epóxica, llamada capa de cierre, la cual permite la impregnación del tejido y asegura la adherencia de las bandas al concreto existente. Esta capa se aplica con espátula, sin exceso de presión y hasta que la primera capa haya endurecido.



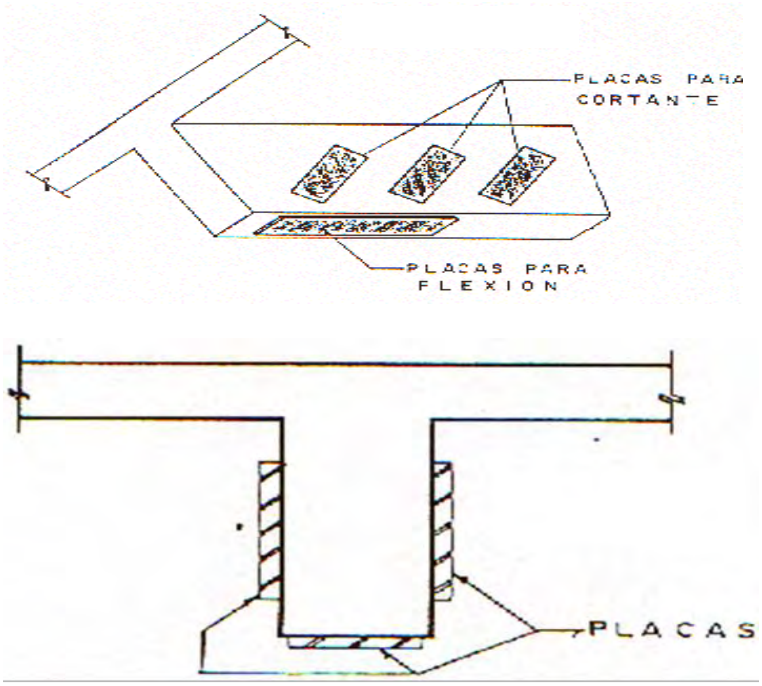
Figura 5.4.78. Reforzamiento longitudinal de trabes con fibra de carbono

Con la realización de estas actividades, se ejecuta el reforzamiento de manera pasiva de las trabes, sin introducir esfuerzos o deformaciones que modifiquen su estado tensional original y otorgando a estos elementos mayor resistencia contra cargas puntuales.

Refuerzo con Placas y Perfiles Metálicos

Como alternativa de reforzamiento en la superestructura, también se pueden utilizar placas y perfiles metálicos, con las siguientes variantes:

- Con perfiles metálicos superpuestos.
- Con placas metálicas ancladas, que se caracterizan por la colocación de placas metálicas ancladas al elemento que se va a reforzar a través de conectores, consiguiendo así una unión casi continúa a nivel de sección.
- Con placas metálicas adosadas, lo cual es posible gracias al desarrollo de resinas epóxicas que han resuelto el problema de unir piezas de acero al concreto, sin necesidad de anclajes. Figura 5.4.79.



Figuras 5.4.79. Placas adosadas a la trabe con resina

La preparación y limpieza de la superficie del concreto es fundamental. La resina utilizada debe tener una excelente adherencia al concreto y al acero, baja retracción y fluencia, módulo de elasticidad adecuado y estabilidad a lo largo del tiempo.

Las placas de acero deben ser de calidad igual o superior al del acero tipo A-37, y espesor en general menor de 3 mm; se preparan en taller y se protegen para evitar oxidación y deterioro en el transporte y hasta la puesta en obra.

Reforzamiento Incrementando el Número de Trabes y Colocando una Sobrelosa

Cuando es necesario aumentar la sección transversal de un puente, generalmente necesita ser reforzado, en estos casos es común aumentar el número de trabes y si es necesario, de acuerdo a la revisión estructural, incrementar la capacidad ante cargas vivas, colocando una sobrelosa para absorber los esfuerzos excedentes. En la Figura 5.4.80 se muestra un esquema ilustrativo de este tipo de reforzamiento y en el **Apéndice A 5.4.16** se muestra el procedimiento constructivo.

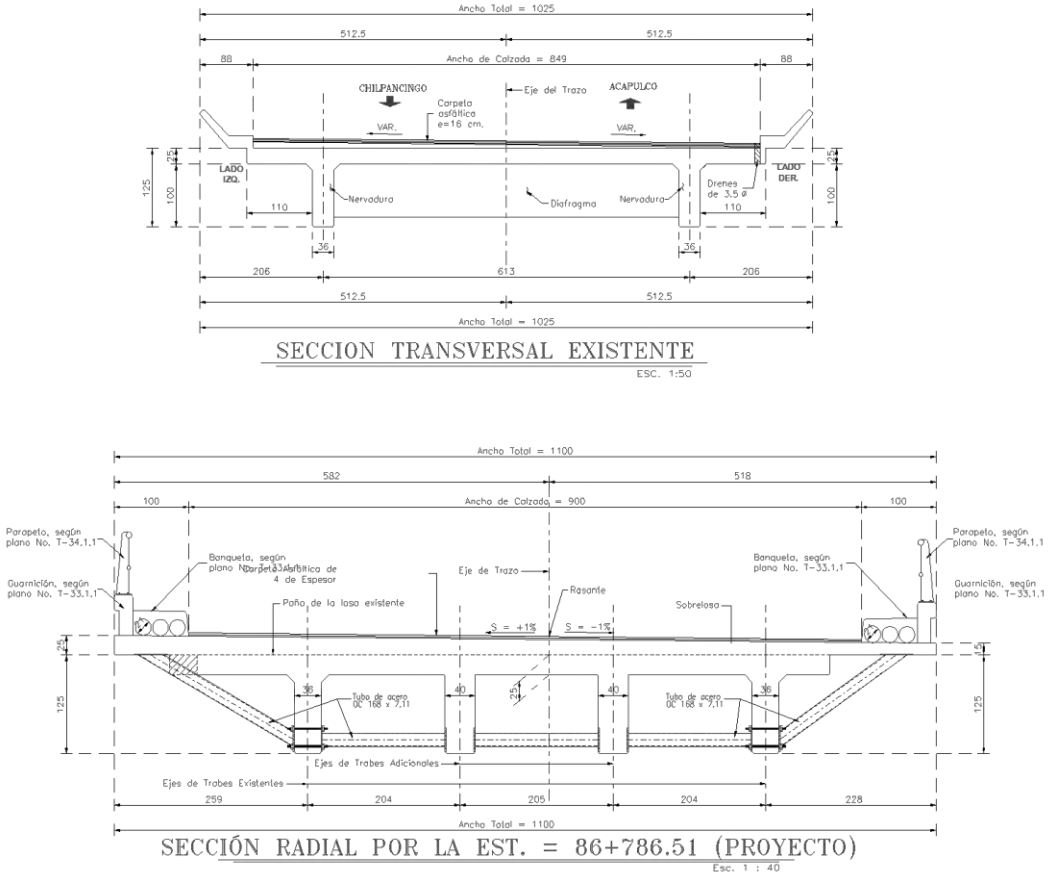


Figura 5.4.80. Reforzamiento incrementando el número de trabes y colocando sobrelosa

Reforzamiento con Presfuerzo Longitudinal, Transversal y/o Vertical

Al revisar la capacidad de carga de un puente tomando en cuenta las cargas vivas con que fue diseñado y las que actualmente transitan, puede resultar que el puente necesite ser reforzado, para absorber los elementos mecánicos producidos por las cargas actuales.

El método más común para el reforzamiento es el presfuerzo externo, que consiste en cables de acero de presfuerzo, con los cuales se obtiene una resultante normal a la superestructura del puente que ayuda a absorber los momentos y cortantes producidos por las cargas vivas actuales.

Existen tres tipos del presfuerzo externo:

- **Presfuerzo longitudinal. Figura 5.4.80**
- **Presfuerzo transversal. Figura 5.4.81**
- **Presfuerzo vertical. Figura 5.4.81**

Los que se pueden utilizar individualmente o combinándolos. El presfuerzo longitudinal se realiza mediante el postensado exterior previo de los diafragmas extremos (presfuerzo transversal) de cada tablero de la losa.

Esta medida aumenta la restricción de pandeo lateral de las vigas principales, garantizando el trabajo conjunto y un adecuado funcionamiento a flexión; también proporciona una mayor rigidez a la superestructura en general. Además aporta a la estructura las condiciones adecuadas para el levantamiento de los tableros, necesario para realizar cambio de apoyos y para elevar rasantes.

En general, un procedimiento constructivo típico es el siguiente:

- Realizar perforaciones en nervaduras y dar paso al presfuerzo transversal para colocar los bloques desviadores.
- Escarificar nervaduras en la zona donde se colocaran los bloques desviadores.
- Armar y colar los bloques desviadores.
- Sellar con mortero Grout alrededor de los tubos desviadores.
- Fabricar los bloques metálicos de anclaje.
- Colocar el señalamiento respectivo y cerrar parcialmente la circulación para retirar carpeta asfáltica existente y demoler losa para colocar los bloques de anclaje.
- Una vez que los bloques hayan alcanzado su resistencia de proyecto, se insertan las barras de presfuerzo y se tensan al 50% de su fuerza de servicio para estabilizar los asentamientos del bloque desviador.
- Ya asentados los bloques, se procede a tensar las barras transversales de presfuerzo al 100% de su fuerza de tensado.
- Montar los bloques de anclaje, colocando mortero Grout para asegurar un adecuado contacto entre superficies.
- Cuando se haya tensado todo el presfuerzo de todos los bloques desviadores y los bloques de anclaje hayan sido colocados, se procederá a introducir y posteriormente tensar el acero de presfuerzo longitudinal; el tensado de estos cables deberá ser por un extremo y simultáneo.
- Colar la zona donde se colocó el dispositivo metálico de anclaje, dejando la reserva para la colocación de la junta de dilatación.
- Colocar la carpeta asfáltica en la calzada y en los accesos.
- Realizar limpieza general y restituir la circulación normal del puente.

En el caso de que ya exista un sistema de presfuerzo, para el mantenimiento de los bloques de anclaje se recomienda:

- Eliminar el antiguo mortero de relleno del cajetín.
- Eliminar el óxido de las cabezas de anclaje.
- Restituir el relleno a base de morteros especiales.

En el **Apéndice A 5.4.17** se detalla un procedimiento constructivo de la combinación de estos sistemas de refuerzo utilizando presfuerzo externo, y en las Figuras 5.4.81 y 5.4.82 se ilustran un perfil longitudinal y uno transversal que muestran el uso de presfuerzo longitudinal.

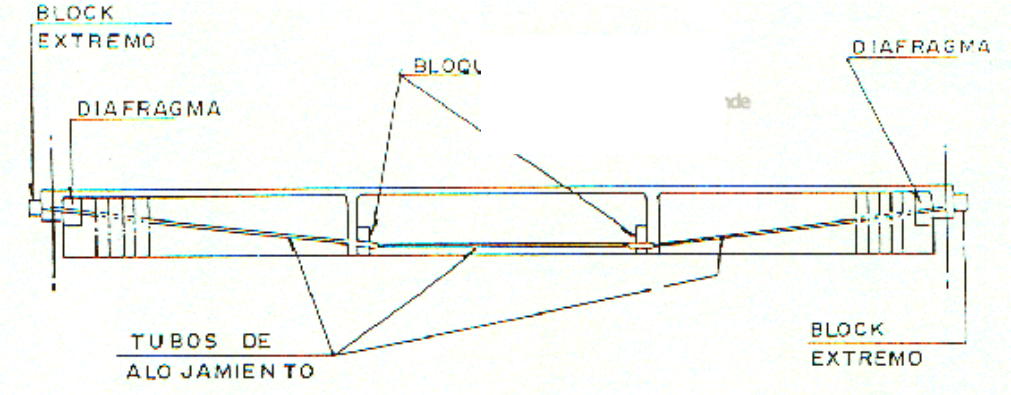


Figura 5.4.81. Ejemplo ilustrativo del uso de presfuerzo longitudinal

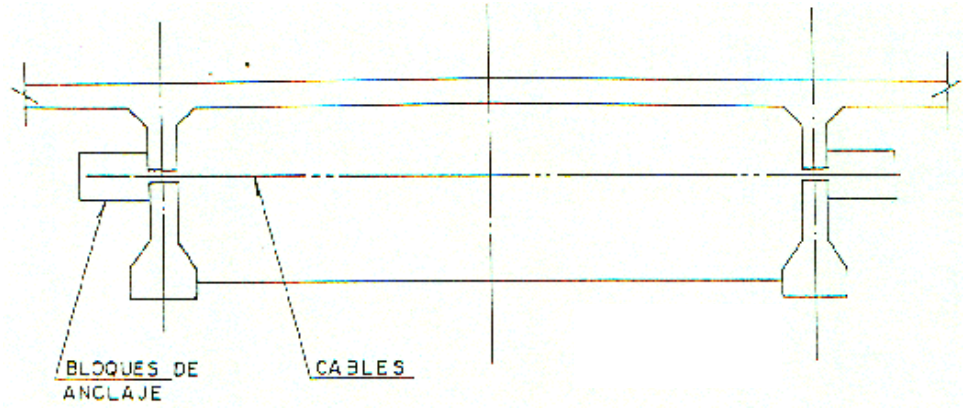


Figura 5.4.82. Esquema que muestra el refuerzo transversal a base de presfuerzo externo



Figura 5.4.83. Aspecto de un puente con refuerzo longitudinal

En las Figuras 5.4.84 a la 5.4.89, mediante fotografías y a manera de resumen, se muestra un ejemplo ilustrativo para realizar este procedimiento; las dimensiones y especificaciones de materiales, armado y refuerzo deben ser indicadas en los planos constructivos, en base a los cálculos realizados.

Para este tipo de reforzamiento se tienen que construir bloques de anclaje que sirven para sujetar los cables de presfuerzo ya tensados, y son debidamente diseñados, Figura 5.4.84.



Figura 5.4.84. Bloques de anclaje

Se realiza demolición parcial en aleros para proporcionar espacio suficiente para la colocación de los bloques, ver Figura 5.4.85.

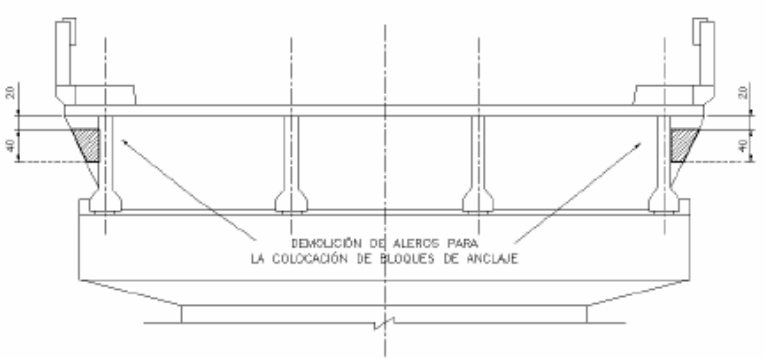


Figura 5.4.85. Demolición de aleros

Se hacen perforaciones de 2" de diámetro en el alma de las trabes principales. Las perforaciones se localizan 20 cm antes de cada diafragma extremo con ayuda de un taladro, para proporcionar agujeros que permitan el paso del conducto donde se albergan los cables de presfuerzo, ver Figura 5.4.86.

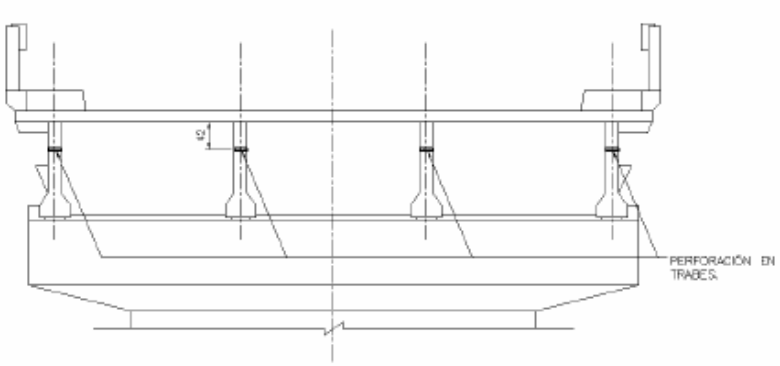


Figura 5.4.86. Perforaciones en trabes

Posteriormente se colocan los dos ductos de polietileno de alta densidad para los cables de presfuerzo para la realización del postensado de los tableros. Además se habilitan y colocan los cables de presfuerzo tipo 4T15 que están constituidos, cada uno, por 4 hilos de acero trenzados con un límite de fluencia de 19,000 kg/cm^2, Figura 5.4.87.

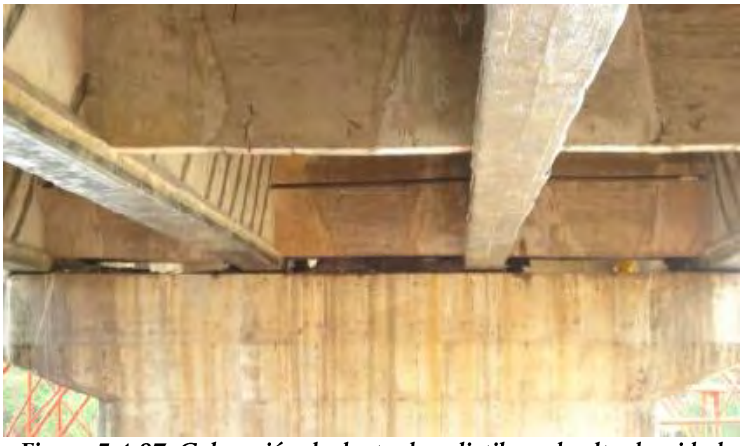


Figura 5.4.87. Colocación de ducto de polietileno de alta densidad

Una vez colocados los dos cables de presfuerzo, se efectúa el postensado de los extremos del tablero, ver Figura 5.4.88. Esta operación se hace con ayuda de un gato hidráulico, el cual tensa uno a uno cada hilo de acero que conforman los cables tipo 4T15, hasta alcanzar 80% de su resistencia última de 83.9 Ton. Para sujetar los cables de presfuerzo después de su tensado, se colocan en sus extremos sistemas de anclas conformadas por cuñas que garantizan la retención de los hilos.

Al término de esta actividad se cortan los excesos de acero y se cuelan en cada ancla bloques de concreto de 250 kg/cm^2, Figura 5.4.88. Esta medida se realiza para proteger contra la corrosión a los cables de presfuerzo y las anclas, así como para resguardar el amarre de los hilos de acero.



Figura 5.4.88. Tensado de cable tipo 4T15



Figura 5.4.89. Colado de bloques de concreto

Presfuerzo Vertical

Cuando el daño de las vigas es a cortante por tensión diagonal con un patrón de agrietamiento en los extremos de las trabes, es necesario reforzar estos elementos con presfuerzo vertical, ver Figura 5.4.90.

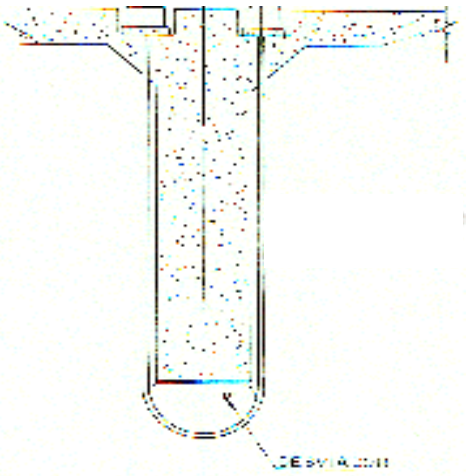


Figura 5.4.90. Elementos de refuerzo con presfuerzo vertical

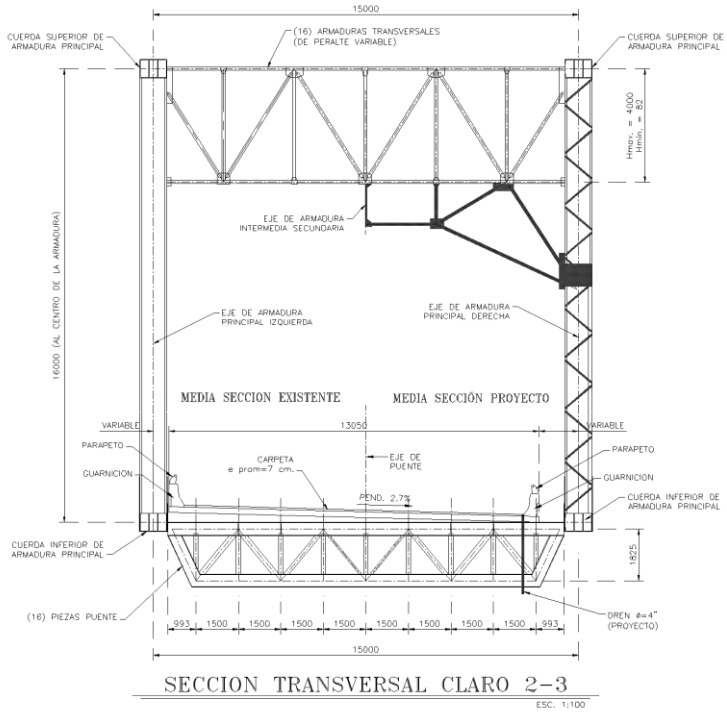
En el **Apéndice A 5.4.18** se muestra un ejemplo de procedimiento constructivo para sustituir el reforzamiento vertical en un puente y en la Figura 5.4.91 el aspecto que presenta el puente ya reforzado.



Figura 5.4.91. Reforzamiento con presfuerzo vertical

Por último, también para los puentes de acero, se realizan procesos de reforzamiento de las superestructuras; esto después de haber hecho la revisión estructural, y si ésta nos indica la carencia de condiciones ideales para las solicitaciones de servicio de la estructura.

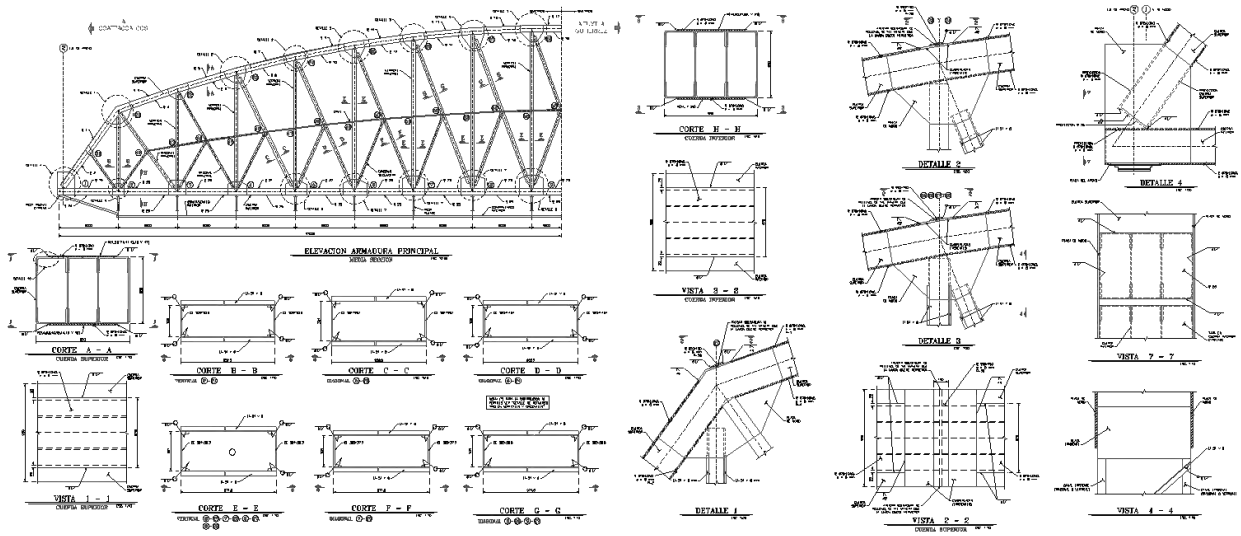
Ejemplo de reforzamiento de la superestructura en un puente de acero.



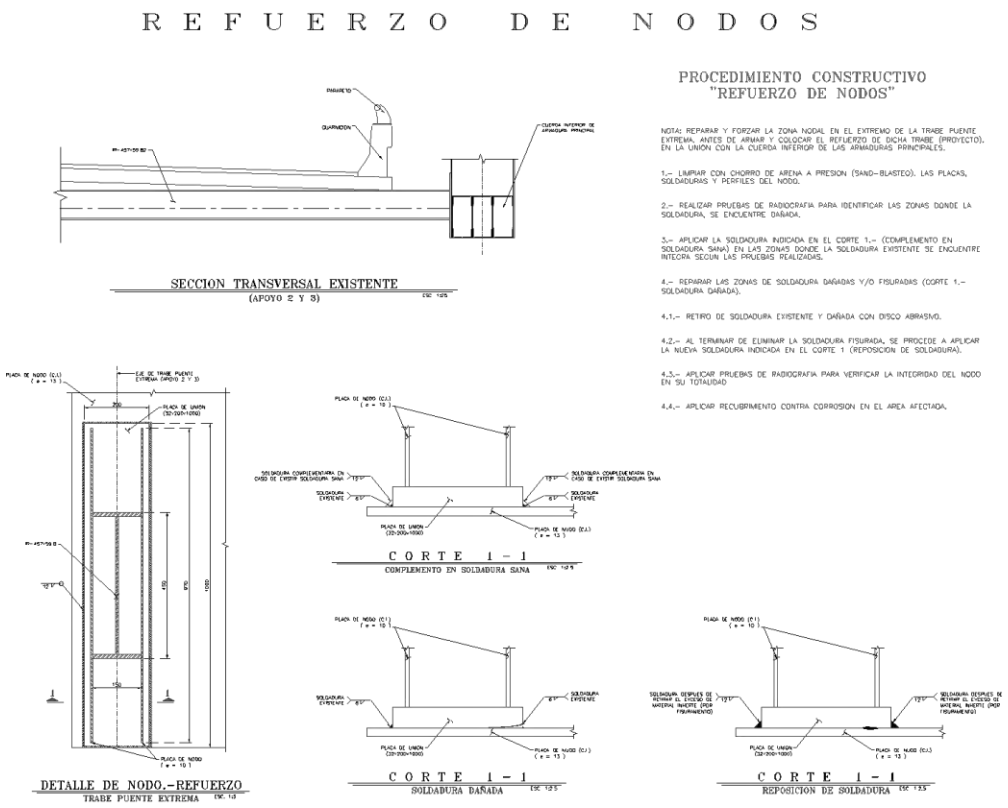
SECCION TRANSVERSAL CLARO 2-3

ESC. 1:100

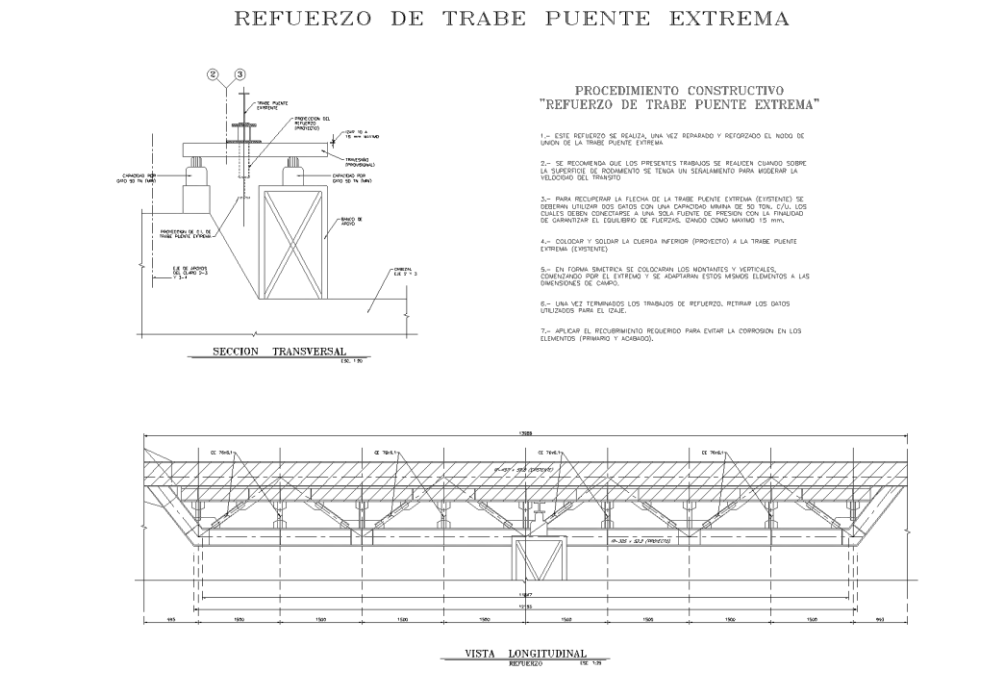
Generalmente la formación de los planos es complicada, ya que se tiene que realizar un despiece de todos sus elementos, como se muestra a continuación.



Cuando algunos elementos se encuentran con fractura en la soldadura, entonces se tendrá que especificar este reforzamiento con un procedimiento como el indicado a continuación:



Asimismo se muestra el reforzamiento de elementos principales que presentan deflexión excesiva.



Los procesos de reforzamiento tanto para estructuras de concreto como de acero son diversos y cada uno de ellos de apega a las necesidades de la estructura, por lo cual aquí sólo se pretenden dar algunas ideas específicas para la realización de reforzamientos en general.

Reforzamiento de la Subestructura y Cimentación

Para reforzar los elementos de una subestructura se pueden considerar las siguientes técnicas:

- Recimentación de pilas y estribos.

Utilizando concreto ciclópeo colado bajo el agua.

Construcción de una pantalla perimetral de micropilotes.

- Reparación y refuerzo de pilas y estribos fracturados por socavación, hundimientos e inclinación por cargas.

Utilizando encamisados de concreto.

Con el adosamiento de estructuras metálicas.

- Reforzamiento de corona y cabezales.

En el reforzamiento de cimentaciones, los procedimientos activos mediante el empleo de las técnicas y elementos de pretensado tiene mucha aplicación en los casos de:

- Refuerzos de zapatas con armaduras y dimensiones insuficientes.
- Transmisión de cargas de elementos defectuosos o insuficientes. Por ejemplo: cambio de pilotes a otros nuevos.
- Y en cimentaciones ya construidas cuando el suelo es excesivamente deformable, para transferir la carga del terreno a otros elementos de cimentación profunda.

En elementos de contención, el caso más frecuente es el refuerzo de muros en el que es técnica normal el anclaje del terreno mediante elementos pretensados.

En las Figuras 5.4.92 a la 5.4.97, se muestran varios ejemplos de reforzamiento de pilas.



Figura 5.4.92. Pilas con adosamiento de estructura metálica



Figura 5.4.93. Pila intermedia original



Figura 5.4.94. Pila reforzada con encamisado



Figura 5.4.95. Protección contra socavación a base de zapata de concreto reforzado

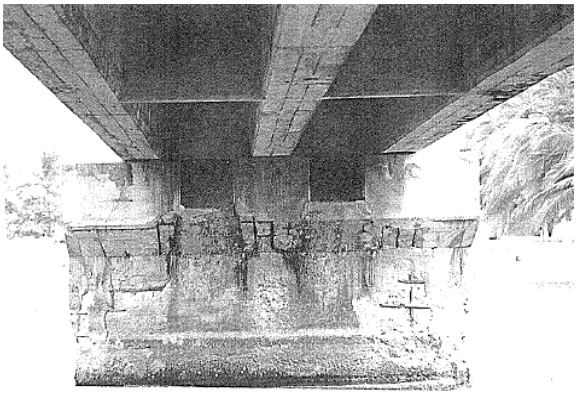


Figura 5.4.96. Pila intermedia original



Figura 5.4.97. Pila intermedia ampliada

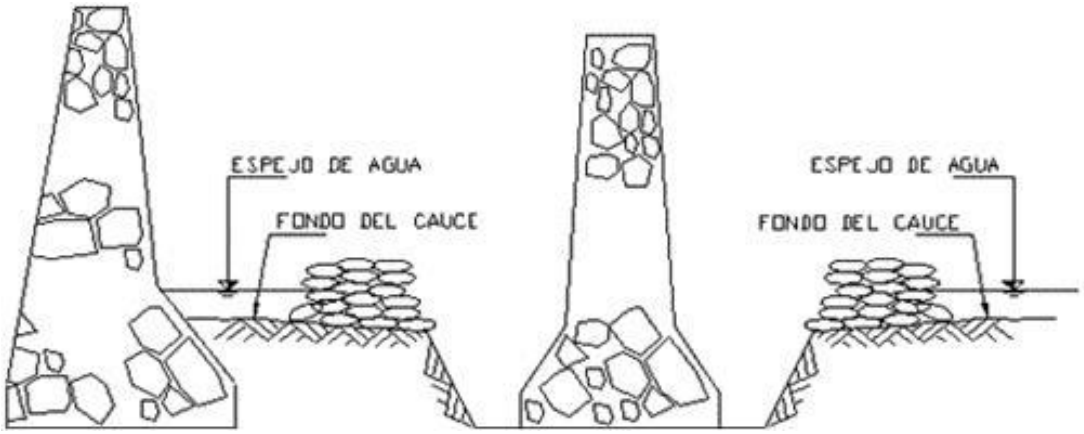
A continuación se muestran algunos procedimientos para realizar la rehabilitación y/o reforzamiento de una subestructura.

Encamisado de Pilas

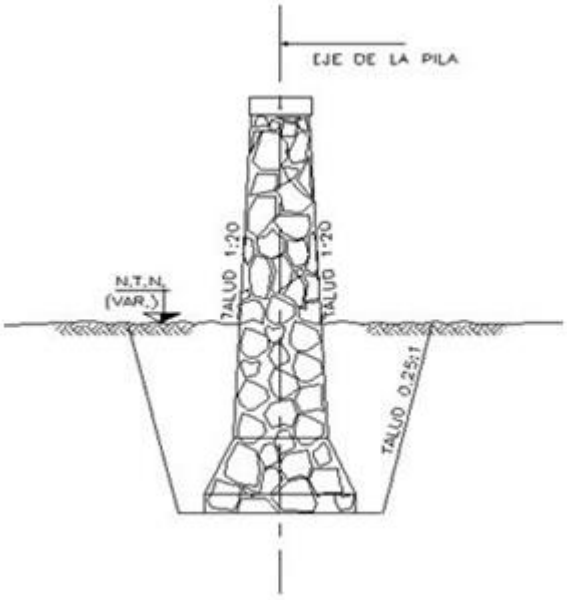
Es necesario cuando la capacidad de carga de un puente está en duda, cuando se presentan problemas de socavación o simplemente cuando se quiere proteger a las pilas contra posibles impactos producto de los arrastres de la corriente.

Este procedimiento se utiliza en la mayoría de las ocasiones para protección de la mampostería contra impactos, socavación o reforzamiento de las pilas. Por lo regular se realiza de la siguiente manera (ver también los **Apéndices A.5.4.19** y **A.5.4.20)**:

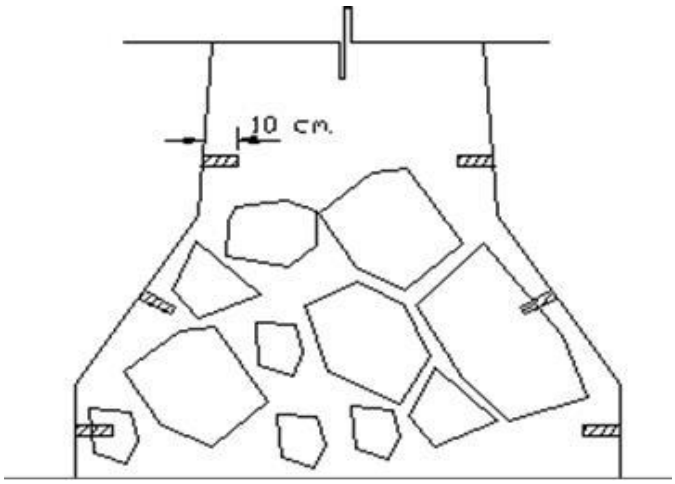
Etapa 1. Si existe escurrimiento se deberá desviar por medio de costaleras y excavar hasta el nivel de desplante de la cimentación, dejando un espacio suficiente para efectuar los trabajos.



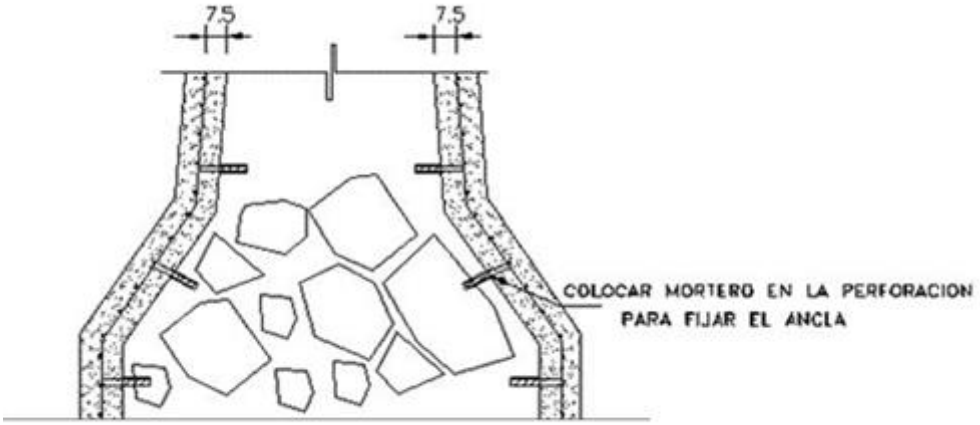
Etapa 2. Resanar con Grout los huecos existentes en la mampostería.



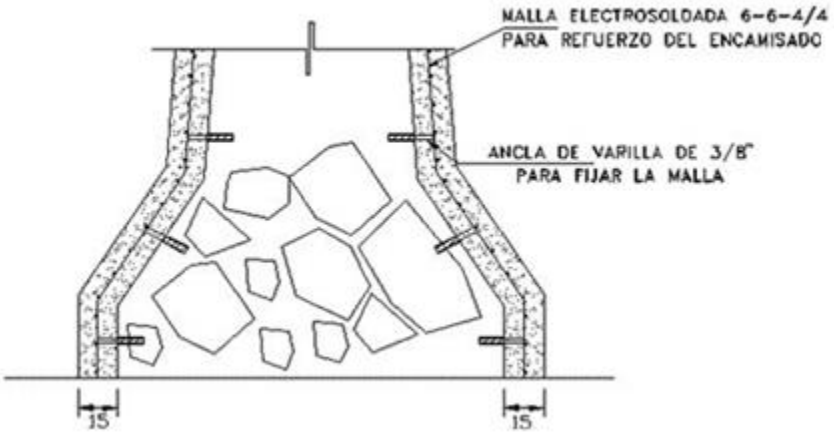
Etapa 3. Colocar elementos de anclaje con una separación aproximada de 10 cm en ambos sentidos para fijar, la malla de refuerzo.



Etapa 4. Colocar y fijar la malla a los elementos de anclaje, dejando una separación mínima de 7.5 cm entre la malla y la mampostería.



Etapa 5. Colar concreto de 15 cm de espesor.



Nota: En algunas ocasiones en la etapa 5 se puede utilizar el concreto lanzado.

Puentes de Mampostería

El poder desarrollar conceptos generales y metodológicos para la evaluación de puentes con daños, ha sido el anhelo de la comunidad de ingenieros civiles por mucho tiempo. Sin embargo, como se ha visto, esta tarea es muy difícil, debido a que los puentes y los posibles tipos de daños varían ampliamente.

Análogamente que en la superestructura el tipo de reforzamiento que se aplica debe ser analizado y recomendado tomando en cuenta el tipo de subestructura, la problemática, el grado de severidad del daño, la ubicación del puente, los materiales a emplear y su fácil adquisición, el grado de dificultad de la rehabilitación, el costo y la vida útil que se asegura con el tipo de reforzamiento.

En ocasiones los procesos para el reforzamiento y rehabilitación de la estructura son muy detallados y costosos o en algunos casos no garantizan que la estructura funcione adecuadamente y por un largo periodo de tiempo, esto podría ser una condición para decidir, en su caso, la sustitución de ésta por una nueva.

Un ejemplo claro de esto son los puentes de fábrica, formados por arcos y en su construcción se utilizan como componentes principales mampostería y ladrillo. Éstos suelen trabajar a compresión y son débiles ante esfuerzos de tensión.

Los puentes de fábrica están dotados de una gran rigidez y resistencia, muestra de ello es su gran longevidad del servicio que prestan. En la Figura 5.4.97 se muestra un puente de arco de mampostería.



Figura 5.4.98. Puente de arco de mampostería

Sus debilidades se manifiestan, principalmente en la subestructura por el deterioro y fallo de su cimentación y en la superestructura por el fallo de sus juntas.

Los principales factores causantes de daños en este tipo de estructuras son los relacionados con la acción del agua, la del tráfico o las acciones debidas a condiciones climatológicas y ambientales desfavorables.

Los principales defectos que pueden observarse en los distintos elementos de los puentes de fábrica son los que se enumeran a continuación:

1. Deterioros en la cimentación: descalces, socavaciones, arrastre de las escolleras protectoras en su caso, pudrición y ataque biológico de la madera de los pilotes y/o degradación del mortero u hormigón por ataques químicos.

2. Deterioro de la piedra o piezas de ladrillo causado por acciones de tipo químico (presencia de agua) o de tipo físico (heladas, vegetación): agrietamiento y pérdida de resistencia.

3. Deterioro del mortero de las juntas, producido por el agua: lavado del material, ataque físico y químico y/o movimientos de los sillares, mampuestos o ladrillos.

4. Grietas longitudinales, especialmente en los emboquillamientos de las bóvedas. Aparecen vinculados a los tímpanos y se producen por empujes del relleno y del agua en su interior. Pueden llegar a producir el despegue de la bóveda.

5. Caída y deslizamiento de piezas de la bóveda producidos por la pérdida del mortero de la fábrica o por la degradación del material de los sillares o ladrillos. También puede estar ocasionado por una carga actuante mayor que la original, pudiendo generar movimientos de la bóveda o de sus pilas.

6. Grietas en pilas, tajamares y aletas. Pueden producirse por la presencia de elementos adosados con diferencia de cargas actuantes o por descalces y socavaciones en la cimentación.

7. Desplazamientos y desplomes en tímpanos producidos por un incremento de cargas en los rellenos, filtraciones de agua sin salida y/u obstrucciones del drenaje.

En las Figuras 5.4.99 y 5.4.100 se muestran, mediante fotografías, algunos deterioros de estos elementos.



Figura 5.4.99. Arco con grietas longitudinales



Figura 5.4.100. Fracturas en el arco y alero

La rehabilitación de puentes de fábrica es laboriosa. Además, este tipo de estructuras casi siempre presentan problemas de área hidráulica insuficiente, ver Figura 5.4.101. En épocas de crecidas importantes trabaja a sección llena y la formación de remolinos a la entrada y salida erosionan los terraplenes y zapatas de los estribos.



Figura 5.4.101. Puente con área hidráulica insuficiente

Cuando no cumplen una función histórica, es mejor contemplar la demolición total, siempre y cuando el estado del mismo pueda suponer un riesgo para la seguridad de los usuarios.

Cuando la reparación de estas estructuras es inminente, entonces las técnicas más frecuentes a considerar son las siguientes:

- Micropilotes, inyecciones, macizos de concreto, losas protectoras o escolleras.
- Rejuntado de las uniones. Se emplean morteros especiales, adaptados a los existentes; normalmente se utilizan morteros tixotrópicos de alta adherencia y baja permeabilidad, con añadido de aditivos para mejorar sus propiedades y la adaptación del color.
- Inyecciones de grieta, mediante lechadas compatibles con la naturaleza de la piedra, empleadas baja presión de inyección.
- Cosido transversal horizontal.
- Cosido transversal horizontal de los despegues de las boquillas de las bóvedas con barras rígidas de pretensado. Protección ante la corrosión de sus cabezas de anclaje.
- Mejora de los sistemas de drenaje de las bóvedas, rellenos y tímpanos. Encauzamiento adecuado de los escurrimientos, para que el agua no fluya por los paramentos de la fábrica.
- Regeneración de elementos deteriorados o piezas perdidas, como dovelas de la bóveda, sillares, ladrillos. Si el elemento está muy dañado, puede plantearse su sustitución completa.
- Limpieza de suciedad en las juntas. El chorro de agua a presión, utilizado con precaución, elimina estos defectos y hasta la vegetación adherida o las manchas negras de tipo orgánico.

Los materiales empleados en estas reparaciones y específicamente en los trabajos más delicados, suelen ser de naturaleza especial. Para su correcto empleo, se deberá consultar con las empresas comerciales fabricantes.

Finalmente, si los métodos de conservación no son suficientes, entonces se recurre a la Reconstrucción (reemplazo), tanto en los casos de colapso total, como en aquellos en que la suma de acciones de los tipos anteriores resulte más onerosa que su reemplazo por una obra nueva.

El reemplazo o reconstrucción se indicará en los siguientes casos:

- Colapso total (ver Figura 5.4.102)

- Graves problemas de emplazamiento, que afecten seriamente la estabilidad hidráulica o la seguridad vial. Se consideran problemas de emplazamiento, cuando el puente se encuentra ubicado próximo a curvas y contracurvas que obstaculizan la visibilidad, afectando a la seguridad vial.

- Cuando la suma de acciones de rehabilitación, actualización y mantenimiento no prolongue suficientemente la vida útil del puente o resulte más onerosa que su reemplazo por una obra nueva.

El reemplazo deberá ser inmediato en caso de colapso total o peligro inminente. En caso contrario, se indicará reemplazo a mediano plazo.



Figura 5.4.102. Puentes colapsados

5.5 SEÑALAMIENTO

Es el conjunto de los dispositivos de tránsito vial, tales como señales verticales, rayas, marcas en el pavimento y otros medios, cuyo objetivo es proporcionar información, guía y seguridad a los usuarios del camino. Se clasifican en: horizontales, verticales y de protección en obra.

El señalamiento Horizontal. Son todas aquellas señales de tránsito pintadas o adheridas sobre el pavimento para ordenar la circulación y movimientos de los vehículos y peatones. Figura 5.5.1.



Figura 5.5.1. Señalamiento horizontal en pavimentos

Las Señales Verticales. Son tableros fijados en postes o estructuras, con símbolos, leyendas o ambas cosas, que tienen por objeto prevenir a los conductores sobre la existencia de peligros y de determinadas restricciones o prohibiciones que limiten sus movimientos sobre el camino y proporcionarles la información necesaria para facilitar su viaje. Estas señales deben usarse en caminos o calles. Figura 5.5.2.



Figura 5.5.2. Señalamiento vertical

Señalamiento en Obra. Son el conjunto de señales de obras que modifica el régimen normal de utilización de la vía pública. Generalmente son de color anaranjado con letras y símbolos de color negro. También se consideran señales de prevención de obra los dispositivos como conos, delineadores, trafidelineadores y bardas de protección.

Características

Cualquier dispositivo para el control del tránsito debe cubrir los siguientes requisitos básicos (ver Figura 5.5.3):

- Satisfacer una necesidad

- Llamar la atención.
- Transmitir un mensaje simple y claro.
- Imponer respeto a los usuarios de calles y carreteras.
- Estar a la distancia y lugar apropiados, para que el usuario pueda verlos y tomar una decisión oportuna, para disminuir o hacer alto total preventivamente.



Figura 5.5.3. Señalamiento para carretera

Existen cuatro factores para asegurar que los dispositivos de control sean efectivos, entendibles y satisfagan los requisitos anteriores; éstos son:

1. **Diseño.** La combinación de las características tales como forma, tamaño, color, contraste, composición, iluminación o efecto reflejante, deben llamar la atención del usuario y transmitir un mensaje simple y claro.
2. **Ubicación.** El dispositivo de control debe estar ubicado dentro del cono visual del conductor, para llamar la atención, facilitar su lectura e interpretación, de acuerdo con la velocidad del vehículo y dar el tiempo adecuado para una respuesta apropiada.
3. **Uniformidad.** Los mismos dispositivos de control similares deben aplicarse de manera consistente, con el fin de encontrar la interpretación de los problemas de tránsito a lo largo de su trayecto.
4. **Conservación.** Los dispositivos deben mantenerse física y funcionalmente conservados; esto es, limpio y legible, asimismo deben colocarse o quitarse tan pronto como se vea la necesidad de ello.

Por lo tanto, al proyectar dispositivos de control de tránsito, lo más importante es lograr la uniformidad de tipos, tamaños, símbolos, colores, ubicación, etcétera, de manera que satisfagan alguna necesidad, llamen la atención, impongan respeto y transmitan un mensaje claro y legible.

Tipos de Señalamiento

Señales Horizontales. Son las rayas, líneas, símbolos y letras que se pintan sobre pavimento, guarniciones y estructuras (dentro o adyacentes a las vías de circulación), así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el tránsito. Se identifican como:

- Rayas
- Marcas
- Botones



Figura 5.5.4. Señalamiento horizontal

Señales Verticales. Son el conjunto de señales en tableros fijados en postes, marcos y otras estructuras, integradas con leyendas y símbolos. Se clasifican en:

Preventivas. Las señales preventivas o de prevención son aquellas que se utilizan para indicar con anticipación la aproximación de ciertas condiciones de la vía o concurrentes a ella, que implican un peligro real o potencial, el cual puede ser evitado tomando ciertas precauciones. Figura 5.5.5.



Figura 5.5.5. Señales preventivas

Restrictivas. Son tableros fijados en postes con símbolos y/o leyendas que tiene por objetivo indicar al usuario, tanto en la zona rural como urbana, la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias, reguladoras del tránsito. Figura 5.5.6.



Figura 5.5.6. Señal restrictiva

Informativas. Las señales de información tienen como fin el de guiar al conductor de un vehículo a través de una determinada ruta, dirigiéndolo al lugar de su destino. También tienen por objeto identificar puntos notables tales como: ciudades, ríos, lugares históricos, etcétera y dar información que ayude al usuario en el uso de la vía. En algunos casos incorporar señales preventivas y/o reguladoras, así como indicadores de salida en la parte superior. Figura 5.5.7.

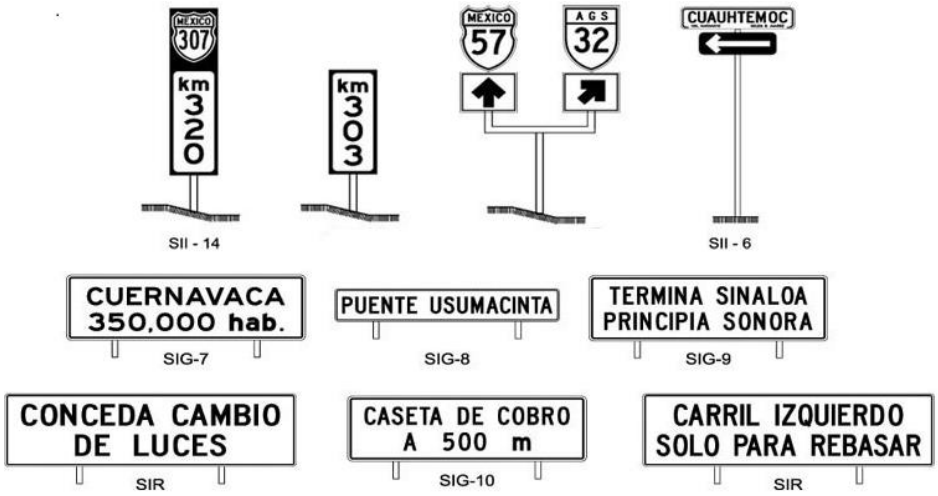


Figura 5.5.7. Tipos de señales informativas

Señalamiento de Protección en Obra. Son las marcas y dispositivos que se utilizan provisionalmente para prevenir accidentes de los usuarios y proteger una zona de obra durante su etapa constructiva. Figura 5.5.8.



Figura 5.5.8. Señalamiento de protección en obra

Inspección de Campo

En forma previa se debe recabar la información que disponga la Dependencia responsable sobre la situación existente del señalamiento en un tramo, que generalmente se obtiene a través de un levantamiento físico que se plasma en un plano de señalamiento.

La inspección de campo consiste en llevar a cabo el levantamiento y registro de todos los elementos de señalamiento de la carretera, para conocer el tipo, número, ubicación, dimensiones y su estado de funcionamiento. Este trabajo se realiza utilizando un formato, el cual ayuda a realizar el levantamiento y el registro de datos en el campo. Tabla 5.5.1.

Carretera: **Chetumal - Puerto Juarez** **Ruta:**
Tramo: **Reforma Agricola - Puerto Juarez** **307**
Sentido: **Reforma Agricola (Tulum) - Puerto Juárez(Cancún)**

No. de Señal:	262-9-A	**Cadenamiento:**	*262+740*	**Lado:**	*Derecho*	**Clave:**	*Sid-11*	KM
Grupo de la señal:	*Señal Informativa de Destino*							
Descripción:	*Confirmativa (1 Tablero)*							
Dimensiones (M):	*0.40 x 2.39*	**Altura libre (M):**	*1.60*	**Distancia al hombro (M):**			*0.96*	Altura libre 160

LOCALIZACIÓN GPS	**LATITUD:**	*20°27'36.98424"*	*N*
	LONGITUD:	*-87°16'36.58140"*	*W*
	ALTITUD:	*9.68*	



Estructura de soporte:					
Tipo de elemento de soporte:			*PTR*		
Número de elementos de soporte					
Uno		**Dos**	*X*	**Otro (Esp)**	

Estado físico de los elementos			Cal
Calidad del reflejante:	*Bueno*		1
Tipo de acabado:	*Reflejante*		2
Tamaño de la tipografía:	*Otro*		4
Color letras y pictogramas:	*Blanco*		2
Color de fondo:	*Azul*		4
Líneas de borde de la señal:	*Borde redondo*		1
Material de la placa:	*Lamina galvanizada*		2
Estado del material:	*Bueno*		1
Limpieza de la señal:	*Bueno*		1
Estructura de soporte:	*Bueno*		1
Estado de conservación:	*Bueno*		1
Interferencia de visibilidad con otros elementos:		*0*	3
Especifique:	*0*		4

Observaciones:

ANALISIS DE REFLECTIVIDAD

	Angulo de Observación 0.2°
Lectura No. 1	65.91
Lectura No. 2	64.346
Lectura No. 3	66.054
Lectura No. 4	64.49
PROMEDIO:	*65.2*

	Angulo de Observación 0.5°
Lectura No. 1:	31.376
Lectura No. 2:	31.036
Lectura No. 3:	31.556
Lectura No. 4:	31.216
PROMEDIO:	*31.296*

Tabla 5.5.1. Formato tipo para el levantamiento de señales

El proyectista debe realizar un análisis de la información recabada sobre el señalamiento existente, para definir si cumple con la normativa SCT correspondiente y en el caso contrario, proponer a la Dependencia responsable las modificaciones, complementaciones y técnicas de conservación aplicables para mejorar su funcionamiento.

En las Figuras 5.5.9 y 5.5.10 se presentan algunos detalles sobre la ubicación del señalamiento vertical, con relación a la corona de la carretera.

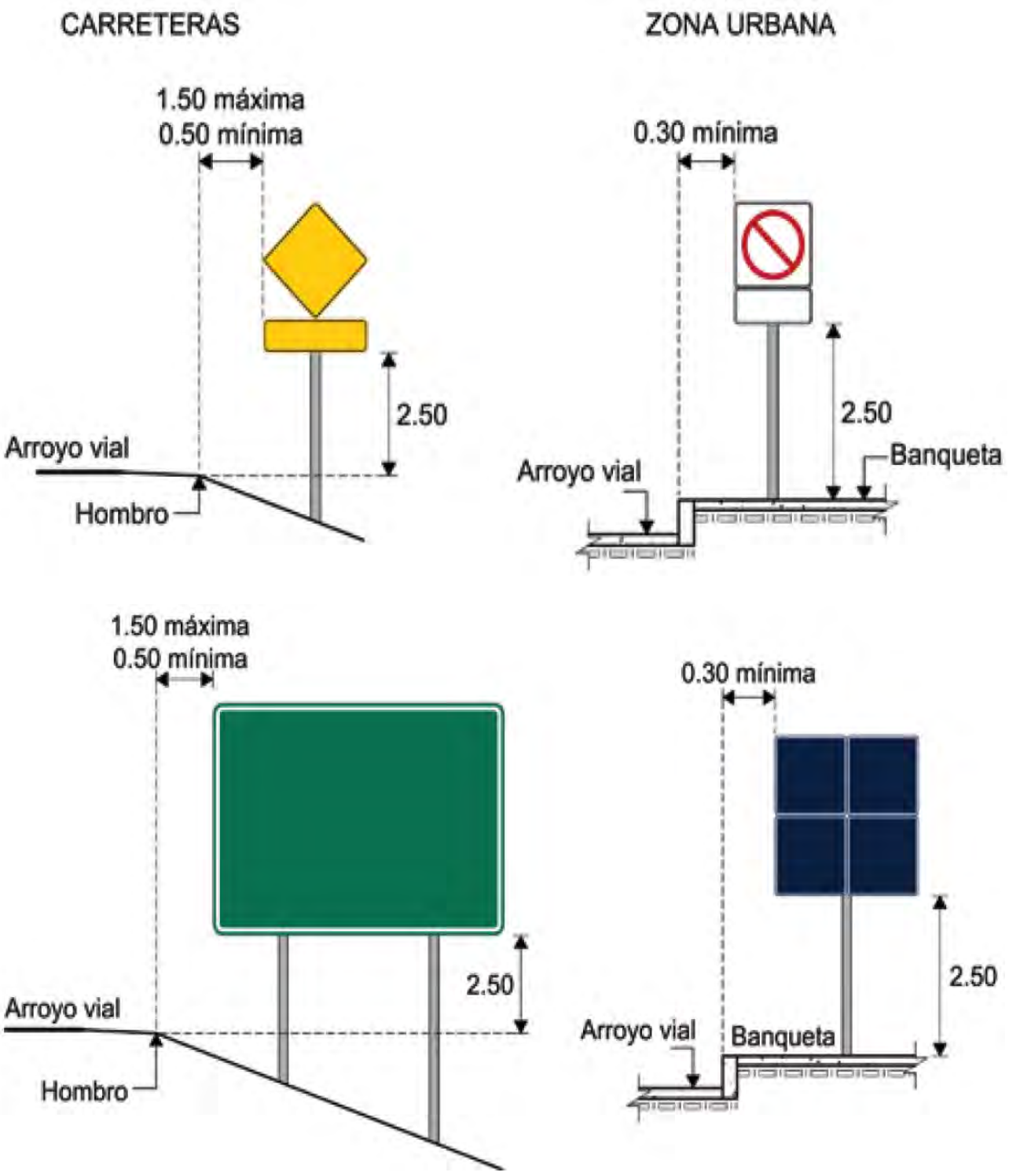


Figura 5.5.9. Ejemplos de la ubicación lateral de las señales

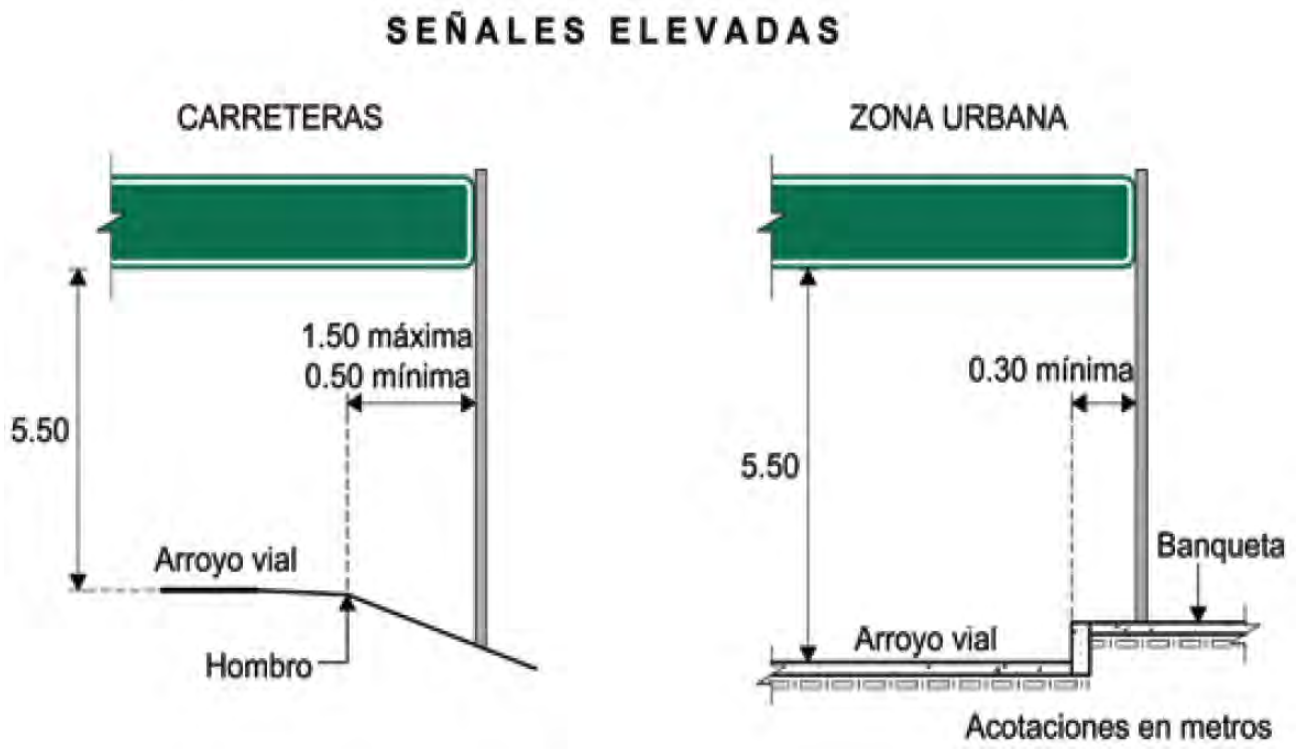


Figura 5.5.10. Ejemplos de la ubicación lateral de las señales elevadas

Técnicas de Conservación para Señalamiento

Marcas en el Pavimento

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer las marcas del señalamiento horizontal sobre el pavimento, con el propósito de mantener la carretera en condiciones óptimas de seguridad en lo que a señalamiento se refiere. Estas marcas pueden ser rayas, símbolos o letras, que se aplican con pintura convencional o termoplástica, o bien pueden estar formadas por materiales plásticos preformados o adheridos a la superficie de pavimento, utilizando adhesivos. Figura 5.5.11.



Figura 5.5.11. Colocación de señales horizontales

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición, se deben instalar las señales y los dispositivos de protección en obra. **(Norma N·CSV·CAR·2·05·007/01** y **N·CSV·5·01·001)**.

- La superficie sobre la que se aplican o colocan las marcas debe estar seca y exenta de materias extrañas, polvo o grasa.

- Cuando se trate de rayas, previo a su aplicación o colocación, se les debe ubicar mediante un premarcado sobre el pavimento, en los lugares suspensivos como premarcado.

- Las marcas en el pavimento se aplican conforme a las dimensiones, características y colores establecidos en el proyecto o de acuerdo con lo indicado por la Norma.

- Cuando se utilice pintura convencional, se aplica la pintura definitiva sobre los puntos premarcados en el caso de rayas o dentro de los contornos previamente delineados cuando se trate de símbolos o letras.

- El espesor de las marcas de pintura convencional debe estar entre 0,38 a 0,51 milímetros (0,015 a 0,020 pulgadas), de acuerdo con lo establecido en el proyecto.

- La película de pintura fresca debe contener microesferas retrorreflejantes. Cuando se utilice un equipo autopropulsado, la incorporación de las microesferas se hace en forma automática al momento de la aplicación de la pintura; cuando se haga con equipo manual, éstas se incorporan inmediatamente después de aplicada la pintura.

- La dosificación de las microesferas debe proporcionar el coeficiente de retrorreflexión mínimo establecido en el proyecto y nunca menor de setecientos (700) gramos por litro de pintura.

- La colocación de las marcas preformadas se realiza de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

- El tiempo de secado, tanto de la pintura de las marcas pintadas como de los adhesivos de las marcas preformadas, se determina en obra, considerando las recomendaciones del fabricante y las condiciones ambientales en el sitio de los trabajos.

Las marcas recién pintadas o colocadas se deben mantener libres de tránsito, hasta que la pintura o los adhesivos hayan secado lo suficiente para que los vehículos no les causen deterioros prematuros. Los materiales que se utilicen deben cumplir con la **Norma N·CTM·5·01·001/13**. Material para Señalamiento y Dispositivos de Seguridad. Tabla 5.5.2.

Color	Coeficientes mínimos de reflexión (mcd/lx) m^2					
	Pintura a base de agua			Pintura termoplástica		
	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto
Blanco	150	150	100	300	250	150
Amarillo	150	150	50	250	175	100
Rojo	24	24	11	51	39	23
Verde	16	16	8	37	28	17

Tabla 5.5.2. Parámetros de retrorreflexión

Las pinturas, previo a su aplicación, tendrán un aspecto uniforme y estarán exentas de natas, productos de oxidación, grumos que requieran incorporación, polvo u otros materiales.

La reflexión de la pintura, determinada de acuerdo con el procedimiento de prueba indicado en la **Norma M·MMP·5·01·019**, una vez incorporadas las esferas de vidrio, cumplirá con los coeficientes mínimos de reflexión indicados según el tipo de pintura y su color, de acuerdo con la Tabla 5.5.2.

Marcas en Guarniciones

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer las marcas del Señalamiento horizontal en guarniciones, con el propósito de mantener la carretera en condiciones óptimas de seguridad en lo que a señalamiento se refiere. Las guarniciones se delinean pintando tanto su cara vertical como la horizontal, utilizando normalmente pintura convencional. Figura 5.5.12.

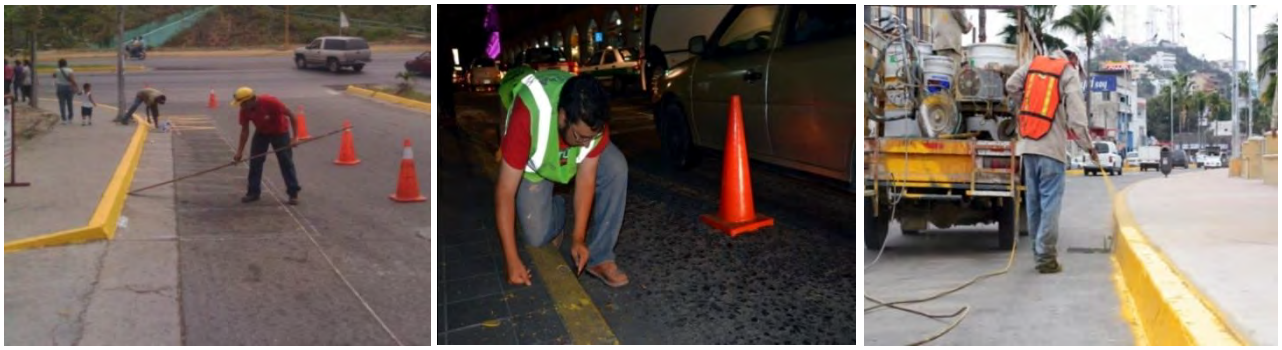


Figura 5.5.12. Señalamiento horizontal en guarniciones

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de conservación, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- La superficie sobre la que se aplican o colocan las marcas debe estar seca y exenta de materias extrañas, polvo o grasa. Para su limpieza se utiliza agua a presión o una barredora.
- Previo a la aplicación de la marca, se indican sus límites extremos mediante un premarcado sobre la guarnición.
- Las marcas en guarniciones se aplican sobre las superficies delimitadas por los puntos premarcados o sobre las marcas preexistentes, utilizando equipo autopropulsado o manual.
- La película de pintura que se aplique debe ser del tipo y color que indique el proyecto o la Norma SCT correspondiente. El espesor de las marcas debe ser de 0.38 a 0.51 mm (cero punto treinta y ocho a cero punto cincuenta y un mm).
- El tiempo de secado de la pintura, se determina en obra, considerando las recomendaciones del fabricante y las condiciones ambientales en el sitio de los trabajos.

Marcas en Estructuras y Objetos Adyacentes

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer las marcas en estructuras y objetos adyacentes a la superficie de rodadura tales como: barrera central, pilas, estribos, defensa metálica; con el propósito de mantener la carretera en condiciones óptimas de seguridad en lo que a señalamiento se refiere. Estas estructuras y objetos se delinean pintando su cara normal al tránsito. Figura 5.5.13.



Figura 5.5.13. Marcas en la estructura y objetos adyacentes

Procedimiento

- Se colocan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Inmediatamente antes de iniciar los trabajos, la superficie sobre la que se aplican o colocan las marcas debe estar seca y exenta de materias extrañas, polvo o grasa.
- En el caso de superficies de concreto hidráulico, rocas o texturas similares, se utilizan para su limpieza agua a presión y un cepillo de raíz.
- Para eliminar grasa en superficies metálicas, se utiliza un desengrasante con agua caliente, aplicado sobre la superficie. No deben utilizarse solventes.
- Si se trata de una falla por abrasión y erosión en la pintura; es decir, la desaparición superficial de la misma producida por el adelgazamiento de la película, hay que dejar al descubierto la superficie sobre la que se encontraba la pintura, limpia con agua a presión y un cepillo de raíz.
- Si se trata de una falla por resquebradura en la pintura; es decir, el desprendimiento de la película en secciones o tramos completos, se debe retirar completamente la pintura suelta utilizando un cepillo de alambre o raspado con espátula o algún otro medio mecánico.
- Sobre la superficie en la que se aplican las marcas, se hacen los trazos necesarios para definir las dimensiones y colores de dichas marcas.
- Las marcas en estructuras y objetos adyacentes, se aplican sobre las superficies delimitadas por los trazos premarcados o sobre las marcas preexistentes, utilizando equipo de aire comprimido.
- En el caso de marcas en estructuras (a menos que el proyecto o la SCT indiquen otra cosa), sobre la película de pintura fresca se colocan microesferas retrorreflejantes, incorporándolas inmediatamente después de aplicada la pintura.

Limpieza de Vialetas y Botones

Es el conjunto de actividades que se realizan para retirar todo material que se acumule en estos elementos de señalamiento, con el propósito de restituir su visibilidad y capacidad de retrorreflexión. Figuras 5.5.14.




Figuras 5.5.14 Limpieza de vialetas y botones

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de limpieza, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Se limpia el cuerpo de vialetas y botones, hasta retirar todos los residuos.
- Los elementos retrorreflejantes de las vialetas, se limpian utilizando detergentes no abrasivos, agua y aire a presión moderada, y sólo si es necesario, trapos, esponjas o cepillos de cerdas suaves, para evitar que se rayen. Una vez eliminados todos los residuos, se enjuaga la vialeta con agua limpia y se deja secar. Durante la limpieza de las vialetas, téngase cuidado de que el agua a presión no desprenda la película retrorreflejante.
- En el caso de que persistan en los elementos retrorreflejantes, residuos (de brea, aceite, diesel o material asfáltico, entre otros) después de haberlos limpiado, se pueden utilizar productos más fuertes y procedimientos recomendados por el fabricante de las vialetas, para garantizar que éstas no pierdan su retrorreflectividad.
- Inmediatamente antes de iniciar los trabajos, la superficie sobre la que se instalan las vialetas o botones debe estar seca y exenta de materiales extraños, polvo o grasa. Para su limpieza se utiliza agua a presión o un cepillo de raíz. No se permita la instalación de vialetas o botones sobre superficies que no hayan sido previamente aceptadas por la Dependencia responsable.

Limpieza de Señales Verticales

Es el conjunto de actividades que deben realizarse para retirar todo material que se acumule en estos elementos de señalamiento, con el propósito de restituir su visibilidad y capacidad de retrorreflexión. Figura 5.5.15.



Figura 5.5.15. Limpieza de señales verticales

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de limpieza, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.

- La limpieza de la estructura y el tablero de las señales verticales debe asegurar el retiro de todos los residuos.

- Los elementos retrorreflejantes de las señales se limpian utilizando detergentes no abrasivos, agua y aire a presión moderada, y sólo si es necesario: trapos, esponjas o cepillos de cerdas suaves, para evitar que se rayen.

- Una vez eliminados todos los residuos, se enjuaga el tablero con agua limpia y se deja escurrir hasta secarse.

- En el caso de que persistan en el tablero residuos de brea, aceite, diesel, material asfáltico o pintura en aerosol, entre otros, después de haberlos limpiado, se pueden utilizar productos más fuertes y procedimientos recomendados por el fabricante de los elementos retrorreflejantes, para asegurar que la señal no pierda su apariencia ni su retrorreflectividad.

- Se deben reemplazar aquellas señales que por la actuación de agentes externos que las deterioren, no cumplan el objetivo para el cual fueron diseñadas e instaladas.

- Dentro del programa de mantenimiento se deben reemplazar las señales defectuosas y retirar las que no cumplan una función específica.

Limpieza de Defensas y Barreras Centrales

Es el conjunto de actividades que se realizan para retirar todo material extraño que se acumule en estos dispositivos de seguridad. Figura 5.5.16.



Figura 5.5.16. Limpieza de defensas y barreras centrales

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de limpieza, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- La limpieza de las defensas y las barreras centrales se ejecutan hasta retirar todos los residuos.
- Las defensas y barreras centrales se limpian utilizando detergentes no abrasivos, agua y aire a presión moderada, y sólo si es necesario: trapos, esponjas o cepillos de cerdas suaves. Una vez eliminados todos los residuos, se enjuagará con agua limpia y se dejará secar. Durante la limpieza se evitará que el agua a presión desprenda la película retrorreflejantes.
- En el caso de que persistan residuos de brea, aceite, diesel o material asfáltico, entre otros, después de haberlas limpiado, se podrán utilizar productos más fuertes y procedimientos recomendados por el fabricante, para evitar algún daño sobre el material reflejante del dispositivo.
- Durante el proceso de limpieza, transporte, manejo y disposición de residuos se toman las precauciones necesarias para evitar la contaminación del aire, el suelo, las aguas superficiales o subterráneas y la flora, conforme a lo señalado en la **Norma N·CSV·CAR·5·01·001**.

Instalación de Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras de Conservación

El señalamiento y los dispositivos para protección en obras de conservación, son aquellas marcas, señales verticales y dispositivos que se colocan de manera provisional, con el fin de garantizar la integridad de las personas y las obras, durante la ejecución de trabajos de conservación de carreteras en operación. Figura 5.5.17.



Figura 5.5.17. Instalaciones de señales y dispositivos para protección de obra

Procedimiento

- La limpieza de la estructura y el tablero de las señales verticales y dispositivos diversos, debe asegurar el retiro de todos los residuos.

- Los elementos retrorreflejantes de las señales, se limpian utilizando detergentes no abrasivos, agua y aire a presión moderada, y sólo si es necesario: trapos, esponjas o cepillos de cerdas suaves, para evitar que se rayen.

- Una vez eliminados todos los residuos, se enjuaga el tablero con agua limpia y se deja escurrir hasta secarse.

- En el caso de que persistan en el tablero residuos de brea, aceite, diesel, material asfáltico o pintura en aerosol, entre otros, después de haberlos limpiado, se pueden utilizar productos más fuertes y procedimientos recomendados por el fabricante de los elementos retrorreflejantes, para asegurar que la señal no pierda su apariencia ni su retrorreflectividad.

- Se deben reemplazar aquellas señales que por la actuación de agentes externos que las deterioren, no cumplan el objetivo para el cual fueron diseñadas e instaladas.

- Dentro de las actividades de mantenimiento, se deben reemplazar las señales defectuosas.

Reposición Parcial de Defensas Metálicas

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer un segmento de defensa que presente deterioros o daños, provocados por impactos o corrosión, entre otros, con el propósito de restituir las condiciones originales de estos elementos. Figura 5.5.18.



Figura 5.5.18. Reposición de defensas metálicas

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición, se instalan las señales y los dispositivos de protección en las obras que lo requieran.
- Sobre la superficie de la defensa, se delimitarán los tramos por reponer.
- Los tramos de defensa o sus componentes, que estén dañadas, se desmantelarán totalmente.
- La remoción se realizará cuidadosamente, en los segmentos preestablecidos, con equipo adecuado y de tal manera que las partes restantes de la defensa no sean dañadas.
- Antes de la reposición de un tramo de defensa o alguno de sus elementos, la superficie de la defensa existente que recibirá el nuevo tramo debe estar limpia, exenta de substancias extrañas, óxido, polvo o humedad excesivos.
- Después de concluidos los trabajos de reposición de defensas, los tramos reemplazados deberán estar perfectamente alineados, tanto horizontal como verticalmente, respecto al resto de la defensa y conforme a lo indicado en el proyecto.
- Al final de la jornada, estas zonas deben quedar libres de cualquier tramo de defensa desmantelado, residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reposición, que contaminen el entorno, depositándolos en el sitio o banco de desperdicios que apruebe la Dependencia responsable.

Reparación de Barreras Centrales de Concreto Hidráulico

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer o rehabilita, total o parcialmente, barreras centrales de concreto hidráulico que se presenten deterioros o daños, provocados por impactos o asentamientos, entre otros, con el propósito de restituir las condiciones originales de estos elementos. Figura 5.5.19.



Figura 5.5.19. Reparación de barreras centrales

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reparación, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Sobre la superficie de la barrera central, se delimitarán los tramos por reparar.
- Si se trata de barreras formadas por módulos precolados, el tramo dañado se sustituirá totalmente.
- En el caso de barreras monolíticas, para delimitar el área por reparar y proteger las zonas no dañadas, con la ayuda de una cortadora de disco se realiza un corte perpendicular a la superficie de concreto hidráulico, con una profundidad de quince (15) milímetros, en todo el perímetro previamente marcado. El retiro del concreto hidráulico dañado puede realizarse manualmente con cincel o mediante equipo mecánico que no dañe las zonas que no requieran reparación.
- En áreas de demolición, el refuerzo existente no debe ser cortado o dañado. Si durante la remoción del concreto hidráulico se deja expuesta más de la mitad de la superficie de una varilla de refuerzo, será necesario descubrirla por completo, con suficiente holgura bajo ella para asegurar que quede perfectamente ahogada y adherida con el concreto nuevo.
- En caso de que exista refuerzo expuesto y corroído, debe descubrírsele por completo en una longitud mínima de veinticinco (25) centímetros a ambos lados, más allá de la zona de corrosión.

- La demolición y remoción se realiza cuidadosamente hasta los límites y profundidades establecidos, con equipo adecuado y de tal manera que las partes restantes de la barrera central no sean dañadas.

- La superficie de concreto hidráulico resultante debe presentar una textura rugosa, para asegurar una buena adherencia entre el concreto existente y el concreto nuevo.

- Antes de la reparación, la superficie que recibe el concreto hidráulico nuevo o el módulo precolado nuevo, debe estar limpia, exenta de materiales sueltos, substancias extrañas, polvo o agua libre.

- Cuando así lo indique el proyecto, se debe aplicar un producto especial sobre la superficie demolida, para mejorar la adhesión con el concreto hidráulico nuevo.

- Para eliminar la corrosión existente en el acero de refuerzo, éste se limpia mediante chorro de arena a presión y lijado manual o mecánico, hasta eliminar completamente la parte dañada. Si como resultado de la limpieza, el acero de refuerzo pierde más de veinte (20) por ciento de su área transversal, se debe reponer el área faltante.

- La disminución del área de acero de refuerzo se compensa colocando varillas complementarias, en un área igual al doble del área faltante.

- El acero de refuerzo complementario debe tener una longitud de traslape mínima de cuarenta (40) veces el diámetro de la varilla añadida, más allá de la zona con área disminuida.

- Cuando al momento de la demolición se detecte acero faltante, se debe colocar acero de refuerzo nuevo, donde sea necesario.

- Una vez concluida la limpieza, la reposición del acero de refuerzo o la reposición del acero faltante, antes de la colocación del concreto hidráulico, se debe aplicar un producto inhibidor de corrosión al acero de refuerzo.

- Después de concluidos los trabajos de reparación de la barrera central, la superficie debe presentar una textura uniforme y sin rebordes, especialmente en las juntas con elementos preexistentes. Los tramos reemplazados estarán perfectamente alineados tanto horizontal como verticalmente, respecto al resto de la barrera central.

- Cuando así lo indique el proyecto, se pintan los extremos de las barreras centrales de concreto hidráulico, en su cara normal a la dirección del tránsito.

- Cuando así lo indique el proyecto o la Dependencia responsable, se debe reponer el dispositivo antideslumbrante.

- Al final de los trabajos, estas zonas deben quedar libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reparación, que contaminen el entorno, depositándolos en el sitio o banco de desperdicios aprobado por la Dependencia responsable.

Reposición Aislada de Vialetas y Botones

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer las vialetas y botones en carreteras, cuando han sufrido algún tipo de daño, con el propósito de mantener la carretera en condiciones de seguridad en lo que a señalamiento se refiere. Figura 5.5.20



Figura 5.5.20. Reposición de vialetas y botones

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Las vialetas o los botones por reponer se retiran completamente, de tal forma que no queden restos o residuos sobre la superficie de rodadura.
- La superficie sobre la que se colocan las vialetas o los botones debe estar seca y exenta de materias extrañas, polvo o grasa.
- Previo a la reposición de las vialetas o los botones, se indica su ubicación mediante un premarcado sobre la superficie de rodadura, en los lugares señalados y conforme al proyecto.
- Para asegurar la adherencia de las vialetas a la superficie de la rodadura, se deben mezclar adecuadamente los dos componentes epóxicos, considerando la temperatura y las condiciones de aplicación recomendadas por el fabricante. Debe asegurarse que la cara reflejante quede orientada en sentido normal al tránsito.
- Después de concluidos los trabajos de reposición, las vialetas o los botones deben estar perfectamente alineados, respecto al resto de las vialetas o botones y a lo indicado en el proyecto.
- Al final de la jornada, estas zonas quedarán libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reposición, que contaminen el entorno, depositándolos en el sitio o banco de desperdicios.

Reposición de Señales Verticales

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer y conservar las señales verticales en carreteras, cuando ya han perdido su capacidad de retrorreflexión o han sufrido algún tipo de daño, con el propósito de mantener la carretera en condiciones de operación y seguridad, en lo que a señalamiento se refiere. Figura 5.5.21.



Figura 5.5.21. Reposición de señales verticales

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición y conservación, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran, conforme a lo indicado en la **Norma NOM-086-SCT2-2004**, "Señalamiento y Dispositivos para Protección en Zonas de Obras Viales".

- Cuando únicamente se vayan a reponer los tableros de las señales, éstos se retiran completamente sin dañar su estructura de soporte u otros tableros, de acuerdo con lo establecido en el proyecto.

- Cuando se vaya a reponer una parte de la estructura de soporte de las señales, ésta se remueve parcialmente, conforme a lo indicado en el proyecto.

- Antes de la reparación, la superficie de la estructura de soporte que recibe el nuevo tablero, debe estar limpia, exenta de substancias extrañas, óxido, polvo o humedad excesiva.

- Cuando así lo indique el proyecto, una vez eliminado el óxido, en su caso, se aplica un producto anticorrosivo sobre la superficie afectada, para evitar la corrosión de la señal.

- Previo a la reposición de las señales verticales, se marca su localización y disposición en los lugares establecidos en el proyecto.

- Se procede a la colocación de la señal vertical, construyendo una base de concreto hidráulico y fijándola en el sentido normal al flujo del tránsito.

- Después de concluidos los trabajos de reposición, las señales verticales deben estar perfectamente alineadas y orientadas, respecto al resto de los tableros preexistentes y a lo indicado en el proyecto.

- Al final de los trabajos, estas zonas deben quedar libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reposición, que contaminen el entorno, depositándolos en el sitio o banco de desperdicios que apruebe la Dependencia responsable.

Reposición de Indicadores de Alineamiento

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer los indicadores de alineamiento en carreteras, cuando ya han perdido su capacidad de retrorreflexión o han sufrido algún tipo de daño, con el propósito de mantener la carretera en condiciones de seguridad en lo que a señalamiento se refiere. Figura 5.5.22.



Figura 5.5.22. Reposición de indicadores de alineamiento

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición, se instalan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Cuando únicamente se vayan a reponer los elementos retrorreflejantes de los indicadores de alineamiento, se retirarán completamente sin dañar el poste de soporte.
- Cuando se vaya a reponer el soporte de los indicadores de alineamiento se removerá totalmente, desde su base.
- Inmediatamente antes de la reposición, cuando sólo se vaya a reponer el elemento retrorreflejante, la superficie del poste de soporte debe estar limpia, exenta de substancias extrañas, óxido, polvo o humedad excesiva.
- Previo a la reposición de los indicadores de alineamiento, se marca su localización y ubicación en los lugares establecidos en el proyecto.
- Se procede a la colocación del indicador, excavando el lugar para alojar el poste de soporte con su indicador, posicionándolo y compactando el material a su alrededor.
- Después de concluidos los trabajos de reposición, los indicadores de alineamiento deben estar perfectamente alineados y orientados, respecto al resto de los indicadores de alineamiento existentes.
- Al final de los trabajos, las zonas deben quedar libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reposición, que contaminen el entorno.

Reposición de Dispositivos Diversos

Es el conjunto de actividades que se realizan para reponer y/o reparar los dispositivos diversos de señalamiento y seguridad, cuando han sufrido algún tipo de daño, con el propósito de mantener la carretera en condiciones de seguridad, en lo que a señalamiento y dispositivos de seguridad se refiere. Los dispositivos diversos que se tratan en este punto son los topes, vibradores y guardaganados. Figura 5.5.23.




Figura 5.5.23. Reposición de dispositivos diversos

Procedimiento

- Antes de iniciar los trabajos de reposición o reparación, se colocan las señales y los dispositivos de protección en obra que se requieran.
- Se retiran los dispositivos dañados, parcial o totalmente, de acuerdo con lo establecido en el proyecto.
- Antes de la reposición o reparación, la superficie afectada debe estar limpia, exenta de substancias extrañas, óxido, polvo o humedad excesiva.
- Se procede a la colocación del nuevo dispositivo, asegurando su fijado en la superficie o en el lugar previamente definido.
- Después de concluidos los trabajos de reposición o reparación, los dispositivos deben quedar perfectamente ubicados, alineados tanto horizontal como verticalmente, a la altura especificada y orientados, respecto al resto de los dispositivos de su tipo.
- El acabado de los dispositivos debe ser el establecido en el proyecto, cuidando que queden a la altura especificada. Cuando el proyecto lo establezca, el tope se pinta de color blanco o amarillo, como el resto de los topes existentes, con el tipo de pintura para señalamiento horizontal indicado en el proyecto.
- Al final de los trabajos, las zonas deben quedar libres de cualquier residuo, desperdicio o material, extraídos durante el proceso de reposición, que contaminen el entorno.

5.6 SEGURIDAD VIAL

Actualmente, tratar el tema de seguridad vial es cada vez más necesario en todos los niveles y en todos los ámbitos, debido: al creciente número de accidentes tanto en zonas urbanas y suburbanas como en carreteras de altas y bajas especificaciones, al aumento en el parque vehicular, a los nuevos equipos automotores (capaces de alcanzar altas velocidades), a las condiciones de la infraestructura vial, al aumento de las personas en edad de conducir y a la poca o casi nula educación vial de los conductores y de los peatones.

Se puede definir a la seguridad vial como la prevención de accidentes de tránsito, por medio del conocimiento y cumplimiento correcto de leyes y reglamentos ya sea como conductor, ciclista, peatón o pasajero, para preservar la vida y salud de los usuarios.

La seguridad vial y su eficiencia está dada por la participación armónica de los elementos fundamentales del tránsito, quienes son: conductores, peatones, vehículos y carreteras. En términos generales dichos elementos deben aportar condiciones que se ajusten a su participación en el sistema. Veamos

- Usuarios. Son los conductores, ciclistas, peatones y pasajeros, los cuales deben tener un conocimiento claro de las disposiciones legales locales que rigen el tránsito y cumplirlas plenamente. Los conductores en forma especial deben tener los conocimientos, educación, habilidades, capacidades y destrezas que, unidas a una salud física y mental adecuada, aporten acciones seguras en sus conductas.

- Vehículos. Deben cumplir con las normas técnicas y legales pertinentes, encontrándose en buen estado de funcionamiento, producto de un mantenimiento y reparación oportunos, conforme a sus correspondientes características.

- Carreteras. Deben estar en buen estado y correctamente señalizadas, en conformidad a la demanda por satisfacer.

Un accidente vial no suele ser provocado por una sola causa, sino que es el resultado de la interacción de una serie de factores relacionados con los usuarios, los vehículos, la infraestructura, el tránsito y el entorno de la carretera. Aunque en una proporción muy alta de los accidentes, la causa principal es el error humano, la mejora de las características de los vehículos y de la infraestructura puede contribuir a reducir las situaciones de conflicto y, en consecuencia, la frecuencia de los accidentes y su gravedad. Figura 5.6.1.



Figura 5.6.1. Accidentes registrados en carreteras, clasificados por tipo

Principales Causas de los Accidentes de Tránsito

- Exceso de velocidad
- Imprudencia del conductor
- Imprudencia del peatón
- Ebriedad del conductor
- Imprudencia del pasajero
- Exceso de carga
- Desacato a las señales de tránsito
- Falla mecánica
- Falta de luces, mal estado de las vías, mala señalización y otros

Factor Humano



Figura 5.6.2. Toma de decisiones

En términos de seguridad vial, se entiende por "factor humano" al que implica al usuario que toma las decisiones, que es quien decide conducir cansado, no parar lo suficiente, beber alcohol, no ponerse el cinturón de seguridad, no respetar las normas de tráfico, conducir a más velocidad de la permitida, etcétera.

Entre todos los factores que afectan a la seguridad en la carretera, el factor humano y en especial los errores atribuibles a conductas del propio conductor, merecen una especial atención. Si profundizamos en su incidencia en la seguridad vial veremos que, según evidencian numerosos estudios, es un factor muy recurrente, ya que está presente en un 70-90%. Figura 5.6.2.

"En la mayoría de los partes (reportes) se registra que por el factor humano se alcanza el 70% de los accidentes en la Red Carretera Federal, citando como causas principales el exceso de velocidad, la violación de las regulaciones de tránsito y diversos factores más; entonces, mejorar la infraestructura es muy importante, de hecho es fundamental, pero atender el factor humano es tan significativo como mejorar la infraestructura y quizás lo sea más."

Límite de velocidades en México

Lugar	Velocidad en km/hora
Zona Escolar	25
Ciudad	60
Sin señalamiento	70
Carretera rural	60
Carretera Estatal	80 (Puede Variar)
*Carretera Federal	90
**Autopista	110

Puntos de Conflicto o "Puntos Negros"

En la red carretera nacional se denominan puntos de conflicto vial o puntos negros a las zonas que por sus características geométricas y estructurales de algunos tramos carreteros presentan, de manera recurrente, accidentes automovilísticos, muchos de ellos con fatales consecuencias.

Las cifras sobre accidentes que ocurren en nuestro país son altas. De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, cada año se suscitan entre 3.3 y 3.8 millones de accidentes de tránsito. Figura 5.6.3.



Figura 5.6.3. Punto de conflicto en entronque

El Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes, unidad administrativa de la Secretaría de Salud, publicó que en 2012 se registraron más de 414 mil accidentes, ocasionando el deceso de poco más de17 mil personas y más de 152 mil heridos.

La situación que se presenta en las carreteras relacionada con los accidentes es delicada. La Organización Mundial de la Salud ubica a México entre los diez países con más accidentes mortales en carreteras de América Latina.

No obstante que un elevado porcentaje de los accidentes tienen como factor predominante el error humano; tradicionalmente, las acciones de mejoramiento están dirigidas a la infraestructura y a las características de los vehículos para contribuir a reducir las situaciones de conflicto, y en consecuencia disminuir la frecuencia y la severidad de los accidentes.

Habitualmente, los programas de seguridad se han centrado en el tratamiento de los llamados "puntos negros" o Tramo de Concentración de Accidentes (TCA). Este término técnico no es casual, sino que es aceptado por la Ingeniería de Tránsito para denominar los sitios, tramos o zonas de una vía (usualmente comprendida entre 300 metros y 1 kilómetro), caracterizados por la ocurrencia de un número de accidentes (habitualmente de tres a cinco), en un período de tiempo dado (generalmente por año); estos siniestros son anormalmente altos con relación a otros lugares de la misma o a la totalidad de la red vial.

El nivel de riesgo que el "punto negro" representa se evalúa mediante la obtención de los índices de peligrosidad o de gravedad o de mortalidad; el primero y el último con referencia al tránsito vehicular que circula por ese punto.

Para realizar la jerarquización por el Número de Accidentes Equivalente (NAE) se considera el impacto de la severidad de los accidentes, es decir se toma en cuenta a las víctimas de un accidente. Para ello se utiliza el criterio de que por cada muerto se consideran seis accidentes y por cada lesionado dos accidentes (cabe mencionar que este criterio no está documentado por parte de la SCT, sin embargo se ha obtenido un buen parámetro para la identificación de los "puntos negros"). Con la siguiente expresión se obtiene el NAE:

N A E = No. de Accidentes + No. de muertos x 6 + No. de Lesionados x 2

Dado que los recursos económicos han estado restringidos para realizar las acciones de mejoramiento en sitios de alta "siniestralidad" en la Red de Carreteras Federales, la SCT realiza una ponderación para atender los puntos o tramos, con la ayuda de un modelo matemático que considera: los accidentes y sus saldos, los volúmenes de tránsito en el punto o tramo y los costos asociados a la propuesta de mejoramiento. El modelo que determina la prioridad en que deben atenderse los "puntos negros" está dado por la siguiente expresión:

Jerarquización = Costo / 2 I A E

Donde:

Jerarquización: Valor que jerarquiza al punto o tramo en orden creciente.

Costo: Costos totales de la solución propuesta en el punto o tramo analizado.

I A E: Índice de Accidentes Equivalentes por cada millón de vehículos circulando en el punto o tramo analizado. Adicionalmente, el modelo considera los que mayor rentabilidad económica tendrían.

Comportamiento del Conductor y el "Punto de Conflicto"

Desde una percepción simple, según los reportes de accidentes, se ha afirmado que entre 75 y 80% de la "siniestralidad" vial es debido a fallas o errores en el factor humano, en especial a las actitudes de negligencia e imprudencia; es decir, a la falta de una maniobra adecuada o al exceso innecesario de la misma (Cuevas Cecilia, 2006).

Sin embargo, la existencia objetiva de los "puntos de conflicto" desmiente dicha visión simplista pues ésta, en primer lugar, no puede explicar por qué, por ejemplo en los lugares A o B de una ruta se manifiesta, no sólo una notoria acumulación de accidentes sino que además, ésta sea permanente e incluso que los incidentes se desarrollen según un mismo esquema mecánico; y en segundo lugar, resulta evidente que, si el factor humano fuera el único causante, entonces habría que concluir que la imprudencia y la negligencia se manifestarían sólo en los puntos A o B y no en los demás del trayecto de la misma vía, lo cual es insostenible, pero aún menor el decir que los usuarios irresponsables elegirían deliberadamente esos sitios para producir su propio desastre. Figuras 5.6.4 y 5.6.5.

Por lo tanto, un razonamiento lógico elemental lleva a entender que el "Punto de Conflicto" es producto de algo más que el puro comportamiento del usuario; más bien es la consecuencia de varios factores, entre ellos las verdaderas fallas en la infraestructura vial, aunque éstas puedan asociarse eventualmente a conductas viales inadecuadas.



Figura 5.6.4. Manejo con falta de responsabilidad



Figura 5.6.5. Punto de conflicto

Entronques

Se define entronque como la zona común a dos o varias carreteras que se encuantran o se cortan al mismo nivel, y en la que se incluyen los ramales que puedas utilizar los vehículos para el paso de una a otra carretera. Figura 5.6.6.



Figura 5.6.6. Entronque

El diseño de estos entronques se debe realizar teniendo en cuenta principalmente el número de accesos, tipología de carreteras a unir, intensidad y velocidad de las mismas. En general, una mayor importancia y velocidad en las vías que confluyen al entronque derivará en ramales más largos y entronques mayores.

Utilización de los Dispositivos de Contención de Vehículos

En el proyecto de intersecciones intervienen gran cantidad de variables, pudiendo existir múltiples soluciones para resolverlas. Los factores a considerar, de cara al diseño de una intersección, son los siguientes:

a) **Datos funcionales.** Debe estudiarse el tipo y rango de las vías que concurren, dando una mayor preferencia a aquella que mayor tráfico posea.

b) **Datos físicos.** Topografía (y en su caso disposición urbana) de la zona, apuntando las posibles barreras existentes para extender la superficie, así como los distintos servicios urbanos que discurren por el subsuelo. Para ello, es necesario disponer de una planta y de los perfiles longitudinales de las carreteras que se cruzan, así como de cuantos datos sean necesarios.

Tipos de Dispositivos de Contención. Se denomina dispositivo de contención de vehículos a todo elemento instalados en una carretera con la finalidad de impedir que un vehículo fuera de control se aleje de la vía, de manera que se limiten los daños tanto para sus ocupantes como para el resto de los usuarios de la carretera y para otras personas u objetos situados en las proximidades.

Por su función y ubicación, los dispositivos de contención de vehículos se clasifican en:

Barreras de Protección. Son dispositivos que se instalan longitudinalmente en uno o en ambos lados del camino, con objeto de impedir, por medio de la contención y redireccionamiento, que algún vehículo fuera de control, por error o en forma intencional, salga del camino. Según su operación y ubicación, las barreras de protección se clasifican a continuación.

Barreras Metálicas de Orilla. Son defensas flexibles, semiflexibles o rígidas que se colocan en la orilla de las carreteras, en puntos específicos donde exista un peligro potencial, como pueden ser una curva cerrada, la altura excesiva de un terraplén o la cercanía de estructuras u objetos fijos, con el propósito de incrementar la

seguridad de los usuarios, evitando que los vehículos salgan de la corona si el conductor pierde el control, siempre y cuando dichos vehículos circulen en condiciones normales de operación para los que fueron diseñados, en cuanto a velocidad, masa y dimensiones. Ocasionalmente pueden ser usadas para proteger a peatones y ciclistas del tránsito vehicular bajo condiciones especiales. Por lo general son concebidas para recibir impactos sólo por uno de sus lados. Figura 5.6.7.



Figura 5.6.7. Barrera metálica de orilla

Barreras Separadoras de Sentidos de Circulación. Son barreras centrales flexibles, semiflexibles o rígidas que se colocan en caminos divididos para separar una calzada de otra con flujo vehicular en sentido opuesto, con el propósito de impedir que algún vehículo abandone su calzada e invada la otra, ya sea por estar fuera de control, por error o incluso en forma intencional. Ocasionalmente pueden ser usadas para evitar el acceso de vehículos por sitios indebidos a carriles restringidos. Por lo general son concedidas para recibir impactos por ambos lados. Figura 5.6.8.



Figura 5.6.8. Barrera separadora central

Barreras de Transición. Son barreras de orilla de corona o separadores de sentidos de circulación, con arreglos y configuraciones particulares, que se colocan entre las barreras comunes y los parapetos de puentes o de estructuras similares, o entre aquéllas y cualquier elemento lateral rígido (como muros de contención y muros de entrada a túneles, entre otros) para lograr la transición progresiva del grado de contención y flexibilidad de las primeras al de los segundos, tanto en las aproximaciones como en las salidas de esas estructuras, con el propósito de evitar el embolsamiento de deformación exagerada que resulta en ángulos excesivos de redireccionamiento, con trayectorias peligrosas; el enganchamiento o impacto de los vehículos en los elementos rígidos de las estructuras, con la consecuente desaceleración excesiva, o la penetración de las barreras en los vehículos impactados a lo largo de la transición. Figura 5.6.9.



Figura 5.6.9 Barrera de transición cambio de figura

Barreras de Seguridad. Dispositivos empleados en las márgenes o, en su caso, en la mediana de la carretera para evitar que los vehículos que salgan de la calzada choquen con obstáculos situados fuera de ella, vuelquen o salgan por los desniveles existentes en las márgenes de la carretera. Figuras 5.6.10 y 5.6.11.





Figuras 5.6.10 y 5.6.11. Barreras de seguridad

Secciones Extremas. Son dispositivos conectados en los extremos de una barrera, ya sea de orilla de corona o separada de sentido de circulación, con el objeto de estabilizarla, reforzarla y disminuir el peligro que representa para los ocupantes de un vehículo el impacto en el extremo inicial de la barrera. Son secciones de amortiguamiento cuando se instalan en los extremos iniciales para amortiguar el impacto e impedir que la barrera penetre en el vehículo, o son terminales, cuando se colocan en los extremos finales para estabilizar y reforzar la barrera. Figura 5.6.12.





Figura 5.6.12. Terminal cola de pato, y terminal de amortiguamiento de barreras metálicas

Amortiguadores de Impacto. Son dispositivos que se colocan antes del inicio de una barrera, ya sea orilla de corona o separadora de sentido de circulación, de una bifurcación, de una caseta de peaje, de una salida o de cualquier otro objeto fijo que pudiera ser un obstáculo en el camino, para proteger a los ocupantes de un vehículo que pudiera impactar contra ese obstáculo, desacelerando gradual y controladamente dentro de los niveles tolerables por el ser humano y, en su caso redireccionando el vehículo. Figuras 5.6.13 y 5.6.14.





Figuras 5.6.13 y 5.6.14. Amortiguadores de impacto

Dispositivos para Control de la Velocidad

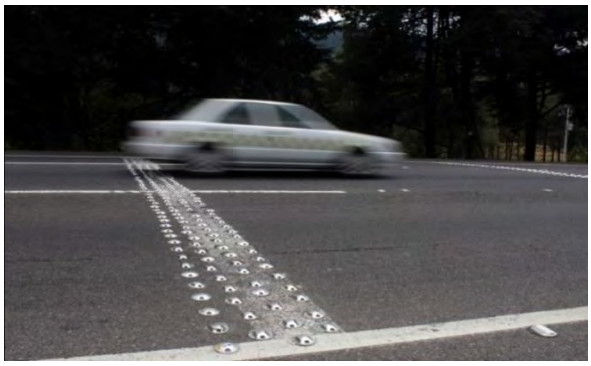
Son dispositivos que se instalan en la superficie del pavimento en posición transversal al eje del camino, que combinados entre sí y con otros elementos de señalamiento horizontal y vertical, constituyen un sistema de control de velocidad que contribuye a que los conductores reduzcan la velocidad con que circulan sus vehículos, para disminuir la ocurrencia de accidentes en aquellos sitios no regulados por semáforos, en los que las autoridades no puedan ejercer un control adecuado de la velocidad por carecer de recursos y donde habitualmente se excedan los límites de velocidad permitidos, particularmente en áreas de conflicto, tales como:

- Cruce de peatones en intersecciones y zonas escolares, de hospitales, comerciales, residenciales o cualquier otra donde sea necesario proteger el flujo peatonal.
- Aproximaciones a zonas urbanas, a intersecciones a nivel con otra carretera o vialidad de mayor importancia o con una vía de ferrocarril, a curvas peligrosas, a casetas de cobro y a estaciones de cuerpos de emergencia, como bomberos y ambulancias, entre otros.
- Tramos de pendientes descendentes pronunciadas.

Según su función, los dispositivos para control de la velocidad pueden ser:

Rayas Logarítmicas Realzadas. Son las rayas con esparcimiento logarítmico a que se refiere la **Norma N·PRY·CAR·10·01·002**, Diseño de Señalamiento Horizontal, realzadas o complementarias con botones metálicos, para producir la ilusión óptica y auditiva de que el vehículo se acelera, induciendo al conductor a disminuir su velocidad. Figuras 5.6.15 y 5.6.16.





Figuras 5.6.15 y 5.6.16. Rayas Logarítmicas

Rampas para Frenado de Emergencia. También conocidas como rampas de escape o de emergencia. Son franjas de terracería dentro del derecho de vía, conectadas a la calzada de las carreteras en aquellos tramos con pendientes descendentes continuas y prolongadas, cuya función es disipar la energía cinética de los vehículos que estén fuera de control por fallas mecánicas, principalmente en sus sistemas de frenos, desacelerándolos y deteniéndolos en forma controlada y segura, mediante el aumento de la resistencia a la rodadura de las llantas, que proporcionan los materiales con que se construyen y aprovechando , en la medida de lo posible , la acción de la gravedad en el frenado.

Si por la topografía del terreno o por limitaciones físicas no hay suficientes para detener completamente a un vehículo fuera de control, la rampa se complementará con un dispositivo atenuador aceptable, acojinado e instalado para evitar que el vehículo salga al final de la rampa, como puede ser un amortiguador de impacto.

Las rampas para frenado de emergencia pueden ser:

Rampas de Montículo. Las que en su superficie se colocan un montículo de arena suelta y seca que funciona como disipador de energía, para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos, proporcionando resistencia a la rodadura de las llantas y la acción de la gravedad en el frenado. Su colocación de penderá de la pendiente longitudinal ascendente, que tenga montículo. Usualmente tienen una longitud no mayor de ciento veintidós metros. Figura 5.6.17.



Figura 5.6.17. Rampa de montículo

Rampas Descendentes. Las que tienen una superficie con pendiente longitudinal descendente, formada por una cama de arrastre o lecho de frenado, que es una capa superficial construida con material granular suelto, con el objeto de aumentar la resistencia a la rodadura, para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos.

Debido a que sólo tiene efecto en el frenado el material granular suelto y a que la acción de la gravedad tiene un efecto acelerador, estas rampas suelen ser muy largas y su longitud depende de la magnitud de su pendiente descendente y de las características del material granular, en función de la masa y la velocidad del vehículo. Figura 5.6.18.

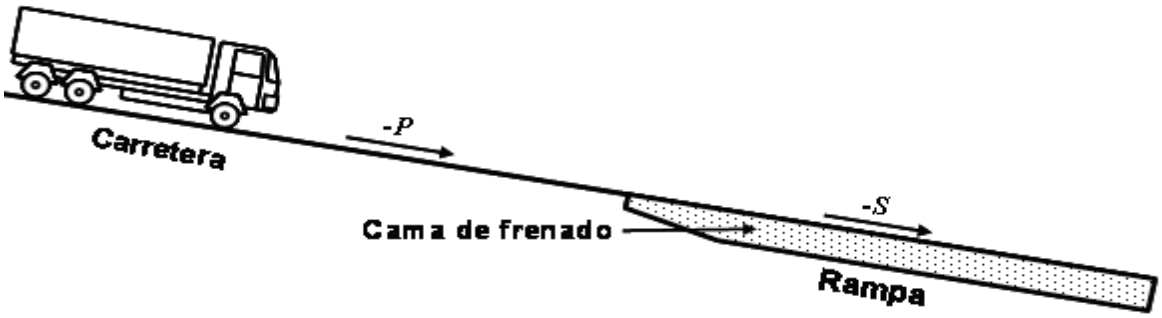


Figura 5.6.18. Rampa descendente

Rampas Horizontales. Las que tienen una superficie horizontal (sin pendiente longitudinal), formada por una cama de arrastre o lecho de frenado, que es una capa superficial construida con material granular suelto, con el objeto de aumentar la resistencia a la rodadura, para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos.

Debido a que el efecto de la gravedad en el frenado es nulo, estas rampas suelen ser largas y su longitud depende de las características del material granular, en función de la masa velocidad del vehículo de diseño. Figura 5.6.19.

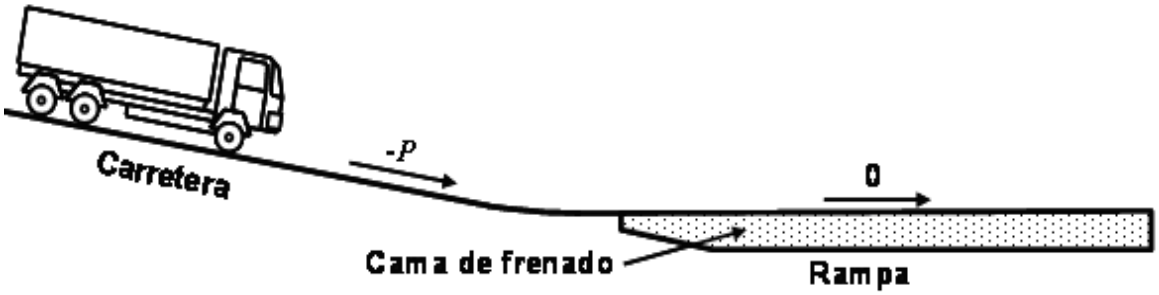


Figura 5.6.19. Rampa horizontal

Rampas Ascendentes. Las que tienen una superficie con pendiente longitudinal ascendente, formada por una cama de arrastre o lecho de frenado, que es una capa superficial construida con material granular suelto, con el objeto de aumentar la resistencia a la rodadura, para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos. La acción de la gravedad en el frenado depende de la pendiente longitudinal ascendente de la rampa. Figura 5.6.20.

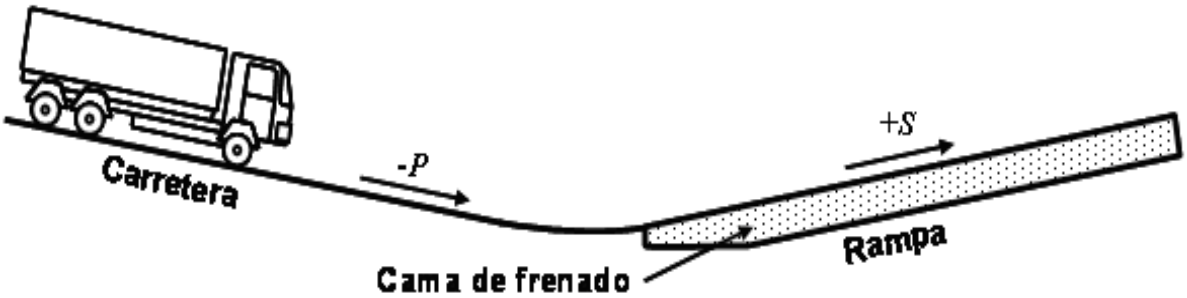


Figura 5.6.20. Rampa ascendente

En México, las rampas de frenado se ubican en las márgenes de la carretera, sobre todo en pendientes prolongadas, con rellenos a base de materiales sueltos friccionantes que proporcionan un elevado rozamiento, para facilitar la detención de los vehículos que presenten fallas mecánicas en su sistema de frenado, de acuerdo con la **Norma NOM-036-SCT2-2009**, Rampas de emergencia para frenado en carreteras. Figura 5.6.21.



Figura 5.6.21. Rampa de frenado

El choque con un dispositivo de contención de vehículos constituye en sí un accidente. En un principio, sus consecuencias suelen ser predecibles y, en cualquier caso, deben ser menos graves que las del accidente que tendría lugar de no existir aquél. Aun así, no está exento de riesgos para los ocupantes del vehículo, por lo que sólo se debe instalar un dispositivo de contención después de valorar los riesgos potenciales en uno y otro caso, y descartar soluciones alternativas, como la remoción del obstáculo o la modificación de la forma del margen de la carretera.

5.7 DERECHO DE VÍA

Generalidades

El derecho de vía es la franja de terreno en la cual están alojados todos los elementos que constituyen la infraestructura de las carreteras, autopistas y puentes; asimismo, puede alojar obras e instalaciones de carácter diverso. En virtud de lo anterior el uso adecuado del derecho de vía y su preservación es cada día más importante. Figura 5.7.1.

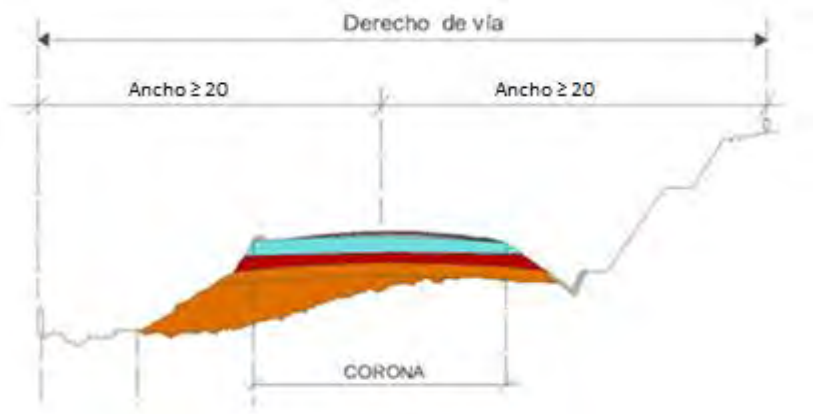


Figura 5.7.1. Delimitación del derecho de vía

Desde el punto de vista de la Conservación de Carreteras, hay diversas actividades de trabajo que deben contemplarse para que el derecho de vía esté en óptimas condiciones en cuanto a seguridad, visibilidad e imagen, entendiéndose que solo nos concentraremos en las zonas laterales del derecho de vía, entre las cuales se destacan:

- Deshierbe
- Rastreo
- Limpieza (retiro de basura y objetos extraños)
- Cercado delimitador del derecho de vía
    - Construcción
    - Reparación

En la actualidad, las Vías Generales de Comunicación son cada vez más complejas, ya que a las tradicionales obras de Vías Férreas y Carreteras se suman una serie de obras adicionales, tales como:

- Accesos
- Paraderos
- Paradores
- Miradores
- Tendidos de líneas eléctricas, telegráficas y telefónicas

- Fibra óptica
- Ductos y cableados de muy diversa naturaleza e importancia económica y social

Adicionalmente, el derecho de vía se puede constituir en una verdadera zona de protección ecológica, ya que con una adecuada forestación se pueden construir barreras rompevientos que protejan a los campos de cultivo aledaños. La preservación del paisaje y la mejora constante del derecho de vía permiten ir mejorando el ambiente.

Definición

Derecho de vía es la faja de terreno cuyo ancho corresponde determinar a la Dependencia Responsable y que es necesaria para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y, en general, para el uso adecuado de una vía de comunicación y/o de sus servicios auxiliares. Es, por lo tanto, un bien público sujeto al régimen legal correspondiente.

Aspectos Técnicos

El derecho de vía, pero específicamente las zonas laterales, tienen gran relevancia desde el punto de vista técnico, toda vez que las actividades de conservación que hagamos dentro de éstas disminuirán en gran medida los accidentes, tanto con semovientes como por falta de visibilidad. La limpieza y deshierbe del mismo ayudarán a mejorar la imagen del entorno de la vía de comunicación; las instalaciones marginales que en estas zonas se autoricen por la Dependencia deben cumplir con técnicas, normas y requerimientos varios que están debidamente reglamentados en Leyes, Reglamentos y Manuales. Existen una serie de referencias que permiten, dentro de la normatividad vigente en la SCT, atender todo tipo de peticiones:

- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.
- Manual para la Ubicación y Proyecto Geométrico de Paradores
- Manual de Forestación
- Manual de Procedimientos para el Aprovechamiento del Derecho de Vía de Caminos y Puentes de Cuota
- Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras

Para definir adecuadamente los proyectos geométricos de las carreteras, son necesarios los datos topográficos, geológicos, geotécnicos, hidrológicos, de drenaje y uso del suelo. Todos ellos tienen efectos decisivos en la elección del trazo, la estructura del pavimento a construir, el señalamiento y la información del tránsito, los niveles de servicio y las características operativas de la carretera.

El Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras de la SCT es el documento oficial que norma la elaboración de los proyectos y resulta de gran utilidad para el análisis de asuntos relacionados con la realización de obras dentro del derecho de vía (accesos, entronques, retornos, etcétera).

Manual para la Ubicación y Proyecto Geométrico de Paradores

Con el propósito de garantizar la existencia de servicios funcionales y eficientes, tanto para el autotransporte de carga como para el de pasajeros y el turístico, este Manual establece las características arquitectónicas y

de ubicación a que deben ajustarse los paradores. Éstos son centros de servicios complementarios para el público usuario con los que deben contar las carreteras.

Manual de Forestación

La consideración paisajística es un componente del proyecto geométrico que busca proyectar el camino de forma tal que su desarrollo guarde armonía con el entorno físico de la carretera. Adicionalmente, la forestación permite la mitigación ambiental por la afectación de esta franja.

Manual de Procedimientos para Aprovechamiento del Derecho de Vía de Caminos y Puentes de Cuota

Las disposiciones contenidas en esta Guía buscan garantizar la máxima seguridad para los usuarios y disminuir tanto las obras de reparación como los costos de conservación del camino, a través de su protección contra erosiones, derrumbes y azolvamientos.

Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT

Establece el marco normativo para los distintos elementos que pudieran construirse dentro del derecho de vía desde el punto de vista de técnicas de conservación, materiales, pruebas de calidad, procedimientos, etcétera.

Zonas Laterales del Derecho de Vía

Son las áreas aledañas a la corona del camino que sirven para futuras ampliaciones, para alojar obras e instalaciones marginales y para algunos dispositivos de seguridad.

Son diversas las actividades que involucra la conservación; como Técnicas tradicionales podemos mencionar: el deshierbe, el rastreo, la limpieza y pepena de basura, la reposición del cercado del derecho de vía, entre otras. Respecto a las Técnicas de Innovación, que se mencionan con detalle en el Capítulo 6 de esta Guía, se incluyen las barreras vegetales, con dos fines: uno como barrera anti ruido y otro como barrera natural que impida el paso de ganado al interior del derecho de vía, este último en zonas donde se da el vandalismo en el cercado.

Deshierbe

Definición

Recorte de la vegetación existente en el derecho de vía, con objeto de impedir daños a la estructura del pavimento y permitir buena visibilidad, además de contribuir a la disminución de accidentes con semovientes.

Objeto

Debe efectuarse periódicamente el deshierbe de las zonas laterales del derecho de vía, toda vez que es inconveniente y perjudicial a la carretera por las siguientes razones:

1. Resta visibilidad al usuario del camino.
2. Tapa parcial o totalmente el señalamiento, reduciendo su eficiencia o anulándolo.
3. Propicia el incremento de la humedad del suelo, lo cual suele ser perjudicial a la estructura del pavimento.

4. Causa pésima impresión en el usuario, quien lo interpreta como signo de descuido en la conservación del camino.

5. Propicia las invasiones al derecho de vía por los propietarios de predios colindantes.

6. Incrementa el riesgo de accidentes con semovientes.

De acuerdo con la experiencia, deben efectuarse las labores de deshierbe con la periodicidad necesaria, para lograr lo siguiente:

a) En ningún caso debe permitirse la existencia de hierba en los acotamientos.

b) La hierba no debe sobrepasar los treinta (30) centímetros de altura en una faja de cinco (5) metros colindantes a la corona del camino.

c) La hierba no debe sobrepasar de un (1) metro de altura en el resto del derecho de vía. Figura 5.7.2.

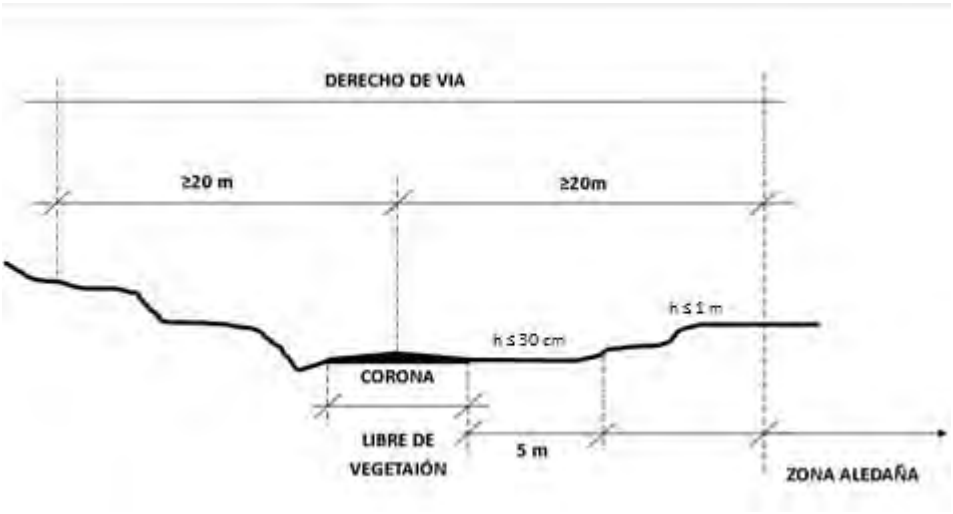


Figura 5.7.2. Sección tipo: Altura mínima (h) permisible de hierba en la zona lateral

Procedimiento

1. Si se encuentra hierba en los acotamientos, debe arrancarse de raíz.

2. El corte de la maleza, hierba, zacate, así como árboles y arbustos que inician su crecimiento, debe efectuarse tan al ras como la conformación del terreno lo permita.

3. Realizar deshierbes de todo el ancho de las zonas laterales, con cinco (5) metros aledaños a la corona.

4. El producto del deshierbe debe removerse y depositarse dentro de las zonas laterales del derecho de vía, en donde no pueda ser acarreado por las aguas a las obras de drenaje. No debe quemarse.

5. Queda expresamente prohibido quemar directamente la hierba o maleza para evitar su corte, por los peligros que presenta de que se propague el fuego.

El deshierbe se puede realizar manualmente con cuadrillas de personas de aproximadamente 10 ayudantes generales y un cabo de cuadrilla, utilizando herramienta menor o también con equipo mecánico: tractor agrícola adicionado con deshierbadora de aspas tipo remolque o con un brazo metálico o brigadas equipadas

con desbrozadoras portátiles. En cada caso el rendimiento varía; la elección dependerá de la topografía de la zona y la disposición de personal. Figuras 5.7.3, 5.7.4. 5.7.5 y 5.7.6.



Figura 5.7.3. Recolección y retiro de la hierba



Figura 5.7.4. Deshierbe manual



Figura 5.7.5. Apoyo en deshierbe con máquina



Figura 5.7.6. Deshierbe con desbrozadora

Rastreo

Definición

Reacomodo del material superficial de las zonas laterales del derecho de vía, con ayuda de equipo motonivelador o motoconformador o tractor ligero.

Objeto

Se efectúan para lograr los siguientes fines:

1. Rellenar pequeños deslaves y evitar que éstos se agranden o aumenten en número.

2. Extender pequeños volúmenes de material depositado, producto de limpieza de obras o deshierbes.

3. Deshierbar y/o facilitar ese trabajo en lo sucesivo, principalmente porque un terreno uniforme permite cortar la hierba más al ras o usar deshierbadora mecánica.

4. Obtener una superficie sensiblemente uniforme, lo cual tiene las siguientes ventajas:

   a) Propicia un mejor drenaje superficial, evitando que se produzcan deslaves al disminuir la velocidad del escurrimiento del agua.
   b) Mejora el aspecto general del camino.

Procedimiento

Los rastreos se efectúan de acuerdo con los siguientes lineamientos generales:

1. Se utiliza motoconformadora o tractor ligero.
2. Debe evitarse depositar, en las cunetas o canales el material arrastrado.
3. Debe evitarse alterar el cauce y la sección de cunetas o canales.
4. Debe buscarse mejorar el drenaje del camino. Es importante lograr que al término del rastreo se obtengan superficies con la pendiente y dirección adecuadas, que eviten escurrimientos hacia el camino.

Limpieza y Pepena de Basura

Definición

Es la acción de recolectar de la zona lateral del camino la basura, animales muertos, desechos de construcciones o materiales de instalaciones no autorizadas que invadan el derecho de vía; se retira ordenadamente y se traslada a un depósito aprobado por la Dependencia Responsable.

Objeto

Se efectúa para lograr los siguientes fines:

1. Dar buena imagen de la zona lateral.
2. Evitar infecciones del usuario que por necesidad o urgencia deba detenerse fuera de la corona del camino.

Procedimiento

La Limpieza y Pepena se realiza de acuerdo con los siguientes lineamientos generales:

1. Se hace de forma manual, ayudado con brigadas a pie, utilizando bolsas con cordón y transportarla en camión o redilas.
2. Debe evitarse depositar la basura o material recolectado o pepenado, en lugares que afecten el drenaje transversal o que pueda ser arrastrado hacia las obras de drenaje.
3. Debe retirarse ordenadamente a un lugar de depósito previamente definido por la Dependencia Responsable, cuidando que éste tenga todos los permisos correspondientes en materia ambiental y de sanidad. Figuras 5.7.7 y 5.7.8.



Figura 5.7.7. Recolección de basura en bolsas



Figura 5.7.8. Pepena de basura

Reposición del Cercado del Derecho de Vía

Definición

Es la reparación de los segmentos del cercado delimitador del derecho de vía que ha sido vandalizado o deteriorado por efectos del clima y la intemperie. Esta reparación puede ser al poste que sirve de soporte (sustitución o nivelación) o al alambre de púas.

Objeto

Se repara el cercado con los siguientes fines:

1. Que cumpla su función delimitadora.
2. Evitar la invasión de ganado que pudiera ocasionar accidentes al usuario del camino.
3. Evitar invasiones a derecho de vía para instalaciones no autorizadas (vulcanizadoras, vendedores ambulantes, entre otros).

Procedimiento

La reparación o reposición del cercado delimitador del derecho de vía se realiza de acuerdo con los siguientes lineamientos generales:

1. En lo general se hace de forma manual, utilizando la mano de obra de la región.
2. De acuerdo a lo que marque el proyecto, se repone o repara el poste de concreto hidráulico o metálico. Es decir, en el caso de desplome sólo se alínea horizontal y verticalmente; si por el contrario está dañado, debe reponerse por uno de iguales características.
3. El alambre de púas dañado o faltante debe reponerse por material nuevo. Figuras 5.7.9 y 5.7.10.



Figura 5.7.9. Reposición de la cerca delimitadora del derecho de vía



Figura 5.7.10. Cercado

Obras Marginales

Definición

Son aquellas obras situadas en las zonas laterales del derecho de vía, que contribuyen a una mejor utilización del camino por los usuarios. Podemos mencionar: accesos, paraderos, miradores, líneas eléctricas, fibra óptica, sistemas de conducción de agua potable y drenaje (en zonas suburbanas), entre otras.

Dentro del marco legal se identifican los ordenamientos que regulan a los trámites para el aprovechamiento del derecho de vía en caminos y puentes; entre ellos destacan los siguientes:

- Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
- Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.
- Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal.
- Ley General de Bienes Nacionales.
- Ley Federal sobre Monumentos y Zonas Arqueológicas, Artísticas e Históricas.
- Ley Federal de Derechos.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección Ambiental.
- Reglamento de Derecho de Vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas.
- Reglamento Interior de la SCT.
- Reglamento de Publicidad para Alimentos, Bebidas y Medicamentos.
- Otros, que señalen disposiciones legales aplicables.

Las obras e instalaciones marginales más frecuentes son:

a) **Acceso.** Son obras de tipo particular como gasolineras, restaurantes, hoteles u otros, o bien obras de uso general como son accesos a poblados o entronques con otros caminos. Enlazan un predio con una carretera federal para permitir la entrada y salida de vehículos, mediante carriles de aceleración y desaceleración.

b) **Paraderos.** Son estructuras diseñadas para permitir a las personas que esperan un autobús, guarecerse del sol o la lluvia mientras llega su vehículo de traslado.

c) **Miradores.** Son zonas de estacionamiento, anexas a los caminos, ubicados en lugares desde los cuales se pueden admirar paisajes naturales.

d) **Cruzamiento.** Son obras superficiales, subterráneas o elevadas, que cruzan de un lado a otro a la carretera.

e) **Instalación Margina.** Obra para la instalación o tendido de ductos, cableados y similares que se construyen en la franja de 2.5 m medida a partir del límite del derecho de vía hacia adentro, que puede removerse por la Dependencia cuando las necesidades del servicio lo requieran.

f) **Parador.** Instalaciones y construcciones adyacentes al derecho de vía de una carretera en las que se presten los siguientes servicios: Alojamiento, alimentación, servicios sanitarios, servicios a vehículos y comunicaciones.

Cualquier obra marginal que exista, o que se proyecte construir, debe cumplir con las siguientes condiciones básicas:

a) No interferir con la correcta operación y conservación del camino.

b) Tener un aspecto decoroso, que no desmerezca la apariencia general de la carretera.

Lineamientos

Accesos

En cada caso particular, la porción del acceso situado dentro del derecho de vía puede estar o no, al cuidado de quienes conservan el camino. Esto debe quedar definido cuando, al tramitar la autorización, se expidan los permisos correspondientes.

Si el acceso, en la zona del derecho de vía, está al cuidado de quienes conservan el camino, se debe prestar la misma atención que a éste y conservarlo de acuerdo con la Normativa vigente.

Si el acceso está al cuidado de otras personas o entidades, se debe exigir que le presten la atención debida, para que no interfiera la correcta operación y conservación del camino y que se cumpla, en todo momento, con la Normativa.

Paraderos

Los paraderos deben ser conservados cuidando los siguientes aspectos:

1. Deben repintarse periódicamente, para que presenten un aspecto decoroso.

2. Deben limpiarse, tanto el paradero como la zona de estacionamiento, recogiendo la basura y desperdicios que hayan tirado los usuarios. Esta limpieza se debe efectuar por lo menos una vez a la semana.

3. Debe cuidarse expresamente el drenaje en la zona de estacionamiento.

Los paraderos deben cumplir los requisitos que a continuación se señalan:

1. Deben ubicarse suficientemente alejados del eje del camino, para permitir que el autobús se estacione fuera de la corona del mismo.

2. Debe construirse un acceso a la zona de estacionamiento del paradero.

3. Deben colocarse en lugares con buena visibilidad. Como mínimo debe existir una tangente de cien (100) metros antes y después del paradero.
4. Debe colocarse el señalamiento adecuado.

Los paraderos que no cumplan con los requisitos anteriores, deben de modificarse para lograrlo.

Miradores

La conservación de los miradores se sujeta a los siguientes lineamientos generales:

1. Debe prestarse la atención adecuada a la superficie de rodamiento, para que cumpla con la normativa vigente.

2. Las isletas o camellones y las guarniciones o muros, deben pintarse de blanco y repintarse periódicamente para que presenten un aspecto decoroso.

3. Debe efectuarse una limpieza de la basura y desperdicios por lo menos una vez a la semana.

4. El deshierbe de la zona aledaña al estacionamiento, debe efectuarse con la periodicidad necesaria para que la hierba no sobrepase los treinta (30) centímetros de alto en los cinco (5) metros contiguos.

5. Debe prestarse atención especial al drenaje del estacionamiento.

Miradores. Deben satisfacer los requisitos que a continuación se señalan:

1. Considerar una separación, entre la corona del camino y la zona de estacionamiento del mirador.

2. Colocar el señalamiento adecuado.

3. Contar con muros o guarniciones que delimiten el extremo exterior de la zona del mirador.

4. De preferencia, debe empedrarse su superficie de rodamiento. Si esto no es posible, debe tener una carpeta de un riego. En ningún caso pueden abrirse miradores con superficie de rodamiento de terracerías.

Los miradores que no cumplan con los requisitos anteriores deberán modificarse, para lograrlo.

Aspectos Legales de Interés

El Reglamento para el Aprovechamiento del Derecho de Vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas es, entre otros que ya se citaron, el que marca las reglas para el uso y aprovechamiento del derecho de vía y sus zonas laterales y aledañas; de él se rescata lo más sobresaliente y, ante cualquier duda consultarla directamente para mayor información:

Artículo 3o. La Dependencia fijará las normas técnicas que deberán observarse para el aprovechamiento del derecho de vía de las carreteras federales y zonas aledañas y realizará la inspección y vigilancia de las obras e instalaciones autorizadas.

Artículo 4o. Dentro del derecho de vía queda prohibida la instalación de anuncios y el establecimiento de paradores.

Artículo 5o. Se requiere permiso previo otorgado por la Dependencia para:

1. La construcción de accesos, cruzamientos e instalaciones marginales, en el derecho de vía de las carreteras federales.

2. La construcción de paradores.

3. La instalación de anuncios y la construcción de obras con fines de publicidad, información o comunicación, en los siguientes lugares:

   - Terrenos adyacentes a las carreteras, hasta una distancia de 100 metros contados a partir del límite del derecho de vía.

   - Zonas en las que por su ubicación especial se afecte la operación, visibilidad o perspectiva panorámica de las carreteras, en perjuicio de la seguridad de los usuarios y

   - En aquellas carreteras que crucen zonas consideradas como suburbanas.

4. La instalación de señales informativas.

5. La construcción, modificación o ampliación de obras ajenas a la carretera, en el derecho de vía.

5.8 IMPACTO AMBIENTAL

Generalidades

El contar con vías terrestres en buen estado que sean eficientes y seguras es el objetivo principal de la Secretaría de Comunicaciones y Trasportes (SCT), por lo que se busca mejorar las condiciones de las carreteras existentes, y de este modo contar con vías de comunicación eficaces y eficientes para mejorar el traslado de los usuarios y brindarles confort y seguridad, ya que este principio permite minimizar los impactos ambientales al utilizar el derecho de vía de los trazos existentes y no otras zonas con mayor valor ecológico; por lo tanto permite no incrementar la afectación ambiental de la zona.

El impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza, Figura 5.8.1.



Figura 5.8.1. Impacto ambiental

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) ha sido establecida como un instrumento de política ambiental, analítico y de carácter preventivo que permite integrar al ambiente un proyecto, un conjunto de proyectos y eventualmente un plan o programa determinado; en esta concepción, el procedimiento ofrece ventajas al ambiente y al proyecto; esas ventajas se manifiestan en diseños más perfeccionados e integrados al ambiente, en economías en las inversiones y en los costos de las obras y actividades, en aceptación social y en certidumbre jurídica para llevar a cabo un proyecto.

Marco Legal

El fundamento legal y técnico básico que se emplea está contenido en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y en su Reglamento.

La Ley, en su Título Primero “Disposiciones Generales” de los Capítulos I y II relativos a “Normas Preliminares” y “distribución de Competencias y Coordinación”, así como en el Capítulo IV referente a los instrumentos de la Política Ambiental de las Secciones IV y V correspondientes a “Regulación

Ambiental de los Asentamientos Humanos” y “Evaluación del Impacto Ambiental”, hace referencia en la parte de Impacto Ambiental en los siguientes Artículos:

Artículo 1. Fracción VIII; Artículo 5, Fracción X; Artículo 23, Fracción VI; Artículo 28; Artículo 30, Artículo 31; Artículo 32; así como los Artículo 29 a 34 del Reglamento de Evaluación del Impacto Ambiental (REIA) y el Artículo 39 Fracción IX Inciso C del Reglamento Interior de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Para enfatizar la importancia del Artículo 28 de la Ley (LGEEPA) a continuación se transcribe su contenido y alcance, en lo que se refiere a vías generales de comunicación:

Artículo 28. La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría (SEMARNAT) establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente.

Para ello, en los casos en que determine el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental (RLGEEPA) que al efecto se expidió, quienes pretendan llevar a cabo alguno de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría:

I. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos;

Definiciones

Impacto Ambiental. Es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Manifestación de Impacto Ambiental (MIA). Es el documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

Evaluación. La evaluación del impacto ambiental (EIA) es el procedimiento a través del cual la SEMARNAT establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente.

Medidas de Mitigación. Se refiere a la implementación o aplicación de cualquier política, estrategia, obra o acción tendiente a eliminar o minimizar los impactos adversos sobre el medio ambiente o la salud, que pueden presentarse durante las diversas etapas de ejecución de una obra, Figura 5.8.2.



Figura 5.8.2. Mitigar: acción para atenuar los impactos

El **Artículo** 3º de la Ley (LGEEPA) y el de su Reglamento, definen con toda precisión los términos de uso cotidiano que se refieren al Impacto Ambiental, por lo que se remite al lector a la consulta de esos documentos.

Catálogo de Impactos Ambientales Generados por las Carreteras

Tipos de Impactos

El impacto ambiental es la transformación, modificación o alteración de cualquiera de los componentes del medio ambiente (biótico, abiótico y humano), como resultado del desarrollo de un proyecto en sus diversas etapas. La información sobre los impactos ambientales potenciales de una acción propuesta, forma la base técnica para comparaciones de alternativas, inclusive la alternativa de no acción. Todos los efectos ambientales significativos, inclusive los beneficiosos, deben recibir atención.

Aunque el término de "impacto ambiental" se ha interpretado en sentido negativo, muchas acciones tienen efectos positivos significativos que deben definirse y discutirse claramente (generación de empleos, beneficios sociales, entre otros).

A continuación se definen los impactos ambientales más comunes que se presentan en la infraestructura carretera.

a) **Impacto Primario.** Es cualquier efecto en el ambiente biofísico o socioeconómico que se origina de una acción directamente relacionada con el proyecto; puede incluir efectos tales como: destrucción de ecosistemas, alteración de las características del agua subterránea, alteración o destrucción de áreas históricas, desplazamiento de domicilios y servicios, generación de empleos temporales, aumento en la generación de concentraciones de contaminantes, entre otros, Figura 5.8.3 y 5.8.4.



Figura 5.8.3. Emplazamiento de una Presa



Figura 5.8.4. Construcción de una carretera

b) Impacto Secundario. Éste cubre todos los efectos potenciales de los cambios adicionales que pudiesen ocurrir más adelante o en lugares diferentes como resultado de la implementación de una acción en particular; estos impactos pueden incluir: construcción adicional y/o desarrollo, aumento del tránsito, aumento de la demanda recreativa, contaminación visual y otros tipos de impactos fuera de la instalación generados por las actividades de la misma. Figura 5.8.5.



Figura 5.8.5. Impacto: incremento del tránsito

c) Impactos a Corto Plazo y Largo Plazo. Los impactos pueden ser a corto o largo plazo, dependiendo de su duración. La identificación de estos impactos es importante porque el significado de cualquier impacto puede estar relacionado con su duración en el medio ambiente. La pérdida de pasto u otra vegetación herbácea en un área podría considerarse un impacto a corto plazo, porque el área podría revegetarse muy fácilmente en un corto tiempo. La pérdida de un bosque maduro se considera un impacto a largo plazo debido al tiempo necesario para reforestar el área y para que los árboles lleguen a la madurez, Figuras 5.8.6 y 5.8.7.



Figura 5.8.6. Impactos de corto plazo: generación de empleos, polvo y ruido



Figura 5.8.7. Impacto de largo plazo: contaminación del mar

d) Impacto Acumulativo. Es el resultante del impacto incrementado de la acción propuesta sobre un recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y razonablemente esperadas en el futuro. Las circunstancias que generan impactos acumulativos podrían incluir: impactos en la calidad del agua debidos a una emanación que se combina con otras fuentes de descarga, pérdida y/o fragmentación de hábitats ambientalmente sensitivos, resultante de la construcción de varios desarrollos residenciales. La evaluación de impactos acumulativos es difícil, debido a la naturaleza especulativa de las acciones futuras posibles y a las complejas interacciones que necesitan evaluarse cuando se consideran los efectos colectivos, Figura 5.8.8.



Figura 5.8.8. Impacto acumulativo ocasionado por el crecimiento habitacional desmedido

e) Impacto Inevitable. Es aquel cuyos efectos no pueden evitarse total o parcialmente, y por lo tanto requieren de una implementación inmediata de acciones correctivas.

f) Impacto Reversible. Sus efectos en el ambiente pueden ser mitigados de forma tal que se restablezcan las condiciones preexistentes a la realización de la acción.

g) Impacto Irreversible. Estos impactos provocan una degradación en el ambiente de tal magnitud, que rebasan la capacidad de amortiguación y repercusión de las condiciones originales. Figura 5.8.9.



Figura 5.8.9. Daños irreversibles al ecosistema

h) Impacto Residual. Es aquel cuyos efectos persistirán en el ambiente, por lo que requiere de la aplicación de medidas de atenuación que consideren el uso de la mejor tecnología disponible.

i) Impacto Mitigado. Aquel que con medidas de mitigación (amortiguación, atenuación, control, etcétera) reduce los impactos adversos de una acción propuesta sobre el medio ambiente afectado. Figuras 5.8.10 y 5.8.11.



Figura 5.8.10. Impacto en proceso de mitigación



Figura 5.8.11. Impacto mitigado

Medidas de Mitigación

La referencia Bibliográfica No. 5.8.1 presenta las cuatro etapas en las que se estructura el Catálogo de Impactos, iniciando con la etapa de Pre Construcción, en la que se incluyen las actividades de proyecto y las afectaciones; la segunda etapa es la de Preparación del Sitio, que si bien forma parte de la construcción de una carretera, en las Manifestaciones de Impacto Ambiental se considera independiente; la tercera es la etapa de Construcción y la cuarta y última es la de Conservación y Operación.

Cada una de estas etapas está conformada por una serie de actividades y para cada una de ellas existen medidas de mitigación más frecuentemente utilizadas. En esta Guía se hace referencia a la Etapa de Conservación y Operación. Vale la pena señalar que los impactos ambientales no se tipifican de acuerdo a su relevancia, ya que ésta varía, dependiendo de las condiciones específicas en donde se implantará el proyecto; de igual forma, podrán existir medidas de mitigación que no sean aplicables para un tipo de proyecto determinado, como es el caso de caminos rurales, por las limitaciones presupuestales para este tipo de infraestructura o en su defecto, por no presentarse el impacto ambiental especificado.

Etapa de Conservación y Operación

La buena Conservación es esencial en los caminos. Una vez ejecutado un proyecto apropiado, el mantenimiento debe incluir los siguientes tipos, para que la carretera funcione de acuerdo al diseño: preventivo, rutinario, correctivo y reconstrucción.

Se consideran dos aspectos fundamentales:

- Conservación.
- Tránsito vehicular.

Para la conservación se analiza los trabajos que típicamente se llevan a cabo y que son:

Bacheo, limpieza y desazolve de cunetas, riego de sello, chapeo, limpieza y reparación de señalamiento vertical, pintura de marcas de pavimento, etcétera.

En la operación se consideran los impactos que produce la circulación, tales como contaminación del aire, ruido, basura que arrojan a la carretera, accidentes, entre otros.
En esta etapa se detectan 11 impactos ambientales y 21 posibles medidas de mitigación.

MIA REGIONAL			
ACTIVIDAD	IMPACTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN	OBSERVACIONES
Mantenimiento Conservación	Contaminación del agua superficial y subterránea y desequilibrio ecológico	Establecer un programa de limpieza y desazolve de cunetas. Retirar escombros. Control de manejo de combustibles y lubricantes y derivados de asfalto, por personal técnico especializado, para evitar fugas. Construir obras de drenaje necesarias para mantener el patrón hidrológico superficial. Inspeccionar las condiciones de cables, vigas, cimientos, puentes, etcétera, al menos cada dos años. Limpiar arbustos en el canal, inspeccionar pintura y tapar grietas.	Adverso
	Contaminación del aire	Reforestar los claros y partes altas con flora nativa de la región. Cubrir con lona los materiales transportados en fase húmeda.	Adverso
	Generación de empleo		Benéfico
	Riesgo de accidentes	Contar con los dispositivos de señalamiento adecuados y hasta donde sea posible hacerlo en las horas de menor tránsito vehicular, limitando la longitud al mínimo operativo.	Adverso
Mantenimiento Conservación	Contaminación y erosión del suelo	Evitar el uso de herbicida e insecticidas para la limpieza del derecho de vía. Construir bermas, suavizar cortes a manera de restringir la superficie de afectación. Recuperar el total de los materiales producto del desmonte y despalme de los bancos de préstamo lateral para trabajos de arrope de taludes y disponer sobre la superficie afectada. Incluir a los procesos de sucesión natural in situ.	Adverso
Tránsito vehicular	Contaminación del aire	Establecer un programa de reforestación, a fin de compensar la contaminación por emisiones de humo	Adverso
	Contaminación del ruido	Colocar barreras vegetales (vía reforestación). En casos específicos deberá analizarse la necesidad de construir barreras con materiales absorbentes de ruido, pudiendo utilizase el excedente de la excavación para formar barreras en zonas urbanas. Reducir límites de velocidad para formar barreras en zonas urbanas y reducir límites de velocidad de operación en zonas urbanas. Desviar el tránsito pesado en horario nocturno en zonas urbanas.	Adverso
Tránsito vehicular	Contaminación del suelo y agua	Establecer un programa permanente de recolección de desechos sólidos dentro del derecho de vía, así como las instalaciones de depósitos de basura a lo largo de la carretera. Realizar campañas de vigilancia para evitar la formación de basureros en el derecho de vía.	Adverso En caso de ser elevada la cantidad de basura deberá hacerse un análisis de factibilidad sobre la creación de un relleno sanitario.
	Riesgo de accidentes	Establecer un programa de seguridad que incluya procedimientos para casos de emergencia, señalización e iluminación en lugares conflictivos, sistemas de comunicación, etcétera.	Adverso
	Crecimiento urbano irregularidad por la orilla del camino	Incluir a los organismos de planificación del uso de suelo, en todos los niveles, en el diseño y evaluación ambiental de proyectos y planear un desarrollo controlado.	
	Incremento en la demanda de bienes y servicios		Benéfico

Guía para Presentar Manifestación de Impacto Ambiental

Tipos de Manifestaciones de Impacto Ambiental (MIA)

El marco legal especifica dos modalidades para la evaluación ambiental de los proyectos: la Regional y la Particular.

MIA Regional

Para la modalidad regional, el alcance de su contenido se concentra en dos rubros de suma importancia:

1) La descripción del Sistema Ambiental Regional, el cual puede contener a uno o más ecosistemas y cuyas tendencias de desarrollo y deterioro ambiental es imprescindible analizar y determinar para lograr la identificación y evaluación eficiente del impacto del proyecto sobre dicho sistema.

2) El tipo o la naturaleza de los impactos que se generan en el SISTEMA AMBIENTAL REGIONAL y que podrán verse incrementados por el establecimiento del proyecto. En la modalidad regional, la evaluación ambiental de los impactos acumulativos que se desarrollan en el Sistema Ambiental Regional y la forma como el proyecto puede incrementar el nivel de acumulación o residualidad, es uno de los contenidos fundamentales del estudio que se integre a la MIA.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se debe considerar conformar y analizar la información que se integre a la MIA de manera armónica, vinculando el contenido de cada capítulo con el resto del documento. Debe asegurarse que el enfoque de la información permita a la Autoridad cumplir con lo que le obliga a ésta el Artículo 35 de la LGEEPA y en particular su tercer párrafo, por lo que se refiere a la Integralidad del Estudio; así como con lo que dispone el Artículo 44 de su Reglamento en materia de Evaluación del Impacto Ambiental, en lo relativo a la determinación del respeto a la Integridad Funcional de los Ecosistemas y de su Importancia.

Se presenta en casos de:

1. Parques industriales y acuícolas, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras y vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas.

2. Un conjunto de obras o actividades que se encuentren incluidas en un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que sea sometido a consideración de la Secretaría en los términos previstos por el Artículo 22 del **Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental (REIA).**

3. Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretendan realizarse en una región ecológica determinada.

4. Proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que, por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas.

Información que debe contener la manifestación

En la Tabla 5.8.1 se indica la información que debe contener una manifestación de impacto ambiental.

MIA REGIONAL	
I	Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.
II	Descripción de las obras o actividades y, en su caso, de los programas o planes parciales de desarrollo.
III	Vinculación con los instrumentos de planeación y ordenamientos jurídicos aplicables.
IV	Descripción del sistema ambiental regional y señalamiento de tendencias del desarrollo y deterioro de la región.
V	Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
VI	Estrategias para la prevención y mitigación de impactos ambientales, acumulativos y residuales, del sistema ambiental regional.
VII	Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.
VIII	Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan los resultados de la manifestación de impacto ambiental.

Tabla 5.8.1. Información que debe contener una MIA Regional

MIA Particular

Se presenta cuando se pretenda realizar alguna de las obras o actividades señaladas en el Artículo 28 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y 5° de su Reglamento en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.

Información que debe contener la manifestación de impacto ambiental particular:

En la Tabla 5.8.2 se indica la información que debe contener una manifestación de impacto ambiental particular.

MIA PARTICULAR	
I	Datos generales del proyecto, del promovente y del responsable del estudio de impacto ambiental.
II	Descripción del proyecto.
III	Vinculación con los ordenamientos jurídicos aplicables en materia ambiental y, en su caso, con la regulación sobre uso del suelo.
IV	Descripción del sistema ambiental y señalamiento de la problemática ambiental detectada en el área de influencia del proyecto.
V	Identificación, descripción y evaluación de los impactos ambientales.
VI	Medidas preventivas y de mitigación de los impactos ambientales.
VII	Pronósticos ambientales regionales y, en su caso, evaluación de alternativas.
VIII	Identificación de los instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustenten la información señalada.

Tabla 5.8.2. Información que debe contener una MIA Particular

Guía Para Presentar Informe Preventivo

La **LGEEPA** señala en su Artículo 31 que las obras y actividades requerirán la presentación de un informe preventivo y no de una manifestación de impacto ambiental cuando:

1. Existan normas oficiales mexicanas u otras disposiciones que regulen las emisiones, descargas, aprovechamiento de recursos naturales y, en general, todos los impactos ambientales relevantes que puedan producir las obras o actividades;

2. Las obras o actividades de que se trate estén expresamente previstas por un plan parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que haya sido evaluado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, en los términos del Artículo 32 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

3. Se trate de instalaciones ubicadas en parques industriales autorizados en los términos de la citada ley;

Una de las diferencias del Informe Preventivo con la Manifestación de Impacto Ambiental se establece en el Artículo 33 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental (MEIA).

Dicho Artículo establece, que tratándose de informes preventivos, en los que los impactos de las obras o actividades a que se refieren se encuentren totalmente regulados por las normas oficiales mexicanas, y que transcurrido el plazo de los 20 días para resolver sobre dicho informe sin que la Secretaría realice la notificación correspondiente, aplicará el principio de afirmativa ficta y, por lo tanto, dichas obras o actividades podrán llevarse a cabo en la forma en que fueron proyectadas en apego a las mismas normas.

La información que se presente, debe dar a conocer los antecedentes, la situación actual de la zona en la cual se realizará el proyecto y las condiciones ambientales del sitio donde se pretenden desarrollar las actividades que incluye la obra, con el propósito de que la SEMARNAT defina si para el desarrollo del mismo se requiere de la presentación de la MIA, del informe preventivo o bien, queda exenta.

La SEMARNAT dispone, en su página electrónica, de una Guía para la presentación de un Informe Preventivo, en el que se incluye la lista de requisitos a cumplir y los formatos para su presentación.

Guía para Obtener la Exención

El Artículo 6º. del Reglamento establece que las ampliaciones, modificaciones, sustitución de infraestructura, rehabilitación y el mantenimiento de instalaciones relacionadas con las obras y actividades señaladas en el Artículo 5º, así como las que se encuentren en operación y que sean distintas a las que se refiere el primer párrafo de este Artículo, podrán ser exentadas de la presentación de la manifestación de impacto ambiental cuando se demuestre que su ejecución no causará desequilibrios ecológicos ni rebasará los límites y las condiciones establecidas en las disposiciones jurídicas relativas a la protección al ambiente y a la preservación y restauración de los ecosistemas.

Comentarios Finales

Una ayuda práctica en la planeación de proyectos carreteros es hacer uso de los procedimientos recomendados para las evaluaciones ambientales, ya que éstos posibilitan tratar anticipadamente las consideraciones ambientales, reduciendo las necesidades subsecuentes de imponer limitaciones al proyecto y evitando los costos y demoras en la implantación que podrían surgir a raíz de los problemas no anticipados. Se enfatiza que las evaluaciones ambientales requieren de análisis interdisciplinarios.

Para evitar posibles desviaciones de los impactos previstos y poder adoptar a tiempo las medidas correctoras necesarias, es importante llevar a cabo un programa de vigilancia ambiental. En este aspecto sería importante que la SCT contara con una unidad dedicada a la supervisión ambiental de obras.

Para la etapa de conservación y operación, los impactos ambientales adversos más importantes son los debidos a la contaminación generada por el ruido, siendo las medidas de mitigación planteadas: colocar pantallas acústicas, diques de tierra, túneles artificiales, arbolar, desviar el tránsito pesado en horario nocturno en zonas urbanas y reducir los límites de velocidad.

Vale la pena destacar la importancia de proteger el patrimonio histórico con que cuenta el país, por lo que en caso de hallazgos de interés se debe dar aviso al Instituto Nacional de Antropología e Historia, para que se determine la importancia del descubrimiento. Si se causara retraso en la obra, la relevancia bien pudiera compensar esto.

6. Innovaciones Tecnológicas en Pavimentos



6. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN PAVIMENTOS

Introducción

Aunque las innovaciones tecnológicas se han presentado en todas las áreas de trabajo de las carreteras (para mejorar y hacer mas eficiente su operación) en esta Guía se estimó conveniente presentar aquellos adelantos que se han estado aplicando desde hace algunos años en los pavimentos de nuestro País, con excelentes resu ltados, porque estos elementos representan la parte fundamental para lograr el tránsito de los vehiculos de manera segura, comoda y económica.

Los adelantos tecnológicos que se describen, se refieren a productos desarrollados en otros paises, principalmente para mejorar las capas de rodadura de los pavimentos, entre los que destacan las mezclas asfálticas con caracteristicas especiales que permiten minimizar algunos efectos desfavorables, como son el ruido, la falta de resistencia al deslizamiento, el drenaje del agua superficial, etcétera.

Tambien se incluyen las técnicas de aprovechamiento de los materiales existentes, para mejorar su comportamiento mediante el empleo de aditivos como el asfalto, el cemento Portland y los fillers e igualmente el reciclado de mezclas asfálticas, para incrementar su vida de servicio.

Se destaca la técnica para lograr pulverizar los pavimentos hidraulicos con el procedimiento denominado “Rubbilizing”, que permite aprovechar los materiales del concreto hidráulico para una nueva etapa de servicio del pavimento.

A continuación se comentan algunos aspectos de interés sobre las innovaciones tecnológicas que se describen en esta sección.

Mezclas Asfálticas

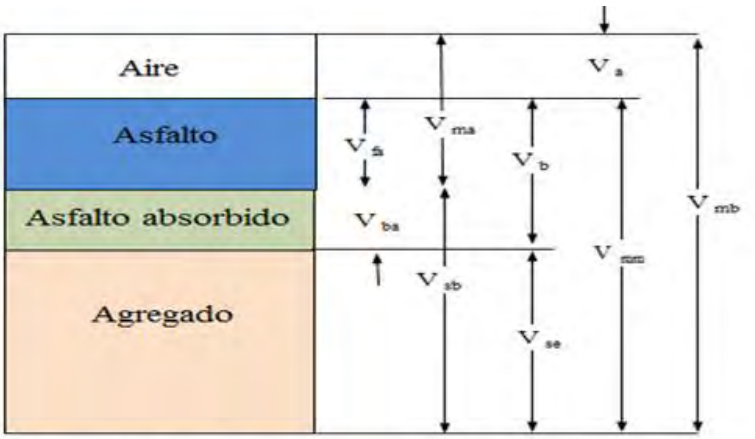
Para su utilización en pavimentos carreteros, la mezcla asfáltica de alto desempeño debe ser resistente a las deformaciones plásticas, al fenómeno de fatiga y al daño por humedad, superando en comportamiento a las mezclas asfálticas convencionales.

La mezcla asfáltica es un material compuesto, formado por la conjunción de agregados pétreos y un cemento asfáltico, eventualmente con aditivos, cuyas propiedades mecánicas de resistencia, deformación y permeabilidad, estan condicionadas a su vez por las propiedades particulares de cada componente en la mezcla.

Una mezcla asfáltica es elaborada con agregados pétreos y un material asfáltico, eventualmente con aditivos, cuyas propiedades mecánicas dependen de las propiedades de cada uno de los componentes de su proporción relativa en mezcla y por el porcentaje en que intervienen dichos componentes. Puede elaborarse en frío o en caliente, en planta o en el lugar.

Las carpetas asfálticas con mezcla en caliente se constituyen para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derramamiento, cómoda y segura. Cuando son los de un espesor mayor o igual a cuatro (4) centímetros, las capas de granulometría densa tienen además la función estructural de soportar y distribuir la carga de los vehículos, hasta las capas inferiores del pavimento.

Para fines de diseño, se considera a la mezcla asfáltica como un sistema trifásico compuesto por una fase sólida, constituida por el agregado pétreo, una fase líquida, dada por el cemento asfáltico y una fase gaseosa que constituye el aire. La Figura 6.1 muestra el diagrama de fases.



V_{ma} = volumen de vacíos en agregado mineral
V_{mb} = volumen total de la mezcla asfáltica
V_{mm} = Volumen de mezcla asfáltica sin vacíos
V_{fa} = Volumen de vacíos llenados con asfalto
V_a = Volumen de vacíos de aire
V_b = Volumen de asfalto
V_{ba} = Volumen de asfalto absorbido
V_{sb} = Volumen de agregado mineral (gravedad especifica de la masa)
V_{se} = Volumen de agregado mineral (gravedad especifica efectiva)

Figura 6.1. Diagrama de fases

Cuando se desarrolla el diseño de una mezcla, es necesario hacer varias mezclas de prueba, para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes.

Para diseño de mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación de agregado dentro de los límites especificados pueda ser reproducida en una planta mezcladora.

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una deficiencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deben realizar serias consideraciones.

Reciclado de Mezclas Asfálticas y Recuperación de Pavimentos

La Conservación de Carreteras es actualmente un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de nuevas técnicas que permitan reducir costos y protejan el medio ambiente. En este contexto, el reciclado, como medio de racionalizar los recursos, se convierte en una necesidad.

El desecho de los materiales envejecidos del pavimento, además de provocar problemas relacionados con la adquisición de nuevos materiales y con su construcción, resulta contraproducente desde el punto de vista técnico, ya que pese a estar envejecidos, conservan buena parte de sus propiedades. El fresado y reutilización de capas asfálticas representa un gran ahorro, pues requiere solamente de 1% a 3% de asfalto adicional, mientras que una nueva capa asfáltica puede necesitar más del 6%. Este aspecto, junto con el reducido costo de transporte y la

escasa energía necesaria para la producción de una capa reciclada, hacen que el ahorro energético sea importante con relación a la construcción convencional de pavimentos.

El reciclado es una técnica de rehabilitación de carreteras que consiste en la reutilización de los materiales procedentes de las capas del pavimento que ya han estado en servicio y que han perdido algunas propiedades, pero pueden ser reutilizados.

Un primer antecedente del empleo de las técnicas de reciclado se presentó después de la Segunda Guerra Mundial, cuando para reparar las carreteras secundarias afectadas por la misma, se puso en práctica en el Reino Unido un procedimiento llamado "Retread Process" o proceso de recauchutado.

A continuación se presenta una clasificación de las técnicas de reciclado de los pavimentos flexibles:

En función del lugar donde se lleva a cabo la mezcla:

- Reciclado "In situ" o en el lugar
- Reciclado "en planta"

En función de la temperatura de elaboración y colocación de la mezcla:

- Reciclado en frío
- Reciclado en caliente

En función del aglomerante añadido:

- Con cemento asfáltico
- Con emulsión asfáltica
- Con cemento Portland

Generalmente cada proceso de reciclado está formado por la combinación de las técnicas mencionadas anteriormente, según se describe a continuación.

Reciclado “In-situ” o en el Lugar

Las máquinas de reciclado han evolucionado a través de los años, desde las primeras máquinas modificadas para fresar y estabilizar suelos, hasta las recicladoras especializadas utilizadas hoy en día. Estas recicladoras son especialmente diseñadas para lograr la capacidad de reciclar capas de pavimento de gran espesor, en una sola pasada. Las recicladoras modernas tienden a ser máquinas grandes y potentes, las cuales pueden estar montadas sobre orugas o sobre neumáticos de flotación.

Reciclado en Planta

Este reciclado se logra mediante el transporte del material recuperado de un pavimento existente a un depósito central, donde el material se trabaja con una unidad de procesamiento (como un mezclador de producción continua).

Esta técnica permite reciclar el conjunto o sólo una cierta proporción de material envejecido, mediante una planta de mezcla asfáltica adaptada. Al ser el porcentaje de material envejecido relativamente bajo, este tratamiento permite corregir problemas graves de dosificación o de calidad de los materiales.

El tratamiento en planta es una opción que debe ser considerada cuando el reciclado tiene aplicación, particularmente en aquellos proyectos que requieren una mezcla de materiales nuevos a ser tratados o también cuando son tratados con asfalto espumado y luego almacenados en acopios para su uso posterior.

Reciclado "in situ" en Frío con Emulsión Asfáltica

El reciclado en frío "in situ" de pavimentos de carreteras consiste en la reutilización de materiales procedentes de las capas del pavimento existente, después de su disgregación por fresado, de su mezclado y homogeneización con emulsión asfáltica, agua de envuelta y eventualmente, nuevos agregados pétreos de corrección y aditivos, y de su extendido y compactación en el propio lugar de extracción.

Esta técnica permite reutilizar la totalidad de los materiales extraídos del pavimento envejecido, en condiciones técnicas, económicas, sociales y ambientales muy favorables.

Reciclado "in situ" en Caliente

Es utilizado cuando no existen problemas de insuficiencia estructural en los pavimentos, sino cuando hay problemas con la función del asfalto, excesivo pulimento de la superficie, desgaste de los áridos o pérdida de la textura superficial. Este tratamiento reutiliza la totalidad de los materiales extraídos de la capa asfáltica envejecida, mediante la aportación de calor que se realiza en el mismo lugar de la obra. La capa se calienta mediante unos quemadores y se fresa un grosor determinado. Este material es mezclado normalmente con un aditivo rejuvenecedor y con una nueva mezcla asfáltica. Finalmente, la nueva mezcla se extiende y se compacta mediante los procedimientos convencionales.

Reciclado "in situ" en Frío con Cemento

Este es un procedimiento que se basa en el fresado en frío de un cierto grosor del firme envejecido y el mezclado de este material con un aglomerante hidráulico (cemento normalmente). El nuevo material se extiende y se compacta, definiendo una sólida base para posteriores refuerzos.

El reciclado in situ con cemento es una alternativa para el refuerzo estructural de pavimentos. Su aceptación y popularidad son cada vez mayores a nivel mundial. Esto se debe a varios factores: los avances en las recicladoras, distribuidores de aglomerante y equipos de compactación; un mejor conocimiento de las propiedades de los materiales reciclados con cemento; el comportamiento de muchos pavimentos reciclados con esta técnica; la posibilidad de contar con empresas de gran experiencia; y la reducción de los costos que es posible conseguir, en comparación con otras opciones de rehabilitación.

En la actualidad el reciclado con cemento es una técnica muy utilizada en un gran número de países; entre sus líderes están: Australia, Estados Unidos, Francia, Sudáfrica y España. Sus aplicaciones no se limitan sólo a pavimentos de carreteras, sino también se han utilizado en algunos aeropuertos.

Como resultado de esta amplia experiencia, el reciclado con cemento, empleado en un principio únicamente en vías de baja intensidad de tráfico, se aplica ya en carreteras con un importante volumen de vehículos pesados.

6.1 MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO

Antecedentes

En 1987, el Strategic Highway Research Program (SHRP) fue establecido por el Congreso de los Estados Unidos, con un presupuesto de 150 millones de dólares en programas de investigación, a fin de mejorar el desempeño y duración de las carreteras, volviéndolas más seguras, tanto para automovilistas como para los trabajadores de las mismas.

Del desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Representa una tecnología que especifica la calidad del cemento asfáltico y agregado mineral, desarrolla diseños de mezclas asfálticas, analiza y establece predicciones del desempeño del pavimento.

México tiene la necesidad de mejorar los procedimientos de diseño y construcción, para lograr desempeños superiores de esas estructuras, buscando optimizar los costos de mantenimiento y rehabilitación asociados y, sobre todo, de los costos de operación de los usuarios.

En la búsqueda de esos objetivos, las características de calidad de cada uno de los materiales que conforman un pavimento desempeñan un papel primordial, y de manera especial las relacionadas con la carpeta asfáltica que está directamente expuesta a las agresiones del ambiente y del tránsito vehicular.

La Asociación Mexicana del Asfalto, Asociación Civil (AMAAC), conformó un comité técnico con especialistas, tanto del sector privado como del público, incluyendo de centros de investigación y universidades. Dicho comité ha propuesto un protocolo para el diseño y control de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño.

El método de diseño, propuesto por AMAAC, establece diferentes niveles de diseño para una mezcla asfáltica de alto desempeño, en función de la importancia de la carretera determinada por el nivel de tránsito o el desempeño deseado para la infraestructura que se requiere.

La Figura 6.1.1 ilustra los diferentes niveles de evaluación para que las Mezclas Asfálticas cumplan con el nivel de desempeño deseado.



Figura 6.1.1. Criterio de selección de ensayos para la evaluación del diseño de Mezclas Asfálticas

En Tabla 6.1.1 se explican, de manera breve, los niveles establecidos para el diseño de Mezclas Asfálticas de Alto Desempeño, las cuales serán descritas más adelante de manera detallada, en este mismo Capítulo.

Nivel I. Tránsito bajo. Menos de 1 millón de ESALs	1. **Selección de los agregados pétreos.** La totalidad del material deberá ser obtenido por trituración. 2. **Granulometría de la mezcla.** Su selección depende de la función requerida para la capa asfáltica en la estructura del pavimento. 3. **Calidad de los agregados pétreos.** Tanto para la fracción gruesa como para la fracción fina. 4. **Selección del cemento asfáltico.** Con base en su Grado de Desempeño PG. Incluye ensayes de envejecimiento a corto y a largo plazo. 5. **Diseño volumétrico.** Fabricación de los especímenes en el compactador giratorio. El contenido de asfalto óptimo será necesario para obtener un porcentaje de vacíos de aire del 4%. 6. **Susceptibilidad de la resistencia de la mezcla al daño inducido por la humedad.** Los ensayes son de tensión indirecta. La relación entre las resistencias húmeda y seca deberá ser al menos del 80%.
Nivel II. Tránsito medio. De 1 a 10 millones de ESALs	7. **Susceptibilidad de la mezcla a la deformación permanente.** Se podrán usar indistintamente la rueda descarga de Hamburgo, el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), o la pista española. Permite minimizar los problemas de roderas. Los ensayes se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo.
Nivel III. Tránsito alto. De 10 a 30 millones de ESALs	8. **Modulo dinámico.** Es un parámetro esencial para poder calcular los espesores de carpeta asfáltica en los nuevos métodos de diseño de pavimentos flexibles. Los ensayes se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo.
Nivel IV. Tránsito muy alto. Más de 30 millones de ESALs	9. **Fatiga**. Se recomienda el ensaye de flexión en 4 puntos. Permite asegurar un número mínimo de repeticiones antes de la aparición del agrietamiento por carga repetida. Los ensayes se realizan en especímenes compactados una vez determinada la fórmula de trabajo.

Tabla 6.1.1. Etapas contempladas en cada uno de los niveles de diseño de una mezcla asfáltica de granulometría densa de alto desempeño

Nivel I

Selección del Agregado

Las propiedades del agregado mineral son obviamente importantes para el desempeño de las mezclas asfálticas, el criterio de selección está directamente incorporado en el procedimiento Superpave; además se adecuaron otros procedimientos para concordar con el sistema. Al final se especifican dos tipos de propiedades de agregados dentro del sistema Superpave: propiedades de consenso y propiedades de origen.

Propiedades de Consenso

Las propiedades de consenso se consideraron como imprescindibles para lograr un desempeño adecuado en las mezclas asfálticas.

Las propiedades de consenso del Superpave son: angularidad del agregado fino, partículas alargadas y planas y equivalente de arena.

Propiedades de la Fuente de Origen

Además de las propiedades de consenso, se consideró que había otras características críticas del agregado, éstas, aunque son relevantes en el proceso de diseño, también pueden usarse como un control de aceptación de la fuente de origen.

Las propiedades que se consideran son: La tenacidad mediante la prueba de desgaste de Los Ángeles, durabilidad a través de la prueba de Intemperismo acelerado y la prueba de materiales deletéreos.

Agregado Grueso

Granulometría

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica. Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

La granulometría a utilizar en una mezcla asfáltica se debe seleccionar de acuerdo a la función requerida para la capa asfáltica en la estructura de un pavimento. Con base en las necesidades del proyecto se podrán fabricar cinco tipos de mezcla asfáltica, en función de su tamaño máximo, cuya designación muestra la Tabla 6.1.2.

Designación Superpave	Tamaño máximo nominal	Tamaño máximo
Cifras en milímetros		
37,5	37,5	50,0
25,0	25,0	37,5
19,0	19,0	25,0
12,5	12,5	19,0
9,5	9,5	12,5

Tabla 6.1.2. Graduaciones para mezclas de alto desempeño

Para especificar la granulometría, se ha modificado el enfoque de la granulometría Marshall, se emplea el exponente 0.45 en la carta de granulometría para definir los tamaños de las Partículas (gráfica de Fuller), mediante una técnica gráfica única para juzgar la distribución de tamaños acumulados de partículas de una mezcla de agregados. Las ordenadas de la carta son los porcentajes que pasan; las abscisas, en escala lineal, representan las aberturas de los tamices en mm, elevadas a la potencia 0.45.

La curva de distribución granulométrica de un material grueso, no uniforme, o gráfica Fuller, tiene su origen en la ecuación de Fuller, la cual representa condiciones de máxima densidad y mínimo de vacíos en el agregado mineral. La importancia de usar la Gráfica Fuller, es que permite expresar la graduación de agregados en una mezcla asfáltica con dos números (ni/Di), el primero está referido a la forma de la curva y a la estructura y arreglo geométrico de la potencial masa compactada, y el segundo al tamaño máximo del agregado. Esto facilita la expresión y manejo de la graduación, de las especificaciones granulométricas y hasta la definición de la buena graduación y el potencial de densificación de la mezcla.

Expresión de Fuller

La curva de distribución granulométrica de un material grueso, no uniforme (o gráfica de Fuller) tiene su origen en la ecuación de Fuller, la cual representa condiciones de máxima densidad y mínimo de vacíos, en el agregado mineral (VMA). La ecuación se describe a continuación:

$$Pi = \left(\frac{Di}{D\ máx}\right)^{n}$$

Donde:

Pi = Acumulado que pasa, en decimal, para el diámetro de la partícula Di
Di = Diámetro de la partícula
D máx = Tamaño máximo del material
n = Valor asociado a la forma de la curva

Con la expresión de Fuller, la graduación de agregados para una mezcla asfáltica se puede expresar por un par de números; esto es, un coeficiente de forma (n) y el tamaño máximo (D máx). La literatura sugiere que cuando el factor de forma tiene un valor de 0.45 la mezcla es capaz de alcanzar las máximas densidades cuando se compacta. Lo que hay que resaltar aquí es que sólo las curvas con *n* igual o cercana a 0.45 producen la máxima densificación; aunque esto se ha desvirtuado en la actualidad.

La granulometría de máxima densidad representa la graduación para la cual las partículas de agregado se acomodan entre sí, conformando el arreglo volumétrico más compacto posible. Esta granulometría debe evitarse porque habría muy poco espacio entre los agregados para permitir el desarrollo de una película de asfalto lo suficientemente gruesa, para obtener una mezcla durable.

Adicional a la definición de línea de máxima densidad, surgen las definiciones de tamaño máximo nominal y tamaño máximo, las cuales se ejemplifican en la Figura 6.1.2.

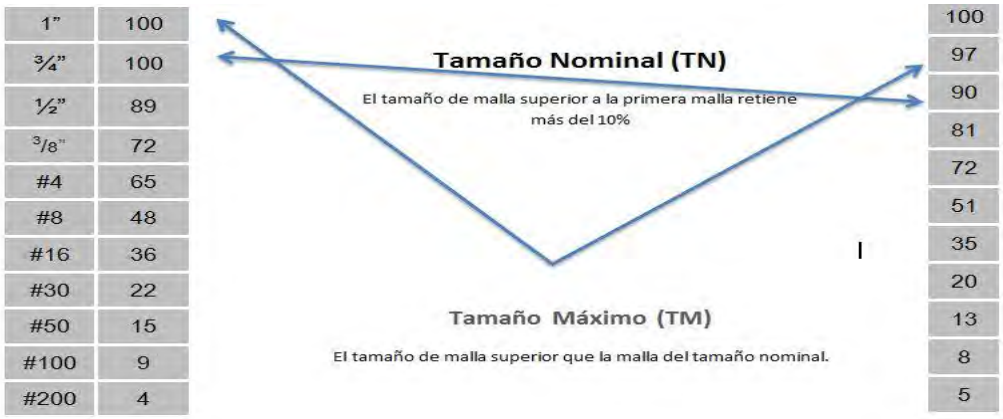


Figura 6.1.2. Definición de tamaño nominal y tamaño máximo

Estas definiciones son consistentes con las de las Normas ASTM. Es conveniente tener en cuenta la importancia de la correcta definición del tamaño máximo para asegurar la validación de la línea de máxima densidad, como se muestra en la Figura 6.1.3.

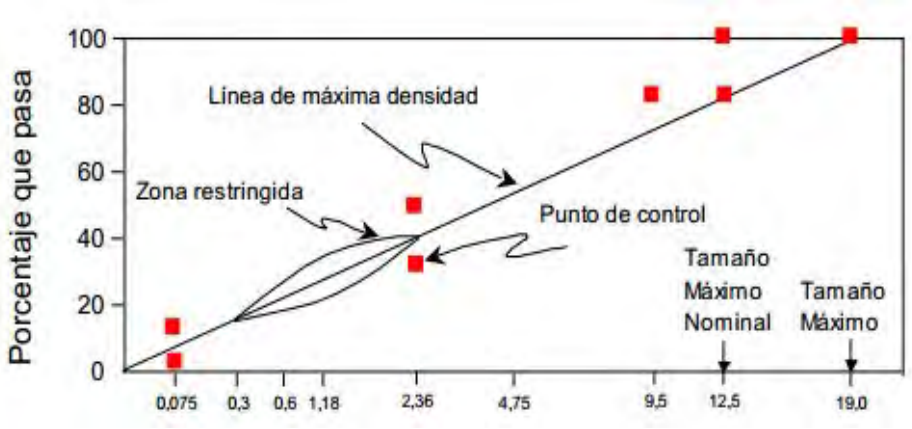


Figura 6.1.3. Ejemplo de la línea de máxima densidad

Control de la Curva Granulométrica

Para especificar la granulometría del agregado, se emplearon dos conceptos: los puntos de control y la zona restringida. Los puntos de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica y corresponden al tamaño máximo nominal, a un tamaño intermedio (2.36 mm) y a un tamaño de finos (0.075 mm).

Los puntos de control fueron seleccionados para cumplir objetivos específicos, los cuatro puntos de control superiores: mínimo 100% que pasa la malla de tamaño máximo, 90 a 100% pasando la malla del tamaño máximo nominal y 90% máximo que pasa la malla menor inmediata que la del tamaño máximo nominal, se utilizan para verificar que se cumpla con la definición de tamaño máximo nominal y tamaño máximo.

Los cuatro puntos de control inferiores sirven para propósitos diferentes. Los requerimientos máximos y mínimos para la malla Núm 200 (0.075 mm) son típicamente para mezclas asfálticas de granulometría cerrada.

Los puntos de control para la malla Núm 8 (2.36 mm) son utilizados para controlar partículas con tamaño de arena en la mezcla. El punto superior limita la cantidad de arena en la mezcla con el fin de evitar mezclas asfálticas arenosas.

Los requisitos recomendados de granulometría para el caso de una carpeta asfáltica densa de alto desempeño son los que muestra la Tabla 6.1.3.

Tamaño Nominal del Material Pétreo en mm						
Designación	Abertura mm	37.5 (1–½")	25 (1")	19 (¾")	12.5 (½")	9.5 (3/8")
		Porcentaje que pasa				
2"	50	100-100	-	-	-	-
1 ½"	37.5	90-100	100–100	-	-	-
1"	25	-	90-100	100-100	-	-
¾"	19	-	-90	90-100	100-100	-
½"	12.5	-	-	-90	90-100	100-100
3/8"	9.5	-	-	-	-90	90-100
4	4.75	-	-	-	-	-90
8	2.36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67
16	1.18	-	-	-	-	-
30	0.60	-	-	-	-	-
50	0.30	-	-	-	-	-
100	0.15	-	-	-	-	-
200	0.075	0-6	1-7	2-8	-	-

Tabla 6.1.3. Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa

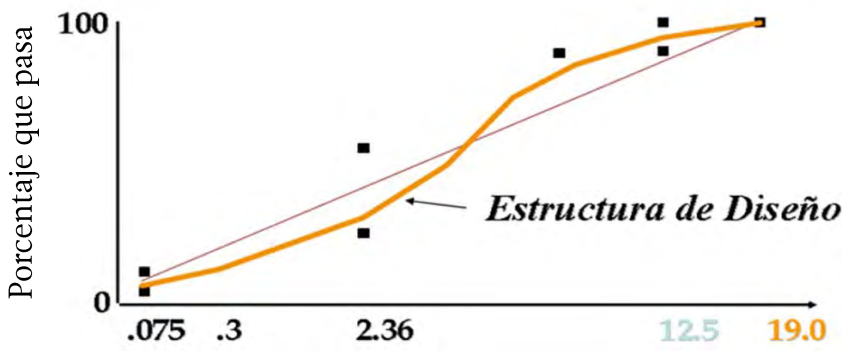


Figura 6.1.4. Ejemplo de granulometría de una mezcla densa de alto desempeño

Ensayes de Calidad de Agregados Pétreos

En el Apéndice 6.1.1 se describe de manera resumida cada uno de los ensayes que se aplican para determinar la calidad de los agregados pétreos empleados en mezclas de alto desempeño.

Especificaciones del Agregado Grueso

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla Núm 4) deberá cumplir con las especificaciones que se muestran en la Tabla 6.1.4.

Características	Normas	Especificación
Desgaste de Los Ángeles %	ASTM C 131	30 máx. (capa estructural) 25 máx. (capa de rodadura)
Desgaste MicroDeval %	AASHTO TP 58-99	18 máx. (capa estructural) 15 máx. (capa de rodadura)
Intemperismo acelerado %	AASHTO T 104	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas % (12 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas alargadas %	ASTM D 4791	5 a 1% 15 máx.
Partículas lajeadas %	ASTM D 4791	5 a 1% 15 máx.
Adherencia con asfalto, % de cubrimiento	Recomendación AMAAC RA-08/2008	90 mín.

Tabla 6.1.4. Características de calidad de agregados gruesos

Características de Calidad del Agregado Fino

El agregado fino (material que pasa la malla Núm 4) constituye parte del "mástic asfáltico" y debe provenir de un banco aprobado que cumpla con las especificaciones indicadas en la Tabla 6.1.5.

Características	Normas	Especificación
Equivalente de arena %	ASMT D 2419	50 mín. (Capas estructurales) 55 mín. (Capa de rodadura)
Angularidad %	AASHTO T 304	40 Min.
Azul de metileno mg/g	Recomendación AMAAC RA-05/2008	50 mín. (Capas estructurales) 55 mín. (Capa de rodadura)

Tabla 6.1.5. Características de calidad del agregado fino

Selección del Cemento Asfáltico

Generalidades de los Asfaltos

Los asfaltos son una mezcla compleja de hidrocarburos de peso molecular elevado, que se presentan en forma de cuerpo viscoso más o menos elástico, no cristalino y de color negro. Son productos de la destilación del petróleo. Es el residuo sólido que queda una vez que se hayan extraído los componentes más ligeros y volátiles.

Aunque el asfalto puede considerarse como un desecho, también puede verse como un producto muy necesario para la construcción de los pavimentos flexibles, en razón de ser un material dúctil, flexible y tenaz.

La mayoría de los asfaltos son semisólidos o sólidos a temperatura ambiente, su manipulación requiere previo calentamiento, con la finalidad de reducir la consistencia a un valor admisible para la operación deseada: ya sea bombeo (en el manejo), el cubrimiento de agregados, riegos asfálticos, producción de mezclas asfálticas en caliente, entre otros.

El calentamiento se realiza en depósitos apropiados, convenientemente protegidos y aislados, en camiones cisterna o en camiones con tanques regadores, con equipos de serpentines de aceite, quemadores o con bombas en circuito cerrado para evitar sobrecalentamientos.

Asfaltos Tipo Grado de Desempeño (PG)

El grado de desempeño o grado PG (Performance Graded) es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como 64° C y tan bajas como -22° C.

Para otras condiciones de trabajo de los asfaltos, las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario, con incrementos convenidos de 6° C. Sin embargo, generalmente las temperaturas máximas se consideran de 64° a 88° C y las mínimas, de -40° C a -22° C.

Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en el país; sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los 3 grados PG que se indican en la Figura 6.1.5 de esta Guía.

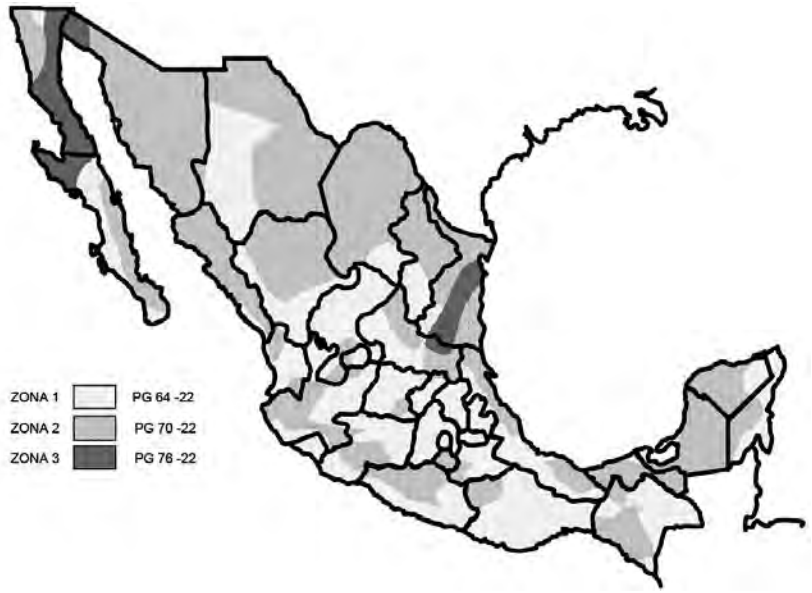


Figura 6.1.5. Regiones geográficas para la utilización recomendable de cemento asfáltico Grado PG

La temperatura máxima del grado PG seleccionado según el clima, se ajusta de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de 8.2 ton, acumulados durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años ($\sum L \times 10^6$) y de acuerdo con la velocidad de operación, según indica la Tabla 6.1.6.

Intensidad del tránsito ($\sum L10$)[1]	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido(Cruceros)
$\sum L10<10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \sum L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\sum L_{10}>10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

[1] $\sum L_{10}$= Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperando durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años

Tabla 6.1.6. Ajustes del grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Requisitos de Calidad para Cementos Asfalticos Grado PG

Las características mecánicas y funcionales de un cemento asfáltico son decisivas para el comportamiento que la mezcla asfáltica tendrá al momento de entrar en servicio; por esta razón se presta una mayor atención a la caracterización mecánica y resistente de los asfaltos, en especial a su deformación bajo carga (reología), su poder aglomerante y su comportamiento y resistencia a la ruptura.

Las pruebas de caracterización para cementos asfálticos miden propiedades físicas que pueden estar directamente relacionadas con el desempeño en campo a través de principios ingenieriles.

Las condiciones de vida del asfalto se simulan en tres etapas críticas.

a) Las pruebas realizadas en el asfalto original, representan la primera etapa: transportación, almacenamiento y manejo.

b) La segunda etapa representa el asfalto durante la producción, mezcla y construcción; es simulada por las especificaciones mediante el envejecimiento del asfalto en el Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO). Este procedimiento expone una película delgada de asfalto a calor y aire para asemejar el envejecimiento que sufre el asfalto durante su mezcla y construcción.

c) La tercera etapa ocurre cuando envejece el cemento asfáltico desde que se utiliza en la mezcla y se aplica en la carpeta asfáltica, hasta el fin de su vida de diseño para la cual fue planeado. Esta etapa se simula en la vasija de envejecimiento a presión (PAV), mediante la exposición de muestras de asfalto a calor y presión, para representar el envejecimiento del pavimento a lo largo de los años de servicio.

En la Tabla 6.1.7 y la Figura 6.1.6 se muestra el propósito de las pruebas y equipos establecidos para la correcta selección y clasificación de un asfalto Grado PG.

EQUIPO	PROPÓSITO
Horno rotatorio de película delgada (RTFO) Vasija de envejecimiento a presión (PAV)	Simula las características del envejecimiento del asfalto
Reómetro de Corte dinámico (DSR)	Mide las propiedades de asfalto a temperaturas altas e intermedias
Viscosímetro rotacional (RV)	Mide las propiedades del asfalto a altas temperaturas
Reómetro de viga en flexión (BBR) Ensaye de tensión directa (DTT)	Mide las propiedades del asfalto a bajas temperaturas

Tabla 6.1.7. Propósito de las pruebas de asfaltos Superpave



Figura 6.1.6. Equipos para simulación de las condiciones del asfalto en servicio

En el Apéndice 6.1.2 se describe de manera resumida cada una de las pruebas y equipos que se utilizan para caracterizar los asfaltos Grado PG.

Transporte y Almacenamiento de Materiales Asfálticos Grado PG

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los materiales asfálticos Grado PG antes de su utilización en la obra, se debe cuidar su transporte y almacenamiento, atendiendo lo señalado para ello en la **Norma N·CMT·4·05·001**, Calidad de Materiales Asfálticos.

Requisitos de Calidad y Criterios para Aceptación o Rechazo

Para que un material asfáltico Grado PG sea aceptado, antes de su utilización, el proveedor entrega un certificado de calidad por cada lote o suministro, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, previamente aprobado. Es importante verificar que el certificado de calidad sea auténtico; en caso contrario, la Dependencia debe aplicar las sanciones correspondientes o el rechazo del asfalto aplicado.

En todo momento se puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con los requisitos establecidos de acuerdo a la siguiente tabla, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

Grado de Comportamiento	PG 64				PG 70				PG 76			PG 82			PG 88		
	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-40	-22	-28	-34	-22	-28	-34	-22	-28	-34
Temperatura máxima de diseño del pavimento (promedio de 7 días),°C	64				70				76			82			88		
Temperatura mínima de diseño del pavimento, °C	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-40	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34	>-22	>-28	>-34
Asfalto Original																	
Punto de inflamación Cleveland [1] °C, min.	230																
Viscosidad dinámica a 135°C[1], Pa·s (P[2]), máximo	3																
Módulo reológico de corte dinámico (G*/sen δ) [1'][3], kPa, mínimo Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	1																
	64				70				76			82			88		
Después de prueba de película delgada y aire de horno[1]																	
Perdida por calentamiento; %,máximo	1																
Módulo reológico de corte dinámico(G*/sen δ)[1]; kPa, mínimo	2,2																
• Temperatura de prueba @ 10 rad/s; °C	64				70				76			82			88		
Después de Envejecimiento en Vasija de Presión Temperatura y Aire																	
Temperatura de envejecimiento PAV; °C																	
• En climas normales	100				100				100			100			100		
• En climas desérticos	100				110				110			110			110		
Índice de endurecimiento físico[4],máximo	Reportar																
Rigidización (G*/sen$_\delta$) [1];kPa, máxima	5 000																
• Temperatura de prueba@ 10 rad/s; °C	25	22	19	16	28	25	22	19	31	28	25	34	31	28	34	31	28
Rigidez de Flexión $S_{(t)}$ [1][5]; MPa, máximo (m=0,3 min.)	300																
• Temperatura de prueba @ 60 s, °C	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-30	-12	-18	-24	-12	-18	-24	-12	-18	-24

Tabla 6.1.8. Requisitos de calidad para cementos asfálticos Grado PG

Diseño de la Mezcla

El diseño de la mezcla se realiza en un laboratorio aprobado y conforme al procedimiento indicado en el procedimiento de diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño de la Asociación Mexicana del Asfalto PA-MA 01/2013.

Criterio de Selección del Nivel de Desempeño Requerido

El método de diseño propuesto para mezclas de alto desempeño, como ya se ha mencionado, establece diferentes niveles de diseño en función de la importancia de la carretera determinada por el nivel de tránsito o el desempeño deseado para la estructura que se requiere.

En la Tabla 6.1.9 se presenta la recomendación para la selección del nivel de diseño de la mezcla asfáltica de granulometría densa en función del tránsito vehicular. El criterio que resulte más exigente de las dos columnas centrales será el nivel para el cual se evalúa la mezcla asfáltica.

Designación del nivel del tránsito	Número de ejes equivalentes	Tipo de carreteras usuales	Ensayes recomendados
Nivel I **Tránsito bajo**	menor a 1000 000	Carreteras federales tipo D Carreteras alimentadoras Carreteras estatales y municipales. Calles urbanas	Diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad
Nivel II **Tránsito medio**	de 1 000 000 a 3 000 000	Carreteras estatales Carreteras federales tipo B y C Vialidades urbanas	Diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad. Susceptibilidad a la deformación permanente
Nivel III **Tránsito alto**	de 3 000 000 a 30 000 000	Carreteras federales tipo A Autopistas de cuota	Diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad. Susceptibilidad a la deformación permanente. Módulo dinámico
Nivel IV **Tránsito** **Muy alto**	más de 30 000 000	Carreteras federales troncales Autopistas de cuota importantes. Vialidades suburbanas en ciudades muy grandes	Diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad. Susceptibilidad a la deformación permanente. Módulo dinámico Fatiga

Tabla 6.1.9. Niveles de diseño en función de ejes equivalentes de 8.2 y el tipo de carretera

Requerimientos Volumétricos de la Mezcla

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las proporciones volumétricas del asfalto y de los componentes del agregado; o más simplemente: parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.

Las propiedades volumétricas de una mezcla de pavimento compactado (vacíos de aire, Va; vacíos en el agregado mineral, VAM; vacíos llenados con asfalto (VFA); y contenido de asfalto efectivo (Pbe) proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la mezcla asfáltica.

Los valores mínimos especificados para el VAM, en cuanto al porcentaje de diseño de vacíos de aire del 4 %, son una función del tamaño máximo nominal del agregado. La Tabla 6.1.10 muestra los requerimientos del diseño de mezclas asfálticas para el VAM.

Tamaño máximo de agregado	Porcentaje de VAM mínimo
9,5 mm	15,0
12,5 mm	14,0
19,0 mm	13,0
25,0 mm	12,0
37,5 mm	11,0

Tabla 6.1.10. Criterio para VAM

Los vacíos llenos de asfalto (VFA) son el porcentaje de VAM que contiene asfalto. Consecuentemente, VFA es el volumen de asfalto efectivo, expresado como el porcentaje de VAM.

El rango aceptable del VFA de diseño para 4% de vacíos de aire está en función del nivel de tránsito. Tabla 6.1.11.

Tránsito, ESAL´s (millones)	Porcentaje de VAM de diseño
< 0,3	70 – 80
< 1	65 – 78
< 3	65 – 78
< 10	65 – 75
< 30	65 – 75
< 100	65 – 75
>100	65 – 75

Tabla 6.1.11. Criterio para VFA

Proporción de Polvo

Otro requerimiento de la mezcla es la proporción de polvo; se calcula como la relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo en porcentaje del peso total en la mezcla, menos el porcentaje de asfalto absorbido.

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto a un grado variable. Además, el cociente de absorción entre el agua y el asfalto varía con cada agregado. Los tres métodos para medir la gravedad específica del agregado toman estas variaciones en consideración. Estos métodos son, la gravedad específica neta, la aparente y la efectiva:

Gravedad Específica Neta (Gsb). Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada, a una temperatura indicada.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_{2+} \ldots\ldots\ldots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \ldots\ldots\ldots + \frac{P_N}{G_N}}$$

Gravedad Específica Aparente (Gsa). Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada, a una temperatura indicada.

Gravedad Específica Efectiva (Gse). Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada, a una temperatura indicada.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_2}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Gravedad Específica Máxima de la Mezcla (Gmm). En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado, se necesitará la gravedad específica máxima, Gmm, para cada contenido de asfalto, con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Vacíos en el Agregado Mineral (VMA). Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb * P_s}{Gsb}$$

Contenido de Asfalto Efectivo (Pbe). Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

$$P_{be} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb}G_{se}} \times G_b$$

Vacíos de Aire (Va). Volumen total de pequeñas bolsas de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla de la capa compactada.

$$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

Vacíos Llenados con Asfalto (VFA). Porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción de (VMA – Va) entre VMA.

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA}$$

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de dos factores, que son los criterios establecidos para la compactación y el número de giros aplicados.

Para el caso del compactador giratorio se pueden mencionar como parámetros establecidos: esfuerzo vertical, ángulo de giro y velocidad de giro. En la Tabla 6.1.12 se indican los valores de los parámetros mencionados.

Esfuerzo vertical	600 kPa
Ángulo de giro	1.25º
Velocidad de giro	30 rpm

Tabla 6.1.12. Especificaciones del compactador giratorio

La selección del número de giros está en función de la temperatura promedio del lugar y del número de ejes equivalentes (ESAL´s) establecidos en el diseño. En la Tabla 6.1.13 se muestran los diferentes rangos de valores establecidos para seleccionar el número de giros inicial (Nini), de diseño (Ndis) y máximo (Nmáx).

ESAL´s de diseño (millones)	Temperatura promedio del aire para diseño											
	< 39°C			39 – 40°C			41 – 42°C			43 – 44°C		
	Nini	Ndis	Nmax	Nini	Ndis	Nmáx	Nini	Ndis	Nmáx	Nini	Ndis	Nmáx
<0.3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
0.3 - 1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
1 - 3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
3 - 10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
10 - 30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220

Tabla 6.1.13. Tipos de compactación para el diseño de mezclas de alto desempeño

Selección del Diseño Final

La selección del diseño final de la mezcla es usualmente la más económica y cumple satisfactoriamente con todos los criterios establecidos. De cualquier forma, la mezcla no debe ser diseñada para optimizar una propiedad en particular.

Mezclas con valores elevados de estabilidad no son recomendables, debido a que pavimentos con ese tipo de mezclas tienden a ser menos durables o pueden fracturarse prematuramente bajo altos volúmenes de tránsito. Esta situación es bastante crítica cuando los materiales de la base y el terreno natural son débiles y permiten deflexiones de moderadas a relativamente altas con el tránsito actual.

La selección del contenido óptimo debe ser un requisito que permita balancear todas las propiedades de la mezcla. Normalmente, los criterios de diseño de mezclas producen un rango limitado de contenidos aceptables de asfaltos que cumplan todos los parámetros.

La selección del contenido de asfalto puede ajustarse en este rango limitado para lograr propiedades de la mezcla que puedan satisfacer los requerimientos de un proyecto en especial; algunas propiedades son más críticas, que otras y dependen de circunstancias del diseño, como son el tránsito, la estructura, el clima, el equipo de construcción y otros factores.

El proceso de balanceo no es el mismo para cada pavimento ni para cada diseño de mezcla.

Requerimientos de los Parámetros Volumétricos de la Mezcla

En la Tabla 6.1.14 se indican los requerimientos para llevar a cabo el diseño volumétrico de la mezcla asfáltica de alto desempeño.

Requerimientos para el Diseño Volumétrico de la Mezcla										
Nivel de tránsito	Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima – Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en % - VMA					Vacíos llenos de asfalto en %	Relación filler asfalto
	Nivel de Compactación Giratoria			Tamaño nominal (mm)						
	Nini	Ndis	Nmáx	37,5	25	19	12,5	9,5		
< 0.3	≤ 91,5	96	≤ 98	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	70 – 80	0,6 – 1,2
0.3 a < 3	≤ 90,5								65 – 78	
3 a < 30	≤ 89								65 – 75	
≥ 30										

Tabla 6.1.14. Requerimiento volumétrico

Susceptibilidad al Daño Inducido por Humedad

El daño por agua en los pavimentos asfálticos puede ser causado por varios mecanismos, entre ellos la falta de adhesión entre el agregado y el asfalto, la falta de cohesión entre las moléculas del agregado, la emulsificación espontánea del asfalto y, en climas extremos, el congelamiento del agua atrapada en la mezcla asfáltica.

En dichos mecanismos podemos distinguir los de tipo físico y los de tipo químico. Los químicos son aquellos que afectan la interacción en la superficie existente entre las moléculas de asfalto y las del agregado. Los mecanismos físicos se relacionan con la penetración del agua en dicha superficie. Es necesario identificar a qué tipo pertenecen, para evitar su presencia en las mezclas asfálticas.

Para prevenir lo anteriormente mencionado, se debe de realizar el ensaye de susceptibilidad a la humedad (TSR), el cual consiste en determinar la pérdida de la resistencia de la mezcla, medida mediante la elaboración de especímenes de prueba que deben contener un porcentaje de 7% ± 0.5 % de vacíos, mismos que deben ser seis y que se subdividen en dos grupos de tres cada uno, los cuales se les denominan acondicionados y no acondicionados.

El grupo de los tres acondicionados son aquellos especímenes que se someten a una saturación al vacío, seguido de un ciclo de congelación e inmersión en agua caliente. Figura 6.1.7.

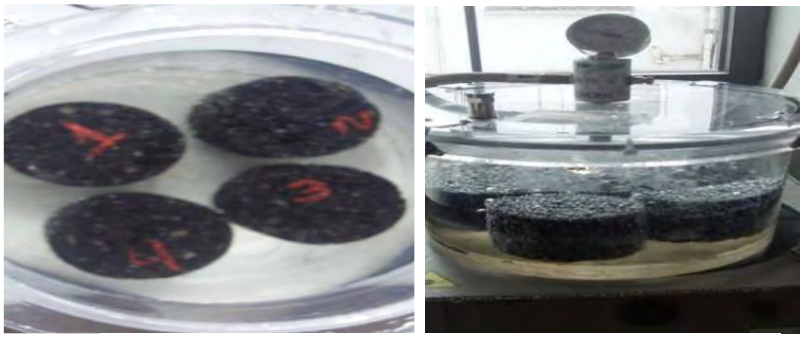


Figura 6.1.7. Acondicionamiento de especímenes

A continuación se obtiene un valor promedio de la resistencia a la tensión indirecta (RST) para los dos grupos, ensayados en una mordaza "Lottman". Figura 6.1.8.



Figura 6.1.8. Mordaza Lottman

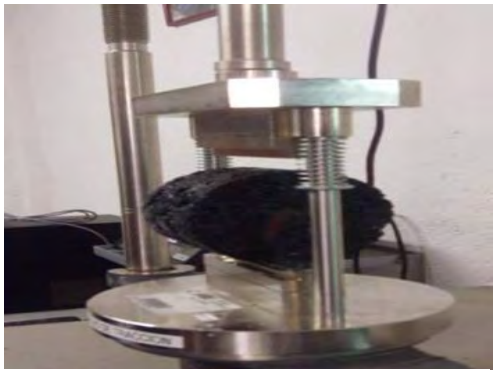


Figura 6.1.9. Ensaye de especímenes

Luego de cargar los especímenes hasta el punto de falla (Figura 6.1.9.), se abren por la mitad para estimar visualmente el porciento de agregados que perdió el recubrimiento del asfalto líquido; esto es indicativo del daño por efecto de humedad.

Se calcula la resistencia a la tensión indirecta, con la expresión que se indica a continuación:

$$S_t = \frac{2000\ P}{\pi t D}$$

Donde:

S_t = Resistencia a la tensión indirecta, en kPa
P = Carga máxima, en N
t = Espesor o altura del espécimen, en mm
D = Diámetro del espécimen, en mm

Se reporta la resistencia de la mezcla asfáltica al daño inducido por humedad (TSR) como el cociente de la resistencia a tensión indirecta promedio de los especímenes acondicionados, entre la resistencia de los especímenes no acondicionados, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \times 100$$

Donde:

TSR = Resistencia al daño inducido por humedad, expresada en %
S_1 = Resistencia a tensión indirecta promedio de especímenes no acondicionados, en kPa
S_2 = Resistencia a tensión indirecta promedio de especímenes acondicionados, en kPa

La experiencia indica que el resultado de este ensaye debe ser mayor del 80% para poder considerarse que la mezcla actúa eficientemente ante la susceptibilidad de deformación al daño causado por humedad.

Nivel II

Susceptibilidad a la Deformación Permanente por Roderas

Las roderas son deformaciones plásticas en la superficie de rodamiento de un pavimento asfáltico, que se presentan a lo largo de la zona de mayor incidencia de los neumáticos de vehículos pesados. Usualmente

aparecen como una depresión longitudinal, con ligero levantamiento lateral del material asfáltico.

La aparición de roderas en la superficie de rodamiento, aparte de afectar la funcionalidad del pavimento representa un problema serio para quienes transitan por la vía, ya que la acumulación de agua dentro de estas depresiones longitudinales suele causar el deslizamiento de las ruedas de los vehículos. A medida que se incrementa la profundidad de la rodera, resulta difícil mantener la dirección del vehículo a altas velocidades, lo que se convierte en un gran problema de seguridad para el usuario.

La deformación permanente en pavimentos flexibles equivale a la acumulación de pequeñas deformaciones generadas con cada aplicación de carga. Esta deformación es permanente. La aparición de roderas en un pavimento flexible se debe principalmente a dos causas:

a) Deformación permanente en las capas subyacentes

b) Deformación permanente en la carpeta asfáltica

El tránsito es un factor de primer orden en la formación de roderas en el pavimento, en el cual los cambios en la distribución del tránsito, en especial el incremento de vehículos pesados, además de grandes magnitudes de carga y altas presiones de inflado de los neumáticos, han contribuido en los últimos años de manera importante a la manifestación de la deformación permanente en los pavimentos flexibles de nuestro país.

La deformación permanente es un importante factor en el diseño de pavimentos flexibles. Con el incremento en las cargas del tránsito y presiones de inflado de los neumáticos de los vehículos, la mayor parte de la deformación permanente ocurre en las capas superiores del pavimento más que en la subrasante.

En los últimos años se han empleado distintos dispositivos, denominados ruedas cargadas, que sirven para evaluar las propiedades de las mezclas asfálticas, entre las que se encuentran:

a) La Rueda Cargada de Hamburgo (HWT)

b) La Rueda Cargada (LCPC)

c) El Ensayo de Pista Español

d) El Evaluador de Pavimentos de la Universidad de Nottingham

e) La Rueda Cargada de Georgia (GLWT)

f) El Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA)

Este tipo de ruedas se han empleado para determinar la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a presentar deformación permanente, describiéndose a continuación las 3 que se utilizan en México.

a) Rueda Cargada de Hamburgo (HWT)

La rueda cargada de Hamburgo (HWTD) la desarrolló la compañía Helmit-Wind, de Alemania. Se utiliza como especificación en algunas de las carreteras más transitadas en Alemania, para evaluar la deformación permanente y la susceptibilidad de la mezcla asfáltica a la humedad (stripping).

Tiene el objetivo de medir la resistencia a las roderas y a los desgranamientos de una mezcla asfáltica compactada en laboratorio o de corazones de 10 ó de 6 pulgadas de diámetro, extraídos directamente del pavimento. Sirve paras identificar problemas de adherencia de los materiales pétreos con el cemento asfáltico y para identificar una mezcla con estructura mineral deficiente, que sea susceptible de presentar baches o deformaciones permanentes.

El espécimen se prueba sumergido en agua, a temperaturas que pueden estar entre los 25 y 70° C, siendo 50° C la temperatura de ensaye más común. Se aplica una carga de 71 kg mediante una rueda de acero de 47 mm de diámetro. La rueda de acero cargada realiza entonces movimientos de ida y vuelta sobre los especímenes, hasta completar los ciclos programados.

La velocidad de la rueda es de 30 cm/seg. La prueba se corre a 20,000 ciclos (equivalente a 40,000 pasadas, es decir ida y vuelta) o a una deformación límite de 10 mm, para mezclas de alto desempeño. El equipo de ensaye se muestra en las Figura 6.1.10.



Figura 6.1.10. Rueda de Hamburgo

El ensaye se debe de realizar de acuerdo a la Recomendación AMAAC RA-01, utilizando la especificación que se indica en la Tabla 6.1.15.

Nivel de Diseño	Pasadas mínimas para la deformación máxima de 10 mm
Bajo	10,000
Medio	15,000
Alto	20,000
Muy alto	20,000

Tabla 6.1.15. Número de pasadas mínimas para la deformación máxima

c) Ensayo de Pista Española

El Ensayo de Pista Española consiste en someter una probeta prismática de mezcla asfáltica, al paso alternativo de una rueda, en condiciones determinadas de presión y temperatura, midiéndose periódicamente la profundidad de la deformación producida.

Las probetas, de 30 x 30 x 5 cm, se compactan por vibración. El ensayo se realiza a una temperatura constante de 60º C, haciendo pasar una rueda metálica, de 20 cm de diámetro, dotada de una banda de rodadura de goma maciza de 5 cm de ancho y 2 cm de espesor, que ejerce una presión de contacto sobre la superficie de la probeta de 900 kN/m^2. La frecuencia del movimiento de vaivén es de 42 pasadas por minuto, con un recorrido en cada sentido de 23 cm. Figura 6.1.11.



Figura 6.1.11. Espécimen para ensaye



Figura 6.1.12. Rueda de Pista Española y detalle

Durante el ensayo se determinan las deformaciones totales de la probeta en los minutos 1, 3 y 5 y a continuación cada 5 minutos hasta completar los primeros 45 minutos y luego cada 15 minutos hasta finalizar los 120 minutos de duración del ensayo. Figura 6.1.12.

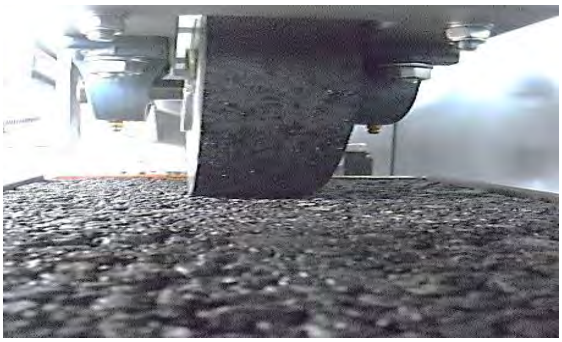


Figura 6.4.13. Ejecución del ensayo



Figura 6.1.14. Espécimen después del ensayo

La prueba puede terminar cuando se termine el número programado de ciclos o cuando se alcance la deformación permitida, lo primero que ocurra, Figura 6.1.13. Los ciclos se definen como dos pasadas, ida y vuelta, de la rueda cargada. Al final de los ciclos, los datos son proporcionados en formatos numérico y gráfico.

f) Analizador de Pavimentos Asfálticos

El Analizador de pavimentos asfálticos (APA) es una modificación de la rueda cargada de Georgia. Se fabricó por primera vez en 1996 por Pavement Technology, Inc. Su uso y aplicación se describen en la **Norma AASHTO T 340-10**.

Tiene la capacidad de evaluar ahuellamiento, fatiga y resistencia a la acción de la humedad de mezclas asfálticas en caliente.

La rueda cargada del equipo realiza movimientos de ida y vuelta sobre una manguera presurizada, para inducir la rodera en la probeta. Los especímenes de prueba pueden ser vigas o probetas cilíndricas, como se muestra en la Figura 6.1.14.

En el equipo APA se pueden ensayar probetas con diámetros de 100 ó 150 mm o de X centímetros de lado en especímenes rectangulares (Figura 6.1.15).

Los rangos de temperatura de trabajo que se manejan en el APA son de 5 a 70° C sobre la que apoya una

manguera a una presión de 690 kPa ó de 830 kPa y una rueda que aporta, mediante un movimiento de ida y vuelta (1 ciclo) sobre la manguera, una carga de 445 N o 533 N (depende de la presión dada) simulando el tránsito.

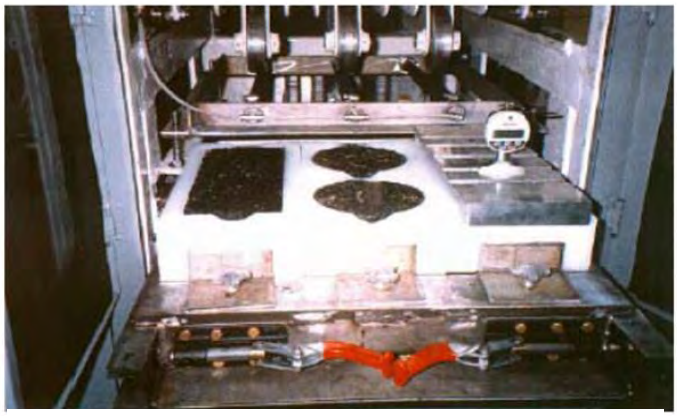


Figura 6.1.15. Espécimen después del ensayo

Las muestras se compactan mediante vibrado o amasado logrando 4% o 7% de contenido de vacíos en los especímenes cilíndricos y 7% en los rectangulares. Los especímenes pueden estar secos o saturados y elaborados en laboratorio o extraídos "in situ".

El resultado que se obtiene es la deformación al final del ensayo (8000 ciclos), en una gráfica deformación vs ciclos de carga, como se indica en el ejemplo de la Figura 6.1.16.

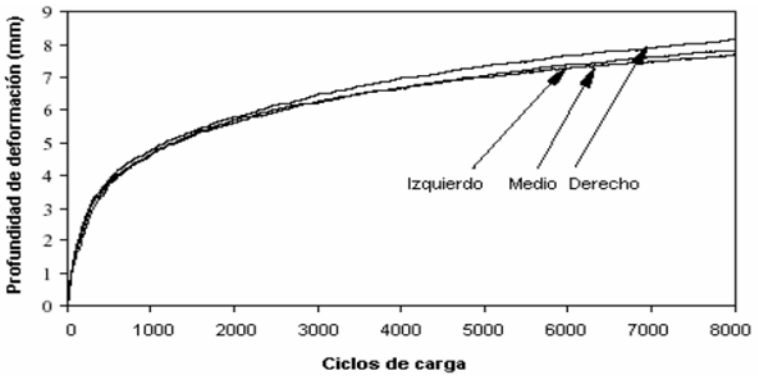


Figura 6.1.16. Resultados típicos de deformación en equipo APA

Nivel III

Módulo Dinámico

Las mezclas asfálticas son consideradas como materiales "visco-elásticos lineales" los cuales definen el módulo Dinámico E*) como la relación que existe entre el esfuerzo-deformación bajo una carga sinusoidal (cíclica) continua.

El módulo dinámico se define como la relación de la amplitud del esfuerzo sinusoidal en un tiempo determinado, y una frecuencia angular de carga, interviene la amplitud de la deformación sinusoidal al mismo tiempo y frecuencia. Figura 6.1.17.

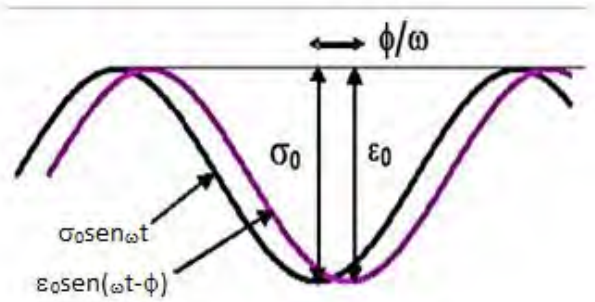


Figura 6.1.17. Módulo Dinámico

Los valores de los módulos dinámicos que se obtienen en las mezclas están en función de: temperatura, carga, envejecimiento, viscosidad, contenido de asfalto, granulometría, tipo de agregados y contenido de vacíos.

Para observar de una mejor manera el comportamiento de la mezcla de acuerdo al efecto de la temperatura y carga aplicada a diferentes frecuencias, se elabora una gráfica que se conoce como curva maestra y se construye empleando el principio de superposición "tiempo-temperatura". Para construir la curva maestra de los resultados de los módulos dinámicos obtenidos a diferentes temperaturas y frecuencias, primero se selecciona una temperatura de referencia (generalmente 20° C) y posteriormente se ajustan los datos de varias temperaturas con respecto al tiempo mediante una relación sigmoidal hasta que los valores se unan en una función única, que resulta en una curva.

Además de la construcción de curvas maestras, se deben graficar también las "isotermas", que son el resultado de los valores del módulo dinámico en función de la temperatura de prueba. En la elaboración de las curvas maestras e isotermas, el módulo que se obtiene a diferentes temperaturas se desplaza mediante un factor de ajuste a la frecuencia o tiempo a la que se tome como referencia, de manera que las isotermas individuales se combinan para formar una sola curva de frecuencia o de tiempo contra la rigidez; de ahí nace la curva maestra.

El ajuste de cada dato de temperatura que se requiere para formar la curva maestra, describe la dependencia del material a la temperatura, mientras que la curva maestra del módulo dinámico como una función del tiempo de carga, describe la dependencia del material al tiempo en que se le aplica la carga.
El procedimiento para la ejecución de este ensayo y la obtención de los módulos dinámicos de las distintas mezclas, se realiza conforme a la **Norma AASHTO T 342-11** o a la **ASTM D 3497**.

Este ensayo puede ser con carga uniaxial o triaxial de compresión o tensión.

Para la instrumentación se utilizan una cantidad de deformímetros (LVDTs) que depende de la exactitud que se quiera alcanzar.

Los especímenes utilizados son compactados mediante el uso del compactador giratorio y deben tener una altura nominal de 170.2 mm y un diámetro de 150 mm, para luego extraer un núcleo de 150 mm de altura por 100 mm de diámetro. Figura 6.1.18.



Figura 6.1.18. Extracción de espécimen de prueba

Para el acondicionamiento por temperatura previo al ensayo, se recomienda cierto tiempo para que el espécimen alcance determinada temperatura. Siempre se recomienda contar con un espécimen de referencia con el cual verificar la temperatura, como se muestra en la Figura 6.1.19.



Figura 6.1.19. Instrumentación y acondicionamiento de especímenes

El procedimiento cubre un amplio intervalo, tanto de temperatura como de frecuencia de carga. La serie de ensayos mínima recomendada incluye temperaturas de 5, 25 y 40° C y frecuencias de cargas de 1, 4 y 16 Hz para cada temperatura.

Las deformaciones se miden en dos ubicaciones separadas a 180°, tres lugares separados a 120°, o cuatro de 90° de separación.

Los valores del módulo dinámico pueden emplearse tanto para el diseño de la mezcla asfáltica, como para el diseño del espesor de la capa asfáltica del pavimento.

Nivel IV

Diseño por Fatiga

El fenómeno de fatiga se puede definir como el proceso permanente, progresivo y localizado, de cambio de las condiciones estructurales de un material, sometido a tensiones repetidas y consecuentemente deformaciones inducidas y que en el caso de las muestras asfálticas culmina con la aparición de fisuras y grietas que conducen a la rotura total, después de un número suficiente de repeticiones.

El agrietamiento en pavimentos debido a fatiga bajo carga repetida, ha sido reconocido por muchos años como la forma más común de falla; este agrietamiento resulta de deformaciones repetidas a la tensión en el fondo de esta capa. Las grietas comienzan en el fondo de la capa y entonces se propagan hacia arriba, causando pérdida de módulo de resiliencia lo cual alterará la distribución de esfuerzos y deformaciones en la estructura total de pavimento y en la capa de la subrasante.

Los métodos de ensayo de la resistencia a la fatiga se clasifican en tres tipos: flexión simple, carga axial directa y carga diametral.

Flexión simple

- Flexión de la viga cargada en el punto central
- Flexión de la viga con 4 puntos
- Flexión de la viga cantilever rotatoria
- Flexión de la viga de dos puntos (cantilever trapezoidal)

Carga axial directa

- Tensión y compresión de un espécimen cilíndrico
- Tensión y compresión de un espécimen con angostamiento

Carga diametral

- Diametral Estático (creep)
- Diametral con Carga Repetida
- Diametral con Módulo Dinámico
- Resistencia Diametral

Flexión de la viga con 4 puntos

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia a la fatiga de las mezclas extraídas de las secciones de una capa asfáltica o de muestras hechas en laboratorio. Los ciclos de aplicación de carga sobre la muestra hasta la falla son usados para determinar la resistencia a la fatiga de las capas de pavimento asfáltico afectadas con cargas de tráfico real. Con el conocimiento de estos parámetros se puede optimizar el comportamiento de las mezclas asfálticas.

El ensayo consta básicamente de un aparato de carga, ver Figura 6.1.20, una cámara ambiental y un sistema de adquisición de datos; el sistema de carga debe tener la capacidad de proveer carga sinusoidal repetida con un rango de 0 a 10 Hz. La muestra debe estar sujeta de tal forma que tenga cuatro puntos de apoyo, los cuales tienen libre translación, libre rotación y mantienen a la muestra en su posición original. La cámara ambiental debe mantener la muestra a una temperatura de 20° C.

El sistema de adquisición de datos debe tener la capacidad de medir las deflexiones de la viga y las cargas aplicadas por el aparato en cada ciclo; además, debe grabar los ciclos de carga y compilar los datos.



Figura 6.1.20. Viga de 4 puntos

La muestra se apoya en 4 puntos, recibe la carga en los dos puntos centrales (ver Figura 6.1.21) y en los otros dos hay una restricción vertical del movimiento, lo que hace que la muestra presente flexión.

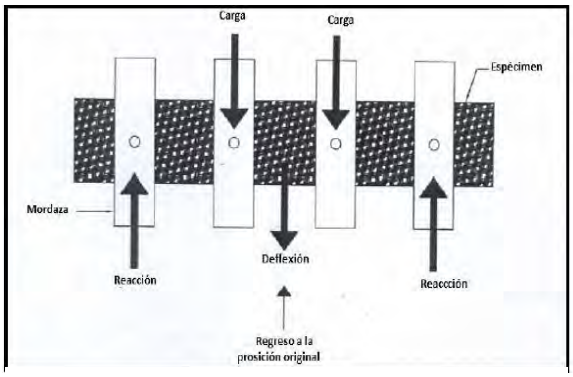


Figura 6.1.21. Configuración de la prueba

La muestra es una viga prismática con dimensiones de 380 mm de largo, 50 mm de espesor y 63 mm de ancho; sometida a cargas periódicas con rotación y traslación libres en todos los puntos de carga, utilizando el modo de deformación controlada. La muestra se obtiene de una placa elaborada mediante compactación como la que se indica en las Figuras 6.1.22 y 6.1.23 y cortada de manera tal que sea dimensionalmente adecuada.



Figura 6.1.22. Corte de placas para la observación de vigas



Figura 6.1.23. Vigas para ensaye

Los parámetros utilizados para el ensaye de los especímenes son los siguientes:

- Amplitud de deformación: 750
- Frecuencia: 10 Hz
- Temperatura: 20° C
- El criterio de fin de ensayo puede ser cierto número de ciclos o cuando la rigidez inicial se reduce al 50%, al alcanzar la muestra alcanza 50% de la rigidez o menos; entonces se considera por norma que la probeta ha fallado por fatiga.

La ejecución del ensayo se indica en las Figuras 6.1.24 y 6.1.25.



Figura 6.1.24. Ensayo de fatiga mediante viga de 4 puntos



Figura 6.1.25. Vigas después del ensayo

Procedimiento de Elaboración, Tendido y Compactación de las Mezclas de Alto Desempeño

Las mezclas de alto desempeño se elaboran con los equipos tradicionales que se utilizan para las mezclas de granulometría densa, cuyo procedimiento puede consultarse en la sección de este tipo de mezcla, correspondiente a las técnicas tradicionales de conservación de pavimentos de esta Guía.

De la misma forma, para el tendido y compactación de estas mezclas de alto desempeño, el equipo y el procedimiento son similares a los de una mezcla de granulometría densa, los cuales se indican en la sección antes citada.

Criterios de Control de Calidad

El control de calidad para la fabricación y aplicación de las mezclas asfálticas, es el conjunto de actividades que permiten evaluar las propiedades de los materiales y características de los equipos que se utilizan en su ejecución, comparándolas con las especificaciones del diseño, para decidir la aceptación o rechazo.

El éxito de que una mezcla asfáltica presente un buen desempeño a lo largo de su vida útil depende en gran parte del control de calidad de la misma.

El control de calidad inicia en la producción y termina con la compactación de la mezcla en sitio. Se desea que la mezcla producida en la planta de asfalto tenga propiedades uniformes y características similares al diseño de la mezcla en laboratorio. Sin embargo, la calidad de la mezcla asfáltica puede variar a causa de muchos factores, entre los que destacan: variaciones en el contenido de asfalto y granulometría, que generalmente ocurre durante la producción en planta y variaciones en la temperatura y energía de compactación, lo cual puede suceder durante la compactación en campo, por lo que la mezcla compactada en sitio puede tener parámetros volumétricos y propiedades mecánicas diferentes a las consideradas en el diseño.

Aceptación de la Mezcla

Para la realización del control de calidad se debe seguir el Protocolo AMAAC PA-MA 02/ 2008 Control de Calidad para Mezclas Asfálticas de Alto Desempeño.

El control de calidad será de acuerdo al nivel seleccionado de diseño de mezclas para el proyecto, aprobado por la Dependencia.

La Contratista será la responsable del aseguramiento y control de calidad. La Dependencia, en forma directa o a través de una Empresa Supervisora, realizará la verificación de calidad.

Es recomendable realizar las pruebas de calidad en la mezcla con los volúmenes producidos indicados en la Tabla 6.1.16.

Nivel de Diseño	Prueba	Volúmenes
I-II-III-IV	Contenido de asfalto	800 toneladas
I-II-III-IV	Granulometría	800 toneladas
I-II-III-IV	Propiedades volumétricas	24 000 toneladas
I-II-III-IV	Tensión Indirecta (TSR/susceptibilidad a la humedad)	24 000 toneladas
I-II-III-IV	Deformación permanente	24 000 toneladas
III-IV	Módulo Dinámico	24 000 toneladas
III-IV	Fatiga	24 000 toneladas

Tabla 6.1.16. Volúmenes producidos de mezcla asfáltica para realizar pruebas de calidad

Para asegurar la calidad de la mezcla asfáltica de alto desempeño, tendida y compactada, se debe construir un tramo de prueba de 100 metros de longitud, donde se realizan las siguientes pruebas:

a) Densidad compactada

b) Deformación permanente

c) Ensaye de susceptibilidad a la humedad

Para la aceptación de tramos terminados, además de cumplir con los parámetros de diseño y densidad del 97% del peso volumétrico compacto obtenido en laboratorio, se deben efectuar pruebas de desempeño, con la frecuencia establecida en la Tabla 6.1.17.

Tipo de Prueba	Niveles I y II	Nivel III	Nivel IV
Densidad Compactada	Cada 15 km	Cada 10 km	Cada 5 km
Ensaye de deformación permanente			
Ensaye de susceptibilidad a la humedad			

Tabla 6.1.17. Frecuencia de muestreo para verificar los parámetros de desempeño

En la Tabla 6.1.18 se establecen algunos de los criterios a seguir para la ejecución de un control de calidad eficiente, durante todo el proceso.

Control de trituración y verificación de calidad de los materiales pétreos y producto asfaltico	Controlar la trituración, para que la granulometría de los materiales corresponda a la del diseño
	Verificar propiedades básicas de calidad de materiales cada 500 m^3 de material producido
	Poner especial cuidado en las pruebas de azul de metileno y adherencia con el asfalto
	Para el asfalto considerar penetración, recuperación torsional y recuperación elástica
Calibración de la planta de mezcla en caliente	Calibrar la planta para realizar el procedimiento de material pétreo y asfalto de acuerdo con el diseño aprobado
Verificación de calidad durante la producción	Determinar por cada 800 ton de mezcla producida el contenido de asfalto, granulometría, humedad y propiedades volumétricas en campo
Pruebas de desempeño al inicio del proyecto en un tramo de prueba de 100 m	Realizar pruebas de desempeño en la mezcla tendida con sus propiedades volumétricas. Verificar granulometría y contenido de asfalto
Pruebas de alerta y control en corazones de campo	De susceptibilidad a la humedad, usando ensayes de tensión indirecta.
	Para deformación permanente, usando rueda de Hamburgo, APA o Pista Española.
Cumplimientos de los criterios definidos en el diseño	Se aprueba el procedimiento constructivo y calidad de la mezcla. Se revisa consistencia de resultados a cada 5 km para Nivel IV, a cada 10 km para Nivel III y a cada 15 km para los niveles I y II
	Se verifican características superficiales. Mediciones de regularidad y fricción.
	Se actualiza el sistema de gestión de pavimentos.
Falla en el cumplimiento de los criterios definidos en el diseño	Revisar el proceso para detectar origen del problema y corregir.

Tabla 6.1.18. Prácticas recomendables para el control de calidad en campo de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño

6.2 MEZCLA ASFÁLTICA TIPO SMA

Características Particulares

La mezcla asfáltica tipo SMA, cuyo nombre se debe al término "Stone Mastic Asphalt", es una mezcla asfáltica de granulometría discontinua, con un esqueleto mineral, formado por partículas relativamente gruesas de material pétreo, relleno con un "mástico" (mastique) de asfalto, "filler", arena fina y fibras de celulosa usadas como inhibidor de escurrimiento, según muestra de manera objetiva la Figura 6.2.1.



Figura 6.2.1. Componentes de la mezcla asfáltica tipo SMA

En las mezclas de granulometría densa, como son las de concreto asfáltico en caliente, el agregado fino o arena forma parte de la estructura de la mezcla. Los huecos contenidos en este tipo de curva granulométrica se rellenan con un mortero compuesto de finos, "filler" y asfalto.

Para obtener una mezcla trabajable y durable, debe darse un tipo de "discontinuidad", que generalmente se encuentra entre los tamaños de 0.2 y 5.0 mm. La mayor parte de la curva granulométrica de una mezcla SMA está formada por material pétreo, con tamaño superior a 5.0 mm. En la Figura 6.2.2 se compara objetivamente una granulometría de tipo SMA con la de una mezcla de granulometría densa.

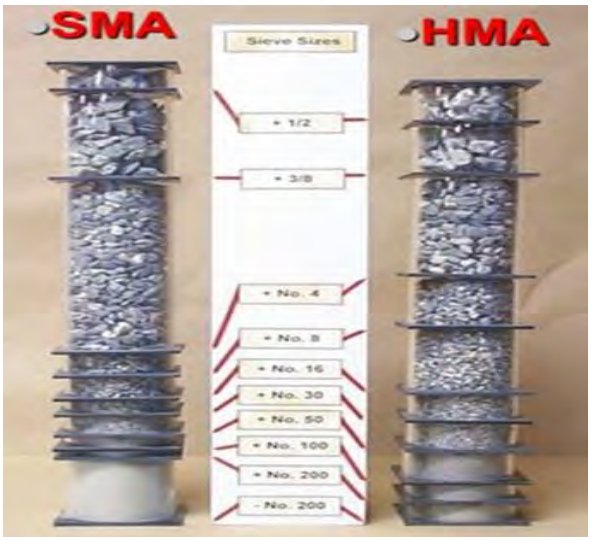


Figura 6.2.2. Comparación de fracciones entre una mezcla SMA y una mezcla densa (HMA)

La diferencia principal entre el SMA y las mezclas de concreto asfáltico de granulometría densa, es que la discontinuidad en la curva granulométrica es más alta y más ancha, lo que da por resultado un mayor porcentaje de huecos en el material pétreo. El material grueso confiere el esqueleto, mientras que la arena y los finos forman parte del mástico (mastique) y en principio no interfieren en la formación del esqueleto. Las curvas granulométricas de una mezcla tipo SMA y una mezcla de granulometría densa, se presentan en la Figura 6.2.3.

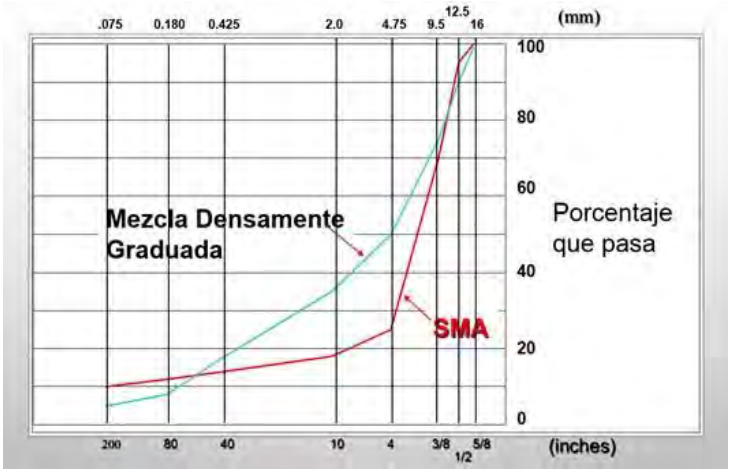


Figura 6.2.3. Curvas granulométricas típicas de una mezcla SMA y una de granulometría densa

En las Figuras 6.2.4 y 6.2.5 se presenta, de manera esquemática, el acomodo de partículas de una mezcla tipo SMA y el de una mezcla asfáltica de granulometría densa.

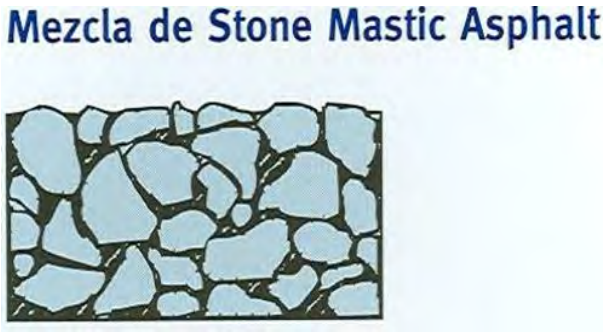


Figura 6.2.4. Acomodo de partículas de una mezcla SMA



Figura 6.2.5. Acomodo de partículas de una mezcla densa

Desde el punto de vista de la volumetría, la mezcla SMA es similar a la mezcla de granulometría abierta o drenante, que también consiste en un esqueleto formado por material grueso. Sin embargo, en la mezcla drenante los huecos solamente se rellenan con mástico hasta obtener una mezcla con una proporción de vacíos de un 20 % aproximadamente. En cambio en el esqueleto mineral del SMA, los huecos se rellenan hasta alcanzar una proporción final en la mezcla entre 3 y 6%, aproximadamente.

Como consecuencia del concepto volumétrico de la mezcla SMA, se tiene un mayor número de puntos de contacto entre las partículas que forman el esqueleto, comparado con la mezcla de granulometría densa, como se puede observar en la Figura 6.2.6.

Para el tipo de mezcla SMA, en general se recomienda el uso de materiales pétreos triturados totalmente, tanto para la fracción gruesa como para la arena y finos. En los pavimentos de alta resistencia, la máxima calidad se

logra mediante el uso de materiales pétreos de trituración total con bajo índice de lajas o agujas (forma de la partícula).

El asfalto que generalmente se utiliza es el que tiene una penetración mínima de 60 grados (tipo AC-20), aunque para las carreteras de menor tráfico pueden utilizarse asfaltos con penetración mínima de 80 grados (tipo AC-10). Para capas superficiales de elevada resistencia se recomiendan o se requieren asfaltos de mayor dureza o asfaltos modificados.

Conviene señalar que la mezcla asfáltica tipo SMA se produce y se aplica con los equipos convencionales para mezcla asfáltica en caliente. No obstante, tanto el diseño y la elaboración, como el extendido y compactación, requieren cuidados especiales.

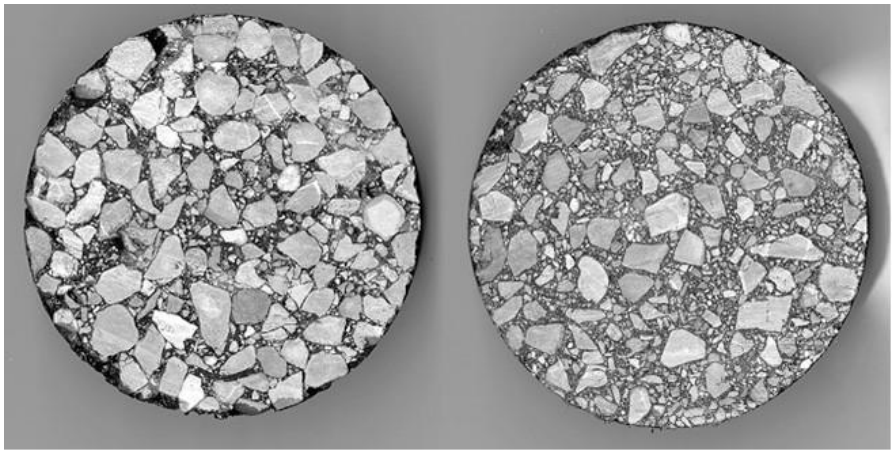


Figura 6.2.6. Textura de una mezcla tipo SMA (izq.) y de una mezcla densa (der.)

Antecedentes

La mezcla asfáltica tipo SMA fue desarrollada en Alemania a mediados de los sesenta, resultando sumamente resistente al desgaste y al deterioro causado por los neumáticos de “clavos”. Como consecuencia de su excelente rendimiento, se estableció en ese país una norma nacional y desde entonces se ha difundido en toda Europa y resto del mundo.

En Europa, el Stone Mastic Asphalt (SMA) se ha convertido en una mezcla asfáltica muy utilizada en la pavimentación de carreteras de alto nivel de tráfico, pistas de aeropuertos y zonas portuarias. La superficie homogénea que proporciona el SMA asegura condiciones de conducción muy cómodas y la textura que se obtiene proporciona una muy buena resistencia al deslizamiento, con un nivel de ruido relativamente bajo.

En todos los países se han registrado experiencias positivas con el uso de la mezcla SMA, especialmente por sus características superficiales, durabilidad y confort de conducción. En capas de rodadura de elevada resistencia presenta un excelente rendimiento y en carreteras de alto tráfico la mezcla SMA resulta igualmente favorable. Sin embargo, es importante destacar que estos resultados se logran cuando se cumplen todos los requisitos tecnológicos del SMA.

La fracción gruesa del material pétreo logra una alta resistencia a la deformación permanente, mientras que el mástico rellena los huecos entre las partículas, lo que hace que el SMA sea una mezcla asfáltica de alta duración. El alto contenido de asfalto en las mezclas SMA, pueden producir escurrimiento del mismo, por lo que se hace necesario utilizar un inhibidor de este escurrimiento mediante fibras de celulosa.

Las características de la mezcla SMA permiten su utilización en capas delgadas, lo que reduce el consumo de asfalto de alta calidad en la construcción y conservación de pavimentos.

La mezcla SMA resulta ser una mezcla rentable a pesar de requerir un elevado contenido de asfalto, así como la utilización de materiales pétreos de alta calidad. Una mezcla SMA, diseñada y aplicada adecuadamente, requiere acciones mínimas de conservación, siempre que se utilice en pavimentos bien diseñados.

Varios países están aplicando normas nacionales para la utilización de las mezclas SMA y el Comité Europeo de Normalización (CEN) ya cuenta con su norma europea. Tanto en Estados Unidos de Norteamérica, donde el SMA se conoce como "Stone Matrix Asphalt", al igual que en el resto del mundo, el uso de la mezcla SMA está utilizándose cada vez más por los departamentos de carreteras y en la industria del asfalto.

En la Tabla 6.2.1 se presenta la aplicación de la mezcla SMA en los países europeos, en 1996, indicándose las superficies pavimentadas con SMA, así como los porcentajes utilizados con respecto a la producción de mezclas asfálticas.

	Área total en millones de m^2	% de la producción de aglomerado 1996	Área aplicada en 1996 en millones de m^2
Bélgica	4.0	8	
Republica Checa		6	
Dinamarca	14.1		1.1
Finlandia	6.0		
Francia (BBM)	18.0		
Alemania	>100.0	8	
Hungría	6.5		2.6
Holanda	32.0	8	
Noruega	12.0	3	
Polonia	12.0		
Portugal	3.0		1.0
Eslovenia	0.1		
España (BBM)	69.0		4.5
Suecia	50.0	18	

Tabla 6.2.1. Datos de producción y aplicación de SMA en Europa, en 1996

También es conveniente destacar que en algunos paises se han aplicado mezclas asfálticas de tipo SMA, para integrar la estructura del pavimento, utilizando para cada una de estas capas, diferentes tamaños nominales de material pétreo, de acuerdo con su espesor. En la Figura 6.2.7 se muestra la aplicación de tres capas de SMA en un pavimento construido en Europa.



Figura 6.2.7. Estructura de pavimento formada por tres mezclas SMA con diferente tamaño máximo

Con relación a su durabilidad, se menciona que existen mezclas SMA construidas desde hace muchos años, con un buen comportamiento y adecuado funcionamiento. En la Figura 6.2.8 se muestra una capa SMA que se construyó en Alemania hace 32 años.



Figura 6.2.8. Mezcla tipo SMA construida en Alemania hace 32 años

Ventajas y Limitaciones

La mezcla asfáltica tipo SMA presenta importantes ventajas funcionales, económicas y técnicas; comparada con las mezclas convencionales en las capas superficiales del pavimento ofrece excelentes condiciones de conducción, combina una alta estabilidad con una durabilidad mayor y es adecuada para ser aplicada en capas delgadas. Por otra parte, se destaca la ventaja ambiental de sus superficies menos ruidosas.

A continuación se mencionan las ventajas de la mezcla asfáltica tipo SMA:

- Elevada resistencia al deslizamiento (seguridad)
- Buena regularidad superficial (homogeneidad transversal y longitudinal), brindándole confort al conductor
- Alta resistencia a la deformación permanente
- Alta resistencia al desgaste por acción del tráfico y los cambios climáticos
- Bajo nivel de ruido (confort ambiental y del conductor)
- Alta durabilidad (rendimiento del pavimento)
- Textura drenante (mayor seguridad y visibilidad)
- Materiales totalmente reciclables al término de su vida útil

Como limitaciones se pueden mencionar las siguientes:

- El diseño y su aplicación requiere estrictos cuidados
- Requiere el uso de materiales asfálticos y pétreos de alta calidad
- Mayor costo en comparación de una mezcla asfáltica convencional

Condiciones de Aplicación

Para la aplicación de una mezcla asfáltica tipo SMA, es necesario considerar las condiciones siguientes:

- El pavimento donde se colocará debe tener la estructura suficiente para la intensidad de tráfico y el periodo de servicio, previstos en el proyecto
- Deben atenderse y corregirse previamente los deterioros existentes en la capa superficial donde se aplicará la mezcla SMA
- Generalmente se recomienda que se aplique el SMA como capa de rodadura, en donde exista previamente una capa asfáltica de granulometría densa, en la que se haya considerado su resistencia de aporte a la estructura del pavimento. En México es común aplicar el criterio de que una capa de rodadura con SMA, no se le considera un aporte estructural al pavimento.

Materiales y Requisitos de Calidad

En México, los interesados en la calidad de materiales pétreos y de la mezcla asfáltica tipo SMA, pueden consultar las **Normas N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas y **N·CMT·4·05·003/08** Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Sin embargo, por tratarse de una técnica relativamente reciente en el medio nacional, se dispone de una versión que ha sido actualizada por el Comité Técnico de Capas de Rodadura, que forma parte de la Asociación Mexicana del Asfalto, el cual ha estado recopilando e investigando las aplicaciones y experiencias de la mezcla SMA, así como de otras mezclas para capas de rodadura, tanto en el ámbito internacional como en las experiencias nacionales.

De esta propuesta de actualización, se presentan los requisitos de calidad para los materiales y para la mezcla asfáltica tipo SMA, aclarándose que toman en cuenta los requisitos de calidad contenidos en las Normas SCT antes citadas.

Tipos de Agregados Pétreos por Utilizar

Los agregados que se utilicen en la mezcla tipo SMA deben ser producto de trituración. Los agregados se deben producir y suministrar en fracciones granulométricas bien diferenciadas, las cuales se deben almacenar y manejar separadas.

Los agregados se deben manejar por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y debe evitarse su segregación. El número mínimo de fracciones debe ser de tres.

Cuando los agregados para estas mezclas provengan de más de un solo banco, se debe asegurar que el mezclado del material de las diversas fuentes sea homogéneo, sin olvidar que las fracciones granulométricas se deben mantener diferenciadas para el proceso de dosificación.

Los agregados gruesos tales como grava triturada de roca de basalto, dolomita, andesita, granito, escoria o la mezcla de dos o más de estos materiales, se consideran potencialmente adecuados para ser empleados en mezclas del tipo SMA. No se permite el empleo de materiales pulimentables en capas de rodadura.

Se recomienda que las arenas utilizadas procedan en su totalidad de la trituración de roca. El material fino debe estar exento de grumos de arcilla, material vegetal u otras materias potencialmente dañinas, para lograr el comportamiento previsto de la mezcla.

En las regiones donde únicamente se cuente con agregados calizos y pulimentables, se puede utilizar este tipo de materiales, considerando un desgaste de Los Ángeles ≤ 30% y coeficiente de pulimento ≥ 25%, y tomando en cuenta que la vida útil de la capa de rodadura será menor, dependiendo del tránsito vehicular.

Granulometría y tipos de mezcla SMA

La granulometría tiene una gran importancia en las mezclas SMA. Se recomienda que el tamaño nominal (TN) de la mezcla SMA guarde una relación mínima de aproximadamente 1:3 con respecto al espesor de la capa donde será colocada la mezcla. En este caso el 1 corresponde al tamaño nominal y el 3 al espesor de la capa.

Es importante considerar que durante el proceso de diseño de la mezcla, debe hacerse una selección de la granulometría óptima que esté dentro de los límites granulométricos que se especifican en la Tabla 6.2.2.

Para la selección de la granulometría óptima, se suele iniciar con tres granulometrías de ensayo: una cercana al límite superior, otra cercana al límite inferior y una más entre ambos límites. Con cada una de estas granulometrías se realizan series de probetas (al menos 2 probetas por serie), con un contenido de asfalto del 6,5% sobre la masa de los agregados (aunque este contenido inicial puede variar en función de la densidad de los agregados utilizados) y un contenido de agente estabilizador, normalmente 0,3% sobre la masa de la mezcla.

La granulometría seleccionada será aquella que presente un porcentaje de vacíos en la mezcla cercano al 4%, que cumpla o exceda los requerimientos mínimos de VAM (vacíos en el agregado mineral), que tenga un VCA_{MIX} (vacíos en el agregado grueso en la mezcla) menor que el VCA_{DRC} (vacíos en el agregado grueso en el ensayo de varillado en seco según la **Norma AASHTO T 19**) y que los VFA (vacíos rellenos con asfalto) se encuentren entre el 75 y 82%. La granulometría seleccionada debe tener un VAM alrededor del 17% (típicamente del 17,5 al 18%). La granulometría seleccionada, basada en las condiciones mencionadas arriba, se denomina: granulometría óptima.

Las recomendaciones para seleccionar la granulometría y espesores de capas, en función del tipo de vía en que se aplica la mezcla SMA, se indican en las Tablas 6.2.2 y 6.2.3.

	Límites granulométricos (composición en peso)		
	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"
Tamaño Nominal	4,75 mm (Núm 4)	9,5 mm (3/8")	12,5 mm (1/2")
Abertura o Núm de Malla (ASTM)	% que Pasa		
19 mm (3/4")			100
12,5 mm (1/2")		100	90-100
9,5 mm (3/8")	100	70-95	50-80
Núm 4	30-45	30-50	20-35
Núm 8	20-27	20-30	16-24
Núm 200	9-12	8-12	8-11

Tabla 6.2.2. Límites granulométricos de las mezclas tipo SMA

Clasificación de la mezcla SMA	Espesor mínimo para capas nuevas sobre pavimentos reconstruidos o caminos nuevos (mm)	Espesor mínimo para capas con fallas funcionales menores (mm)	Tipo de vía en la que se aplica
Tipo "A"	15	20	Adecuado para pistas de aterrizaje en aeropuertos.
Tipo "B"	30	35	Adecuado para vialidades urbanas de alto tránsito.
Tipo "C"	35	40	Adecuado para carreteras y autopistas.

Tabla 6.2.3. Espesores mínimos y tipo de vía en la que se aplica la mezcla asfáltica SMA

Requisitos de Calidad del Agregado Grueso

El agregado grueso para las mezclas SMA se define en función del tamaño nominal (TN) de la mezcla. De tal manera que para las mezclas SMA con TN de 12,5 mm, el agregado grueso se define como la fracción retenida en la malla Núm 4 (4,75 mm). Para las mezclas con TN de 9,5 mm, el agregado grueso se define como la fracción retenida en la malla Núm 8 (2,36 mm).

En la Tabla 6.2.4 se indican los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados gruesos que se utilizan en la elaboración de mezclas SMA.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Desgaste de Los Ángeles, %	ASTM C131-06	25 máx.
Partículas planas y alargadas, % (5:1)	ASTM D 4791-10 Método B	5 máx.
Absorción, %	ASTM C127-12	3máx
Intemperismo (5 ciclos), %	ASTM C88-05	
	Sulfato de sodio	15 máx.
	Sulfato de magnesio	20 máx.
Partículas trituradas, %	ASTM D5821-01 (2006)	
	Una cara	100 mín.
	Dos caras	90 mín.
Afinidad Ligante-agregado[1], %	RA 08/2010	10 máx.
Pulimento acelerado, %	TEX 438-A/1999	30 mín.
Desgaste MicroDeval	ASTM D6928-10	15 máx.

[1] En caso de desprendimientos mayores, debe emplearse aditivo promotor de adherencia en la dosificación necesaria para cumplir con el requisito establecido.

Tabla 6.2.4. Requisitos de calidad del agregado grueso para las mezclas tipo SMA

Requisitos de Calidad del Agregado Fino

Para las mezclas SMA, el agregado fino se define en función del tamaño nominal (TN) de la mezcla. Para mezclas con TN de 9,5 mm el agregado fino es el material que pasa por la malla Núm 8 (2,36 mm). Para las mezclas con TN de 12,5 mm el agregado fino es el material que pasa la malla Núm 4 (4,75 mm).

Los requisitos de calidad que deberá cumplir el agregado fino utilizado en las mezclas SMA se encuentran enunciados en la Tabla 6.2.5.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Equivalente de arena, %	ASTM D2419-09	55 mín.
Azul de metileno (en materiales que pasan la malla 200)*	RA 05/2008	12 máx.
Angularidad, %	AASHTO T304-11	45 mín.

**Se podrán usar materiales con valores de azul de metileno comprendidos en el rango de 12 a 15 mg/g, siempre y cuando se obtengan valores de TSR mayores a 80%.*

Tabla 6.2.5. Requisitos de calidad del agregado fino para las mezclas de capas de rodadura en caliente

"Filler" o Polvo Mineral

El "filler" o polvo mineral utilizado en la mezcla SMA es la fracción de material que pasa la malla Núm 200 (0,075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos.

El "filler" de aporte puede ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas, y presentar valores de azul de metileno no mayores de 12 mg/g, acorde a la recomendación AMAAC RA 05/2008 "Determinación del valor de azul de metileno para filler y finos".

Emulsión para Riego de Liga

Por lo que respecta al riego de liga para la capa de mezcla tipo SMA, el material debe ser una emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero, y sus características se indican en la Tabla 6.2.6.

Pruebas en la Emulsión original	Método	Min.	Max.
Viscosidad, Saybolt Furol @ 25°C, s	M·MMP·4·05·004/00	20	100
Estabilidad al almacenaje (asentamiento a 24 horas), %	AASHTO T59-13		1
Retenido en malla Núm. 20	M·MMP·4·05·0014/02		0,05
Residuo de la destilación[1], %	M·MMP·4·05·012/00	63	
Demulsibilidad, %	M·MMP·4·05·018/07	60	
Pruebas en el residuo de la destilación			
Penetración @ 25 °C	M·MMP·4·05·006/00	60	150
Recuperación elástica, 10°C, %	M·MMP·4·05·026/02	60	
[1]Nota: Método modificado para incluir una temperatura máxima de 204°C ± 12°C la cual deberá ser sostenida por un período de 15 minutos.			

Tabla 6.2.6. Requisitos para emulsión asfáltica modificada utilizada en riego de liga de mezcla tipo SMA

Agente Estabilizador

Para la mezcla tipo SMA, las fibras tienen la función de inhibir el escurrimiento de asfalto. La dosificación de las mismas son del 0,3% ó más, para asegurar que previenen el escurrimiento de asfalto de acuerdo a la **Norma AASHTO T 305-97** (2001), "Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures". Las fibras más utilizadas para este fin son de: celulosa, minerales y acrílicas.

Las fibras deben ser suministradas al sistema de tal forma que se asegure la disgregación y distribución homogénea de las mismas al momento de ser incorporadas a la mezcla.

Aditivos Promotores de Adherencia

Cuando la mezcla no cumpla los requisitos de Resistencia al Daño inducido por Humedad (TSR) y/o de Desprendimiento por Fricción, se pueden utilizar aditivos promotores de adherencia para cumplir dichos requisitos. El método de incorporación de aditivos debe asegurar una dosificación y dispersión homogénea dentro de la mezcla.

Asfalto

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla tipo SMA será modificado con polímero tipo I y debe cumplir con la **Norma N·CMT·4·05·004** Calidad de materiales asfálticos grado PG, de la Normativa SCT, así como con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 6.2.7.

El grado PG se seleccionará en función de las condiciones de clima y tránsito del proyecto, de acuerdo con la Normativa SCT vigente.

Pruebas	Método	Mín.	Máx.
Separación de Polímero	M·MMP·4·05·022		2° C
Recuperación Elástica a 10°C	M·MMP·4·05·026	65%	
Recuperación torsional a 25°C	M·MMP·4·05·024	35%	
Punto de reblandecimiento	M·MMP·4·05·009	55° C	

Tabla 6.2.7. Requisitos de calidad del cemento asfáltico modificado con polímero Tipo I

Contenido Óptimo de Asfalto y Características de la Mezcla SMA

En las mezclas tipo SMA, una vez que se ha definido la granulometría más adecuada, se determina el contenido óptimo de asfalto. Para ello, es necesario realizar series de probetas con la granulometría óptima y diferentes contenidos de asfalto.

El contenido de asfalto óptimo será aquel en cuya dosificación de la mezcla asfáltica SMA se logre cumplir de mejor manera con los requisitos contenidos en la Tabla 6.2.8.

Característica o dosificación	Valor
Vacíos en mezcla, %	4,0 ± 1
Vacíos en el agregado mineral, %	17 mín.
Vacíos ocupados por el asfalto, %	75 a 82
Resistencia al daño inducido por humedad (TSR)[1], %	80 mín.
Fibras[2], %	0,3 mín.
Contenido de asfalto[3], %	6,0 mín.
Escurrimiento de asfalto[4], %	0,3 máx.
Adicionalmente los vacíos en el agregado grueso, en la mezcla compactada (VAC_{MIX}) deben de ser menores que los vacíos en el agregado grueso, en la condición de varillado en seco (VAG_{DRC})[4]	
[1] De acuerdo al ensayo descrito en la *norma ASTM D4867-09*, "*Effect of moisture on asphalt concrete paving mixtures*" [2] Los porcentajes de dosificación están definidos con base en la masa total de la mezcla. [3] Obtenido según se indica en la norma AASHTO T 305-97 (2001), "*Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures*". [4] Obtenido según se indica en la norma ASTM C 29-09 "Standard metod of test for bulk density ("unit weight") and voids in aggregate". Este ensayo se ejecuta con la fracción gruesa del agregado de la mezcla.	

Tabla 6.2.8. Requisitos de calidad para el diseño de mezclas tipo SMA

Para la evaluación de las propiedades volumétricas indicadas en la Tabla 6.2.8, se debe realizar la compactación de los especímenes con la geometría del molde de 4", con el equipo de compactación giratorio Superpave, con un ángulo de giro de 1,25°, presión de 600 kPa a 100 giros.

Equipo y Cuidados en su Aplicación

La producción de mezclas asfálticas tipo SMA debe realizarse con equipos en buen estado, completamente funcionales y que cumplan con lo especificado a continuación.

a) Planta de Mezclado.

Las mezclas asfálticas en caliente tipo SMA deben fabricarse en plantas de producción continua o discontinua, capaces de manejar en frío el número de fracciones de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada. La planta donde se produzca la mezcla tipo SMA debe contar con un mínimo de tres tolvas para el material pétreo. Figura 6.2.9.



Figura 6.2.9. Planta de asfalto típica para producir mezcla asfáltica tipo SMA

La planta debe contar con un silo para el almacenamiento del "filler" de aporte, así como un sistema de dosificación del mismo, cuya operación será independiente del sistema utilizado para el resto de los agregados y proteger el material de la humedad.

La planta debe contar con un sistema de recuperación de finos ("baghouse") para evitar la contaminación y la pérdida del "filler" por la chimenea de la planta. El "filler" recuperado en el sistema anticontaminante, debe ser reingresado a la planta mediante un sistema de retorno que evite al máximo las pérdidas debidas al tiro del secador.

La planta contará también con un sistema de dosificación de la fibra. Este sistema debe permitir incorporar la cantidad especificada de fibra sin que se produzca destrucción de la misma por efecto de la llama del secador de agregado, o la pérdida de las mismas por el flujo de gases del mezclador.

Se recomienda que esta incorporación se haga a través del anillo para RAP (anillo de incorporación del material reciclado), mediante el sistema de adición de "filler" de aportación, o mediante una línea (ya sea neumática o dotada con un tornillo sinfín) paralela a la del suministro de asfalto (Figura 6.2.10). No se debe permitir la adición de la fibra en las tolvas de material pétreo ni en las bandas transportadoras de materiales hacia el secador.

El equipo para la elaboración de la mezcla SMA debe reunir las características que aseguren la obtención de la calidad exigida y permitan alcanzar una producción suficiente para cumplir con el plan de trabajo establecido.

Antes de iniciar la producción de la mezcla asfáltica, la planta de asfalto deberá calibrarse "en seco", para que cumpla con la curva granulométrica especificada en la fórmula de trabajo, sin adicionar el cemento asfáltico y verificándose ésta a la salida de la planta.



Figura 6.2.10. Incorporación de la fibra al tambor secador-mezclador

Se recomienda que el Contratista cuente con el soporte del proveedor de la fibra durante la producción en planta, para lograr el mejor aprovechamiento de la fibra y su correcta aplicación.

b) Medios de Transporte

El transporte de la mezcla desde la planta hasta el sitio donde se ejecuta la obra, se debe realizar con camiones de carga de caja lisa, perfectamente limpia. La caja del camión debe ser tratada con algún tipo de producto para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella; sin embargo, el uso de los agentes anti-adherentes se debe hacer con mucho cuidado para evitar colocarlos en exceso, dada la posibilidad existente de dañar la mezcla. No se debe permitir el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo, como por ejemplo diesel o aceites.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cubierta adecuada, debidamente ajustada a la caja, que cubra lateral y frontalmente la mezcla y con un solape mínimo de 0,30 m, para proteger la mezcla asfáltica durante su transporte. Esta condición debe observarse independientemente de la temperatura ambiente; no se debe permitir el empleo de cubiertas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla (tipo media sombra).

La forma y altura de la caja debe ser tal que durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a ésta através de los rodillos provistos para este efecto.

La cantidad de camiones disponibles deben ser suficientes para garantizar el transporte de la producción acordada.

c) Extendedora

La máquina extendedora - terminadora ("*finisher*") debe ser aprobada por la Dependencia responsable; debe ser autopropulsada y estar especialmente diseñada y construida para tender una carpeta delgada, aplicando un mínimo de pre-compactación.

La extendedora debe contar con un depósito-tolva de recepción y banda transportadora para evitar segregación y una regla vibrocompactadora.

Este equipo debe tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente a una velocidad controlada de 9 a 28 metros lineales por minuto, en 3,5 m de ancho.

Estos trabajos se deben realizar desde el centro de la corona, efectuando un ajuste vertical por medio de sus extensiones, hasta alcanzar el perfil y espesor especificados en el proyecto.

La mezcla **SMA** debe ser aplicada a la temperatura requerida, en función del tipo de asfalto utilizado y colocarse después de haberse aplicado el riego de liga.

La capacidad y potencia de los elementos utilizados debe ser adecuada al trabajo por realizar, debiendo cumplirse una perfecta sincronización entre la producción, el transporte y la distribución de la mezcla.

Se colocan los tornillos helicoidales de manera tal que lleguen aproximadamente a 0,20 m de los extremos de la caja de distribución. Se debe verificar que la altura del tornillo sinfín sea tal que su parte inferior se sitúe a no más de 2,5 veces el espesor de colocación de la capa.

Debe asegurarse que el giro del tornillo sinfín se realice en forma lenta y con el mínimo de detenciones, manteniendo a lo largo de toda la caja de distribución, mezcla asfáltica con una altura constante situada aproximadamente hasta el eje del mismo.

Se deben mantener continuas las operaciones de pavimentación, para evitar la irregularidad en la capa colocada.

d) Compactadores

Se deben utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados de 8 a 12 toneladas de masa, los cuales deben contar con inversores de sentido de marcha de acción suave, y dispositivos para la limpieza y humectación de los rodillos durante la compactación. Los rodillos metálicos de los compactadores no deben dejar surcos ni irregularidades; tampoco se deben utilizar en modo vibratorio. No se debe permitir el empleo de compactadores de neumáticos.

La compactación (acomodo) consiste en un mínimo de dos pasadas con los rodillos de tambor metálico liso, antes de que la temperatura del material sea menor a 150° C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre la mezcla SMA recién aplicada.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua, para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un perfil inadecuado.

Procedimiento de Ejecución

Para la aplicación de la mezcla asfáltica tipo SMA, los interesados pueden consultar la **Norma N·CSV·CAR·3·02·014/10** Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua Tipo SMA, de la Normativa SCT.

Se presenta a continuación el procedimiento de ejecución, basado en el contenido de la Norma citada, complementada con la actualización que propone el Comité de Capas de Rodadura de la Asociación Mexicana del Asfalto:

- **Estudio de las Mezclas y Determinación de la Fórmula de Trabajo**

La elaboración y puesta en obra de la mezcla SMA no se iniciará hasta que la Dependencia responsable y/o su Representante en obra, haya aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, diseñada en el laboratorio y verificada en la planta.

Esta fórmula de trabajo debe fijar como mínimo las siguientes características:

- La identificación y proporción de cada fracción de agregado para cada una de las tolvas de la planta de mezclado y, en su caso, después de su cribado en caliente, según el tipo de planta que se utilice para la elaboración de la mezcla.

- La granulometría de la combinación de agregados, incluido el polvo mineral (“filler”), empleando las mallas indicadas para cada tipo de mezcla.

- La identificación y dosificación del asfalto y, en su caso, la de polvo mineral de aportación, referida a la masa total de los agregados, y la de aditivos, referida a la masa del asfalto empleado.

- La identificación y dosificación de las fibras, referida a la masa total de la mezcla, típicamente del 0,3 %.

También se señalan:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el asfalto, en función del tipo de planta a utilizar.

- Las temperaturas máxima y mínima de calentamiento previo de agregados y asfalto, que deben estar dentro del rango recomendado por el fabricante. La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no debe ser superior a 180° C, salvo en plantas de tambor secador-mezclador, en las que no se excederá de los 165° C.

- En todos los casos, la temperatura mínima de la mezcla al salir del mezclador será aprobada por la Empresa Contratista o su Representante en la obra, de forma que la temperatura de la mezcla en la descarga de los camiones sea superior al mínimo fijado.

- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga en los elementos de transporte y a la salida de la extendedora, en ningún caso debe ser inferior a 135° C, para asfaltos convencionales y 150° C, para asfaltos modificados con polímero.

- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación, debe seguir las recomendaciones del proveedor del cemento asfáltico.

La fórmula de trabajo de las diferentes mezclas debe asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada, en lo referente al índice de perfil y a la resistencia a la fricción, según lo indicado más adelante.

Si durante la ejecución de la obra, la Dependencia responsable y/o su Representante lo consideran oportuno, se puede exigir la corrección de la fórmula de trabajo, que se justificará mediante los ensayos correspondientes. Se estudiará y aprobará una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes o si, durante la producción, se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este documento.

- **Preparación de la Superficie**

Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura con mezcla SMA, la superficie sobre la que se colocará debe estar debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de basura, piedras, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

- **Limitaciones Ambientales para la Ejecución**

La aplicación de la mezcla SMA debe ser suspendida en el momento en el que se presenten situaciones climáticas adversas y no deben reanudarse mientras éstas no sean adecuadas, considerando que no se pueden construir mezclas asfálticas en caliente cuando:

a) Exista agua libre o encharcada sobre la superficie.
b) Exista amenaza de lluvia.
c) La temperatura de la superficie sobre la cual será construida la capa de rodadura esté por debajo de los quince grados Celsius.

d) Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince grados Celsius y su tendencia sea a la baja (la temperatura ambiente será tomada a la sombra y lejos de cualquier fuente de calor artificial).

- **Aprovisionamiento de Agregados**

Cada fracción del agregado se debe almacenar por separado de las demás fracciones, para evitar contaminaciones. Si los almacenamientos se disponen sobre el terreno natural, no se deben utilizar sus 15 cm inferiores, a no ser que el terreno esté pavimentado. Los almacenamientos se deben realizar por capas de espesor no superior a 1,5 m y no por montones cónicos. Las cargas del material se deben colocar adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Los agregados se deben producir o suministrar en fracciones granulométricas diferenciadas, que se almacenan y manejan por separado, hasta su alimentación en las tolvas en frío. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y debe evitarse la segregación en su manejo. El número mínimo de fracciones debe ser de 3 fracciones para las mezclas tipo SMA.

Cuando se detecten anomalías en la producción o suministro de los agregados, se deben almacenar por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplica cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de una o más fracciones de agregado.

En el caso de obras pequeñas, con volumen total de agregados inferior a 5,000 m^3, antes de empezar la elaboración de la mezcla debe haberse almacenado la totalidad de los agregados. Si no es el caso, el volumen mínimo a exigir debe ser el treinta por ciento (30%), o el correspondiente a un mes de producción máxima, de la planta de elaboración de la mezcla.

- **Producción de la Mezcla SMA**

La carga de cada una de las tolvas de agregados en frío se debe realizar de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el 50 y 100% de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones entre fracciones.

Los dosificadores de agregados en frío se deben regular de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se debe ajustar a la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador o secador/mezclador, según sea el caso.

El secador se debe regular de forma que la combustión sea completa, lo que vendrá indicado por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea; la extracción por los colectores debe regularse de forma que la cantidad y la granulometría del polvo mineral recuperado sean uniformes.

En plantas de mezcla cuyo secador no sea a la vez mezclador, los agregados calentados y, en su caso, clasificados, se pesarán y se transportarán al mezclador. Si la alimentación de éste fuera discontinua, después de haber introducido los agregados y el polvo mineral, se debe agregar automáticamente el asfalto para cada bacha, y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En los mezcladores de las plantas que no sean de tambor secador-mezclador, se debe limitar el volumen del material, en general hasta 2/3 de la altura máxima que alcancen las paletas, de forma que para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo se alcance un recubrimiento completo y uniforme.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla, y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de asfalto. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no debe exceder de la fijada en la fórmula de trabajo.

En el caso de utilizar aditivos al asfalto o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación, la distribución homogénea y que no pierda las características previstas durante todo el proceso de elaboración, lo cual es el caso de la adición de fibras.

Previo al inicio de la producción se debe verificar que todos los instrumentos de control, especialmente los termómetros de la planta, estén calibrados y en buenas condiciones de operación.

Al cargar las tolvas de agregados, se debe tener cuidado de minimizar la segregación y degradación de los agregados. Se debe mantener suficiente material en todas las tolvas para proveer un flujo constante y uniforme.

La mezcla que se utilice para el arranque de producción y calibración de la planta de mezcla en caliente, debe ser desechada y no se debe mezclar con la producción controlada.

Se debe asegurar la continuidad del suministro de mezcla para evitar juntas frías y no se debe permitir la descarga de la mezcla a cargadores. Preferentemente la mezcla se debe cargar directamente a los camiones de transporte.

- **Almacenamiento y Transporte de la Mezcla SMA**

Si es necesario almacenar temporalmente la mezcla, se debe hacer en silos de almacenamiento; se recomiendan con aislamiento térmico, asegurándose de que la mezcla conserve la temperatura necesaria para que sea colocada, cumpliendo los requisitos de temperatura solicitados.

Antes de cada carga, el fondo y paredes de la caja de los camiones de transporte se deben mantener limpios y deben rociarse con un agente antiadherente, para evitar que se pegue la mezcla. La caja debe escurrirse previo a la carga de la mezcla. Pueden utilizarse agentes a base de silicón que son los más efectivos para estas aplicaciones. No se recomienda el uso de diesel como agente antiadherente (no funciona bien con otros agentes, y ocasionan problemas durante la pavimentación).

Para disminuir el riesgo de segregación de la mezcla, el procedimiento de carga al camión de transporte debe ser primero en la parte delantera de la caja, después en la parte trasera y finalmente en el centro.

La mezcla SMA se transportará en camiones desde la planta hasta la extendedora. Para evitar su enfriamiento superficial y que se contamine con polvo u otros materiales extraños, debe protegerse durante el transporte mediante lonas u otras cubiertas adecuadas. En el momento de descargarla en la extendedora, su temperatura no debe ser inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

Se debe observar que la distancia de transporte no debe exceder 60 km ó un tiempo de una hora y media; además el transporte debe hacerse sobre superficie pavimentada; en caso de que sea por terracerías o brechas, se debe cuidar el tiempo de acarreo hasta la extendedora.

Los acarreos de la mezcla asfáltica hasta el sitio de su utilización, se debe hacer de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construye la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. No debe permitirse que los camiones que transportan la mezcla asfáltica, hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida.

- **Tramo de Prueba**

Antes de la ejecución del proyecto, es requisito indispensable ejecutar un tramo de prueba con una longitud mínima de 200 m por un ancho de 7 m, como mínimo.

La construcción del tramo de prueba tiene como objetivos la calibración de la planta, la verificación de que la mezcla definida en la fórmula de trabajo puede ejecutarse, la evaluación de los equipos de tendido y compactación, así como revisar los procedimientos de puesta en obra.

En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con los objetivos antes mencionados, el Contratista debe ejecutar los tramos de prueba que sean necesarios hasta cumplir con todos los objetivos o en su caso, debe realizar los ajustes pertinentes a la fórmula de trabajo, para cumplir con los requisitos de diseño establecidos.

- **Tendido de la Mezcla SMA y Aplicación Previa del Riego de Liga**

A menos que el proyecto indique otra cosa, la extensión comienza por el borde inferior, y debe realizarse por franjas longitudinales. El ancho de estas franjas se fija de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta el ancho de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la capacidad de producción de la planta.

Cuando sea posible, se recomienda realizar la extensión a todo lo ancho de la calzada, trabajando si fuera necesario con dos o más extendedoras ligeramente desfasadas, para así evitar las juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se recomienda extender la siguiente franja mientras el borde de la primera se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se debe realizar una junta longitudinal en frío.

La mezcla SMA se debe extender en una sola capa. La extendedora se regula de forma que la superficie de la capa extendida resulte plana y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en el proyecto, con sus correspondientes tolerancias.

El riego de liga se aplica con la dosificación necesaria, tal que la cantidad de asfalto residual esté entre 0,20 y 0,40 l/m^2. Este valor es solo referencial, ya que la dosificación de emulsión puede variar en función de las características de la superficie donde se vaya a colocar la mezcla.

- **Compactación de la Mezcla**

La compactación para la mezcla SMA se realiza según el plan aprobado por la Dependencia responsable y/o su Representante en obra, de acuerdo con los resultados del tramo de prueba. La compactación se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo, sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida, y debe continuarse mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la mínima indicada en la fórmula de trabajo y se halle en condiciones de ser compactada.

La compactación se realiza longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realiza por franjas, al compactar una de ellas se ampliará la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros de la anterior. Figura 6.2.11.



Figura 6.2.11. Compactación de la mezcla tipo SMA

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora; los cambios de dirección se realizan sobre la mezcla ya compactada y los cambios de sentido se efectúan con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y húmedos.

No se deben utilizar rodillos neumáticos para la compactación de las mezclas SMA.

La capa asfáltica de rodamiento no debe ser abierta al tráfico, si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85° C.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la colocación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un inadecuado perfil.

- **Juntas Transversales y Longitudinales**

Al extender franjas longitudinales contiguas, cuando la temperatura de la franja extendida en primer lugar no sea superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, el borde de esta franja se cortará verticalmente, dejando al descubierto una superficie plana y vertical, en todo su espesor. A continuación, se aplica un riego de liga en la sección cortada y se extiende la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales de la mezcla en capa de pequeño espesor, se compactarán transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para el rodillo y se distanciarán en más de 5 m las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes.

Condiciones de Acabado y Aceptación

Una vez ejecutado el tendido y compactación de la mezcla SMA, generalmente se deben verificar los aspectos que se indican a continuación, para determinar que la obra ha cumplido con lo solicitado en el proyecto:

Densidad

Para las mezclas SMA la densidad alcanzada en sitio debe estar entre el rango del 94 al 96 % de la densidad teórica máxima de la mezcla (Gmm).

Espesor y Acabados Geométricos

El espesor y acabados geométricos de las capas de mezcla SMA deben cumplir con lo indicado en el proyecto y con las tolerancias indicadas en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·014/10** (SMA) para trabajos de conservación, de la Normativa SCT. En todos los perfiles se comprobará el ancho de extensión, que en ningún caso será inferior al indicado en el proyecto.

Regularidad Superficial

El índice de perfil de la capa construida con mezcla SMA debe cumplir con el método de medición y valores especificados en la **Norma N·CSV·3·02·005/10**, de la Normativa SCT. Se recomienda que sea corregida la superficie sobre la cual se va a aplicar la capa de rodadura; en caso de ser necesario, mediante fresado, de acuerdo a lo indicado en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·006/10** para trabajos de conservación u otro procedimiento que autorice la Dependencia responsable. Para determinar si se requiere la corrección, se debe evaluar la regularidad superficial en forma previa a los trabajos de colocación de la capa de rodadura.

Resistencia a la Fricción

La resistencia a la fricción de la mezcla SMA colocada, debe cumplir con lo indicado en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·014/10** (SMA) para trabajos de conservación. Figura 6.2.12.



Figura 6.2.12. Textura y acabados de una mezcla asfáltica tipo SMA

También es necesario comentar que la mezcla asfáltica tipo SMA debe cumplir con los requisitos de calidad y de acabado que se mencionan en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·014/10** Capas de Rodadura de Granulometría Discontinua Tipo SMA, de la Normativa SCT.

6.3 MEZCLA ASFÁLTICA TIPO CASAA

Características Particulares

La mezcla asfáltica denominada CASAA significa: "Capa Asfáltica Superficial Altamente Adherida", y forma parte de las mezclas que se han estado aplicando en México como capas de rodadura en carreteras de tránsito intermedio y alto; es aplicada tanto en pavimentos flexibles como en pavimentos de concreto hidráulico.

Consiste en una membrana homogénea de emulsión asfáltica polimerizada, como elemento para garantizar la impermeabilización y la alta adherencia, seguida de una capa delgada de concreto asfáltico polimerizado, de granulometría discontinua escalonada, con alta fricción interna y resistente a deformaciones, que provee una excelente macrotextura y capacidad drenante, para proporcionar una fricción adecuada y reducir el fenómeno de acuaplaneo; esta mezcla reduce el nivel del ruido y la pulverización de agua durante la lluvia, además de que no es susceptible a delaminaciones.

La mezcla tipo CASAA tiene una aplicación rápida y de pronta apertura al tránsito y es tendida con equipo sincronizado. Proporciona una apariencia estética y uniforme, de alta seguridad y confort para el usuario, con alto nivel de servicio y durabilidad.

En la Figura 6.3.1 se muestra de manera esquemática la aplicación de la membrana asfáltica modificada con polímero, seguida en forma sincronizada del tendido de la mezcla asfáltica en caliente tipo CASAA, para lograr una fuerte adherencia de la capa tendida con la superficie del pavimento.



Figura 6.3.1. Aplicación de la mezcla asfáltica tipo CASAA

Las características que diferencian a esta técnica, se comentan con mayor detalle a continuación:

Es una capa drenante, formada por una mezcla en caliente de granulometría discontinua (semi-abierta) de alta fricción interna (Figura 6.3.2), que reduce el acuaplaneo, es antiderrapante, retarda el agrietamiento, reduce el nivel de ruido, no presenta pérdida o desprendimiento de partículas, tiene una apariencia estética uniforme y permite una rápida apertura al tráfico.

Utiliza una membrana asfáltica, que consiste en una emulsión modificada con polímero, especialmente formulada y mezclada con los finos para formar una membrana polimerizada, la cual sella e impermeabiliza las grietas presentes en el pavimento y permite una mayor adherencia con la carpeta existente, como se muestra en la Figura 6.3.2. Esta membrana asfáltica tiende a subir hasta una tercera parte del espesor de la capa drenante.

Las propiedades de adhesión y buen comportamiento se logran utilizando como liga una emulsión asfáltica polimerizada, para permitir la rápida apertura al tráfico, mejorar la adhesión de la mezcla asfáltica CASAA con la superficie del pavimento, con menor sensibilidad al agua y mejor resistencia al agrietamiento, todo lo cual proporciona una capa de mayor durabilidad.



Figura 6.3.2. Textura con capacidad drenante de la mezcla CASAA

Para su aplicación, se utiliza un equipo de tendido sincronizado, que combina las funciones de una "petrolizadora" y de una "pavimentadora". Este equipo aplica de manera sincronizada la membrana asfáltica y la mezcla en caliente, entrando ambas en contacto en menos de 3 segundos, lo cual provoca que el agua presente en la membrana asfáltica se vaporice y la membrana asfáltica suba a través de los vacíos de la mezcla. Figuras 6.3.3 y 6.3.4.



Figuras 6.3.3. y 6.3.4. Detalles de la aplicación de la membrana asfáltica y la mezcla CASAA

Antecedentes

Este tipo de mezclas fueron desarrolladas a finales de los 80´s en Francia y se introdujeron en Estados Unidos a principios de los 90´s. Actualmente se utilizan en varios países, con buenos resultados.

El uso de la mezcla asfáltica tipo CASAA en nuestro país es más reciente; en el año 2002 se hizo el primer tramo de prueba y se empezó a tener amplia aceptación, de forma tal que el estado de la práctica nacional hoy en día ha logrado estándares internacionales. Este tipo de capas están debidamente probadas y documentadas, principalmente en países europeos y en los Estados Unidos de Norteamérica, por lo que realizar cambios técnicamente injustificados en los criterios de diseño, características de los materiales y equipos de producción y colocación, pueden afectar considerablemente su desempeño.

En la práctica actual en México, la mezcla CASAA presenta desempeños favorables cuando se apegan al diseño y prácticas recomendadas; no obstante, es necesario reforzar varios aspectos que permitan obtener aplicaciones consistentes y apegadas a los estándares internacionales.

Ventajas y limitaciones

La capa construida con la mezcla asfáltica tipo CASAA presenta las siguientes ventajas:

- Es una capa drenante que reduce el fenómeno de “acuaplaneo”
- Reduce sustancialmente los niveles de ruido provocados por el contacto neumático-superficie
- Es una aplicación rápida que puede abrirse al tráfico casi inmediatamente después de compactarla
- Su apariencia es estética y uniforme
- Es un tratamiento que ofrece resistencia a las fallas por roderas, ya que tiene una estructura mineral con alta fricción interna, provocada por el contacto entre agregados gruesos
- Es un tratamiento resistente a las fallas por fatiga, ya que la mezcla asfáltica es elaborada con asfalto modificado con polímero de alta recuperación elástica
- No es susceptible a “delaminaciones” (corrimientos), ya que la membrana asfáltica ancla la mezcla asfáltica con el pavimento existente
- No es susceptible a baches, ya que la membrana asfáltica impermeabiliza la superficie existente y sella grietas longitudinales o transversales
- Es un producto consistente, menos susceptible a condiciones particulares de la obra que otros tratamientos
- Recomendable para carreteras con alto volumen de tráfico
- Puede ser aplicado sobre concreto asfáltico, concreto hidráulico, o sobre otros tratamientos superficiales aplicados anteriormente

Sin embargo, es necesario comentar que la mezcla CASAA presenta las limitaciones siguientes:

- No es una capa estructural, por lo que no proporciona capacidad de carga al pavimento
- No es un tratamiento de mantenimiento correctivo, por lo que no resuelve fallas estructurales del pavimento existente

Condiciones para su Aplicación

En necesario considerar las condiciones que se mencionan a continuación, para la aplicación de una capa con mezcla tipo CASAA:

- El pavimento donde se aplique debe contar con una estructura suficiente, para la intensidad de tráfico y el periodo de servicio considerado en el proyecto.
- Las deformaciones permanentes que tenga el pavimento, no deben ser superiores a 9,5 mm (3/8”).
- Las grietas longitudinales y transversales que presente el pavimento deben ser de leves a moderadas, para que este tratamiento sea funcional.
- De manera similar, la superficie del pavimento no debe presentar exudaciones de asfalto severas, sino cuando mucho estar entre leves y moderadas.
- Previamente deben atenderse el bacheo superficial y profundo en el pavimento por tratar.
- Generalmente se recomienda que se aplique la mezcla CASAA como capa de rodadura, en donde exista previamente una capa asfáltica de granulometría densa, en la que se haya considerado su resistencia de aporte a la estructura del pavimento.

Materiales y Requisitos de Calidad

En México todavía no se cuenta con una Norma de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para el uso de la mezcla asfáltica tipo CASAA. Sin embargo, se dispone de una propuesta de Norma, formulada por el Comité Técnico de Capas de Rodadura, instituido por la Asociación Mexicana del Asfalto, el cual ha estado trabajando desde hace varios años, recopilando e investigando las aplicaciones y experiencias de la mezcla CASAA, así como de otras mezclas para capas de rodadura.

De esta propuesta de Norma, se presentan los requisitos de calidad para los materiales y la mezcla asfáltica tipo CASAA, considerando que están basados en las experiencias nacionales y en la adopción y selección de otras normas que aplican otros países para este tipo de mezcla.

Tipos de Agregados Pétreos por Utilizar

Los agregados que se utilicen en la mezcla tipo CASAA deben ser producto de trituración. Los agregados se deben producir y suministrar en fracciones granulométricas bien diferenciadas, las cuales se deben almacenar y manejar separadas.

Los agregados se deben manejar por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y debe evitarse su segregación. El número mínimo de fracciones debe ser de dos.

Cuando los agregados para estas mezclas pertenezcan a más de un solo banco, se debe asegurar que el mezclado del material de las diversas fuentes sea homogéneo, sin olvidar que las fracciones granulométricas se deben mantener diferenciadas para el proceso de dosificación.

Los agregados gruesos tales como grava triturada de roca de basalto, dolomita, andesita, granito, escoria o la mezcla de dos o más de estos materiales, se consideran potencialmente adecuados para ser empleados en mezclas de tipo SMA. No se permite el empleo de materiales pulimentables en capas de rodadura.

Se recomienda que las arenas utilizadas procedan en su totalidad de la trituración de roca. El material fino debe estar exento de grumos de arcilla, material vegetal, u otras materias potencialmente dañinas, para lograr el comportamiento previsto de la mezcla.

En las regiones donde únicamente se cuente con agregados calizos y pulimentables, se puede utilizar este tipo de materiales, considerando un desgaste de Los Ángeles ≤ 30% y coeficiente de pulimento ≥ 25%, y tomando en cuenta que la vida útil de la capa de rodadura será menor, dependiendo del tránsito vehicular.

Granulometría y Tipos de Mezcla CASAA

La granulometría del agregado para la mezcla tipo CASAA debe satisfacer lo que se especifica y dentro de los límites listados en la Tabla 6.3.1 para cada tipo de mezcla. Es recomendable que el tamaño nominal de la mezcla guarde una relación mínima de 1 : 2.5, con relación al espesor de la capa. En este caso 1 corresponde al tamaño nominal y 2,5 al espesor.

Las recomendaciones para las granulometrías, espesores de capas y tipos de vías en que se aplican las capas de rodadura en caliente, se indican en las Tablas 6.3.1 y 6.3.2.

	Límites granulométricos (composición en peso)		
	Tipo "A"	Tipo "B"	Tipo "C"
Tamaño Nominal	4,75 mm (Núm.4)	9,5 mm (3/8")	12,5 mm (1/2")
Abertura o Núm de Malla (ASTM)	% que Pasa		
15,8 mm (5/8")			100
12,5 mm (1/2")		100	85 - 100
9,5 mm (3/8")	100	85 - 100	60 - 80
Núm 4	40 - 55	28 - 36	28 - 36
Núm 8	22 - 32	20 - 32	20 - 32
Núm 16	15 - 25	15 - 23	15 - 23
Núm 30	10 - 18	10 - 18	10 - 18
Núm 50	8 - 13	9 - 13	8 - 13
Núm 100	6 - 10	6 - 10	6 - 10
Núm 200	4 - 7	4 - 7	4 - 7

Tabla 6.3.1. Límites granulométricos de las mezclas tipo CASAA

Clasificación de la mezcla CASAA	Espesor mínimo para capas nuevas sobre pavimentos reconstruidos o caminos nuevos (mm)	Espesor mínimo para capas con fallas funcionales menores (mm)	Tipo de vía en la que se aplica
Tipo "A"	15	20	Adecuado para pistas de aterrizaje en aeropuertos.
Tipo "B"	20	25	Adecuado para vialidades urbanas de alto tránsito.
Tipo "C"	25	37.5	Adecuado para carreteras y autopistas.

Tabla 6.3.2. Espesores mínimos y tipo de vía en la que se aplica la mezcla asfáltica CASAA

Requisitos de Calidad del Agregado Grueso

El agregado grueso (material pétreo retenido en la malla Núm 4 para el sistema CASAA) debe cumplir con los requisitos de calidad que se muestran en la Tabla 6.3.3.

Cuando el agregado grueso para estas mezclas provenga de más de una fuente, o de más de un solo banco, deberán mezclarse proporcionalmente hasta obtener una mezcla homogénea.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Desgaste de Los Ángeles, %	ASTM C131-06	25 máx.
Partículas planas y alargadas, % (5:1)	ASTM D4791-10 Método B	5 máx.
Absorción, %	ASTM C127-12	3 máx.
Intemperismo (5 ciclos), %	ASTM C88-05	
	Sulfato de sodio	15 máx.
	Sulfato de magnesio	20 máx.
Partículas trituradas, %	ASTM D5821-01 (2006)	
	Una cara	100 mín.
	Dos caras	90 mín.
Afinidad Ligante-agregado[1], %	RA 08/2010	10 máx.
Pulimento acelerado, %	TEX 438-A/1999	30 mín.
Desgaste MicroDeval	ASTM D6928-10	15 máx.

[1] En caso de desprendimientos mayores, debe emplearse aditivo promotor de adherencia en la dosificación necesaria para cumplir con el requisito establecido.

Tabla 6.3.3. Requisitos de calidad del agregado grueso para las mezclas de capas de rodadura en caliente

Requisitos de Calidad del Agregado Fino

El agregado fino (material que pasa la malla Núm 4) para mezclas CASAA, constituye parte del "asphalt mastic" (mastique asfáltico) y deberá cumplir los requisitos indicados en la Tabla 6.3.4.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Equivalente de arena, %	ASTM D2419-09	55 mín.
Azul de metileno (en materiales que pasan la malla 200)*	RA05/2008	12 máx.
Angularidad, %	AASHTO T304-11	45 mín.
**Se podrán usar materiales con valores de azul de metileno comprendidos en el rango de 12 a 15 mg/g, siempre y cuando se obtengan valores de TSR mayores a 80%.*		

Tabla 6.3.4. Requisitos de calidad del agregado fino para las mezclas de capas de rodadura en caliente

"Filler" o Polvo Mineral

El "filler" o polvo mineral utilizado en la mezcla CASAA, es la fracción de material que pasa la malla Núm 200 (0,075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos.

El "filler" de aporte puede ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de aglomeraciones cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y presentar valores de azul de metileno no mayores de 12 mg/g, acorde a la recomendación **AMAAC RA 05/2008** "Determinación del valor de azul de metileno para filler y finos".

Emulsión para Riego de Liga

Con relación al riego de liga para la capa de mezcla tipo CASAA, el material debe ser una emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero, cuyas características serán las que se indican en la Tabla 6.3.5.

Pruebas en la Emulsión Original	Método	Mín.	Máx.
Viscosidad, Saybolt Furol @ 25°C, s	M·MMP·4·05·004/00	20	100
Estabilidad al almacenaje (asentamiento a 24 horas), %	AASHTO T59-13		1
Retenido en malla Núm. 20	M·MMP·4·05·0014/02		0,05
Residuo de la destilación[1], %	M·MMP·4·05·012/00	63	
Demulsibilidad, %	M·MMP·4·05·018/07	60	
Pruebas en el Residuo de la Destilación			
Penetración @ 25 °C	M·MMP·4·05·006/00	60	150
Recuperación elástica, 10°C, %	M·MMP·4·05·026/02	60	
[1]**Nota:** Método modificado para incluir una temperatura máxima de 204° C ± 12° C, la cual deberá ser sostenida por un período de 15 minutos.			

Tabla 6.3.5. Requisitos de emulsión asfáltica modificada utilizada en riego de liga para mezcla tipo CASAA

Agente Estabilizador

Para la mezcla tipo CASAA, las fibras tienen la función de inhibir el escurrimiento de asfalto. La dosificación de las mismas será del 0,3% o más, para asegurar que previenen el escurrimiento de asfalto de acuerdo a la **Norma AASHTO T305-97** (2001), "Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures". Las fibras más utilizadas para este objetivo son de celulosa, minerales y acrílicas.

Las fibras deben ser suministradas al sistema, de tal forma que se asegure la disgregación y distribución homogénea de las mismas al momento de ser incorporadas a la mezcla.

Aditivos Promotores de Adherencia

Cuando la mezcla no cumpla los requisitos de Resistencia al Daño inducido por Humedad (TSR) y/o Desprendimiento por Fricción, se pueden utilizar aditivos promotores de adherencia para cumplir dichos requisitos. El método de incorporación de aditivos debe asegurar una dosificación y dispersión homogéneas, dentro de la mezcla.

Asfalto

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla tipo CASAA será modificado con polímero tipo I y debe cumplir con la **Norma N·CMT·405·004** Calidad de materiales asfálticos grado PG, de la Normativa SCT así como con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 6.3.6.

El grado PG se selecciona en función de las condiciones de clima y tránsito del proyecto, de acuerdo con la Normativa SCT vigente.

Pruebas	Método	Mín.	Máx.
Separación de Polímero	M·MMP·4·05·022		2°C
Recuperación Elástica a 25°C después de RTFO	M·MMP·4·05·026	65%	
Recuperación torsional a 25°C	M·MMP·4·05·024	35%	
Punto de reblandecimiento	M·MMP·4·05·009	55°C	

Tabla 6.3.6. Requisitos de calidad del cemento asfáltico modificado con polímero Tipo I

Características de la Mezcla Asfáltica Tipo CASAA

Cada capa de rodadura se diseña de acuerdo a lo indicado en los puntos siguientes. No aplica el método Marshall para el diseño de estas capas.

Para la evaluación de los vacíos en la mezcla, se debe realizar la compactación de los especímenes para alcanzar las dimensiones de 10 cm de diámetro por 63,5 ± 2,5 mm de altura, realizando la compactación con el compactador giratorio, dando 50 giros. El método sugerido para la obtención de los vacíos de la mezcla es el método de la parafina, según se describe en el procedimiento **ASTM D1188-07**. "Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples"

Para las mezclas CASAA el espesor de película asfáltica debe ser de 9 micrones como mínimo cuando se calcula utilizando el Contenido de Asfalto Efectivo, considerando el área superficial del agregado. Los factores para la determinación del área superficial serán conforme se especifican en el Manual del Instituto Americano del Asfalto MS-2 "Métodos para el diseño de mezclas para concreto asfáltico y otros tipos de mezclas en caliente".

La mezcla debe presentar un escurrimiento de asfalto máximo de 0,3% de acuerdo al método de prueba **AASHTO T305-97 (2001)** "Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures". La prueba de escurrimiento debe ser corrida con el contenido óptimo de asfalto más 0,5 y a una temperatura de 15° C por arriba de la máxima de mezclado.

Para medir la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica se debe emplear la Prueba de tensión indirecta **Norma ASTM D4867-09**, "Effect of moisture on asphalt concrete paving mixtures", debiendo tener un resultado mínimo de 80%.

Los especímenes para esta prueba deben ser de 100 mm de diámetro y compactados en el compactador giratorio Superpave de acuerdo a la **Norma ASTM D6925-09** "Preparation and determination of the relative density of hot mix asphalt (HMA) specimens by means of the superpave gyratory compactor". Un ciclo de congelamiento de 16 horas deberá ser aplicado antes de realizar la prueba. Las temperaturas de mezclado y compactación deben ser las recomendadas por el proveedor del producto asfáltico. Para la fabricación de los especímenes, la mezcla asfáltica debe ser compactada en el Compactador Giratorio Superpave a 100 giros, con un ángulo de 1,25° y 600 kPa de presión.

Contenido Óptimo de Asfalto y Propiedades de la Mezcla CASAA

Para las mezclas tipo CASAA, la selección del contenido de asfalto estará en función del cumplimiento de las propiedades siguientes:

- Espesor de película efectiva: 9 micrones mínimo
- Drene (escurrimiento de asfalto) **AASHTO T305**: 0,3% máximo
- TSR **Norma ASTM D4867-09**, "*Effect of moisture on asphalt concrete paving mixtures*": 80% mínimo

Requerimientos para el diseño volumétrico:

- Vacíos del agregado mineral (VAM): 20%, mínimo
- Vacíos de aire (Va): 13 a 25%

Las Propiedades volumétricas deben ser determinadas conforme se especifica en el Protocolo AMAAC de diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño **PA-MA 01/2013**.

Equipo y Cuidados en su Ejecución

La producción de mezclas asfálticas debe realizarse con equipos en buen estado, completamente funcionales y que cumplan con lo especificado a continuación.

a) Planta de Mezclado

Las mezclas asfálticas en caliente CASAA deben fabricarse en plantas de producción continua o discontinua, capaces de manejar en frío, el número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada.

La planta debe contar con un silo para el almacenamiento del filler de aporte, así como un sistema de dosificación del mismo, cuya operación sea independiente del sistema utilizado para el resto de los agregados y proteger el material de la humedad.

La planta debe contar con un sistema de recuperación de finos (baghouse) para evitar la contaminación y la pérdida del filler por la chimenea de la planta. El filler recuperado en el sistema anticontaminante debe ser reingresado a la planta mediante un sistema de retorno que evite al máximo las pérdidas debidas al tiro del secador.

Adicionalmente y solamente en el caso de que el diseñador de la mezcla decida incorporar, fibra a la misma, la planta debe contar con un sistema de dosificación de las fibras. Este sistema debe permitir incorporar la cantidad especificada sin que se produzca destrucción de las mismas por efecto de la llama del secador de agregado o la pérdida de las mismas por el flujo de gases del mezclador.

Se recomienda que esta incorporación se haga a través del anillo para RAP (anillo de incorporación del material reciclado), mediante el sistema de adición de filler de aportación o mediante una línea (ya sea neumática o dotada con un tornillo sinfín) paralela a la del suministro de asfalto. No se permite la adición de fibra en las tolvas de material pétreo ni en las bandas transportadoras de materiales hacia el secador.

El equipo para la elaboración de las mezclas debe reunir las características que aseguren la obtención de la calidad exigida y permita alcanzar una producción suficiente para cumplir con el plan de trabajo establecido.

Antes de iniciar la producción de la mezcla asfáltica, la planta de asfalto debe calibrarse “en seco”, para que cumpla con la curva granulométrica especificada en la fórmula de trabajo, sin adicionar el cemento asfáltico y verificándose ésta a la salida de la planta.

Se recomienda que el contratista cuente con el soporte del proveedor de la fibra, durante la producción en planta, para lograr el mejor aprovechamiento de la fibra y su correcta aplicación.

b) Medios de Transporte

El transporte de la mezclas, desde la planta hasta el sitio donde se ejecuta la obra, se realiza con camiones de carga de caja lisa, perfectamente limpia. La caja del camión debe ser tratada con algún tipo de producto para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella; sin embargo el uso de los agentes anti-adherentes se debe hacer con mucho cuidado para evitar colocarlos en exceso, dada la posibilidad existente de dañar la mezcla. No se permitirá el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo, como por ejemplo diesel o aceites.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cubierta adecuada debidamente ajustada a la caja, que cubra lateral y frontalmente la mezcla y con un solape mínimo de 0,30 m, para proteger la mezcla asfáltica durante su transporte. Esta condición debe observarse independientemente de la temperatura ambiente; no se permite el empleo de cubiertas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla (tipo media sombra).

La forma y altura de la caja debe ser tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos provistos para este efecto.

La cantidad de camiones disponibles debe ser suficientes para garantizar el transporte de la producción acordada.

c) Extendedora

La máquina extendedora-terminadora (*finisher*) será aprobada por la Dependencia Responsable; debe ser autopropulsada, estar especialmente diseñada y construida para tender una carpeta delgada aplicando un mínimo de pre-compactación.

La extendedora debe contar con un depósito-tolva de recepción y banda transportadora para evitar segregación y una regla vibrocompactadora. Cuando se requiera, debe disponer de tanque de almacenamiento de emulsión asfáltica catiónica, sistema medidor por volumen de la emulsión asfáltica, y barra de espreas con sistema de calentamiento (de longitud variable).

Asimismo, este equipo debe ser capaz de rociar la emulsión asfáltica aplicando la capa de mezcla en caliente y nivelando la superficie en una misma acción y en forma sincronizada. Figura 6.3.5.



Figura 6.3.5. Extendedora de la mezcla asfáltica tipo CASAA

Este equipo debe tener la capacidad de aplicar la mezcla en caliente a una velocidad controlada de 9 a 28 metros lineales/min, en 3,5 m de ancho.

Estos trabajos se realizan desde el centro de la corona, realizando un ajuste vertical por medio de sus extensiones, hasta alcanzar el perfil y espesor especificados en el proyecto.

Para espesores de capa de 3 cm o menores, es recomendable el empleo de equipo de tendido con riego de liga sincronizado.

La capacidad y potencia de los elementos utilizados debe ser adecuada al trabajo por realizar, debiendo cumplirse una perfecta sincronización entre la producción, el transporte y la distribución de la mezcla.

Colocar los tornillos helicoidales de manera tal que lleguen aproximadamente a 0,20 m de los extremos de la caja de distribución. Se debe verificar que la altura del tornillo sinfín sea tal que su parte inferior se sitúe a no más de 2,5 veces el espesor de colocación de la capa.

Asegurar que el giro del tornillo sinfín se realice en forma lenta y con el mínimo de detenciones, manteniendo a lo largo de toda la caja de distribución mezcla asfáltica con una altura constante, situada aproximadamente hasta el eje del mismo.

Mantener continuas las operaciones de pavimentación, para evitar la irregularidad en la capa colocada.

d) Compactadores

Utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados de 8 a 12 ton de masa, los cuales deben contar con inversores de sentido de marcha de acción suave y dispositivos para la limpieza y humectación de los rodillos durante la compactación. Los rodillos metálicos de los compactadores no deben dejar surcos ni irregularidades, tampoco se deben utilizar en modo vibratorio. No se permite el empleo de compactadores de neumáticos.

La compactación (acomodo) consiste en un mínimo de dos pasadas con los rodillo de tambor metálico liso, antes de que la temperatura del material sea menor a 150° C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo.

El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un perfil inadecuado.

Procedimiento Constructivo

Se presenta a continuación el procedimiento de ejecución, basado en la propuesta del Comité de Capas de Rodadura de la Asociación Mexicana del Asfalto:

1. Estudio de las mezclas y determinación de la fórmula de trabajo

La elaboración y puesta en obra de la mezcla CASAA no se inicia hasta que la Dependencia responsable y/o su Representante en obra, hayan aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, diseñada en el laboratorio y verificada en la planta.

Esta fórmula de trabajo fija como mínimo las siguientes características:

- La identificación y proporción de cada fracción de agregado para cada una de las tolvas de la planta de mezclado y, en su caso, después de su cribado en caliente, según el tipo de planta que se utilice para la elaboración de la mezcla.
- La granulometría de la combinación de agregados, incluido el polvo mineral (“filler”), empleando las mallas indicadas para cada tipo de mezcla.
- La identificación y dosificación del asfalto y en su caso, la de polvo mineral de aportación, referida a la masa total de los agregados, y la de aditivos, referida a la masa del asfalto empleado.
- La identificación y dosificación de las fibras, referido a la masa total de la mezcla, típicamente del 0,3%.

También se señala:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el asfalto, en función del tipo de planta a utilizar.
- La temperatura máxima y mínima de calentamiento previo de agregados y asfalto, que deben estar dentro del rango recomendado por el fabricante. La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no debe ser superior a 180° C, salvo en plantas de tambor secador-mezclador, en las que no excede de los 165° C.
- En todos los casos, la temperatura mínima de la mezcla al salir del mezclador será aprobada por la Empresa Contratista o su Representante en la obra, de forma que la temperatura de la mezcla en la descarga de los camiones sea superior al mínimo fijado.

- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga en los elementos de transporte y a la salida de la extendedora, en ningún caso debe ser inferior a 135° C, para asfaltos convencionales y 150° C, para asfaltos modificados con polímero.
- La temperatura mínima de la mezcla al iniciar y terminar la compactación, debe seguir las recomendaciones del proveedor del cemento asfáltico.

La fórmula de trabajo de las diferentes mezclas debe asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente al índice de perfil y a la resistencia a la fricción, según lo indicado en este documento.

Si durante la ejecución de la obra, la Dependencia Responsable y/o su Representante lo consideran oportuno, se podrá exigir la corrección de la fórmula de trabajo, que se justifica mediante los ensayos correspondientes. Se estudia y aprueba una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes o si, durante la producción, se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este documento.

2. Preparación de la Superficie

Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura con mezcla CASAA, la superficie sobre la que se coloca debe estar debidamente terminada dentro de las líneas y niveles, exenta de basura, piedras, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

3. Limitaciones Ambientales para la Ejecución

La aplicación de la mezcla CASAA debe ser suspendida en el momento en el que se presenten situaciones climáticas adversas y no se reanudarán mientras éstas no sean adecuadas, considerando que no se construirán mezclas asfálticas en caliente cuando:

a) Exista agua libre o encharcada sobre la superficie.
b) Exista amenaza de lluvia.
c) La temperatura de la superficie sobre la cual será construida la capa de rodadura esté por debajo de los quince grados Celsius.
d) Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince grados Celsius y su tendencia sea a la baja (la temperatura ambiente será tomada a la sombra y lejos de cualquier fuente de calor artificial).

4. Aprovisionamiento de Agregados

Cada fracción del agregado se acopia separada de las demás, para evitar contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural no se utilizarán sus 15 cm inferiores, a no ser que el terreno esté pavimentado. Los acopios se construyen por capas de espesor no superior a 1,5 m, y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Los agregados se producen o suministran en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopian y manejan por separado hasta su introducción en las tolvas en frío. Cada fracción será suficientemente homogénea y se puede acopiar y manejar sin peligro de segregación. El número mínimo de fracciones será de dos para las mezclas tipo CASAA.

Cuando se detecten anomalías en la producción o suministro de los agregados, se acopian por separado hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplica cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de una o más fracciones de agregado.

En el caso de obras pequeñas, con volumen total de agregados inferior a 5000 m^3, antes de empezar la fabricación debe haberse acopiado la totalidad de los agregados. En otro caso, el volumen mínimo a exigir es el treinta por ciento (30%) ó el correspondiente a un mes de producción máxima de la planta de fabricación.

5. Producción de la Mezcla CASAA

La carga de cada una de las tolvas de agregados en frío se realiza de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el 50 y 100% de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se toman las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones entre fracciones.

Los dosificadores de agregados en frío se regulan de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se ajusta a la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador o secador/mezclador, según sea el caso.

El secador se regula de forma que la combustión sea completa, lo que es indicado por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea; la extracción por los colectores debe regularse de forma que la cantidad y la granulometría del polvo mineral recuperado sean uniformes.

En plantas de mezcla cuyo secador no sea a la vez mezclador, los agregados calentados y, en su caso, clasificados, se pesan y se transportan al mezclador. Si la alimentación de éste fuera discontinua, después de haber introducido los agregados y el polvo mineral se agrega automáticamente el asfalto para cada bacha y se continúa la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En los mezcladores de las plantas que no sean de tambor secador-mezclador, se limita el volumen del material, en general hasta 2/3 de la altura máxima que alcancen las paletas, de forma que para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo se alcance un recubrimiento completo y uniforme.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de asfalto. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no debe exceder de la fijada en la fórmula de trabajo.

En el caso de utilizar aditivos al asfalto o a la mezcla, se cuida su correcta dosificación, la distribución homogénea y que no pierda las características previstas durante todo el proceso de fabricación; tal es el caso del agente estabilizador.

Previo al inicio de la producción se verifica que todos instrumentos de control, especialmente los termómetros de la planta, estén calibrados y en buenas condiciones de operación.

Al cargar las tolvas de agregado, se tiene cuidado de minimizar la segregación y degradación del agregado. Se mantiene suficiente material en todas las tolvas para proveer un flujo constante y uniforme.

La mezcla que se utilice para el arranque de producción y calibración de la planta de mezcla en caliente debe ser desechada y no se mezclará con la producción controlada.

Se asegura la continuidad del suministro de mezcla para evitar juntas frías y no se descarga la mezcla a cargadores. Preferentemente la mezcla se debe cargar directamente a los camiones de transporte.

6. Almacenamiento y Transporte de la Mezcla CASAA

Si es necesario almacenar temporalmente la mezcla, se hace en silos de almacenamiento, se recomiendan con aislamiento térmico, asegurándose de que la mezcla conserve la temperatura necesaria para que sea colocada cumpliendo los requisitos de temperatura solicitados.

El fondo y paredes de la caja de los camiones de transporte se deben mantener limpios y se rocían con un agente antiadherente, antes de cada carga, para evitar que se pegue la mezcla. La caja debe escurrirse previo a la carga de la mezcla. Pueden utilizarse agentes a base de silicón, que son los más efectivos para estas aplicaciones. No se recomienda el uso de diesel como agente antiadherente (no funciona bien con otros agentes y creará problemas durante la pavimentación).

Para disminuir el riesgo de segregación de la mezcla, el procedimiento de carga al camión de transporte será primero en la parte delantera de la caja, después en la parte trasera y finalmente en el centro.

Las diferentes mezclas se transportan en camiones desde la planta hasta la extendedora. Para evitar su enfriamiento superficial y que se contamine con polvo u otros materiales extraños, debe protegerse durante el transporte mediante lonas u otras cubiertas adecuadas. En el momento de descargarla en la extendedora, su temperatura no debe ser inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

Se debe observar que la distancia de transporte no exceda 60 km o un tiempo de una hora y media y siempre se debe hacer sobre superficie pavimentada; en caso que sean por terracerías o brechas, cuidar el tiempo de acarreo hasta la extendedora.

Los acarreos de la mezcla asfáltica hasta el sitio de su utilización, se hacen de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construirá la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. No se permite que los camiones que transportan la mezcla asfáltica hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida.

7. Tramo de Prueba

Antes de la ejecución del proyecto, es requisito indispensable ejecutar un tramo de prueba con una longitud mínima de 200 m por un ancho de 7 m como mínimo. La construcción del tramo de prueba tiene como objetivos la calibración de la planta, la verificación de que la mezcla definida en la fórmula de trabajo pueda ejecutarse, la evaluación de los equipos de tendido y compactación, así como revisar los procedimientos de puesta en obra.

En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con los objetivos antes mencionados, el Contratista debe ejecutar los tramos de prueba que sean necesarios, hasta cumplir con todos los objetivos o en su caso, realizar los ajustes pertinentes a la fórmula de trabajo, para cumplir con los requisitos de diseño establecidos.

8. Tendido de la Mezcla CASAA y Aplicación del Riego de Liga

A menos que se indique otra cosa, la extensión comienza por el borde inferior y se realiza por franjas longitudinales. La anchura de estas franjas se fija de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la capacidad de producción de la planta.

Cuando sea posible se recomienda realizar la extensión a todo lo ancho de la calzada, trabajando si fuera necesario con dos o más extendedoras ligeramente desfasadas, para así evitar las juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se recomienda extender la siguiente franja mientras el borde de la primera se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se ejecuta una junta longitudinal en frío.

Las diferentes mezclas se extienden en una sola capa. La extendedora se regula de forma que la superficie de la capa extendida resulte plana y uniforme, sin segregaciones ni arrastres, y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en el proyecto, con sus correspondientes tolerancias (Figura 6.3.6).



Figura 6.3.6. Tendido de la mezcla asfáltica tipo CASAA

El concreto asfáltico de mezcla en caliente debe ser aplicado a una temperatura entre 150 a 165° C ó conforme a lo recomendado por el proveedor del producto asfáltico y debe ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado la membrana de emulsión sobre toda la superficie de aplicación.

La Membrana de Emulsión de Asfalto Modificado con Polímero sin diluir, debe ser rociada por la barra del equipo a una temperatura entre 50 a 75° C ó conforme a la recomendada por el proveedor del producto asfáltico.

La extensión se realiza con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendedora a la producción de la planta. En caso de parada, se comprueba que la temperatura de la mezcla que quede sin extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no esté por debajo de lo indicado en la fórmula de trabajo para el inicio de la compactación; de lo contrario, se desechará y se ejecutará una junta transversal.

Para la mezcla CASAA la dosificación de la membrana asfáltica sin diluir es considerada en el orden de 0,80 a 1,30 l/m^2. Los ajustes de campo en dosificación deben ser determinados en base a las condiciones de la superficie del pavimento existente, con el objetivo de lograr una completa impermeabilización

9. Compactación de la Mezcla

La compactación se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo, sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida; debe continuarse mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la mínima indicada en la fórmula de trabajo y se halle en condiciones de ser compactada.

La compactación se realiza longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realiza por franjas, al compactar una de ellas se amplía la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora; los cambios de dirección se realizan sobre mezcla ya compactada y los cambios de sentido se efectúan con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y húmedos.

La capa asfáltica de rodadura no debe ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85° C.

Para la mezcla CASAA la compactación (acomodo) consiste en dos pasadas con los rodillos de tambor metálico liso de peso entre 8 y 10 toneladas, antes de que la temperatura del material sea menor a 150° C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua para evitar la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación puede causar la disgregación del material o un perfil inadecuado.

10. Juntas Transversales y Longitudinales

Al extender franjas longitudinales contiguas, cuando la temperatura de la extendida en primer lugar no sea superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, el borde de esta franja se debe cortar verticalmente, dejando al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor. A continuación, se aplica un riego de liga en la sección cortada y se extiende la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales de la mezcla en capa de pequeño espesor, se compactan transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para el rodillo y distanciado en más de 5 m las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes.

Condiciones de Acabado y Aceptación

Una vez ejecutado el tiro y compactación de la mezcla, se deben verificar los aspectos indicados más adelante, para determinar que la obra ha cumplido con lo solicitado. Figuras 6.3.7 y 6.3.8.

Densidad

Para las mezclas CASAA la densidad alcanzada en sitio debe estar entre el rango del 75 al 87% de la densidad teórica máxima de la mezcla (Gmm).

Espesor y Acabados Geométricos

El espesor y acabados geométricos de las capas de mezcla CASAA deben cumplir con lo indicado en el proyecto y con las tolerancias prescritas en la **Norma SCT N·CSV·CAR·3·02·014/10** para trabajos de conservación, de la Normativa SCT. En todos los perfiles se comprobará el ancho de extensión, que en ningún caso será inferior al indicado en el proyecto.

Regularidad Superficial

El índice de perfil de la capa construida con mezcla CASAA debe cumplir con el método de medición y valores especificados en la **Norma N·CSV·3·02·005/10**, de la Normativa SCT. Se recomienda que sea corregida la superficie sobre la cual se va a aplicar la capa de rodadura, en caso de ser necesario, mediante fresado, de acuerdo a lo indicado en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·006/10** para trabajos de conservación u otro procedimiento que autorice la Dependencia responsable. Para determinar si se requiere la corrección, se debe evaluar la regularidad superficial, en forma previa a los trabajos de colocación de la capa de rodadura.

Resistencia a la Fricción

La resistencia a la fricción de la mezcla CASAA colocada, debe cumplir con lo indicado en la **Norma** SCT **N·CSV·CAR·3·02·014/10** para trabajos de conservación.



Figuras 6.3.7 y 6.3.8. Aspectos de acabado de la mezcla asfáltica CASAA

6.4 MEZCLA ASFÁLTICA DE GRANULOMETRÍA ABIERTA (OPEN GRADED)

Características Particulares

La mezcla asfáltica de granulometría abierta **(Open Graded Friction Course: OGFC) e**s una mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico modificado con un polímero elastomérico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal de 12,5 milímetros.

Generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad de permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el "acuaplaneo", se reduce la cantidad de agua que se proyecta sobre los vehículos adyacentes, reduce el ruido y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Figura 6.4.1.



Figura 6.4.1. La mezcla "drenante" reduce el agua proyectada y pulverizada por el paso de los vehículos

La mezcla asfáltica de granulometría abierta, también denominada: "drenante", forma parte de las mezclas que se han estado aplicando en México para capas de rodadura en carreteras de tránsito intermedio y alto, y es aplicable principalmente a pavimentos flexibles.

La baja proporción de material pétreo intermedio y de finos, así como el elevado porcentaje de vacíos que son aspectos típicos de este tipo de mezclas, propicia que el agua pluvial logre infiltrarse a través de la capa asfáltica, desalojándose lateralmente por el interior de esta capa y la capa inferior de apoyo, que debe ser impermeable. En la Figura 6.4.2 se muestra, de manera bastante objetiva, el desempeño de una capa construida con mezcla asfáltica de granulometría abierta.

Las mezclas "drenantes" constituyen un tipo particular de capa de rodadura en el pavimento, que fueron inicialmente concebidas para mejorar la circulación con lluvia y evitar el problema de "acuaplaneo" o hidroplaneo.

La presencia de agua sobre el pavimento dificulta el contacto del neumático con la superficie del firme, dando lugar a que se produzcan con mayor facilidad ocasiones para el deslizamiento y el vuelco de los vehículos que circulen a altas velocidades.



Figura 6.4.2. Desempeño objetivo de una capa asfáltica "drenante"

Con objeto de mejorar la adherencia neumático-pavimento con lluvia o en presencia de agua, se ha desarrollado este tipo de mezcla asfáltica, que facilita la evacuación del agua a través de ella y el contacto neumático-pavimento.

Antecedentes

Las mezclas de granulometría abierta o "drenantes", fueron inicialmente desarrolladas en los EUA entre los años 40's, donde se empleaban como capas de pequeño espesor (2.5 cm aproximadamente) con el objetivo de renovar la textura superficial de pavimentos deslizantes. Este empleo no suponía, sin embargo, un aprovechamiento integral de sus posibilidades y no se tenía en cuenta, al menos de una forma específica, la mejora que para la comodidad y seguridad de conducción supone la capacidad drenante.

En Europa las mezclas asfálticas "drenantes" fueron desarrolladas en Francia en 1968, donde la experiencia mostró que al cabo de diez años, aún colmatadas (bloqueo por la acumulación de sedimentos), mantenían una buena rugosidad superficial y un aceptable drenaje superficial.

A mediados de los años setenta, la utilización de asfaltos modificados con polímero permitió mejorar sus características reológicas (características elásticas, plásticas y viscosas) y de adherencia, aumentando su cohesión y disminuyendo su susceptibilidad térmica. No obstante, debido a la confrontación entre ventajas e inconvenientes, el desarrollo de esta técnica en Francia se bloqueó, hasta 1985 cuando fue nuevamente retomada pero fue España el primer país en estudiar con profundidad este tipo de mezclas.

Desde esa fecha, en España las mezclas asfálticas "drenantes" se utilizan en carreteras como capa de rodadura, con espesores de 3 ó 4 cm e incluso de 5 cm. Posteriormente, con el paso de los años, la experiencia y la investigación, el uso de estas mezclas se ha extendido por todo el mundo, adaptándose a todo tipo de condiciones climáticas y técnicas correspondientes a países como Suiza, Japón, Malasia y China, no sólo en carreteras como capa de rodadura sino también en estacionamientos vehiculares e incluso en aeropuertos. Figura 6.4.3.

En Latinoamérica se observa el notorio uso que se le ha dado a la experiencia española, en las normativas propias de cada región, que contemplan el diseño de mezclas asfálticas "drenantes", mediante adaptaciones realizadas a las condiciones y materiales regionales disponibles.

En los países en donde se utiliza este tipo de mezclas, se observa el acelerado nivel de popularidad que han tomado. Por ejemplo, en España desde el año 1986 se iniciaron obras con mezclas asfálticas "drenantes" no experimentales y a finales de 1990 ya existían 10 millones de m^2; hoy en día se calcula que existen más de 100 millones de m^2.

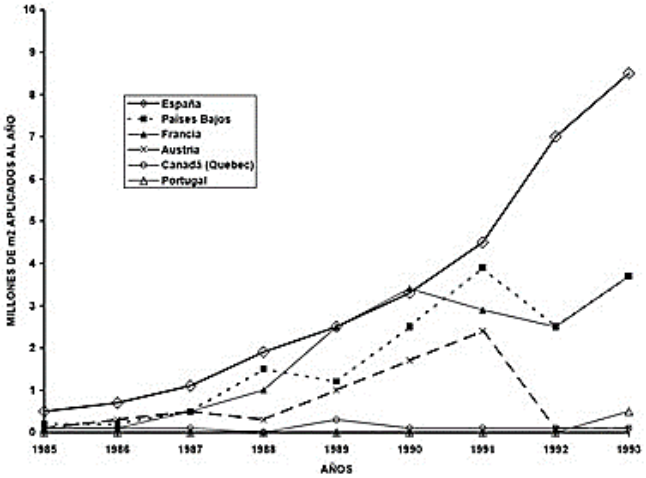


Figura 6.4.3 Evolución del empleo de las mezclas "drenantes" (C-8 AIPCR, 1995)

Ventajas y limitaciones

La capa construida con la mezcla asfáltica de granulometría abierta presenta las siguientes ventajas:

- Es una capa muy permeable que elimina el fenómeno de "acuaplaneo"
- Ofrece una elevada resistencia al deslizamiento a altas velocidades
- Reduce la dispersión de agua al paso de los vehículos
- Mejora la visibilidad con la capa de rodadura mojada
- Evita la reflexión de la luz de los vehículos
- Tiene un adecuado comportamiento mecánico
- Proporciona una superficie de rodadura cómoda y silenciosa

Sin embargo, es necesario comentar que la mezcla de granulometría abierta, presenta las limitaciones siguientes:

- Con el tiempo presenta una pérdida de la permeabilidad
- Se disminuye la resistencia por la acción de los disolventes y los derivados del petróleo
- No es una capa estructural, por lo que no proporciona capacidad de carga al pavimento
- No es un tratamiento de mantenimiento correctivo, por lo que no resuelve fallas estructurales del pavimento existente

Condiciones para su Aplicación

En necesario considerar las condiciones que se mencionan a continuación, para la aplicación de una capa con mezcla "drenante":

- El pavimento donde se aplique debe contar con una estructura suficiente, para la intensidad de tráfico y el periodo de servicio considerado en el proyecto.

- Las deformaciones permanentes que tenga el pavimento, no deben ser superiores a 9,5 mm (3/8”).
- Las grietas longitudinales y transversales que presente el pavimento deben ser de leves a moderadas, para que este tratamiento sea funcional.
- De manera similar, la superficie del pavimento no debe presentar exudaciones de asfalto severas, sino cuando mucho estar entre leves y moderadas.
- Previamente deben atenderse el bacheo superficial y profundo en el pavimento por tratar.
- Generalmente se recomienda que se aplique la mezcla de granulometría abierta como capa de rodadura, en donde exista previamente una capa asfáltica impermeable de granulometría densa, en la que se haya considerado su resistencia de aporte a la estructura del pavimento.

Materiales y Requisitos de Calidad

En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes cuenta con requisitos de calidad para la mezcla de granulometría abierta, los cuales pueden consultarse en la **Norma N·CMT·4·05·003/08**, Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Además, se dispone de una propuesta de actualización de Norma, formulada por el Comité Técnico de Capas de Rodadura instituido por la Asociación Mexicana del Asfalto, A. C., el cual ha estado trabajando desde hace varios años, recopilando e investigando las aplicaciones y experiencias de la mezcla de graduación abierta, así como de otras mezclas para capas de rodadura.

De esta propuesta de actualización de Norma, se presentan los requisitos de calidad para los materiales y para la mezcla asfáltica de granulometría abierta, considerando que están basados en las experiencias nacionales y en la adopción y selección de ciertas normas que aplican otros países para este tipo de mezcla.

Tipos de Agregados Pétreos por Utilizar

Los agregados que se utilicen en la mezcla de granulometría abierta deben ser producto de trituración. Los agregados se deben producir y suministrar en fracciones granulométricas bien diferenciadas, las cuales se deben almacenar y manejar de forma separada, hasta su introducción en las tolvas en frío. Cada fracción debe ser suficientemente homogénea y debe evitarse su segregación. El número mínimo de fracciones debe ser de tres.

Cuando los agregados para estas mezclas pertenezcan a más de un solo banco, se debe asegurar que el mezclado del material de las diversas fuentes sea homogéneo, sin olvidar que las fracciones granulométricas se deben mantener diferenciadas para el proceso de dosificación.

Los agregados gruesos tales como grava triturada de roca de basalto, dolomita, andesita, granito, escoria o la mezcla de dos o más de estos materiales, se consideran potencialmente adecuados para ser empleados en mezclas de granulometría abierta. No se permite el empleo de materiales pulimentables, en capas de rodadura.

Se recomienda que las arenas utilizadas procedan en su totalidad de la trituración de roca. El material fino debe estar exento de grumos de arcilla, material vegetal, u otras materias potencialmente dañinas, para lograr el comportamiento previsto de la mezcla.

En las regiones donde únicamente se cuente con agregados calizos y pulimentables, se puede utilizar este tipo de materiales, considerando un desgaste de Los Ángeles ≤ 30% y coeficiente de pulimento ≥ 25%, tomando en cuenta que la vida útil de la capa de rodadura será menor, dependiendo del tránsito vehicular.

Granulometría

La granulometría tiene gran importancia en las mezclas de Granulometría Abierta. Se recomienda que el tamaño nominal de la mezcla abierta guarde una relación mínima de 1:3 con respecto al espesor de la capa donde será colocada la mezcla. En este caso: 1 corresponde al tamaño nominal y 3 al espesor.

Es importante considerar que durante el proceso de diseño de la mezcla se debe hacer la selección de la granulometría de acuerdo al espesor de la capa donde se va a colocar la mezcla, cumpliendo con los límites granulométricos que se especifican en la Tabla 6.4.1.

Las recomendaciones para la granulometría abierta, espesores de capas y tipos de vías en que se aplican las capas de rodadura en caliente, se indican en las Tablas 6.4.1 y 6.4.2, respectivamente.

	Límites granulométricos (composición en peso)
Tamaño Nominal	12,5 mm (1/2")
Abertura o Núm de Malla (ASTM)	**% que Pasa**
19 mm (3/4")	100
12,5 mm (1/2")	65-100
9,5 mm (3/8")	48-72
6.3 mm /1/4")	30-52
Núm 4	18-38
Núm 100	5-19
Núm 200	2-4

Tabla 6.4.1. Límites granulométricos de la mezcla de granulometría abierta

Clasificación de la mezcla de granulometría abierta	Espesor mínimo para capas nuevas sobre pavimentos reconstruidos o caminos nuevos (mm)	Espesor mínimo para capas con fallas funcionales menores (mm)	Tipo de vía en la que se aplica
Tipo "C"	35	40	Adecuado para carreteras y autopistas.

Tabla 6.4.2. Espesores mínimos y tipo de vía en la que se aplica la mezcla asfáltica de granulometría abierta

Requisitos de Calidad del Agregado Grueso

El agregado grueso para las mezclas de Granulometría Abierta se define en función del tamaño nominal (TN) de la mezcla. De tal manera que para las mezclas abiertas, con tamaño nominal de 12,5 mm, el agregado grueso se define como la fracción retenida en la malla Núm 4 (4,75 mm).

En la Tabla 6.4.3 se indican los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados gruesos que se utilizan en la fabricación de mezclas abiertas.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Desgaste de Los Ángeles, %	ASTM C131-06	25 máx.
Partículas planas y alargadas, % (5:1)	ASTM D 4791-10 Método B	5 máx.
Absorción, %	ASTM C127-12	3máx
Intemperismo (5 ciclos), %	ASTM C88-05	
	Sulfato de sodio	15 máx.
	Sulfato de magnesio	20 máx.
Partículas trituradas, %	ASTM D5821-01 (2006)	
	Una cara	100 mín.
	Dos caras	90 mín.
Afinidad Ligante-agregado[1], %	RA 08/2010	10 máx.
Pulimento acelerado, %	TEX 438-A/1999	30 mín.
Desgaste MicroDeval	ASTM D6928-10	15 máx.

[1] En caso de desprendimientos mayores, debe emplearse aditivo promotor de adherencia en la dosificación necesaria para cumplir con el requisito establecido.

Tabla 6.4.3. Requisitos de calidad del agregado grueso para las mezclas de capas de rodadura en caliente

Requisitos de calidad del agregado fino

Para las mezclas asfálticas de Granulometría Abierta, el agregado fino se define como el material que pasa por la malla Núm 4. Los requisitos de calidad que debe cumplir el agregado fino utilizado en las mezclas de Granulometría Abierta se encuentran enunciados en la Tabla 6.4.4.

Ensayo	Norma aplicable	Requisito
Equivalente de arena, %	ASTM D2419-09	55 mín.
Azul de metileno (en materiales que pasan la malla 200)*	RA05/2008	12 máx.
Angularidad, %	AASHTO T304-11	45 mín.

**Se podrán usar materiales con valores de azul de metileno comprendidos en el rango de 12 a 15 mg/g, siempre y cuando se obtengan valores de TSR mayores a 80 %.*

Tabla 6.4.4. Requisitos de calidad del agregado fino para las mezclas de capas de rodadura en caliente

"Filler" o polvo mineral

El "filler" o polvo mineral utilizado en la mezcla de Granulometría Abierta es la fracción de material que pasa la malla Núm 200 (0,075 mm) y que se incorpora a la mezcla de manera complementaria, normalmente con el fin de cumplir con los requisitos granulométricos establecidos.

El "filler" de aporte puede ser ceniza volante o material proveniente de la trituración de agregado fino. Este material se caracteriza por estar libre de grumos cuando se encuentra seco, además de estar libre de impurezas orgánicas y presentar valores de azul de metileno no mayores de 12 mg/g, acorde a la recomendación AMAAC **RA 05/2008** "Determinación del valor de azul de metileno para filler y finos".

Emulsión para Riego de Liga

En relación con el riego de liga para la capa de mezcla asfáltica de granulometría abierta, el material debe ser una emulsión catiónica de rompimiento rápido modificada con polímero, cuyas características serán las que se indican en la Tabla 6.4.5.

Pruebas en la Emulsión original	Método	Mín.	Máx.
Viscosidad, Saybolt Furol @ 25° C, s	M·MMP·4·05·004/00	20	100
Estabilidad al almacenaje (asentamiento a 24 horas), %	AASHTO T59-13		1
Retenido en malla Núm. 20	M·MMP·4·05·014/02		0,05
Residuo de la destilación[1], %	M·MMP·4·05·012/00	63	
Demulsibilidad, %	M·MMP·4·05·018/07	60	
Pruebas en el residuo de la destilación			
Penetración @ 25° C	M·MMP·4·05·006/00	60	150
Recuperación elástica, 10° C, %	M·MMP·4·05·026/02	60	

[1]Método modificado para incluir una temperatura máxima de 204° C ± 12° C, la cual deberá ser sostenida por un período de 15 minutos.

Tabla 6.4.5. Requisitos de emulsión asfáltica modificada para liga de mezcla de granulometría abierta

Agente Estabilizador

Para la mezcla de granulometría abierta, las fibras tienen la función de inhibir el escurrimiento de asfalto. La dosificación de las mismas será del 0,3% o más, para asegurar que previenen el escurrimiento de asfalto de acuerdo a la Norma **AASHTO T 305-97** (2001), "Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures". Las fibras más utilizadas para este fin son de celulosa, minerales y acrílicas

Las fibras deben ser suministradas al sistema de tal forma que se aseguren la disgregación y la distribución homogénea de las mismas, al momento de ser incorporadas a la mezcla.

Principalmente para las mezclas de Granulometría Abierta se sugiere el empleo de fibras, para incrementar la cohesión y durabilidad de la mezcla.

Aditivos Promotores de Adherencia

Cuando la mezcla no cumpla los requisitos de Resistencia al Daño inducido por Humedad (TSR) y/o Desprendimiento por Fricción, se pueden utilizar aditivos promotores de adherencia para cumplir dichos requisitos. El método de incorporación de aditivos debe asegurar una dosificación y dispersión homogéneas dentro de la mezcla.

Asfalto

El cemento asfáltico que se utilice en la mezcla de granulometría abierta debe ser modificado con polímero Tipo I y debe cumplir con la Norma **N·CMT·4·05·004** Calidad de materiales asfálticos grado PG, de la Normativa SCT, así como con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 6.4.6.

El grado PG se selecciona en función de las condiciones de clima y tránsito del proyecto, de acuerdo con la Normativa SCT vigente.

Pruebas	Método	Mín.	Máx.
Separación de Polímero	M·MMP·4·05·022		2° C
Recuperación Elástica a 25° C después de RTFO	M·MMP·4·05·026	65 %	
Recuperación torsional a 25° C	M·MMP·4·05·024	35 %	
Punto de reblandecimiento	M·MMP·4·05·009	55° C	

Tabla 6.4.6. Requisitos de calidad del cemento asfáltico modificado con polímero Tipo I

Características de la Mezcla Asfáltica de Granulometría Abierta

Cada capa de rodadura se diseña de acuerdo a lo indicado en los puntos siguientes. No aplica el método Marshall para el diseño de estas capas. La composición de la mezcla de granulometría abierta debe corresponder al resultado del proceso de diseño de la mezcla. El diseño de la mezcla tiene que satisfacer los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 6.4.7.

Característica o dosificación	Valor
Vacíos en mezcla, %	20 mín.
Pérdida por desgaste al ensayo Cántabro[1], en especímenes no envejecidos, %.	20 máx.
Pérdida por desgaste al ensayo Cántabro[2] en especímenes envejecidos, %.	30 máx.
Escurrimiento de asfalto[3], %.	0,3 máx.
Resistencia al daño inducido por humedad (TSR)[4], %	80 mín.

[1] El ensayo Cántabro consiste en someter una serie de 4 probetas de mezcla abierta, una a la vez (fabricadas con una granulometría y contenido de asfalto definidos), a la acción del tambo de Los Ángeles sin carga abrasiva, a una velocidad normalizada de 30 a 33 rpm, durante 300 giros del bombo. El resultado del ensayo consiste en determinar la pérdida en masa durante el ensayo, denominada desgaste, y expresada en porcentaje de la masa inicial. El ensayo se ejecuta a una temperatura comprendida entre los 15 y 30° C, siendo común el ejecutarlo alrededor de los 20° C. Para mayor detalle del Ensayo Cántabro remitirse a lo indicado en la norma ASTM D7064/D7064M-08, Standard Practice for Open-Graded Friction Course (OGFC) Mix Design.
[2] El envejecimiento consiste en colocar un grupo de 3 especímenes en un horno de aire forzado, a una temperatura de 60° C durante un periodo de 7 días.
[3] Obtenido según se indica en la norma AASHTO T 305-97 (2001), "Determination of draindown characteristics in uncompacted asphalt mixtures".
[4] De acuerdo al ensayo descrito en la norma ASTM D4867-09, "Effect of moisture on asphalt concrete paving mixtures".

Tabla 6.4.7. Requisitos de calidad para el diseño de mezclas de granulometría abierta

Para la evaluación de los vacíos en la mezcla, se debe realizar la compactación de los especímenes para alcanzar las dimensiones de 10 cm de diámetro por 63,5 ± 2,5 mm de altura, realizando la compactación con el compactador giratorio, dando 50 giros. El método sugerido para la obtención de los vacíos de la mezcla es el método de la parafina, según describe el procedimiento **ASTM D1188-07.** "Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples".

Contenido Óptimo de Asfalto y Propiedades de la Mezcla de Granulometría Abierta

En las mezclas de Granulometría Abierta, el contenido óptimo de asfalto se obtiene mediante prueba y error de diferentes contenidos de asfalto para la granulometría seleccionada, hasta lograr el cumplimiento de las especificaciones señaladas en la Tabla 6.4.7. En caso de que diferentes contenidos de asfalto cumplan con la especificación (contenido de vacíos en la mezcla y pérdida por desgaste al ensayo Cántabro), será seleccionado como contenido óptimo aquel que cumpla de mejor manera la especificación.

Equipo y Cuidados en su Ejecución

La producción de mezclas asfálticas debe realizarse con equipos en buen estado, completamente funcionales y que cumplan con lo especificado a continuación.

a) Planta de Mezclado

Las mezclas asfálticas en caliente de Granulometría Abierta deben fabricarse en plantas de producción continua o discontinua, capaces de manejar en frío el número de fracciones de agregado que exija la fórmula de trabajo adoptada.

La planta debe contar con un silo para el almacenamiento del **"filler"** de aporte, así como un sistema de dosificación del mismo, cuya operación sea independiente del sistema utilizado para el resto de los agregados y proteger el material de la humedad.

Igualmente debe contar con un sistema de recuperación de finos (baghouse) para evitar la contaminación y la pérdida del **"filler"** por la chimenea de la planta. El **"filler"** recuperado en el sistema anticontaminante debe ser reingresado a la planta mediante un sistema de retorno que evite al máximo las pérdidas debidas al tiro del secador.

Adicionalmente y sólo en el caso de que el diseñador de la mezcla decida incorporar fibra a la misma, la planta debe contar con un sistema de dosificación de las fibras. Este sistema debe permitir incorporar la cantidad especificada sin que se produzca destrucción de las mismas por efecto de la llama del secador de agregado o la pérdida de las mismas por el flujo de gases del mezclador. Se recomienda que esta incorporación se haga a través del anillo para RAP (anillo de incorporación del material reciclado), mediante el sistema de adición de **"filler"** de aportación, o mediante una línea (ya sea neumática o dotada con un tornillo sinfín) paralela a la del suministro de asfalto. No se debe permitir la adición de fibra en las tolvas de material pétreo ni en las bandas transportadoras de materiales hacia el secador.

El equipo para la elaboración de las mezclas debe reunir las características que aseguren la obtención de la calidad exigida y permita alcanzar una producción suficiente para cumplir con el plan de trabajo establecido.

Antes de iniciar la producción de la mezcla asfáltica, la planta de asfalto debe calibrarse "en seco", para que cumpla con la curva granulométrica especificada en la fórmula de trabajo, sin adicionar el cemento asfáltico y verificándose ésta a la salida de la planta.

Se recomienda que el contratista cuente con el soporte del proveedor de la fibra durante la producción en planta, para lograr el mejor aprovechamiento de la fibra y su correcta aplicación.

b) Medios de Transporte

El transporte de la mezcla desde la planta hasta el sitio donde se ejecuta la obra, se realiza con camiones de carga de caja lisa, perfectamente limpia. La caja del camión debe ser tratada con algún tipo de producto para evitar que la mezcla asfáltica se adhiera a ella; sin embargo, el uso de los agentes anti-adherentes se debe hacer con mucho cuidado para evitar colocarlos en exceso, dada la posibilidad existente de dañar la mezcla. No se permitirá el rociado de la caja con solventes derivados del petróleo, como por ejemplo diésel o aceites.

Los camiones deben estar siempre provistos de una lona o cubierta adecuada debidamente ajustada a la caja, que cubra lateral y frontalmente la mezcla y con un solape mínimo de 0,30 m, para proteger la mezcla asfáltica durante su transporte. Esta condición debe observarse independientemente de la temperatura ambiente; no se permite el empleo de cubiertas que posibiliten la circulación del aire sobre la mezcla (tipo media sombra).

La forma y altura de la caja debe ser tal que, durante el vertido en la extendedora, el camión sólo toque a ésta a través de los rodillos provistos para este efecto.

La cantidad de camiones disponibles debe ser suficientes para garantizar el transporte de la producción acordada.

c) Extendedora

La máquina extendedora - terminadora (*finisher*) aprobada por la Dependencia responsable, debe ser autopropulsada, estar especialmente diseñada y construida para tender una carpeta delgada, aplicando un mínimo de pre-compactación.

La extendedora debe contar con un depósito-tolva de recepción y banda transportadora, para evitar segregación y una regla vibrocompactadora. (Figura 6.4.4)



Figura 6.4.4. Extendedora para mezcla asfáltica de granulometría abierta

Estos trabajos se realizan desde el centro de la corona, haciendo un ajuste vertical por medio de sus extensiones, hasta alcanzar el perfil y el espesor especificados en el proyecto.

La capacidad y potencia de los elementos utilizados debe ser adecuada al trabajo por realizar, debiendo cumplirse una perfecta sincronización entre la producción, el transporte y la distribución de la mezcla.

Colocar los tornillos helicoidales de manera tal que lleguen aproximadamente a 0,20 m de los extremos de la caja de distribución. Se debe verificar que la altura del tornillo sinfín sea tal que su parte inferior se sitúe a no más de 2,5 veces el espesor de colocación de la capa.

Asegurar que el giro del tornillo sinfín se realice en forma lenta y con el mínimo de detenciones, manteniendo a lo largo de toda la caja de distribución mezcla asfáltica con una altura constante, situada aproximadamente hasta el eje del mismo.

Mantener continuas las operaciones de pavimentación, para evitar la irregularidad en la capa colocada.

d) Compactadores

Utilizar compactadores de rodillos metálicos autopropulsados de 8 a 12 toneladas de masa, los cuales deben contar con inversores de sentido de marcha de acción suave, y dispositivos para la limpieza y humectación de los rodillos durante la compactación. Los rodillos metálicos de los compactadores no deben dejar surcos ni irregularidades; tampoco se deben utilizar en modo vibratorio. No se debe permitir el empleo de compactadores de neumáticos.

La compactación (acomodo) consiste en un mínimo de dos pasadas con los rodillos de tambor metálico liso, antes de que la temperatura del material sea menor a 150° C, debiéndose evitar que el o los equipos de compactación se estacionen sobre el concreto asfáltico recién aplicado.

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua, para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un perfil no adecuado.

Procedimiento Constructivo

Se presenta a continuación el procedimiento de ejecución, basado en la actualización que propone el Comité de Capas de Rodadura de la Asociación Mexicana del Asfalto:

1. **Estudio de las mezclas y determinación de la fórmula de trabajo**

La elaboración y puesta en obra de la mezcla de Granulometría Abierta no se deben iniciar hasta que la Dependencia responsable y/o su Representante en obra, hayan aprobado la correspondiente fórmula de trabajo, diseñada en el laboratorio y verificada en planta.

Esta fórmula de trabajo debe fijar como mínimo las siguientes características:

- La identificación y proporción de cada fracción de agregado para cada una de las tolvas de la planta de mezclado y, en su caso, después de su cribado en caliente, según el tipo de planta que se utilice para la elaboración de la mezcla
- La granulometría de la combinación de agregados, incluido el polvo mineral ("filler"), empleando las mallas indicadas para cada tipo de mezcla
- La identificación y dosificación del asfalto y, en su caso, la de polvo mineral de aportación, referidas a la masa total de los agregados, y la de aditivos, referidas a la masa del asfalto empleado
- La identificación y dosificación de las fibras, referidas a la masa total de la mezcla, típicamente del 0,3%

También se deben señalar:

- Los tiempos a exigir para la mezcla de los agregados en seco y para la mezcla de los agregados con el asfalto, en función del tipo de planta a utilizar.
- La temperatura máxima y mínima, de calentamiento previo de agregados y asfalto, que deben estar dentro del rango recomendado por el fabricante. La temperatura máxima de la mezcla al salir del mezclador no debe ser superior a 180° C, salvo en plantas de tambor secador-mezclador, en las que no exceda de los 165° C.

  En todos los casos, la temperatura mínima de la mezcla al salir del mezclador debe ser aprobada por la Empresa Contratista o su Representante en la obra, de forma que la temperatura de la mezcla en la descarga de los camiones sea superior al mínimo fijado.
- La temperatura mínima de la mezcla en la descarga en los elementos de transporte y a la salida de la extendedora, en ningún caso debe ser inferior a 150° C, para asfaltos modificados con polímero.
- La temperatura mínima de la mezcla, al iniciar y terminar la compactación, debe seguir las recomendaciones del proveedor del cemento asfáltico modificado.

La fórmula de trabajo de las diferentes mezclas debe asegurar el cumplimiento de las características de la unidad terminada en lo referente al índice de perfil y a la resistencia a la fricción, según lo indicado en este documento.

Si durante la ejecución de la obra, la Dependencia responsable y/o su Representante lo consideran oportuno, se puede exigir la corrección de la fórmula de trabajo, que se debe justificar mediante los ensayos correspondientes. Se debe estudiar y aprobar una nueva fórmula de trabajo si varía la procedencia de alguno de los componentes o si, durante la producción, se rebasan las tolerancias granulométricas establecidas en este documento.

2. **Preparación de la Superficie**

Inmediatamente antes de iniciar la construcción de la capa de rodadura con mezcla de granulometría abierta, la superficie sobre la que se coloca debe estar debidamente terminado dentro de las líneas y niveles, exenta de

basura, piedras, polvo, grasa o encharcamientos de material asfáltico, sin irregularidades y reparados satisfactoriamente los baches que hubieran existido.

3. Limitaciones Ambientales para la Ejecución

La aplicación de la mezcla de granulometría abierta debe ser suspendida en el momento en el que se presenten situaciones climáticas adversas y no se deben reanudar mientras éstas no sean adecuadas, considerando que no se construyen mezclas asfálticas en caliente cuando:

a) Exista agua libre o encharcada sobre la superficie

b) Exista amenaza de lluvia

c) La temperatura de la superficie sobre la cual será construida la capa de rodadura esté por debajo de los quince grados Celsius

d) Cuando la temperatura ambiente esté por debajo de los quince grados Celsius y su tendencia sea a la baja (la temperatura ambiente será tomada a la sombra y lejos de cualquier fuente de calor artificial)

4. Aprovisionamiento de Agregados

Cada fracción del agregado se acopia separada de las demás, para evitar contaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural no se utilizan sus 15 cm inferiores, a no ser que el terreno esté pavimentado. Los acopios se construyen por capas de espesor no superior a 1,5 m y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocan adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Los agregados se producen o suministran en fracciones granulométricas diferenciadas, que se acopian y manejan por separado, hasta su introducción en las tolvas en frío. Cada fracción será suficientemente homogénea y se podrá acopiar y manejar sin peligro de segregación. El número mínimo de fracciones debe ser de 3 para las mezclas de granulometría abierta.

Cuando se detecten anomalías en la producción o suministro de los agregados, se acopian por separado hasta, confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplica cuando esté pendiente de autorización el cambio de procedencia de una o más fracciones de agregado.

En el caso de obras pequeñas, con volumen total de agregados inferior a 5,000 m^3, antes de empezar la fabricación debe haberse acopiado la totalidad de los agregados. En otro caso, el volumen mínimo a exigir debe ser el treinta por ciento (30%) ó el correspondiente a un mes de producción máxima de la planta de fabricación.

5. Producción de la Mezcla de Granulometría Abierta

La carga de cada una de las tolvas de agregados en frío se debe realizar de forma que su contenido esté siempre comprendido entre el 50 y 100% de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se deben tomar las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones entre fracciones.

Los dosificadores de agregados en frío se regulan de forma que se obtenga la granulometría de la fórmula de trabajo; su caudal se ajusta a la producción prevista, debiéndose mantener constante la alimentación del secador o secador/mezclador, según sea el caso.

El secador debe ser regulado de forma que la combustión sea completa, lo que se indica por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea; la extracción por los colectores debe regularse de forma que la cantidad y la granulometría del polvo mineral recuperado sean ambos uniformes.

En plantas de mezcla cuyo secador no sea a la vez mezclador, los agregados calentados y, en su caso, clasificados, se deben pesar y transportar al mezclador. Si la alimentación de éste fuera discontinua, después de haber introducido los agregados y el polvo mineral se debe agregar automáticamente el asfalto para cada bacha, y se debe continuar la operación de mezcla durante el tiempo especificado en la fórmula de trabajo.

En los mezcladores de las plantas que no sean de tambor secador-mezclador, se debe limitar el volumen del material, en general hasta 2/3 de la altura máxima que alcancen las paletas, de forma que para los tiempos de mezclado establecidos en la fórmula de trabajo se alcance un recubrimiento completo y uniforme.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deben estar uniformemente distribuidos en la mezcla, y todas sus partículas total y homogéneamente cubiertas de asfalto. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no debe exceder de la fijada en la fórmula de trabajo.

En el caso de utilizar aditivos al asfalto o a la mezcla, se debe cuidar su correcta dosificación, la distribución homogénea y que no pierda las características previstas durante todo el proceso de fabricación; tal es el caso del agente estabilizador.

Previo al inicio de la producción, se verifica que todos los instrumentos de control, especialmente los termómetro de la planta, estén calibrados y en buenas condiciones de operación.

Al cargar las tolvas de agregado, se debe tener cuidado de minimizar la segregación y degradación del agregado y mantener suficiente material en todas las tolvas, para proveer un flujo constante y uniforme.

La mezcla que se utilice para el arranque de producción y calibración de la planta de mezcla en caliente debe ser desechada y no se mezclará con la producción controlada.

Se debe asegurar la continuidad del suministro de mezcla, para evitar juntas frías y no se debe descargar mezcla a cargadores. Preferentemente la mezcla se debe cargar directamente a los camiones de transporte.

6. Almacenamiento y Transporte de la Mezcla de Granulometría Abierta

Si es necesario almacenar temporalmente la mezcla, se debe hacer en silos de almacenamiento, preferentemente con aislamiento térmico, asegurándose de que la mezcla conserve la temperatura necesaria para que sea colocada cumpliendo los requisitos de temperatura solicitados.

El fondo y paredes de la caja de los camiones de transporte se deben mantener limpios y rociarse con un agente antiadherente, antes de cada carga para evitar que se pegue la mezcla. La caja debe escurrirse previo a la carga de la mezcla. Se pueden utilizar agentes a base de silicón, que son los más efectivos para estas aplicaciones. No se recomienda el uso de diesel como agente antiadherente (no funciona bien con otros agentes y creará problemas durante la pavimentación).

Para disminuir el riesgo de segregación de la mezcla, el procedimiento de carga al camión de transporte debe ser primero en la parte delantera de la caja, después en la parte trasera y finalmente en el centro.

Las diferentes mezclas se deben transportar en camiones desde la planta hasta la extendedora. Para evitar su enfriamiento superficial y que se contamine con polvo u otros materiales extraños, se debe proteger durante el transporte mediante lonas u otras cubiertas adecuadas. En el momento de descargarla en la extendedora, su temperatura no debe ser inferior a la especificada en la fórmula de trabajo.

La distancia de transporte no debe exceder 60 km ó un tiempo de hora y media y siempre se hará sobre superficie pavimentada; en caso que sean por terracerías o brechas, cuidar el tiempo de acarreo hasta la extendedora.

Los acarreos de la mezcla asfáltica hasta el sitio de su utilización, se deben hacer de tal forma que el tránsito sobre la superficie donde se construye la carpeta asfáltica con mezcla en caliente, se distribuya sobre todo el ancho de la misma, evitando la concentración en ciertas áreas y, por consecuencia, su deterioro. No se debe permitir que los camiones que transportan la mezcla asfáltica hagan maniobras que puedan distorsionar, disgregar u ondular las orillas de una capa recién tendida.

7. Tramo de Prueba

Antes de la ejecución del proyecto, es requisito indispensable ejecutar un tramo de prueba con una longitud mínima de 200 m por un ancho de 7 m como mínimo. La construcción del tramo de prueba tiene como objetivos

la calibración de la planta, la verificación de que la mezcla definida en la fórmula de trabajo puede ejecutarse, la evaluación de los equipos de tendido y compactación, así como revisar los procedimientos de puesta en obra.

En caso de que el tramo de prueba construido no cumpla con los objetivos antes mencionados, el Contratista debe ejecutar los tramos de prueba que sean necesarios hasta cumplir con todos los objetivos o, en su caso, se deben realizar los ajustes pertinentes a la fórmula de trabajo, para cumplir con los requisitos de diseño establecidos.

8. Aplicación del Riego de Liga y Tendido de la Mezcla de Granulometría Abierta

Para la capa de Granulometría Abierta, el riego de liga se debe aplicar en la dosificación necesaria, tal que la cantidad de asfalto residual esté entre 0,20 y 0,40 l/m^2. Este valor es sólo referencial, ya que, la dosificación de emulsión puede variar en función de las características de la superficie donde se vaya a colocar la mezcla.

Los ajustes de campo en dosificación deben ser determinados basados en las condiciones de la superficie del pavimento existente, con el objetivo de lograr una completa impermeabilización.

A menos que se indique otra cosa, la extensión debe comenzar por el borde inferior y se realiza por franjas longitudinales. La anchura de estas franjas se fija de manera que se realice el menor número de juntas posible y se consiga la mayor continuidad de la extensión, teniendo en cuenta la anchura de la sección, el eventual mantenimiento de la circulación, las características de la extendedora y la capacidad de producción de la planta.

Cuando sea posible se recomienda realizar la extensión a todo lo ancho de la calzada, trabajando si fuera necesario con dos o más extendedoras ligeramente desfasadas, para así evitar las juntas longitudinales. En los demás casos, después de haber extendido y compactado una franja, se recomienda extender la siguiente franja mientras el borde de la primera se encuentre aún caliente y en condiciones de ser compactado; en caso contrario, se debe ejecutar una junta longitudinal en frío.

La mezcla se debe extender en una sola capa. La extendedora se regula de forma que la superficie de la capa extendida resulte plana y uniforme, sin segregaciones ni arrastres y con un espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a la rasante y sección transversal indicadas en el proyecto, con sus correspondientes tolerancias. Figura 6.4.5.



Figura 6.4.5 Extendido de la mezcla de granulometría abierta

El concreto asfáltico de mezcla en caliente debe ser aplicado a una temperatura entre 150 a 165° C ó conforme a lo recomendado por el proveedor del producto asfáltico y debe ser colocado inmediatamente después de haberse aplicado la membrana de emulsión sobre toda la superficie de aplicación.

La extensión se realiza con la mayor continuidad posible, ajustando la velocidad de la extendedora a la producción de la planta. En caso de parada, compruébese que la temperatura de la mezcla que quede sin

extender, en la tolva de la extendedora y debajo de ésta, no esté por debajo de lo indicado en la fórmula de trabajo para el inicio de la compactación; de lo contrario, se desecha y se ejecuta una junta transversal.

9. Compactación de la Mezcla

La compactación se debe hacer a la mayor temperatura posible, sin rebasar la máxima prescrita en la fórmula de trabajo, sin que se produzca desplazamiento de la mezcla extendida; se continúa mientras la temperatura de la mezcla no sea inferior a la mínima indicada en la fórmula de trabajo y se halle en condiciones de ser compactada.

La compactación se realiza longitudinalmente, de manera continua y sistemática. Si la extensión de la mezcla asfáltica se realizara por franjas, al compactar una de ellas se debe ampliar la zona de compactación para que incluya al menos quince centímetros de la anterior.

Los rodillos deben llevar su rueda motriz del lado más cercano a la extendedora; los cambios de dirección se realizan sobre mezcla ya compactada, y los cambios de sentido se efectúan con suavidad. Los elementos de compactación deben estar siempre limpios y húmedos. Figura 6.4.6.

No se deben utilizar rodillos neumáticos para la compactación de la mezcla de Granulometría Abierta.

La capa asfáltica de rodamiento no debe ser abierta al tráfico si no se ha completado el proceso de compactación y si el material no se encuentra por debajo de los 85° C.



Figura 6.4.6 Compactación de la mezcla de granulometría abierta

La compactación debe desarrollarse inmediatamente después de la aplicación de la capa asfáltica, utilizando compactadores en buen estado y en buenas condiciones de operación, equipados con un sistema de rocío por agua, para prevenir la adherencia entre la mezcla recién extendida y el tambor metálico del equipo. El equipo de compactación debe operarse en el modo estático, ya que una excesiva compactación podría causar la disgregación del material o un no adecuado perfil.

10. Juntas Transversales y Longitudinales

Al extender franjas longitudinales contiguas, cuando la temperatura de la extendida en primer lugar no sea superior al mínimo fijado en la fórmula de trabajo para terminar la compactación, el borde de esta franja se debe cortar verticalmente, dejando al descubierto una superficie plana y vertical en todo su espesor. A continuación, se aplica un riego de liga en la sección cortada y se extiende la siguiente franja contra ella.

Las juntas transversales de la mezcla en capa de pequeño espesor se compactan transversalmente, disponiendo los apoyos precisos para el rodillo y se distancian en más de 5 m las juntas transversales de franjas de extensión adyacentes.

Condiciones de Acabado y Aceptación

Una vez ejecutado el tiro y compactación de la mezcla, se deben verificar los aspectos indicados más adelante, para determinar que la obra ha cumplido con lo solicitado. Figuras 6.4.7 y 6.4.8.

Densidad

Para las mezclas de Granulometría Abierta, la densidad alcanzada en sitio deberá ser inferior al 80% de la densidad teórica máxima de la mezcla (Gmm).

Espesor y Acabados Geométricos

El espesor y los acabados geométricos de las capas de mezcla de Granulometría Abierta, deben cumplir con lo indicado en el proyecto y con las tolerancias indicadas en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·003/10** para trabajos de conservación, de la Normativa SCT. En todos los perfiles se comprueba el ancho de extensión, que en ningún caso será inferior al indicado en el proyecto.

Regularidad Superficial

El índice de perfil de la capa construida con mezcla de granulometría abierta, debe cumplir con el método de medición y valores especificados en la **Norma N·CSV·3·02·005/10**, de la Normativa SCT. Se recomienda que sea corregida la superficie sobre la cual se va a aplicar la capa de rodadura, en caso de ser necesario, mediante fresado, de acuerdo a lo indicado en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·006/10** para trabajos de conservación u otro procedimiento que autorice la Dependencia responsable. Para determinar si se requiere la corrección, se debe evaluar la regularidad superficial en forma previa a los trabajos de colocación de la capa de rodadura.

Resistencia a la Fricción

La resistencia a la fricción de la mezcla de Granulometría Abierta colocada debe cumplir con lo indicado en la **Norma N·CSV·CAR·3·02·003/10** para trabajos de conservación.





Figuras 6.4.7 y 6.4.8. Aspectos de acabado de la mezcla asfáltica de granulometría abierta

6.5 RIEGO DE SELLO SINCRONIZADO Y CON FIBRAS

Generalidades

El riego de sello, como técnica de conservación de carreteras, es el tratamiento superficial de mayor costo beneficio en el mundo, se aplica desde finales del siglo XIX. No obstante, en México hasta finales del siglo pasado, fue una técnica muy aplicada, aunque con bajo desempeño porque se presentaban desprendimientos prematuros, con alto riesgo de accidentes, por parabrisas rotos. Esto motivó que las Dependencias lo aplicaran cada vez menos.

En la Figura 6.5.1 se aprecia que en la red de carreteras federales libre de peaje, entre los años 1997 y 1999, únicamente se aplicaron un promedio de 500 km anuales de riego de sello como parte de las actividades de conservación, lo que equivalió a sólo un 25% de lo aplicado en 1993. A partir del 2003, el uso de los riegos de sello se volvió a incrementar en el Programa Nacional de Conservación de Carreteras de la DGCC, con un promedio anual de 2000 km.



Figura 6.5.1. Aplicación de riegos de sello en conservación de carreteras federales

Definición

Se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante la aplicación de un riego de material asfáltico y una capa de material pétreo triturado, de una composición granulométrica determinada, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad de la superficie de rodadura. No tiene función estructural, por su reducido espesor. Ver **Norma N·CSV·CAR·3·02·002/13** de la Normativa SCT.

Consiste en la construcción de una capa de rodadura delgada (carpeta de uno o dos riegos), buscando formar una membrana impermeabilizante que proteja la superficie y, en menor magnitud, absorbente de esfuerzos cuando se utilizan fibras sintéticas.

Tanto el riego de sello sincronizado a base de riego de liga con emulsión y material pétreo como al que se le adicionan fibras sintéticas, se aplican de la misma manera, utilizando equipo en un tren de trabajo sincronizado que impide la contaminación de la superficie ligada, entre la aplicación de ésta y el riego con material pétreo. La fibra se incorpora de la misma manera, con un aditamento incluido que permita su aplicación inmediatamente después del riego de liga. Figura 6.5.2.



Figura 6.5.2. Tren de trabajo

El tratamiento superficial de pavimentos con riego de sello reforzado con fibra de vidrio es una técnica nueva, cuyo uso data veinte años, creada en Francia y transferida inmediatamente a Estados Unidos.

En nuestro país, su desarrollo se inició en el año 2000 por un periodo de tres años, al final del cual se implementó una metodología de diseño, aplicación, control de calidad y monitoreo, adecuada a nuestras condiciones considerando las variables que más impactan en los riegos de sello como: diseño, tránsito, superficie, clima, materiales y equipo de construcción.

Es un procedimiento preventivo que se utiliza como tratamiento de espera y, como otros tratamientos superficiales, restituye las características de la superficie de rodadura al aumentar la resistencia al deslizamiento e impermeabilizar, evitando el disgregado de la carpeta asfáltica, entre otras mejoras.

En la Figura 6.5.3 se ilustra esquemáticamente el proceso de un riego sincronizado incorporando fibra sintética:

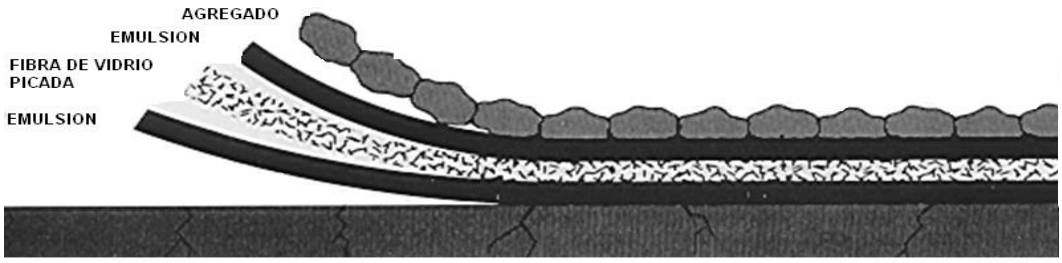


Figura 6.5.3. Esquema del proceso

Objetivo

Corregir deterioros superficiales, mitigar el agrietamiento reflexivo y los daños por introducción de agua superficial que aceleran el proceso de deterioro de la estructura del pavimento, proporcionando una superficie de rodadura con mayor resistencia al deslizamiento y proporciona mayor seguridad al usuario del camino por efectos del derrapamiento.

Ventajas

Las principales ventajas de los riegos de sello sincronizado están orientadas a:

- **Durabilidad.** El uso de equipos sincronizados, emulsiones modificadas con polímero de alta

viscosidad con residuos asfálticos mayores de 67% y agregados controlados, cumpliendo las especificaciones solicitadas por las Dependencias, permiten una mayor vida útil del tratamiento.

- **Seguridad y Confort.** Las dosificaciones precisas de agregado evitan exceso de gravilla suelta, previniendo derrapes y rotura de cristales, así como menor cantidad de gravilla adherida a los neumáticos de los vehículos, durante el proceso constructivo.

- **Diseño.** El uso de diseños adecuados y la revisión previa al arranque del tramo para verificar las características y desempeño de los materiales, incrementan la certidumbre de obtener un buen resultado de la aplicación.

- **Soporte Técnico.** El que el proveedor de los equipos y de la emulsión asfáltica cuente con personal altamente especializado en este tipo de aplicaciones y proporcione un soporte técnico oportuno, contribuye al logro de aplicaciones exitosas.

- **Costos.** Se logra un ahorro significativo en las dosificaciones de sello (20 a 30%, respecto a sistemas convencionales) y de emulsiones, al optimizar dichas dosificaciones.

- **Mayor Control de Obra.** Se utiliza equipo computarizado, con dosificaciones controladas, precisas y uniformes durante toda la aplicación; se requieren menos equipos sobre el tramo, facilitándose la supervisión de obra y el control del tráfico.

Materiales

Los materiales pétreos y asfálticos que se utilicen en la construcción de capas de rodadura de un riego, deben cumplir con lo estipulado en las **Normas N·CTM·4·04/08, N·CTM·4·05·001** al **004** de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, salvo que el proyecto indique otra cosa o así lo apruebe la SCT.

Equipo de Aplicación

El tren de aplicación consta de dos unidades: una unidad sincronizada para la aplicación del ligante y la fibra, y otra para el riego del material pétreo. Ambos equipos son de alta precisión y dosificación controlada asistidos por computadora, de acuerdo a lo contemplado en la **Norma N·CTR·CAR·1·04·008/13** de la Normativa SCT.

El equipo cuenta con sistema de riego de tipo sincronizado y de alta precisión, que garantice por computadora la aplicación uniforme de la emulsión y de la fibra, en la proporción que le fue requerida y autorizada por la Dependencia; con dispositivos de limpieza por inyección de aire (sistema neumático), recirculación y calentamiento de barra integrado, para eliminar procesos de calentamiento que agredan al medio ambiente o la integridad de los trabajadores y usuarios de la vía de comunicación; cierre/apertura electrónico de espreas para lograr aplicaciones en anchos variables, disminuyendo la posibilidad de derrames durante los trabajos; sistema de desplazamientos (horizontales y verticales) de barra controlados hidráulicamente para alinear con precisión el riego; compensación hidráulica, para el caso de curvas con sobreelevación o diferencial de niveles en el perfil transversal, que permita mantener en todo momento paralela la barra de riego a la superficie de aplicación. Figura 6.5.4.



Figura 6.5.4. Detalle del riego de liga con emulsión y de la aplicación del pétreo

La dosificación de la emulsión es del 50% en cada uno de los riegos y en total suma de 1.5 a 2.0 l/m^2, o lo que requiera la superficie y/o autorice la Dependencia; la fibra se hace por unidades de peso a razón de 8 a 12 g/m^2; para evitar variaciones en la dosificación por volumen al cambiar la temperatura, se controla por un sistema computarizado con capacidad de ajuste automático por medio de un dispositivo electrónico (sensor/radar), conforme se detecten variaciones en la velocidad del equipo de aplicación. Figura 6.5.5.



Figura 6.5.5. Detalle de la aplicación de liga-fibra-liga

Procedimiento

En la ejecución de los trabajos del Riego de Sello Sincronizado y con Fibras, invariablemente se aplica lo que establece la **Norma N·LEG·03/07** de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, lo que se precise en el proyecto u ordene la Dependencia.

El procedimiento se resume a continuación:

- Sanear la superficie del pavimento existente (uniformizar superficie, efectuar bacheo y calafateo de grietas). Figura 6.5.6.



Figura 6.5.6. Reparaciones previas en la superficie

- Previo al inicio de la aplicación de esta técnica, debe colocarse el señalamiento de protección en obra conforme lo establece la Normativa SCT.

- Este tratamiento no puede ser aplicado con amenaza de lluvia.

- Barrido de la superficie de rodadura a tratar, utilizando barredora autopropulsada acondicionada con aplicador de agua para evitar polvo y afectación al tránsito por disminución de la visibilidad.

- Inmediatamente después y utilizando unidad sincronizada para la aplicación del ligante y la fibra, se aplica fibra de vidrio a razón de 100 g /m^2. El equipo debe cumplir con lo establecido en el inciso E.1 de la **Norma N·CSV·CAR·3·02·002/15** de la Normativa SCT.

- Aplicación de un segundo riego de liga, seguido de la aplicación de material pétreo del tipo 3E o el indicado en el proyecto.

- El agregado pétreo puede premezclarse con emulsión asfáltica (en frío) o cemento asfáltico en planta de mezcla en caliente, cuyo contenido de asfalto oscile entre 0.5% a 1.5% en peso, determinado por el laboratorio de control de calidad y debe primero observar que el mezclado se haga de manera de obtener un producto homogéneo.

- Utilizar rodillo liso de 8 a 10 Ton de peso, dando una sola pasada pues el propósito es "acomodar", en vez de compactar. Figura 6.5.7.



Figura 6.5.7. Compactación con rodillo liso

- Finalmente se realiza un “cierre” con compactador neumático de 8 a 10 Ton de peso. En este caso es recomendable dar por lo menos dos pasadas, cuidando que este proceso se efectúe antes de que la emulsión “rompa” totalmente. Figuras 6.5.8.



Figura 6.5.8. Compactación con rodillo neumático

Consideraciones Finales

Aplicar esta técnica y cualquier otra de conservación como tratamiento de espera, merece un proceso de estudio en el que hay que tomar en cuenta tanto el volumen de tránsito como el grado de deterioro de la capa a tratar. Este procedimiento sólo se aplica cuando la superficie de rodadura presenta daños superficiales, nunca del tipo estructural.

Es importante ver la disponibilidad del equipo a utilizar, por ser éste muy especializado para la aplicación de riego de sello sincronizado. Por eso, es recomendable antes de decidir:

- Elegir adecuadamente los tramos a tratar.
- No se debe olvidar que es un tratamiento de espera a una intervención mayor en el pavimento.
- Es de rápida aplicación, por lo que se logra una rápida recuperación del tramo.
- Los rendimientos por día son de 10 km para un ancho de 3.5 m.
- Reduce los costos de mantenimiento y de operación del transporte.

6.6 SLURRY SEAL Y MICROAGLOMERADO

Generalidades

El tratamiento superficial de pavimentos con morteros asfálticos Slurry Seal y Microaglomerado, es una técnica utilizada en gran medida en E.U.A. desde hace más de 50 años. Se aplica mayormente en aeropuertos y zonas urbanas.

En México se ha utilizado en un bajo porcentaje; el último antecedente en un tramo carretero fue a finales de la década de los ochenta, en que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes contrató su aplicación en la carretera Pachuca-Querétaro, donde se tendieron 11.2 km en el tramo líms. Edos. Hgo / Qro-"T" Pachuca, subtramo del km 71 + 200 al km 82 + 400, con excelentes resultados.

Es un procedimiento preventivo que se utiliza para restituir las características superficiales de la capa de rodadura, sellar grietas y sustituir la pérdida de agregados, aunque no resuelve problemas estructurales.

En esta técnica los agregados pétreos conforman el esqueleto mineral que da el espesor de la capa construida (tamaño máximo del agregado) siendo el "mástic" conformado por la mezcla de filler y asfalto, lo que le da la cohesión necesaria a esa estructura.

La fabricación del mortero puede hacerse en forma manual, en bateas o carretillas, pero también se pueden usar revolvedoras manuales o cualquier mezclador usado en construcción que consiga una dispersión homogénea.

Para obras de gran envergadura, se utilizan plantas móviles extendedoras equipadas para transportar los materiales necesarios, mientras dosifica, mezcla y extiende el mortero asfáltico. Esta planta móvil debe calibrarse previamente al extendido.

Se requieren pequeños equipos de apoyo, como complemento al trabajo que realiza la máquina, tales como: barredora mecánica, compresora de aire, cargador frontal, cisterna de agua y de emulsión y herramientas manuales.

Ocasionalmente para casos especiales, se requiere un rodillo neumático que en zonas de maniobras logra en menor tiempo la cohesión inicial.

Definición

Son las que se construyen sobre la superficie de una carpeta asfáltica, mediante el tendido de una mezcla elaborada generalmente en frío, con materiales pétreos de granulometría fina y cemento asfáltico, modificado o no, en emulsión o rebajado con solventes, con el objeto de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad, así como corregir desprendimientos menores. Por lo general, son capas de rodadura delgadas del orden de un (1) centímetro de espesor, por lo que no tiene función estructural.

La finalidad es sellar defectos superficiales y restituir las características operacionales de la capa de rodadura como son: superficie antiderrapante, impermeable y confortable. Se aplica en capas de rodadura sin presencia de roderas, deformaciones o fallas estructurales del pavimento.

Es un tratamiento de espera con una vida útil de 1 a 2 años,

Se denomina Mortero Asfáltico (Slurry Seal) cuando se utiliza en la mezcla un agregado fino (arena) con emulsión, aditivos y agua. Es un Microaglomerado cuando en lugar de arena natural utiliza un agregado pétreo, producto de trituración de granulometría predeterminada entre 1/8" a 3/8" como tamaño máximo. El procedimiento de elaboración, tendido y equipo a usar es el mismo, para ambas aplicaciones.

Objetivo

Resolver problemas superficiales como agrietamiento o pérdida de agregados, pequeñas calaveras y grietas, mediante la aplicación de un mortero asfáltico que cubra esas irregularidades, selle los huecos y proporcione un acabado superficial adecuado que brinde confort al usuario.

Ventajas

Una vez aplicado el mortero asfáltico, deben quedar corregidas todas las fallas superficiales multicitadas, de modo que la apariencia sea la de una capa de rodadura renovada que nos ofrecerá las siguientes ventajas:

- Reduce la infiltración del agua y la destrucción de capas inferiores del pavimento.
- Restituye la regularidad superficial.
- Aumenta la resistencia a la tracción.
- Es fácil su aplicación y el rendimiento es alto.
- Relativo bajo costo.

Materiales

Los componentes en la elaboración del mortero asfáltico que, según el diseño, es común utilizar se muestran en la Figura 6.6.1.



Figura 6.6.1. Componentes del mortero asfáltico

Agregado

Cualquier agregado que pasa la malla de 3/8" usado para mezcla en caliente, es apropiado para el mortero asfáltico. Por masa, el agregado conforma del 87 al 94% de la mezcla.

Los ensayos de calidad al material pétreo que se realizan y los requisitos de calidad, indicados entre paréntesis, son:

- Muestreo
- Granulometría por vía húmeda.
- Equivalente de arena (50 mínimo).

- Desgaste (composición C o D con un máximo 45%).
- Durabilidad (Na_2SO_4 con un máximo de 15%).
- Gravedad específica y absorción.
- Peso unitario.
- Sales solubles totales (0.5% máximo).

Para mayor detalle consultar las Normas AASHTO y ASTM

Emulsión Asfáltica

Se utilizan emulsiones catiónicas que, por su naturaleza de fraguar químicamente, tienen la ventaja de un curado rápido. Gran parte de los agregados están cargados negativamente; las emulsiones catiónicas, por tener carga positiva en las partículas de asfalto, aseguran una gran afinidad árido-ligante. Las especificaciones técnicas están dadas en las **Normas AASHTO T 59** y **ASTM D 2344**.

El tipo de rompimiento de la emulsión asfáltica para los morteros debe estar de acuerdo con las exigencias del trabajo. La emulsión que se emplea en los morteros asfálticos se divide en 2 grandes grupos, según muestra la Tabla 6.6.1.

EMULSIONES ASFÁLTICAS PARA MORTERO	
Aniónicas	Catiónicas
Medias	Rompimiento rápido o de complicado control
	Rompimiento medio
Súper estable	Súper estable

Tabla 6.6.1. Tipos de emulsiones asfálticas

Se hace notar que las súper estables (sobre estabilizadas) son las indicadas para trabajar los morteros asfálticos, porque tienen la suficiente estabilidad y pueden ser manejadas por cualquier máquina extendedora, aunque tienen sus limitaciones definidas por las condiciones climatológicas.

Agua

Es el insumo que controla la consistencia de la mezcla. Por masa compone del 4 al 12% del agregado seco. El agua debe humedecer previamente al agregado para que funcione como lubricante ante la emulsión, reduce la tensión superficial de las partículas de agregado, facilitando a la emulsión el cubrimiento. Debe estar libre de sales solubles, suciedad y sedimentos. No debe ser dura.

Filler Mineral

El relleno mineral es usado en el mortero para mejorar la graduación del agregado y principalmente para proporcionar a la superficie de rodadura la alta resistencia al desgaste. Deben cumplir con las especificaciones de la **Norma ASTM D-242**. Se usan entre 0.5 al 2% en masa respecto al agregado seco.

La dosificación es diseñada en laboratorio, mediante el ensayo de abrasión por inmersión bajo tráfico simulado para morteros asfálticos. El filler más usado es el cemento portland tipo I ó la cal hidratada.

Aspectos de Diseño

Por lo que se refiere al diseño, como todos los proyectos de mezcla en general, lo primero que se tiene que hacer es identificar el material pétreo, con objetivo de conocer todas sus características físicas, mediante las pruebas correspondientes:

- Identificación petrográfica.
- Peso volumétrico.
- Equivalente de arena.
- Resistencia al desgaste (Los Ángeles).

Cada país, según su experiencia y resultados obtenidos, ha establecido la granulometría que va a emplear. Sin embargo, en los últimos años por intercambio de experiencias en la Asociación Internacional de Slurry Seal (ISSA) se han normalizado criterios, métodos de evaluación y de diseño. Son apoyo del Diseño las especificaciones ISSA 105 y la 143.

Después de analizar las pruebas que se realizan a los elementos que componen un mortero, se procede a estudiar el diseño de la mezcla conforme a un posible comportamiento en la construcción, en condiciones bajo las cuales se va a realizar la aplicación.

Se manejan tres (3) tipos de Microaglomerados, según la granulometría a utilizar; éstos van en función del grado de deterioro de la capa de rodadura y los daños superficiales que se deben corregir. Véase la Tabla 6.6.2.

TIPO	I	II	III
GRANULOMETRÍA	No. 200-1/8”	No. 200-1/4”	No. 200-3/8”

Tabla 6.6.2. Tipos de Microaglomerados

Para el diseño del tipo y espesor de una superficie de Slurry Seal o de Microaglomerado, se deben considerar los siguientes factores:

a) Tipo y condición de la capa de rodadura existente o la nueva superficie donde será aplicado el Mortero: sobre base granular, pavimento asfáltico o concreto, textura superficial, cantidad y tamaño de grietas.

b) Tipo y volumen de tránsito.

c) Condiciones climatológicas.

d) Las áreas a rehabilitarse con relación al dinero disponible, a veces definen el tipo de Mortero a ser usado.

Las dosificaciones para el uso de los diferentes tipos de Mortero se describen a continuación:

Tipo I (superficie fina). Esta graduación fina da una aplicación a razón de 3.6 a 5.4 kg de agregado seco por metro cuadrado, en un espesor de 1/8" ó menos. El contenido normal de residuo asfáltico está entre 10 y 16% en masa del agregado seco.

Tipo II (superficie general). Esta graduación da una aplicación a razón de 5.4 a 9.1 kg por metro cuadrado de agregado seco, en un espesor de 1/4" ó menos. El contenido normal de residuo asfáltico está entre 7.5 y 13.5% en masa respecto al agregado seco.

Tipo III (superficie áspera). Esta graduación da una aplicación a razón de 8.2 a 13.6 kg por metro cuadrado, en espesores de 3/8" ó menos. El contenido de residuo asfáltico normal está en el rango de 6.5 a 12% en masa respecto al agregado seco. Este tipo de Mortero es usado en superficies de asfalto que estén sujetas a cambios de temperatura y para tránsito pesado.

Multi-Capa. Los tres tipos de Mortero mencionados anteriormente, pueden ser usados en combinaciones formando una multicapa. Para superficies agrietadas se aplica un Mortero fino y luego un tipo grueso.

Para mayor detalle en el Diseño de estas mezclas y en la Calidad de los materiales, puede consultarse el Apéndice 6.1.1 de esta Guía.

Equipo de Aplicación

Camión extendedor especializado para aplicación de morteros asfálticos, equipado con compartimientos para emulsión (modificada o no), arena (o material triturado), filler y agua. En algunas ocasiones se utilizan otros materiales como cal o cemento portland en bajos porcentajes, que se adicionan mediante dispositivos para trasladar los insumos a la caja mezcladora, cuya dosificación se hace con apoyos electrónicos y un cajón distribuidor. Figura 6.6.2.



Figura 6.6.2. Camión extendedor

- A continuación se muestra un esquema del camión extendedor-caja mezcladora-caja distribuidora (Figura 6.6.3).

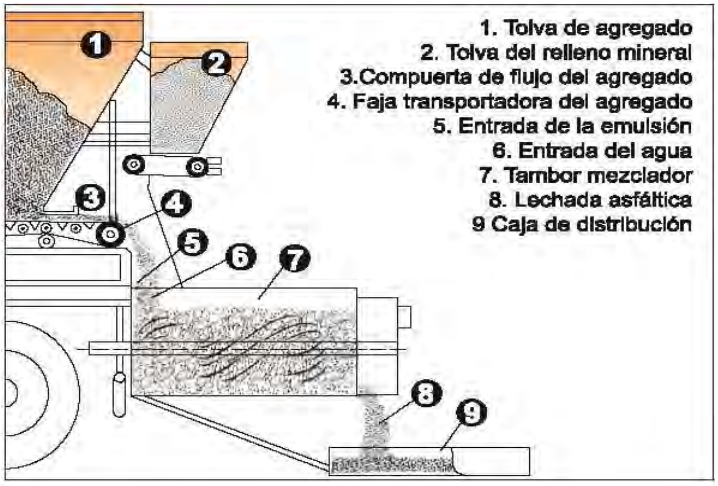


Figura 6.6.3. Esquema de mezclado y distribución

Para lograr un mejor acabado y detallado, es necesario el uso de una herramienta manual a base de “rasquetas”, buscando afinar zonas específicas. Figura 6.6.4.



Figura 6.6.4 Rasquetas

En la Figura 6.6.5 se ilustra la superficie de rodadura, antes y después de aplicar el mortero asfáltico.



Figura 6.6.5 Aspecto antes y después del tendido

Procedimiento

En la ejecución de los trabajos invariablemente se aplica lo que establece la **Norma N·LEG·03/07** de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT; lo que se precise en el proyecto u ordene la Dependencia.

El procedimiento se resume a continuación:

- Sanear la estructura existente, a base de uniformizar superficie, efectuar bacheo y calafateo de las grietas de más de 3 mm. Figura 6.6.6.



Figura 6.6.6. Trabajos previos

- En amenaza de lluvia nunca aplicar este procedimiento.
- Previo al inicio de la aplicación de esta técnica, debe colocarse el señalamiento de protección en obra conforme lo establece la Normativa SCT.
- Barrido de la superficie de rodadura a tratar utilizando barredora autopropulsada, acondicionada con aplicador de agua, para evitar polvo y afectación al tránsito por disminución de la visibilidad. Esta actividad debe cumplir lo establecido en el inciso E.2 de la **Norma N·CSV·CAR·3·02·004/13.**
- Aplicación de riego de agua según lo estipulado en el proyecto o Dictamen técnico correspondiente.
- Inmediatamente después y utilizando vehículo dosificador-mezclador especializado para morteros asfálticos, adicionado con cajón mezclador, se aplica mortero con espesor proyectado (promedio 8-10 mm) según el tipo diseñado. Este equipo debe cumplir lo establecido en el inciso D.1 de la **Norma N·CSV·CAR·3·02·004/13**. Figura 6.6.7.



Figura 6.6.7 Camión dosificador-mezclador y caja distribuidora

- Finalmente y después de dar el tiempo de fraguado necesario según el tipo de emulsión aplicada, se utiliza un rodillo neumático de 8-10 ton de peso, cuya función es acomodar y "cerrar" la superficie tratada, antes de abrir al tránsito. Figura 6.6.8.



Figura 6.6.8. Acomodo con rodillo neumático

- Finalmente se aplica el señalamiento horizontal y se pone en operación. Figura 6.6.9



Figura 6.6.9. Apertura al tránsito

Consideraciones Finales

Aplicar ésta y cualquier otra técnica de conservación como tratamiento de espera, merece un proceso de estudio en el que hay que tomar en cuenta tanto el volumen de tránsito como el grado de deterioro de la capa a tratar. Este procedimiento sólo se aplica cuando la superficie de rodadura presenta daños superficiales, nunca de tipo estructural.

Es importante ver la disponibilidad del equipo a utilizar, por ser éste muy especializado para la aplicación de morteros asfálticos. Por eso, es recomendable en la selección:

- Elegir adecuadamente los tramos a tratar.
- No se debe olvidar que es un tratamiento de espera a una intervención mayor en el pavimento.
- Es de rápida aplicación, por lo que se logra una rápida recuperación del tramo.
- El procedimiento es muy rentable, por su bajo costo relativo y su alto rendimiento.
- Reduce los costos de mantenimiento y de operación del transporte.

6.7 RECICLADO EN CALIENTE DE CARPETA ASFÁLTICA EN EL LUGAR

Definición

El reciclado en caliente en el lugar de la carpeta asfáltica, consiste en una serie de operaciones para calentar la superficie de la carpeta asfáltica a elevada temperatura, escarificar un espesor entre 2 y 3 cm, agregar un aditivo rejuvenecedor del asfalto existente, adicionar asfalto, agregar o no nueva mezcla asfáltica en caliente y compactar la capa tratada; todo ello con objeto de eliminar depresiones y grietas moderadas, así como mejorar las condiciones de confort y seguridad en la operación de la carretera.

Los interesados en esta técnica de conservación de carreteras, pueden obtener mayor información sobre su aplicación consultando la **Norma N·CSV·CAR·3·02·008/03** Recuperación en Caliente de Carpetas Asfálticas, de la Normativa SCT.

Ventajas y Limitaciones

El reciclado en caliente de la carpeta asfáltica tiene las ventajas siguientes:

- Elimina las depresiones y agrietamientos moderados que presente la superficie de la carpeta asfáltica existente.
- Permite aprovechar los materiales de la carpeta asfáltica existente, reutilizándolos para prolongar la vida útil de dicha carpeta.
- Es una técnica económica porque se aplica en el lugar, sin gastos por transporte de materiales a la planta.
- En el caso de agregar nueva mezcla asfáltica, permite una mejor integración con la carpeta asfáltica existente.

Sin embargo, el reciclado en caliente presenta las limitaciones siguientes:

- No aporta un mejoramiento al comportamiento estructural del pavimento.
- No corrige la composición granulométrica del material pétreo existente.
- Las características de la capa reciclada dependen en gran manera de las características de los materiales existentes y de su homogeneidad.
- No resuelve el pulimento que puedan tener las partículas del material pétreo existente.
- Requiere un estricto control de la mezcla reciclada y es difícil de revisar para aplicar medidas correctivas.
- Requiere una longitud mínima para que el tratamiento sea rentable y su velocidad de aplicación es más lenta que si sólo se coloca una nueva capa asfáltica.
- No es un tratamiento indicado para resolver agrietamientos por envejecimiento.

Condiciones de Aplicación

El reciclado en caliente presenta las condiciones siguientes para su aplicación:

- Es necesario atender previamente las zonas locales del pavimento en donde haya deterioros provocados por inestabilidad de materiales y saturación de agua, mediante bacheo aislado superficial y profundo.

- Debe determinarse el grado de oxidación que presente el asfalto superficial, así como su porcentaje con relación al peso del material pétreo de la mezcla existente, para definir en el laboratorio las cantidades de aditivo rejuvenecedor y asfalto por agregar en el tratamiento.

- En el calentamiento de la carpeta asfáltica no puede utilizarse un equipo que tenga flama directa hacia la superficie por tratar, porque degrada y propicia un mayor envejecimiento del asfalto existente. En este tratamiento sólo se deben emplear equipos provistos con placas que calienten la superficie por radiación.

Materiales y Requisitos de Calidad

Aditivo Rejuvenecedor de Asfalto. El aditivo rejuvenecedor que se utilice para mejorar las características de calidad del asfalto existente en el material escarificado de la carpeta asfáltica por reciclar, debe cumplir con los requisitos definidos por la empresa proveedora de este producto.

Emulsión Asfáltica Catiónica de Rompimiento Rápido. La emulsión asfáltica que se utilice para complementar el asfalto en el material escarificado de la carpeta asfáltica existente, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos de la Normativa SCT.

Material Pétreo Producto de Trituración. El material pétreo para elaborar mezcla asfáltica de granulometría densa, debe ser producto de trituración y cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·04/08** Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la Normativa SCT.

Cemento Asfáltico Grado "Viscosidad". El cemento asfáltico grado "viscosidad" que se utilice para elaborar mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·001/06** Calidad de Materiales Asfálticos, de la Normativa SCT.

Cemento Asfáltico Grado "Viscosidad" Modificado con Polímero. El cemento asfáltico grado "viscosidad" modificado con polímero, que se utilice para elaborar mezcla asfáltica en caliente de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad de la **Norma N·CMT·4·05·002/06** Calidad de Materiales Asfálticos Modificados, de la Normativa SCT.

Mezcla Asfáltica en Caliente o en Frío. La mezcla asfáltica en caliente o en frío de granulometría densa, que se produzca para construir carpeta asfáltica de granulometría densa, debe cumplir con los requisitos de calidad indicados en la **Norma N·CMT·4·05·003/08** Calidad de Mezclas Asfálticas para Carreteras, de la Normativa SCT.

Aditivo Rejuvenecedor del Asfalto Existente

La técnica de reciclado en caliente requiere restituir al asfalto de la capa asfáltica que se trata, las propiedades de aglutinamiento que ha perdido por su envejecimiento u oxidación, por efecto del medio ambiente y las condiciones de servicio. Para ello se debe utilizar un aditivo rejuvenecedor que contenga ciertos aceites que durante el tratamiento "reavive" el asfalto y le devuelva en lo posible sus propiedades originales.

Para ello es necesario que se realice previamente un estudio en el asfalto de la capa existente, para conocer sus propiedades actuales y valorar el tipo y la cantidad de aditivo rejuvenecedor por utilizar. La técnica que se emplea para recuperar el asfalto de la mezcla existente es el Método de Recuperación de Abson (**ASTM 1856**). Este procedimiento debe ser aplicado en nuestro medio, en virtud de que no se cuenta con un ensaye nacional.

En la Figura 6.7.1 puede observarse el efecto que se presenta en un asfalto que durante un determinado periodo de servicio en la carretera, modifica los porcentajes en sus componentes básicos, aumentando la fracción de asfaltenos y disminuyendo el contenido de aceites denominados: ácidas finas primarias y secundarias. Como puede verse, el aditivo rejuvenecedor debe complementar los contenidos de aceites perdidos en el asfalto envejecido, para estar en posibilidad de recuperar sus propiedades de desempeño.

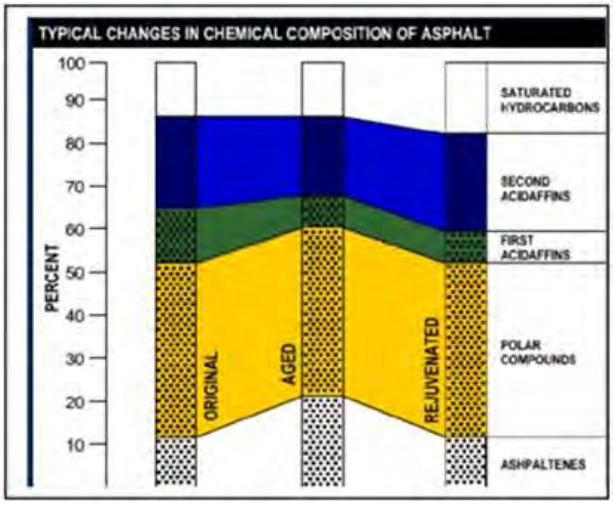


Figura 6.7.1. Porcentajes típicos de los componentes de un asfalto original, envejecido y rejuvenecido

En la Figura 6.7.2 se presentan de manera bastante objetiva las fracciones componentes de un asfalto, así como las fracciones de un aditivo rejuvenecedor típico, que se adicionarán para devolverle sus propiedades de aglutinamiento y de desempeño.



Figura 6.7.2. Componentes de un asfalto y de un aditivo rejuvenecedor típico

Desafortunadamente en el medio nacional no se cuenta con requisitos de calidad para valorar las características de los aditivos rejuvenecedores, lo cual deja una tarea pendiente que se debe realizar a mediano plazo. En la Unión Americana se cuenta con una Norma sobre los requisitos de calidad que deben cumplir los aditivos rejuvenecedores para ser utilizados en los asfaltos envejecidos, la cual se presenta en la Tabla 6.7.1.

Specifications:

Tests	Requirements	Test Method ASTM	AASHTO	Min. Max.
Tests on Emulsion:				
Viscosity @ 25°C, SFS	40	D-244	T-59	15
Residue, % w[1]	65	D-244 (mod)	T-59 (mod)	60
Miscibility Test[2]	Coagulation	D-244 (mod)	T-59 (mod)	No
Sieve Test, % w[3]	0.1	D-244 (Mod)	T-59 (mod)	---
Particle Charge Test	Positive	D-244	T-59	
Percent Light Transmittance[4]	30	GB	GB	---
Cement Mixing	2.0	D-244		
Tests on Residue from Distillation				
Flash Point, COC, °C	---	D-92	T-48	196
Viscosity @ 60°C, cSt	200	D-445	---	100
Asphaltenes, %w	0.75	D-2006-70	---	0.4
Maltene Distribution Ratio	0.6	D-2006-70	---	0.3
$\frac{PC + A_1}{S + A_2}$[5]				
PC/S Ratio[5]	---	D-2006-70	---	0.5
Saturate hydrocarbons, S[5]	28	D-2006-70	---	21

[1]ASTM D-244 Evaporation Test for percent of residue is made by heating 50 gram sample to 149°C (300°F) until foaming ceases, then cool immediately and calculate results.
[2]Test procedure identical with ASTM D-244 60 except that .02 Normal Calcium Chloride solution shall be used in place of distilled water..
[3]Test procedure identical with ASTM D-244 60 except that distilled water shall be used in place of two percent sodium oleate solution.
[4]Test procedure is attached.
[5]Chemical composition by ASTM Method D-2006-70:
PC = Polar Compounds, A_1 = First Acidaffins.
A_2 = Second Acidaffins, S = Saturated Hydrocarbons.

Tabla 6.7.1. Requisitos de calidad para aditivos rejuvenecedores de asfalto, utilizados en EUA

Una manera práctica de evaluar el efecto que puede lograrse con el uso de un aditivo rejuvenecedor y de la cantidad por agregar, es determinando en el laboratorio, antes y después de la incorporación, algunas propiedades de dureza, a través de los ensayes de viscosidad y penetración, tal como se muestra en el ejemplo de la Tabla 6.7.2, sobre un estudio realizado en la Unión Americana.

Core Location	Micro viscosity, 25°C, MP		Equivalent
	0.05 Sec-1	0.001 Sec-1	Penetration
R1 (Untreated)	53.0	750	14
R1 (Treated)	15.5	42.2	25
R2 (Untreated)	50.0	655	14
R2 (Treated)	7.6	20.8	41

Tabla 6.7.2. Resultados de viscosidad y de penetración en un asfalto oxidado y rejuvenecido

Con la aplicación de estos ensayes sencillos, se puede definir de una manera práctica el tipo de aditivo rejuvenecedor y el porcentaje por aplicar en un asfalto envejecido de una mezcla existente en un pavimento, en el cual se aplicará el reciclado en caliente o en frío, en el lugar.

Equipo de Aplicación

Equipo de Calentamiento. Autopropulsado, que eleve la temperatura de la superficie del pavimento entre 120 y 160° C, mediante paneles de rayos infrarrojos. Figuras 6.7.3 y 6.7.4.





Figuras 6.7.3 y 6.7.4. Equipo de calentamiento de la superficie asfáltica, plegado para transporte y extendido para operar

Equipo de Calentamiento y Escarificación. Autopropulsado, que eleve la temperatura de la superficie del pavimento entre 120 y 160° C, mediante paneles de rayos infrarrojos, con rodillo provisto de dientes con punta de carborundo, capaz de escarificar la superficie de la carpeta asfáltica en un espesor entre 2 y 4 cm y mezclar uniformemente el material escarificado. Figura 6.7.5.



Figura 6.7.5. Equipo de calentamiento, escarificación y tendido

Equipo de Calentamiento, Escarificación, Mezclado y Extendido de Nueva Mezcla Asfáltica Autopropulsado, que eleve la temperatura de la superficie del pavimento entre 120 y 160º C, mediante paneles de rayos infrarrojos, con rodillo provisto de dientes con punta de carborundo, capaz de escarificar la superficie de la carpeta asfáltica en un espesor entre 2 y 4 cm y mezclar uniformemente el material escarificado, con tolva receptora en la parte frontal para nueva mezcla asfáltica y doble regla de extendido para extender el material reciclado y la nueva mezcla asfáltica. Figura 6.7.6.



Figura 6.7.6. Equipo de calentamiento, escarificación, mezclado y extendido de nueva mezcla asfáltica

Equipo de Trituración y Cribado. Disposición de trituradoras y cribadoras en tres fases (primaria, secundaria y terciaria), para producir cuando menos tres fracciones de material pétreo triturado, en tamaños clasificados, con una forma angulosa y octaédrica y un elevado porcentaje de finos inertes.

Planta de Elaboración de Mezcla Asfáltica. Provista de cuando menos tres tolvas de alimentación de material pétreo para fracciones en tres tamaños diferentes, con capacidad para producir la mezcla durante 15 minutos, sin ser alimentados; tambor secador con inclinación ajustable, para eliminar la humedad de los materiales pétreos, antes de ser mezclados con el asfalto; dispositivo de recolección y reincorporación de polvo ("colector de polvo"), que impida la pérdida de finos de trituración y evite la contaminación ambiental; medidores de temperatura y pirógrafos para registrar automáticamente las temperaturas del material pétreo y del asfalto, por separado; silo para mantener almacenados y protegidos de la humedad los finos de aportación ("filler") con sistema para dosificación ajustable; dispositivos para dosificar los materiales pétreos por peso y controlar la granulometría obtenida en el diseño de la mezcla; equipo para calentar el cemento asfáltico y controlar la temperatura de mezclado; dispositivo para dosificar por peso el material asfáltico; mezclador con dispositivo para controlar el tiempo de mezclado; silo de almacenamiento de la mezcla asfáltica, aislado térmicamente.

También aplican en este caso las consideraciones para los tres tipos de plantas que pueden usarse, comentadas anteriormente en la sección de la carpeta asfáltica de granulometría densa. Figura 6.7.7.



Figura 6.7.7. Planta de elaboración de mezcla asfáltica en caliente

Compactadores. De rodillos metálicos, de ruedas neumáticas o vibratorios, autopropulsados, reversibles, provistos de un sistema de rocío por agua y petos limpiadores para evitar que el agua se adhiera a los rodillos metálicos y a las ruedas, con un ancho mínimo de 1.40 cm y peso de 8 a 10 ton.

Barredora mecánica. Con escoba rotatoria autopropulsada, para la limpieza de la superficie del pavimento.

Procedimiento de Ejecución

El reciclado en caliente de la carpeta asfáltica tiene tres formas de tratamiento, de acuerdo con los objetivos que se quieran obtener, los cuales se mencionan a continuación:

Calentamiento, Escarificado y Mezclado. Se calienta la superficie del pavimento entre 120 y 150° C, mediante el paso del equipo, escarificando la superficie en un espesor entre 2 y 3 cm, se adiciona un aditivo rejuvenecedor, se mezcla para homogeneizar el material reciclado y se extiende para ser compactada la superficie tratada mediante un compactador de rodillo metálico. A este procedimiento también se le denomina: "termoperfilado", Figura 6.7.8; este tratamiento permite una mejor homogeneización de la mezcla asfáltica existente y también corrige defectos superficiales.

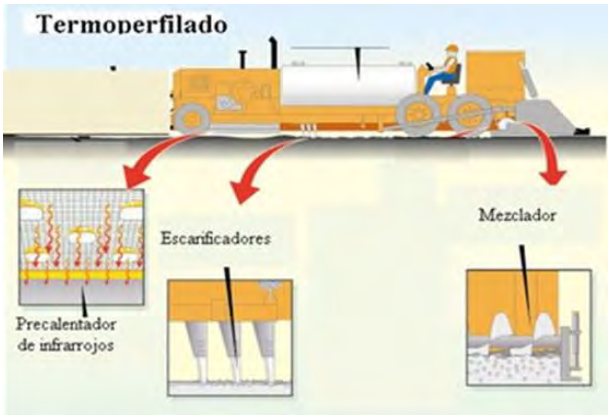


Figura 6.7.8. Calentamiento, escarificación y mezclado de la carpeta asfáltica ("termoperfilado")

Calentamiento, Escarificado, Mezclado, Extendido y Colocación de Nueva Mezcla Asfáltica. Se calienta la superficie del pavimento entre 120 y 150º C, mediante el paso del equipo, escarificando la superficie en un espesor entre 2 y 3 cm; se adiciona un aditivo rejuvenecedor, se mezcla para homogeneizar el material reciclado y se extiende junto con una primera regla, y con una segunda regla de extendido se coloca una nueva capa asfáltica, generalmente para lograr un espesor adicional entre 3 y 4 cm, para ser compactada la nueva capa mediante un compactador de rodillo metálico. A este procedimiento se le denomina: "termo regeneración", Figura 6.7.9. Este tratamiento corrige, además de defectos superficiales, defectos de textura o pulimento del material pétreo, defectos de geometría superficial y asegura la adherencia de la nueva capa asfáltica.

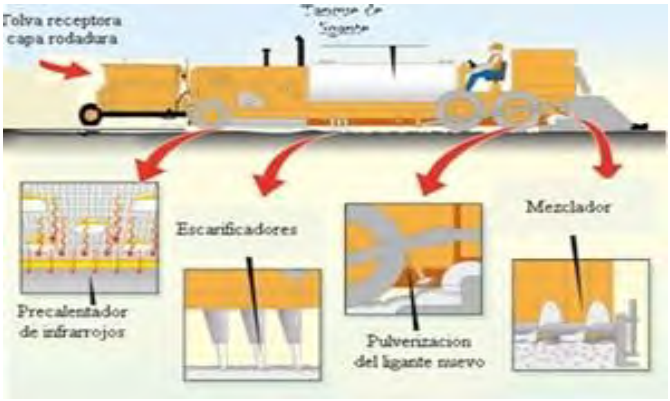


Figura 6.7.9. Calentamiento, escarificación, extendido y colocación de nueva capa asfáltica ("termo regeneraciòn")

Calentamiento, Escarificado, Incorporación de Nuevo Material Pétreo o Mezcla Asfáltica, Mezclado y Tendido en una Sola Capa. Se calienta la superficie del pavimento entre 120 y 150º C, mediante el paso del equipo, escarificando la superficie en un espesor entre 3 y 5 cm, se adiciona un aditivo rejuvenecedor, se incorpora nuevo material pétreo o nueva mezcla asfáltica y se mezcla para homogeneizar con el material reciclado y se extiende en una sola capa, generalmente para lograr un espesor entre 4 y 8 cm, para ser compactada la nueva capa recuperada mediante un compactador de rodillo metálico. A este procedimiento se le denomina: "termo reciclado", Figura 6.7.10 y se aplica para corregir, además de deterioros superficiales, la granulometría de la capa reciclada y mejorar su comportamiento.



Figura 6.7.10. "Termo reciclado" de la carpeta asfáltica existente

A continuación se describen los pasos previos y finales, en la ejecución de cada una de las técnicas de reciclado antes comentadas:

1. Antes del inicio de los trabajos de reciclado, se deben efectuar muestreos de la carpeta asfáltica existente, para determinar en el laboratorio las características granulométricas del material pétreo, contenido de asfalto y realizar una recuperación del asfalto en la mezcla, para determinar sus características de calidad y definir su grado de oxidación. Con esta información, se define qué tipo de reciclado es conveniente aplicar, lo cual depende de los defectos y objetivos por alcanzar en la conservación del pavimento y de las condiciones de calidad de la mezcla asfáltica existente. En esta etapa también se define el tipo de aditivo rejuvenecedor o la emulsión asfáltica que convenga adicionar en el tratamiento, así como la cantidad.

   En caso de que sea necesario adicionar nuevo material pétreo o nueva mezcla asfáltica, se debe realizar el diseño correspondiente, para definir las proporciones de los nuevos materiales y las características de comportamiento de la nueva mezcla reciclada.

2. Se efectúa un recorrido previo al tramo en donde se efectuará el reciclado de la carpeta asfáltica existente, para verificar que se tienen las condiciones de aplicación que se señalaron al inicio de este inciso.

3. Los trabajos de reciclado en caliente de la carpeta asfáltica existente no se pueden realizar si la temperatura ambiente es inferior a 15° C ó la temperatura tienda a bajar de 15° C. Tampoco se puede efectuar el reciclado de la carpeta asfáltica si hay amenaza de lluvia o está lloviendo.

4. Antes del inicio de los trabajos de reciclado de la carpeta asfáltica, se debe cerrar al tránsito el tramo por conservar, utilizando bandereros y señalamiento de protección en obra, conforme se indica en las **Normas N·PRY·CAR·10·03·002/01** Señalamiento Vertical para Protección en Obras y **N·PRY·CAR·10·03·003/01** Dispositivos de Canalización para Protección en Obras, de la Normativa SCT.

5. Durante la aplicación de alguna de las técnicas de reciclado antes descritas, es importante verificar permanentemente si las condiciones de la carpeta asfáltica existente corresponden a las definidas en el proyecto, para realizar las modificaciones o ajustes en las adiciones de los nuevos materiales.

6. Si se utiliza nueva mezcla asfáltica en el reciclado de la carpeta asfáltica existente, la temperatura de tendido y compactación serán las determinadas mediante la curva viscosidad-temperatura del material asfáltico utilizado. Figuras 6.7.11 y 6.7.12.





Figuras 6.7.11 y 6.7.12. Aspectos del reciclado en caliente en el lugar, con incorporación de nueva mezcla asfáltica

7. En caso de colocar una nueva capa asfáltica sobre la carpeta asfáltica reciclada (“termo regeneración”) o si se mezcla nueva mezcla asfáltica con el material de la carpeta asfáltica reciclada, en la compactación de la carpeta asfáltica deben seguirse los pasos indicados en la sección anterior sobre la construcción de carpeta asfáltica de granulometría densa.

8. Al término de la compactación de la carpeta asfáltica reciclada, se retiran todos los equipos utilizados, se procede al retiro del señalamiento de protección en obra y se está en condiciones de abrir el tramo a la circulación del tránsito.

9. Para verificar la densidad, la granulometría y el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica tendida, es común efectuar un muestreo extrayendo corazones en la capa asfáltica reciclada, después de unos días de haberse terminado, los cuales se llevan a un laboratorio para determinar los parámetros citados.

10. También es conveniente que la Empresa constructora verifique la densidad de la carpeta asfáltica, mediante el uso de un “densímetro nuclear”, que permite obtener valores confiables y de forma inmediata.

Condiciones de Aceptación y de Acabado

Se comentan a continuación las condiciones típicas de aceptación y de acabado de la carpeta asfáltica reciclada en caliente, aunque es necesario considerar que los requisitos aplicables son los que se establecen en cada proyecto específico:

- La calidad de la emulsión asfáltica que se utilice para complementar el asfalto de la mezcla asfáltica reciclada, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de materiales pétreos y asfálticos, que se utilicen en la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, deben cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- La calidad de la mezcla asfáltica en caliente, que se utilice para construir la nueva capa asfáltica o para mezclarse con la carpeta asfáltica reciclada, debe cumplir con la Norma indicada en el inciso de Materiales y requisitos de calidad.

- El Índice de Perfil que se determine con el Perfilómetro Longitudinal de California, en cada franja de tendido o en cada subtramo con una longitud de 200 m o fracción, debe ser igual o menor de 31 cm/km. En caso de que no se cumpla este requisito, la Empresa constructora se obliga a efectuar las medidas que permitan reducir los valores obtenidos, mediante fresado superficial. Para mayor detalle sobre la aplicación de este requisito, los interesados pueden consultar la **Norma N·CSV·CAR·3·02·005/10** Carpeta Asfáltica de Granulometría Densa, de la Normativa SCT.

- Se verifican los acabados geométricos de la carpeta asfáltica reciclada, con nivelación topográfica antes y después de su construcción, debiendo cumplir con un ancho de la sección del eje del camino a la orilla de ± 1.0 cm. La pendiente transversal a cada lado del eje, con relación al indicado en el proyecto, debe ser de ± 0.5%.

- También se determina el espesor de la carpeta asfáltica reciclada, mediante la nivelación (antes y después de los trabajos efectuados) en siete puntos de cada sección transversal nivelada, separada cada sección a cada 20 m sobre el eje longitudinal, verificando que el espesor promedio determinado en cada kilómetro o fracción, sea igual o mayor de 0.98 el espesor de proyecto. Además, la desviación estándar de todos los puntos determinados en cada kilómetro debe ser igual o menor de 0.1 el espesor promedio del tramo.

- El coeficiente de fricción que se determine en la superficie de la carpeta asfáltica reciclada debe ser mayor de 0.6, medida con el equipo MuMeter o similar, en condiciones de pavimento mojado a una velocidad de 75 km/h.

6.8 RECUPERACIÓN EN FRÍO CON EMULSIÓN ASFÁLTICA

Generalidades

La recuperación de pavimentos asfálticos se utiliza cada vez con mayor frecuencia a nivel mundial. Esta tendencia no debe sorprender si se analizan con detenimiento las ventajas económicas y medio-ambientales que se logran con este tipo de tecnologías.

Dentro del abanico de posibilidades que existe para realizar trabajos de recuperación resulta particularmente atractivo el uso de la técnica de recuperación en frío "in situ" con emulsión asfáltica (Figura 6.8.1); ya que con la correcta aplicación de esta técnica se evidencian aún más las ventajas inherentes a las técnicas de recuperación.



Figura 6.8.1. Recuperación en frío "in situ"

La recuperación de pavimentos agrupa todas aquellas técnicas en las que se tratan materiales que forman parte de una carpeta e incluso, con carácter más general, materiales que ya han sido empleados para cualquier tipo de aplicación. La recuperación ofrece numerosas versiones que pueden clasificarse en base a diferentes criterios.

En este Tema se desarrolla exclusivamente la técnica de Recuperación en Frío con Emulsión, buscando obtener mayor conocimiento de tal sistema, dadas las ventajas que conlleva, pues en la actualidad es una de las técnicas de recuperación de pavimentos más empleada y de la que se tiene mayor experiencia.

Para fines de la recuperación en frío con emulsión, tanto los materiales granulares como los procedentes del fresado de materiales hidráulicos se consideran como agregados. Únicamente los materiales procedentes del fresado de mezclas asfálticas tienen la posibilidad de ser tratados de forma que el aglomerante sea también recuperado y en consecuencia, aprovechado.

Este reaprovechamiento del asfalto de la mezcla a recuperar se puede realizar empleando emulsiones de asfaltos blandos o de mezcla de asfaltos y rejuvenecedores.

Cabe distinguir dos tipos de recuperación en frío con emulsión, por la forma de puesta en obra: en planta o "in situ" (Figuras 6.8.2 y 6.8.3). En planta pueden ajustarse los parámetros de elaboración con mayor precisión pero el costo es mayor, por lo que suele ser mucho más habitual la puesta en obra directa "in situ". Los equipos disponibles en la actualidad para la ejecución de recuperación en frío en el lugar, con sistemas de dosificación bastante precisos, permiten obtener un comportamiento mecánico similar si se siguen las reglas de una buena práctica.

Se define como Recuperación en Frío con Emulsión Asfáltica, (RFEA) a la mezcla homogénea, convenientemente extendida y compactada, del material resultante del fresado de una o más capas de una carpeta existente en un espesor comprendido entre 6 y 12 cm, emulsión asfáltica, agua y eventualmente, aditivos. Todo el proceso de ejecución se realiza a temperatura ambiente.



Figura 6.8.2. Reciclado en planta



Figura 6.8.3. Reciclado "in situ"

El RFEA se puede realizar sin aporte de agregados (recuperado del 100%) o bien con aporte de ellos, normalmente en baja proporción (alrededor de 10-15%), para corregir la granulometría.

En lo sucesivo se supone que la granulometría es suficientemente buena y que, en caso de no serlo, se recurre a su corrección.

Ventajas de la Recuperación en Frío

a) Se mejora el índice de servicio de pavimentos envejecidos y deteriorados.

b) Se incrementa la capacidad estructural.

c) Se reduce el consumo de energía e impacto ambiental.

d) Se reducen los costos de las materias primas.

e) Se restablece la corona, al eliminar las deformaciones.

f) Se mantiene la rasante existente.

g) La emulsión aporta flexibilidad.

h) Se minimiza el tiempo de cerrado de la carretera y los retrasos de los usuarios.

i) Un pavimento recuperado puede volverse a reciclar.

Aspectos por Considerarse en una Recuperación

Se mencionan a continuación los aspectos que es necesario considerar para efectuar el diseño de una mezcla asfáltica recuperada con emulsión:

1. Condiciones de deterioro existentes.
2. Espesores y tipos de los materiales del pavimento existente.
3. Requerimientos estructurales del pavimento recuperado.
4. Disponibilidad de asfaltos para la recuperación.
5. Disponibilidad del equipo adecuado.

Métodos de Diseño de Mezclas Recuperada en Frío con Emulsión

Se tienen varios métodos de diseño como el de Chevron, del Asphalt Institute, el Marshall Modificado, el utilizado en España y en Francia, etcétera. A continuación se describen los pasos para el diseño de mezclas que son comunes en cada uno de los métodos:

a) Caracterización y Selección de Materiales.

b) Selección de la Emulsión.

c) Definición de la Granulometría de Trabajo.

d) Determinación del Contenido Óptimo de agua y de Asfalto en la Mezcla.

e) Definición y Evaluación de las Mezclas de Prueba.

f) Selección de la Fórmula de Trabajo.

Es importante señalar que para su caracterización, previo a la obtención de muestras de materiales por recuperar, se requiere verificar el proyecto, de tal manera que se lleve a cabo un diseño de mezcla recuperada para cada tramo homogéneo, con el fin de utilizar una dosificación de materiales específica y adecuada a las necesidades de cada tramo.

a) Caracterización y Selección de Materiales

Como primer paso para cualquier diseño de mezclas asfálticas, independientemente de si son mezclas en frío o en caliente, es indispensable la caracterización de los materiales que van a formar la mezcla, ya que de estas características y de su interacción depende, en gran medida, el comportamiento final de la mezcla.

Caracterización de Agregados

Las características de los agregados son determinantes en el comportamiento de la mezcla compactada. Las mezclas recuperadas en frío "in situ" se caracterizan por su alto contenido de material recuperado (RAP, por sus siglas en inglés), el cual suele ser del 100%. Cabe aclarar que en algunos casos se incorporan agregados nuevos con el propósito de incrementar la capacidad estructural de la mezcla recuperada resultante, para corregir el exceso de asfalto presente en la mezcla por reciclar o para corregir la graduación de partículas.

Para caracterizar adecuadamente el RAP es importante obtener una muestra representativa del mismo, por lo cual, se debe llevar a cabo el fresado del pavimento por recuperar con el equipo que se utilizará en el proyecto, de tal manera que las características granulométricas que se analicen de la muestra obtenida sean muy similares a las que se ejecutarán en el proyecto. El RAP debe ser muestreado y reducido al tamaño que requiera el método de diseño, según lo indica la **Norma M·MMP·4·04·001/02**, Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.
La caracterización del RAP se hace en cuatro etapas:

1. **Obtención de la Granulometría del Material Recuperado (RAP)**

   La obtención de la granulometría del material recuperado (RAP) sigue exactamente el mismo procedimiento que se lleva a cabo para los agregados. Es decir, el procedimiento descrito en la **Norma M·MMP·4·04·002/02**, Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas.

   Cabe señalar que aunque la granulometría del RAP antes de la extracción del asfalto no representa de manera exacta la distribución de tamaños de los agregados que lo conforman, su obtención resulta valiosa como un parámetro de control del proceso de fresado durante la ejecución de obra.

2. Extracción del Asfalto del RAP

La extracción del asfalto del RAP se lleva a cabo como un primer paso para conocer las características de los elementos que lo componen. Existen diferentes métodos para la separación del asfalto contenido en el RAP, y son los mismos que los utilizados para la extracción del asfalto en una mezcla convencional.

La **Norma ASTM D 2172**, Standard Test Methods for Quantitive Extraction of Bitumen From Bituminous Paving Mixtures, es una excelente referencia sobre los métodos que deben de utilizarse para la extracción del asfalto contenido en el RAP. De los métodos mencionados en esa norma es común hacer la extracción por el Método A, recuperación con equipo centrífugo (también conocido como Rotarex). Ya que, con la extracción del asfalto por medio de este método no es necesario calentar el solvente utilizado, por lo que el asfalto recuperado no sufre ninguna alteración por la acción del calentamiento durante el proceso de extracción.

Después de la extracción del asfalto del RAP se tienen dos elementos: los agregados y una solución asfalto-solvente. Esta solución asfalto-solvente es necesario separarla, para poder llevar a cabo la caracterización del asfalto.

Para la separación del asfalto del solvente también existen varios métodos, siendo el más utilizado para este proceso, el descrito en la **Norma ASTM D 5404**, Standard Practice for Recovery of Asphalt from Solution Using the Rotary Evaporator, ya que ha sido diseñado para minimizar los cambios ocurridos en las características del asfalto durante su recuperación.

3. Caracterización del Asfalto Recuperado del RAP

Una vez que se ha recuperado el asfalto, el siguiente paso es la obtención de sus propiedades.

Los procedimientos de caracterización son exactamente los mismos que los que se utilizan para los asfaltos convencionales.

Normalmente suelen tener especial importancia la penetración, la viscosidad y, con menos frecuencia, el grado PG del asfalto recuperado. Cuando se ha determinado la penetración o viscosidad del asfalto recuperado, se deben seleccionar el tipo y la cantidad de asfalto nuevo que se deben utilizar para llegar a un ligante de las características establecidas en la mezcla asfáltica final.

Normalmente, las características del material asfáltico que se obtiene con la mezcla del asfalto viejo con el nuevo son las que se exigen para un asfalto nuevo que será utilizado en una mezcla no recuperada.

Para el caso de las mezclas recuperadas en frío es importante recordar que el asfalto nuevo se incorpora en forma de emulsión; por lo que el tipo y cantidad de asfalto que se obtiene mediante el procedimiento descrito anteriormente, debe ser tomado como una primera aproximación. Más adelante, en el proceso de diseño de mezclas recuperadas en frío, se presentan otros criterios con los que se define de manera más precisa el contenido de asfalto óptimo para este tipo de mezclas.

4. Caracterización del Material Pétreo Después de la Extracción

Tal como se había indicado anteriormente, la caracterización del material pétreo es sumamente importante, puesto que el comportamiento de la mezcla asfáltica depende en gran medida de las propiedades de los agregados con los que fue elaborada.

La caracterización del material pétreo contenido en el RAP después de la extracción del asfalto se lleva a cabo de la misma manera y con los mismos procedimientos con los que se caracterizan los agregados no recuperados. La característica más importante a evaluar en el material pétreo recuperado es la

granulometría, ya que de ella dependen el comportamiento de la mezcla y la necesidad de incorporar agregados nuevos, para corregirla o en su caso de modificar los parámetros de fresado del pavimento (lo que resulte más conveniente).

Es importante verificar todas estas características durante el proceso de diseño de la mezcla, ya que, a medida que se tenga un material pétreo con mejores características, mayor será la probabilidad de obtener una mezcla de alta calidad.

b) Selección de la Emulsión

El diseño o selección de la emulsión es un proceso que debe llevarse a cabo para asegurar que el asfalto requerido por la mezcla es el adecuado para los materiales granulares con los que se va a trabajar y el proceso constructivo que se va a utilizar.

Este proceso debe de ser iterativo, con el propósito de optimizar todos los parámetros y así lograr: una adecuada incorporación del asfalto a la mezcla, un buen cubrimiento de los agregados, el desalojo rápido del agua de la mezcla y sobre todo la mayor cohesión de la mezcla en el menor tiempo posible.

Se comentan los criterios que se deben seguir para definir los parámetros de la emulsión, como una guía útil para la producción de emulsiones adecuadas para el diseño de mezclas recuperadas en frío con emulsión; evidentemente el diseño se plantea como una labor conjunta entre el proveedor de la emulsión y el constructor (productor de la mezcla).

La selección de la emulsión es un proceso de definición de los parámetros con los que se producen las emulsiones. Para realizar correctamente esta selección se tienen que considerar los siguientes aspectos, ya que son importantes por su influencia directa en el comportamiento de la mezcla:

1. Características de los agregados del RAP.
2. Características de los agregados por incorporar (si fuera el caso).
3. Características del asfalto contenido en el RAP.
4. Características del asfalto nuevo por incorporar (emulsificado).
5. Proceso constructivo a utilizar (mezclado con motoconformadora o recuperadora).
6. Condiciones climáticas de la región.

Es posible definir ciertos valores para los siguientes parámetros con los que se selecciona la emulsión:

Tipo de Emulsión (Media, Lenta o Sobre Estabilizada y Catiónica o Aniónica)

De acuerdo con las recomendaciones que dan los especialistas y la experiencia generada en nuestro país para el recuperado en frío con emulsión, se debe utilizar cualquiera de los siguientes 3 tipos de emulsión: media, lenta o sobre estabilizada.

Dependiendo del procedimiento constructivo, se debe hacer lo siguiente:

1. Si la mezcla se hace con motoconformadora, se debe utilizar una emulsión lenta o sobre estabilizada.

2. Si se utiliza una máquina mezcladora, se debe utilizar emulsión media o lenta. Esta recomendación tiene por objeto que la mezcla que se realice tenga un adecuado cubrimiento y un buen desarrollo de trabajo para las operaciones de tendido.

En cuanto a la carga de partícula se tienen dos tipos de emulsiones: las catiónicas y las aniónicas. Las emulsiones catiónicas son las más utilizadas porque son compatibles con la mayoría de los agregados y de manera general

son las que se deben utilizar; excepcionalmente pueden existir algunos proyectos muy específicos donde será necesario considerar el uso de emulsión aniónica.

Tipo y Dosificación del Emulsificante

La dosificación del emulsificante es uno de los factores más importantes para controlar los siguientes tres efectos:

1. El tiempo de rompimiento de la emulsión
2. Su estabilidad de almacenamiento (asentamiento)
3. La cohesión inicial de la mezcla

Es importante señalar que, de acuerdo al fabricante, se tienen distintos tipos de emulsificantes y diferentes dosificaciones, siendo típicas las que se presentan en la Tabla 6.8.1.

Tipo de emulsión	Dosificación de emulsificante (kg por tonelada de emulsión)
Media	**4 a 8**
Lenta	**6 a 9**
Sobre estabilizada	**7 a 14**

Tabla 6.8.1. Dosificaciones típicas en México para emulsiones de diferentes tipos

pH de la Solución Jabonosa

El grado de acidez (potencial de Hidrogeno, pH) de la solución jabonosa para la producción de las emulsiones catiónicas es otro factor importante a considerar en su diseño. En la elaboración de la solución jabonosa se suele utilizar algún ácido (soluciones para emulsiones catiónicas), para llevar el pH de la solución al valor requerido. En la producción de emulsiones en México se suele utilizar ácido clorhídrico (HCl) para llevar la solución jabonosa a un valor de pH entre 1.8 a 2.2, que es el rango típico. De manera análoga a lo que ocurre con la dosificación de emulsificante, con el pH de la solución jabonosa es posible modificar la respuesta de la emulsión.

Tipo y Contenido de Asfalto

El contenido de asfalto en la emulsión es uno más de los factores que definen su desempeño.

Típicamente se suelen exigir contenidos de asfalto en la emulsión del orden de 60% para su utilización en mezclas asfálticas; para otro tipo de aplicaciones el contenido de asfalto puede variar.

El tipo de asfalto también modifica las características de la emulsión. Sin embargo, este parámetro de diseño se determina en función de las características del asfalto envejecido contenido en el RAP y del asfalto resultante (mezcla de envejecido + incorporado), más que de las características deseadas en la emulsión. Por lo tanto, el tipo de asfalto para el diseño de la emulsión no se considera como un parámetro para el diseño de la misma, aunque en realidad sí tiene algunos efectos sobre el comportamiento de la emulsión.

c) Definición de la Granulometría de Trabajo

La granulometría es la característica más importante de los agregados que conforman una mezcla asfáltica. La distribución de los tamaños de las partículas de agregado para un proyecto de recuperado puede ser modificada, en función de las necesidades del proyecto. La modificación de la granulometría se puede dar por dos mecanismos:

1. Cambiando los dispositivos de corte y mezclado de la máquina de fresado
2. Incorporando agregados de banco a la mezcla.

Considerando lo anterior, es posible obtener una curva granulométrica que asegure un adecuado comportamiento de la mezcla recuperada. La selección de la granulometría debe estar acompañada de alguna guía o límites granulométricos. En cuanto a este punto existen muchas referencias; una de ellas es la que se especifica en la **Norma N·CMT·4·02·003/04**, Materiales para Bases Tratadas, en cuyo inciso F se establecen los límites granulométricos del material pétreo para bases negras. (Tabla 6.8.2.).

Malla		Porcentaje que pasa	
Abertura mm	Designación	$\sum L \leq 10^{6(*)}$	$\sum L > 10^{6(*)}$
37,5	1½"	100	100
25	1"	90 - 100	90 - 100
19	3/4"	76 - 100	76 - 100
9,5	3/8"	42 - 100	42 - 100
4,75	N° 4	24 - 100	24 - 100
2	N° 10	10 - 90	10 - 27
0,85	N° 20	5 - 65	5 - 14
0,425	N° 40	4 - 47	4 - 10
0,25	N° 60	2 - 35	2 - 8
0,15	N°100	1 - 25	1 - 7
0,075	N°200	0 - 15	0 - 6

(*)∑L = Número de ejes equivalentes acumulados, de 8,2 t, esperado durante la vida útil del pavimento.

Tabla 6.8.2. Requisitos de granulometría del material pétreo para bases de mezcla asfáltica (bases negras)

Para el método de diseño Marshall Modificado se toman como válidos los límites establecidos en la normativa mexicana, con las siguientes recomendaciones:

a) El tamaño máximo nominal de los agregados que se utilicen será igual a 1/3 del espesor de la capa de base donde se va a colocar.
b) Se busca, dentro de lo posible, formar bases negras con una estructura granular, lo cual se logra a medida que se aumentan los vacíos en agregado mineral (VAM) de la mezcla.

- Siempre que sea posible, se recomienda trabajar con más de una granulometría, de manera que el diseño de la mezcla no sólo se centre en la selección de materiales y la obtención del contenido óptimo de asfalto, sino que además se incluya la optimización de la granulometría.
- Adicionalmente, la selección de la granulometría debe ir acompañada de las características mecánicas que se esperan en la mezcla, (por ejemplo el módulo dinámico) las cuales deben lograrse para asegurar que el pavimento no falle antes de alcanzada la vida útil esperada (definida en el proyecto).

d) Determinación del Contenido Óptimo de Agua y de Asfalto en la Mezcla

El contenido óptimo de agua en las mezclas asfálticas elaboradas en frío es muy importante, para lograr la adecuada incorporación y cubrimiento de la emulsión con los materiales pétreos y por lo tanto las propiedades mecánicas requeridas en la misma.

Los líquidos que conforman la mezcla asfáltica elaborada en frío son:

1. El agua preincorporada (agua añadida + humedad del sitio)

2. La emulsión asfáltica (agua emulsificada + asfalto)

La suma de ambos es el contenido de agua y asfalto en la mezcla. Este contenido debe optimizarse, para obtener las mejores propiedades en la mezcla.

Contenido Óptimo de Agua y Asfalto

Para determinar el contenido óptimo de agua y asfalto de la mezcla se suele aproximar mediante alguno de los ensayos estandarizados para el estudio de los suelos.

En este método para el diseño de mezclas recuperadas con emulsión, se utiliza el ensayo descrito en la **Norma M·MMP·1·09/06** Suelos y Materiales para Terracerías (**AASHTO T-99**), Compactación AASHTO, para la determinación del contenido óptimo de agua en la mezcla. Por lo tanto, se debe utilizar el agregado con la(s) granulometría(s) de trabajo seleccionada(s) para evaluarlas mediante el ensayo Compactación AASHTO y determinar el contenido óptimo de agua de cada granulometría de trabajo.

Cabe aclarar en este punto que tal como lo indica el título de este Capítulo, el contenido de agua obtenido mediante este procedimiento es un valor aproximado al óptimo, que se define con mayor precisión a medida que se avance en el proceso de diseño.

Contenido Óptimo de Asfalto

El procedimiento de selección del contenido óptimo de asfalto es similar al que se ejecuta para las mezclas asfálticas en caliente; es decir, se trata de ensayar diferentes contenidos de asfalto en la mezcla hasta seleccionar aquel con el que se obtienen mejores propiedades.

En este método se utiliza el ensayo conocido como Equivalente Centrífugo de Keroseno para determinar el contenido óptimo aproximado que requiere cada una de las granulometrías de trabajo. En caso de no aplicar este procedimiento, también se puede definir con base en la experiencia un rango de contenidos asfálticos de prueba, el cual puede ser ampliado de acuerdo a la apariencia que muestren las mezclas al momento de ser elaboradas.

Se aclara que el contenido óptimo aproximado en la mezcla es la suma del asfalto añadido (en forma de emulsión) más el asfalto contenido en el material recuperado, RAP. Por lo tanto, la cantidad de asfalto que se requiere para fabricar la mezcla con RAP es menor que la que necesitaría en caso de utilizar únicamente agregados nuevos (no recuperados).

e) Definición y Evaluación de las Mezclas de Prueba

Hasta este punto del diseño de mezclas se cuenta con una serie de variables y de aproximaciones a los contenidos óptimos de cada uno de los materiales. El siguiente paso en el diseño es la definición de las mezclas de prueba, de tal manera que se puedan precisar los valores óptimos de cada una de las variables que se tienen con base en el cubrimiento, “trabajabilidad” y la resistencia de cada una de las diferentes mezclas de prueba.

Las variables posibles en el diseño de mezclas recuperadas son las siguientes:

- Diferentes emulsiones (en su caso).
- Diferentes granulometrías de ensayo.
- Contenido de agua preincorporada.
- Porcentaje de asfalto de prueba inicial.

Para facilitar el diseño de la mezcla recuperada en frío, es conveniente definir las mezclas de prueba con el enfoque de determinar o seleccionar una emulsión de entre las opciones que se tengan (si es que se ha considerado la posibilidad de diseñar la emulsión específica para un proyecto).

Mezclas de Prueba para el Diseño de la Emulsión

Tal como se había indicado anteriormente, el diseño de la emulsión es importante, ya que el comportamiento de la misma se debe ajustar a las condiciones de ejecución del proyecto, para lo cual se deben también ajustar los parámetros indicados en este Tema.

Para la selección de la emulsión, se deben tomar dos de las granulometrías de prueba (la más fina y la más gruesa), un contenido de asfalto (el óptimo aproximado) y un contenido de agua de preincorporación (que será función del contenido óptimo de líquidos en la mezcla, del contenido de asfalto en la emulsión y del contenido óptimo aproximado de asfalto determinado). De esta manera, las mezclas de prueba deben de ser las que se determinen en la Tabla 6.8.3 (estas mezclas no es necesario compactarlas).

Emulsión	Granulometría	% asfalto en mezcla	% agua	No. Mezcla
E_1	De finos	En finos	W_1	1
	De gruesos	En gruesos	W_2	2
E_2	De finos	En finos	W_1	3
	De gruesos	En gruesos	W_2	4

$$\text{Contenido óptimo de líquido} = \frac{\%\ asfalto\ en\ mezcla}{\%\ asfalto\ en\ emulsión} + \%\ agua\ preincorporada$$

Tabla 6.8.3. Ejemplo de mezclas de prueba para la selección de la emulsión

En el ejemplo mostrado en la Tabla 6.8.3 se tienen 4 mezclas de prueba, para definir entre dos tipos de emulsiones (aunque en realidad se suele tener un mayor número de opciones, aquí sólo se pretende ejemplificar).

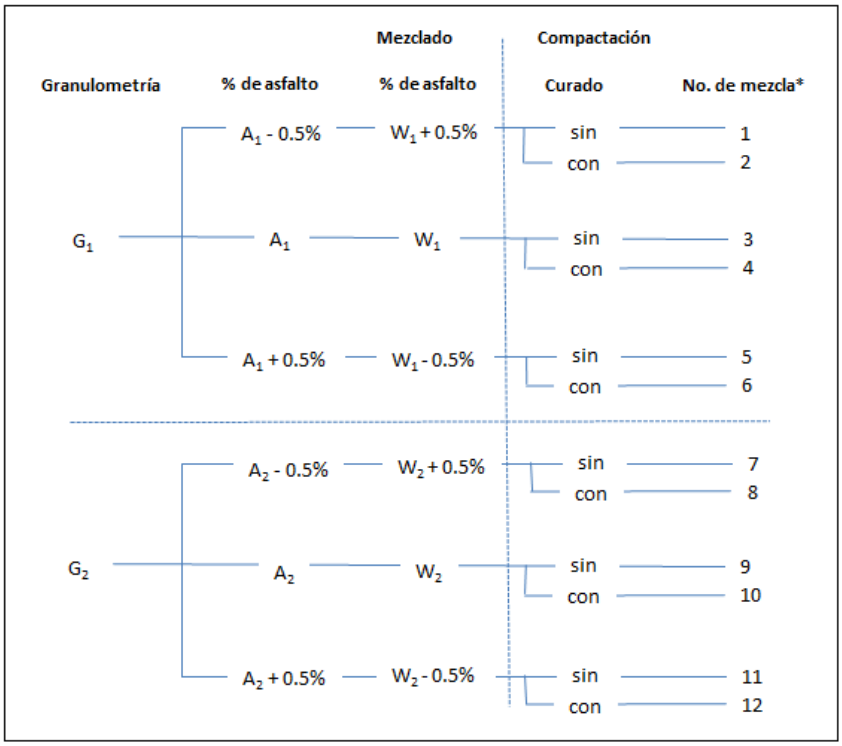
La emulsión seleccionada será aquella que cumpla de mejor manera con los siguientes parámetros:

1. Tiempo de rompimiento adecuado para el proyecto en cuestión.
2. Mayor cubrimiento de los agregados.
3. Mejor "trabajabilidad" de la mezcla (facilidad de mezclado).

La evaluación de estos parámetros se debe efectuar visualmente y agrupar los resultados por tipo de granulometría, para seleccionar aquella emulsión que, de manera general, presente los mejores resultados para los criterios antes mencionados.

Mezclas de Prueba para el Resto de los Parámetros

Una vez que se ha definido la emulsión con la cual se va a trabajar, se deben elaborar varias series de mezclas, las cuales van a ser analizadas antes y después de su compactación para definir la granulometría óptima, el contenido de agua de preincorporación y el contenido óptimo de emulsión asfáltica en la mezcla. Tal como se ejemplificó en el inciso anterior, las mezclas de prueba para esta etapa del diseño se ilustran en la Figura 6.8.2.



** Mezclas elaboradas por triplicado*

Tabla 6.8.4. Ejemplo de mezclas de prueba para el diseño de mezcla recuperada con emulsión

En la Tabla 6.8.4 se puede observar el conjunto de ensayos que se tendrían para 2 tipos de granulometría (G1 y G2). Cada granulometría debe ser ensayada con al menos 3 contenidos distintos de agua y emulsión, buscando mantener constante este contenido para cada serie. Cabe aclarar que el contenido óptimo aproximado de agua y emulsión calculada anteriormente puede ser modificado durante esta etapa del diseño, en función del comportamiento de las mezclas durante su elaboración (cubrimiento y "trabajabilidad"); hay que recordar que la máxima densidad de la mezcla de agregados trabajando con agua se obtuvo mediante el ensayo de Compactación AASHTO.

Finalmente, en la Tabla 6.8.4 se muestran dos series de mezclas, unas que son "curadas" y otras no. La compactación para la serie de mezclas no curadas debe efectuarse en un periodo posterior al mezclado, similar al que se vaya a ejecutar en el proyecto. Es decir, si durante la ejecución del proyecto se pretende realizar el mezclado con motoconformadora, dejar la mezcla "acamellonada" un día y posteriormente extenderla y compactarla. En el laboratorio se debe hacer la mezcla y se debe compactar después de un día de reposo.

En cambio, si en el proyecto se pretende hacer el recuperado mediante una máquina recuperadora, la cual fresa, mezcla y extiende en una sola pasada (para compactarse de inmediato), entonces la mezcla en el laboratorio debe ser compactada unos momentos después de ser producida.

En cuanto a las mezclas que se compactan después de un periodo de curado, existen diversas recomendaciones a nivel internacional. Para este método de diseño se realiza el curado en horno a 60° C durante 72 horas ya que con este tiempo de curado se simula la condición que adquiere la mezcla compactada después de unos meses de su puesta en obra.

A todas las mezclas compactadas "curadas" y no curadas se les debe determinar su densidad, de tal manera que se puedan calcular sus propiedades volumétricas (vacíos, VAM, vacíos rellenos de asfalto), las cuales sirven como un criterio más para la selección de los contenidos óptimos de agua y emulsión en la mezcla.

Tal como se ha indicado en la Tabla 6.8.4, hay un grupo de probetas que se ensayan sin curado y otras sí son "curadas" antes de ser ensayadas, para posteriormente determinar su resistencia mediante el ensayo de tracción indirecta a 5° C. Es conveniente aclarar que se ensayan probetas sin curar y otras "curadas" porque las mezclas en frío van ganando resistencia poco a poco, llegando a su resistencia máxima después de unos cuantos meses. Por lo tanto es importante tanto la resistencia inicial como la final, y por ello en este método de diseño se evalúan ambas condiciones.

Evaluación de las Mezclas

La evaluación de las mezclas se divide básicamente en dos etapas. La primera es la etapa de mezclado y la segunda es la evaluación de la resistencia de las mezclas compactadas.

Para la etapa de mezclado, la evaluación de cada una de las mezclas como las ejemplificadas en la Tabla 6.8.4 se debe hacer durante y después del mezclado.

Se deben observar las diferencias en:

1. La "trabajabilidad" de la mezcla, considerándose mejor aquella que sea más fácil de mezclar y manipular durante su mezclado (evidentemente se tendrá que realizar el mezclado de manera manual).

2. El cubrimiento de los agregados (siendo mejor aquella mezcla con la que se obtenga mayor cubrimiento).

Para esta etapa del diseño normalmente se suelen tener mejores resultados a medida que se aumenta el porcentaje de agua de preincorporación en la mezcla; bajo este hecho se puede cometer el error de incrementar el porcentaje de agua más allá del óptimo, que disminuye la resistencia de la mezcla. Por lo tanto, hay que ser cuidadosos al momento de seleccionar el contenido de agua de preincorporación y sobre todo tratar de conservar constante el contenido de agua y emulsión, en la mezcla.

La segunda etapa es la evaluación de las propiedades volumétricas y la resistencia de las mezclas. Para este método se ha seleccionado el ensayo de tracción indirecta (prueba brasileña o ensayo de compresión diametral) a una temperatura de 5° C. Este ensayo tiene la ventaja de aproximarse a un estado de esfuerzos de tensión similar al que se da en un pavimento. Tal como se había dicho anteriormente, este ensayo se va a realizar tanto a los especímenes curados como a los no curados.

f) Selección de la Fórmula de Trabajo

La selección de la fórmula de trabajo es el último paso para concluir el proceso de diseño de mezcla. Se debe realizar este último paso en base a los resultados globales obtenidos de cada una de las pruebas mencionadas en los incisos anteriores. Los criterios a considerar para definir la fórmula de trabajo son:

- En emulsión

  a. Tiempo de rompimiento.
  b. Almacenamiento (asentamiento).
  c. Cohesión (aunque depende también de otros parámetros).

- En mezcla

  a. "Trabajabilidad"
  b. Cubrimiento.

- En especímenes (mezcla compactada)

  a. Propiedades volumétricas (vacíos, VAM, vacíos rellenos de asfalto)
  b. Resistencia a tracción indirecta, en mezclas no curadas y curadas

c. Módulo elástico, en mezclas no curadas y curadas (verificar correspondencia con el definido en el diseño de espesores).

Con los criterios anteriores y observando de manera preferente la resistencia obtenida en las mezclas, se deben definir las proporciones de cada uno de los materiales en la mezcla asfáltica recuperada. En la fórmula de trabajo se debe reportar:

- Tipo, características y contenido de asfalto de la emulsión por utilizar.
- Granulometría del RAP (para control en campo del fresado).
- Porcentaje de humedad preincorporada de emulsión en la mezcla.
- Resistencia a tracción indirecta, a corto y largo plazo (sin y con curado).

6.9 RECUPERACIÓN DE CAPAS CON ESPUMA ASFÁLTICA

Características Particulares

El asfalto caliente con una temperatura entre 160 y 180º C se transforma en asfalto espumado cuando se mezcla con una pequeña cantidad de agua atomizada (típicamente un 2% en masa), en una cámara de expansión especial. En el estado espumado (un estado temporal de baja viscosidad), el asfalto puede ser agregado y mezclado con los materiales pétreos a temperatura ambiente y con contenidos de humedad en el lugar.

El proceso de asfalto espumado es análogo al de un panadero batiendo la clara del huevo para formar espuma de baja viscosidad, antes de mezclarla con la harina. En el proceso de batido, la clara del huevo se transforma en burbujas de películas delgadas llenas con aire, ocupando así un volumen mucho mayor; un estado necesario para la distribución homogénea entre las partículas finas de harina, haciendo posible, de esta manera, alcanzar una mezcla consistente.

El proceso de espumado del asfalto depende del cambio de estado del agua (de líquido a vapor), un proceso que está acompañado de una expansión de unas 1500 veces el volumen original del líquido, a una presión atmosférica normal. Cuando las partículas de agua entran en contacto con el asfalto caliente, la energía calórica del asfalto se transfiere al agua. Tan pronto como el agua alcanza su punto de ebullición, ésta cambia de estado y al hacerlo, crea una burbuja con una delgada película de asfalto, llena con vapor de agua.

La primera persona en darse cuenta del potencial de usar asfalto espumado como agente estabilizador, fue el profesor Ladis Csanyi en la Estación Experimental de Ingeniería (Engineering Experiment Station), en la Universidad Estatal de Iowa (Iowa State University), en 1956. Esta tecnología fue refinada más tarde por la organización Mobil Oil que desarrolló la primera cámara de expansión para mezclar agua con asfalto para generar espuma. El sistema desarrollado por Wirtgen, a mediados de los ’90, inyecta tanto aire como agua al asfalto en la cámara de expansión. Figura 6.9.1.

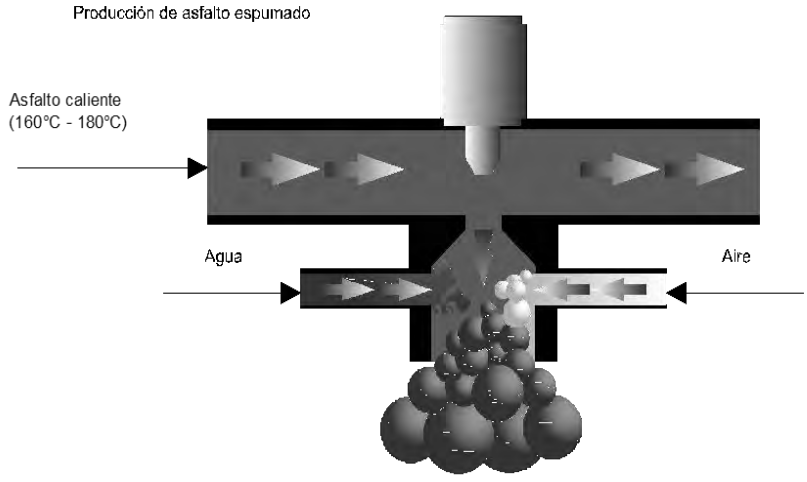


Figura 6.9.1. Producción de asfalto

Para consulta de los interesados en el tema, en el **Apéndice A.6.9.1** de esta Guía se comentan con mayor detalle las características del asfalto espumado, los factores que influyen en las propiedades de la espuma, así como las características aceptables del espumado y de su dispersión.

Antecedentes

A pesar de que la aplicación del asfalto espumado se descubrió en los años ’50, en esa época se construyeron sólo algunos proyectos aplicando esta tecnología. Las aplicaciones se efectuaron en tramos cortos de carreteras y fue relativamente limitada la investigación de su comportamiento.

Esta situación cambió cuando la empresa Wirtgen incorporó su sistema y equipo a mediados de los ’90. Los procedimientos de diseño de mezclas y la caracterización de los materiales se basaban en probetas de 100 mm de diámetro compactadas con la prueba de diseño Marshall, de manera similar a las mezclas asfálticas en caliente.

A medida que se hizo evidente el hecho de que el material tratado con asfalto espumado se comportaba de distinta forma a la aplicación del asfalto en caliente, la recuperación y fluencia Marshall fueron gradualmente reemplazadas por ensayos de tracción indirecta, procedimientos que son actualmente utilizados.

El interés en esta tecnología se inició con el advenimiento del sistema Wirtgen en 1996. El mercado global respondió rápidamente y a pesar de que el primer sistema fue instalado en una recicladora modelo WR 2500, este sistema se ha incorporado a distintos modelos de recicladoras, tanto en planta como en el lugar.

Como resultado de la innovación tecnológica de esta técnica, se incrementa año con año el número de kilómetros de pavimentos deteriorados que son rehabilitados a través del reciclado con asfalto espumado, tanto en caminos de bajo volumen de tránsito como en carreteras con tráfico pesado.

En el año 2000 se realizó en Sudáfrica una serie de ensayos con el Simulador de Vehículos Pesados (Heavy Vehicle Simulator, HVS), en un pavimento reciclado con una combinación de cemento asfáltico y asfalto espumado. Los resultados formaron la base de un documento guía que fue publicado por la Asphalt Academy de ese país en la segunda mitad del año 2002, llamado “TG2: Guía Técnica Provisional: Diseño y Uso de Materiales Tratados con Asfalto Espumado” (“TG2: Interim Technical Guideline: The Design and Use of Foamed Bitumen Treated Materials”), cuya referencia se incluye en la sección de Bibliografía de esta Guía.

La publicación TG2 incluye recomendaciones de diseño, en conjunto con funciones de transferencia (fatiga) para estimar la capacidad estructural de los pavimentos construidos con material reciclado recuperado con asfalto espumado. Como se establece en el título, este documento es “provisional” ya que fue basado en una investigación limitada. Más ensayos de HVS y otros estudios continúan realizándose y es inminente una versión modificada de la guía TG2, que será publicada próximamente.

Ventajas y Limitaciones

El asfalto espumado puede ser utilizado como un agente de recuperación con una variedad de materiales, desde material pétreo de buena calidad hasta suelos con cierto grado de plasticidad. Las principales ventajas de recuperación con asfalto espumado, en comparación con la emulsión asfáltica, son:

- Reducción de los costos del cemento asfáltico, ya que el asfalto espumado comprende un asfalto de penetración estándar y sólo un pequeño porcentaje de agua, típicamente un 2% en masa del asfalto. En el asfalto espumado no se incurre en costos de fabricación distintos al de inversión inicial del equipo.
- Reducción de costos de transporte. Para una misma proporción de asfalto residual, una emulsión contiene 40% de agua la cual debe ser transportada con el asfalto.
- El material tratado con asfalto espumado puede ser colocado, compactado y abierto al tráfico inmediatamente.
- El material tratado con asfalto espumado se mantiene trabajable por extensos períodos de tiempo y puede ser almacenado en condiciones climáticas adversas, sin que el asfalto sea lavado del agregado.
- El proceso de asfalto espumado puede ser usado para tratar materiales en el lugar, con contenidos de humedad naturales relativamente altos, debido a que el asfalto puede ser agregado sin usar agua adicional.

De forma similar a la recuperación con emulsión asfáltica, se deben agregar pequeñas proporciones de cemento o cal junto con el asfalto espumado. El objetivo es mejorar la resistencia retenida en condiciones de humedad. El

empleo de un "filler" activo ayuda además a la dispersión del asfalto al incrementar la fracción fina del material, menor a 0,075 mm, así como también mejorar la "trabajabilidad" de la mezcla y reducir el Índice de Plasticidad.

En la Tabla 6.9.1 se resumen las ventajas y limitaciones de la recuperación de pavimentos con asfalto espumado.

Ventajas	Desventajas
Flexibilidad. La estabilidad con asfalto produce un material con propiedades viscoelásticas con una flexibilidad mejorada y resistencia a la deformación. **Facilidad de aplicación**. Un tanque se acopla a la recicladora y el asfalto caliente es bombeado y esparcido mediante una barra rociadora, donde la espuma de asfalto es inyectada en la cámara de mezclado. **Costo.** El asfalto espumado utiliza cemento asfáltico de penetración estándar. No existen costos adicionales de producción del mismo. **Velocidad para adquirir resistencia.** El material puede ser transitado inmediatamente después de ser colocado y compactado.	El asfalto espumado requiere que el asfalto esté caliente, generalmente sobre los 160° C. Frecuentemente esto requiere de instalaciones para calentar el mismo y medidas especiales de seguridad. **Condición y tipo de material.** El material saturado y pobre en la fracción fina (menor a 0,075 mm) no puede ser tratado con asfalto espumado sin un tratamiento previo o la adición de material nuevo.

Tabla 6.9.1. Resumen de ventajas y limitaciones de la recuperación de pavimentos con asfalto espumado

Calidad de Materiales y Condiciones de Diseño y Aplicación

Materiales Pétreos Adecuados para Recuperación con Asfalto Espumado

La tecnología de asfalto espumado es aplicable en la recuperación de una gran variedad de materiales, que van desde arenas y gravas hasta suelos y "pavimentos asfálticos reciclados" (RAP). Materiales granulares seleccionados como marginales, vírgenes o reciclados, han sido utilizados en forma satisfactoria en el proceso de reciclado. Sin embargo, es importante establecer los límites de tolerancia requeridos en los agregados, así como identificar la composición óptima del material que va a ser sometido al tratamiento con asfalto espumado.

Los materiales que son pobres en finos no se mezclan en forma adecuada con el asfalto espumado. Como se señala en la zona de aceptación granulométrica, el porcentaje mínimo de finos requerido es del 5%, considerando como finos la fracción del material que pasa la malla de 0,075 mm (No. 200).

Cuando un material no tiene la cantidad adecuada de finos, el asfalto espumado no se dispersa en forma apropiada y tiende a formar lo que se conoce en el material reciclado como "filamentos" de asfalto (aglomeraciones de material fino con asfalto), los que varían en tamaño, dependiendo de la escasez de finos. Un porcentaje de finos muy bajo producirá largos filamentos, que en la mezcla actuarán como lubricante y producirán una disminución en la resistencia y estabilidad del material.

Ensayos granulométricos que se realizan en muestras extraídas del pavimento existente, indican si existe una eventual deficiencia en el contenido de finos. Sin embargo, esta deficiencia puede ser corregida mediante la aportación de material adecuado, con un alto contenido de finos. Este material se esparce sobre la superficie del pavimento en forma previa a la aplicación del reciclado.

No obstante este requerimiento, conviene señalar que los materiales cohesivos deben ser tratados con cuidado. Si bien los ensayos de laboratorio de estos materiales pueden arrojar un alto porcentaje de finos que pasan la malla de 0,075 mm, generalmente es deficiente la calidad del mezclado conseguida en el lugar.

Este fenómeno se debe a la naturaleza plástica del material, la que produce que la fracción fina se aglomere, haciendo difícil la dispersión del asfalto en forma de espuma a través del agregado. Comparaciones entre ensayos granulométricos lavados y no lavados realizados en laboratorio, son indicativos de la relevancia del problema. La granulometría no lavada indica la calidad de los finos disponibles.

El material que es deficiente en finos puede ser mejorado mediante la adición de cemento, cal u otro material que pase en un 100% la malla No 200. Sin embargo, debe evitarse una dosificación de cemento superior al 1,5%. Un porcentaje mayor de cemento tiene un efecto negativo, producto de la pérdida de flexibilidad en la capa recuperada. La zona granulométrica presentada en la Figura 6.9.2 tiene un amplio rango de tolerancia y puede ser ajustada con el objetivo de obtener una granulometría que entregue la cantidad mínima de vacíos en el agregado mineral.

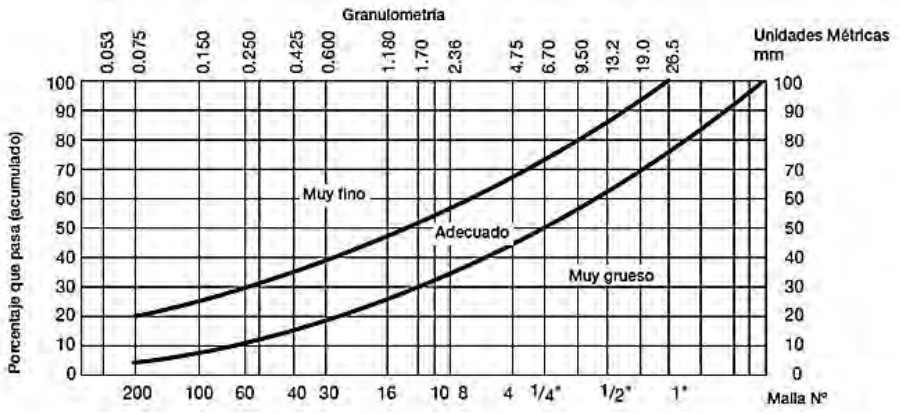


Figura 6.9.2. Zona granulométrica adecuada en los materiales para recuperación con asfalto

Si se logran producir mezclas con un bajo contenido de vacíos, se obtiene un material recuperado con asfalto espumado con excelentes propiedades. Una relación conveniente para conseguir la cantidad mínima de vacíos, que permite la variación en el contenido de "filler", la presenta la Ecuación 1, la cual es útil, puesto que entrega flexibilidad respecto al contenido de finos de la mezcla. Un valor de n=0,45 se requiere para obtener el mínimo de vacíos.

$$P = \frac{(100-F)(d^n-0.075^n)}{(D^n-0.075^n)} + F \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde: P = Porcentaje en peso del material que pasa el tamiz de tamaño d (mm)
d = Tamaño seleccionado del tamiz (mm)
D = Tamaño máximo del agregado (mm)
F = Porcentaje del contenido de finos (inertes y activos)
n = Variable que depende de las características del agregado

Es importante obtener una granulometría continua en los tamaños del agregado menores a 2 mm, debido a la dispersión del asfalto espumado y a la facilidad en la compactación, ya que reducen los vacíos y por lo tanto la susceptibilidad al ingreso de agua. Por lo tanto, cuando sea necesario, debe considerarse la posibilidad de mezclar dos materiales para mejorar una granulometría deficiente.

Muestreo de Materiales para el Diseño de Mezclas

El muestreo del material que va a ser recuperado con asfalto espumado es muy importante. Un procedimiento inadecuado en la toma de muestras del material por recuperar con asfalto espumado, se traduce en muestras no representativas, con resultados erróneos, lo que puede traer serias consecuencias. Por lo tanto, deben atenderse tres factores importantes para la toma de muestras de materiales:

- Profundidad del reciclado, definiendo las proporciones de cada capa en el lugar que es mezclada y conforma la capa de recuperación.

- Variabilidad del material en la longitud y profundidad del pavimento existente. Esto significa que deben realizarse suficientes diseños de mezclas para considerar esta variación. En los casos donde la variabilidad es significativa, el material de cada capa debe ser separado en sus fracciones correspondientes y luego ser mezclado en las proporciones requeridas. De esta forma, puede obtenerse una mezcla óptima y luego estudiar la influencia de la granulometría en la variabilidad de la mezcla tratada con asfalto espumado.

- Preparación del material del pavimento existente para la mezcla. La utilización de una máquina de fresado pequeña, para el muestreo de mezclas asfálticas, es el procedimiento más adecuado para obtener muestras representativas.

Condiciones de Aplicación

Los siguientes aspectos deben atenderse cuando se trabaja con asfalto espumado:

Seguridad

Se requiere de una alta temperatura del asfalto para lograr la reacción del agua y producir una espuma aceptable (típicamente sobre 160° C). A esta temperatura, el asfalto es una sustancia peligrosa, y si no se maneja en forma adecuada podría incluso provocar la muerte de una persona. Esta es una característica conocida por los productores del asfalto, que trabajan comúnmente con el material a altas temperaturas.

Por lo tanto, el constructor que aplica asfalto espumado y ejecuta un proyecto de reciclado por primera vez, debe tomar todas las medidas de precaución necesarias y asegurarse que sus empleados reciban el entrenamiento o capacitación adecuados. Es posible aplicar las mismas normas de seguridad que se utilizan en mezclas asfálticas en caliente para la construcción con asfalto espumado.

Temperatura del Material

La temperatura del material pétreo es uno de los factores más importantes en la dispersión adecuada del asfalto espumado en el material reciclado y, por lo tanto, en la resistencia de la nueva capa de pavimento. Como se menciona en el **Apéndice A 6.9.1**, el concepto de Índice de Espumación desarrollado por el Profesor Jenkins, representa las propiedades espumantes del asfalto (razón de expansión y vida media).

La investigación desarrollada demostró que el Índice de Espumación y la temperatura del agregado (al momento de producirse la mezcla) son factores importantes en la dispersión obtenida. Para obtener una buena mezcla a temperaturas más bajas son necesarios Índices de Espumación más altos (y por lo tanto mayor razón de expansión y vida media).

A pesar de que estas investigaciones son relevantes, es importante comparar las condiciones de laboratorio a las que realmente se presentan en el campo. La calidad de la espuma producida a nivel de diseño en laboratorio es siempre inferior a la producida por la recicladora. Esto se debe principalmente a que las presiones de trabajo utilizadas en el lugar son mayores y a que la continuidad en la operación del tren reciclador permite trabajar a temperaturas más altas.

Por lo tanto, existe una variación entre las mediciones de laboratorio y las de campo, por lo que es importante verificar las propiedades de espumación en la obra. Estas mediciones deben ser comparadas con la temperatura del material pétreo (y no sólo la superficie del camino) y los resultados determinados con las recomendaciones de la Tabla 6.9.2.

Índice de espumado	Razón de expansión (implícito)	Temperatura del agregado (°C)		
		<15° C	15° C a 25° C	>25° C
<75	<8	Muy mala	Mala	Moderada
75 a 150	8 a 12	Moderada	Buena	Buena
>150	>12	Buena	Muy buena	Muy buena

Tabla 6.9.2. Facilidad del asfalto espumado para dispersarse (capacidad de mezclado)

El trabajo con asfalto espumado no se debe realizar cuando la temperatura del agregado sea menor a los 10° C.

Consistencia del Suministro del Asfalto

Cuando se acopla un nuevo camión-tanque a la recicladora, se deben realizar dos verificaciones para asegurar que el asfalto es adecuado para la producción de la espuma:

- Temperatura del asfalto en el tanque. Debería medirse utilizando un termómetro calibrado ("termocuplas" adheridas al tanque no son confiables).

- Calidad de espumación en el tanque. Ésta debe ser medida utilizando la boquilla de prueba de la recicladora. La verificación debe realizarse cuando hayan pasado al menos 100 litros de asfalto a través de la barra aplicadora del asfalto mientras se recicla, con el objetivo de obtener una muestra representativa.

Flujo del Asfalto

El asfalto suministrado en el campo por tanques provistos de tubos calentados por flama, a veces es contaminado con pequeñas partículas de carbón que se forman a los costados de los tubos cuando éstos aumentan su temperatura. Al utilizar las últimas toneladas de asfalto del tanque, estas partículas indeseables tienden a introducirse en el sistema de flujo de asfalto y son la causa de los bloqueos en la recicladora. Este problema puede evitarse tomando precauciones mínimas, como verificando que el filtro en el sistema de abastecimiento funcione correctamente. Cualquier incremento inusual en la presión indicará que el filtro requiere de limpieza. En todo caso, es recomendable la limpieza diaria de este dispositivo (por ejemplo, al término de cada turno de trabajo).

Presión del Asfalto

La calidad de la espuma es función directa de la presión de operación de la recicladora. Entre más alta la presión, mayor es el flujo del asfalto que tiende a "atomizarse" a medida que éste pasa a través del surtidor del asfalto a la cámara de expansión. Esto asegura que las partículas pequeñas de asfalto entran en contacto con el agua, la cual también ingresa a la cámara de expansión en forma atomizada. Una presión mayor asegura uniformidad a la espuma del asfalto. Si el asfalto entrara en la cámara de expansión como un flujo (lo que sucede cuando ingresa a bajas presiones) el agua impacta solamente sobre una cara del flujo. Por esta cara se produciría espuma, pero sobre la otra permanecería un flujo de asfalto caliente sin espumar. Por lo tanto, es imperativo mantener una presión de operación sobre los 3 bares como mínimo.

Aplicación de un "filler" Activo

Como se describió anteriormente, es una práctica común adicionar un porcentaje pequeño de cemento Portland u otros agentes estabilizadores cementantes cuando se recicla con asfalto espumado.

Téngase precaución cuando al realizar un tratamiento previo con cemento Portland, debido a que el proceso de hidratación comienza tan pronto como el agente estabilizador entra en contacto con la humedad, aglomerando los finos y reduciendo la fracción menor a 0,075 mm. La calidad de la mezcla cuando se agrega asfalto espumado será deficiente si el contenido de finos es bajo como para dispersar las partículas de asfalto. Por lo tanto, es necesario que el cemento Portland siempre sea incorporado en conjunto con el asfalto espumado.

Remezclado de la Capa Recuperada

El material recuperado con asfalto espumado puede ser vuelto a trabajar sin afectar significativamente su resistencia última, siempre y cuando el contenido de humedad se mantenga aproximadamente constante y cercano al que presentaba al momento de la compactación. Esta característica es muy conveniente cuando el camino debe abrirse al tráfico al corto tiempo después de haber sido construido, a pesar de que no se haya completado el trabajo de rehabilitación. El material puede ser vuelto a trabajar al día siguiente (generalmente, después de una pulverización previa) y luego terminado en forma adecuada. Sin embargo, si éste pierde su humedad, volver a trabajarlo (perfilarlo y compactarlo) afectará negativamente su resistencia última.

Propiedades Típicas de Diseño de Materiales Recuperados con Asfalto Espumado

Se describen a continuación las propiedades aplicables al material recuperado con asfalto espumado. Estas propiedades se obtienen cuando la aplicación del asfalto espumado es óptima, de acuerdo al procedimiento de diseño de mezclas que se incluye en el **Apéndice A.6.9.2.** Los rangos de aplicación del asfalto espumado, sugeridos en la Tabla 6.9.3, son útiles para definir un contenido asfáltico aproximado en el diseño de mezclas. Estos rangos de aplicación generalmente son aplicables cuando se utiliza un 1 % de "filler" activo (cal o cemento Portland) en la mezcla.

Porcentaje que pasa la malla: (%)		Porcentaje de asfalto espumado (% en peso sobre el agregado seco)
4,75 mm	0,075 mm	
<50	3,0 - 5,0	2,0 a 2,5
	5,0 - 7,5	2,0 a 3,0
	7,5 - 10,0	2,5 a 3,5
	> 10,0	3,0 a 4,0
>50	3,0 - 5,0	2,0 a 3,0
	5,0 - 7,5	2,5 a 3,5
	7,5 - 10,0	3,0 a 4,0
	> 10,0	3,5 a 4.5

Tabla 6.9.3. Contenidos típicos aproximados de asfalto espumado, con relación a la granulometría del material

El contenido óptimo de asfalto está definido por muchos otros factores, además de la granulometría del material pétreo; por lo tanto, es imperativo que el diseño de mezclas se efectúe para determinar el contenido óptimo de cada material (también debe tomarse en cuenta que es indispensable aplicar siempre el contenido óptimo de asfalto cuando se recupera con asfalto espumado). Dependiendo de la aproximación del diseño, un rango de contenido asfáltico por debajo del óptimo puede ser suficiente para conseguir las propiedades requeridas. Este rango de aplicación se denomina "contenido mínimo de asfalto".

Resistencia

Para evaluar la resistencia de los materiales recuperados con asfalto se utiliza la "Resistencia a la Tensión Indirecta" (Indirect Tensile Strength, ITS), en vez del ensayo Marshall. La Tabla 6.9.4 muestra los valores que comúnmente se obtienen de estos ensayos.

Tipo de material	Probeta 100 mm Marshall		Probeta 150 mm Proctor
	ITS_{seco} (kPa)	TSR (Razón)	ITS_{equ} (kPa)
Rap/piedra chancada (mezcla 50/50)	250 a 600	0,8 a 1,0	120 a 250
Piedra chancada graduada	200 a 500	0,6 a 0,9	120 a 200
Grava natural (IP<10, CBR<30)	150 a 450	0,3 a 0,75	80 a 150

Tabla 6.9.4. Resistencia a la tensión indirecta de materiales recuperados con asfalto espumado

El ensayo ITS puede ser realizado en probetas de 100 mm ó 150 mm, elaboradas y curadas siguiendo los procedimientos señalados en el **Apéndice A.6.9.2.** Además, la susceptibilidad a la humedad del material es generalmente determinada en términos de la "Resistencia a la Tensión Retenida" (Tensile Strength Retained, TSR), determinada mediante la siguiente ecuación:

$$TSR = \frac{ITS_{saturado}}{ITS_{seco}}$$ Ecuación 2

El valor de TSR saturada se obtiene sumergiendo las probetas curadas en agua durante 24 horas antes de realizar el ensayo, como se describe en el **Apéndice A.6.9.2.**

Investigaciones recientes han introducido la "Resistencia a la Compresión no Confinada" (Unconfined Compressive Strength, UCS) como un indicador de la capacidad de soporte del material recuperado (resistencia a la deformación permanente). Este es un valor importante, especialmente cuando se recupera el material de baja calidad. Se propone un valor mínimo UCS de 700 kPa para una probeta de 150 mm de diámetro, elaborada con un esfuerzo de compactación del 100% del Ensayo AASHTO Modificado (curada y ensayada con el contenido óptimo de humedad, como se describe en el Apéndice A.6.9.2).

Rigidez

El Módulo Resiliente (MR) de un material recuperado con asfalto puede ser medido en laboratorio si se somete un espécimen a un ensayo de carga repetitiva. El ensayo en probetas Marshall de 100 mm de diámetro (curadas y secas) a tracción indirecta a 10 Hz y 25° C, proporciona los rangos de valores presentados en la Tabla 6.9.5.

Tipo de material	MR (MPa)
RAP/piedra chancada (mezcla 50/50)	2500 a 4000
Piedra Granular chancada	2000 a 3000
Grava natural (IP<10, CBR<30)	1500 a 3000

Tabla 6.9.5. Rangos de Módulos Resilientes típicos para material recuperado con asfalto espumado

Nota: *Debido principalmente a la pérdida de humedad en los especímenes ensayados (pero también debido a la geometría y estado de tensiones producido por la forma del ensayo), estos valores son significativamente mayores a aquellos determinados a partir de ensayos triaxiales dinámicos y de viga a flexión, así como aquellos obtenidos a través de "retro-análisis" con el cuenco de deflexiones, determinado con un deflectómetro dinámico de impactos.*

Los modelos de diseño de pavimentos propuestos por el TG2, así como las futuras recomendaciones TG3, próximas a ser publicadas, asumen que el material presenta dos fases de comportamiento, definidas como:

- Fase 1. Rápida pérdida de rigidez por el tráfico sobre la capa recuperada.
- Fase 2. Deformación permanente, considerando valores menores de rigidez.

Los valores de rigidez propuestos por TG2 y TG3 fueron obtenidos a partir de información limitada. En forma particular, el denominado "estado equivalente granular" (una expresión sacada de la terminología utilizada en las capas levemente cementadas, refiriéndose al momento en que se aproximan al término de su vida útil) en conjunto con los datos establecidos en las recomendaciones TG, se encuentran bajo revisión debido a que éstos no tienen un elevado coeficiente de correlación con los ensayos de campo realizados en pavimentos que fueron construidos en los últimos 10 años.

Mediciones realizadas en el campo han demostrado que la rigidez de una capa recuperada con asfalto efectivamente se reduce durante su vida útil. Después de la construcción, la rigidez aumenta en la medida en que el material se "cura" y el contenido de humedad se reduce hasta alcanzar los niveles óptimos. Posteriormente, pareciera existir una fase de "acomodo" acompañada por una pérdida en la rigidez y también por una pequeña deformación permanente, presumiblemente debido a la consolidación del material producto de las cargas de tránsito.

Las densidades de la capa recuperada generalmente van a determinar la magnitud de la deformación permanente que se producirá mientras la capa se asienta. Sin embargo, la pérdida de rigidez parece ser una función compleja, dependiente de varios parámetros. Los principales parámetros son: la calidad y tipo del material pétreo, la cantidad de asfalto y cemento Portland en la mezcla, el soporte que proporcionan las capas estructurales subyacentes del pavimento y la efectividad de las obras de drenaje.

La pérdida de rigidez parece ser mayor en materiales de calidad deficiente que son recuperados con dosis de cemento altas, en un medio húmedo con un sistema de drenaje inadecuado y que se encuentran sobre estructuras con una baja capacidad de soporte.

Mientras no se obtengan mayores avances en la investigación de pavimentos reciclados con asfalto espumado, se puede aplicar el método de diseño transitorio del TG2. Sin embargo, la terminología asociada en éste se debe cambiar a:

- Fase 1. Fase de asentamiento. El término que utiliza el TG2 llamado “fatiga efectiva”, indica que el agrietamiento producido está asociado a la carga. Esto no es correcto, puesto que no se produce agrietamiento evidente a medida que la rigidez de la capa se reduce (a pesar de que algún microfracturamiento pueda ocurrir).

- Fase 2. Estado de régimen. El término también utilizado por TG2 denominado “estado granular equivalente”, sugiere que los efectos de la recuperación se pierden. Éste tampoco es el adecuado, debido a que la rigidez que va a alcanzar el material recuperado con asfalto espumado es siempre mucho mayor que el material sin recuperar.

Resultados de laboratorio indican que los valores de Módulo Resiliente para la modelación mecanicista en el diseño del pavimento, deben basarse en los resultados de los ensayos de ITS y UCS, utilizando probetas de 150 mm, confeccionadas y ensayadas con el contenido óptimo de humedad, como se describe en el Apéndice A 6.9.2. Las fórmulas sugeridas para la determinación del Módulo Resiliente (MR en MPa) se indican en las ecuaciones 3 y 4:

FASE 1 $$MR_{Fase\ 1} = (\log(ITS_{equ}) \times 3950 - 7000) \times TSR \times F_{drenaje}$$ Ecuación 3

FASE 1 $$MR_{Fase2} = \frac{M_{Fase1}}{(0.5 \times UCS_{equ}) + 0.7} \times TSR$$ Ecuación 4

Donde:

MR_{Fase1}	= Módulo Resiliente durante la Fase 1	[MPa]
ITSequ	= ITS a la condición de humedad óptima	[kPa]
TSR	= Resistencia a la tracción requerida	
$F_{drenaje}$	= Factor de drenaje determinado de la Tabla 6.9.6	
MR_{Fase2}	= Módulo Resiliente en estado de régimen	[MPa]
UCS_{equ}	= UCS a la humedad óptima	[MPa]

El factor F de drenaje se obtiene de la Tabla 6.9.6.

Calidad de drenaje	Precipitación media anual (mm)			
	<200	200 a 600	600 a 1000	>1000
Muy buena	1.4	1.3	1.2	1.1
Buena	1.3	1.2	1.1	1.0
Normal	1.2	1.1	1.0	0.9
Mala	1.1	1.0	0.9	0.8
Muy mala	1.0	0.9	0.8	0.7

Tabla 6.9.6. Factores de drenaje para estimar rigideces de campo en el material recuperado con asfalto

El Módulo Resiliente en estado de régimen (MR Fase 2) calculado mediante la ecuación 4 debe ser considerado como un indicador y no un valor exacto, debido a que la ecuación se desarrolló con una cantidad limitada de datos. El valor real que se obtiene en el lugar, está en función de muchas variables.

Entre las variables más importantes tenemos: la cantidad de "filler" activo y asfalto en la mezcla, la calidad del material no tratado, la densidad del material recuperado, la temperatura del ensayo y el contenido de humedad. Por ejemplo, incrementar la cantidad de "filler" activo de un 1% a un 2% se traduce en un incremento del MR Fase 1, pero por otro lado se produce una reducción del valor MR Fase 2 después de relativamente pocas repeticiones de carga (generalmente, menos de 250.000).

El valor para el MR Fase 2 calculado utiliza la Ecuación 4 y debe ser verificado siempre con los rangos de valores presentados en la Tabla 6.9.7; debe encontrarse una explicación si el valor calculado es significativamente menor o mayor alguno de los rangos señalados. Frecuentemente, especímenes confeccionados en laboratorio no son representativos de las condiciones de campo; cualquier resultado de ensayo que pareciera ser incorrecto debe ser detectado e investigado.

Tipo de material	Asfalto espumado añadido (%)	Módulo Resiliente MR $_{Fase2}$(MPa)
100%RAP	1,5 a 2,0	1000 a 2500
RAP/Piedra chancada mezcla50/50)	2,0 a 2,5	800 a 2000
Piedra chancada bien graduada	2,0 a 3,0	600 a 1500
Grava natural (IP<10, CBR >45)	2,0 a 3,5	400 a 800
Grava natural (IP<10, CBR >25)	2,5 a 4,0	300 a 600
Arenas no plásticas	3,0 a 5,0	200 a 500

Tabla 6.9.7. Módulos resilientes típicos para materiales recuperados después de alcanzar la Fase 2

Tiempo de Mezclado

No existe un período de tiempo específico para trabajar el material recuperado con asfalto espumado. Éste depende fundamentalmente del contenido de humedad que el material mantenga. Entre más tiempo se mantenga al contenido óptimo de humedad, el período en que se puede trabajar es mayor.

Densidad

Como se describió anteriormente, la compactación debe apuntar siempre a obtener la máxima densidad posible bajo las condiciones prevalecientes en el campo (la denominada "densidad máxima").

Usualmente se especifica una densidad mínima requerida como un porcentaje de la densidad AASHTO modificada, generalmente entre un 98% y un 102% para bases recuperadas con asfalto espumado.

A veces se permite aceptar un gradiente de densidad a través del espesor compactado. Esto significa que la densidad en la parte superior de la capa puede ser mayor que la de la parte inferior. Cuando se especifica de este modo, es normal incluir una desviación máxima de 2% para la densidad medida en el tercio inferior de la capa. De esta forma, si la densidad promedio es especificada en un 100%, la densidad en la parte inferior de la capa debe ser mayor que 98%. Para materiales de mejor calidad (por ejemplo, CBR > 80%), es recomendable especificar una densidad única.

Equipo de Aplicación

Perfiladora. Equipo capaz de fresar las distintas capas de una estructura de pavimento flexible, integrado por los dos sistemas principales siguientes. (Figura 6.9.3)

- Unidad de tambor de fresado. Consiste en un rotor equipado con herramientas de corte denominadas picas, montadas al tambor mediante porta picas para su cambio rápido; el tipo de pica y la duración de la misma dependerán del tipo de material a tratar, así como de su espesor.

  Dicho rotor es accionado por un sistema electromecánico, el cual brinda la opción de cambio de revoluciones para ajustarse a los diferentes tipos de materiales y espesores, además de brindar un medio para el control de tamaño del agregado fresado. Durante el proceso de fresado, un sistema de agua inyecta un porcentaje de humedad definido por el laboratorio y calculado por un microcontrolador, en función de la profundidad de corte y la velocidad de avance.

  La cámara en donde se encuentra el rotor cuenta con una puerta delantera, la cual presiona la superficie a fresar, evitando que grandes grumos de material sean cortados en la superficie. Una puerta trasera o rascador provee la opción de dejar el material tendido sobre la superficie al abrirlo o dejar la superficie totalmente limpia, utilizando un sistema de presión hidráulica para evitar que el material salga de la cámara.



Figura 6.9.3. Perfiladora

- Sistema de nivelación. Es un sistema electrónico encargado de controlar la profundidad de corte, mediante sensores de diversos tipos conectados a un microcontrolador; éste es capaz de compensar las variaciones de la superficie de trabajo en tiempo real para obtener un acabado uniforme de la superficie cortada, compensando la altura de cada una de las patas de manera automática. Esto brinda la seguridad de estar cortando exactamente el espesor deseado. Figuras 6.9.4 y 6.9.5



Figura 6.9.4. Controlador de nivel Level Pro

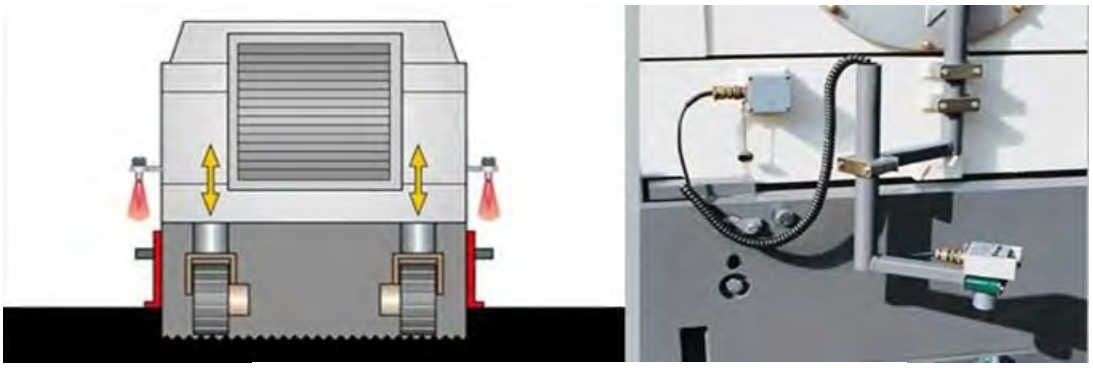


Figura 6.9.5. Sensores ultrasónicos de nivel Level Pro

Planta de Estabilización con Asfalto Espumado

Equipo para la recuperación de materiales mediante la mezcla de agregados a recuperar y asfalto espumado, Figuras 6.9.6 y 6.9.7. Controla, mediante un sistema de microcontroladores e instrumentos electrónicos, los siguientes parámetros:

- Dosificación y proporción de materiales aportados.
- Dosificación de “filler” (cal o cemento Portland).
- Dosificación de asfalto espumado.
- Tiempo de mezcla.
- Humedad de la mezcla.
- Funcionamiento.



Figura 6.9.6. Planta de estabilización KMA 220

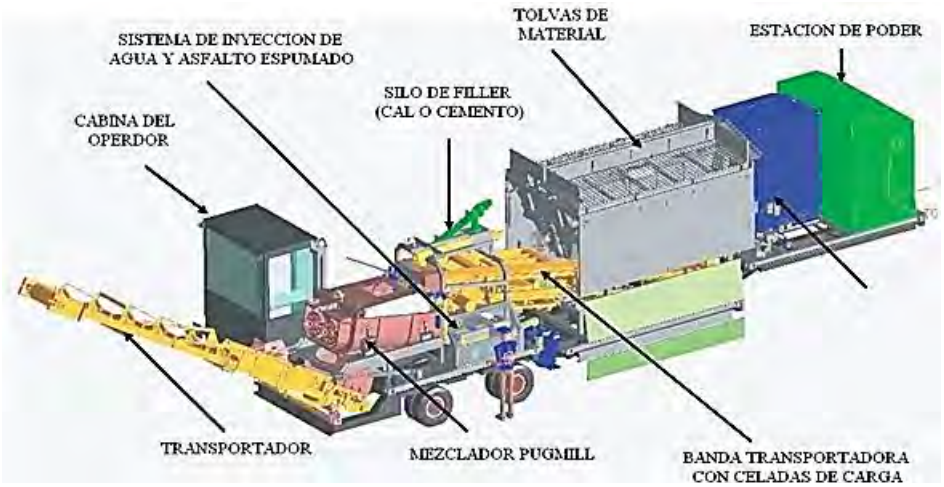


Figura 6.9.7. Sistemas de la planta de estabilización con asfalto espumado KM 220

La alimentación de los agregados se realiza por separado en las tolvas, que pueden ser generalmente RAP, base o material de aporte; cada tolva cuenta con una malla que evita la entrada de sobre-tamaños que puedan causar daño en el sistema, además de un sistema de vibración para asegurar la circulación de los materiales; una válvula ajustable a la salida de las tolvas permite determinar en qué porcentaje serán dosificados los agregados. Figura 6.9.8.

La siguiente parte del proceso consta de una banda transportadora con una celda de pesaje mediante el valor obtenido de ésta y la velocidad de la banda; el sistema de control calcula el flujo de material a través de la misma (Figura 6.9.9). En caso de que el diseño de la estabilización requiera de un filler (cal o cemento Portland), se dispone de un silo y de igual manera la banda transportadora cuenta con celda de pesaje para determinar el flujo de material.



Figura 6.9.8. Tolvas para la alimentación del material



Figura 6.9.9. Alimentación del material pétreo

Para obtener una mezcla con el contenido de humedad óptimo, el sistema de control sincroniza el flujo de agua proveniente del depósito de agua de la planta y lo inyecta a la cámara de mezclado con el flujo de los materiales alimentados a la misma. La cantidad de asfalto espumado que ingresa a la mezcla es controlado mediante la computadora del sistema, tomando los valores de un flujómetro de asfalto electrónico. Figuras 6.9.10 y 6.9.11, y el flujo de los materiales agregados de manera simultánea.



Figura 6.9.10. Línea de entrada de asfalto



Figura 6.9.11. Barra de asfalto espumado

El sistema de mezclado es un "pugmill" con dos ejes y paletas intercambiables para el ajuste del mezclado forzado; el accionamiento de los dos ejes se realiza mediante motores hidráulicos que aseguran la potencia necesaria para un mezclado uniforme, utilizando una compuerta de descarga en la cual se ajusta la abertura; se puede ajustar el tiempo de mezcla del material según se requiera. Figura 6.9.12.

Para el abastecimiento del material a la obra, la planta cuenta con una banda transportadora de salida la cual se encarga de llenar los camiones con el material recuperado; esta banda se puede mover horizontal y verticalmente para ajustarse a las dimensiones de los diferentes camiones. Figura 6.9.13.

Todo el proceso es controlado desde la cabina del operador, donde la computadora del sistema muestra al operador, de manera gráfica y ordenada, los valores de las diferentes etapas del proceso; es también aquí donde, de acuerdo a los estudios previos del laboratorio se ingresan y se ajustan los valores para la recuperación.



Figura 6.9.12. Mezclador "pugmill"



Figura 6.9.13. Banda de salida para abastecimiento de camiones

Pavimentadora o Extendedora

Se utiliza en el tendido del material recuperado sobre la superficie del camino. Los camiones con material descargan su contenido en la tolva de la máquina la cual, mediante un sistema de bandas transportadoras, lo lleva hacia la parte posterior de donde un dispositivo de tornillo sinfín lo distribuye uniformemente en la regla de extendido; esta regla proporciona un acomodo del material mediante un sistema de "tampers" excéntricos accionados de forma hidráulica, además un sistema de listones de presión brindan un extendido uniforme aportando una alta precompactación al material, para facilitar la compactación posterior y evitar la disgregación del material. Figura 6.9.14.



Figura 6.9.14. Pavimentadora o extendedora

La máquina cuenta con un sistema de nivelación, el cual asegura la uniformidad en la capa extendida y como opción proporciona un perfil preliminar a la estructura del camino, usando sensores electrónicos controlados por un microcontrolador, ajustable por el operador.

Equipo de Compactación

Se requieren tres tipos de rodillos para compactar el material detrás de la recicladora. Primero se posiciona un rodillo vibratorio primario pesado (liso o "pata de cabra"), aplicando una compactación de alta amplitud para densificar la parte inferior de la capa reciclada. Una vez alcanzada una compactación uniforme en los dos tercios inferiores de la capa reciclada, se utiliza una moto-niveladora para perfilar y obtener las cotas finales requeridas. Figura 6.9.15.

A continuación, se debe compactar utilizando un rodillo vibratorio liso a baja amplitud y alta frecuencia, para compactar la porción superior de la nueva capa.

Cuando se utiliza una máquina sobre orugas, el material se deposita normalmente a través de una placa, dejando que el equipo compactador (rodillo vibratorio simple o doble) complete el proceso de compactación. Al término del proceso de compactación, se utiliza un rodillo neumático para lograr un acabado superficial liso y uniforme.



Figura 6.9.15. Rodillo "pata de cabra"

El rodillo primario es crítico, debido a que es el responsable de lograr la densidad requerida en la porción inferior de la nueva capa reciclada. En la Figura 6.9.16 se presenta una guía básica para seleccionar la masa estática y el tipo de rodillo que normalmente se utiliza en proyectos de reciclado. El espesor de la capa reciclada y la granulometría del material reciclado son los parámetros principales de selección.

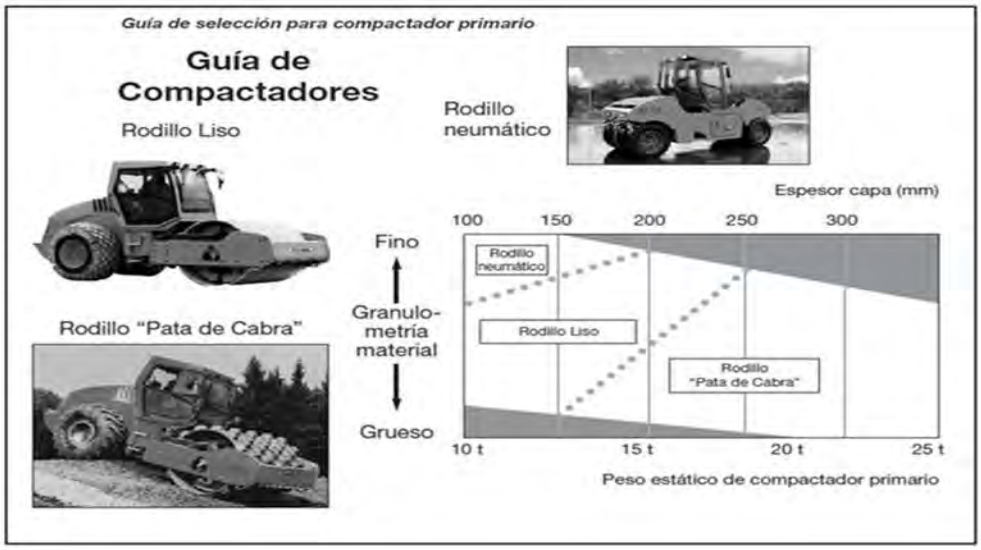


Figura 6.9.16. Guía básica para la selección del equipo compactador

Procedimiento Constructivo

1. Se realiza el fresado de la carpeta a tratar, mediante una perfiladora, cuidando que el material producido esté dentro de las especificaciones granulométricas establecidas previamente por el laboratorio; el producto de este proceso es almacenado en la planta, evitando que se compacte durante su almacenamiento. La profundidad de corte debe ser establecida por el proyecto. Figura 6.9.17.

2. Se realiza el fresado de la base, utilizando una perfiladora, cuidando que el material producido esté dentro de las especificaciones granulométricas establecidas previamente por el laboratorio. El producto de este proceso es almacenado en la planta, cuidando que éste conserve su contenido de humedad lo más cercano al que tiene en el sitio y evitando que se compacte durante su almacenamiento. La profundidad de corte debe ser establecida por el proyecto. Figura 6.9.18.



Figura 6.9.17. Fresado de la carpeta



Figura 6.9.18. Fresado de la base

3. Se realiza la configuración de la planta con la proporción de materiales previamente definida por el laboratorio, como resultado del diseño de la mezcla efectuado a través de los equipos de laboratorio de asfalto espumado y de mezclado. Los parámetros a calibrar son los siguientes:

- Proporción de agregados.
- Temperatura del asfalto.
- Porcentaje de agua de espumado.
- Cantidad de asfalto espumado.
- Porcentaje de agua de compactación.
- Cantidad y tipo de "filler".

Una vez ajustados los parámetros de la mezcla, se realiza el llenado de las tolvas con los materiales previamente fresados y almacenados en la planta.

4. Se procede a la recuperación de los materiales, utilizando la planta, incorporando el asfalto espumado y realizando el mezclado, cuidando la dosificación establecida. El material recuperado es depositado en camiones para su transporte inmediato al sitio de su extendido en la obra.

5. Se realiza el extendido del material, utilizando una pavimentadora con una regla de alta compactación. El espesor de la capa debe ser el indicado en el proyecto. Figura 6.9.19.



Figura 6.9.19. Extendido del material estabilizado con pavimentadora

6. Se realiza una compactación primaria, Figura 6.9.20. El tipo de compactador por utilizar es definido por el espesor de la carpeta; la forma de compactación será dinámica, con alta amplitud y baja frecuencia, para compactar la parte baja de la capa.



Figura 6.9.20. Compactación primaria

7. Se realiza el afinado de la capa y con una motoconformadora se dan los niveles, apoyados por el equipo de topografía.

8. Con un compactador liso se realiza la compactación secundaria, utilizando amplitud baja y frecuencia alta; el número de pasadas es definido por el laboratorio, apegándose al requerimiento de obtener el 100% de compactación, si así lo indica el proyecto. (Figura 6.9.21)

9. Como paso final, se realiza una compactación con equipo de neumáticos, para sellar la capa extendida y brindar protección de la intemperie y el tráfico durante el tiempo de espera para la colocación de la carpeta asfáltica (Figura 6.9.22). El número de pasadas del equipo de neumáticos debe ser definido por el laboratorio, buscando obtener el sellado de toda la superficie.



Figura 6.9.21. Compactación intermedia



Figura 6.9.22. Acabado de una capa recuperada con espuma asfáltica, después de la compactación final

6.10 RECUPERACIÓN DE CAPAS CON CEMENTO PORTLAND

Generalidades

Con frecuencia, el ingeniero debe enfrentarse con suelos y materiales pétreos que utiliza para una obra determinada y cuyas características le obligan a tomar alguna de las siguientes posibles decisiones:

- Aceptar el material tal como se encuentra, pero teniendo en cuenta en el diseño las restricciones impuestas por su calidad.
- Eliminar el material insatisfactorio o abstenerse de usarlo, sustituyéndolo por otro de características adecuadas.
- Modificar las propiedades del material existente para hacerlo capaz de cumplir en mejor forma los requisitos deseados o, cuando menos, que la calidad obtenida sea adecuada.

La tercera posibilidad es la que da origen a la estabilización de suelos y materiales, que es la cuestión a la cual se refiere este Tema.

Las propiedades de un suelo se pueden mejorar por cualquiera de los siguientes procedimientos:

- Estabilización por medios mecánicos, de los que la compactación es la más conocida, pero entre los que las mezclas de suelos se utilizan también muy frecuentemente.
- Estabilización por drenaje.
- Estabilización por medios eléctricos, de los que la electrósmosis y la utilización de pilotes electrometálicos son probablemente los más conocidos.
- Estabilización por empleo de calor y calcinación.
- Estabilización por medios químicos, generalmente lograda por la adición de agentes estabilizantes específicos, como el cemento Portland, la cal, el asfalto u otros.

Teniendo en cuenta la variabilidad de los suelos y materiales y la composición de los mismos, es de esperarse que cada método resulte sólo aplicable a un número limitado de ellos.

Las propiedades de los suelos y materiales que deben mejorarse son las siguientes:

- Estabilidad volumétrica
- Resistencia
- Permeabilidad
- Compresibilidad
- Durabilidad

Estas propiedades se ven notablemente mejoradas con el empleo de aglutinantes químicos, dentro de los que se encuentra el cemento Portland.

Estabilización de Capas con Cemento Portland

La estabilización de suelos con cemento Portland es una de las más utilizadas en el momento presente. Las prácticas relativas a ella inician en 1917, cuando Joseph Hay Amies en 1917 logra una mezcla de suelo con cemento, llamada Soilamies. El esfuerzo conjunto de la Portland Cement Association (PCA) el Bureau of Public Roads y el Highway Department del estado de Carolina del Sur contribuyó al desarrollo tecnológico de la estabilización de suelos con cemento, realizando diversos tramos experimentales de carreteras entre 1930 y 1940). Se patentó un procedimiento de mejoramiento de suelos a base de mezclarles proporciones variables de cemento Portland; desde entonces, la utilización del "suelo cemento Portland", nombre con el que comúnmente se conoce esta mezcla, se ha extendido por el mundo entero y crece cada día, particularmente en la aplicación en pavimentos.

Los fenómenos químicos que ocurren entre suelo y cemento Portland, cuando ambos se mezclan con el apropiado contenido de agua, consisten en reacciones del cemento Portland con los componentes silicosos de los suelos, que producen conglomerantes que ligan a las gravas, arenas y limos; éste es el efecto básico en los suelos gruesos.

La reacción favorable de suelo-cemento Portland se ve impedida o nulificada cuando el primero contiene materia orgánica, pues los ácidos orgánicos poseen gran avidez por los iones de calcio que libera la reacción original del cemento Portland y la captan, dificultando la acción aglutinadora del propio cemento Portland en los suelos gruesos o la estabilización de partículas laminares en las arcillas.

Por esa razón, las especificaciones de casi todos los países exigen que el contenido de materia orgánica en un suelo no sobrepase 1 a 2% en peso, si ha de ser considerado apropiado para ser estabilizado con cemento Portland.

También es nociva la presencia en el suelo de sulfatos de calcio, de magnesio u otras sustancias ávidas de agua, en el suelo, pues privan a los aglomerantes de la humedad necesaria para su función.

Prácticamente todos los tipos de cemento Portland son útiles para estabilización de suelos y normalmente se emplean los de fraguado y resistencia normales. Para contrarrestar los efectos de materia orgánica, es recomendable utilizar cemento Portland de alta resistencia.

La experiencia ha demostrado que el suelo tratado con cemento Portland no debe tener partículas de más de 8 cm de un tercio del espesor de la capa tratada. También es usual especificar que el suelo no tenga más de un 50% de material que pasa la malla Núm 200, que su límite líquido no sea mayor de 50% y que el índice de plasticidad sea como máximo 18%.

En el caso de materiales triturados que contengan finos plásticos (menores que la malla Núm 200), también ha presentado buenos resultados, utilizando como tratamiento alternativo el lavado de estos materiales.

No hay ningún requisito específico para el agua que se utilice en la estabilización, la cantidad que se añada depende de la compactación más que de la estabilización.

El proporcionamiento de las mezclas de suelo-cemento Portland es fundamental, pues el cemento Portland es el elemento más costoso y fijar su proporción determina la factibilidad económica de la estabilización, sin olvidar que las propiedades que se logren para la mezcla dependen esencialmente de la cantidad de cemento Portland empleado.

En los primeros años del uso del suelo-cemento Portland, el proporcionamiento de las mezclas se hacía con base en una prueba de durabilidad, que consistía en preparar especímenes con diferentes cantidades de cemento Portland, a los que se dejaba curar durante siete días; para someterlos después a doce ciclos de congelamiento y deshielo o de humedecimiento y secado. La pérdida de peso de dichos especímenes después de cepillado, se tomaba como una medida de la durabilidad. También se medía en esas pruebas el incremento de volumen de los especímenes por expansión.

Se seleccionaba la proporción de cemento Portland que producía una pérdida de peso y un cambio volumétrico que fuesen considerados satisfactorios, con base en la experiencia prevaleciente y en el criterio del proyectista. Sin embargo, la técnica inglesa empezó a hacer uso de un requerimiento de resistencia de la mezcla, lo que resultó en un criterio más racional y menos expuesto a un juicio subjetivo.

En Inglaterra se probaban los especímenes en compresión simple y se les exigía una resistencia mínima de 17.5 kg/cm^2, especificándose la temperatura de curado de 25° C; la prueba de resistencia se hacía después de mantener constante el contenido de agua de las muestras, en un período de curado de siete días.

La resistencia de 17.5 kg/cm^2 se alcanza en los suelos gruesos, como las gravas, con contenidos de cemento Portland sumamente bajos; con los contenidos usuales no es raro llegar a resistencias del orden de 100 kg/cm^2 que dan a la mezcla la consistencia de un concreto pobre con resistencia sobrada, pero también con mucha susceptibilidad al agrietamiento, con la consecuencia de que las grandes grietas que se forman se reflejan en las capas colocadas sobre la tratada.

Como consecuencia de estos fenómenos, se ha ido imponiendo en épocas recientes la idea de considerar a una capa de suelo tratado con cemento Portland como algo que debe ser flexible, constituido por fragmentos de suelo-cemento Portland entrelazados y trabados unos con otros.

Para lograr este fin suele proponerse en la actualidad resistencias a la compresión simple de las mezclas de suelo cemento Portland que no excedan de 55 kg/cm^2; resistencias más altas producen en la capa un comportamiento rígido. Inclusive suele proponerse hoy que las capas estabilizadas con cemento Portland sean abiertas al tránsito rápidamente, precisamente para producir la fragmentación que garantice un comportamiento flexible.

Los intentos para ligar el proporcionamiento de mezclas con pruebas CBR, no son llevados con resultados concluyentes, porque es usual que cualquier suelo-cemento Portland y sobre todo los formados con suelos gruesos, alcancen sistemáticamente valores tan altos de CBR que su interpretación se hace poco clara.

En conclusión puede decirse que no existe en la actualidad un criterio específico y confiable para diseñar las mezclas en lo referente al contenido de cemento Portland y que los criterios de los que se auxilian los proyectistas quedan fuertemente sujetos a su propia experiencia e interpretación; para muchos la interpretación visual de los especímenes combinada con criterios de tipo económico, sigue siendo un elemento importante de su juicio final. Faltan en gran medida estudios sobre el comportamiento de suelo-cemento Portland bajo cargas repetidas, sobre efectos de deformación acumulativa, etcétera.

En cualquier caso, los ensayes tienden a determinar actualmente 3 aspectos fundamentales en la mezcla del suelo-cemento Portland:

- La cantidad de cemento Portland necesaria para dar al suelo las características deseadas
- La cantidad de agua que se debe agregar
- El peso volumétrico al que debe compactarse la mezcla según los requerimientos de la capa en que vaya a usarse

En el laboratorio suele tenerse el problema de dar las primeras dosificaciones para la preparación de los especímenes de las diferentes pruebas. La Tabla 6.10.1 proporciona una guía para una elección inicial.

Suelos	Porcentaje de cemento, en peso usualmente requerido por la capacidad determinada	Porcentaje de cemento en peso, a usar inicialmente en pruebas de compactación	Porcentaje de cemento en peso, a usar inicialmente en pruebas de durabilidad
GW, GP, GM Y SW	3 - 8	5 - 6	3 - 7
SC, GC	5 - 9	7	5 - 9
SP, SM	7 - 11	9	7 - 11
ML	7 - 12	10	8 - 12
CL, OL, MH	8 - 13	10	8 - 12
CH	9 - 15	12	10 - 14
OH, Pt	10 - 16	13	11 - 15

Tabla 6.10.1. Porcentajes de cemento Portland a utilizar inicialmente en función del tipo de material

En la Tabla 6.10.2 se presentan porcentajes aproximados de cemento Portland para el caso de suelos de naturaleza básicamente friccionante. Se aplica conociendo los porcentajes granulométricos que se mencionan, así como los pesos volumétricos a que se haya llegado en la mezcla tras compactarlas con una prueba de impacto, frecuentemente del tipo AASHTO. La Tabla permite afinar entonces los contenidos de cemento Portland considerando pruebas de durabilidad o de resistencia.

Material requerido en la malla Núm 4	Material menor que 0.5 mm	Porcentaje tentativo del cemento para los pesos volumétricos que se anotan en kg/m²					
–	–	1680 a 1750	1750 a 1830	1830 a 1910	1910 a 1990	1990 a 2070	2070 a más
%	%	%	%	%	%	%	%
0.14	0 - 19	10	9	8	7	6	5
	20 - 39	9	8	7	7	5	5
	40 - 50	11	10	9	8	6	5
15 - 29	0 - 19	10	9	8	6	5	5
	20 - 39	9	8	7	6	6	5
	40 - 50	12	10	9	8	5	6
30 - 45	0 - 19	10	8	7	6	5	5
	20 - 39	11	9	8	7	6	5
	40 - 50	12	11	10	9	8	6

Tabla 6.10.2. Porcentajes de cemento Portland para especímenes en prueba de durabilidad

Es evidente que las Tablas tienen su origen en experiencia de laboratorio y deben verse simplemente como guía de tanteos para la realización del proporcionamiento. De ninguna manera pueden interpretarse como resultado de los proporcionamientos, es decir no evitan el trabajo de laboratorio que debe hacerse ineludiblemente en cada caso particular.

Procedimiento de Diseño

Lo primero que se realiza es identificar el suelo. Se deben realizar sondeos para determinar los diferentes tipos de suelos y materiales pétreos, ya que cada tipo requiere diferentes dosificaciones de cemento Portland.

Para determinar el contenido mínimo de cemento Portland y la humedad óptima de compactación, se toma una muestra de suelo, se seca y se pulveriza hasta que pase por la malla Núm. 4 y se mezcla con diferentes contenidos de cemento Portland (entre 7% y 16% por volumen).

Para cada contenido de cemento Portland se preparan 4 probetas compactadas a densidad máxima; dos para la prueba de humedad y secado y dos para la prueba de resistencia a la compresión. Todas se dejan sumergidas en agua por 7 días.

Pasados los 7 días, las dos probetas destinadas a la prueba de humedad–secado se sumergen en agua a temperatura ambiente por 5 horas, se sacan y secan al horno a 70° C por 42 horas. Este proceso de inmersión y secado se repite hasta un máximo de 12 veces y luego de cada ciclo ambas probetas se pesan y a una se le determina el grado de absorción a la otra, se limpia enérgicamente pasándole un cepillo metálico, enérgicamente, eliminando todo el material suelto y luego se pesa, obteniendo el porcentaje de pérdida de material por cepillado después de cada ciclo.

Las probetas destinadas a la prueba de compresión se ensayan después de 7 días de curado.

Procedimiento Constructivo Convencional

Determinación de la Zona de Trabajo

La zona de trabajo debe definirse de acuerdo con la disponibilidad de equipos de compactación, debido a que la estabilización del material debe terminarse de compactar antes de que el cemento Portland comience a fraguar.

Mezclado Preliminar

Si es necesario agregar material de banco al material por estabilizar, aquél debe esparcirse sobre la superficie en cantidad suficiente para lograr la granulometría adecuada de la mezcla; posteriormente se procede a escarificar y mezclar los materiales, procurando una mezcla homogénea.

Si sólo se usa el material existente se procede a cortar el material a la profundidad de la capa por estabilizar, pasando varias veces el equipo recuperador.

Una vez mezclado el suelo se reconstruye la sección para que quede con las dimensiones dadas antes de la operación.

Incorporación del Cemento Portland

La incorporación del cemento Portland se debe hacer mecánicamente; conviene realizar la distribución del cemento Portland a una hora del día en que la temperatura no sea inferior a los 5° C y se espere que vaya en aumento. La distribución se hace de tal modo que la cantidad de cemento Portland por unidad de superficie sea aproximadamente la dosificación del diseño. Figura 6.10.1.



Figura 6.10.1. Incorporación del cemento Portland con equipo mecánico

No se debe efectuar la incorporación en forma manual y en seco, siendo recomendable utilizar una lechada de agua cemento Portland con equipo especializado.

Mezclado del Material con Cemento Portland

La mezcla debe ser homogénea y para lograrlo se debe pasar varias veces el equipo de recuperación, hasta la profundidad requerida.

Hay dos tipos de mezclado: en seco y en húmedo.

1. La mezcla seca, una vez distribuido el cemento Portland, consiste en revolverlo con el material hasta lograr una buena homogeneidad. Figura 6.10.2.
2. La mezcla húmeda consiste en revolver el material con la lechada de agua-cemento Portland, siendo la más recomendable. Figura 6.10.3.



Figura 6.10.2. Mezclado en seco



Figura 6.10.3 mezclado en húmedo lechada

Adición del Agua para Compactación

El agua es un elemento esencial para hidratar el cemento Portland y para facilitar la compactación; al entrar en contacto con el cemento Portland, en poco tiempo se produce una reacción química y desprendimiento de calor, lo que a su vez provoca evaporación del agua incorporada, de modo que para lograr mantener la humedad óptima de compactación, a la mezcla se agrega 3% de agua, adicional al porcentaje óptimo obtenido en laboratorio.

La distribución del agua debe ser uniforme en toda la extensión de la zona, cuidando de que no queden áreas de material con exceso de humedad. Figura 6.10.4.



Figura 6.10.4. Incorporación de agua para compactar

Compactación

Se compacta la capa estabilizada hasta lograr una densidad mayor al peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba AASHTO modificada.

La compactación se realiza partiendo de los bordes hacia el centro, excepto en las curvas con peralte.

Es recomendable utilizar rodillo "pata de cabra" (Figura 6.10.5), para hacer eficiente el acomodo de los materiales estabilizados con cemento Portland.



Figura 6.10.5. Compactador pata de cabra

Terminación

Una vez completada la compactación se procede a perfilar la superficie dejando la pendiente transversal o bombeo deseado luego se da un par de pasadas de un rodillo liso de 8 a 12 ton. Figura 6.10.6.



Figura 6.10.6. Perfilado de la superficie

Curado

Se debe preservar el agua de la mezcla durante el proceso de endurecimiento del cemento Portland; por lo tanto, debe evitarse su evaporación, con una emulsión asfáltica de rompimiento rápido, en proporción de 0.8 a 1.2 litroa/m^2 ó mediante la aplicación de una membrana impermeabilizante.

Si la capa estabilizada va a servir a un tránsito ligero o medio, entonces se coloca una capa de rodadura (Figuras 6.10.7) que puede consistir en un doble tratamiento superficial. Si va a servir de apoyo a un pavimento de alto tránsito se recomienda una capa asfáltica de granulometría densa, construida después de siete días, como mínimo.



Figura 6.10.7. Capa de rodadura

Esquema del proceso convencional de recuperación de capas con cemento Portland. Figura 6.10.8.

Proceso convencional A			
1. Desgregado (recuperadora)		2. Nivelación (motoconformadora)	
3. Compactación ligera (compactador)		4. Esparcidor del cemento seco	
5. Acomodo del cemento (motoconformadora)		6. Mezcla en seco (recuperadora, estabilizadora, motoconformadora)	
7. Nivelación y acomodo (motoconformadora)		8. Adición de agua (pipa)	
9. Mezclado con agua (recuperadora, estabilizadora, motoconformadora)		10. Nivelación y acomodo (motoconformadora)	
11. Compactación (compactador)		12. Afine (motoconformadora)	

Figura 6.10.8. Proceso convencional

Procedimiento Constructivo con Sistema de Lechada

Dosificación de Lechada con Equipo Portátil

Equipo Mezclador-Dosificador

Dispone de depósitos de agua, un silo de cemento, elementos mecánicos e hidráulicos necesarios para la incorporación en peso del cemento Portland requerido y del volumen de agua preciso al mezclador donde se elabora la lechada. Tanto el proceso de dosificación de los materiales para la elaboración de la lechada como la adición de la misma al material a estabilizar, se controlan por computadora.

Particularidades de la Dosificadora portátil (Figura 6.10.9 y 6.10.10):

- Tanques independientes de cemento y agua con capacidades de 25 m^3 y 11 m^3, respectivamente
- Rendimiento para la formación de la lechada de 1000 litros/minuto.
- Velocidad de operación: la misma que la estabilizadora
- Dosificación de cemento: 0 – 9% con respecto al material

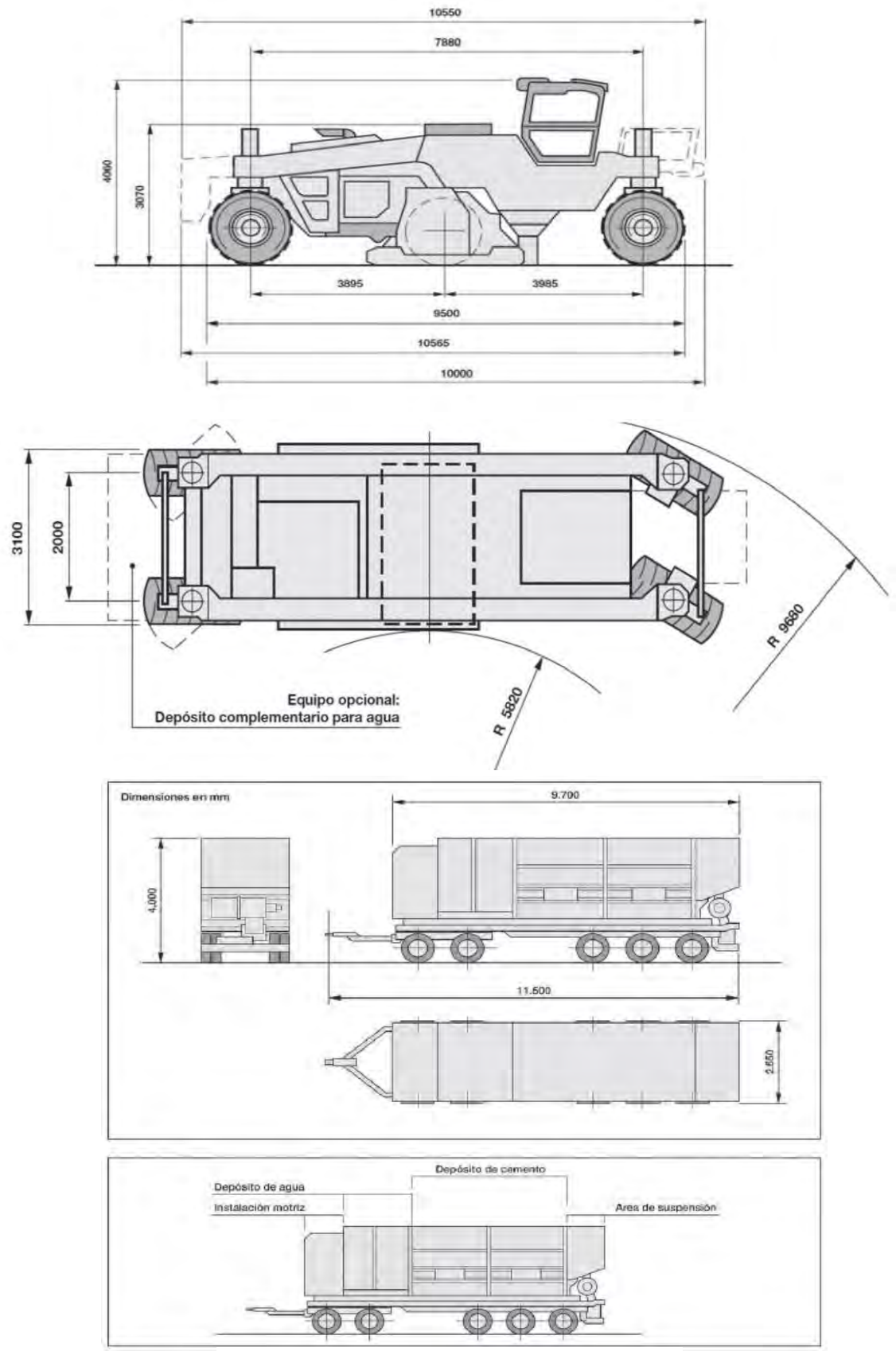


Figura 6.10.9. Diagrama de dosificadora portátil

Equipamiento	Mezclador de suspensión WM 100
Alumbrado de trabajo	○
Anillas para carga y descarga	○
Insonorización	○
Microprocesador con visualizador de datos	○
Sistema de espumado del cemento por aire	○
Equipo de lavado con agua a alta presión	○
Remolque de carga pesada con dispositivo de dirección delantera	•
Remolque de carga pesada con dispositivo de dirección delantera y trasera	•
Barra para repostar agua	•
Filtro de salida de aire del cemento (integrado en el depósito de cemento)	•

○ de serie • opcional

Figura 6.10.10. Diagrama de dimensiones y maniobras

Estabilización-Recuperación "in situ"

El tren realiza simultáneamente cinco conceptos: (Figura 6.10.11)

1. Dosificación del cemento y agua (lechada) por medio de computadoras.
2. Mezclado y bombeo de la lechada de la dosificadora a la recicladora.
3. Disgregado de la capa existente.
4. Incorporación de la mezcla y homogenización de la mezcla con agregados "in situ".
5. Tendido de la capa al ancho y espesor de diseño.



Figura 6.10.11. Tren por el sistema de lechada

Esparcido del Cemento

Para el caso convencional, normalmente se utilizan equipos de extendido. La extensión manual del cemento, por ejemplo formando previamente una cuadrícula de sacos con la separación requerida, únicamente es admisible en obras muy pequeñas y tráfico reducido.

En caso de utilizarse dosificadores en polvo, es preferible emplear equipos con el vertido regulado por la velocidad de avance. La dosificación prevista de cemento debe extenderse lo más uniformemente posible sobre la superficie a reciclar. Para reducir al mínimo las pérdidas de cemento provocadas por el viento y evitan molestias a los vecinos, se recomienda un dispersador o dispositivo que realice el esparcido de cemento en forma controlada.

La innovación más interesante en este sentido, para el caso del sistema a base de lechadas, es un equipo provisto de un depósito de cemento, otro de agua y un mezclador de suspensión de agua-cemento, para incorporar la lechada resultante directamente dentro de la recicladora. La dosificación del cemento es así muy precisa. Figura 6.10.12.



Figura 6.10.12. Incorporación del cemento Portland en forma de lechada (automatizado)

En el sistema de lechada, los procesos de dosificación del cemento, disgregado de la base, incorporación de la lechada y mezclado, se realizan en un solo proceso, obteniendo así altos rendimientos.

Este proceso se realiza (como se ha mencionado) en un solo paso, con la diferencia del proceso constructivo convencional que no requerirá la adición de agua por separado, ya que se incorpora el cemento en forma de lechada (cemento + agua). La gran ventaja será que la cantidad de agua necesaria se inyecta en forma precisa por medio de computadoras. Cabe mencionar que deberá alimentarse el valor de la humedad del terreno para que en conjunto con la cantidad de agua por metro cúbico y el peso volumétrico del material, se alcance el porcentaje de compactación máximo.

En la Figura 6.10.13 se observa el equipo dosificador portátil, en cuyo interior se encuentran ubicados dos tanques de almacenamiento: uno de agua con capacidad de 11,000 litros y otro de cemento con capacidad de 25 m^3, quien al momento de ser ingresados los valores de diseño de la carretera (como son: porcentaje de cemento, peso volumétrico del material, cantidad de agua necesaria/ m^3 y profundidad del corte) el equipo dosificará en forma automática la cantidad de cemento y agua necesarios para su inyección a través de una manguera de 3” y 7 metros de longitud, para conectarse a la cámara de corte de la recicladora y realizar la inyección en forma líquida a todo lo ancho del tambor (3.04 metros).



Figura 6.10.12. Incorporación del cemento Portland en forma de lechada (automatizado)

Beneficios del Sistema de Lechada

Menor tren de trabajo. Debido a una menor relación de equipos requeridos en la estabilización por medio de ésta técnica. La disminución en la relación hombre-máquina se debe a que la mayoría de los conceptos de obra se ejecutan simultáneamente con dos equipos (estabilizadora y dosificadora), mientras que con el proceso convencional la presencia y coordinación de más equipos resulta inversamente proporcional al rendimiento.

Mayores rendimientos. En obra, al tenerse menos equipos involucrados, se logra una mayor eficiencia evitando retrasos por coordinación del personal. Pero lo más importante resulta de la velocidad de trayectoria del equipo que en función del espesor las velocidades pueden oscilar entre 7.0 – 13 m/seg; logrando avances promedio de 15,000 metros cúbicos/mes, o 700 mL @ 3.5 metros de ancho.

Mayor control de calidad. Se logra un diseño de mezcla preciso que, gracias a sus dispositivos computarizados, logra una certidumbre del 100% de control de la mezcla. Con ello, se permite estabilizar en una sola pasada capas de gran espesor, garantizando de este modo que la misma cantidad de lechada sea dosificada de manera uniforme a todo lo ancho del tambor.

Mayor seguridad al usuario. Ya que permite trabajarse por carril o secciones, con anchos variables, de acuerdo a la señalización y configuración de la vía. Esto es una enorme ventaja, pues al contarse con un solo tren de equipos, se logra una sincronización adecuada destinando a un carril para trabajos, sin la necesidad de obstrucciones, cierres parciales o incluso totales a lo ancho de la vialidad, es decir, se reducen al mínimo los trastornos causados por las perturbaciones en la operación.

Protección al ambiente. Al incorporarse el cemento en forma de lechada, se evita la formación de polvos y la generación de partículas suspendidas que pudiesen provocar accidentes en obra, por baja visibilidad al usuario, molestias a operadores y contaminación local.

Mayor economía. Se logra mediante los siguientes conceptos:

a) Menor relación hombre-máquina, al suprimirse hasta un 60% de equipos de obra.

b) Mayores rendimientos comparados con el proceso convencional, al tenerse un equipo capaz de realizar diversas tareas simultáneamente, permitiendo alcanzar volúmenes promedio de 15,000 m^3/ mes.

c) Cero desperdicios o mermas del aglutinante por emisión de polvos.

d) Se evitan acarreos de los materiales fresados/ escarificados para la incorporación del cemento Portland a la mezcla, ya que el proceso permite dosificar e incorporar la lechada "in situ".

e) Mínima disposición de recurso humano para la operación de los equipos.

Limitaciones en la ejecución con el sistema de lechada

Como se ha mencionado en el Apartado anterior, existen limitaciones técnicas operativas, así como logísticas, que imposibilitan los trabajos con el tren de reciclado. El lector podrá conocer cuáles son estos impedimentos que, por parte del fabricante, nos remiten a emprender acciones en la construcción de las bases tratadas-recuperadas con cemento. Muchas de ellas serán no costeables, pero técnicamente solventes. El objetivo para el consultor, constructor y demás involucrados, es encontrar la fórmula adecuada para cada proyecto.

El proveedor de materiales o contratista (debido a su experiencia) puede ofrecer diversos escenarios prácticos, mostrando las fortalezas y debilidades para cada caso específico. A continuación se mencionan las limitaciones para la incorporación del cemento vía húmeda con el tren de reciclado:

Dimensiones. Las longitudes de equipos mayores (recicladora 10.5 m y dosificadora 11.5 m) obligan a tener radios de giro no menores de 35 a 40 m para maniobras, sin considerar la pipa del agua.

Geometría. No maniobrable para curvas horizontales con radios de giro menores a 7.0 m. Para el caso de caminos rurales y alimentadores (de acuerdo a la clasificación de la SCT) con radios de giro menores a los expuestos y pendientes mayores del 7%, se vuelve prácticamente inviable su construcción, debido a la posibilidad del volteo de los equipos, pudiendo ocasionar accidentes en obra y al usuario.

Materiales plásticos. En materiales finos o de alta plasticidad, los equipos sufren escasa "trabajabilidad". De la misma manera, la relación agua/cemento se ve alterada por la saturación del material, propiciando una deficiencia en la compactación.

Carpetas asfálticas. Para el caso de reciclado del pavimento existente, la estabilizadora no permite un corte de carpetas asfálticas con un espesor mayor de siete (7.0) cm. Esto se debe a la configuración del rotor en cuanto a la disposición y forma de las puntas y portapuntas que lo conforman.

Dosificación. El equipo está diseñado para una dosificación máxima al 9% de cemento en peso ó 180 kg/m^3.

Chasis. Para el caso de trabajos en donde se incluyan áreas comprendidas para estabilzación-recuperación en zonas perimetrales tales como barreras metálicas, guarniciones, muros, etcétera, el equipo no podrá ejecutarlos, debido a la guarda que forma parte de la estructura y de protección del rotor. La guarda es de 45 cm de un extremo del equipo (costado derecho), por lo que se propone que éste remanente se ejecute con el proceso convencional.

Conclusiones del Sistema de Lechadas

En la estabilización y/o recuperación de capas mediante el sistema de lechada, se comprueba una eficacia en la construcción o refuerzo de los pavimentos, restituyendo las propiedades originales del material que se fresa o incluso mejorarlas.

Estas ventajas básicamente consisten en:

- Mayor precisión al dosificar los insumos por medio de computadoras.
- Mayor homogeneidad en el contenido de cemento.
- Mayor uniformidad en el mezclado.
- Mayor rendimiento, por lo que se pueden acortar los tiempos de obra y abrir antes la circulación.
- No hay emisión de polvo al ambiente, por lo que hay una mayor seguridad para el usuario (visibilidad) y respeto al ambiente, mayor economía y ahorro de energía. Al minimizar el número de equipos complementarios se van abriendo y cerrando tramos para dejarlos operables.

Además:

- Reutilización de hasta el 100% de los materiales existentes
- Reducción o eliminación de acarreos
- Ventajas energéticas

En cuanto a tecnología aplicada, los equipos pueden considerarse como específicos para las técnicas de estabilización y recuperación de pavimentos, experimentando un espectacular avance a lo largo de los últimos años, los cuales se han traducido en una mayor confiabilidad en los resultados obtenidos y notable aumento de rendimientos en obra. Estas técnicas para pavimentos sometidos a altos índices de tránsito deben complementarse con la creación de juntas que permitan minimizar e incluso desaparecer los posibles problemas derivados de la reflexión de grietas en las capas de rodamiento, sin necesidad de disponer espesores excesivos en carpetas.

Finalmente, se recomienda que para poder aproximar y optimizar la mejor solución en cuanto a: auscultación, de deflectometría, edad de la estructura, caracterización de los materiales, espesores de las capas, niveles de tráfico, tasas de crecimiento, etcétera, es necesario poder disponer de toda la información confiable y actualizada en lo posible (analíticas, o recomendaciones existentes) así como herramientas y equipos disponibles, con el fin de definir una solución de estabilización o reciclado de un pavimento.

Cuidados para la Ejecución

Estabilización en Clima Caluroso

Las altas temperaturas pueden dar lugar a una desecación del material que altera desfavorablemente las condiciones de hidratación del cemento Portland.

Algunas de las medidas que se pueden emplear para reducir estos problemas cuando se tienen temperaturas superiores a 35° C son:

- Empleo de cemento Portland con resistencia a los sulfatos, que tienen un menor calor de hidratación, lo que se traduce en menor fisuración.
- Empleo de un retardador de fraguado, para incrementar el plazo de “trabajabilidad”.
- Mezclado con agua fría, incrementando el volumen de agua para prever la evaporación que se producirá durante el proceso.

- Rociado de agua durante la compactación.
- Aplicación inmediata del curado.

Aplicación en Clima Frío

No se debe estabilizar el material cuando la temperatura ambiente esté por debajo de 5º C y haya posibilidad de heladas, ya que el incremento de resistencia es lento. En caso de que la temperatura tienda a aumentar, se puede fijar este límite en 2º C.

En este caso se debe emplear cemento Portland de fraguado rápido. Por otra parte, en caso de ser factible, se recomienda realizar la mezcla con agua caliente.

Aplicación en Clima Lluvioso

En caso de lluvia la ejecución de la estabilización debe suspenderse, tanto por la gran dificultad para compactar el material al incrementarse considerablemente la humedad por encima de la óptima, como por el peligro de que se produzca un lavado de la superficie. No obstante, se puede trabajar cuando haya lluvia fina y ligera, que tienda a desaparecer.

Aplicación con Viento Fuerte

En caso de dosificarse el cemento Portland en seco, no se debe extender cuando haya viento fuerte (velocidad por encima de 35 km/h). Si el cemento Portland se incorpora como lechada, hay que tener en cuenta que, si se trabaja en un ambiente marítimo, con un alto porcentaje de humedad, la capacidad del viento para secar rápidamente la superficie del material es muy alta, por lo que se deben tomar las precauciones adecuadas.

La calidad de las bases estabilizadas con cemento Portland debe cumplir con lo establecido en la **Norma N·CMT·4·02·003/04**, incisos D.1 al D.4, de la normativa SCT.

6.11 MICRO-FRACTURACIÓN (RUBBLIZING) DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

La técnica consiste básicamente en micro-fracturar las losas de concreto hidráulico en fragmentos angulares muy pequeños entrelazados mecánicamente, destruyendo completamente la rigidez de las losas de concreto hidráulico pero sin alterar el volumen y sección de éstas. Esto último, se logra debido a que la rotura no se realiza por energía potencial si no que por vibración de alta frecuencia y baja amplitud.

El equipo de "Rubblizing" posee un martillo montado en el extremo de una viga de acero de gran espesor. El martillo vibra, golpeando el pavimento con una frecuencia de entre 42 y 46 Hertz y una pequeña amplitud (entre 1,25 a 2,5 centímetros), en un ancho de 20 a 25 cm. El efecto vibratorio, acompañado de la carga puntual aplicada por el contrapeso sobre el martillo, produce una rotura y propagación instantánea de una grieta la cual recorre el espesor completo de la losa, sin desplazamiento de los trozos fracturados. Resultado de este proceso son trozos de concreto fragmentado y fuertemente trabados entre sí. Estudios experimentales de campo han determinado que el patrón de fractura es similar al presentado en la Figura 6.11.1, donde la porción superior del pavimento (primer ¼) queda fracturado en tamaños menores y la porción inferior queda micro-fracturada en tamaños mayores, altamente trabada en un patrón de grietas de 35 a 45 grados con respecto a la superficie.

Las características del equipo son las siguientes:

- Peso del equipo: 28 a 30 ton
- Largo / Ancho / Alto: 7,82m / 2,50 m / 3,5 m
- Peso de la viga 4.080 kg
- Presión por golpe: 900 kg
- Velocidad de operación: 8-10 km/hr
- Productividad máxima esperada por día de 1.5 km en dos carriles

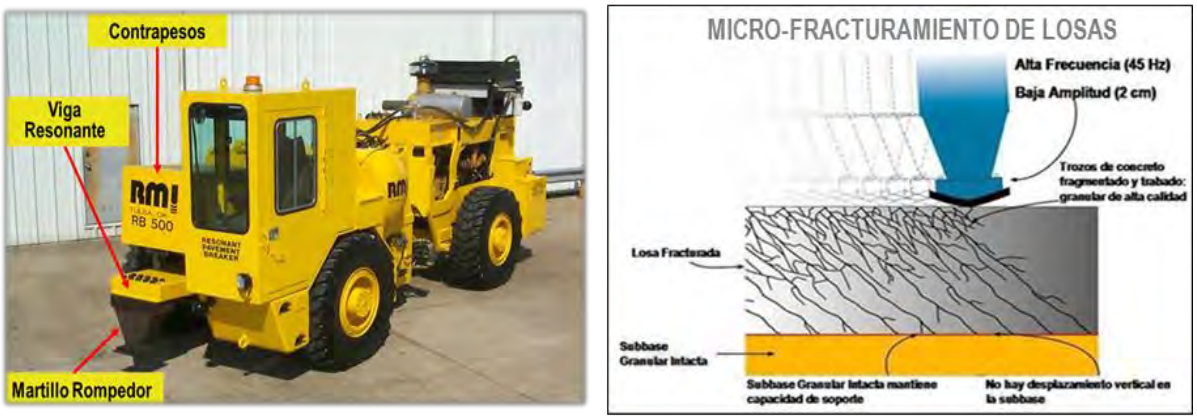


Figura 6.11.1. Equipo Rubblizing y patrón de fractura

Las aplicaciones de esta técnica son básicamente dos:

1. **Reciclado de pavimento**: Micro-fractura del pavimento de concreto para transformarlo en base granular de muy alta resistencia para luego construir directamente sobre ésta una sobre carpeta asfáltica. Figura 6.11.2.

2. **Reciclado del material (o demolición)**: Micro-fractura del pavimento de concreto para luego ser retirado para otros usos o descartado. (objetivo opcional) Figura 6.11.3.



Figura 6.11.2 Micro-fracturamiento de la losa para rehabilitación



Figura 6.11.3 Micro-fracturamiento de la losa para reciclado del material "in situ"

Empleo en Demolición de Pavimentos

La demolición empleando la técnica "Rubblizing" genera una serie de ventajas y beneficios para constructores y usuarios de las vialidades, siendo sus principales ventajas, cuando se le compara con técnicas tradicionales de demolición, las siguientes:

- Contaminación acústica muy baja.
- No produce vibraciones molestas.
- No produce impacto en estructuras bajo el pavimento o impactos co-laterales.
- Bajo abundamiento, lo cual permite mayor rendimiento en operaciones de carga y transporte. Se reduce en un 40% el número de viajes de camiones.
- Proceso al menos cinco veces más rápido.

Por otra parte, el método convencional más utilizado para demolición es por medio de martillos neumáticos, el cual tiene las siguientes limitaciones Figura 6.11.4.

- Contaminación acústica alta.
- Produce vibraciones molestas.
- Produce impacto en estructuras bajo el pavimento y co-laterales.
- Alto abundamiento para operaciones de carga y transporte.
- Proceso con rendimiento muy bajo.



Figura 6.11.4. Equipo convencional de fracturación y ejemplo de efectos desventajas

Dependiendo del tipo de concreto, la granulometría resultante del proceso de micro-fracturado por resonancia se asemeja a la que se presenta en Figura 6.11.5, en donde entre 60 y 80% del material estará por debajo de 40 cm. Aproximadamente un 60-80% del material (luego de tamizado) vuelve al tamaño de la granulometría utilizada en el concreto original. El material granular resultante es fácil de reciclar en planta para reutilizarse como agregado en otras aplicaciones.

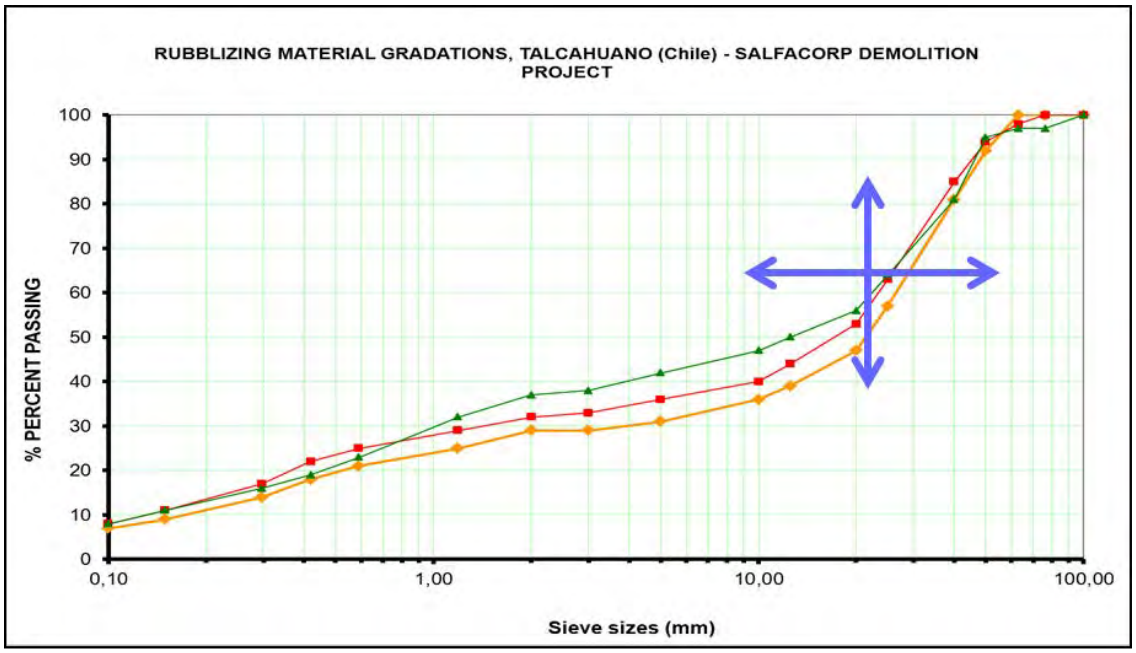


Figura 6.11.5. Granulometría resultante del proceso de micro-fracturado por resonancia

Empleo en Rehabilitación Estructural de Pavimentos

Los pavimentos de concreto hidráulico, al igual que todos los tipos de pavimentos, experimentan un deterioro progresivo, producido por las solicitaciones de cargas de tránsito, clima (temperatura y lluvia), características del diseño geométrico y de drenaje y otros.

La tasa, a la cual progresa el deterioro, depende fundamentalmente de cómo se resolvieron originalmente los diferentes elementos del diseño del proyecto de ingeniería original y luego, una vez en servicio, depende de la gestión de mantenimiento y control.

Existe una serie de técnicas que permiten extender la vida útil del pavimento cuando éste se encuentra en servicio y comienza a manifestar los primeros síntomas de deterioro. Una de las técnicas de rehabilitación más utilizada (históricamente) en pavimentos de concreto hidráulico consiste en colocar una capa de renivelación asfáltica directamente. La sobre carpeta asfáltica mejora la condición funcional del pavimento y aumenta su capacidad estructural pero es condición necesaria que el deterioro que presente la estructura del pavimento no sea severo; es decir que sean losas fisuradas pero muy estables.

No obstante, un problema inherente de la capa de renivelación asfáltica sobre pavimento rígido es la reflexión de grietas a temprana edad. Existen diferentes técnicas para minimizar este problema:

- Diseño de capas de renivelación de gran espesor
- Uso de capas asfálticas intermedias de granulometría abierta
- Especificar el uso de materiales especiales de interface (geomembranas)
- Mezclas asfálticas con asfalto modificado

Todas estas técnicas tienen en común que no previenen el reflejo de juntas y grietas, sólo retardan su propagación por un período de tiempo, el cual depende de un gran número de factores de diseño y de uso.

Una técnica relativamente nueva para eliminar 100% el reflejo de grietas en sobre capas asfálticas y que no produce efectos secundarios, corresponde a la técnica de “Rubblizing” (micro-fracturado de losas de concreto hidráulico).

El Micro-Fracturado de losas de concreto hidráulico es una técnica relativamente reciente, utilizada en la rehabilitación de pavimentos rigidos y ha demostrado ser la que posee mejor relación costo/efectividad (NAPA, 1995). El patrón de agrietamiento que se obtiene después de “Rubblizing” le confiere al material excelentes propiedades mecánicas de resistencia, transformándose en el equivalente a una capa base estabilizada de alto módulo, en donde el valor del módulo dependerá fundamentalmente del espesor de losa y la capacidad de soporte del suelo bajo la losa.

La capa de concreto hidráulico micro-fracturado constituye la base sobre la cual se construyen directamente las sobre capas asfálticas, cuyo espesor de diseño depende del tránsito, del módulo del concreto hidráulico micro-fracturado y de la capacidad de soporte de la subrasante. De este modo se logra rehabilitar estructuralmente el pavimento existente, re-utilizando 100% los materiales existentes y sin moverlos de su sitio (Reciclado In-situ).

Debido a que la energía de rotura se aplica con baja amplitud y alta frecuencia, el poder destructivo de la carga dinámica se concentra en la sección pequeña del pavimento rígido, no alterando las condiciones de la subbase y la subrasante existentes. Por esta última razón, la carga dinámica tampoco afecta instalaciones que estén debajo del pavimento. Una vez que el martillo comienza a vibrar con la frecuencia y amplitud óptimas, el equipo puede avanzar a una velocidad aproximada entre 8 a 10 km/h, dependiendo principalmente de la longitud de la faja disponible para operar el equipo y del espesor de losa de concreto hidráulico.

Procedimiento

El proceso constructivo de rehabilitación mediante “Rubblizing” se puede describir en tres. Sin embargo, para cualquier técnica de rehabilitación estructural que se utilice en un pavimento rígido, se requiere poner atención a las siguientes recomendaciones.

- **Remoción y reemplazo de losas colapsadas.** Una vez realizado el estudio de diagnóstico y determinada la factibilidad técnica de rehabilitación, se debe hacer un levantamiento de todas aquellas losas o áreas localizadas que evidencien o presenten fallas que afecten a la subrasante. En el caso de la técnica "Rubblizing", si hubiere losas colapsadas se debe restituir la capacidad estructural, empleando suelo cemento en un espesor de 1,5 a 2 veces el espesor de las losas, dependiendo de la gravedad de la falla.

  Nota. No se utilizará la técnica "Rubblizing" en sectores donde las losas presentan: fallas o colapso de la subbase granular, falla o colapso de la subrasante o presencia de una subrasante muy débil (CBR ≤ 3%). Tampoco se aplicará la técnica en losas de concreto hidráulico desplazadas, sueltas y/o deformadas.

- **Drenaje.** Un pavimento de concreto, que tenga 10 ó más años en servicio, muestra claramente que ciertas fallas se asocian directamente a problemas de drenaje, por lo cual el estudio de ingeniería asociado al mejoramiento o construcción de drenes debe poner especial atención a estas áreas deterioradas, las cuales deben ser restauradas previo a cualquier intervención de rehabilitación de pavimento. La construcción o mejoramiento de drenajes laterales debe realizarse al menos 2 a 5 días antes de realizar la micro-fracturación del concreto hidráulico, dependiendo de las condiciones de saturación y la capacidad de drenaje del área. No debe haber presencia de agua bajo el pavimento cuando se lleva a cabo el proceso "Rubblizing".

- **Remoción de la sobre capa asfáltica**: Toda técnica de rehabilitación requiere del retiro de la sobre capa de asfalto existente, a través de un proceso de fresado. Para el caso de la técnica de "Rubblizing", el martillo rompedor debe hacer contacto directo con la superficie de la losa de concreto hidráulico para encontrar los valores de amplitud y frecuencia correctos.

El procedimiento constructivo se describe en tres pasos.

Paso1: Proceso Constructivo - Fracturación

Paso 2: Proceso Constructivo - Rodillado (Planchado)

Paso 3: Proceso Constructivo – Colocación de Carpetas Asfálticas

Paso 1: Proceso Constructivo - Fracturación

El proceso "Rubblizing" se realiza a lo largo de la calzada, idealmente en longitudes que van desde 500 hasta 1,500 m. Cada pasada del martillo rompedor cubre un ancho de entre 20 y 25 cm, y a una velocidad de hasta 10 km/h, Figura 6.11.6. El triturado se realiza en todo el ancho de la calzada, asegurando que en una jornada de trabajo se cubrirán el ancho y el largo de la pista o carril.

El proceso de fragmentado debe comenzar en un borde de la losa de concreto. El proceso es secuencial, es decir, una vez que se ha fragmentado una franja se debe pulverizar la franja paralela adyacente, hasta completar el ancho de la losa entre ambas juntas longitudinales. Para cuando el equipo deba transitar por los bordes longitudinales externos de las losas, la superficie adyacente sobre la cual se apoyan y ruedan los neumáticos debe encontrarse nivelada y con resistencia suficiente para asegurar la estabilidad del equipo. En algunos casos se recomienda dejar un borde longitudinal externo de la losa (no superior a 20 - 25 cm) sin triturar; siempre y cuando las condiciones laterales no permitan al equipo operar con seguridad en el borde del camino.

Si existe acero de refuerzo en la superficie del pavimento pulverizado, no debe removerse. En el caso de que sobresalgan segmentos de acero en la superficie, deben ser removidos para evitar cualquier daño al equipo de "Rubblizing" u otros equipos de construcción. Las mallas o pedazos de acero de refuerzo que sobresalgan deben ser cortados al ras de la superficie con equipo de oxicorte.

Los pasajuntas en general deben ser removidos fácilmente en caso de aparecer en la superficie, pero no se considera necesario.

La emisión de polvo durante el proceso es muy localizada, Figura 6.11.6. No obstante, en zonas urbanas si se requiere, se pueden emplear riegos de agua moderados (0,5 litros/m^2).

No se debe permitir transitar y maniobrar con equipos y maquinarias de construcción sobre el material triturado.

Sólo se permitirá transitar a los camiones cisternas y a los camones proveedores de mezcla asfáltica.



Figura 6.11.6. Martillo rompedor

Paso 2: Proceso Constructivo - Rodillado (Planchado)

Se utiliza el concepto "Rodillado" o "Planchado" debido a que el principio de pasar un compactador sobre un pavimento micro-fracturado con la técnica de "Rubblizing" no es obtener densidad. El rodillado se requiere para aplanar la superficie fracturada y dar un pequeño acomodo a algunas piezas de concreto sueltas.

La pasada del compactador se debe realizar al término de la operación de "Rubblizing". Se deben efectuar 3 a 4 pasadas de rodillo liso vibratorio de peso mínimo de 10 toneladas y de amplitud y frecuencia variables. La velocidad del rodillo no debe superar los 6.5 km/h (1.8 m/s), Figura 6.11.7. El rodillado puede realizarse después de terminada la operación de "Rubblizing" o poco antes del proceso de colocación de capa de refuerzo, siendo más recomendable realizarlo previo a la colocación de la capa asfáltica. Al término de la operación de rodillado la superficie debe verse pareja y uniforme y no se permite el tránsito ni la operación de equipos y maquinaria de construcción, con excepción de los equipos y maquinarias asociados a la colocación de la carpeta asfáltica.



Figura 6.11.7. Rodillado



Figura 6.11.8. Colocación carpeta asfalto

Paso 3: Proceso Constructivo – Colocación de Carpetas Asfálticas

Idealmente la colocación de la carpeta asfáltica debe iniciar inmediatamente después de que se termine la operación de "Rubblizing" y rodillado. De este modo se aprovecha una de las principales ventajas del proceso de rehabilitación por micro-fracturado. Esto es, la productividad de área rehabilitada (7000 a 9000 m^2 de pavimento por jornada de 8 horas).

El espesor mínimo recomendado para la sobre capa asfáltica es 10 a 13 cm, dependiendo de las condiciones de la estructura remanente de pavimento y de las características del proyecto. Se recomienda construir la carpeta asfáltica en dos capas en donde la primera capa, además de cumplir un objetivo estructural, sirve para nivelar y corregir las deformaciones existentes de la sección transversal (y longitudinal del pavimento).

Algunas recomendaciones adicionales, asociadas específicamente a la colocación de mezcla asfáltica, son:

- Utilizar una terminadora de asfalto con rodado de oruga
- No se requiere, ni recomienda la colocación de impregnación entre la capa fracturada y la primera capa de mezcla asfáltica en caliente. Figura 6.11.8.
    - Verificar que la producción de mezcla asfáltica en planta sea suficiente para cubrir el área que se fracturó en una jornada de trabajo, para que pueda ser entregada a servicio y no quede expuesta al tránsito
- En caso de lluvia el concreto triturado no se ve afectado por el agua (es inerte), pero la presencia de exceso de humedad sí puede generar problemas con la colocación de mezclas asfálticas en caliente. Se recomienda esperar el tiempo necesario para que la superficie fracturada quede debidamente drenada y seca.

Luego de la construcción de la primera capa se recomienda abrir al tránsito, pero considerando las condiciones de seguridad vial asociadas a zonas en construcción y pavimentos, sin el señalamiento adecuado.

Condiciones para la Aceptación

El tamaño máximo de los bloques fragmentados, medidos en la superficie expuesta, debe tener una dimensión menor de 1,5 a 2,0 veces el espesor de la losa. No se recomienda realizar calas porque se afecta estructuralmente al área que ocupa la excavación, al destruir la estructura obtenida. Si aún permanecen fragmentos cuyas dimensiones superen los 40 cm y estén sueltos, se podrá intentar fragmentarlos con una segunda pasada del equipo. La medición de la densidad "in situ" no es aplicable.

6.12 EXPERIENCIAS EN LA ESTABILIZACIÓN DE CAPAS DE PAVIMENTO CON POLÍMEROS

Antecedentes

Las tecnologías convencionales para la construcción de las diferentes capas que componen la estructura de un pavimento se enfrentan a costos muy elevados en sus procesos constructivos, por las siguientes razones:

- Rechazo de materiales arcillosos y su depósito en vertederos
- Sustitución de ellos por lejanos materiales de préstamo
- Uso de equipo inadecuado que demanda muchas horas máquina
- Tiempo más largo en su proceso constructivo

Las tecnologías convencionales, que actualmente se utilizan en la conservación de pavimentos, contribuyen al cambio climático debido a que emiten grandes cantidades de gases efecto invernadero (CO_2 y COVDM), no sólo por la cantidad de combustibles fósiles que consumen, sino también por la cantidad de cemento o de asfalto utilizados en las capas de rodadura, en cuya producción se emiten 497 kilogramos de CO_2 por tonelada de cemento y 320 kilogramos de COVDM por tonelada de asfalto.

Para la construcción de la estructura de los pavimentos se dispone de dos tipos de materiales:

a) Gravas y arenas, que son materiales de alta capacidad de soporte; sin embargo, presentan el inconveniente de su falta de cohesión.

b) Arcillas, que presentan alta cohesión pero muy poca capacidad de soporte y adicionalmente un carácter expansivo perjudicial, motivo por el cuál son descartadas y sustituidas con materiales “de banco” como son las gravas trituradas.

En esta tecnología, el uso de estos dos tipos de materiales es aprovechado de acuerdo con la calidad que presenten, mediante la evaluación de las pruebas siguientes:

- Peso Volumétrico Seco Suelto
- Distribución Granulométrica
- Límites de Consistencia (LL, LP, IP)
- Peso Volumétrico Seco Máximo AASHTO (pvsm)
- La Humedad Óptima de Compactación AASHTO
- Valor Soporte de California (CBR)

Con los resultados mostrados en los estudios realizados, se concluye que la estabilización de capas de pavimento con polímeros se apegan a los lineamientos señalados en el pasado XXIV Congreso Mundial de Carreteras, México 2011, los cuales se mencionan a continuación:

1. **Sustentables.** Es decir, que sin demérito de las propiedades de resistencia que se exigen en este sentido, se pueda lograr utilizar los materiales del propio lugar de construcción, sin necesidad de traer materiales especiales de otros sitios lejanos.

2. **Proceso Constructivo** de menor costo, para poder satisfacer la demanda con los limitados recursos económicos disponibles.

3. **Resistentes a los Cambios Climáticos**, principalmente en el aspecto de lluvia y de temperatura.

4. **Vida Útil** no Menor a 30 años y con un mínimo de mantenimiento.

5. **Amigables** con el medio ambiente.

Evaluación de una Estabilización de Materiales Pétreos con Polímeros

Formación Química de la Estructura de un Pavimento

En esta tecnología cada capa de la Estructura de un pavimento (Base, Subbase y Subrasante) se forma por medio de una reacción química que ocurre al poner en contacto los componentes del suelo del lugar (arcillas, gravas, arena, limo) con el agua de compactación óptima y un material polimérico (por ejemplo SOLIDROAD®-510). Esta reacción química se puede representar de la siguiente forma:

ARCILLAS +CALIZAS + ARENA + LIMOS + AGUA + MATERIAL POLÍMERICO

↓

(ARCILLAS---CALIZAS---ARENA---LIMOS--- AGUA ---MATERIAL POLÍMERICO)

En este enunciado químico, los reactivos (antes de la flecha) están separados por el signo (+), indicando que se mezclan entre sí para ser homogenizados y compactados. El producto de la reacción (después de la flecha) tiene los mismos componentes, sólo que unidos unos con otros por enlaces de hidrógeno representados por las líneas punteadas.

Estos enlaces de hidrógeno son responsables del desempeño y calidad mejorados que muestran las estructuras de pavimento construidas con esta tecnología, definidos como Estructuras con Polímero, en las que se presentan las dos propiedades siguientes:

- Alta Capacidad de Dispersar la Energía, que reciben en un volumen muy grande de su masa

- Alta Estabilidad Térmica, en el rango de temperatura de 0° C a 409° C.

Para evaluar en el laboratorio estas propiedades, se utilizan los dos equipos que a continuación se mencionan:

- Un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC por sus siglas en Inglés), con el cual se comprueba la estabilidad térmica de las estructuras de materiales estabilizadas con polímero.

- Un Deflectómetro de Caída Libre (HWD por sus siglas en Inglés), con el cual se evalúa si la estructura de materiales con polímero presenta alta capacidad de dispersar la energía que le transfiere el tránsito en un volumen muy grande de su masa y, por consiguiente, se verifica el mejoramiento de su desempeño y calidad.

La estabilidad térmica de las estructura con polímero se comprobó en el camino de acceso a la mina VII de Micare (Nava, Coahuila); se tomó una muestra la cual fue sometida a un calentamiento de 0 a 409° C en el Calorímetro Diferencial de Barrido, DSC. El termograma obtenido se muestra en la Figura 6.12.1.

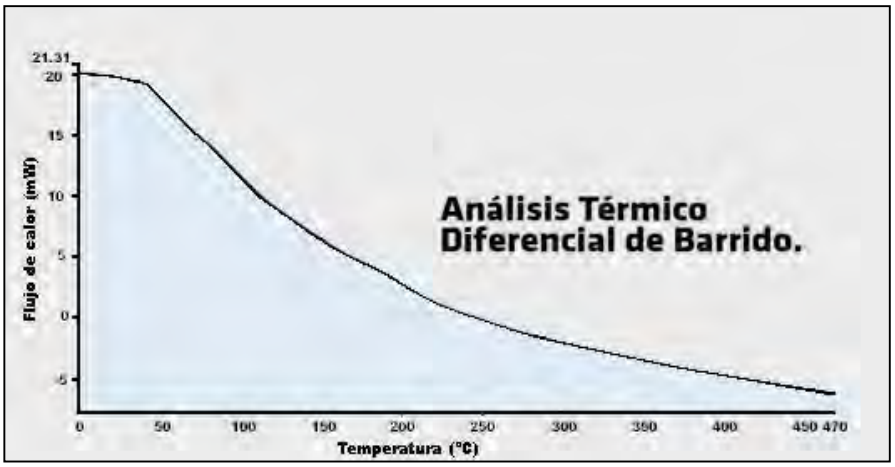


Figura 6.12.11. Termograma obtenido por DCS de una estructura estabilizada con polímero

El análisis del termograma señala que es una línea continua, donde no se observan picos que indiquen la pérdida de alguno de los componentes de la estructura (principalmente agua), en el rango 0 a 409° C. De este señalamiento se obtienen las conclusiones siguientes sobre la estructura con polímero estudiada:

1. Tiene alta estabilidad térmica en el intervalo estudiado, es decir, no pierde ninguno de sus componentes por efecto de la temperatura.

2. El agua presente en la estructura con polímero está adsorbida en su masa; por ello no se presentará la expansión que ocurre por presencia de agua libre en los materiales arcillosos.

3. Es resistente al cambio climático, en lo referente al daño ocasionado por las variaciones bruscas de temperatura que caracterizan a dicho cambio.

4. Es amigable al Medio Ambiente. Ningún compuesto químico es liberado, por lo que es un material que no contamina.

Para determinar, en el campo, el desempeño y calidad de las estructuras de materiales estabilizadas con polímero, se aplicó el Deflectómetro de Caída Libre (HWD).

Dicho Deflectómetro se usó en un tramo de 32 km del camino Reynosa-Burgos, en Tamaulipas.

Los módulos elásticos medidos con el HWD en ese tramo fueron en promedio de 4,422 kg/cm^2, a pesar que dicha estructura fue construida con material calidad de capa subrasante, empleando materiales existentes en el lugar. En la Figura 6.12.2 se muestran los intervalos de los módulos elásticos para las diferentes capas de los pavimentos convencionales (en la subrasante oscila entre 1,000 y 1,500 kg/cm^2, en la subbase de 1,500 a 2,500 kg/cm^2 y para la base hidráulica de 2,500 a 3,500 kg/cm^2).

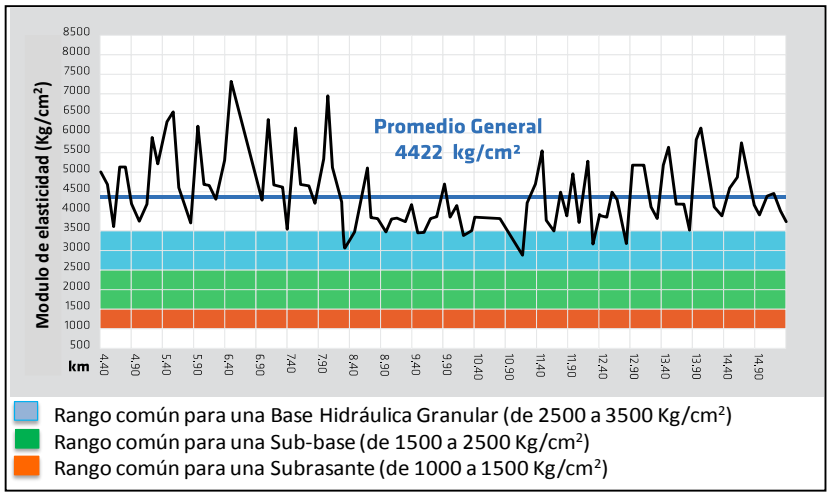


Figura 6.12.2. Módulos Elásticos de la estructura con polímero

Del análisis de los valores de las deflexiones obtenidas en los sensores, se obtienen las curvas que muestra en Figura 6.12.3.

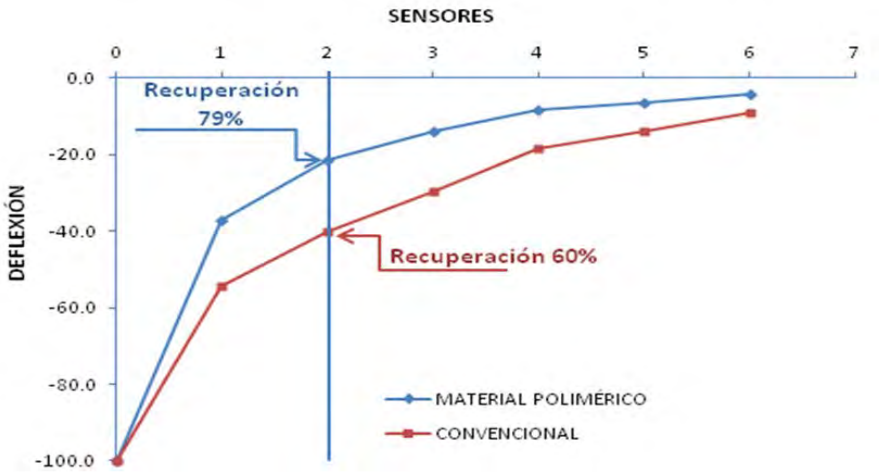


Figura 6.12.3. Curvas de deflexión (en azul, material polimérico y en rojo, material convencional)

La curva de deflexión azul corresponde a la estructura con material polimérico y la roja a un promedio de 3 estructuras convencionales. La recta vertical azul, que corresponde a las lecturas del sensor 2, indica que la estructura con polímero se ha recuperado en un 79%, mientras que la convencional lo ha hecho en un 60%. Como se observa, la estructura con polímero resulta más flexible que la convencional y tiene mayor capacidad de dispersar la energía que le induce el tránsito.

Del análisis de las cuencas de deflexión, definidas por las áreas de las curvas delimitadas por la respectiva curva de deflexión (Figura 6.12.4), se observa que la estructura de materiales pétreos con material polimérico (área verde) para el camino Reynosa-Burgos presenta un área de 139 mm^2, mientras que la estructura del material convencional (área café claro) muestra un área de 213 mm^2. Lo anterior permite concluir que la estructura con menor área de cuenca presentará mejor desempeño y calidad.

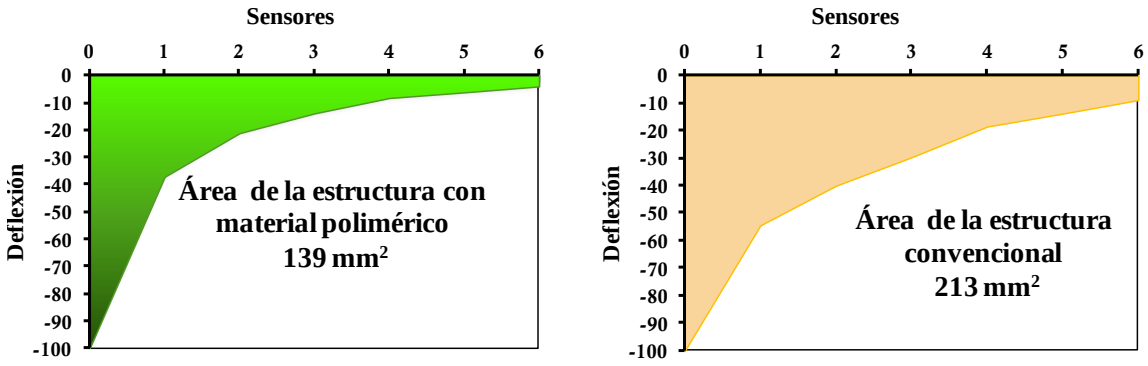


Figura 6.12.4. Comparación de las áreas de cuenca de las estructuras estudiadas

Este mejor desempeño y calidad puede ser expresado como:

- Mayor capacidad de dispersar la energía que recibe del tráfico
- Mayor módulo elástico y vida útil más larga
- Mayor velocidad de recuperación a la deflexión del tráfico
- Tiempo más largo de aparición de fatiga y de patologías de deterioro
- Menor costo de mantenimiento
- Mayor resistencia a los cambios climáticos

La estructura de materiales estabilizada con Polímero muestra estas importantes ventajas, a pesar de haber sido construida con materiales con calidad de capa subrasante.

Evaluación de la Resistencia a la Compresión Simple

La resistencia a la compresión simple de tres muestras de la estructura de materiales estabilizados con polímero, del camino Reynosa Burgos, presenta un valor promedio de 31.7 kg/cm^2, mismo que se encuentra dentro del rango de un material de base tratado con cemento Portland, con proporción de un 2% a un 4% aproximadamente (Figura 6.12.5).



Figura 6.12.5. Corazón extraído del material estabilizado con polímero, del camino Reynosa- Burgos

Proceso Constructivo Recomendado

Los materiales del suelo por utilizar deben ser evaluados previamente, de acuerdo a las normas existentes, para comprobar la compatibilidad con el polímero y la calidad y el desempeño de las estructuras obtenidas con esta tecnología, en lo concerniente a: peso volumétrico seco suelto, granulometría, límites de consistencia (LL, LP e IP), peso volumétrico seco máximo (pvsm), humedad óptima de compactación y valor soporte de California (CBR).

A continuación se describe el desarrollo del proceso constructivo que se recomienda para esta aplicación:

1. **Dosificación del Material Polimérico**

El fabricante especifica que por cada 140 m^3 de material abundado se utilicen 2 galones (7.570 litros) de polímero en su parte "A" y 1 galón (3.785 litros) de polímero en su parte "B". El polímero debe incorporarse junto con el agua necesaria, para que el material tratado tenga el óptimo contenido de humedad.

2. **Homogenización del Material**

Teniendo el producto polimérico integrado en el agua de homogeneización y el camión cisterna en posición paralela con el equipo estabilizador de suelos, se procede a iniciar la homogeneización del material. Se trabaja en franjas longitudinales al eje del camino, homogeneizando la primera franja en cualquiera de los dos extremos laterales del camino, debiendo avanzar el camión cisterna a la velocidad de avance del equipo estabilizador de suelos.

3. **Compactación**

La compactación se realiza considerando los requerimientos del material con el siguiente equipo: Compactador pata de cabra del tipo 815F o un vibro compactador pata de cabra del tipo CP 563D. Una vez realizado el trabajo de compactación con el equipo anterior, se debe cerrar la capa con un equipo vibro-compactador (pata de cabra o liso), según se requiera, dando las pasadas necesarias para lograr la compactación de proyecto.

4. **Tiempo de Curado**

Una vez terminado el proceso de compactación se requiere un periodo de 96 horas como mínimo, llamado tiempo de curado, para asegurar el mejoramiento de la capacidad de soporte que presentará la estructura. Esta capacidad de soporte se determina con la prueba de CBR.

5. **Preparación de la Superficie de la Capa Polimerizada, para la Colocación de la Carpeta Asfáltica**

Una vez que la capa estabilizada con polímero tenga una adecuada capacidad de soporte, se procede a dar un barrido mecánico para posteriormente colocar un riego de liga con la solución agua-polímero, permitiendo que el excedente de la humedad superficial se evapore de manera natural. Enseguida se aplica un riego de liga a razón de 0.8 l/m^2 de emulsión asfáltica (de acuerdo al proyecto) y posteriormente se aplica un "manteo" con material de carpeta asfáltica sobre la superficie tratada con riego de liga (no se requiere riego de impregnación), transitando sobre el "manteo" un rodillo liso tandem sin vibrar, a baja velocidad, con la finalidad de incrustar parcialmente el material del "manteo" sobre la superficie de la capa polimerizada, además de que parte del material pétreo dejado expuesto, permitirá la adherencia con la carpeta asfáltica.

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES



Tomo II

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO

2014

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO 2014

Dirección General de Servicios Técnicos



Lic. Gerardo Ruiz Esparza
Secretario

Mtro. Raúl Murrieta Cummings
Subsecretario de Infraestructura

Ing. Clemente Poon Hung
Director General de Servicios Técnicos

Secretaria de Comunicaciones y Trasportes

Subsecretaria de Infraestructura

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán No. 1895
Col. Acacias
Delegación Benito Juárez
03240 México D.F

Derechos Reservados
Prohibida su reproducción total o parcial

ISBN 978-607-96936-3-3

Primera Edición

AGRADECIMIENTOS

La Secretaria de Comunicaciones y Transportes agradece al Comité de Conservación de Carreteras de la Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., por su participación en la elaboración y revisión de esta Guía

Índice General

Tomo I

1. Presentación

2. Generalidades de la Conservación
   - *2.1 Antecedentes*
   - *2.2 Sistemas de Gestión*

3. Auscultación, Estudios, Proyectos y Dictámenes
   - *3.1 Pavimentos*
   - *3.2 Drenaje y Subdrenaje*
   - *3.3 Taludes*
   - *3.4 Puentes (Inspección)*

4. Clasificación de la Conservación de Carreteras

5. Técnicas Tradicionales para la Conservación
   - *5.1 Pavimentos*
   - *5.2 Drenaje y Subdrenaje*
   - *5.3 Estabilidad de Taludes*
   - *5.4 Puentes*
   - *5.5 Señalamiento*
   - *5.6 Seguridad Vial*
   - *5.7 Derecho de Vía*
   - *5.8 Impacto Ambiental*

6. Innovaciones Tecnológicas en Pavimentos
   - *6.1 Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño*
   - *6.2 Mezcla Asfáltica Tipo SMA*
   - *6.3 Mezcla Asfáltica Tipo CASAA*
   - *6.4 Mezcla Asfáltica de Granulometría Abierta (Open Graded)*
   - *6.5 Riego de Sello Sincronizado y con Fibras*
   - *6.6 Slurry Seal y Microaglomerado*
   - *6.7 Reciclado en Caliente de Carpeta Asfáltica en el Lugar*
   - *6.8 Recuperación en Frío con Emulsión Asfáltica*
   - *6.9 Recuperación de Capas con Espuma Asfáltica*
   - *6.10 Recuperación de Capas con Cemento Portland*
   - *6.11 Micro-Fracturación (Rubblizing) de Pavimentos de Concreto Hidráulico*
   - *6.12 Experiencias en la Estabilización de Capas de Pavimento con Polímeros*

Tomo II

7. Supervisión, Control y Verificación de Calidad

7.1 Supervisión en la Conservación de Carreteras
7.2 Control y Verificación de Calidad

8. Esquemas de Contratación para la Conservación de Carreteras

9. Atención de Emergencias

10. Acrónimos de Organismos

11. Glosario y Términos Técnicos

12. Apéndices

3. Auscultación, Estudios, Proyectos y Dictámenes
   3.1 Pavimentos
   A 3.1.1 Principales Fallas en Pavimentos y su Origen
   A 3.1.2 Manual del Usuario de la Herramienta de Apoyo para Seleccionar Alternativas Superficiales de Conservación

   3.3 Taludes
   A 3.3.1 Formato Reporte de Auscultación de Taludes (y Ejemplo)

   3.4 Puentes (Inspección)
   A 3.4.1 Ejemplo de Formato Base de Datos de SIPUMEX
   A 3.4.2 Ejemplo de Formato Reporte de Inspección
   A 3.4.3 Ejemplo de Formato Reporte Fotográfico
   A 3.4.4 Ejemplo de Plano de Levantamiento Geométrico (1 de 2)
   A 3.4.4 Ejemplo de Plano de Levantamiento Geométrico (2 de 2)
   A 3.4.5 Ejemplo de Plano de Levantamiento de Daños (1 de 2)
   A 3.4.5 Ejemplo de Plano de Levantamiento de Daños (2 de 2)

4. Clasificación de la Conservación de Carreteras
   A 4.1.1 Aspectos Prácticos en la Conservación de Carreteras a Cargo de la DGCC
   A 4.1.2 Datos de Inversión en Conservación: CAPUFE Y DGCC
   A 4.1.3 Planeación de la Conservación en la DGCC

5. Técnicas Tradicionales para la Conservación
   5.3 Estabilidad de Taludes
   A 5.3.1 Ejemplo Cálculo de Estabilidad de un Talud en Roca
   A 5.3.2 Secuencia de Cálculo para Diseño de Anclas
   A 5.3.3 Normas para Componentes de Anclas

A 5.3.4 Especificaciones de Materiales para Anclas

5.4 Puentes
A 5.4.1 Formato de Programa de Mantenimiento Menor de Puentes
A 5.4.2 Otros Tipos de Juntas de Dilatación para Puentes
A 5.4.3 Otros Tipos de Apoyos para Puentes
A 5.4.4 Tipos de Estribos, de Acuerdo al Reporte SIPUMEX
A 5.4.5 Tipos de Pilas, de Acuerdo al Reporte SIPUMEX
A 5.4.6 Procedimiento Constructivo de Cambio de Apoyos
A 5.4.7 Procedimiento Constructivo para el Tratamiento de Acero de Refuerzo Expuesto y Oxidado
A 5.4.8 Procedimiento para la Aplicación de Pintura en Banquetas, Guarniciones y Parapetos de Concreto
A 5.4.9 Procedimiento para la Aplicación de Pintura en Parapetos Metálicos
A 5.4.10 Procedimiento para Realizar la Reparación de Desconches y Oquedades enTrabes, Losas y Diafragmas
A 5.4.11 Procedimiento para Realizar Reparaciones en la Estructura de Acero de un Puente con Armadura de Paso Inferior
A 5.4.12 Procedimiento para la Reparación de Grietas en la Mampostería
A 5.4.13 Procedimiento para Reparación de Fracturas en Estribos de Concreto Ciclópeo
A 5.4.14 Procedimiento de Reparación de Losa de Protección de un Cono de Derrame
A 5.4.15 Consideraciones de Diseño para Enrocamiento
A 5.4.16 Procedimiento para la Colocación de Losa de Protección de Concreto, así como para la Sustitución de una Losa Dañada
A 5.4.17 Procedimiento Constructivo para el Reforzamiento Incrementando el Número de Trabes y Colocando una Sobrelosa
A 5.4.18 Procedimiento Constructivo para Reforzamiento con Preesfuerzo Externo Longitudinal y Transversal
A 5.4.19 Procedimiento Constructivo para Sustituir Presfuerzo Vertical
A 5.4.20 Procedimiento Constructivo para Recimentación con Pilastrones y Presfuerzo
A 5.4.21 Procedimiento Constructivo para Refuerzo de Pilastrones con Encamisado de Concreto
A 5.4.22 Procedimiento Constructivo para Recimentación con Ampliación de Zapata y Protección Contra Socavación con Enrocamiento

5.5 Señalamiento
A 5.5.1 Características del Señalamiento

5.6 Seguridad Vial
A 5.6.1 Factores que Intervienen en la Seguridad Vial

6. Innovaciones Tecnológicas en Pavimentos
6.1 Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño
A 6.1.1 Ensayes de Calidad para Agregados Pétreos Utilizados en Mezclas Asfálticas de Alto Desempeño
A 6.1.2 Ensayes de Calidad para Cementos Asfalticos Grado Desempeño (PG)

6.7 Reciclado en Caliente de Carpeta Asfáltica en el Lugar
A 6.7.1 Diseño de Morteros Asfálticos

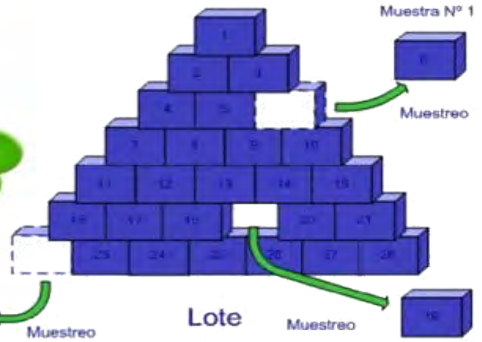
6.9 Recuperación de Capas con Espuma Asfáltica
A 6.9.1 Características del Asfalto Espumado
A 6.9.2 Diseño de la Estabilización con Asfalto Espumado

9. Atención de emergencias
A 9.1.1 Recomendaciones Técnicas Generales
A 9.1.2 Procedimiento para la Instalación de Puentes Tipo Bailey
A 9.1.3 Reglas Generales de Operación del Fondo de Desastres Naturales FONDEN

13. Bibliografía

7. Supervisión, Control y Verificación de Calidad









SECRET

SUBDIRECCION DE SUPERVISION
DEPARTAMENTO DE SUPERVISION DE OBRA

INFORME FOTOGRAFICO

SUPERVISION:	"SUPERVISION, SEGUIMIENTO Y VERIFICACION DE CALIDAD DE LAS OBRAS DE CONSERVACION DE CARRETERAS EN EL ESTADO DE SINALOA".		
EMPRESA SUPERVISORA:			
CONTRATO:	2-Y-CB-A-	**PERIODO:**	01 AL 30 DE JUNIO DE 2012

OBRA:	TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIODICA EN 17 PUENTES, MEDIANTE LA COLOCACIÓN O CAMBIO DE JUNTAS DE CALZADA, DE LOS CUALES 5 SE UBICAN EN CORREDOR Y 12 EN RED BASICA, TRAMO LIM.EDOS. NAY/SIN-MAZATLAN CARRETERA TEPIC-MAZATLAN Y TRAMO LIM. DGO./SIN. - ENTR. VILLA UNION, CARRETERA DURANGO - MAZATLAN, EN EL ESTADO DE SINALOA.		
EMPRESA EJECUTORA:			
CONTRATO:	2-Y-CB-A-521-W-02	**PERIODO:**	1 DE MARZO DE 2011 AL 30 DE NOVIEMBRE DE 2012
CARRETERA:	TEPIC-MAZATLAN Y DURANGO-MAZATLAN	**TRAMO:**	LIM.EDOS. NAY/SIN-MAZATLAN, LIM.DGO./SIN.-ENTR.VILLA UNION.
SUB TRAMO:	VARIOS	**PROGRAMA:**	CONSERVACION PERIODICA

1.- ANTES
DESCRIPCION:

VISTA PREVIA A LOS TRABAJOS DE CORTE Y COLOCACION DE JUNTA DEL PUENTE HIGUERA UBICADO EN EL KM. 234+615 LADO DERECHO



2.- DURANTE
DESCRIPCION:

VISTA DEL PERSONAL REALIZANDO EL CORTE DE CARPETA EXISTENTE PARA REALIZAR POSTERIORMENTE EL CAMBIO DE JUNTA, SE OBSERVA HERRAMIENTA MENOR.



3.- DESPUES
DESCRIPCION:

APARIENCIA FINAL DE LA JUNTA EN PUENTE





7. SUPERVISIÓN, CONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD

INTRODUCCIÓN

Supervisión es la actividad de apoyar y vigilar las actividades de tal manera que se realicen en forma satisfactoria. En la práctica, el Supervisor se encuentra con diversos problemas y situaciones imprevistas, pero debe tener la capacidad y el criterio suficientes para poder resolverlas. En la ejecución de un proyecto de construcción, que se pretenda desarrollar con la mayor satisfacción y beneficio, el propietario debe suscribir un contrato con una empresa constructora y un contrato de supervisión con una empresa de servicios. Al contratar ambos, el propietario logra una separación de funciones.

El constructor y la supervisión, aun cuando persiguen el mismo producto final, tienen obligaciones distintas. La responsabilidad del constructor es principalmente lograr un producto con calidad. Es responsabilidad primordial de la supervisión revisar que el producto cumpla con los requerimientos del proyecto.

Los proyectos bien planificados, diseñados y construidos con responsabilidad, técnicas y controles, se convierten en obras de servicio hacia la colectividad, ha satisfacción del propietario y orgullo de la comunidad; ya que por medio de los mecanismos de supervisión se garantiza que el constructor realice una obra que llene las expectativas de costo, calidad y tiempo; es necesario conocer a fondo todas las actividades en que está involucrada, cómo debe desarrollar sus labores, cómo se desenvuelve la relación propietario, supervisor y constructor y cuáles son los aspectos legales que regulan el funcionamiento del constructor y de la supervisión.

En esta sección se describen las principales responsabilidades que debe asumir el Supervisor en relación al desarrollo físico de la obra contratada, sus obligaciones con el propietario y con el constructor.

Las diferentes actividades descritas estarán respaldadas por el contrato respectivo, tanto del Supervisor como del Constructor. Debe considerarse sin embargo que la guía establece algunos criterios de supervisión y hace énfasis en el conocimiento completo de los métodos constructivos para que en ningún momento las actividades del Supervisor sean limitadas, ya que la Supervisión debe ser efectuada en forma amplia y completa.

El Profesional con experiencia, que conoce las Leyes, Reglamentos y Normas de la materia, que domina los aspectos legales contractuales, los trámites y controles administrativos de la construcción, así como los procedimientos constructivos y que además cuenta con una guía para ejercer su función, tiene garantizado el éxito de sus labores como Supervisor.

Definición de Supervisión

La palabra Supervisión es una palabra compuesta; viene del latín “visus”, que significa: examinar un instrumento poniéndole el visto bueno; y “super”, que significa: preeminencia o en otras palabras: privilegio, ventaja o preferencia por razón o mérito especial.

De acuerdo con lo anterior, Supervisión es dar el visto bueno después de examinar el trabajo realizado. En el desarrollo de un proyecto, la supervisión, además de la acción de constatar y certificar, también implica la observación permanente y el registro de actividades que se llevan a cabo diariamente y que están contenidas dentro de un programa. Esta información debe ser comunicada a través de informes, que posibilitan la toma de decisiones para asegurar el desarrollo del proyecto, así como la aceptación y el pago de los trabajos realizados.

La supervisión no sólo implica operaciones de control y registro, debe dar también asistencia técnica y participar en la solución de los problemas que se presenten durante el desarrollo del proyecto. El servicio comprende:

1. La inspección y control de cada subproceso.

2. El registro e informes del desarrollo de la obra.

3. La asistencia técnica.

4. La asesoría en la toma de decisiones para la solución de problemas.

La Supervisión debe ejercerse en forma profesional y nunca en forma personal; así mismo debe crear un ambiente de respeto, armonía y confianza entre las partes involucradas en el proyecto.

Se ha definido el significado y alcances de la palabra Supervisión. Es claro que esto se puede aplicar a cualquier actividad productiva, comercial o de otra naturaleza.

El Supervisor de una Obra de construcción debe señalar al constructor las medidas correctivas pertinentes en tiempo oportuno, para verificar que cada fase que comprenda una obra, esté correcta.

Se debe vincular el concepto anterior a los alcances generales y particulares, los cuales condicionan el hecho de supervisar e influyen en los criterios a seguir.

Alcances generales:

1. Magnitud de la obra.

2. Complejidad o especialidad del proyecto.

3. Ubicación y accesibilidad.

4. Requerimientos de Supervisión establecidos en el contrato respectivo.

Alcances particulares:

1. Documentos vinculados con la ejecución del proyecto.

2. Soporte técnico.

3. Personal técnico de supervisión destacado en la obra.

4. Apoyo logístico.

5. Programación de la obra.

6. Complejidad de los documentos resultantes de la supervisión.

El Perfil del Supervisor

Conforme a las condiciones actuales operativas de la industria de la construcción, el supervisor debe ser un profesionista en cualquiera de las carreras afines a la construcción, con la capacidad suficiente para vigilar el cumplimiento de los compromisos contractuales y controlar el desarrollo de los trabajos. Este perfil depende de la magnitud y complejidad de la obra a supervisar y de los alcances específicos requeridos.

En atención a estos requerimientos se deduce que el supervisor debe ser un profesionista con las siguientes características:

Experiencia. La suficiente para comprender e interpretar todos los procedimientos constructivos contenidos en las especificaciones y planos de proyecto a utilizarse;

Capacidad de Organización. La necesaria para ordenar todos los controles que deben llevarse para asegurar una obra a tiempo, de acuerdo a la calidad especificada y al costo previsto. Figura 7.1.

Seriedad. Para representar con responsabilidad al propietario en todo lo que respecta al desarrollo técnico de la obra.

Profesionalismo. Para cumplir con todas las obligaciones que adquiera al ocupar el cargo. Conviene señalar el compromiso de informar de manera oportuna y veraz al propietario sobre los avances e incidencias del desarrollo de los trabajos.

Honestidad. Ya que tiene que validar aspectos técnicos y el pago de los trabajos realizados.

Criterio técnico. Para discernir entre alternativas, cual es la más adecuada y apropiada sin perder de vista los intereses del propietario que lo contrata.

Ordenado. Para poder controlar toda la documentación que requiere la función encomendada. Existen algunas otras condiciones de menor importancia, pero se considera que el hecho de satisfacer las enunciadas es más que suficiente para que un supervisor cumpla con el perfil.



Figura 7.1. Capacidad de organización

Importancia de la Calidad

El principal objetivo del Control y Verificación de Calidad es asegurar que los materiales y elementos que se utilicen en una obra cumplan con los requisitos de calidad indicados en un proyecto. El cumplimiento de los requisitos del proyecto permite que la obra vial, desde el inicio y durante su operación, tenga el nivel de desempeño y la durabilidad previstas en el diseño, pero sobre todo permite cumplir con las expectativas de servicio de los usuarios, en cuanto a comodidad, seguridad y economía.

Además, el Control de Calidad permite optimizar el aprovechamiento de los recursos del Constructor, entre los que se cuenta el personal profesional, técnico y mano de obra; los materiales de construcción y su almacenamiento; los equipos e instalaciones de construcción y/o producción; los vehículos de transporte de materiales, así como los combustibles y lubricantes para la operación de la maquinaria y vehículos: todos ellos aplicados durante el desarrollo del proceso constructivo.

Un control de calidad eficiente permite que la producción de materiales y de construcción se realice conforme el programa establecido, reduciendo los retrasos y los tiempos perdidos, así como también los desperdicios de materiales.

Estos logros del proceso significan ahorros de dinero y de tiempo al Constructor, permitiéndole hacer propuestas económicas atractivas a sus clientes, traduciéndose en más y mejores contratos, así como formarse un prestigio y asegurar el crecimiento de su empresa y su permanencia en el mercado.

Sin embargo, la mayoría de las Empresas Constructoras no se interesan por aplicar un sistema de control de calidad eficiente, prefiriendo quedar a expensas de lo que dictamine el cliente o contratante sobre lo que sea aceptable de los trabajos efectuados y corregir o sustituir lo inaceptable.

Esta perspectiva conduce a que las Empresas nacionales obtengan cada vez menos contratos, menores ganancias y, a largo plazo, tiendan a desaparecer.

De acuerdo con la evolución de otros países con mayor desarrollo, sólo prevalecen Empresas que demuestren tener los medios tecnológicos, físicos y financieros para hacer las obras con calidad y economía.

Por lo tanto, el Control de Calidad es el único medio de que disponen las Empresas Constructoras nacionales para ejecutar obras viales con apego al proyecto y representa la oportunidad para que logren consolidarse, crecer y aumentar sus utilidades.

7.1 SUPERVISIÓN EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

Antecedentes

La supervisión de las obras de vías terrestres ha existido desde que se inició la construcción de carreteras y puentes en México. En un principio esta actividad se llevaba a cabo con los ingenieros de la extinta SCOP y con Sobrestantes habilitados por los mismos ingenieros; estas personas, con gran experiencia, sacaron adelante las obras viales con los medios con que se contaba en ese entonces.

Cuando se comenzó a innovar en la construcción y conservación de las carreteras y se inicia la contratación de la ejecución de las mismas, se implementaron varias estrategias por parte de la SCT, con el fin de capacitar a los ingenieros de las vías terrestres, es cuando se inician varios cursos y especialidades, destacando:

- La Especialidad en Vías Terrestres en la Cd. de México (UNAM), en Campeche, Camp., en Morelia, Mich. y en Toluca, Edo. de México.
- La Maestría en Vías Terrestres en Chihuahua, Chih.
- Los cursos de Auxiliares de Residentes de Obra en San Luís Potosí, SLP.
- Los Cursos de Laboratoristas Jefes de Grupo en Guadalajara, Jal.

Con esto se logró incrementar la plantilla de personal técnico capacitado para la supervisión de las obras en la SCT, pero continuó existiendo un déficit de personal para dar cobertura a las obras que cada vez se contrataban más.

Como apoyo a esta actividad, la DGCC instituyó la función de los Supervisores Regionales; éstos fueron ingenieros de amplia experiencia, que cubrían de 4 a 5 estados cada uno y basaban su labor en visitas aleatorias a las obras de sus estados, lo cual seguía siendo insuficiente pues la cobertura era muy limitada.

Fue en el año de 1995 que la DGCC implementó la contratación de la supervisión, de modo que se contara con presencia permanente en las obras y estuviera liderada por ingenieros retirados de SCT, Especialistas o Peritos en Vías Terrestres. Dependiendo de la magnitud de la obra, se diseñaban los términos de referencia, de modo que éstos fueran un traje a la medida para cada obra o grupo de obras.

Con esta implementación de la supervisión contratada, se resolvió gran parte de la problemática de presencia en las obras, pruebas de calidad a los trabajos ejecutados, información veraz y oportuna, volumetrías reales, entre otras cosas.

Definición

Se entiende que cualquier instrucción a la que no se da seguimiento y supervisión, puede no estar cumpliendo el fin perseguido; de ahí que la supervisión tiene por objetivo principal la prevención y el encauzamiento de acciones para lograr un fin determinado, mediante el seguimiento de actividades y el apego al proyecto.

La supervisión debe contemplar las siguientes funciones, cuando menos:

- Clarificar la actuación pública
- Transparentar la aplicación de los recursos
- Racionalizar el uso de los recursos
- Orientar las actividades

- Detectar desviaciones
- Reforzar mecanismos de actuación
- Establecer niveles de desempeño
- Evitar acciones de corrupción
- Legitimar la acción de supervisión

Para llevar a cabo las acciones de supervisión es indispensable la evaluación y por supuesto saber cuáles son los objetivos y metas; si no sabemos a dónde vamos, nunca sabremos en dónde estamos.

De la supervisión debemos esperar:

- Información veraz
- Información oportuna
- Calidad profesional
- Capacidad técnica
- Habilidad de asesoría

Cuando nos referimos a supervisión, nos referimos a la que la misma organización tiene como capacidad instalada, así como a la externa contratada para complementar las carencias de la propia.

La supervisión debe llevarse a cabo con los mejores recursos tecnológicos, tanto de informática como de comunicación; se considera importante la comunicación oportuna, para que la información de obra esté disponible en tiempo real para quien la ocupe.

La supervisión es, por tanto, un elemento de la mayor importancia para el seguimiento, control y evaluación de las acciones de una instrucción. Lo que debe tenerse con mucho cuidado y detalle es la definición del tipo de supervisión que se requiere, cuáles son los alcances que se necesitan cubrir y cuáles los resultados esperados. Se puede tener una supervisión de amplia cobertura o de acciones limitadas; si una obra es muy importante es necesario definir una plantilla de técnicos necesaria para esa obra, así como los alcances de su función.

Marco legal

De acuerdo con la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM) la Supervisión es un servicio, de entre muchos que se relacionan con la obra pública, según se cita a continuación.

Artículo 4. Para los efectos de esta Ley, se consideran como Servicios Relacionados con las Obras Públicas, los trabajos que tengan por objeto concebir, diseñar y calcular los elementos que integran un proyecto de obra pública; las investigaciones, estudios, asesorías y consultorías que se vinculen con las acciones que regula esta Ley; la dirección o supervisión de la ejecución de las obras y los estudios que tengan por objeto rehabilitar, corregir o incrementar la eficiencia de las instalaciones.

¿Quiénes Supervisan?

Es común encontrar en el desarrollo de una obra de Infraestructura carretera de la SCT a un sin número de personas que intervienen en la ejecución, supervisión y administración de estas obras; sin embargo, se debe

diferenciar y distinguir a los actores involucrados en la Supervisión: el Residente de Obra, el Superintendente de Construcción y el Supervisor contratado.

El Residente de Obra (RO)

Las dependencias o entidades establecen la Residencia de Obra con anticipación al inicio de la misma, designando a un servidor público, quien funge como su representante ante la contratista y es el responsable directo de la supervisión, vigilancia, control y revisión de los trabajos, incluyendo la aprobación de las estimaciones presentadas por la contratista. Las funciones de la Residencia de Obra se pueden consultar en el Artículo 113 del Reglamento de la LOPSRM.

El Superintendente de Construcción

Es el representante permanente de la contratista y debe conocer con amplitud los proyectos, normas de calidad, especificaciones de construcción, catálogo de conceptos, programa de ejecución, además de contar con las facultades suficientes para la toma de decisiones en todo lo relativo al cumplimiento del contrato y para firmar la bitácora, las solicitudes y las estimaciones. Las funciones del Superintendente de Construcción pueden consultarse en el Artículo 117 del Reglamento de la LOPSRM.

La Supervisión Contratada

La Supervisión contratada es el auxilio técnico de la Residencia de Obra, con las funciones que para tal efecto se señalan en el Artículo 115 del Reglamento de la LOPSRM. Sus alcances se precisan en los Términos de Referencia que forman parte del contrato de Supervisión, como lo indica el Artículo 251 del Reglamento de la LOPSRM

Modalidades de Supervisión en la SCT

Desde mediados de la década de los 90´s y con el adelgazamiento de la plantilla de personal (debido al Programa de retiro voluntario implementado por el Gobierno Federal) en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), la Dependencia encargada de la Conservación de carreteras federales libres de peaje se enfrentó con la problemática de no contar con personal técnico suficiente y capacitado para llevar a cabo la Supervisión de las obras de los diferentes subprogramas del Programa Nacional de Conservación de Carreteras (PNCC).

Con esta problemática y la innegable necesidad de supervisar las obras, se implementó un Subprograma de contratación de la supervisión, para lo cual se gestionaron recursos dentro de su presupuesto anual.

Se dividió la supervisión en distintas modalidades, dependiendo de la magnitud y complejidad de las obras, de la siguiente manera:

Supervisión, Seguimiento y Verificación (SSV)

Se realiza en cada entidad del país. Cubre toda la red y revisa, además de las obras en proceso, el estado de operación de la red.

Dirección de Ejecución de Obra (DEO)

Se lleva a cabo en obras específicas donde la Residencia de Obra no cuenta con suficiente personal y equipo.

Supervisión Ejecutiva (SE)

Se ejecuta en obras específicas de gran envergadura, monto alto y procedimiento constructivo complejo.

Supervisión de Programas Especiales

Se realiza en un grupo de tramos carreteros de una región del País, bajo ciertos criterios específicos. Por ejemplo los Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC).

A partir de 2003 se fue incrementando la presencia de la supervisión en las 1500 obras que en promedio constituyen el PNCC, con esto se da cobertura y se tiene mayor certeza de la calidad y ejecución de las obras. Figura 7.1.1.

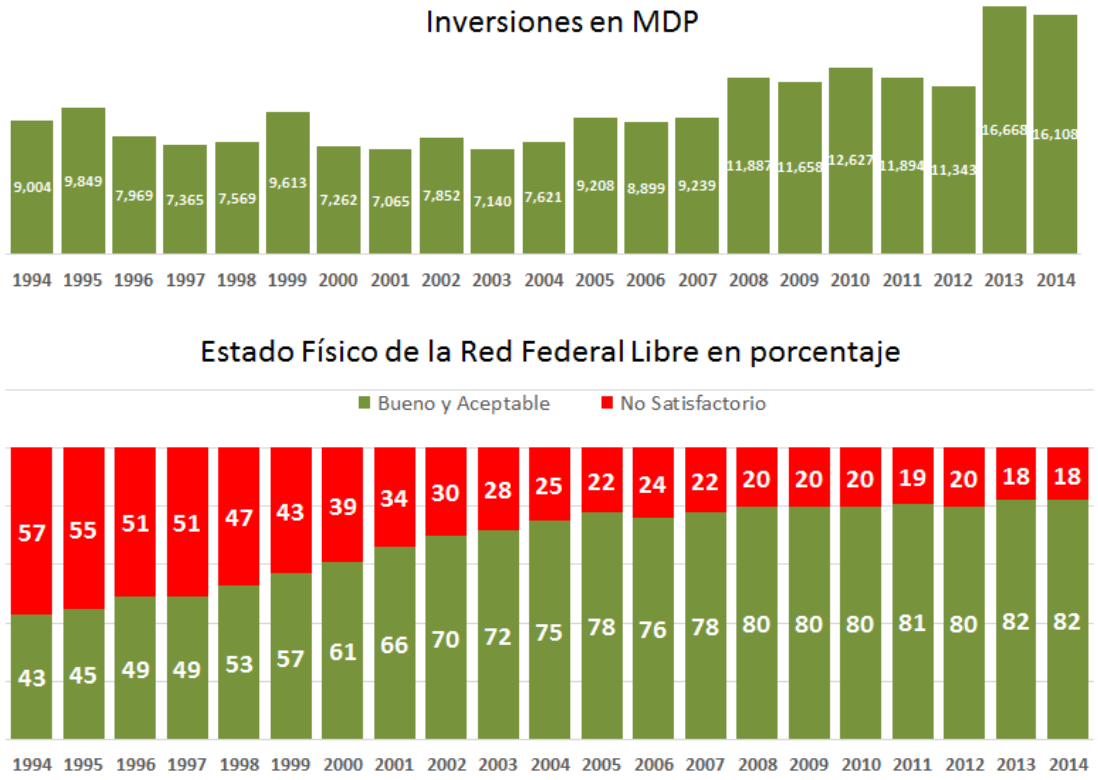


Figura 7.1.1. Evolución de la supervisión contratada

Actores de la Supervisión

Para que haya una buena coordinación de las actividades de la supervisión contratada, es necesario indicar los actores participantes, mencionados en orden de atención con relación a la obra:

Servidores Públicos del Centro SCT

- Residentes de Obra (RO)
- Residente General de Conservación de Carreteras(RGCC)
- Jefe de la Oficina Técnica (OT)
- Subdirector de Obras (SO)

Servidores Públicos de la DGCC

- Jefe del Departamento de Supervisión de Obra (DSO)

- Subdirector de Supervisión (SS)
- Director de Supervisión y Control (DSC)

Actores Externos

- Empresas supervisoras
- Empresas contratistas

Desarrollo de los Trabajos de Supervisión

Canales de Comunicación

Cuando sea necesario o esté establecido, informar, entregar, enviar, enterar o recomendar por escrito. Siempre se dirigirá en primer término al RO y a continuación con el RGCC, DSO, SS y SO, salvo casos especiales de falta de medios para así hacerlo y que por la importancia del caso sea inevitable cambiar ese orden.

En todo momento, mantendrá comunicación con la DGCC a través de la Subdirección de Supervisión (SS) y del Departamento de Supervisión de Obra (DSO), respecto de toda información que sea relevante: como cierre de tramos carreteros, daños a la red, suspensión de los trabajos de la obra sin causa aparente, trabajos mal ejecutados, desatendidos o mal señalados que pongan en riesgo al usuario del camino, obras con atraso mayor al 20%, problemáticas con el flujo de información por parte de la RO o RGCC, situaciones de emergencia causadas por fenómenos hidrometeorológicos y geológicos, notas informativas de la obra, reportes fotográficos, inventario de daños, etcétera.

En campo, cualquier información que genere con motivo de sus servicios, la reportará de forma inmediata invariablemente en primera instancia a los RO, y posteriormente al RGCC, SS, SO y DSO, esto incluye las irregularidades y la información relevante que se presenten en la ejecución de los trabajos, a fin de que se dé la solución oportuna. En cuanto la situación se lo permita, lo confirmará por escrito y dará seguimiento a través de las minutas quincenales hasta su solventación.

Documentación, Informes y Demás Escritos

Toda la información se entregará en forma impresa y digital, dirigida al RO con copia solo del acuse de entrega para la SS, SO, RGCC y DSO. No se debe perder de vista que el RO es el único servidor público que recibirá la totalidad de la información establecida en estos TR y demás documentos donde se especificó generar algún reporte, por ser éste, el responsable directo ante la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM) y su Reglamento, de la correcta ejecución de los trabajos.

Entrega de la Información Generada Durante el Desarrollo de los Servicios

Durante el desarrollo de los servicios la SSV deberá entregar la información que se detalla en estos TR, en el entendido de que el no entregarla en el orden y con la frecuencia que establezca la Dependencia, será considerado como incumplimiento y se documentará como tal.

En el caso de las obras terminadas, informará y dará seguimiento de su comportamiento, reportando al RO cualquier defecto que se presente con la posible causa que lo origina; esto aplica para todos los subprogramas.

Nota: La información generada para la SS y DSO deberá enviarse invariablemente vía electrónica por ser éste un medio más expedito para la entrega oportuna. Es obligación de la SSV corroborar la recepción y recabar la evidencia correspondiente, como comprobante en la revisión del informe mensual.

Obligación de la Supervisora (enunciativa pero no limitativa)

- Mantener comunicación permanente con el RO, RGCC, DSO y SS.
- Tener siempre una actitud de carácter preventivo, más que correctivo.
- Conocer la red de jurisdicción federal libre de peaje en el estado.
- Dar cobertura a toda la red de jurisdicción federal libre de peaje, incluidos los puentes.
- Registrar los avances y aspectos relevantes durante la ejecución de los trabajos, con la periodicidad que se establezca en el contrato, así como en la bitácora de obra y mantenerla actualizada (Artículo115 del Reglamento de la LOPSRM, fracción VII).
- Abrir la bitácora de servicios entre la SSV y el DSO (área contratante) y mantenerla actualizada.
- Con su personal, mantener presencia permanente durante todo el plazo de su contrato, mediante los recorridos a los tramos, los cuales deben ser diarios y de común acuerdo con los RO y RGCC, previa conciliación del programa de obras a supervisar. Durante días festivos y fines de semana, prever un supervisor de guardia para atender cualquier requerimiento de información de la DGCC, RGCC o RO.
- En su caso, deberá mantener permanentemente durante la ejecución de la obra al supervisor designado para ello.
- Después de cada recorrido diario, generar detalladamente y entregar invariablemente el "Reporte de recorrido", mediante el cual enterará a los RO correspondientes de las observaciones encontradas en su tramo y en sus obras.
- Evitar en todo momento, dar información a cualquiera de los servidores públicos (RO, RGCC, DSO y SS), sin contar con la evidencia del caso.
- Buscar por todos los medios (reportes, notas de bitácora, minutas quincenales de seguimiento, reuniones, etcétera) coadyuvar para la solventación de las posibles irregularidades, en conjunto con los RO, en caso contrario, tratar el asunto con los demás servidores públicos, en el siguiente orden: RGCC, SO, DSO y SS.
- Antes de reportar avances físicos o financieros, conciliar éstos con los RO, para evitar información no veraz ante otras instancias.
- Entregar sus informes, reportes u otros establecidos, en los tiempos indicados en estos TR.
- En caso de presentarse alguna irregularidad relevante generar el reporte correspondiente y enviarlo por cualquier medio a los RO, RGCC, DSO y SS.
- Dar seguimiento a las irregularidades hasta su solventación, utilizando los medios preestablecidos (reporte y minutas quincenales), informando en todo momento a la SS y DSO.
- Revisar las estimaciones de trabajos ejecutados por los contratistas para efectos de que la RO las autorice. Para esta actividad deberá apoyarse con los resultados de los levantamientos realizados en campo como es la topografía, resultados de laboratorio y mediciones; lo anterior deberán coordinarlo con el RO. Deberá entregar junto con la estimación un reporte de la revisión efectuada, en donde se detallen las observaciones técnicas-administrativas resultado de la misma.
- Vigilar que los planos se mantengan debidamente actualizados y autorizados, por conducto de las personas que tengan asignada dicha tarea.
- Generar información del programa de obras a cargo de la RGCC, incluyendo la situación de operación de la red federal libre de peaje (tramos y puentes).

Obligación de la RO (enunciativa pero no limitativa)

- Recibir los reportes, informes, escritos y recomendaciones que la SSV le entregue, implementando las acciones correspondientes para solventar, corregir, mejorar o concluir las obras o tramos reportados.
- Atender las observaciones que la SSV realice relativas a irregularidades, notas informativas, reporte de daños, etcétera.
- Girar instrucciones a la Ejecutora para que atienda las observaciones de la SSV.
- Conciliar el programa de obras a supervisar con la SSV, priorizando las obras que junto con el RGCC consideren de mayor impacto en su programa.
- Conciliar los avances físicos o financieros con la SSV, para evitar información no veraz ante otras instancias.
- Reunirse quincenalmente con la SSV, para dar seguimiento a las irregularidades relevantes reportadas.

- Exigir y revisar los Reportes de Verificación de Calidad proporcionados por la SSV y aprovecharlos en la toma de decisiones.
- Promover reuniones entre la SSV y las empresas ejecutoras, para que se genere un ambiente de trabajo en equipo.
- Retroalimentar a la SSV con información actualizada y veraz de las obras a su cargo, especialmente en lo que se refiere a las estimaciones de las ejecutoras de los trabajos.

Obligación de la RGCC (enunciativa pero no limitativa)

- Verificar las instalaciones, personal, equipo y vehículos de la SSV, comparar contra los requerimientos establecidos en las BL y TR, emitir opinión respecto del cumplimiento y levantar minuta, asentando el hecho. Enviar el documento a la DSYC y SS.
- Coordinar a los equipos de trabajo (RO, SSV y Contratistas) para que durante el desarrollo de los servicios haya comunicación y retroalimentación de la información de las obras, antes y después de iniciarse éstas.
- Presentar a la SSV con los RO y Contratistas, instruyéndolos para que se forme un equipo de trabajo en pro de la calidad de la obra.
- Promover reuniones entre los RO, SSV y Contratistas para discutir las diferentes problemáticas y dar solución en tiempo y forma.
- Atender las observaciones que la SSV realice relativas a irregularidades, notas informativas, reporte de daños. etcétera, debiendo discutirlas en las reuniones quincenales, haciendo intervenir en la minuta que se elabore a todos los involucrados.
- Conciliar con la SSV y el RO el programa de obras a supervisar, el formato de obras con atraso mayor al 20% y en general toda la información que tenga que ver con las obras y su seguimiento.
- Coordinar la elaboración y actualización con la SSV, del Inventario de Invasiones al Derecho de Vía.
- Y en general, coordinar todas las actividades que realiza la SSV, la información que envía a la DGCC, los eventos que se realizan en conjunto con el RO, en pro de solventar las posibles observaciones para el buen término de las obras de su programa.

Documentos que Proporcionará la RGCC a la Supervisora al Inicio de los Trabajos

Para el buen desempeño de los servicios de la SSV, es necesario la activa participación de DGCC, CSCT, SS, SO, RGCC, DSO, RO Y SSV; por tal razón, es primordial que todos estén retroalimentados con la información de la contratación y ejecución de las obras: Bases de Licitación, Términos de Referencia, Trabajos por ejecutar, programas, catálogos de conceptos, proyectos, entre otros. A continuación listamos algunos documentos que son importantes para que se lleve un adecuado seguimiento de las obras, a manera enunciativa paro no limitativa:

1. Relación de obras incluyendo las metas físicas.
2. Proyecto Ejecutivo.
3. Especificaciones particulares en su caso.
4. Programa Autorizado de Ejecución de los trabajos (E-6).
5. Catálogo de Conceptos (E-7).
6. Datos del laboratorio de Control de Calidad de la empresa ejecutora.
7. Copia del oficio donde la RGCC solicita a la empresa ejecutora dar facilidades a la empresa supervisora para verificar al personal de construcción y de laboratorio, así como el equipo y maquinaria de la ejecutora.
8. Relación de bancos de materiales y su ubicación.

Seguimiento de Irregularidades y de las Obras en General

El proceso del seguimiento, se inicia 4 días antes de cada mes con el "Programa de obras a supervisar", mismo que debe ser revisado por el RO correspondiente o el RGCC, según lo acuerden con la SSV. Con dicho programa se pretende privilegiar la importancia o relevancia de las obras y por tanto se le dedique más tiempo de la SSV. Enseguida, derivado de las actividades propias de la SSV, se realizarán "Reportes de irregularidades" durante el desarrollo de los trabajos (situación normal), y éstos conjuntamente con el RO deberán asentarlo en la bitácora de la obra y simultáneamente se enviará reporte de irregularidad a la SS, OSO, SO, y RGCC.

Cuando las irregularidades puedan ser atendidas en un plazo no mayor a 48 horas, será suficiente con un reporte de recorrido y de no cumplirlo, procederá el reporte de irregularidad.

Quincenalmente se reunirán la SSV y los RO, o si la RGCC lo considera pertinente, lo harán con él en su oficina, para dar seguimiento a las irregularidades suscitadas en el periodo quincenal, plantear soluciones adoptadas y acuerdos, de tal suerte que se levante "Minuta de seguimiento de irregularidades", donde quede plasmada la situación que guardan hasta ese momento las irregularidades o situaciones relevantes que afecten el desarrollo de las obras (no corregidas, en proceso o corregidas) y el compromiso de todas las partes. Cabe aclarar que en esta minuta también es factible que se asienten los incumplimientos o carencias de la SSV, de modo que al mandar copia a la DSYC *y* SS, ésta pueda aplicar correctivos en tiempo a la SSV, en pro de mejorar el servicio. Al final del mes, en la segunda reunión, se afinarán las soluciones adoptadas y se solventarán todas las irregularidades que se hayan presentado, para arrancar el siguiente mes sin asuntos pendientes. Diariamente deberán actualizar un cuadro resumen de las irregularidades que se vayan generando con su status y sobre todo enterar en tiempo al RO correspondiente, de las que no se solventen a fin de prever las acciones que resuelvan el problema.

Formatos de Informes

Éstos, aunque se incluirán por parte de la DGCC con carácter de obligatorios, podrán ser modificados por la RGCC y/o RO, previa consulta y autorización por parte de la DSYC, para evitar desorden en los mismos, pero definitivamente responderán a las necesidades en campo; es decir, que a solicitud de la RO y por necesidades propias de la obra se podrán modificar.

Actividades Principales de la Supervisión

En los contratos de supervisión que la SCT tiene implementados a nivel nacional en sus obras, se resume a manera enunciativa pero no limitativa, algunas de las actividades que realiza una empresa de supervisión contratada.

Seguimiento de Irregularidades y de las Obras en General

La empresa adjudicataria responsable de la supervisión, previamente al inicio de los trabajos; debe recabar toda la información que le proporcionen la RO y RGCC con relación a la obra por supervisar; con el objeto de enterarse a detalle de la obra y las características de la misma, que le permita iniciar los trabajos de supervisión, seguimiento y verificación de calidad de la obra según lo programado y poder ejecutar los servicios de manera ininterrumpida hasta su conclusión.

Para este concepto se elabora un informe Ejecutivo Quincenal (Figura 7.1.2), el cual consiste en un resumen general de la obra supervisada, donde se informan los avances físicos financieros de la obra, asimismo, mediante este concepto se da seguimiento a las irregularidades, los informes de irregularidades (Figura 7.1.3) y las Minutas Quincenales de Seguimiento de irregularidades (Figura 7.1.4); donde se entiende como irregularidades las que se presentan por un mal procedimiento constructivo.

Las limitaciones que imponga la ejecutora a la supervisión (SSV, DEO, SE Y CPCC) durante la ejecución de sus labores, alteración o cambio del orden establecido del procedimiento constructivo, la aplicación y la explotación inadecuada y de los materiales que se emplean en las obras, la explotación inadecuada de los materiales en los bancos, contaminación de los materiales, cualquier incumplimiento de la Normativa, equipos inadecuados para la ejecución de la obra, no dar seguimiento a cada una de las etapas en forma ordenada como se indica en el proyecto.

Problemas en general que presente un trabajo terminado, asimismo, los desperfectos o daños que se detecten en el tramo y que por sí solos representen riesgo de accidente al usuario del camino y que no sea atendido con prontitud por la empresa contratada para la reconstrucción de puentes.

Quincenalmente se reunirán la supervisión y los RO, para dar seguimiento a las irregularidades suscitadas en el periodo quincenal, plantear soluciones adoptadas y acuerdos, levantando "Minuta de seguimiento de irregularidades".

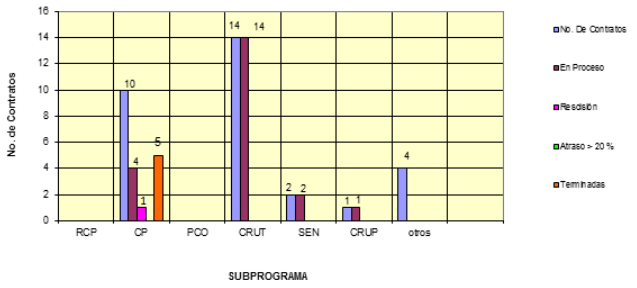
BAJA CALIFORNIA SUR
MES DE MAYO

FICHA EJECUTIVA
DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

CUADRO RESUMEN DE OBRAS

CONTRATOS	No. DE OBRAS
CANCELADAS	0
EN LICITACIÓN	0
SIN INICIAR	4
EN RESCISIÓN	1
EN PROCESO	21
TERMINADOS	5
TOTAL	**31**

RESUMEN



	Programado	Ejecutado	Atraso
	%	%	%
Reconstrucción de Puentes	0.00	0.00	0.00
Conservación Periódica	97.08	97.33	0.00
Puntos de Conflicto	0.00	0.00	0.00
Conservación Rutinaria de Tramos	41.82	43.18	0.00
Señalamiento	46.56	48.62	0.00
Conservación Rutinaria de Puentes	40.58	41.00	0.00
Total	**56.51**	**57.53**	**0.00**

Irregularidades	Total	Solventada	Por Solventar
En el Mes	2	2	0
Acumuladas	9	7	2

Informacion sobresaliente:

1.-Las obras 0-C-CB-A-501-W-0-0, 0-C-CB-A-504-W-0-0, 0-C-CB-A-506-W-0-0, 0-C-CB-A-508-W-0-0 y 0-C-CB-A-512-W-0-0 correspondientes al Subprograma de Conservación Periódica han finalizado los trabajos al 100%.

2.- La obra 0-C-CB-A-505-W-0-0 correspondiente al Subprograma de Conservación Periodica presenta atraso mayor al 20%, debido a que se encuentra en proceso de rescision.

3. - Existen dos obra sin iniciar correspondiente al Subprograma Estudios y Proyectos de Tramo y 2 obras sin iniciar correspondiente al Subprograma Estudios y Proyectos de Puentes, no cuentan aun con numero de contrato, (se ven reflejados en otros).

Figura 7.1.2. Ejemplo de ficha ejecutiva

INFORME DE IRREGULARIDADES

FECHA: **14 DE JUNIO DE 2012**
CLAVE DEL ESCRITO **03**

ING.
RESIDENTE DE C
MAZATLAN, EN EL ESTADO DE SINALOA.
P R E S E N T E

Me refiero a los trabajos de:

"Supervisión, Seguimiento y Verificación de Calidad de las Obras de Conservación de Carreteras en el Estado de Sinaloa"

Empresa Supervisora:

Contrato: 2-Y-CB-A-041-Y-0-2 **Periodo:** 01 AL 30 DE JUNIO DE 2012

Relacionados a la obra:
CONSERVACION PERIODICA EN CORREDOR MEDIANTE FRESADO Y CARPETA, KM. 198+500 AL KM. 205+500, TRAMO LIM. DGO./SIN. / ENT. VILLA UNION, CARRETERA DURANGO - MAZATLAN, CON UNA META DE 7.0 KMS., EN EL ESTADO DE SINALOA.

CARRETERA: DURANGO - MAZATLAN
TRAMO: LIM. DGO./SIN. / ENT. VILLA UNION **SUBTRAMO:** KM. 198+500 AL KM. 205+500
EJECUTORA:
SUBPROGRAMA: CONSERVACION PERIODICA **CONTRATO:** 2-Y-CB-A-51
FECHA EN QUE SE DETECTO LA IRREGULARIDAD: 09 DE JUNIO DE 2012

De la cual me permito informarle de la siguiente irregularidad observada durante el recorrido efectuado por esta Supervisora:

DESCRIPCION DE LA IRREGULARIDAD OBERVADA:

SE INFORMA AL RESIDENTE DE OBRA QUE ESTA SUPERVISION OBSERVO QUE LA CARPETA PRESENTA BACHE EN EL **KM. 199+275 CARRIL DERECHO,** POR LO QUE SE INSTRUYO AL RESIDENTE DE OBRA GIRE SUS INSTRUCCIONES A LA EJECUTORA PARA QUE SE REALICEN LOS TRABAJOS DE CORRECCION DE MANERA INMEDIATA PARA EVITAR MAYORES AFECTACIONES

REFERENCIA: NOTA DE BITACORA No. **83** DE FECHA: **14 DE MAYO DE 2012**

SOPORTE DE LA LA IRREGULARIDAD:

SE ANEXA (COPIA DE LA NOTA DE BITACORA, EVIDENCIA DE LA FECHA EN QUE SE RECIBIO LA DOCUMENTACION, COPIA DEL DOCUMENTO, REPORTE FOTOGRAFICO, ETC.)

FORMATO SSV-09
HOJA 1 DE 3

RECOMENDACIÓN DE LA SUPERVISORA PARA CORREGIR LA IRREGULARIDAD:

ESTA SUPERVISION HACE LA RECOMENDACIÓN DE REALIZAR LAS CORRECCIONES NECESARIAS EN EL TRAMO ANTES MENCIONADO CON LA FINALIDAD DE MANTENER LA CALIDAD DEL PROYECTO.

ATENTAMENTE **ING.** **JEFE DE SUPERVISION**	**FIRMA Y SELLO DE RECIBIDO** **RESIDENCIA DE OBRA**

FIRMA Y SELLO DE RECIBIDO **SUBDIRECCION DE OBRAS**	**FIRMA Y SELLO DE RECIBIDO** **RESIDENCIA GENERAL**

HOJA 2 DE 3

SOPORTE DE LA IRREGULARIDAD (FOTOGRAFIAS):



HOJA 3 DE 3

Figura 7.1.3. Ejemplo de informes de irregularidades

Minutas Quincenales de Seguimiento de Irregularidades

Mediante este concepto se dará seguimiento a las irregularidades detectadas quincenalmente y estará integrada por: los informes de irregularidades (*Formato 9*) y las Minutas Quincenales de Seguimiento de Irregularidades (*Formato 10*); donde se entenderá como Irregularidades: las que se presenten por un mal procedimiento constructivo, las limitaciones que imponga la ejecutora a la SSV durante la ejecución de sus labores, alteración o cambio del orden establecido del procedimiento constructivo, la aplicación inadecuada de los materiales que se emplean en las obras, la explotación inadecuada de los materiales en los bancos, contaminación de los materiales, cualquier incumplimiento de la Normativa, equipos inadecuados para la ejecución de la obra, no dar seguimiento a cada una de las etapas en forma ordenada como se indica en el proyecto y problemas en general que presente un trabajo terminado; asimismo, los desperfectos o daños que se detecten en los tramos carreteros y que por sí solos representen riesgo de accidente al usuario del camino y que no sean atendidos con prontitud por las empresas contratadas para la conservación rutinaria de tramos o puentes.

Las irregularidades, cuando se detecten, deberán enviarse por escrito, mediante el formato ya mencionado para hacer de su conocimiento al RO, quien posteriormente dará seguimiento y coadyuvará para que sea solventada y/o corregida, la irregularidad, según se estipula en el Reglamento de la LOPSRM.

Quincenalmente deberán realizarse reuniones o juntas de trabajo entre la RO y la SSV, en el lugar que previamente acuerden con la misma o con la RGCC al inicio de los servicios, en éstas se discutirán las acciones a realizar para solventar las irregularidades reportadas.

De estas reuniones se elaborará una minuta resumiendo las irregularidades y la situación en la que se encuentren {corregidas, no corregidas o en proceso) asentando las acciones tomadas, los comentarios u observaciones de los participantes en la minuta, la cual será firmada por las partes. Figura 7.1.4.

MINUTA QUINCENAL DE SEGUIMIENTO DE IRREGULARIDADES

MAZATLAN, SINALOA; A 15 DE JUNIO DE 2012.

Me refiero a los trabajos de:

"Supervisión, Seguimiento y Verificación de Calidad de las Obras de Conservación de Carreteras en el Estado de Sinaloa"

De la empresa Supervisora:

Contrato No.:	2-Y-CB-A-0	Periodo:	01 AL 30 DE JUNIO DE 2012

INTERVIENEN:

POR EL CENTRO SCT	POR LA EMPRESA SUPERVISORA
RESIDENTE DE CARRETERAS	JEFE DE SUPERVISION
RESIDENTE DE CARRETERAS	

DESCRIPCION DE LAS IRREGULARIDADES POR CONTRATO

CARRETERA:	DURANGO - MAZATLAN EN EL ESTADO DE SINALOA		
TRAMO:	LIM. DGO./SIN. / ENT. VILLA UNION	SUBTRAMO:	KM. 198+500 AL KM. 205+500
EJECUTORA:			
SUBPROGRAMA:	CONSERVACION PERIODICA	CONTRATO:	2-Y-CB-A-
FECHA EN QUE SE DETECTO LA IRREGULARIDAD:	09 DE JUNIO DE 2012		
REFERENCIA DE LA IRREGULARIDAD:	NOTA DE BITACORA FECHA 14 DE JUNIO DE 2012		

ESTADO DE LA IRREGULARIDAD REPORTADA

	CORREGIDA		NO CORREGIDA		EN PROCESO

COMENTARIOS	ACUERDOS
JS (JEFE DE SUPERVISION)	CON RESPECTO AL DESPRENDIEMIENTO DE MATERIAL (BACHE), SE INFORMA AL RESIDENTE DE OBRA INSTRUYA AL CONTRATISTA REALICE LOS TRABAJOS DE CORRECCION LO ANTES POSIBLE PARA EVITAR MAYORES AFECTACIONES EN LA ZONA MENCIONADA
RG (RESIDENTE GENERAL)	

FORMATO SSV-10

RO (RESIDENTE DE OBRA)	INFORMA QUE YA GIRO LA INSTRUCCIÓN A LA CONTRTISTA PARA REALIZAR LOS TRABAJOS DE CORRECCION DEL DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL (BACHE) EN EL TRAMO MENCIONADO.

Figura 7.1.4. Ejemplo de minuta de irregularidades

Informe de Avance Físico Financiero Mediante Gráfica

Para este concepto, se presentarán los avances físicos y financieros mediante dos gráficas una del físico y una del financiero; estas gráficas deberán incluir los avances físicos en barras de la obra, indicando lo programado y lo ejecutado en el mes debiendo ser congruentes con todos los reportes generados, en el entendido de que si hay diferencias no será tomado en cuenta para pago. Debe indicarse el avance del mes con un color e incluir (sin excepción) alguna cada una de las obras asignadas a dar seguimiento hayan iniciado o no. Esta información deberá cotejarse con el RGCC y el RO, antes de ser entregada a la DGCC. Figura 7.1.5.

DIRECCION
DIRECCION DE SUPERVISION Y CONTROL
SUBDIRECCION DE SUPERVISION
DEPARTAMENTO DE SUPERVISION DE OBRA

SUPERVISION: "SUPERVISION, SEGUIMIENTO Y VERIFICACION DE CALIDAD DE LAS OBRAS DE CONSERVACION DE CARRETERAS EN EL ESTADO DE SINALOA".

EMPRESA SUPERVISORA: | CONTRATO: 2-Y-CB-A-0 | PERIODO: 02/MAY/2012 AL 30/NOV/2012

RESUMEN GENERAL

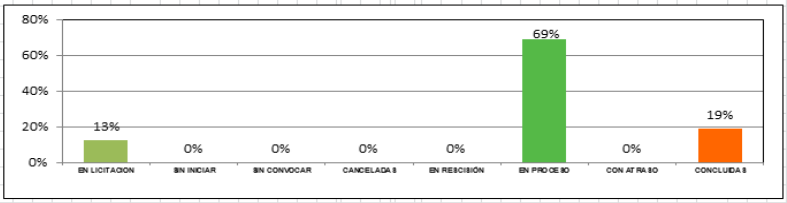
AVANCE FISICO POR SUBPROGRAMA	PROG.	REAL	ATRASO
RECONSTRUCCION DE TRAMOS (RCT)			
RECONSTRUCCION DE PUENTES (RCP)	100%	97%	3%
CONSERVACION PERIODICA (CP)	93%	92%	2%
CONSERVACION RUTINARIA DE TRAMOS (CRUT)	64%	84%	0%
CONSERVACION RUTINARIA DE PUENTES (CRUP)	54%	92%	0%
SEÑALAMIENTO (SEN)	10%	2%	8%
PROYECTOS ESPECIALES (PE)			
PUNTOS DE CONFLICTO (PC)			
PROMEDIO PONDERADO	80%	91%	0%

AVANCE FINANCIERO POR SUBPROGRAMA	PROG.	REAL	ATRASO
RECONSTRUCCION DE TRAMOS (RCT)			
RECONSTRUCCION DE PUENTES (RCP)	86%	86%	0%
CONSERVACION PERIODICA (CP)	91%	89%	2%
CONSERVACION RUTINARIA DE TRAMOS (CRUT)	55%	66%	0%
CONSERVACION RUTINARIA DE PUENTES (CRUP)	47%	80%	0%
SEÑALAMIENTO (SEN)	10%	21%	0%
PROYECTOS ESPECIALES (PE)			
PUNTOS DE CONFLICTO (PC)			
PROMEDIO PONDERADO	73%	77%	0%

ESTATUS DE LAS OBRAS

ESTATUS	No. DE OBRAS	% QUE REPRESENTA	OBSERVACIONES
EN LICITACION	2	13%	
SIN INICIAR	0	0%	
SIN CONVOCAR	0	0%	
CANCELADAS	0	0%	
EN RESCISIÓN	0	0%	
EN PROCESO	11	69%	
CON ATRASO	0	0%	
CONCLUIDAS	3	19%	
TOTAL DE OBRAS	16	100%	

GRAFICA DE ESTATUS POR OBRA



OBSERVACIONES:
SE TIENE UN TOTAL DE 12 OBRAS, DE LOS CUALES 9 ESTAN EN PROCESO Y CORRESPONDEN 1 AL SUBPROGRAMA RECONSTRUCCION DE PUENTES, 2 AL SUBPROGRAMA DE CONSERVACION PERIODICA,5 AL SUBPROGRAMA DE CONSERVACION RUTINARIA DE TRAMO, Y 1 AL SUBPROGRAMA DE CONSERVACION RUTINARIA DE PUENTES Y 3 FINALIZADAS QUE CORRESPONDEN AL SUBPROGRAMA DE CONSERVACION PERIODICA.

FORMATO SSV-01

Figura 7.1.5. Ejemplo de informe de avance físico financiero mediante gráfica

Revisión del Programa, Control de Avance y Grafica de Tendencias

La Supervisión apoyará al RO verificando el cumplimiento de los programas por parte de la Constructora comparando la producción real contra la programada, con la periodicidad que se ha pre establecido o la que amerite la problemática de avance de la obra.

Para este efecto se hará un levantamiento de las cantidades de obra ejecutadas en el período, que pueden considerarse terminadas, las que se medirán en las mismas unidades que las consignadas en el programa, así como de la obra que esté en proceso, ponderando su grado de avance.

Para la obra ejecutada se elabora un programa, el cual se expresa en términos de volumen e importe, utilizando los precios unitarios contratados o autorizados oficialmente. En caso de conceptos extraordinarios sin precio unitario autorizado, se utilizará un precio provisional.

Asimismo en este concepto se incluirá una gráfica de tendencias en la que de acuerdo con el avance reflejado a la fecha, se estime un rendimiento y se pueda determinar la fecha probable de terminación para la obra ejecutada.

Mensualmente la Supervisión entregará la gráfica de lluvias (Figura 7.1.7), ocurridas durante todo el mes en curso, en las cuales determina o plasma los días y horas en que se presentaron las lluvias, así como la intensidad de las mismas y por consecuencia indicar si se tuvieron interrupciones en los trabajos, que afecten el avance general de los trabajos de la obra; esto se entregará en el formato que se dará al inicio de los trabajos. Figura 7.1.6.

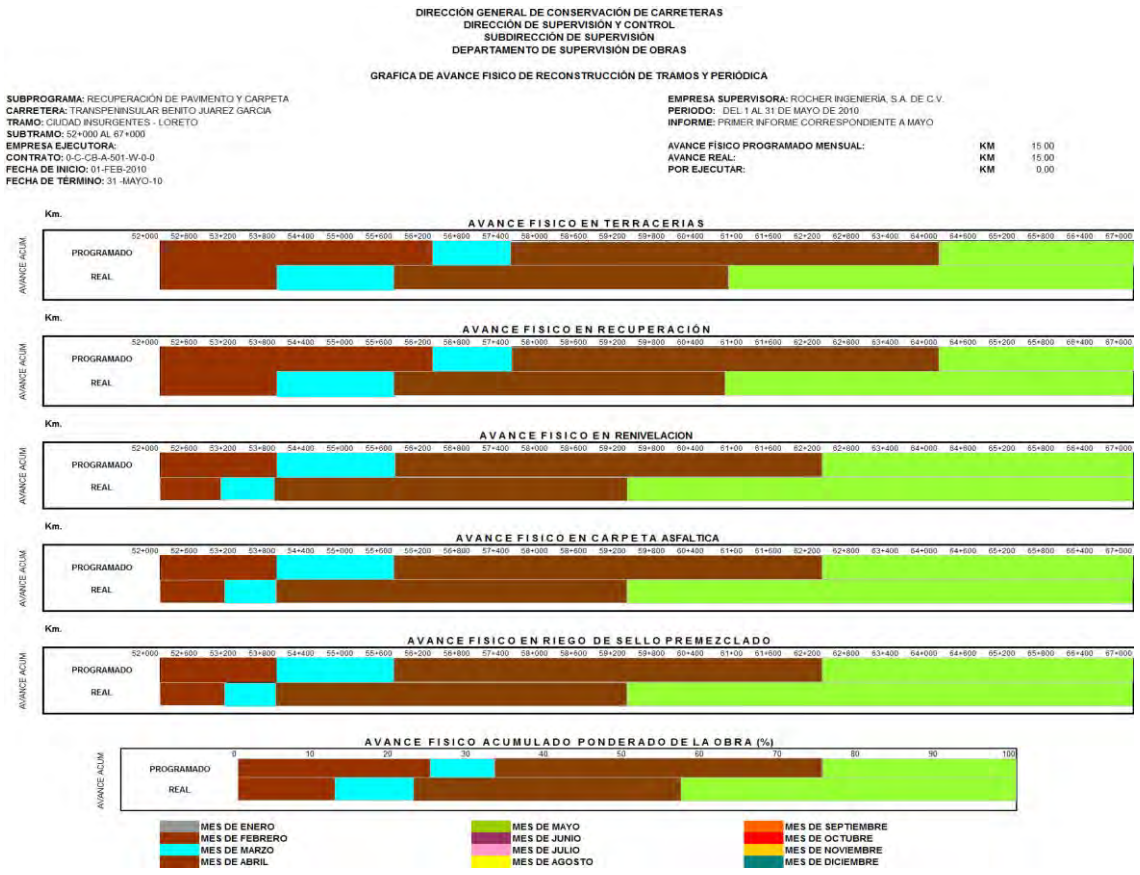


Figura 7.1.6. Ejemplo de control de avance y grafica de tendencias

DIRECCIÓN GENERAL DE

OBRA: CONTRATO PLURIANUAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS (CPCC), PARA LA REALIZACION DE LOS TRABAJOS DEL PAQUETE CARRETERO "SINALOA" EN EL ESTADO DE SINALOA, MEXICO

CONTRATISTA:

FECHA DE INFORME: 28 DE FEBRERO DE 2015

PERIODO DE EJECUCION: DEL 01 AL 28 DE FEBRERO DE 2015

CARRETERA: MAZATLAN - CULIACAN **TRAMO:** KM 0+000 AL KM 104+500 **ETAPA:** DESARROLLO Y CONSERVACION

GRAFICA DE LLUVIAS

HORARIO	FEBRERO DE 2015																												
	D 1	L 2	M 3	M 4	J 5	V 6	S 7	D 8	L 9	M 10	M 11	J 12	V 13	S 14	D 15	L 16	M 17	M 18	J 19	V 20	S 21	D 22	L 23	M 24	M 25	J 26	V 27	S 28	
0:00 A 01:00		LM	LM											L															
01:00 A 02:00		LM	LM											L															
02:00 A 03:00		LM	LM											L															
03:00 A 04:00		LM	L																										
04:00 A 05:00		LM	L																										
05:00 A 06:00		LM	L																										
06:00 A 07:00		LM	L																										
07:00 A 08:00		LM	L																										
08:00 A 09:00		LM																											
09:00 A 10:00		LM																											
10:00 A 11:00		LM																											
11:00 A 12:00		LM																											
12:00 A 13:00		LM																											
13:00 A 14:00		LM																											
14:00 A 15:00		LM																											
15:00 A 16:00		LM																											
16:00 A 17:00		LM																											
17:00 A 18:00		LM																											
18:00 A 19:00		LM																											
19:00 A 20:00		LM												L															
20:00 A 21:00		LM												L															
21:00 A22:00		LM												L															
22:00 A 23:00		LM											L	L															
23:00 A 24:00		LM											L	L															

SIMBOLOGIA: L LLUVIA LIGERA | LM LLUVIA MODERADA | LI LLUVIA INTENSA | DNL DIA NO LABORABLE | SIN LLUVIAS

Figura 7.1.7. Ejemplo de grafica de lluvia

Revisión y Concentrado de las Estimaciones

La Supervisión apoyará al RO en la revisión de cada una de las estimaciones de obra, verificando administrativamente que los datos y cantidades asentados en los formatos de estimación correspondan a los volúmenes de obra ejecutados y presentados en los números generadores, teniendo como sustento el levantamiento topográfico de las obras supervisadas por la SE (en caso de que sea necesarios), según corresponda. Lo anterior conforme a lo señalado en el Artículo 115, fracción X del Reglamento de la LOPSRM.

Asimismo, verificará administrativamente que las cantidades de obra sean correctas, que se hayan aplicado los precios unitarios pactados, que no existan errores numéricos, que se apliquen los descuentos y retenciones de Ley, y verificando que se cuente con todos los soportes necesarios para su trámite.

Junto con la estimación, deberá entregar al RO un reporte escrito de la revisión efectuada, en donde se detallen las observaciones técnicas-administrativas resultado de la misma.

La estimación revisada que presente deberán ser del mes anterior, en el entendido de que la empresa ejecutora la proporcionara durante los primeros 6 (seis) días de cada mes. Figura 7.1.8.

DIRECCION
DIRECCION DE SUPERVISION Y CONTROL
SUBDIRECCION DE SUPERVISION
DEPARTAMENTO DE SUPERVISION DE OBRA

SUPERVISION:			
EMPRESA SUPERVISORA:			
CONTRATO:		PERIODO QUE SE REPORTA:	

REVISION DE ESTIMACION

OBRA:			
EMPRESA EJECUTORA:			
CARRETERA:		TRAMO:	
SUB TRAMO:		CONTRATO:	

FORMATO	OBSERVACIONES
NUMEROS GENERADORES	
INFORMACION E - 39	
RELACION E - 14	
ESTADO FINANCIERO	
FACTURA	

OBSERVACIONES ADICIONALES:

INFO-ESTI-01

ING. XXXXXXXXXXXXX
JEFE DE SUPERVISION

Figura 7.1.8 Ejemplo de revisión y concentrado de las estimaciones

Seguimiento a la Ejecución de la Obra, Equipo y Personal (de Construcción y de Laboratorio) de la Ejecutora

La SE deberá verificar físicamente en campo de la empresa ejecutora, el equipo y personal de construcción y de laboratorio, así como los avances físicos e incidencias detectadas, durante la vigencia del contrato, lo que a continuación se señala:

- Relación de equipo de laboratorio para control de calidad y para verificación de la misma
- Relación de personal de laboratorio, identificando al jefe de laboratorio
- Relación de maquinaria y equipo utilizado en la construcción
- Relación de personal utilizado en la ejecución de los trabajos
- Minutas de trabajo
- Incidencias e irregularidades

En cada uno de los casos deberá indicar el tipo de trabajos o actividades que realizaron durante la semana o indicar si estos estuvieron inactivos. Figura 7.1.9, 7.1.10 y 7.1.11.

SECRETARIA DE C
CENTRO
RESIDENCIA GENERAL DE C

RELACIÓN DE PERSONAL, EQUIPO Y MAQUINARIA DE LAS EJECUTORAS

EJECUTORA: NOMBRE DEL ING. SUPERVISOR
CARRETERA: TRANSPENINSULAR LIC. BENITO JUÁREZ GARCÍA
TRAMO: TODA LA RED CARRETERA
SUBTRAMO: TODOS LOS TRAMOS

PERIODO: DEL 01 AL 31 DE MAYO DE 2010
REPORTE: TRES (3)
SUPERVISORA: NOMBRE DE LA EMPRESA
CONTRATO: 00-XX-938SD-5443-XX

CONTRATO No: 00-XX-938SD-5443-XX
PERIODO: 1 DE FEBRERO DE 2008 AL 31 DE DICIEMBRE DE 2010

PERSONAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
RESIDENTES	2	
SOBRESTANTES	2	
CABO	1	
OFICIALES	2	
AYUDANTES	10	

EQUIPO	CANTIDAD	TIPO	MARCA	ESTADO			OBSERVACIONES
				BUENO	REGULAR	MALO	
DESBROZADORA	1			X			
VOLTEOS	1			X			
CAMIONETA DE 3.5 T.	1			X			

Figura 7.1.9. Ejemplo de relación de personal, equipo y maquinaria

DIRECCIÓN GENERAL DE C

RELACION DE PERSONAL DE LABORATORIO DE LA EMPRESA EJECUTOR DE LAS OBRAS DE SUPERVISIÓN GLOBAL 2010 EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

LOGO EMPRESA

CARRETERA: TRANSPENINSULAR LIC. BENITO JUÁREZ GARCÍA
TRAMO: CD. INSURGENTES - LORETO
SUBTRAMO: DEL KM 52+000 AL 67+000
EMPRESA EJECUTORA: AAAAAAAAAAAAAAAAAAA, S.A. DE C.V.
N° DE CONTRATO: 0-000000000000000-0
LABORATORIO: ZZZZZZZZZ, S.A. DE C.V.

PERIODO: 1 AL 31 DE MAYO DE 2010
REPORTE N°: 03 (TRES)
EMPRESA SUPERVISORA: CCCCCCCCCCC, S.A. DE C.V.
N° DE CONTRATO: 0-000000000000000-0

CATEGORÍA	CANTIDAD	OBSERVACIONES
JEFE DE LABORATORIO	2	
RESPONSABLE TÉCNICO	2	
CONTADOR	2	
SECRETARIA RECEPCIONISTA	2	
JEFE DE GRUPO LABORATORISTA TÉCNICO ESPECIALIZADO	6	
LABORATORISTA TÉCNICO ESPECIALIZADO	3	
AYUDANTES DE LABORATORISTA CON CIERTA PREPARACIÓN	6	
AYUDANTES DE LABORATORIO	5	
DIRECTOR	1	
COORDINADOR TÉCNICO	1	
SECRETARIA	1	
PROYECTOS	1	
MECÁNICA DE SUELO	1	
INGENIERO CIVIL VÍAS TERRESTRES	1	
INGENIERO CIVIL HIDRÓLOGO	1	
LABORATORIO	1	
TOPOGRAFÍA	1	
AYUDANTES DE TOPOGRAFÍA	2	
TERRACERÍAS	1	
CONCRETOS	1	
EXPLORACIONES	1	
AYUDANTES DE EXPLORACIONES	3	

Figura 7.1.10. Ejemplo relación de personal de Laboratorio

DIRECCIÓN GENERAL DE C

RELACIÓN DE EQUIPO DE LABORATORIO DE LA EMPRESA EJECUTOR DE LAS OBRAS DE SUPERVISIÓN GLOBAL 2010 EN EL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA SUR.

CARRETERA: TRANSPENINSULAR LIC. BENITO JUÁREZ GARCÍA
TRAMO: SAN PEDRO - CABO SAN LUCAS
SUBTRAMO: DEL KM 46+500 AL 48+500

PERIODO: 01 AL 31 DE MAYO DE 2010
REPORTE Nº: 03 (TRES)
EMPRESA SUPERVISORA:
Nº DE CONTRATO: 0-C-CB-A-017-Y-0-0

EMPRESA EJECUTORA:
N° DE CONTRATO: 0-C-CB-A-
LABORATORIO:

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	OBSERVACIONES
EQUIPO PARA PRUEBA AASHTO MODIFICADA	1	
EQUIPO PARA DETEMINAR VRS ESTANDAR	2	
EQUIPO PARA DETERMINAR EL PESO VOLUMETRICO EN EL LUGAR	8	
EQUIPO PARA DETRMINAR HUMEDAD EN EL LUGAR	1	
PRENSA DE 30 TON PARA PRUEBA PORTER ESTANDAR	2	
BALNAZA DE 20 KG	1	
BALANZA DE 2 KG	1	
BALANZA DE 200 GR	1	
JUEGOS DE MALLAS	2	
TAPAS Y FONDOS PARA MALLAS	2	
AGITADOR DE BARILLA METÁLICA	1	
HORNO CONO TERMOSTATO	1	
RECIPIENTE DE 10 KG DE CAPACIDAD	1	
VASOS DE3 ALUMINIO DE UN LITRO	20	
PICNOMETRO	1	
MAQUINA DE DESGASTE DE LOS ANGELES CON SUS EFERAS	1	
CANASTILLA DE MALLA METALICA DE LATON O BRNCE CON ABERTURA A MALLA N° 0.150 CON CAPACIDAD DE 100 CMS3 APROX.	1	
EQUIPO DE EQUVALENTE DE ARENA	1	
AGITADOR ELECTRICO DE EQUVALENTE DE ARENA	1	
EQUIPO PARA DETERMINAR LIMITE LIQUIDO	2	
EQUIPO PARA DETERMINAR LIMITE PLASTICO	2	
PRENSA DE ANILLO CON CAPACIDAD DE 3 TON PARA DETERMINAR VRS ESTANDAR	2	
REGLA DE 3 PARA DETRMINAR DEPRESIONES EN CAPA DE BASE HIDRAULICA	4	
EQUPO PARA METODO INGLES	1	
MOLDES MARSHALL	15	
EXTENSION O COLLARIN Y PLACA BASE MARSHALL	4	
PEDESTAL DE COMPACTACION MARSHALL	5	
SUGETADOR METALICO PARA MOLDES MARSHALL	5	
PIZON DE COMPACTACION MARSHALL	4	
PAQUETE DE 100 FILTROS PARA ROTAREX	1	
BAÑO MARIA	3	

Figura 7.1.11. Ejemplo de relación de equipo de laboratorio de la empresa ejecutora

Informe Fotográfico y de Filmación de Video

Mensualmente se deberá integrar un informe fotográfico y de filmación de video de las actividades, debidamente editado, que realiza la(s) empresa(s) ejecutora(s), presentando 4 juegos de fotografías georreferenciadas (1 juego por semana) con fecha y hora de la toma, de las etapas de antes, durante y después de los trabajos, las cuales deberán ser tomadas desde la misma ubicación o referencia para el análisis de ellas, o para el video deberán presentar tomas donde se muestre el proceso de construcción de la obra de las etapas antes, durante y después de los trabajos, según corresponda.

Cada juego de fotografías debe contener la descripción completa del concepto que se ilustra, descripción del equipo que se emplea, el nombre de la ejecutora y el subprograma al que corresponde, la Carretera, el Tramo y Subtramo. No deberán incluirse fotografías de actividades de Topografía, Laboratorio o repetidas. El informe fotográfico y de video se debe incluir en el informe mensual. Figura 7.1.12.

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SUBDIRECCION DE SUPERVISION
DEPARTAMENTO DE SUPERVISION DE OBRA

INFORME FOTOGRAFICO

SUPERVISION:	"SUPERVISION, SEGUIMIENTO Y VERIFICACION DE CALIDAD DE LAS OBRAS DE CONSERVACION DE CARRETERAS EN EL ESTADO DE SINALOA".		
EMPRESA SUPERVISORA:			
CONTRATO:	2-Y-CB-A-	**PERIODO:**	01 AL 30 DE JUNIO DE 2012

OBRA:	TRABAJOS DE CONSERVACION PERIODICA EN 17 PUENTES, MEDIANTE LA COLOCACIÓN O CAMBIO DE JUNTAS DE CALZADA, DE LOS CUALES 5 SE UBICAN EN CORREDOR Y 12 EN RED BASICA, TRAMO LIM.EDOS. NAY/SIN-MAZATLAN CARRETERA TEPIC-MAZATLAN Y TRAMO LIM. DGO./SIN. - ENTR. VILLA UNION, CARRETERA DURANGO - MAZATLAN, EN EL ESTADO DE SINALOA.		
EMPRESA EJECUTORA:			
CONTRATO:	2-Y-CB-A-521-W-02	**PERIODO:**	1 DE MARZO DE 2011 AL 30 DE NOVIEMBRE DE 2012
CARRETERA:	TEPIC-MAZATLAN Y DURANGO-MAZATLAN	**TRAMO:**	LIM.EDOS. NAY/SIN-MAZATLAN, LIM.DGO./SIN.-ENTR.VILLA UNION.
SUB TRAMO:	VARIOS	**PROGRAMA:**	CONSERVACION PERIODICA

1.- ANTES **DESCRIPCION:** VISTA PREVIA A LOS TRABAJOS DE CORTE Y COLOCACION DE JUNTA DEL PUENTE HIGUERA UBICADO EN EL KM. 234+615 LADO DERECHO	
2.- DURANTE **DESCRIPCION:** VISTA DEL PERSONAL REALIZANDO EL CORTE DE CARPETA EXISTENTE PARA REALIZAR POSTERIORMENTE EL CAMBIO DE JUNTA, SE OBSERVA HERRAMIENTA MENOR.	
3.- DESPUES **DESCRIPCION:** APARIENCIA FINAL DE LA JUNTA EN PUENTE	

Figura 7.1.12. Ejemplo de informe fotográfico

Integración y Actualización de los Expedientes Unitarios de las Obras

La integración del expediente unitario se realizará como apoyo a la RO, llevando a cabo la actualización permanente del expediente, así como su correcto archivo, utilizando los formatos que indique la RO y/o RGCC, mediante la recopilación y obtención de los documentos de la obra y verificará que sea congruente con lo pactado en el contrato. En dado caso necesario, la RO solicitará a la contratista las modificaciones necesarias para que queden registradas en el expediente. La RO será responsable de resguardarlo y la SSV se encargará de mantenerlo actualizado, dándole seguimiento para informar a la RO de cualquier omisión detectada. Figura 7.1.13, en 3 páginas.

DIRECCIÓN GENERAL
DIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
SUBDIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN
DEPARTAMENTO DE SUPERVISIÓN DE OBRA

SUPERVISIÓN:			
EMPRESA SUPERVISORA:	RRGKOKFKLLDFÑLV FLDKFDKGAD, S.A. DE C.V.		
CONTRATO:	3-1 CBSDF-02589-W-03-5	PERIODO:	

INTEGRACIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE EXPEDIENTE UNITARIO

OBRA:	TRABAJOS DE RECONSTRUCCIÓN DE TRAMO CON PROTOCOLO FJDNJF KM 38 + 800 AL KM 46 + 100 TRAMO SAN BERNARDINO		
EMPRESA EJECUTORA:		DMTIOSJMDJ DFDFJ, S. DE C.V.	
CONTRATO:	3-1 CBSDF-02589-W-03-5	PERIODO:	DEL 01 AL 31 DE OCTUBRE 2014
CARRETERA:	TEXCOCO - ECATEPEC	TRAMO.	SAN BERNARDINO GUADALUPE CPO "A"
SUB TRAMO:		PROGRAMA:	

No.	CONCEPTO	INTEGRADO	FALTANTE	OBSERVACIONES
1	ESTUDIOS DE FACTIBILIAD Y DE PREINVERSIÓN	X		INTEGRADO
2	CONVOCATORIA	X		INTEGRADO
3	BASES DE CONCURSO	X		INTEGRADO
4	ACTA PRIMERA (DE LAS PROPUESTAS TÉCNICAS)	X		INTEGRADO
5	ACTA SEGUNDA (DE LAS PROPUESTAS ECONÓMICAS)	X		INTEGRADO
6	PRESUPUESTO BASE DE LA DEPENDENCIA O ENTIDAD	X		INTEGRADO
7	DICTAMEN DE FALLO Y ADJUDICACIÓN DEL CONTRATO ELABORADO POR LA ENTIDAD O DEPENDENCIA	X		INTEGRADO
8	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA ENTIDAD O DEPEDENCIAS DE LAS PROPOSICIONES DE LICITACIÓN PRESENTADAS POR LAS CONTRATISTAS	X		INTEGRADO
9	CONSTANCIA DE VISITA DE OBRA	X		INTEGRADO
10	ESCRITO Y GARANTIA DE PROPOSICIÓN DE LA CONTRATISTA	X		INTEGRADO
11	AVISO DE INICIO DE OBRA	X		INTEGRADO
12	CONTRATO DE OBRA FIRMADO	X		INTEGRADO
13	CATÁLOGO DE CONCEPTOS DE CONCURSO QUE SUSTENTE EL MONTO DEL CONTRATO PACTADO	X		INTEGRADO
14	RECIBO O CONTRA RECIBO DE OTORGAMIENTO DE ANTICIPO EMITIDO POR LA ENTIDAD O DEPENDENCIA.	X		INTEGRADO
15	PROGRAMA DE OBRA ELABORADO POR LA CONTRATISTA PARA SU PROPUESTA DE LICITACIÓN		X	POR INTEGRAR
16	PROGRAMA DE AVANCE DIARIO	X		INTEGRADO
17	REPORTE DE LA SUPERVISIÓN DEL AVANCE DE OBRA REAL EJECUTADO.	X		INTEGRADO
18	RELACIÓN DE MAQUINARIA PRESENTADA PARA LA PROPUESTA DE LICITACIÓN	X		INTEGRADO
19	PROGRAMA DE UTILIZACIÓN DE LA MAQUINARIA		X	POR INTEGRAR
20	MATRICES DE COSTOS HORARIOS DE LA MAQUINARIA	X		INTEGRADO
21	RELACIÓN DE MATERIALES PRESENTADA PARA LA PROPUESTA DE LICITACIÓN.	X		INTEGRADO
22	RELACIÓN DE PERSONAL PRESENTADA PARA LA PROPUESTA DE LICITACIÓN	X		INTEGRADO
23	ANÁLISIS DEL FACTOR DE SALARIO REAL.	X		INTEGRADO
24	MATRICES DE COSTOS BÁSICOS DE MATERIALES Y CUADRILLAS DE TRABAJO	X		INTEGRADO
25	ANÁLISIS DE INDIRECTOS		X	POR INTEGRAR
a)	ADMINISTRACIÓN CENTRAL		X	POR INTEGRAR
b)	ADMINISTRACIÓN DE CAMPO		X	POR INTEGRAR
26	ANÁLISIS DE COSTO FINANCIERO		X	POR INTEGRAR
27	ANÁLISIS DE UTILIDAD		X	POR INTEGRAR
28	MATRICES DE PRECIOS UNITARIOS DEL CATÁLOGO DE CONCURSO		X	POR INTEGRAR
29	ESPECIFICACIONES GENERALES (REFERENCIA)	X		INTEGRADO
30	ESPECIFICACIONES PARTICULARES	X		INTEGRADO

31	PLANOS DE CONCURSO (ARCHIVOS DE COMPUTADORA)	X		INTEGRADO
32	PLANOS ACTUALIZADOS AL FINAL DE LA OBRA (ARCHIVOS DE COMPUTADORA)	X		INTEGRADO
33	SECCIONES TOPOGRÁFICAS AL INICIO Y AL FINAL DE LA OBRA (ARCHIVOS DE COMPUTADORA)	X		INTEGRADO
34	FIANZA DE CUMPLIMIENTO, ANTICIPO Y VICIOS OCULTOS	X		INTEGRADO
35	OFICIOS DE SOLICITUD DE PRORROGAS Y REPROGRAMACIONES DE OBRA ELABORADAS POR LA CONTRATISTA	X		INTEGRADO
36	CONVENIOS ADICIONALES EN SU CASO, JUSTIFICACIÓN Y AUTORIZACIÓN.	X		INTEGRADO
37	CATALOGO DE CONCEPTOS DEL CONVENIO ADICIONAL	X		INTEGRADO
38	PROGRAMA DE OBRA DEL CONVENIO ADICIONAL	X		INTEGRADO
39	FIANZAS DEL CONVENIO ADICIONAL	X		INTEGRADO
40	RESULTADOS DE AUDITORIA EN SU CASO (CONTRALORIA INTERNA U OTRAS)	X		INTEGRADO
41	ESTADOS FINANCIEROS, CUENTAS CERTIFICADAS, FACTURAS PAGADAS, POLIZAS DE PAGO (ASIENTOS CONTABLES DE LAS ESTIMACIONES Y ANTICIPOS OTORGADOS)		X	POR INTEGRAR
42	DOCUMENTOS DE ANALISIS DE LA FORMA DE AMORTIZACIÓN DE LOS ANTICIPOS OTORGADOS	X		INTEGRADO
43	CONCENTRADO DE CONCEPTOS DE OBRA EJECUTADOS Y PAGADOS (ARCHIVOS DE COMPUTADORA)	X		INTEGRADO
44	CONCENTRADO DE ESTIMACIONES PAGADAS	X		INTEGRADO
45	FINIQUITO DE LA OBRA	X		INTEGRADO
46	ESTIMACIONES Y NÚMERO GENERADORES DE CONTRATO (DEL INICIO A LA FECHA)	X		INTEGRADO
47	CONTROL DE AVANCE FÍSICO Y FINANCIERO	X		INTEGRADO
48	REPORTES DE CONTROL DE CALIDAD	X		INTEGRADO
49	RESUMEN DEL BALANCE DE MATERIALES DONDE SE OBSERVE:	X		INTEGRADO
a)	LA REQUISICIÓN ORIGINAL DE MATERIALES DE LA ENTIDAD O DEPENDENCIA (DESGLOSADO POR MATERIAL)	X		INTEGRADO
b)	ENTRADA DE MATERIAL AL ALMACEN (DESGLOSADO POR MATERIAL)		X	POR INTEGRAR
c)	SALIDA DEL MATERIAL DEL ALMACEN (DESGLOSADO POR MATERIAL)		X	POR INTEGRAR
50	BITACORA DE OBRA	X		INTEGRADO
51	OFICIO DE SOLICITUD DE LA CONTRATISTA DE PRECIOS UNITARIOS EXTAORDINARIOS, ADICIONAL EN CADA OFICIO (EN SU CASO) EN NÚMERO DE PRECIOS SOLICITADOS Y LA SUMATORIA TOTAL CORRESPONDIENTE.	X		INTEGRADO
52	MATRICES DE PRECIOS UNITARIOS EXTRAORDINARIOS SOLICITADOS POR LA CONTRATISTA.	X		INTEGRADO
53	OFICIOS DE AUTORIZACIÓN DE PRECIOS UNITARIOS EXTRAORDINARIOS, ADICIONAR EN CADA OFICIO (EN SU CASO) EL NÚMERO DE PRECIOS AUTORIZADOS Y LA SUMATORIA TOTAL CORRESPONDIENTE	X		INTEGRADO

54	MATRICES DE PRECIOS UNITARIOS EXTRAORDINARIOS AUTORIZADOS	X		INTEGRADO
55	OFICIOS DE SOLICITUD DE FACTORES DE AJUSTE DE PRECIOS UNITARIOS DE LA CONTRATISTA.	X		INTEGRADO
56	ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE AJUSTE DE COSTO DE OBRA PRESENTADOS POR LA CONTRATISTA.		X	POR INTEGRAR
57	OFICIOS DE AUTORIZACIÓN DE FACTORES DE AJUSTE DE PRECIOS UNITARIOS FIRMADOS POR LA DEPENDENCIA O ENTIDAD.		X	POR INTEGRAR
58	ANÁLISIS DE LOS FACTORES DE AJUSTE AUTORIZADOS Y FIRMADOS POR LA ENTIDAD O DEPENDENCIA.	X		INTEGRADO
59	AVISO DE TERMINACIÓN DE LA OBRA, DE LA CONTRATISTA A LA ENTIDAD O DEPENDENCIA.	X		INTEGRADO
60	AVISO DE TERMINACIÓN DE OBRA, DE LA ENTIDAD DEPENDENCIA A LA SECODAM.	X		INTEGRADO
61	OFICIOS DE AVISO DE RESCISIÓN DEL CONTRATO DE OBRA DE LA ENTIDAD EN SU CASO.	X		INTEGRADO
62	ACTA CIRCUNSTANCIADA EN CASO DE SUSPENSIÓN O RESCISIÓN DE CONTRATO DE OBRA	X		INTEGRADO
63	CUANTIFICACIÓN DE TRABAJOS EJECUTADOS, ASÍ MISMO, DE LOS PAGADOS Y LOS PENDIENTES POR EJECUTAR (EN ARCHIVOS DE COMPUTADORA)	X		INTEGRADO
64	ACTA DE ENTREGA-RECEPCIÓN	X		INTEGRADO
65	ALBUM FOTOGRÁFICO	X		INTEGRADO
66	RELACIÓN DE CONTRATOS DEL PROYECTO DE REFERENCIA.	X		INTEGRADO
67	CAMBIOS DE PROYECTO, SU JUSTIFICACIÓN Y AUTORIZACIÓN.	X		INTEGRADO
68	FOLLETO INFORMATIVO DE LA OBRA O MEMORIA DESCRIPTIVA.		X	POR INTEGRAR
69	ANÁLISIS DE LA DOSIFICACIÒN DE CONCRETOS		X	POR INTEGRAR
70	CORRESPONDENCIA INTERNA.		X	POR INTEGRAR
71	DIRECTORIO DE FUNCIONARIOS QUE INTERVINIERÓN EN LA OBRA (NOMBRE, CARGO, TELEFONO)	X		INTEGRADO
72	BENEFICIOS ALCANZADOS.	X		INTEGRADO
73	OFICIOS DE AUTORIZACIÓN Y REDUCCIÓN DE INVERSIÓN DE LA SHCP.	X		INTEGRADO
74	MEMORIA DE CÁLCULO		X	POR INTEGRAR
75	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA OBRA.	X		INTEGRADO
76	ACTA DE LA JUNTA DE ACLARACIONES	X		INTEGRADO
77	SANCIÓN AL PROGRAMA DE OBRA, EN SU CASO	X		INTEGRADO
78	LICENCIA DE CONSTRUCCIÓN	X		INTEGRADO
Ing. Exxxxxx X xxx X xxxxxxx				
Ing. Supervisor				

Figura 7.1.13. Ejemplo de los expedientes unitarios de las obras

Control Topográfico de las Obras.

El control topográfico (planimetría y altimetría), de las obras servirá de apoyo para la revisión de las estimaciones de obra, y/o puede ser de alguna actividad instruida por el RO y/o la RGCC, debiendo la SSV elaborar un resumen por escrito, donde describa los trabajos de topografía que fueron realizados, los resultados obtenidos y los planos de los levantamientos que incluyan plantas topográficas, perfiles y/o secciones, según sea el caso. Los planos se presentarán en archivo electrónico, el cual será incluido en el disco compacto del informe mensual. Figura 7.1.14.

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
DIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN Y CONTROL

OBRA:	RECUPERACION DE PAVIMENTACION Y CARPETA ASFÁLTICA	**PERIODO:**	DEL 01/02/10 AL31/05/10
TRAMO:	LA PAZ - CIUDAD INSURGENTES	**EMPRESA SUPERVISORA:**	
SUBTRAMO:	DEL KM.85+000.00 AL KM.99+000.00	**N° DE CONTRATO:**	0-C-CB-
EMPRESA EJECUTORA:			

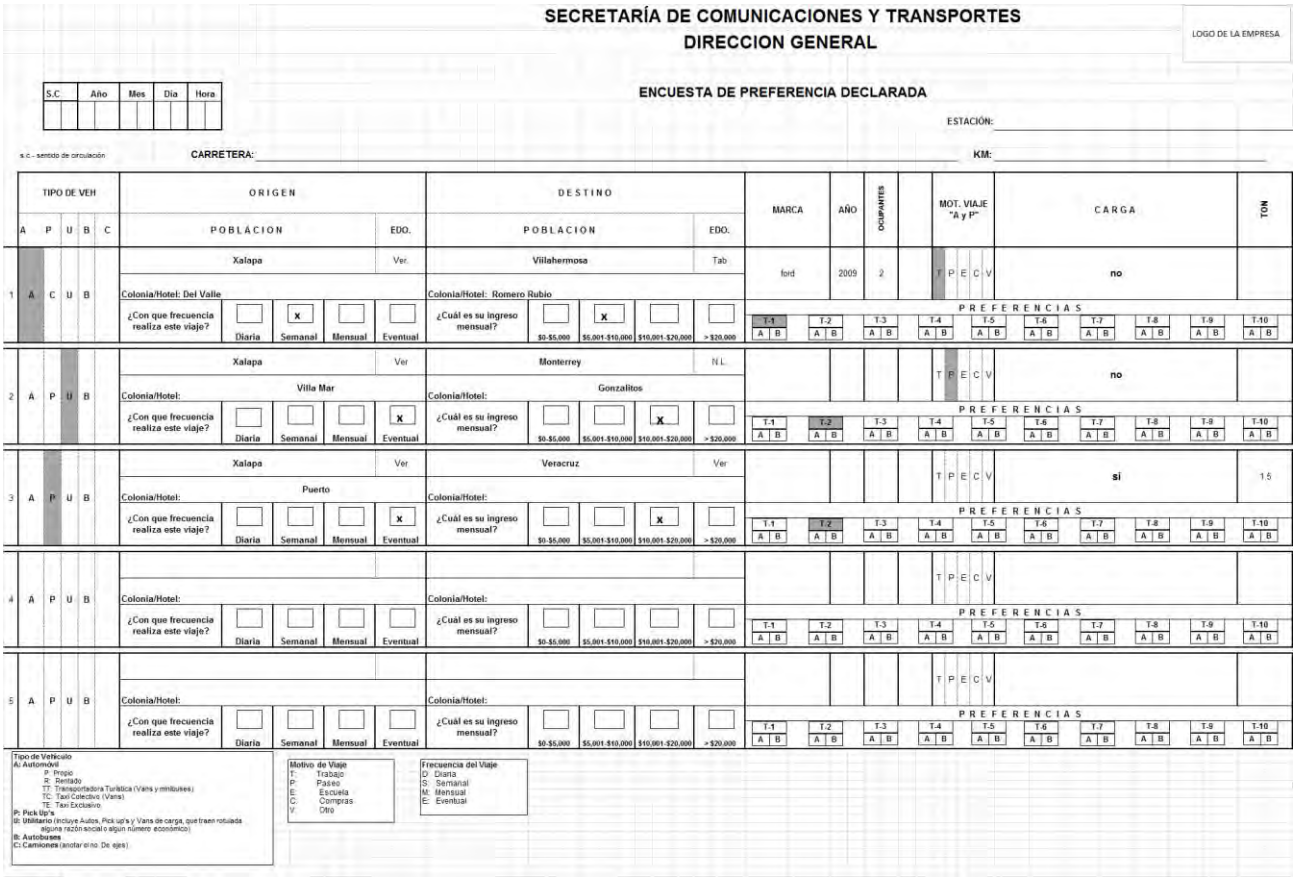
NIVELES FINALES DE CARPETA ASFALTICA

ESTACION	DIST.	Y	X	COTA	NOTA
85+000.00	-3.00	20351.162	20006.550	328.417	HOMBRO
85+000.00	0.00	20351.296	20003.549	328.477	CENTRO
85+000.00	3.57	20351.455	19999.982	328.406	HOMBRO
85+020.00	-3.45	20331.162	20006.108	328.273	HOMBRO
85+020.00	0.00	20331.316	20002.659	328.342	CENTRO
85+020.00	3.59	20331.476	19999.071	328.270	HOMBRO
85+040.00	-3.44	20311.182	20005.205	328.138	HOMBRO
85+040.00	0.00	20311.336	20001.768	328.207	CENTRO
85+040.00	3.61	20311.496	19998.159	328.143	HOMBRO
85+060.00	-3.43	20291.203	20004.303	327.968	HOMBRO
85+060.00	0.00	20291.355	20000.877	328.037	CENTRO
85+060.00	3.63	20291.517	19997.247	327.987	HOMBRO
85+080.00	-3.42	20271.223	20003.400	327.769	HOMBRO
85+080.00	0.00	20271.375	19999.986	327.837	CENTRO
85+080.00	3.65	20271.538	19996.335	327.801	HOMBRO
85+100.00	-3.41	20251.243	20002.497	327.570	HOMBRO
85+100.00	0.00	20251.395	19999.095	327.638	CENTRO
85+100.00	3.68	20251.559	19995.424	327.616	HOMBRO
85+120.00	-3.44	20231.228	20001.388	327.144	HOMBRO
85+120.00	0.00	20231.428	19997.952	327.213	CENTRO
85+120.00	3.67	20231.641	19994.294	327.184	HOMBRO
85+140.00	-3.48	20211.259	20000.261	326.699	HOMBRO
85+140.00	0.00	20211.462	19996.788	326.768	CENTRO

Figura 7.1.14. Ejemplo de control topográfico de obra

Aplicación de Encuestas a la Red Federal Libre de Peaje

La SSV deberá realizar la aplicación de encuestas de opinión a los usuarios de la red federal libre de peaje, en la segunda quincena del mes de mayo de 2012, así como el envió de las mismas al DSO adscrito a la DGCC. Figuras 7.1.15 y 7.1.15a.



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL

LOGO DE LA EMPRESA

ENCUESTA DE PREFERENCIA DECLARADA

S.C. | Año | Mes | Día | Hora

ESTACIÓN:

s.c.- sentido de circulación

CARRETERA: KM:

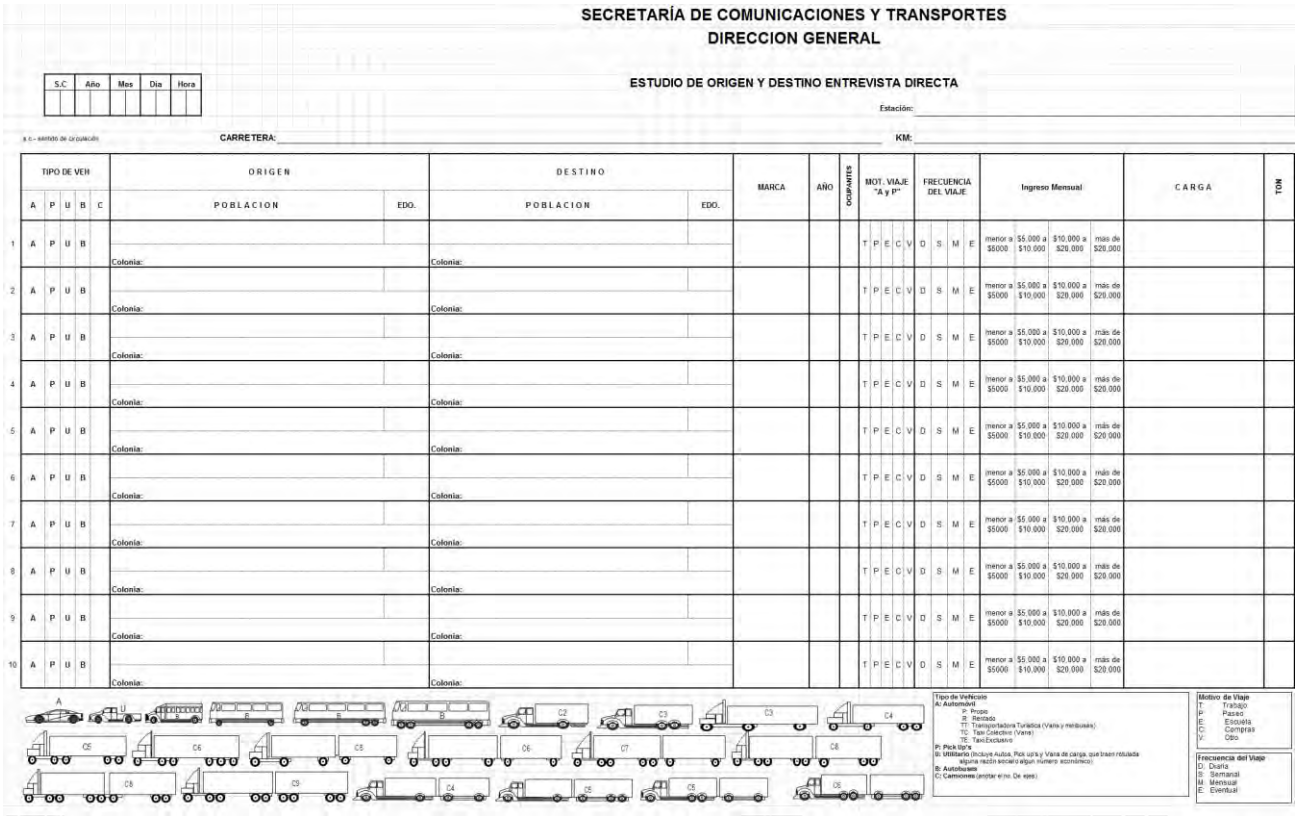
	TIPO DE VEH (A P U B C)	ORIGEN POBLACIÓN	ORIGEN EDO.	DESTINO POBLACIÓN	DESTINO EDO.	MARCA	AÑO	OCUPANTES	MOT. VIAJE "A y P"	CARGA	TON
1	A	Xalapa	Ver.	Villahermosa	Tab	ford	2009	2	T P E C V	no	
		Colonia/Hotel: Del Valle		Colonia/Hotel: Romero Rubio							
		¿Con que frecuencia realiza este viaje? Diaria:		¿Cuál es su ingreso mensual? $0-$5,000:							
		Semanal: x		$5,001-$10,000: x							
		Mensual:		$10,001-$20,000:							
		Eventual:		> $20,000:							
		PREFERENCIAS T-1 A B	T-2 A B	T-3 A B	T-4 A B	T-5 A B	T-6 A B	T-7 A B	T-8 A B	T-9 A B	T-10 A B
2	A P U B	Xalapa	Ver	Monterrey	N.L.				T P E C V	no	
		Colonia/Hotel: Villa Mar		Colonia/Hotel: Gonzalitos							
		¿Con que frecuencia realiza este viaje? Diaria:		¿Cuál es su ingreso mensual? $0-$5,000:							
		Semanal:		$5,001-$10,000:							
		Mensual:		$10,001-$20,000: x							
		Eventual: x		> $20,000:							
		PREFERENCIAS T-1 A B	T-2 A B	T-3 A B	T-4 A B	T-5 A B	T-6 A B	T-7 A B	T-8 A B	T-9 A B	T-10 A B
3	A P U B	Xalapa	Ver	Veracruz	Ver				T P E C V	si	15
		Colonia/Hotel: Puerto		Colonia/Hotel:							
		¿Con que frecuencia realiza este viaje? Diaria:		¿Cuál es su ingreso mensual? $0-$5,000:							
		Semanal:		$5,001-$10,000:							
		Mensual:		$10,001-$20,000: x							
		Eventual: x		> $20,000:							
		PREFERENCIAS T-1 A B	T-2 A B	T-3 A B	T-4 A B	T-5 A B	T-6 A B	T-7 A B	T-8 A B	T-9 A B	T-10 A B
4	A P U B								T P E C V		
		Colonia/Hotel:		Colonia/Hotel:							
		¿Con que frecuencia realiza este viaje? Diaria:		¿Cuál es su ingreso mensual? $0-$5,000:							
		Semanal:		$5,001-$10,000:							
		Mensual:		$10,001-$20,000:							
		Eventual:		> $20,000:							
		PREFERENCIAS T-1 A B	T-2 A B	T-3 A B	T-4 A B	T-5 A B	T-6 A B	T-7 A B	T-8 A B	T-9 A B	T-10 A B
5	A P U B								T P E C V		
		Colonia/Hotel:		Colonia/Hotel:							
		¿Con que frecuencia realiza este viaje? Diaria:		¿Cuál es su ingreso mensual? $0-$5,000:							
		Semanal:		$5,001-$10,000:							
		Mensual:		$10,001-$20,000:							
		Eventual:		> $20,000:							
		PREFERENCIAS T-1 A B	T-2 A B	T-3 A B	T-4 A B	T-5 A B	T-6 A B	T-7 A B	T-8 A B	T-9 A B	T-10 A B

Tipo de Vehículo
A: Automóvil
P: Propio
R: Rentado
TT: Transportadora Turística (Vans y minibuses)
TC: Taxi Colectivo (Vans)
TE: Taxi Exclusivo
P: Pick Up's
U: Utilitario (incluye Autos, Pick up's y Vans de carga, que traen rotulada alguna razón social o algún número económico)
B: Autobuses
C: Camiones (anotar el no. De ejes)

Motivo de Viaje
T: Trabajo
P: Paseo
E: Escuela
C: Compras
V: Otro

Frecuencia del Viaje
D: Diaria
S: Semanal
M: Mensual
E: Eventual

***Figura 7.1.15 Ejemplo de encuesta** a la red federal libre de peaje*



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL

ESTUDIO DE ORIGEN Y DESTINO ENTREVISTA DIRECTA

S.C	Año	Mes	Dia	Hora

Estación:

CARRETERA: KM:

	TIPO DE VEH					ORIGEN		DESTINO		MARCA	AÑO	OCUPANTES	MOT. VIAJE "A y P"	FRECUENCIA DEL VIAJE	Ingreso Mensual	CARGA	TON
	A	P	U	B	C	POBLACION	EDO.	POBLACION	EDO.								
1	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
2	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
3	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
4	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
5	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
6	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
7	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
8	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
9	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		
10	A	P	U	B		Colonia:		Colonia:					T P E C V	D S M E	menor a $5000 / $5,000 a $10,000 / $10,000 a $20,000 / más de $20,000		

Tipo de Vehículo
A: Automóvil
P: Propio
R: Rentado
TT: Transportadora Turística (Vans y minibuses)
TC: Taxi Colectivo (Vans)
TE: Taxi Exclusivo
P: Pick Up's
U: Utilitario (Incluye Autos, Pick up's y Vans de carga, que lleven rotulada alguna razón social o algun número económico)
B: Autobuses
C: Camiones (anotar el no. De ejes)

Motivo de Viaje
T: Trabajo
P: Paseo
E: Escuela
C: Compras
V: Otro

Frecuencia del Viaje
D: Diaria
S: Semanal
M: Mensual
E: Eventual

***Figura 7.1.15a. Ejemplo de encuesta** a la red federal libre de peaje*

Verificación del Señalamiento Horizontal

La verificación de calidad, durante los trabajos de conservación de carreteras, es el conjunto de actividades que permiten corroborar que los conceptos de obra cumplan con las especificaciones de calidad de los materiales del proyecto, donde seguimiento al cumplimiento del programa detallado de ejecución de los trabajos. Dichas actividades comprenderán principalmente el muestreo y las pruebas que se señalan para la ejecución de la verificación de calidad.

Para este concepto deberá verificarse un 10% del total de kilómetros aplicados de pintura (Tabla 7.1.1) en la red federal carretera del programa de señalamiento horizontal y de las obras de los subprogramas de RCT y CP. La verificación para este concepto deberá presentarse de acuerdo a lo solicitado en la Tabla 7.1.2, la forma de ejecución será representativa de un kilómetro y cumpliendo con lo siguiente:

Deberán presentar una portada con los datos de la ubicación del kilómetro reportado, indicando carretera, tramo y sub-tramo donde fue realizado el muestreo así como las características principales, incluyendo tipo de señalamiento y dimensiones estándar de acuerdo con lo establecido por la **Norma NOM-034-SCT2-2011** Señalamiento Vertical y Horizontal de carreteras y vialidades urbanas. Deberá considerar que para realización de la verificación de calidad en este tipo de trabajos debe efectuar 5 (cinco) muestreos mínimos, los cuales se ejecutarán en un tramo comprendido de 1 kilómetro, es decir cada una de las pruebas requeridas deberá realizarse en una distancia no menor a los 200 metros lineales, para que la muestra pueda ser representativa de volumen total considerado, además se deberá solicitar a la empresa ejecutora comprobante de la calidad de la micro esfera para corroborar la esfericidad y pureza del vidrio que se aplica y sólo se podrá presentar la verificación de los trabajos cuando se realicen durante el mes en curso o el mes anterior, presentando un total del 10% del total de kilómetros aplicados de pintura por las empresas contratistas. Figura7.1.16.

N·CMT·5·01·001/13

Coeficientes mínimos de reflexión de las pinturas para señalamiento horizontal

Color	Coeficiente Mínimo de Reflexión (mcd / lx) / m^2					
	Pintura base agua			Pintura termoplástica		
	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto	Inicial	A 180 días	Vida de proyecto
Blanco	250	150	100	300	250	150
Amarillo	200	150	50	250	175	100
Rojo	35	24	11	51	39	23
Verde	24	16	8	37	28	17

Tabla 7.1.1

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD	PERIODICIDAD
Verificación de las dimensiones del señalamiento horizontal (Ancho y espesor)	1 A cada 200 ml en una longitud de 1 kilometro	1 lote de (5) pruebas por cada 10 kilómetros de línea de pintura aplicada
Verificación de la retro reflexión de las marcas en el pavimento	1 A cada 200 ml en una longitud de 1 kilometro	
Determinación de la dosificación de la pintura (litros por metro lineal)	1 A cada 200 ml en una longitud de 1 kilometro	
TOTAL DE PRUEBAS	**15**	

Tabla 7.1.2

LOGO DE LA EMPRESA



INFORME DE VERIFICACIÓN DE LAS DIMENSIONES, CALIBRE Y UBICACIÓN DEL SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y SU ESTRUCTURA

OBRA:	SEÑALAMIENTO HORIZONTAL	CLAVE:	
COMPAÑÍA:	ARQ. JUAN CARLOS	HOJA:	1
CARRETERA:	TUXTEPEC - OAXACA	UBICACIÓN:	KM 112+000
TRAMO:	IXTLÁN - OAXACA	FECHA DE INSPECCION:	28-abr-14
SUBTRAMO:	KM 170+000 - KM 185+000	FECHA DE INFORME:	28-abr-14



TIPO DE SEÑAL		SUBTIPO		CLASIFICACIÓN		CALIBRACIÓN
LINEA CENTRAL		DISCONTINUA		M-1		********

NOMBRE: LINEA CENTRAL

CARACTERISTICAS: MARCA COLOCADA EN EL PAVIMENTO CON EL PROPOSITO DE DELINEAR LAS CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA CARRETERA PARA REGULARIZAR Y CANALIZAR EL TRÁNSITO DE VEHICULOS

VERIFICACIÓN DE LAS DIMENCIONES DEL SEÑALAMIENTO HORIZONTAL

TIPO DE SEÑAL M-1	SUP TIPO DE SEÑAL M-1.1.2	PARAMETROS			DIAGNOSTICO			CUMPLE
		ANCHO	TIPO DE PINTURA	ESPESOR HUMEDO	ANCHO	TIPO DE PINTURA	ESPESOR HUMEDO	
RAYA SEPARADORA DE SENTIDO DE CIRCULACIÓN M-1	RAYA CONTINUA SENCILLA (DELIMITAR UN CARRIL)	CENTIMETROS		MILIMETROS	CENTIMETROS		MILIMETROS	
			TERMOPLASTICA	1.5 3.00				✓

VERIFICACIÓN DE LA RETROREFLEXIÓN DE LAS MARCAS EN EL PAVIMENTO

TIPO DE SEÑAL	SUP TIPO DE SEÑAL	PARAMETROS			DIAGNOSTICO		CUMPLE
		COLOR:	BLANCO		COLOR:	BLANCO	
RAYA SEPARADORA DE SENTIDO DE CIRCULACIÓN M-1	RAYA CONTINUA SENCILLA (DELIMITAR UN CARRIL)	PINTURA:	TERMOPLASTICA		PINTURA:	TERMOPLASTICA	
		RETROREFLEXION MINIMA			RETROREFLEXION MINIMA		
		INICIAL	A 180 DIAS	VIDA DE	PERIODO DE MUESTRA	VALOR	✓
		200	150	50	INICIAL	225	

VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LA DOSIFICACIÓN DE LA PINTURA

TIPO DE SEÑAL	SUP TIPO DE SEÑAL	PARAMETROS			DIAGNOSTICO			CUMPLE
		COLOR:	BLANCO		COLOR:	BLANCO		
RAYA SEPARADORA DE SENTIDO DE CIRCULACIÓN M-1	RAYA CONTINUA SENCILLA (DELIMITAR UN CARRIL)	VOLUMEN INICIAL EN LTS.	VOLUMEN FINAL RN LTS.	LONGITUD DEL MUESTREO	VOLUMEN INICIAL EN LTS.	VOLUMEN FINAL RN LTS.	LONGITUD DEL MUESTREO	
		CANTIDAD DE PINTURA = VOL. INICIAL - VOL. FINAL						
		LTS. DE PINTURA POR METRO LINEAL						
		CANTIDAD DE PINTURA /LONGITUD						

OBSERVACIONES:	
EL SEÑALAMIENTO REFERIDO CUMPLE CON LOS PARAMETROS DE LA NORMA NOM-5-01-001/13	JEFE DE LABORATORIO

Figura 7.1.16. Ejemplo de formato de señalamiento horizontal

Verificación del Señalamiento Vertical

La verificación de calidad, durante los trabajos de conservación de carreteras, es el conjunto de actividades que permitan corroborar que los conceptos de obra cumplan con las especificaciones de calidad de los materiales del proyecto, donde seguimiento al cumplimiento del programa detallado de ejecución de los trabajos. Dichas actividades comprenderán principalmente el muestreo y las pruebas que se señalan para la ejecución de la verificación de calidad.

Para este concepto deberá verificarse un total del 10% del total de piezas colocadas en la red federal carretera del programa de señalamiento vertical y de las obras de los subprogramas de RCT y CP. La verificación de piezas para este concepto deberá presentarse de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 7.1.3. Cada pieza de verificación de calidad deberé incluir una portada con el nombre del tipo de señalamiento vertical que se verificó, donde se indique carretera, tramo y sub-tramo donde fue realizado el muestreo, así como las características principales como son: tipo de señal y dimensiones principales, de acuerdo a lo establecido por la **Norma NOM-034-SCT2-2011** Señalamiento Vertical y Horizontal de carreteras y vialidades urbanas. Se deberán considerar las 4 (cuatro) pruebas requeridas por cada señal que se verifique. En cuanto a la retro reflexión, las señales verticales deben cumplir con lo que establece la **Norma N·CMT·5·03·001/13** (Tabla 7.1.4) Calidad de películas reflejantes de la Normativa para la Infraestructura del Transporte. En cuanto a la calidad de la lámina y estructura de las señales, la verificación se deberá llevar a cabo considerando lo establecido en la **Norma N·CMT·5·02·002/05** Láminas y estructuras para señalamiento vertical y sólo se podrá presentar verificación de trabajos de este tipo cuando se realicen durante el mes en curso, o el mes anterior, presentando un total del 10% del total de señales colocadas por las empresas. Figura 7.1.17.

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD	PERIODICIDAD
Verificación de las dimensiones y calibre del tablero y estructura del señalamiento	1 por cada pieza verificada	1 lote de (4) pruebas por cada 10 piezas colocadas
Ubicación geóreferenciada del señalamiento vertical		
Verificación de la retro reflexión del señalamiento vertical		
Inspección visual del método de punción del tablero y de las dimensiones de las orejas		
TOTAL DE PRUEBAS	**4**	

Tabla 7.1.3.

N-CMT-5-03-001/13					
Coeficiente mínimo de reflexión inicial para películas reflejantes					
Color	Ángulo de observación[2] grados (°)	Tipo A[1] (De Alta Intensidad)		Tipo B (De Muy Alta Intensidad)	
		Para Carreteras de dos carriles y vías secundarias		Para Carreteras de cuatro o más carriles y vías primarias	
		Ángulo de entrada[3] grados(°)			
		-4	30	-4	30
		Coeficiente de reflexión (cd/lux) / m^2			
Blanco	0,2	250	150	380	215
	0,5	95	65	240	135
	1	---	---	80	45
Amarillo	0,2	170	100	285	162
	0,5	62	45	180	100
	1	---	---	60	34
Naranja	0,2	100	60	145	82
	0,5	30	25	90	50
	1	---	---	30	17
Rojo	0,2	45	25	76	43
	0,5	15	10	48	27
	1	---	---	16	9
Verde	0,2	45	25	38	22
	0,5	15	10	24	14
	1	---	---	8	4,5
Azul	0,2	20	11	17	10
	0,5	7,5	5	11	6
	1	---	---	3,6	2
Verde limón fluorescente	0,2	290	135	300	170
	0,5	120	55	190	110
	1	---	---	64	36
Naranja fluorescente	0,2	105	50	115	65
	0,5	45	22	72	41
	1	---	---	24	14

[1] Para carreteras de dos carriles con accesos controlados se podrán utilizar reflejantes Tipo B.

[2] Ángulo relativo que existe entre el haz de luz incidente de una fuente luminosa y el haz de luz reflejado al centro del receptor. Mientras menor sea el ángulo de observaciones, mayor será la intensidad luminosa o reflexión.

[3] Ángulo formado entre un haz de luz incidente y una perpendicular imaginaria a la superficie del elemento reflejante. Mientras menor sea el ángulo de entrada, mayor será la intensidad luminosa o reflexión.

Tabla 7.1.4

LOGO DE LA EMPRESA



INFORME DE VERIFICACION DE LAS DIMENSIONES, CALIBRE Y UBICACIÓN DEL SEÑALAMIENTO VERTICAL Y SU ESTRUCTURA

OBRA:	SEÑALAMIENTO VERTICAL	CLAVE:	
COMPAÑÍA:	ARQ. JUAN CARLOS	HOJA:	1
CARRETERA:	TUXTEPEC - OAXACA	UBICACIÓN:	KM 182+300
TRAMO:	IXTLÁN - OAXACA	FECHA DE INSPECCION:	28 DE ABRIL 2010
SUBTRAMO:	KM 170+000 - KM 185+000	FECHA DE INFORME:	30 DE ABRIL 2010



TIPO DE SEÑAL	SUBTIPO	CLASIFICACION	CALIBRACION
SP	SP-09	SEÑAL BAJA	********

NOMBRE: SEÑAL PRVENTIVA CODO INVERSO

CARACTERISTICAS: EN CARRETERAS CON ANCHO DE CORONA COMPRENDIDO ENTRE 6.00 Y 9.30 M Y EN AVENIDAS PRINCIPALES URBANAS

TABLERO	PARAMETROS	DIAGNOSTICO	CUMPLE SI	CUMPLE NO	OBSERVACIONES
ALTURA CENTIMETROS	EN CARRETRAS CON UN ANCHO DE CORONA COMPRENDIDO ENTRE 6.00 Y 9.00 m	ALTURA 71 Cm.	✓		
LONGITUD CENTIMETROS	71 X71 (CON CEJA)	LONGITUD 71 Cm.	✓		

ESPESOR		PARAMETROS		DIAGNOSTICO			
MILIMETROS	1.52	MILIMETROS	1.52	MILIMETROS			
PULGADAS		PULGADAS		1.9 mm		✓	
	CALIBRE 16		CALIBRE 16	PULGADAS			
				CALIBRE 14		✓	

POSTE	PARAMETROS	DIAGNOSTICO		CUMPLE		OBSERVACIONES
SECCION DEL POSTES MILIMETROS	SOMBRE EL HOMBRO DEL CAMINO	SECCION DEL POSTES MILIMETROS	51 X 51	✓		
No. DE POSTES		No. DE POSTES	1			

ESPESOR		PARAMETROS	
SECCION DEL MARCO MILIMETROS	_	SECCION DEL MARCO MILIMETROS	_

UBICACIÓN	PARAMETROS	DIAGNOSTICO		CUMPLE		OBSERVACIONES
KILOMETRAJE K=KMINTERSECCION-125 METROS	125 M	KILOMETRO 182+300		✓		
	ESPECIFICACION	CUMPLE				
APROXIMADAMENTE 125 METROS ANTES DE LA INTERSECCION	ANTES DE LA INTERSECCION 125 M	SI X	NO	✓		
	ENTRE	DISTANCIA				
DISTANCIA ORILLA INTTERIOR	50 Cm 150 Cm	60 Cm.		✓		
ALTURA DE COLOCACION	ESPECIFICACION	ALTURA				
	1.5 M PARA CARRETERA	1.47		✓		

OREJAS	PARAMETROS			DIAGNOSTICO			CUMPLE		OBSERVACIONES
ANCHO DE CONTACTO Cm.	LADO 1		LADO 2	LADO 1		LADO 2			
	3 MIN		3 MAX	3		3	✓		
LONGITUD Cm.	0 Cm.	A	5Cm.		5 Cm.		✓		
ALTURA Cm.	0 Cm.	A	2.5Cm.		2Cm.		✓		
ANCHO Cm.	0 Cm.	A	9Cm.		9Cm.		✓		
METODO DE SUJECION				PUNCION MECANICA					

RETROREFLEXION	PARAMETROS			DIAGNOSTICO			CUMPLE		OBSERVACIONES
COLOR	BLANCO	AMARILLO	NARANJA	AMARILLO					
	ROJO	VERDE	AZUL						
TIPO DE PELICULA	"A"		"B"	TIPO "A" GRADO ALTA INTENCIDAD			✓		
ANGULO DE OBSERVACION EN GRADOS	GRADOS			GRADOS					
	MIN		MAX	MIN		MAX			
	0.2 °	A	0.5 °	0.2°		0.5°	✓		
	ENTRE			GRADOS					
ANGULO DE ENTRADA(GRADOS)	-4	A	30 °	-4	A	30 °			
	170°	A	100°	16°.		101°	✓		
	62°	A	45 °	62°		44°	✓		

OBSERVACIONES:

EL SEÑALAMIENTO REFERIDO CUMPLE CON LOS PARAMETROS DE LA NORMA N-CMT.503.001/05

JEFE DE LABORATORIO

Figura 7.1.17. Ejemplo de formato de señalamiento vertical

Verificación de la Defensa Metálica (dispositivo de seguridad)

La verificación de calidad, durante los trabajos de conservación de carreteras, es el conjunto de actividades que permiten corroborar que los conceptos de obra cumplan con las especificaciones de calidad de los materiales del proyecto, donde seguimiento al cumplimiento del programa detallado de ejecución de los trabajos. Dichas actividades comprenderán principalmente el muestreo y las pruebas que se señalan para la ejecución de la verificación de calidad.

Para este concepto deberá verificarse un 10% del total de metros lineales de defensa metálica colocada en la red federal carretera del programa de dispositivos de seguridad y deberá presentarse de acuerdo a lo solicitado en la Tabla 7.1.5. Cada metro lineal revisado deberá mostrar una portada con el nombre del tipo de barrera que se presenta, carretera, tramo y sub-tramo donde fue realizado el muestreo así como las características principales como son: tipo de defensa y dimensiones estándar de acuerdo a la **Norma CMT·5·02·001/05,** debe considerar que para cada una de las 5 (cinco) pruebas requeridas se realizarán de la siguiente forma: 3 (tres) pruebas de dimensiones de la defensa metálica, distribuidas en una longitud de un metro, 1 (una) prueba de dimensiones de la estructura, del poste o estructura más cercano al lugar de muestreo y 1 (una) prueba de la ubicación georeferenciada donde se haya realizado el muestreo; sólo se podrá presentar verificación de trabajos de este tipo cuando se realicen durante el mes en curso, o el mes anterior, presentando un total del 10% del total de barrera metálica colocada por las empresas contratistas. Figuras 7.1.18, 7.1.19 y 7.1.20.

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD	PERIODICIDAD
Verificación de las dimensiones de la barrera metálica	3	1 lote de (5) pruebas por cada 10 m de barrera colocada
Verificación de las dimensiones de la estructura de la barrera metálica	1	
Ubicación geóreferenciada de la barrera metálica	1	
TOTAL DE PRUEBAS	**5**	

Tabla 7.1.5

LOGO DE LA EMPRESA

LOTE No. 01

VERIFICACION DE LA BARRERA METALICA, P.U.O.T

OBRA:

SUMINISTRO E INSTALACION DE DEFENSA METALICA PARA DAR ATENCION A VARIOS TRAMOS DE LA RED CARRETERA A CARGO DEL CENTRO SCT "MORELOS"

CARRETERA

SANTA BARBARA - IZUCAR DE MATAMOROS

TRAMO:

LIBRAMIENTO CUAUTLA

SUBTRAMO:

KM. 1+200 AL 7+283 (CUERPO "A")

EJECUTORA:

CARACTERISTICAS PRINCIPALES:

TIPO DE BARRERA:	**TRES CRESTAS CLASE "A"**
DIMENSIONES ESTANDAR:	**82.6 x 510 x 3810 x 2.66**

UBICACIÓN DEL MUESTREO:

KM 1+ 200 LADO IZQ

DATOS DE LA EMPRESA

FBM-01

Figura 7.1.18. Portada formato barrera metálica

LOGO DE LA EMPRESA

INFORME DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE LAS DIMENSIONES DE LA BARRERA METÁLICA

OBRA:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE DEFENSA METÁLICA	**CLAVE:**			
COMPAÑÍA:		**HOJA**	1	**DE**	5
CARRETERA:	SANTA BARBARA - IZUCAR DE MATAMOROS	**UBICACIÓN DEL MUESTREO:**	1 + 200 Lado Izq.		
TRAMO:	LIBRAMIENTO CUAUTLA	**FECHA DE INSPECCIÓN:**	20-ago-11		
SUBTRAMO:	KM. 1+200 AL KM. 7+283 (CUERPO "A")	**FECHA DE INFORME:**	31-ago-11		

ELEMENTO ANALIZADO	ESPECIFICADO							
	ANCHO		ALTO		LONG. EFECTIVA		ESPESOR	
	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	CLASE "A" MILÍMETROS	CLASE "B" MILÍMETROS
1.- LAMINA ACANALADA DE TRES CRESTAS, NORMA N-CMT-5-02-001/05	20.08	510.00	3.25	82.60	150.00	3810.00	2.66	3.43

ELEMENTO ANALIZADO	OBTENIDO EN CAMPO							
	ANCHO		ALTO		LARGO		ESPESOR	
	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS
MUESTRA 1	21.06	535.00	3.27	83.00	150.00	3810.00	0.11	2.7
MUESTRA 2	20.94	532.00	3.31	84.00	149.61	3800.00	0.10	2.6
MUESTRA 3	20.91	531.00	3.31	84.00	150.00	3810.00	0.10	2.6
MUESTRA 4	20.91	531.00	3.31	84.00	150.00	3810.00	0.10	2.6
MUESTRA 5	20.75	527.00	3.27	83.00	150.00	3810.00	0.10	2.6

OBSERVACIONES:

EL JEFE DE SUPERVISION

DATOS DE LA EMPRESA **FBM-02**

Figura 7.1.19. Formato dimensiones barrera metálica

LOGO DE LA EMPRESA

INFORME DE VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE LAS DIMENSIONES DE LA ESTRUCTURA DE LA BARRERA METÁLICA

OBRA:	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE DEFENSA METÁLICA	**CLAVE:**				
COMPAÑÍA:		**HOJA**	2	**DE**	5	
CARRETERA:	SANTA BARBARA - IZUCAR DE MATAMOROS	**UBICACIÓN DEL MUESTREO:**	1 + 200 Lado Izq.			
TRAMO:	LIBRAMIENTO CUAUTLA	**FECHA DE INSPECCIÓN:**	20-ago-11			
SUBTRAMO:	KM. 1+200 AL KM. 7+283 (CUERPO "A")	**FECHA DE INFORME:**	31-ago-11			

ELEMENTO ANALIZADO	ESPECIFICADO							
	ANCHO		ALTO		LARGO		ESPESOR	
	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS
1.- ELEMENTO ESTRUCTURAL DE SOPORTE, VIGA IPR.	**4.0**	**101.60**	**6.0**	**152.40**	**68.90**	**1750.00**	**0.228**	**5.8**

ELEMENTO ANALIZADO	OBTENIDO EN CAMPO							
	ANCHO		ALTO		LARGO		ESPESOR	
	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS	PULGADAS	MILÍMETROS
MUESTRA 1	4.02	102.00	5.87	149.00	68.90	1750.00	0.217	5.5
MUESTRA 2	3.94	100.00	5.91	150.00	68.94	1751.00	0.217	5.5
MUESTRA 3	3.94	100.00	5.94	151.00	68.90	1750.00	0.217	5.5
MUESTRA 4	3.90	99.00	5.91	150.00	68.90	1750.00	0.217	5.5
MUESTRA 5	3.98	101.00	5.94	151.00	68.90	1750.00	0.217	5.5

OBSERVACIONES:

EL JEFE DE SUPERVISIÓN

DATOS DE LA EMPRESA **FBM-03**

Figura 7.1.20. Formato Dimensiones estructura barrera

Mediciones del Índice de Perfil

El kilómetro de verificación para este concepto deberá presentarse de acuerdo a lo solicitado en la Tabla 7.1.6. Al inicio de cada reporte de verificación de calidad se deberán presentar una portada con el nombre de la carretera, tramo y subtramo donde fue realizada la medición, un resumen de los resultados, un dictamen de evaluación de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos cada 200 metros y la carta estadística de los resultados (en caso de tener varios kilómetros dentro de un solo tramo se presentará una carta estadística que comprenda todos los kilómetros), dicha verificación deberá ser por tramo de carpeta. Cada kilómetro de índice de perfil deberá realizarse en ambos sentidos; además deberá considerar que sólo se podrán presentar para pago los kilómetros realizados durante el mes en curso o el mes anterior. Figura 7.1.21.

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD	PERIODICIDAD
Mediciones del Índice de perfil (IP), obtenidas conforme al procedimiento de la suma de irregularidades medidas mediante un perfilógrafo, debiendo presentar las gráficas por subtramos de 200 metros de lo realizado en cada kilómetro ejecutado en ambos sentidos de circulación, según la Norma M·MMP·4·07·002/06	1 km	Por cada kilómetro tendido de carpeta
TOTAL DE PRUEBAS	**1 km**	

Tabla 7.1.6

Levantamiento del Índice de Perfil (IP) (Figura 7.1.21)

Estos parámetros se determinan en los trabajos de: (Figura 7.1.23)

- Reconstrucción de tramo
- Recuperación de pavimento



Figura 7.1.21. Índice de perfil con Perfilógrafo tipo California

LOGO DE LA EMPRESA

CÁLCULO DEL ÍNDICE DE PERFIL PROMEDIO

SERVICIO:	ESTUDIO PARA OBTENER EL PERFILOGRAMA O PERFIL LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE DE RODADURA Y DETERMINAR, A PARTIR DE ÉL ÍNDICE DE PERFIL DEL PAVIMENTO	NO. CONTRATO:	
NOMBRE DE LA OBRA Y/O SERVICIO:	Aut.Cuernavaca+ Acapulco del km 257+000 al 267+200 Cpo A carril Alta	PERIODO	12 de Marzo del 2015
		FECHA DE INICIO	12-mar-15
		FECHA DE TÉRMINO	12-mar-15

Distancia Medida del subtramo (m)			200		Longitud total del tramo (m)	1000			
Tramo (1)		Subtramo (2)		lp (cm / km).			Datos		OBSERVACIONES
del Km.	al Km.	del Km.	al Km.	Línea de tendido 1	Línea de tendido 3	Línea de tendido 2	Promedio	Fecha	
257+000	258+000	257+000	257+200	14.9250	17.5240	25.3740	19.2743	12/03/2015	
		257+200	257+400	0.0000	0.0000	9.8510	3.2837	12/03/2015	
		257+400	257+600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	12/03/2015	
		257+600	257+800	17.2490	10.5750	21.7990	16.5410	12/03/2015	
		257+800	258+000	14.1510	24.1020	34.8270	24.3600	12/03/2015	
lp_d = Promedio diario cm /km				9.265	7.901	11.405			
258+000	259+000	258+000	258+200	5.5500	0.0000	0.0000	1.8500	12/03/2015	se recomenda verificar esta zona
		258+200	258+400	99.7470	61.1480	61.1480	74.0143	12/03/2015	
		258+400	258+600	19.2240	30.5240	30.5240	26.7573	12/03/2015	
		258+600	258+800	23.8020	17.0510	17.0510	19.3013	12/03/2015	
		258+800	259+000	29.5740	36.9990	36.9990	34.5240	12/03/2015	
lpd = Promedio diario cm /km				35.579	29.144	29.144			

Formula para cálcular el índice de perfil referencia Norma M.MMP.4.04.002/06 DE SCT.

$lp = \sum h / L * 1000$

Donde:
lp = Índice de perfil del subtramo, (cm/Km).
∑h = Suma de las magnitudes de las irregularidades en el subtramo, (cm).
L = Longitud total del Subtramo (m).
1000 = Distancia medida del subtramo (Metros).
lp = Índice de perfil original del subtramo y línea de tendido correspondiente
lpc = Índice de perfil después de corregido el subtramo y línea de tendido corrspondiente.
lpd = Índice de perfil promedio diario. Promedio aritmético de todos los lp obtenidos en un mismo día, (cm / Km).
(1) = Tramo de 1 Km o mayor, pero siempre menor de 2 Km.
(2) = Subtramo de 200 metros o fracción.

CRITERIOS DE APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE PERFIL

a) Ubicación de la línea imaginaria de medición será de la orilla exterior del carril por evaluar ubicada de (50 a 20) cm. c) Las secciones se dividirán cada (200) m. d) El índice de perfil se determina en el momento y no antes de 48 horas de terminado el último tramo. e) Si en índice de perfil resulta menor a veintiséis coma un cm por km. (26 cm/Km), el contratista se hará acreedor a un estímulo por mejoramiento de calidad, calculado con base en el precio unitario de la carpeta asfáltica. f) Se calcula del índice de perfil diario. g) si el índice de perfil dairio de cada subtramo presenta una desviación igual o mayor de (1) cm en siete coma cinco (7.5) m o menos se realizaran las correcciones mediante fresado. h) Cuando el índice de perfil se encuentre entre treinta y uno coma uno y cuarenta y seis cm por km (31.1 a 46 cm / Km), la contratista de obra podrá elegir entre corregir la superficie terminada o aceptar una sanción por incumplimiento de calidad. i) Si el índice de perfil diario resulta mayor de cuarenta y seis cm por km (46 cm/Km), se suspenderá de inmediato la construcción de la carpeta.

Nombre y Firma	Nombre y Firma	Nombre y Firma	Nombre y Firma
Cliente y/o dependencia	Representante legal y/o Contratista		Analista

Figura 7.1.22. Ejemplo medición del Índice de Perfil

Para Tramos en Construcción		
Ip (cm/KM)		Observaciones
Límite inferior	Límite superior	
0	14	Tramo adecuado para su aceptación por la Secretaría
14.1	24	Tramo sujeto a corrección o a recibir factor de sanción por incumplimiento de calidad
24.1	(no hay)	Tramo sujeto a suspensión de construcción de carpeta
0	10.1	Tramo que puede recibir estímulo por mejoramiento de calidad

Para Tramos en Conservación		
Ip (cm/KM)		Observaciones
Límite inferior	Límite superior	
0	31	Tramo adecuado para su aceptación por la Secretaría
31.1	46	Tramo sujeto a corrección o a recibir factor de sanción por incumplimiento de calidad
46.1	(no hay)	Tramo sujeto a suspensión de construcción de carpeta
0	26.1	Tramo que puede recibir estímulo por mejoramiento de calidad

Figura 7.1.23

Mediciones del Coeficiente de Fricción

El kilómetro de verificación para este concepto deberá presentarse de acuerdo a lo solicitado en la Tabla 7.1.7. Al inicio de cada reporte de verificación de calidad deberán presentar una portada con el nombre de la carretera,tramo y subtramo donde fue realizada la medición (Figura 7.1.25 y 7.1.26), un resumen de los resultados y un dictamen de evaluación de acuerdo al análisis de los resultados obtenidos cada 200 metros y la carta estadística de los resultados (en caso de tener varios kilómetros dentro de un sólo tramo, se presentará una carta estadística que incluya los kilómetros del tramo verificado); dicha verificación deberá ser por tramo de carpeta y riego de sello. Cada kilómetro de coeficiente de fricción (Tabla 7.1.8 Clasificación rango de fricción) deberá realizarse en ambos sentidos; además, deberá considerar que sólo se podrán presentar para pago los kilómetros ejecutados durante el mes en curso o el mes anterior.

TIPO DE PRUEBA	CANTIDAD	PERIODICIDAD
Mediciones de la resistencia a la fricción se obtendrán conforme a los resultados obtenidos mediante un equipo de medición Mu Meter, debiendo presentar los resultados por subtramos de 200 metros de lo realizado por cada kilómetro ejecutado en ambos sentidos de circulación.	1 km	Por cada kilómetro tendido de carpeta y riego de sello
TOTAL DE PRUEBAS	**1 km**	

Tabla 7.1.7

Coeficiente de Fricción símbolo μ (mu) (Figura 7.1.24)



Figura 7.1.24. Medición de la resistencia al deslizamiento (μ)

RANGO DE ACEPTACIÓN DE INDICE DE FRICCIÓN A 65 KM/HR

Clasificación de Rango de Fricción	Escala Mínima	Escala Máxima	Calificación
Nivel de Planificación Inicial	0.00	0.39	Malo
Nivel de Planificación Mínima	0.40	0.49	Regular
Nivel de Planificación con Mantenimiento	0.50	0.60	Regular a Bueno
Nivel de Planificación Buena	0.61	1.0	Bueno a Excelente

Tabla 7.1.8

LOGO DE LA EMPRESA

OBRA:	TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA MEDIANTE RIEGO CON FIBRA DE VIDRIO Y EMULSIÓN MODIFICADA Y SEÑALAMIENTO HORIZONTAL KM 89+000 AL 99+000 CON UNA LONGITUD DE 10.00 KM, TRAMO LAGOS DE MORENO –LIM. DE EDOS . JAL/AGS; CARRETERA LEÓN -AGUASCALIENTES, EN EL ESTADO DE JALISCO	**FECHA DE CALCULO:**	**16 de Octubre del 2012**
CARRETERA:	LEON-AGUASCALIENTES	**EQUIPO UTILIZADO:**	DFT N° serie 053, NAC Dynamics
TRAMO:	LAGOS DE MORENO -LIM DE EDOS . JAL/AGS		
SUBTRAMO:	89+000 AL 99+000	**TIPO DE SUPERFICIE:**	pavimento asfaltico
EJECUTORA:			
CONTRATO:	2-N-CB-A-529-W-0-2	**CAPA ANALIZADA:**	superficie de rodamiento

RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS

TRAMO		SUB TRAMO		VELOCIDAD PROMEDIO	TEMPERATURA DEL TERRENO	FLUJO DE AGUA LPM	FRICCION PROMEDIO	FRICCION MINIMA
DEL KM.	AL KM.	DEL KM.	AL KM.					
		0+000	0+200	65.825	34.520	60.685	0.36	0.28
		0+200	0+400	0.277	33.416	71.647	0.28	0.26
		0+400	0+600	0.289	32.056	73.101	0.29	0.27
		0+600	0+800	0.298	31.395	77.058	0.30	0.29
0+000	1+000	0+800	1+000	0.307	30.258	77.292	0.31	0.29
		1+000	1+200	0.265	29.489	81.844	0.26	0.21
		1+200	1+400	0.279	27.079	81.148	0.28	0.27
		1+400	1+600	0.297	24.994	82.387	0.30	0.27
		1+600	1+800	0.294	24.000	80.771	0.29	0.27
1+000	2+000	1+800	2+000	0.292	24.000	81.578	0.29	0.27
		2+000	2+200	0.305	24.000	80.836	0.30	0.29
		2+200	2+400	0.307	24.000	80.322	0.31	0.30
		2+400	2+600	0.305	23.955	82.387	0.31	0.28
		2+600	2+800	0.304	23.084	82.641	0.30	0.29
2+000	3+000	2+800	3+000	0.311	23.000	78.684	0.31	0.30
		3+000	3+200	0.304	22.085	82.277	0.30	0.26
		3+200	3+400	0.297	22.859	79.573	0.30	0.26
		3+400	3+600	0.287	22.590	81.416	0.29	0.27
		3+600	3+800	0.307	22.000	80.329	0.31	0.27
3+000	4+000	3+800	4+000	0.299	21.416	81.054	0.30	0.27
		4+000	4+200	0.318	22.000	80.314	0.32	0.27
		4+200	4+400	0.327	21.978	80.331	0.33	0.27
		4+400	4+600	0.315	22.000	82.306	0.32	0.21
		4+600	4+800	0.317	22.899	82.090	0.32	0.31
			VALOR PROMEDIO:	3.03	25.38	79.25	0.30	
			VALOR MAXIMO:		34.52	82.64	0.36	
			VALOR MINIMO:		21.42	60.69	0.26	

Observaciones:

Parámetros obtenidos de la Norma: N-CTR-CAR-1-04-009/06

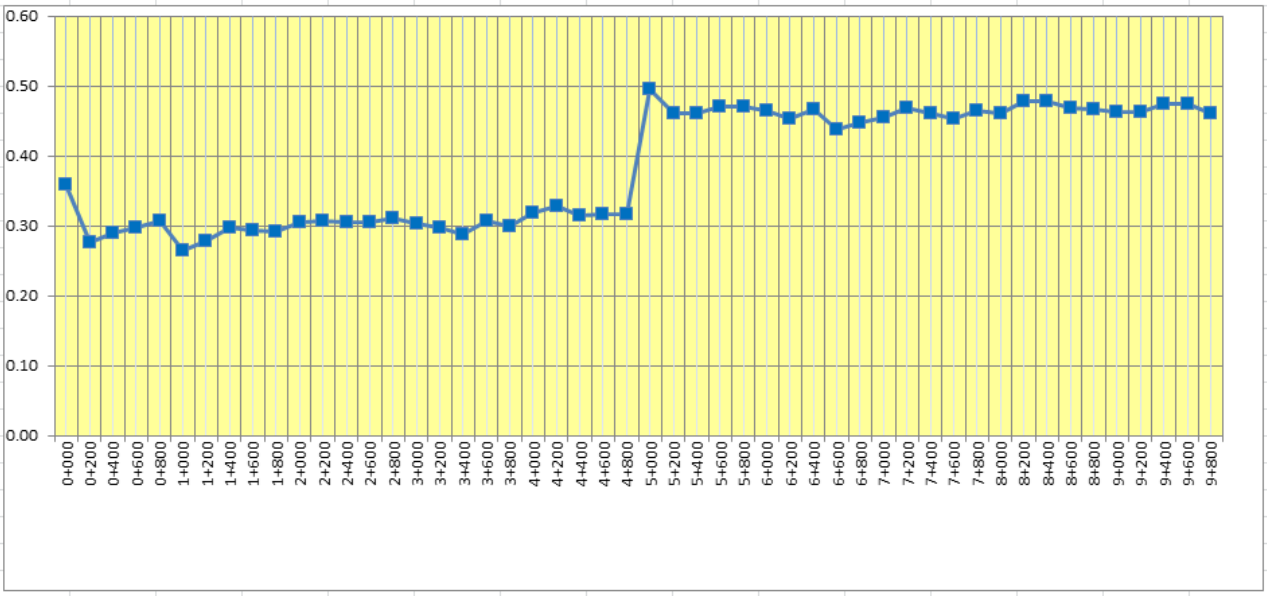
Figura 7.1.25. Ejemplo reporte de coeficiente de fricción

LOGO DE LA EMPRESA

OBRA:	TRABAJOS DE CONSERVACIÓN PERIÓDICA MEDIANTE RIEGO CON FIBRA DE VIDRIO Y EMULSIÓN MODIFICADA Y SEÑALAMIENTO HORIZONTAL KM 89+000 AL 99+000 CON UNA LONGITUD DE 10.00 KM, TRAMO LAGOS DE MORENO –LIM. DE EDOS . JAL/AGS; CARRETERA LEÓN -AGUASCALIENTES, EN EL ESTADO DE JALISCO	FECHA DE CALCULO:	16 de Octubre del 2012
CARRETERA:	LEON-AGUASCALIENTES	EQUIPO UTILIZADO:	DFT N° serie 053, NAC Dynamics
TRAMO:	LAGOS DE MORENO -LIM DE EDOS . JAL/AGS		
SUBTRAMO:	89+000 AL 99+000	TIPO DE SUPERFICIE:	pavimento asfaltico
EJECUTORA:			
CONTRATO:	2-N-CB-A-529-W-0-2	CAPA ANALIZADA:	superficie de rodamiento

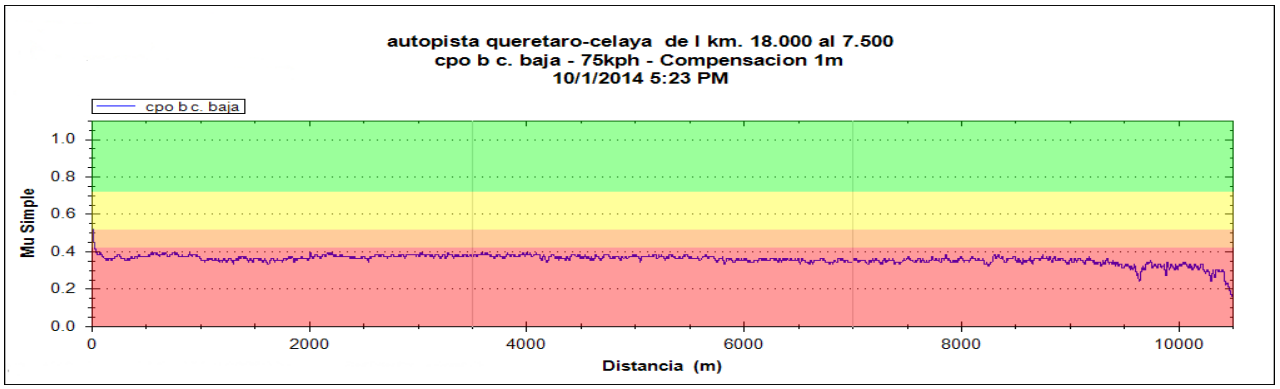
CARTA ESTADISITICA

RESISTENCIA A LA FRICCION CUERPO A CARR. IDA DEL 89+000 AL 99+000



Ing. AAAAAAAAAAAA

Figura 7.1.26



Grafica de resultados

Bitácora Electrónica de Obra

Introducción

Desde la perspectiva del Derecho de la Contratación Pública, la Bitácora utilizada en las obras públicas o en los servicios relacionados con las obras públicas, es ante todo una prueba documental pública que se genera como consecuencia de la celebración de un contrato administrativo y, como toda prueba , puede ser utilizada a favor o en contra en una controversia entre las partes planteada en jurisdicción administrativa, o bien para fincarle responsabilidades administrativas y penales al Residente de Obra y al Supervisor, por no custodiarla correctamente o por utilizarla de manera indebida.

La Bitácora es el instrumento que vincula a las partes en sus derechos y obligaciones, es un instrumento de control y de comunicación en la realización de obras públicas o de servicios relacionados con las obras públicas.

Las Bitácoras de obras o de servicios tienen su razón de existir en la relación de las partes que celebran el contrato respectivo que, por medio de este instrumento, se comunican de manera oficial y legal en todo lo que incumbe a la realización de sus obligaciones pactadas.

El Residente de Obra y el Supervisor (representantes en campo de la Dependencia o Entidad contratante) utilizan las Bitácoras para ordenar la realización de los trabajos o los servicios, regular su ejecución y ejercer el control de los mismos.

El Superintendente de Construcción (poder habiente del Contratista) utiliza las Bitácoras para aceptar órdenes del Residente de Obra, solicitar los elementos que le sean indispensables para realizar la obra o los servicios o para oponerse cuando no esté de acuerdo con las órdenes que reciba, siempre y cuando su reclamo esté fundado y motivado en el contrato y en la legislación, o para asentar alguna contingencia que afecte la obra o los servicios.

En síntesis, las Bitácoras son un instrumento jurídico, creado por el legislador mexicano para establecer orden, armonía y equilibrio entre las partes que se obligan en la celebración de contratos de obras públicas, o de servicios relacionados con las obras públicas.

Y que lo expuesto contribuya para aprovechar las virtudes de las Bitácoras, en beneficio de la debida ejecución de los contratos de obras públicas y de servicios relacionados con las obras públicas.

Concepción Etimológica y Gramatical

Por su origen etimológico, el concepto Bitácora deriva del francés Bitacle y significa mar.

Por su significado gramatical, el concepto Bitácora es un sustantivo que se refiere a un armario, fijo a la cubierta e inmediato al timón, en que se pone la aguja de marear o navegar.

En su conceptuación moderna, el Diccionario de la Lengua Española nos dice que el cuaderno de Bitácora es un libro en el que se apunta el rumbo, velocidad, maniobras y demás accidentes de la navegación marítima.

El sistema Bitácora Electrónica de Obra Pública (BEOP) fue desarrollado con la visión de ser una herramienta informática que apoye a la transparencia y supervisión de obra (reemplazando el uso de la Bitácora tradicional), permitiendo al usuario final agregar, compartir y obtener información oportuna, confiable y veraz, optimizando el uso de la tecnología, mediante accesos remotos; además de facilitar la consulta para apoyar el seguimiento del desarrollo de la obra y la extracción de información.

Artículo123. RLOPSRM

Definición de Bitácora

Es el instrumento técnico que, por medios remotos de comunicación electrónica, constituye el medio de comunicación entre las partes de un contrato de obra pública o de servicios relacionados con la misma, en donde se registran los asuntos y eventos importantes que se presentan durante la ejecución de los trabajos.

Artículo 122. RLOPSRM

Teoría Jurídica y Administrativa sobre el Uso de la Bitácora

En la industria de la construcción de obras públicas y privadas, la Bitácora de Obra es una libreta electrónica o convencional que forma parte del contrato y que se utiliza para registrar en ella cualquier situación que se presente durante la ejecución de los trabajos y sea diferente a lo establecido en los anexos técnicos del contrato.

El Reglamento de la LOPSRM, en su Artículo I, fracción VII, define a la Bitácora como: "El instrumento técnico que, por medios remotos de comunicación electrónica u otros autorizados en los términos de este Reglamento, constituye el medio de comunicación entre las partes que formalizan los contratos, donde se registran los asuntos y eventos importantes que se presentan durante la ejecución de los trabajos".

Para la doctrina del Derecho de la Contratación Pública, la Bitácora es el instrumento técnico de control durante el desarrollo de los trabajos de construcción o de prestación de servicios, el cual sirve como medio de comunicación convencional entre las partes que firman los contratos respectivos, regulando y controlando la ejecución de los mismos.

En los trabajos de construcción o de prestación de servicios que realizan las Dependencias y Entidades de la administración Pública Federal, la Bitácora es un programa informático o una libreta convencional que forma parte del contrato y vincula a las partes en sus derechos y obligaciones, según indica el antepenúltimo párrafo, del Artículo 122, de la LOPSRM.

Con fundamento en el segundo párrafo, del Artículo 122 de la LOPSRM, en la elaboración, control y seguimiento de la Bitácora se deben utilizar medios remotos de comunicación electrónica, salvo en los casos en que la Secretaría de la Función Pública lo autorice.

El Artículo 122 del RLOPSRM, establece los requerimientos para la elaboración, control y seguimiento de la Bitácora por medios remotos de comunicación electrónica:

Artículo 122. La elaboración, control y seguimiento de la Bitácora por medios remotos de comunicación electrónica requerirá:

I. Cuando por virtud del sitio donde se realicen los trabajos existan dificultades tecnológicas que impidan llevar la Bitácora a través de medios remotos de comunicación electrónica
II. Cuando se ejecuten trabajos derivados de caso fortuito o fuerza mayor
III. Cuando el uso de la Bitácora a través de medios remotos de comunicación electrónica ponga en riesgo la seguridad nacional o la seguridad pública, en términos de las leyes de la materia y
IV. Si las dependencias y entidades realizan de manera ocasional obras y servicios.

La Bitácora se utiliza para anotar en ella cualquier situación que se presente durante el desarrollo de los contratos de obras o de servicios que se estén ejecutando, distinta a lo establecido en el contrato o en sus anexos técnicos. Por ejemplo: una escasez de materiales de construcción (como cemento) habría que anotarlo en la Bitácora, ya que afecta al programa de obra al no poder avanzar en colados. Otro ejemplo, lo constituye un alza imprevista en el precio del acero, ya que ello tendrá repercusiones al incrementar los costos originales propuestos por el Contratista.

Los anteriores ejemplos demuestran situaciones que modifican las condiciones en las que se estableció el pacto o convención entre la Dependencia o Entidad contratante y su Contratista.

La Bitácora es un instrumento de carácter jurídico, ideado para establecer orden y equilibrio entre quien ordena y paga por una obra o servicio y quien lo ejecuta a cambio de una remuneración económica.

La Bitácora es un medio oficial y legal de comunicación entre las partes que firman el contrato, está vigente durante el desarrollo de la obra o servicio y su último objetivo es el de oficializar todos los elementos que integran el finiquito del contrato.

La Bitácora es un instrumento que trata de la relación de costos reales autorizados que determinan el valor final de la obra o servicio. Es fundamental para las partes asimilar esta hipótesis, ya que de ahí partirá la posibilidad de un manejo adecuado y profesional del contrato celebrado, con todas las ventajas que representa para la Dependencia o Entidad contratante, el Contratista o el Prestador de Servicios, y para la calidad de las obras públicas o de los servicios relacionados con las mismas.

Dada la seriedad que debe tener la Bitácora, es importante reiterar que su uso debe limitarse a asuntos importantes relacionados con las obras o servicios contratados, ya que ocurre con demasiada frecuencia que el Superintendente de Construcción la utiliza como una especie de "buzón de quejas" anotando en ella asuntos no sólo intrascendentes, sino de carácter personal. En este caso, se puede llegar a la necesidad de que el Residente de Obra comunique dicha anomalía al Superintendente de Construcción para que la corrija.

Cuando se tiene una Bitácora de obra o de servicios elaborada con propiedad, tenemos la seguridad de que refleja una ejecución contractual limpia, ordenada y realizada conforme a un buen ejercicio del oficio de Contratista o Prestador de Servicios.

Usuarios de las Bitácoras de Obras o de Servicios

Roles de Usuarios Implicados

La BEOP cuenta con distintos tipos de usuario y cada uno de ellos realiza actividades diferentes de acuerdo a su perfil. Para facilitar el uso y explicación de misma se usan iconos para los usuarios finales (Residente de Obra, Supervisor de Obra y Superintendente de Construcción) que simbolizan los roles usados.

El Residente de Obra

El Residente de Obra es el representante de la Dependencia o Entidad ante el Contratista y es el responsable directo de la supervisión, vigilancia, control y revisión de los trabajos, incluyendo la aprobación de las estimaciones presentadas por los Contratistas. La residencia de obra deberá estar ubicada en el sitio de ejecución de los trabajos.

El Residente de Obra es el propietario o administrador de las Bitácoras que le hayan sido designadas y es el único usuario que puede dar inicio a una Bitácora en el sistema. Es el representante por parte del gobierno.

Tiene facultad para crear, firmar, abrir y cerrar notas y establecer seguimientos a las mismas, además puede configurar el servicio de alertas y mensajes de las bitácoras asignadas. Asimismo, administrar los catálogos de temas y fases.

El Artículo 113, Fracción V, del RLOPSRM, establece que el Residente de Obra es el responsable de dar apertura a la Bitácora, la cual queda bajo su resguardo, y por medio de ella dar las instrucciones pertinentes, al recibir las solicitudes que le formule el Contratista:

Artículo 113. Las funciones de la residencia de obra serán las siguientes:

Fracción V. “Dar apertura a la Bitácora, la cual quedará bajo su resguardo y por ese medio dar las instrucciones pertinentes, y recibir las solicitudes que le formule el contratista".

EI Supervisor

Atendiendo a las características, complejidad y magnitud de los trabajos el Residente de Obra podrá auxiliarse técnicamente por la supervisión.

El Supervisor realiza las mismas funciones que el Residente de Obra, con la salvedad de no poder iniciar bitácora ni configurar servicio de alertas y mensajes de las bitácoras asignadas.

El Supervisor, como representante de la Dependencia o Entidad contratante, se vale de la Bitácora para ordenar la obra, regular su desarrollo y ejercer el control de la misma. La Bitácora, como instrumento de control, fue concebida pensando en el Supervisor.

El Supervisor tiene la obligación de llevar el control de la bitácora, según ordena el Artículo 115, Fracción IV, inciso d, del RLOPSRM:

Artículo 115. Las funciones de la supervisión serán las que a continuación se señalan:

Fracción IV. Integrar y mantener al corriente el archivo derivado de la realización de los trabajos, el que contendrá, entre otros:

Registro y Control de Bitácoras

Con fundamento en el Artículo 115, fracción VII, del RLOPSRM, el Supervisor tiene la obligación de llevar un registro en la Bitácora de los avances y aspectos relevantes durante la ejecución de la obra, con la periodicidad que se establezca en el contrato.

Artículo 115. Las funciones de la Supervisión serán las que a continuación se señalan:

Fracción VII. “Registro en la Bitácora de los avances y aspectos relevantes durante la ejecución de la obra con la periodicidad que se establezca en el contrato".

La función más importante de la Bitácora para el Supervisor, es la de constituir una herramienta de registro y control. De hecho esa es la principal razón por la que fue creada.

El Supervisor tiene una gran responsabilidad en todas las notas y asientos que realice en la Bitácora, por lo que debe cuidar en extremo la elaboración y el contenido de todas las notas y asientos que realice.

El Superintendente de Construcción

Es el representante del Contratista ante la Dependencia o la Entidad para cumplir con los términos y condiciones pactados en el contrato, en lo relacionado con la ejecución de los trabajos.

Es el representante de la empresa constructora que proporciona el servicio al objeto del contrato. Puede crear, firmar, abrir, cerrar y dar seguimiento a notas o asientos en las bitácoras.

Se servirá de la Bitácora para solicitar elementos que le sean indispensables para la ejecución de la obra. También se vale de ella para señalar cualquier inconformidad que tenga respecto a las órdenes emitidas por la Supervisión, en representación técnica de la Dependencia y Entidad contratante. Ocasionalmente podrá asentar alguna constancia sobre situaciones que considere convenientes e importantes y que se presenten durante la ejecución del contrato respectivo.

Otros Usuarios de Carácter Administrativo:

Administrador de la Dependencia o Entidad. El servidor público designado por el titular de la dependencia o entidad de la Administración Pública Federal como responsable de administrar y controlar los accesos al programa informático por parte de los Administradores Locales.

Administrador Local. El servidor público designado por el Administrador de la Dependencia o Entidad como responsable de administrar y controlar los accesos al programa informático por parte del residente de obra, supervisor de obra y superintendente de construcción.

Nota: Algunas características y funcionalidades sólo están disponibles según su rol asignado. Los iconos definidos para cada rol cuando aplique la funcionalidad para él.

Flujo del Proceso de la Bitácora

El proceso para llevar el registro de eventos relevantes de las obras o servicios (Bitácora) consiste en los siguientes puntos:

1. Las partes involucradas (Residente de Obra, Supervisor de Obra y Superintendente de Construcción) inician una Bitácora en una libreta con hojas foliadas; cada hoja tiene un original y dos copias. A esta libreta se le coloca una portada con información del contrato.

2. Al inicio se deben hacer dos notas: la de apertura y la de validación, registrando como mínimo lo indicado en el los Artículo 123, Fracción III del Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, respectivamente.

3. Durante el desarrollo de los trabajos se deberán asentar periódicamente notas de aspectos relevantes, durante todo el desarrollo de la obra.

4. En el cierre de la Bitácora se deberá crear una nota especial de cierre de la Bitácora, que dé por terminado, los trabajos.

5. Por último, las libretas de bitácora deberán ser conservadas en forma ordenada y sistemática, cuando menos por un lapso de tres años.

Servicios que Ofrecen la BEOP

- Acceso al sistema desde cualquier computadora que tenga conexión a la red Internet
- Seguridad de la información
- Disponibilidad de la información para consultas remotas

Beneficios de la BEOP

- Información en tiempo real de lo que sucede en una obra
- Seguridad de manejo de información
- Implementación de Firma Electrónica Avanzada para garantizar la autenticidad de la información
- Información veraz, oportuna y clasificada
- Las Dependencias o Entidades pueden respaldar su información de manera digital e impresa

Formato de Bitácora

El formato de Bitácora se ajustará a las necesidades de cada proyecto, pudiendo utilizar una o varias libretas por contrato.

El formato de Bitácora es una libreta electrónica, o de pasta rígida de tamaño carta, cuyas hojas deben ser foliadas en orden progresivo y consecutivo, con columnas para consignar fechas y números de notas en orden cronológico y numeración progresiva. Cada hoja deberá contar al menos con dos copias igualmente foliadas, de las cuales una corresponde al Supervisor y una al Superintendente. Las copias deberán ser desprendibles, no así la hoja original.

El formato de la Bitácora en todos los casos deberá cumplir, como mínimo, con lo siguiente:

a) Utilizar una Bitácora por cada contrato.
b) La Bitácora de la Obra consiste en una o más libretas electrónicas, o de pastas duras y resistentes. En la pasta principal aparecerá el nombre de la Dependencia o Entidad y espacios para indicar el área responsable de la ejecución de los trabajos, según sea el caso, el número del contrato, la descripción de la obra y la identificación Bitácora de obra y un renglón para el número de libreta.
c) Las primeras hojas incluirán una guía de uso de la Bitácora de Obra, la cual no irá foliada.
d) Cada libreta debe contar con una hoja original para la Dependencia o Entidad y al menos dos copias, una para el Contratista y otra para la Supervisión, en su caso.
e) Cada juego de original y copias debe estar siempre foliado con números consecutivos y en la parte superior de las hojas se indicará el número del Contrato de que se trata.
f) Las hojas de las copias deben ser desprendibles; no así las originales, que permanecerán fijas en la libreta de la Bitácora. La primera copia desprendible deberá ser para el Contratista o su Representante debidamente acreditado y las otras para el Residente de Obra y el Supervisor, en su caso.
g) El primer folio de la primera libreta deberá iniciar con la nota de apertura y en seguida la nota de validación del uso de la Bitácora.
h) El contenido de cada nota debe precisar: número, clasificación, fecha, descripción del asunto, ubicación, causa, solución, prevención, consecuencia económica, responsabilidad si la hubiere y fecha de atención, así como la referencia, en su caso, a la nota que se contesta.

Reglas Generales para el Uso de la Bitácora

Para el correcto uso de la Bitácora, el Residente de Obra y el Contratista, a través del Supervisor y el Superintendente de Construcción, deberán respetar obligatoriamente las siguientes reglas generales, según el Artículo 123, párrafo primero, del RLOPSRM:

"Artículo 123. Para el uso de la Bitácora, las dependencias y entidades así como el contratista deberán observar, atendiendo al medio de comunicación a través del cual se opere, las siguientes reglas generales":

Apertura

La apertura de la Bitácora se hará previamente al comienzo de los trabajos y deberá iniciar con una nota especial, de conformidad con el Artículo 123, Fracción III, del RLOPSRM.

Se deberá iniciar con una nota especial relacionando como mínimo la fecha de apertura, datos generales de las partes involucradas, nombre y firma del personal autorizado, domicilios y teléfonos, datos particulares del contrato y alcances descriptivos de los trabajos y de las características del sitio donde se desarrollan; la inscripción de los documentos que identifiquen oficialmente al residente de obra y en su caso al supervisor, así como al superintendente por parte de la contratista, quienes serán los responsables para realizar registros en la bitácora indicando, en su caso, a quién o a quiénes se autoriza para llevar a cabo dichos registros.

Después de las notas de apertura, debe asentarse lo indicado en el Artículo 123, del RLOPSRM.

1. Horario en el que se podrán consultar y asentar notas, el que debe coincidir con las jornadas de trabajo de campo.

2. Establecer un plazo máximo para la firma de las notas, debiendo acordar las partes que vencido el plazo las nota no firmadas se darán por aceptadas.

3. Prohibir la modificación de las notas ya firmadas, así sea por el responsable de la anotación original.

4. Establecer la obligación de asentar en la Bitácora los aspectos relativos a la revisión y autorización de estimaciones, números generadores, cantidades adicionales o conceptos no previstos en el contrato, así como lo relacionado a las normas de seguridad, higiene y protección al ambiente que deban implementarse.

5. En los casos en que la elaboración, control y seguimiento de la Bitácora se realice por medios de comunicación convencionales en los términos del segundo párrafo del Artículo 123 del presente Reglamento, éste debe permanecer en la residencia de obra, a fin de que las consultas requeridas se efectúen en el sitio, sin que la Bitácora pueda ser extraída del lugar de los trabajos.

Precisar y Validar el Uso de la Bitácora

Se determina el horario de uso de la Bitácora, así como el plazo máximo para firma de notas, se prohíbe la modificación de notas, se regula la autorización de estimaciones y se indican las normas de seguridad, de acuerdo con el Artículo 123 del RLOPSRM.

Inclusión de Notas

Se incluirán en las notas a la Bitácora todas las modificaciones realizadas al proyecto, acciones y decisiones adoptadas durante el proceso de supervisión de la ejecución de la obra y del control de calidad de los trabajos, así como el registro diario de avances, de conformidad con los Artículo 123, Fracciones I, Fracción II, y III del RLOPSRM.

Con fundamento en los Artículos 74, Fracciones I y III, 77 y 78 del RLOPSRM, cuando se autorice un concepto de obra extraordinario el número de nota se incluirá en el catálogo de conceptos extraordinarios, emitiendo la orden de trabajo correspondiente. El Residente de Obra (o en su caso, el Supervisor) llevará un control diario sobre los conceptos extraordinarios, con respectivas anotaciones en la Bitácora, de los siguientes conceptos:

a) Consumo de material.

b) Cantidad de mano de obra utilizada y las categorías de personal.

c) Cantidad de maquinaria o equipo de construcción con rendimientos y.

d) Cantidad o volumen de obra realizado durante la jornada.

Numeración y Fechado de Notas

Todas las notas de Bitácora deben numerarse en forma seriada y fecharse en el día en que se efectúa el asiento, de acuerdo al Artículo 123, fracción V, del RLOPSRM, y deberá cerrarse con nombre y firmas del Residente de Obra y/o Supervisor y del Superintendente del Construcción, según el Artículo 123, Fracción III, del RLOPSRM.

Escritura

Las notas o asientos en la Bitácora deberán escribirse claramente, con tinta indeleble y letra legible, según ordena el Artículo 124, Fracción III, del RLOPSRM:

Fracción III. "Las notas o asientos deben efectuarse claramente, con tinta indeleble y letra legible".

Los asientos deben realizarse con tinta indeleble, es decir con tinta que no se borre. Es importante tener cuidado en escribir con letra de molde que sea legible y no utilizar abreviaturas. Cualquier persona debe ser capaz de leer lo ahí escrito.

Errores

Cuando se cometa algún error, la nota deberá anularse por quien la emita, abriendo de inmediato otra nota con el número consecutivo que le corresponda y con la descripción correcta, de acuerdo al Artículo 123, Fracción VII, del RLOPSRM:

Fracción VII. "Cuando se cometa algún error de escritura, de intención o redacción, la nota deberá anularse por quien la emita, abriendo de inmediato otra nota con el número consecutivo que le corresponda y con la descripción correcta".

Cuando se cometa un error de redacción, de ortografía o de interpretación, la nota deberá anularse con una leyenda que diga "esta nota se anula por tener error" y se hará la anotación correcta en el número consecutivo siguiente.

En lo posible, en la Bitácora convencional se debe evitar el tener que proceder como se indica, pero llegado el caso es imprescindible hacerlo. Afortunadamente la incorporación de las tecnologías de la información ha incorporado el uso de la Bitácora electrónica, con sistema de captura muy amigable y que permite detectar errores ortográficos para corregirlos inmediatamente.

Tachaduras o Enmendaduras

Según el Artículo 124, Fracción IV, del RLOPSRM, las notas cuyo original y copias aparezcan con tachaduras o enmendaduras serán nulas:

Fracción IV. "La nota cuyo original y copias aparezcan con tachaduras y enmendaduras, será nula".

Una nota con tachaduras o enmendaduras automáticamente es legalmente nula, con todas las consecuencias jurídicas y administrativas que pueda acarrear el hecho.

No hay que correr riesgos. Si por alguna razón se precisa tachar algo se debe proceder de acuerdo a lo indicado en el numeral anterior.

Sobre-Posiciones o Adiciones

Según el Artículo 123, Fracción VIII, del RLOPSRM, se debe proceder en lo relativo a sobre-posiciones y adiciones de la siguiente manera:

Fracción VIII. "No se debe sobreponer ni añadir texto alguno a las notas de bitácora, ni entre renglones, márgenes o cualquier otro sitio; de requerirse, se deberá abrir otra nota haciendo referencia a la de origen".

Firmas

Sólo están facultados para hacer asentamiento y firmar las notas de bitácora el Residente, el Supervisor y el Superintendente de Construcción, acreditados en el acto de apertura de la misma o en su defecto los que hubieren sido acreditados posteriormente mediante la nota correspondiente, en sustitución o suplencia plenamente justificada.

Las notas de la bitácora deben ser firmadas por ambas partes. Previendo que alguna de las dos partes no firme, se establecerá en la apertura de la Bitácora, un plazo máximo para la firma de los interesados, acordando en caso del vencimiento del plazo, la aceptación del asunto en cuestión.

Inutilización de Espacios Sobrantes

Se deben cancelar los espacios sobrantes de una hoja al completarse el llenado de las mismas, según el Artículo 123, Fracción IX, del RLOPSRM.

Fracción IX. "Se deben cancelar los espacios sobrantes de una hoja al completarse el llenado de las mismas".

Retiro de Copias

Una vez firmadas las notas de la Bitácora, los interesados podrán retirar sus respectivas copias, de acuerdo al Artículo 124, Fracción V, del RLOPSRM:

Fracción V. "Una vez firmadas las notas de la bitácora, los interesados podrán retirar sus respectivas copias".

Validaciones de Documentos

Cuando se requiera, en la Bitácora se podrán hacer validaciones de oficios, minutas, memoranda y circulares, refiriéndose al contenido de los mismos, o bien anexando copias, con fundamento en el Artículo 123, Fracción X, del RLOPSRM:

Fracción X. "Cuando se requiera, se podrán validar oficios, minutas, memoranda y circulares, refiriéndose al contenido de los mismos, o bien, anexando copias".

Todas las instrucciones emitidas por diversas autoridades mediante oficio, verbalmente, vía telefónica u otras, con relación a las obras en cuestión, deberán validarse mediante las notas de Bitácora correspondientes en las que se haga referencia a la procedencia de la instrucción recibida, fecha, por qué medio, nombre y cargo de quien emite la instrucción.

7.2 CONTROL Y VERIFICACIÓN DE CALIDAD

Antecedentes Históricos

Con la invención del automóvil, se vislumbró la necesidad de realizar caminos para permitir el transporte de personas y bienes. En México, el Gobierno Federal creó la Comisión Nacional de Caminos para el desarrollo de los primeros caminos, la cual en 1925 inició sus funciones. En esos años no se contaba con suficientes conocimientos de cómo hacer un camino, por lo que se recurrió a contratar Empresas Norteamericanas, utilizando la mano de obra local y equipo rudimentario, en la construcción de las obras viales.

Tampoco se conocía el comportamiento de materiales y se utilizaban sólo materiales disponibles en los lugares por donde se construían los caminos, a la vez que no había control de los materiales y del proceso constructivo.

Al ampliarse los programas de infraestructura vial, la Comisión Nacional de Caminos se convirtió en la Secretaría en Comunicaciones y Obras Públicas (SCOP) y sus ingenieros pronto aprendieron las técnicas de las empresas trasnacionales y generaron sus propias experiencias.

El nacimiento de la Mecánica de Suelos y sus primeras aplicaciones en caminos, dieron como resultado la selección de materiales a utilizar, evaluando sus propiedades índice y su comportamiento mecánico, que se determinaban con la aplicación de pruebas y ensayes, y el uso de equipos y herramientas desarrolladas para este objeto, ahora considerados obsoletos.

Así nacieron los primeros laboratorios de materiales para caminos, en los cuales se estudiaban los materiales locales y se definía en qué tramo del camino era posible utilizarlos. También se idearon procedimientos para medir y controlar el acomodo de los materiales, por lo que se empezaron a aplicar los primeros controles de calidad en las obras ejecutadas. Figura 7.2.1.



Determinación de la compactación en terracerías

Extracción de corazones en la carpeta asfáltica recién construida

Figura 7.2.1. Pruebas típicas de control de calidad

En 1957 se editaron las primeras Especificaciones Generales de Construcción de la SCOP; en cuyo contenido se incluyó toda la experiencia tecnológica disponible en esa época, las cuales se consideraron como un elemento indispensable para lograr carreteras de calidad uniforme.

Los laboratorios de control de calidad de la Secretaría (la extinta SCOP) fueron los responsables de que las carreteras construidas en esos años tuvieran la calidad y el comportamiento de servicio, lo cual le permitió al país su integración y desarrollo entre 1930 y 1970.

Sin embargo, el desarrollo nacional ya no permitió al Gobierno ejecutar las obras con sus propios recursos, por lo que se recurrió a la contratación de la ejecución de los trabajos, dando paso al nacimiento y crecimiento de muchas empresas constructoras nacionales.

Esta transferencia se realizó en forma paulatina, aunque la Secretaría tuvo necesidad de asegurar la calidad de los trabajos de las "nuevas" constructoras, imponiéndoles que el control de calidad continuaría a cargo de los laboratorios de la SCOP.

Esta circunstancia temporal de apoyo no fue entendida, tanto por las empresas constructoras como por los ingenieros responsables de la propia Dependencia, lo que dio lugar a un atraso "cultural" sobre la responsabilidad de la calidad, la cual que hasta la fecha continúa creando confusión.

Es decir, las empresas constructoras no consideraron que el apoyo del laboratorio de la Secretaría era transitorio, mientras ellas alcanzaban la capacidad técnica necesaria para responsabilizarse de la ejecución y de la calidad de la obra contratada. Por su parte, los ingenieros responsables de la Secretaría no fueron suprimiendo este apoyo con el tiempo, para exigir la calidad de la obra al Constructor, para fines de aceptación y pago.

Esta situación ha sido la causa de que muchas Empresas todavía consideren que no necesitan el apoyo de un laboratorio propio para el control de calidad de las obras a su cargo, ya que el laboratorio del contratante hace esta labor. A su vez, se da el caso de que algunos ingenieros representantes del dueño de la obra, todavía piensen que es suficiente con los resultados de calidad del laboratorio de la Secretaría, sin exigir a las Constructoras que cuenten con su propio laboratorio de apoyo al control de calidad.

Interrelación con las Etapas de una Obra

Puede afirmarse que el Control y Verificación de Calidad tiene relación directa con todas y cada una de las etapas de una obra. En el caso de una carretera, el control de calidad debe aplicarse desde su planeación, pasando posteriormente por la programación, estudio, proyecto, construcción, operación y finalmente por su conservación a lo largo de su período de servicio. En cada etapa, es necesaria la aplicación de los conceptos del control y verificación de calidad.

Particularmente el Control y la Verificación de Calidad tienen relación con todas las etapas de la construcción y conservación de carreteras. A continuación se comenta de manera resumida la injerencia de la calidad con los aspectos de trabajo más recurrentes en una carretera:

a) Los materiales industrializados que normalmente se emplean en carreteras, como el cemento Portland, acero refuerzo, asfalto, pintura para señalamiento, etcétera, que requieren en su proceso de producción se aplique un sistema adecuado de control de calidad.

b) El diseño de mezclas asfálticas, así como el proporcionamiento de concreto hidráulico, para que se apeguen al proyecto de una obra, también forman parte de un control de calidad.

c) El corte y terrapleneo de suelos para alojar la carretera, requiere la aplicación de un control para asegurar su estabilidad.

d) La producción de materiales por trituración y cribado, utiliza el monitoreo constante de sus características para obtener la calidad requerida.

e) El tendido y compactación de capas de pavimento se realiza con apoyo de conceptos y herramientas de control de calidad.

f) La excavación del suelo para asentar la cimentación de las obras de drenaje y de los puentes, debe controlarse para no alterar las condiciones del estudio y proyecto correspondientes.

g) La elaboración de mezcla asfáltica para formar las capas de pavimento y la de rodadura del camino, implican un estricto control de la dosificación y de las temperaturas de los materiales.

h) La producción de concreto hidráulico utiliza un control de la relación agua-cemento y de la dosificación de los agregados pétreos, para asegurar la trabajabilidad del concreto y la resistencia del proyecto.

i) La construcción de los elementos que componen una estructura para un puente, ya sea de concreto reforzado o metálico, necesita un seguimiento de la colocación y en su caso compactación y curado de los materiales utilizados.

j) La aplicación de riegos de asfalto y de tratamientos superficiales para el mantenimiento de pavimentos, debe ser efectuado con una dosificación precisa, una vez realizado el diseño de materiales correspondiente.

Como puede verse, el control y la verificación de calidad tienen una aplicación general en las etapas de una obra y particularmente en el proceso de construcción y conservación de carreteras.

Debilidades de la Calidad

En el medio nacional se vive una situación crítica para las obras carreteras, porque no se están asegurando el comportamiento y los períodos de servicio previstos. Lo anterior es motivado porque las constructoras no están capacitadas para aplicar sistemas de control de calidad eficientes durante la ejecución.

Por otra parte, las Dependencias se han visto en la necesidad de reducir significativamente la capacidad de operación de sus laboratorios, lo que aunado al incremento de los trabajos a su cargo, no les permite atender la calidad de sus obras, como anteriormente lo hacían.

Aunado a la situación anterior, se observa que la aplicación de la Ley de Obra Pública y Servicios Relacionados con la Misma, propicia que las obras sean adjudicadas a las Empresas Constructoras que presenten la propuesta económica más baja, lo cual motiva que la calidad de las obras quede relegada, dando preferencia al cumplimiento del programa de ejecución y al total ejercicio presupuestal de los recursos asignados.

Fortalezas de la Calidad

Sin embargo, el avance tecnológico en materia de carreteras a nivel internacional, así como la aplicación de nuevos y mejores equipos de construcción y producción, productos y materiales, han estado transcendiendo las fronteras del país, lo que permite hacer frente a condiciones de operación más rigurosas, que se imponen actualmente a las carreteras y autopistas.

Adicionalmente, la SCT lleva a cabo la actualización de su Normativa Técnica, en la cual se incluyen las innovaciones tecnológicas de vanguardia que puedan ser aplicables a nuestro medio, lo que permite contar con mejores elementos para construir y mantener las carreteras, lo cual permite mayores perspectivas en su comportamiento y duración (Figura 7.2.2).

Existen otros elementos que permiten tener confianza de que se esperan cambios a mediano plazo en la implementación y aplicación de mejores y más eficientes controles de calidad. La comprensión y aplicación de otros conceptos como normas de aseguramiento de calidad, evaluación estadística, acreditamiento de laboratorios, certificación de productos y calibración de pruebas, permitirán cambios en la práctica actual del control de calidad, durante la construcción y conservación de las carreteras.



Figura 7.2.2. Equipos de nueva tecnología

Evolución de los Sistemas de Calidad

Es conveniente presentar de manera objetiva la evolución de los Sistemas de Calidad a nivel mundial, para contar con una referencia que permita ubicar el lugar en que se encuentra actualmente el Sistema de Calidad que se aplica en el medio nacional de carreteras y hacia a dónde se deben dirigir las acciones de actualización de este importante tema.

En la Figura 7.2.3 se presenta esquemáticamente la evolución de los sistemas de calidad a nivel mundial, estimando que el desarrollo del medio nacional en infraestructura carretera se encuentra en la Fase I y comienza a dar pasos para ubicarse en la Fase II.

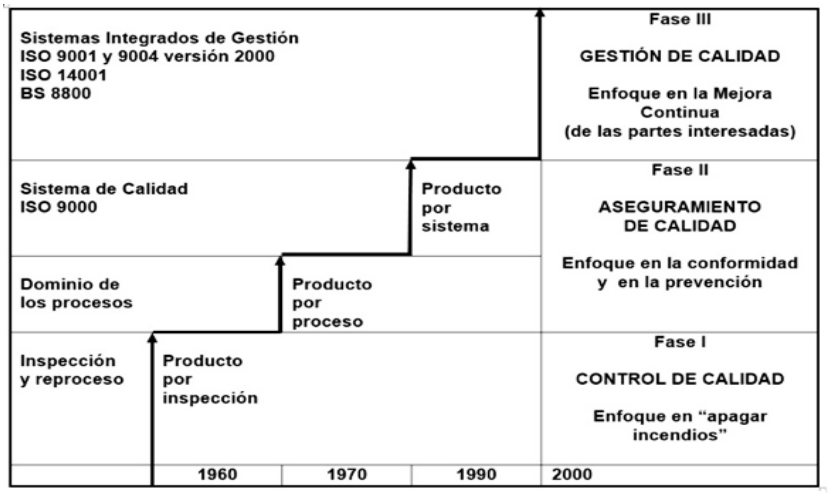


Figura 7.2.3. Evolución de los sistemas de calidad a nivel mundial

Fundamentos de la Calidad

Definiciones

Para comprender objetivamente el tema, es necesario repasar las definiciones de calidad y de control de calidad, así como comentar las atribuciones y responsabilidades de los participantes en lograr la calidad (Figura 7.2.4). Se define la **CALIDAD** como:

"UN CONJUNTO DE ATRIBUTOS INHERENTES A UN PRODUCTO"



Figura 7.2.4. El objetivo es la calidad

En esta definición debe entenderse que, por simplificación, únicamente se indica el término producto; sin embargo, en lugar de producto puede tratarse de una obra, de un servicio o de una persona. Además, como sinónimo de atributo, pueden considerarse también los términos: característica, cualidad, etcétera.

El término inherente denota que es intrínseco o propio del producto; es decir, que sus características no pueden ser cambiadas, a menos que posteriormente sufran alteraciones o transformaciones.

De acuerdo con esta definición, el término calidad por sí mismo no indica que el producto sea bueno o malo, sino que únicamente tiene una serie de atributos que lo identifica, por lo que para estimar si es bueno o malo es necesario compararlo con valores conocidos y previamente probados.

De esta forma, al término calidad habría que anteponerle un adjetivo calificativo para ubicarlo hacia una cierta utilidad. Entonces podremos decir que un determinado producto tiene una "excelente, buena, regular, mala o pésima calidad" para ser utilizado en. . . .

Sin embargo, ha sido costumbre que cuando se habla de un producto de calidad, se suponga que se está refiriendo a un producto de alta calidad.

Como ejemplos sencillos de esta definición, a continuación se citan los atributos típicos de algunos productos:

- Mesa: largo, ancho, altura, forma, tipo de materiales de que está construida, etcétera.
- Llanta: diámetro exterior e interior, ancho de rodada, dibujo y profundidad de la zona de rodado, tipo de hule y vulcanizado, etcétera.
- Material pétreo: tamaño máximo, graduación de tamaños de sus partículas, forma de las partículas, dureza, densidad, porosidad, etcétera.

Por lo que se refiere al término Control de Calidad, a continuación se comenta una definición objetiva:

"CONJUNTO DE ACCIONES QUE PERMITE OBTENER PRODUCTOS CON CARACTERISTICAS UNIFORMES Y DE ACUERDO CON UN DISEÑO"

De acuerdo con esta definición, para efectuar un control de calidad es necesario contar previamente con un diseño del producto a lograr, en el que se han establecido sus características geométricas, funcionales y de servicio, así como también la materia prima para su manufactura. Estas características son tomadas como referencia para evaluar si los productos elaborados cumplen o satisfacen los requisitos del diseño.

Si se trata de una obra vial, no es posible controlar la calidad de los trabajos a ejecutar, si no se ha establecido el proyecto correspondiente ni sus especificaciones particulares, de todos y cada uno de los elementos y materiales que conforman la obra.

También conviene destacar de la definición, que el objetivo del control es obtener productos con características uniformes o de calidad uniforme. Este aspecto es sumamente importante para el tema, porque la confianza que se genera en el cliente con el uso del producto, depende de la uniformidad de sus características y en consecuencia del servicio que proporcione.

Para una obra vial, la uniformidad de la calidad de los materiales, elementos y acabados proporciona, en general a los usuarios de la obra, un nivel de servicio constante al transitarla con comodidad y seguridad, pero principalmente permitirá asegurar que la obra en su totalidad tenga un comportamiento y durabilidad uniformes.

La definición también precisa que el control es un conjunto de acciones que permiten obtener una calidad uniforme en un producto, por lo que es importante destacar que estas acciones le corresponde ejecutarlas al área de producción o de construcción, quién es la única instancia que puede modificar o corregir las desviaciones de la calidad en los productos que se están obteniendo.

Responsables y Beneficios de la Calidad

En el medio de la calidad, es totalmente aplicable el dicho popular siguiente:

"HACER LAS COSAS BIEN DESDE LA PRIMERA VEZ"

En una obra vial, el conjunto de acciones para lograr una calidad uniforme le corresponde ejecutarlas al Constructor, quien también es el único que tiene posibilidad de mantener un nivel uniforme de la calidad de los trabajos y cumplir con los requisitos de calidad estipulados en el proyecto.

Sin embargo, es importante resaltar que la evaluación oportuna y confiable de la calidad, le permite al Constructor o al productor corregir desvíos, afinar el proceso o tener la confianza suficiente de que se está cumpliendo con la calidad requerida.

Al Laboratorio de Control de Calidad le corresponde efectuar una revisión permanente durante el proceso constructivo, muestrear los materiales utilizados, determinar la calidad y proporcionar oportunamente al Constructor la información sobre cómo va la calidad de la obra y los aspectos deficientes detectados, pero es necesario reconocer que el Laboratorio no tiene posibilidad de corregir las desviaciones del proceso constructivo.

Conviene hacer notar que la calidad de una obra o de un producto, depende básicamente de la materia prima utilizada, de los equipos de trabajo disponibles y del procedimiento constructivo o productivo aplicado. Pero principalmente depende del personal participante en el proceso de producción o de construcción, en cuanto a su conocimiento técnico, adiestramiento, experiencia y motivación en el trabajo.

De esta forma, podemos enfatizar que el Control de Calidad es el medio para garantizar que se está obteniendo lo requerido, en el menor tiempo y sin desperdicio de materiales.

Los beneficios que obtiene el Constructor al contar con un eficiente control de calidad, son los siguientes:

- Ahorros de tiempo y de recursos
- Óptimo aprovechamiento de equipos
- Evitar discusiones con el contratante
- Mejorar sus propuestas económicas en las licitaciones
- Mejorar su capacidad y prestigio para lograr otros contratos
- Incursionar en otros mercados, nacionales e internacionales

- Aumentar sus utilidades

Atributos del Control de Calidad

Para lograr hacer eficiente la aplicación del control de calidad, es necesario conocer cuáles son los atributos o cualidades que lo caracterizan.

El control de calidad no puede denominarse como tal si no es confiable, oportuno y económico. A continuación se comenta cada uno de estos atributos.

- **Confiabilidad**

La medición de las características de un producto debe efectuarse en muestras que sean representativas de los lotes o volúmenes producidos. Así también, entre más grande sea la muestra por analizar, mayor será la seguridad de que los resultados que se obtengan se aproximan a los valores reales de los productos. Por esta razón es importante definir las frecuencias de muestreo y procedimientos para obtener las muestras, basados en métodos aleatorios.

Así también, los procedimientos de prueba que se aplican a las muestras para determinar su calidad, deben ser lo más estandarizado posible, es decir, que puedan ser aplicados en diferentes laboratorios y por distintos laboratoristas, sin incurrir en errores atribuibles al propio procedimiento de prueba.

El equipo y las herramientas que se utilicen en la realización de pruebas deben ajustarse a las condiciones geométricas, de masa y funcionales que se estipulen en los métodos de ensaye y además deben estar calibrados con referencia a unidades patrón de medición.

La confiabilidad también puede lograrse si los procedimientos internos que aplican los laboratorios encargados del control de calidad durante el desarrollo del proceso constructivo, están basados en Normas de Aseguramiento de Calidad, como las denominadas ISO 9000.

El atributo de la confiabilidad es tan importante, que conviene dedicar más adelante una sección especial para comentar con mayor detalle los elementos que se disponen para lograr resultados confiables de calidad.

- **Oportunidad**

Todos los procesos productivos o constructivos requieren de información sobre los resultados de la calidad obtenida y de las causas de la desviación de la calidad, en forma constante y oportuna, para que puedan efectuarse anticipadamente los ajustes o correcciones necesarias en la materia prima o en el propio proceso, antes de que la producción tenga avances notables, porque cuanto mayor sea el volumen producido con defectos, mayor será la pérdida de tiempo, desperdicios y recursos adicionales necesarios para lograr que este volumen sea aceptable.

Para que no se presente un avance notable de la producción o de la construcción con defectos, el control de calidad debe ser lo más oportuno posible.

Para lograr la condición de oportunidad, el sistema debe enfocarse a:

1. Sólo evaluar las características más significativas de la calidad.

2. Contar con personal profesional y técnico calificado.

3. Contar con los recursos físicos necesarios para la toma de muestras y para la medición de la calidad.
4. Utilizar herramientas estadísticas que se adapten al sistema aplicado, para inferir con rapidez el estado en que se encuentra el proceso productivo.

5. Contar con la libertad y autorización suficientes para acceder a todas y cada una de las fases del proceso productivo, para detectar anomalías y condiciones de trabajo que incidan en una calidad deficiente.

6. Aplicar medios de comunicación expeditos y confiables que permitan enterar en forma directa al o a los responsables del proceso, sobre la calidad obtenida y las medidas que hay que aplicar para corregir desvíos, a efecto de que puedan ser atendidas.

La falta de oportunidad del control de calidad es, quizás, la más importante razón por la cual las Empresas Constructoras no han generado la confianza suficiente en su importante función, para observar sus beneficios y en consecuencia, alentar su desarrollo y capacidad.

Esto propicia un "círculo vicioso" en que se obstaculiza la aplicación del Laboratorio de Control de Calidad, porque no aporta resultados y soluciones oportunas, limitándole los recursos que podría requerir para lograr hacerlo más eficiente.

- **Economía**

Para que el control de calidad incida lo menos posible en el costo de la obra, las acciones por aplicar deben adaptarse al tipo y tamaño de la obra por atender, como un traje a la medida. Esto significa que no debe tener un aparato ostentoso de personal, vehículos, equipos e instalaciones, ni aplicar en forma indiscriminada el muestreo y la medición de la calidad.

En la terminología de este importante tema, se denominan COSTOS DE LA NO CALIDAD (mala calidad) a todos aquellos gastos que tiene una Empresa constructora, que se asocian a las deficiencias de la calidad, tales como pérdidas de tiempo o retrasos, desperdicios de materia prima, reutilización de equipo y maquinaria, reprocesamiento de productos terminados, adquisición y aplicación de otros materiales para mejorar los productos defectuosos, etcétera.

Todos estos costos de la mala calidad no son absorbidos por las empresas a través de la reducción de sus utilidades, sino más bien quedan integrados en los costos del producto final, por lo que son finalmente pagados por los consumidores o clientes.

En el caso de las obras públicas, como es el caso de carreteras, los costos de la mala calidad de las Empresas se transfieren a la sociedad, ya que un mal comportamiento y reducciones de la durabilidad de los trabajos realizados, implica la programación de nuevas inversiones para atender el comportamiento deficiente antes del período de servicio previsto en el proyecto.

También se consideran dentro de los costos de la no calidad, los gastos que efectúa una Empresa para controlar y mejorar su proceso constructivo, los cuales pueden estar dirigidos a diversos tipos de acciones. Estas acciones se dividen en dos grupos:

1. **Acciones de Supervisión**, entre las que se encuentran la revisión de la materia prima, auditoria de procesos administrativos, control del proceso productivo, supervisión del trabajo efectuado por otros, etcétera.

2. **Acciones de Prevención**, entre los que se pueden citar el entrenamiento y capacitación del personal profesional, técnico y de producción, mantenimiento de la maquinaria de producción, aplicación de herramientas estadísticas, adopción e implantación de métodos para la mejora continua, etcétera.

Es evidente que las Empresas primeramente se preocupan en realizar acciones de supervisión, antes de ocuparse por las acciones de prevención.

Sin embargo, las Acciones de Supervisión se tienen que realizar permanentemente durante el proceso constructivo, por lo que su efecto es de tipo correctivo y su costo puede ir en aumento hasta tener un supervisor

por cada empleado productivo, aunque el beneficio que se obtenga no necesariamente es similar al del recurso invertido.

Por el contrario, se ha demostrado que las Acciones de Prevención reditúan más y mejores efectos a favor del control y mejora de la calidad, por lo que es más conveniente invertir en este tipo de acciones.

La experiencia de muchas empresas permite recomendar que la inversión de dinero en acciones, tanto de supervisión como de prevención, logra reducir notablemente los costos de la "no calidad" (desperdicios, pérdidas de tiempo, etcétera), haciendo rentable la inversión realizada.

De hecho, una inversión consistente e importante en estas acciones, ha dado como resultado que empresas trasnacionales puedan ostentar que sus productos están manufacturados con procesos y controles de calidad que les permiten lograr "cero defectos".

Sin embargo, es evidente que aunque los defectos disminuyan en un proceso, obteniéndose ahorros significativos, los gastos efectuados en acciones de supervisión y prevención pueden llegar a superar los ahorros obtenidos, de forma tal que en cualquier proceso será necesario buscar un equilibrio entre los gastos de la "no calidad".

Para finalizar esta sección, puede resumirse que el Control de Calidad tiene como atributos principales la confiabilidad, la oportunidad y la economía, para que pueda ser eficiente durante un proceso de producción o de construcción.

Sistema de Gestión de la Calidad

Recientemente se han incorporado otras atribuciones y responsabilidades en la ejecución de los trabajos de construcción y conservación de las vías terrestres, relacionados con la calidad, las cuales permiten establecer una confianza razonable para que el servicio y la durabilidad de las obras viales sean las indicadas en el proyecto.

Se define a la Gestión o Administración de la Calidad como un sistema que interrelaciona a las dependencias y a las empresas con los procesos que se aplican en una obra, con el objeto de obtener la calidad indicada en el proyecto, de manera planificada y sistemática.

En la Figura 7.2.5 se presenta un esquema de organización que se ha definido para la administración de la calidad de los trabajos de mantenimiento de carreteras, en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, en el que se pueden observar los siguientes elementos que integran el Sistema de Gestión de la Calidad:

a) Aseguramiento de Calidad
b) Control de Calidad
c) Control Interno de la Calidad
d) Control Externo de la Calidad
e) Verificación de la Calidad
f) Control Exterior de la Calidad
g) Auditoría de la Calidad

Por lo que respecta al control de calidad, en la sección anterior se han comentado algunos de sus aspectos fundamentales. Por lo que toca a los elementos que integran el Sistema de Gestión de la Calidad, a continuación se comentan sus definiciones y aspectos que los caracterizan, de manera objetiva aunque resumida.

a) Aseguramiento de Calidad

Esta función corre a cargo, tanto de las áreas de la Dependencia como de las Empresas participantes. Consiste en la preparación y seguimiento de los elementos necesarios para llevar a cabo el proyecto con calidad. Sus actividades típicas son la revisión del diseño y del proyecto constructivo, de la estrategia y plazo de construcción,

del sistema propio de calidad del constructor y de los laboratorios participantes (personal, equipo, instalaciones y organización).

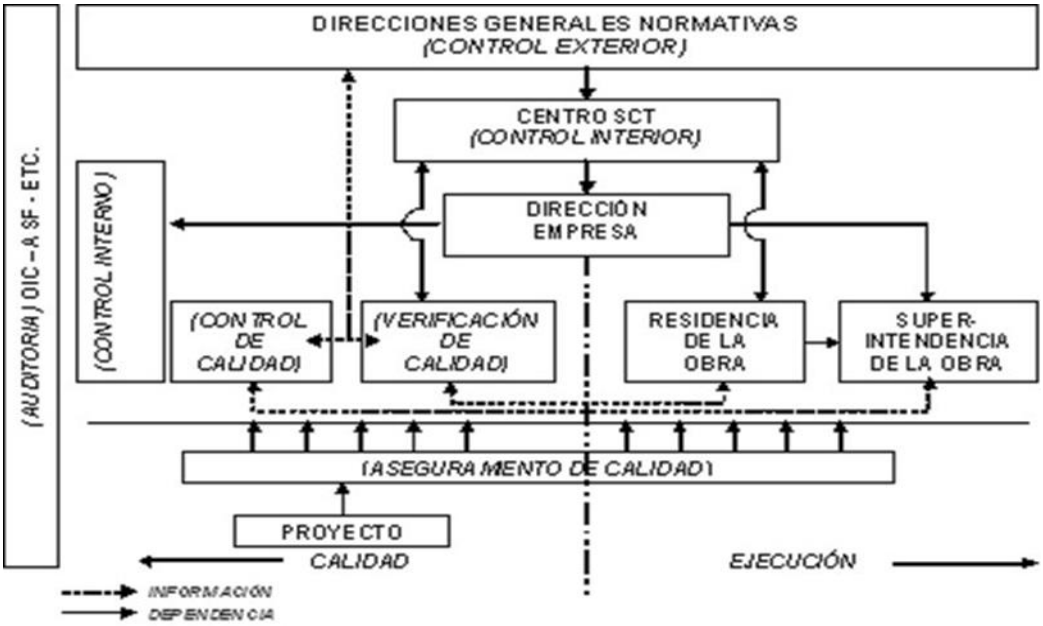


Figura 7.2.5. Sistema de Gestión de la Calidad aplicable en la SCT

El Aseguramiento de la Calidad se define como un conjunto de acciones planeadas, sistematizadas y documentadas, necesarias para tener una confianza razonable de que todos los materiales y elementos de un producto o una obra, se comportarán satisfactoriamente durante el tiempo que deben conservarse en servicio.

La aplicación de la metodología de aseguramiento de calidad permite definir cómo se puede llegar a desarrollar un proceso, aplicando todos los criterios, lineamientos, requisitos, procedimientos, etcétera, que deben atenderse.

Del análisis de esta definición, puede inferirse que un sistema de Aseguramiento de Calidad contiene una serie de elementos cuya aplicación garantiza que el producto o la obra tendrán la calidad requerida en el diseño o proyecto. Dentro de las acciones que se planean, sistematizan y documentan en este sistema quedan incluidas las del control de calidad.

Como se observa en la Figura 7.2.6, un control de calidad tradicional generalmente está compuesto por labores de inspección y por la medición de la calidad a través de pruebas de laboratorio.

En la Figura 7.2.7 aparece un conjunto de acciones que pueden integrar un sistema de Aseguramiento de Calidad, en la cual queda también incluida la correspondiente al control de calidad.

La metodología más recomendable para implementar y aplicar un aseguramiento de calidad está contenida en las Normas Internacionales denominadas ISO 9000, que han sido adoptadas por numerosos países y empresas para “asegurar” la calidad de sus productos.

Con la aplicación de un sistema de Aseguramiento de Calidad en las obras, se incrementa la confiabilidad y seguridad de la obra, se reducen los costos de construcción, de operación y mantenimiento, por lo que se aumenta la disponibilidad del equipo y de los sistemas.



Figura 7.2.6. Control de calidad tradicional

En otras áreas de manufactura ha sido común el empleo del Aseguramiento de Calidad con mucho éxito. Además, existen Agencias trasnacionales reconocidas para acreditamiento, que revisan los sistemas implantados con la metodología ISO 9000 en una empresa y verifican periódicamente que se aplique la metodología consistentemente en su proceso de producción.

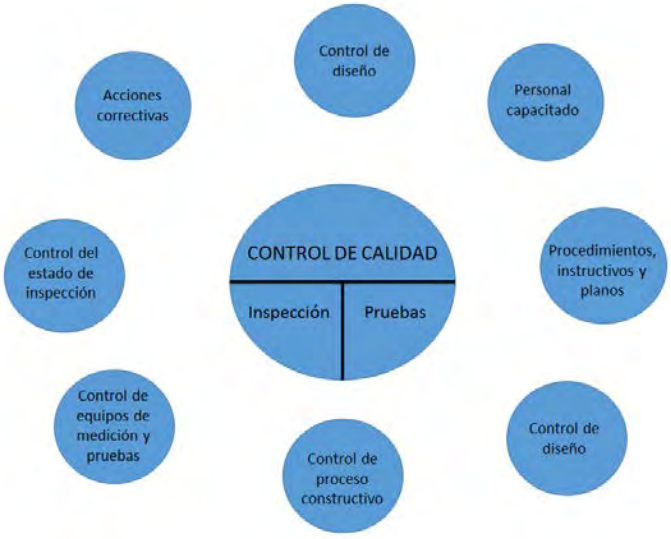


Figura 7.2.7. Elementos de un sistema de aseguramiento de calidad

Si una empresa productiva cumple con las Normas ISO, estas Agencias le extienden un Certificado ISO, el cual es reconocido internacionalmente como sinónimo de alta calidad. De esta forma, se ha fomentado en países de mayor desarrollo económico y de alta cultura de calidad, que los productos que consumen, así como las empresas que se contraten, tengan como requisito indispensable la certificación ISO.

En México, son cada vez más las áreas productivas que son certificadas con esta metodología, sobre todo en productos de alta tecnología. Sin embargo, en el área de la construcción todavía no se exige la certificación ISO, lo que ha retrasado que las empresas se preocupen por definir e implantar un sistema de aseguramiento de calidad.

Es evidente que se requiere que los dueños y directivos de las empresas estén plenamente convencidos de los beneficios del sistema y apoyen totalmente la definición, implantación y aplicación de su propio sistema en su empresa, basado en estas Normas.

Es importante indicar, sin embargo, que los sectores gubernamentales responsables de las obras públicas en México tienen la autoridad necesaria para exigir que se contraten los trabajos a ejecutar, sólo con empresas certificadas con ISO 9000, aunque esta exigencia se tenga que realizar en forma paulatina.

Es indudable que la certificación ISO garantiza que las empresas cuenten con un sistema cuya aplicación asegura que su proceso obtenga productos de calidad uniforme y de acuerdo a un diseño, por lo que la certificación es sinónimo de confianza para los consumidores (Figura 7.2.8).

Conviene destacar que la propia Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuenta desde hace varios años con la Certificación ISO 9000 de algunos procesos, dentro de los cuales se encuentra la "Verificación de Calidad", que internamente realiza la Dirección General de Servicios Técnicos, para apoyar a las Direcciones Generales de Obras durante la ejecución de las obras a su cargo.

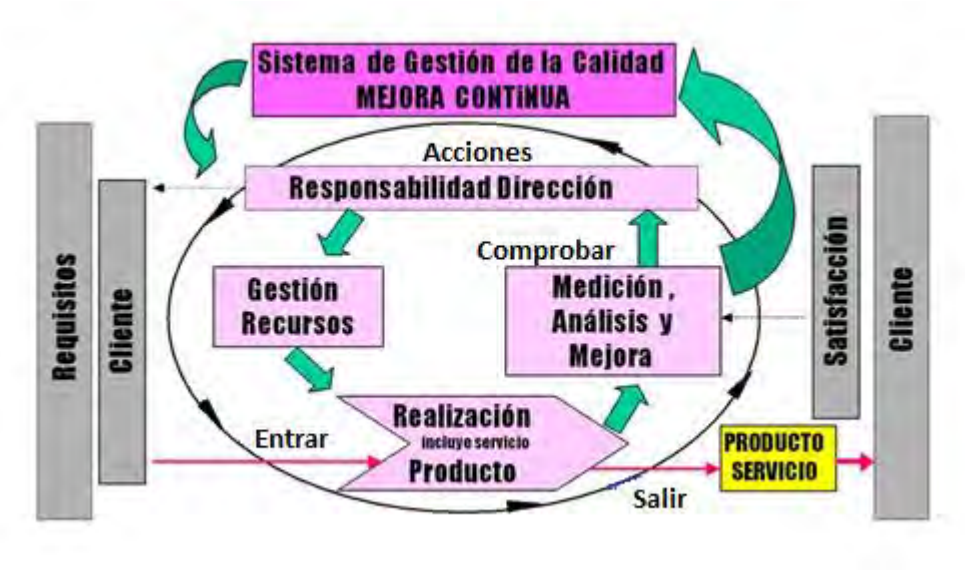


Figura 7.2.8. Etapas de aplicación de las Normas ISO 9000

b) Control de Calidad

Esta acción está a cargo de las empresas contratadas para la ejecución de las obras. Consiste en realizar actividades orientadas al cumplimiento de la calidad del proyecto. Las actividades típicas son el muestreo de materiales, ensayes de laboratorio, análisis estadísticos y mediciones geométricas, al tiempo que se ejecuta la obra.

Esta acción es importante porque permite medir los resultados, obtener valores de los parámetros preseleccionados, comparar resultados con especificaciones, obtener evidencia documental de la conformidad, conducir el proceso de ejecución del proyecto y evitar productos no conformes; todo ello de forma inmediata durante la construcción, de manera que se puedan implementar las correcciones necesarias a tiempo.

Sobre esta importante actividad se aplican la mayor parte de los criterios contenidos en este Capítulo, como ya se ha estado comentando.

c) Control Interno de la Calidad

Se define al Control Interno como la revisión del control de calidad que establece el propio contratista o ejecutor de una obra, para asegurar un buen funcionamiento de su sistema de control y su efecto sobre el proceso de construcción.

Es deseable que todas las empresas constructoras definan y apliquen un sistema interno que les garantice los materiales utilizar el equipo de trabajo, el personal involucrado y sus procesos de producción y construcción, obteniendo así la calidad estipulada en el proyecto de las obras a su cargo.

d) Control Externo de la Calidad

Se define el Control Externo de la Calidad como la revisión de la calidad que lleva a cabo el dueño de la obra, para asegurarse que en su conjunto la obra realizada satisfaga las necesidades planteadas en el proyecto, brindando el servicio previsto.

En todo proceso de producción o de construcción siempre resulta deseable y en ocasiones necesario, que se revise la calidad de los productos obtenidos o de la obra ejecutada.

Generalmente esta actividad queda a cargo directamente del dueño de la obra o del contratante pero también puede ser realizada por una empresa de supervisión contratada por el dueño. Esta opción se ha estado aplicando cada vez con mayor frecuencia, en virtud de que las dependencias públicas ya no cuentan con la capacidad propia suficiente para atender este control externo.

Particularmente esta actividad también es realizada por el constructor o por el productor, para asegurarse de que la calidad de la materia prima que utiliza es la que requiere. Tal es el caso de materiales o productos industrializados que son adquiridos a proveedores de la construcción, como son por ejemplo el cemento Portland, el acero de refuerzo y preesfuerzo, los asfaltos, los elementos prefabricados, etcétera.

Todos los productos industrializados deben tener una calidad determinada, que es generada por su propio control de calidad, por lo que pudiera no requerirse un control externo de dicha calidad. La confianza que se le tenga a la calidad de la materia prima por utilizar, define si es necesario que el propio constructor revise sus características de servicio.

El control externo de la calidad se caracteriza porque siempre se aplica a productos terminados y no necesariamente habrá que analizar todas las características que definen su calidad, sino sólo las que resulten más significativas.

También se caracteriza porque las frecuencias de muestreo son mucho menores en esta actividad, comparadas con las que se aplican en los sistemas de control de calidad.

En las obras viales de interés y servicio público, generalmente el dueño de la obra está representado por una dependencia u organismo federal, estatal o municipal y a ellos les corresponde efectuar la revisión de la calidad obtenida en el desarrollo de una obra a su cargo.

Esta función en general se realiza simultáneamente con la supervisión que efectúan los representantes de estas dependencias, comúnmente denominados “residentes de obra”, para asegurarse de que se están logrando las características geométricas y de calidad indicadas en el proyecto respectivo, para estar en condiciones de aceptar y pagar las estimaciones de los trabajos efectuados.

Generalmente en este control exterior se aplica un muestreo más esporádico y pruebas de calidad más significativas, con objeto únicamente de corroborar la calidad lograda.

e) Verificación de la Calidad

Esta actividad está a cargo de la Dependencia. Consiste en la confirmación mediante el suministro de evidencia objetiva, que se han cumplido los requisitos para su utilización o aplicación específica, de parte o la totalidad de un proyecto. Las actividades típicas son la revisión de los informes de calidad, la revisión de tendencias estadísticas, el muestreo, ensaye o medición aleatoria, y la aprobación de la conformidad.

Su importancia radica en revisar que el trabajo realizado esté conforme con el proyecto y sus especificaciones y por lo tanto, el trabajo pueda ser pagado, porque cumple con las obligaciones legales del contrato.

Se define a la Verificación de Calidad como la determinación de las características de servicio de una obra ya terminada, para definir si reúne las condiciones previstas en su planeación y en su proyecto.

La verificación le corresponde ejecutarla al dueño de la obra o a la Dependencia responsable, y está encaminada a asegurar que la obra ofrezca las condiciones de servicio previstas.

Como ejemplo, puede citarse en el caso de las carreteras, que es necesario que la superficie de rodadura terminada tenga las condiciones de regularidad superficial y de resistencia de la fricción, para asegurar el tránsito cómodo y seguro de los vehículos.

f) Control Exterior de la Calidad

Esta etapa también está a cargo de la Dependencia. Consiste en un control independiente de la obra, ejercido desde fuera, con el propósito de asegurar que los resultados obtenidos por el control de calidad y aceptados por la verificación de calidad, esten sustentados en evidencias objetivas y correctamente documentados y archivados, así como verificar que los responsables han analizado los resultados y propuesto las modificaciones a las guías o métodos de proyecto, a las normas o a los requisitos de organización, instalaciones o equipos, para la mejora continua.

Las actividades típicas son la revisión documental de todos los aspectos de la obra, de la corrección de las no-conformidades, del cumplimiento de todas las obligaciones legales y de la funcionalidad de las partes terminadas (Rugosímetro, Mu-meter, Reflectógrafo, etcétera).

Esta acción es importante porque evita la auto-justificación de la existencia de no-conformidades y conjunta todos los sistemas presentes en la materialización del proyecto, además y se asegura de obtener los beneficios de la mejora continua.

g) Auditoria de la Calidad

Esta última etapa del sistema está a cargo de los organismos de fiscalización, como el Órgano Interno de Control en la SCT o la Auditora Superior de la Federación. Esta acción es un proceso sistemático, independiente y documentado, para obtener evidencias de los registros, declaraciones de hechos o cualquier otra información pertinente que sea verificable, y evaluar la extensión en que se cumplen las políticas, procedimientos o requisitos utilizados como referencia.

Las acciones brevemente comentadas, aplicadas como están concebidas, deben permitir el control y el seguimiento de la calidad de la obra, para que se obtengan los requisitos estipulados en el proyecto y en el contrato.

Confiabilidad en la Medición de Calidad

En esta sección de comenta con mayor detalle la confiabilidad en la medición de calidad, por ser un aspecto importante para considerar que los resultados obtenidos a través de muestras representativas de la producción sean lo más apegados a los valores reales, lo cual permite tomar decisiones en el ajuste y control de un proceso productivo.

Para tratar de explicar la importancia de la confiabilidad en un sistema de control de calidad, se presentan los siguientes riesgos o posibilidades que pueden presentarse en la evaluación de la calidad de materiales:

1. Que se cuente con un material de buena calidad y que al aplicar el muestreo y las pruebas de medición de calidad, el sistema de control dé por resultado que el material es bueno y por tanto se acepte para ser utilizado.

2. Que el material sea de mala calidad, pero se considere bueno al aplicar el muestreo y la medición de la calidad, por lo que se acepte su empleo.

3. Que el material sea de buena calidad, pero que al evaluarlo a través del sistema aplicado se considere malo, por lo que se decida rechazarlo.

4. Que el material sea de mala calidad y que al aplicar el muestreo y la medición de la calidad resulte malo, por lo que se rechace su uso.

Del análisis de estos casos, puede verse que los riesgos 1 y 4 permiten una toma de decisiones confiable, porque se aceptan buenos materiales y se están rechazando malos materiales. Mientras que los casos 2 y 3 son situaciones indeseables, al permitir el uso de malos materiales y el rechazo de buenos materiales.

Para que no sucedan los casos 2 y 3, un sistema de control de calidad tiene que estar respaldado eficientemente por un laboratorio que efectúe muestreos y la medición de la calidad, que cuente con la capacidad técnica y el equipo adecuado, aplicando criterios estadísticos de muestreo y evaluación.

En esta sección se comentan los siguientes elementos que es posible disponer para obtener confianza en la medición de calidad:

a) Representatividad de la producción
b) Estandarización o precisión de pruebas
c) Preparación y manejo de muestras
d) Evaluación estadística de resultados
e) Calibración de equipos de laboratorio
f) Evaluación y acreditamiento de laboratorios
g) Certificación de productos

a) Representatividad de la Producción

Para analizar la calidad de la producción es necesario obtener muestras representativas de los lotes producidos, de los materiales utilizados y/o del trabajo realizado. Para todo proceso es necesario entonces definir el tamaño de la muestra y la frecuencia del muestreo.

Al considerar como condición ideal que todo el volumen producido fuera analizado para obtener los valores reales de la calidad, resulta que en la práctica esto no es realizable, recurriéndose al estudio de una muestra representativa del volumen producido.

Es importante hacer notar que entre más grande es el tamaño de la muestra mayor será el grado de seguridad de que los resultados tenderán a los valores reales.

También es conveniente señalar que en un proceso continuo de producción, la toma de muestras se tiene que efectuar en forma continua, por lo que hay que definir la frecuencia del muestreo.

En la Figura 7.2.9 se muestra la toma de tres muestras de un lote de productos, observándose que para que no se presente un muestreo "sesgado", que podría dar como resultado que las muestras no fueran representativas de la calidad real del lote, es necesario que el muestreo se apoye en técnicas estadísticas, basadas en tablas de números aleatorios.

Aunque es posible utilizar algún texto de probabilidad y estadística para definir los lugares de muestreo, en el caso de materiales y elementos de las obras camineras se puede efectuar este trabajo apoyado en la **Norma M·CAL·1·02/01** Criterios Estadísticos de Muestreo, de la Normativa técnica SCT.

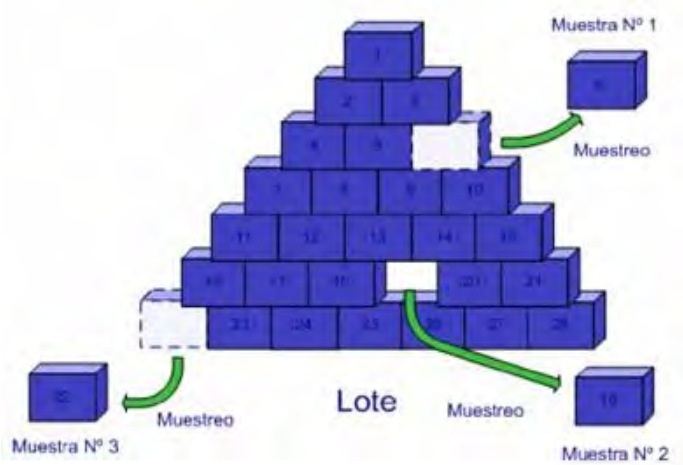


Figura 7.2.9. Relación entre lote, muestreo y muestras

b) Estandarización o Precisión de Pruebas

Para la medición de la calidad, es necesario que los requisitos de un material o de un producto u obra estén referenciados a un procedimiento con el cual se obtenga o mida cada característica de interés.

En el caso del área de construcción y mantenimiento de carreteras, estos procedimientos generalmente son establecidos por las agencias oficiales o dependencias gubernamentales, por lo que para el control de calidad de los trabajos a ejecutar, siempre será necesario definir previamente cuales son los procedimientos aplicables para la obra a ejecutar.

Un procedimiento de prueba debe garantizar que sea lo suficientemente "estándar", para que los resultados que se obtengan con su aplicación sean confiables.

La "Estandarización" de una prueba permite que su aplicación pueda realizarse en muestras del mismo material, por distintas personas y equipos, en lugares diferentes, obteniendo la confianza de que sus resultados serán aproximadamente iguales.

Entre más estándar sea la prueba, lo anterior tenderá a cumplirse con mayor confiabilidad.

Es decir, que entre más detallado esté un procedimiento y no genere posibilidades de distorsión en su aplicación, los resultados que se obtengan en un mismo material serán sensiblemente similares.

Para establecer el grado de confiabilidad de la estandarización de un procedimiento de prueba, se han establecido los parámetros siguientes y sus definiciones:

Repetibilidad (r). Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado cuando un laboratorista ejecutante de una prueba, en un laboratorio determinado, obtiene resultados sucesivos con el mismo aparato, bajo condiciones constantes de operación y sobre el mismo material de prueba.

Reproducibilidad (R). Es la expresión cuantitativa del error aleatorio asociado cuando varios laboratoristas trabajando en diferentes laboratorios, obtienen cada uno resultados individuales sobre un material idéntico de prueba, aplicando el mismo método y aparatos que cumplen los mismos requisitos.

La "Repetibilidad" o diferencia promedio de resultados de un procedimiento, aplicado por un laboratorista en un mismo material, tenderá a cero, a medida que el método de prueba sea más estandarizado.

De igual manera, la "Reproducibilidad" o diferencia promedio de resultados de un procedimiento aplicado por diferentes laboratoristas en un mismo material, tenderá a cero, a medida que esté más estandarizado el método de prueba.

Generalmente los valores que se obtienen de "Repetibilidad" son más reducidos que los que se obtienen de "Reproducibilidad", porque es de esperarse mayor dispersión de resultados cuando intervienen dos o más personas, aplicando el mismo procedimiento de prueba.

Cuando se establece un procedimiento de prueba, generalmente es conveniente incluir en el contenido del documento los aspectos siguientes, dentro de los que debe considerarse también la precisión de la prueba, como se indica a continuación:

1. Objetivo de la prueba
2. Equipos y materiales a utilizar
3. Preparación de la muestra
4. Descripción del procedimiento
5. Cálculo e interpretación de resultados
6. Errores comunes y cuidados especiales
7. Precisión de la prueba
8. Bibliografía particular y normas de referencia

Para definir la precisión de una prueba, se efectúan series de experimentos para que un laboratorista y un grupo de laboratoristas apliquen el procedimiento que se ha descrito y se obtengan sus valores de "Repetibilidad" y "Reproducibilidad".

Si se obtienen valores bajos, se puede considerar que el procedimiento es reproducible y por lo tanto, confiable para los fines que se persiguen. Por el contrario, si los valores son muy grandes, entonces es necesario precisar más el procedimiento y repetir la experimentación, para obtener valores de precisión adecuados.

Una vez establecido, en un procedimiento de prueba, su precisión o estandarización, entonces los valores indicados sirven para verificar que el o los laboratoristas están siguiendo apegadamente la aplicación del procedimiento, de tal manera que si presentan valores de "Repetibilidad" y "Reproducibilidad" mayores a los indicados en el método, significa que existe alguna diferencia en la aplicación o en el equipo utilizado o en el cálculo de resultados, lo cual hay que detectar y corregir, hasta que se logren resultados dentro de las tolerancias de la precisión del método.

De esta forma, los parámetros de la precisión de los métodos de prueba son muy útiles para que los resultados que se obtengan, sean confiables.

Sin embargo, es muy común que el personal profesional y técnico de los laboratorios considere que la información obtenida es infalible, sin posibilidad de equivocarse, por lo que los resultados de calidad logrados se consideran inapelables.

Esto también es debido al desconocimiento de la estandarización y de sus parámetros, porque curiosamente en los procedimientos de prueba establecidos para el área de carreteras de nuestro país, no se indica la precisión de la prueba que debe alcanzarse.

Para ubicar la importancia de la precisión de pruebas, conviene comentar a manera de ejemplo, que en 1995 la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes desarrolló un programa a nivel nacional para conocer el grado de confiabilidad de los laboratorios que dependen de los Centros SCT y que apoyan la verificación de calidad de las obras a su cargo.

Este programa abarcó las pruebas que se aplican a los materiales más comunes que se utilizan en las obras carreteras, como son los suelos y materiales pétreos para terracerías y pavimentos, los asfaltos y mezclas asfálticas y el concreto hidráulico, cuyos resultados permitieron definir acciones para mejorar la confiabilidad de los resultados de la calidad.

Las condiciones más comunes, que pueden ser causa de una notable dispersión en los resultados de calidad, son las siguientes:

1. Aplicación inadecuada de los procedimientos.
2. Equipos desgastados y obsoletos para la ejecución de pruebas.
3. Calibración diferente de los equipos de medición.
4. Instalaciones inadecuadas para la realización de las pruebas.
5. Falta de materiales y herramientas de laboratorio.

Es indudable que los laboratorios tienen la obligación de atender la solución de estas causas, para que los resultados de calidad que obtengan permitan emitir juicios sobre el proceso productivo o constructivo, con la confianza de que son resultados que reflejan verdaderamente la calidad del producto o del material a utilizar en una carretera.

c) Preparación y Manejo de Muestras

Uno de los aspectos que son parte de un procedimiento de prueba, es la preparación y el manejo de muestras a nivel de laboratorio. Los cuidados que generalmente se establecen para esta etapa de trabajo permiten que las muestras no vayan a ser modificadas en sus atributos originales, para que al aplicar la medición de su calidad mediante los procedimientos de prueba, se obtengan resultados confiables.

Las recomendaciones que se indican en los procedimientos de prueba deben atenderse en su totalidad, para asegurar que no se presenten alteraciones ni modificaciones de la muestra original.

Así, la identificación de cada submuestra debe hacerse de tal manera que no se presenten confusiones que propicien que los resultados de calidad de una muestra se estén considerando para otra muestra, lo cual finalmente provocaría una toma de decisiones equivocada.

d) Evaluación Estadística de Resultados

En un proceso de control de calidad resulta importante evaluar adecuadamente los resultados sobre las características de los productos o materiales, porque de esta evaluación dependen las acciones que se apliquen para corregir o mantener el proceso de ejecución de la obra.

Para llevar a cabo una evaluación adecuada, se cuenta con la Probabilidad y Estadística, rama de las matemáticas aplicadas que trata sobre la recolección, organización, análisis e interpretación de datos, a efecto de deducir las leyes que rigen ciertos fenómenos o para formular predicciones.

La comprensión de la Probabilidad y Estadística es fundamental para aplicar un sistema de control de calidad, por lo que es necesario estudiar sus conceptos básicos y las técnicas de inferencia estadística más útiles, a fin de analizar resultados, sacar conclusiones y definir las causas que originan estos resultados.

La determinación de las medidas de tendencia central (modo, mediana y promedio) así como las de dispersión (rango, variancia y desviación estándar), en el análisis de los datos de calidad durante el monitoreo de un proceso, permiten ubicar la calidad de la producción o de la construcción, dentro de las tolerancias de aceptación establecidas en un diseño o proyecto.

Así también, la inferencia estadística, basada en la teoría de las probabilidades, permite definir si el proceso productivo está fuera o dentro de un control estadístico, para detectar las causas de variación significativas que inducen a desvíos de la calidad.

El uso de Cartas de Control para monitorear el proceso productivo es indispensable para la aplicación de un sistema de control de calidad. En la Figura 7.2.10, se muestra un ejemplo de cartas de control típicas, para monitorear una característica de calidad.

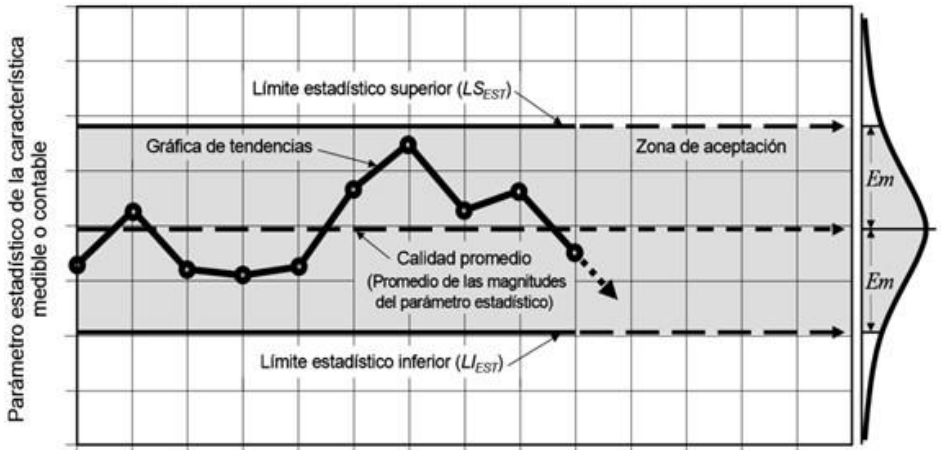


Figura 7.2.10. Carta de control típica para la evaluación estadística de una variable

De esta forma, es posible separar las causas de variación aleatorias propias del estado normal del proceso constructivo, de las de variación asignables originadas por efectos externos al proceso que se controla.

A partir de la detección de estas causas, el responsable del control de calidad debe identificar los agentes externos y las condiciones que generan deficiencias en la calidad, para indicar acciones que las nulifiquen o las minimicen.

El siguiente paso en la cadena del control de calidad es que el responsable del proceso constructivo realice las acciones necesarias para hacer efectivo el cambio o la reorientación del proceso.

La aplicación sistemática de la medición y evaluación estadística de la calidad, finalmente da como resultado que la producción o construcción se encauce a obtener productos u obras de calidad uniforme, que cumplan con los requisitos del diseño.

Por lo tanto, es importante que un sistema de control de calidad disponga y aplique una evaluación estadística de los resultados de calidad, con objeto de que la inferencia que se obtenga de ella sea lo más confiable posible para la toma de decisiones del constructor.

Para aplicar la evaluación estadística de la calidad en las obras de infraestructura carretera, se dispone de la **Norma M·CAL·1·03/03** Análisis Estadísticos de Control de Calidad, de la Normativa SCT, en la cual se expone con suficiente detalle la forma en que se deben formular las Cartas de Control Estadístico y el procedimiento para inferir de ellas las causas asignables de un proceso constructivo.

e) Calibración de Equipos de Laboratorio

La medición de la calidad requiere el empleo de aparatos y dispositivos cuyas características físicas y condiciones de operación se apeguen a la descripción indicada en cada procedimiento de prueba; ello es necesario para asegurar que los procedimientos de prueba sean reproducibles y la medición de la calidad se efectúe de manera confiable.

Para medir alguna propiedad de materiales, con base en Unidades del Sistema Internacional, los aparatos deben referenciarse a los patrones de medida que se dispongan en el país.

Este aspecto se regula por la Ley Federal de Normalización y Metrología, en la cual se establece que le corresponde al Centro Nacional de Metrología (CENAM) contar con todos los patrones nacionales de medida del Sistema Internacional de Unidades, para efectuar los traspasos de medición, actividad comúnmente denominada “calibración”.

El CENAM es la Entidad encargada de acreditar los laboratorios de calibración y de extender las certificaciones para el traspaso de las unidades de medida de los patrones nacionales. Las actividades de los laboratorios de calibración se regulan mediante la **Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006** Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Calibrar un equipo de prueba significa revisar sus unidades de medición, a través de una celda de carga que a su vez ha sido previamente calibrada con un patrón primario, a fin de establecer la incertidumbre de las mediciones y la trazabilidad del equipo.

Además, se debe considerar que el uso continuo de los equipos y su traslado a otros lugares conduce a que se “descalibren”, por lo que es necesario calibrarlos periódicamente. En la práctica, es conveniente que la calibración se realice cada año como mínimo.

Otro aspecto, que es importante considerar en la calibración de los equipos de prueba, es la verificación y revisión periódica de las dimensiones, como son: peso, temperatura de prueba, tiempo, etcétera, los cuales deben cumplir con las condiciones de prueba establecidas en los procedimientos correspondientes.

En la Figura 7.2.11 se ilustra la calibración de una máquina de prueba típica de los laboratorios de control y verificación de calidad.



Figura 7.2.11. Calibración de una máquina de prueba

f) Evaluación y Acreditación de Laboratorios

Un aspecto fundamental, en la implantación de un sistema de control de calidad en la industria de la construcción, es la acreditación de laboratorios, regulada por la Ley Federal de Metrología y Normalización. A partir de la puesta en vigor de esta Ley, se han creado organismos que son básicos para promover la mejora de la calidad.

En cuanto a la construcción, ha sido importante la creación del organismo Entidad Mexicana de Acreditamiento (EMA), la cual tiene a su cargo la evaluación de los laboratorios de diversas áreas de producción y servicios, entre los que se incluyen los que apoyan la construcción de obras civiles.

La EMA depende de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI) y está conformada por representantes de las dependencias federales y estatales que realizan obras civiles, así como por empresas de la iniciativa privada, interesadas en beneficiarse con la implantación de estos novedosos sistemas de calidad.

Las Normas Mexicanas, reconocidas con las siglas NMX, son normas voluntarias de aplicación nacional para apoyar la ejecución de las obras públicas y privadas. Se les considera así porque no tienen aplicación obligatoria, a menos que las partes involucradas en un contrato hagan su aplicación obligatoria para los trabajos objeto de dicho contrato.

La propia Ley Federal de Normalización y Metrología indica que todas las dependencias y organismos estatales del Gobierno Federal están obligadas al empleo de normas mexicanas cuando sean aplicables a los trabajos a su cargo, como es la contratación de laboratorios de prueba y de calibración, que sean acreditados por la EMA.

En la práctica, este ordenamiento no se ha cumplido porque las normas Mexicanas en vigor sólo cubren parcialmente los requisitos de calidad que se exigen para los materiales, equipos y servicios de obras públicas.

Actualmente la EMA ha acreditado a muchos laboratorios que realizan pruebas en concreto hidráulico, pero en el área de pavimentación, sólo ha acreditado a un número muy reducido de laboratorios en el ámbito nacional.

Esta situación no ha permitido que las dependencias oficiales, ejecutoras de obras de pavimentación, únicamente contraten laboratorios acreditados o exijan a las empresas constructoras contratadas que sólo empleen laboratorios acreditados por la EMA.

Es conveniente comentar que las Normas que se exigen para evaluar a los laboratorios interesados en acreditarse, se basan en las Normas Internacionales de Aseguramiento de Calidad, universalmente conocidas como Normas ISO 9000.

También hay que señalar que las Normas ISO se han estado aplicando con mucho éxito en otras áreas de fabricación, manufactura, industrial y de servicios del país. Las empresas de estas áreas han logrado el reconocimiento de la aplicación de sus sistemas de calidad, mediante la certificación de empresas internacionales reconocidas en sistemas de calidad.

Como puede observarse, las Normas de aseguramiento consideran totalmente los aspectos que tienen que ver con la confiabilidad que es necesario lograr para que también los laboratorios obtengan resultados de calidad confiables.

Sin embargo, como el proceso de acreditación no ha producido el número suficiente de laboratorios para que este requisito se incluya en las licitaciones de las obras carreteras, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) ha tenido necesidad de utilizar internamente las ventajas que aportan las Norma ISO, para evaluar y aprobar a los laboratorios que participan en la ejecución de las obras a su cargo.

Primeramente, para que las empresas interesadas participen en las licitaciones sobre construcción de carreteras, se les exige que en forma previa soliciten a la Dirección General de Servicios Técnicos (DGST) de la SCT, la evaluación de su laboratorio, y en los casos que resulten procedentes se les extiende una constancia de aprobación, válida únicamente para la obra en la que les interese participar.

A partir de 1999, la DGST evalúa a los laboratorios contratados por las Direcciones Generales de Carreteras y de Conservación de Carreteras (DGC y DGCC) para la supervisión de sus obras, así como a los laboratorios contratados para realizar verificación de calidad.

El resultado de estas evaluaciones se informa a las Residencias de Obra de la SCT, responsables de los trabajos por ejecutar, efectuando las observaciones y recomendaciones necesarias para que los laboratorios evaluados estén en mejor posibilidad de desarrollar su importante función.

También conviene destacar que a partir del año 2000, se dispone de la **Norma N·CAL·1·01/05** Ejecución del Control de Calidad durante la Construcción o Conservación y de **N·CAL·2·05·001/05** Aprobación de Laboratorios, de la Normativa SCT, las cuales están apegadas a las normas sobre aseguramiento de calidad y tienen el propósito de que su aplicación en proyectos futuros permita exigir que los laboratorios que trabajen en las obras a su cargo cumplan con los lineamientos de aseguramiento de calidad ISO.

Es importante aclarar que las acciones de evaluación de laboratorios que actualmente realiza la SCT, no pretenden soslayar la atribución del acreditamiento de laboratorios conferida por la Ley a la Entidad Mexicana de Acreditación, sino que se realizan como una etapa transitoria, la cual concluirá cuando existan en el país un número suficiente de laboratorios acreditados que puedan cubrir la atención de las obras de la SCT.

Cuando esto suceda, en todas las licitaciones de la SCT se considerará como requisito indispensable que los laboratorios participantes estén debidamente acreditados por la EMA.

g) Certificación de Productos

Otro de los elementos que contribuyen a mejorar la confiabilidad de un sistema de control de calidad, lo constituye la certificación de productos.

La Ley Federal de Normalización y Metrología ha establecido también la Dependencia denominada Organismo Nacional Normalización de Certificación para la Construcción y Edificación (ONNCCE), que entre sus atribuciones está la de extender certificados de productos a las empresas que cumplan una serie de requisitos

basados en las normas de aseguramiento de calidad, para reconocer que el producto certificado fue producido aplicando un sistema de calidad basado en la Normas ISO.

Este reconocimiento, pero sobre todo la manera en que se obtiene un producto, constituye una garantía de su calidad consistente y uniforme, que cumple con los requisitos del diseño o del tipo de producto de que se trate.

Lo anterior en muy importante para la industria de la construcción, porque en la edificación y en las obras viales se utilizan muchos materiales de tipo industrializado y de los cuales el constructor no puede verificar si cuentan con la calidad requerida en los proyectos.

Actualmente ya existen muchos productos que han logrado ser certificados por el ONNCCE, destacando los elementos prefabricados de concreto. Sin embargo, en el área de pavimentos, pocos son los materiales o productos que actualmente se encuentran en proceso de obtener la certificación.

No obstante lo anterior, se considera que en un futuro mediato las dependencias encargadas de la construcción y mantenimiento de carreteras, cada vez más deberán incluir en sus proyectos el uso de materiales que cuenten con la certificación del ONNCCE.

También es importante destacar que en la Normativa Técnica de la SCT, sobre calidad de materiales, se indica la exigencia de certificados de calidad a las empresas constructoras o proveedoras, que deben ser formulados por sus propios laboratorios o por los laboratorios contratados por ellos y que hayan sido previamente aprobados por la SCT.

Aplicación del Control y Verificación de Calidad

Atribuciones y Responsabilidades

Al considerar en el ámbito de las vías terrestres que el control de calidad es “el conjunto de actividades que permiten al ejecutante de una acción informarse del resultado de su actuación”, se ha generalizado la idea de que al contar una Empresa Constructora con un laboratorio que le informe el resultado de la calidad que va obteniendo, con eso se está realizando el control de calidad. Sin embargo, conviene recordar que la calidad de una obra depende de la materia prima utilizada, de los equipos de trabajo disponibles y del procedimiento constructivo aplicado.

Si el Constructor cuenta con equipos adecuados al tipo de trabajo por ejecutar, con operadores capacitados y sobre todo con materiales que cumplan con las especificaciones del proyecto, la aplicación de un adecuado procedimiento constructivo seguramente dará como resultado una obra de la calidad requerida; luego entonces un laboratorio, cuya función es evaluar de manera oportuna y confiable la calidad que se va obteniendo durante el proceso de construcción, sólo proporciona información que le permite al Constructor corregir desvíos, afinar el proceso o tener la confianza de que está cumpliendo con lo indicado en el proyecto.

Si un laboratorio de control de calidad genera información de que se está presentando calidad deficiente en una obra y el Constructor no toma acciones para mejorarla, en ese caso más vale que cuando menos se ahorre el costo de su laboratorio.

Lo anterior permite recordar que el objetivo principal del control de calidad en las obras viales, como también en la fabricación de productos o de otros tipos de obra, es garantizar que se está obteniendo lo requerido, en el menor tiempo y sin desperdicio de materiales. El control de calidad le permite al Constructor ahorros de tiempo y de recursos, así como el óptimo aprovechamiento de sus equipos.

Adicionalmente, como ya se comentó al principio, el control de calidad le permite al Constructor evitar discusiones con la Dependencia contratante y mejorar su capacidad y prestigio para lograr otros contratos.

Para la verificación de calidad se establece lo que le corresponde al dueño de la obra realizarla. Esta actividad, basada principalmente en la revisión y aprobación del control de calidad del ejecutor, complementada con muestreo aislado y con una evaluación de la calidad para definir la confiabilidad del proceso y la aceptación de la obra, resulta muy necesaria.

Sin embargo, en obras viales es común utilizar materiales y productos de tipo industrializado que al llegar a la obra ya tienen una calidad determinada y generalmente no podrá ser cambiada en el lugar; tal es el caso de: materiales como los cementos y emulsiones asfálticas, el cemento portland, los productos de acero y el acero de refuerzo, los elementos prefabricados, los neoprenos, las pinturas, etcétera.

A estos materiales en su proceso de producción seguramente se les aplica un control de calidad y de acuerdo a las características especificados para una obra, se suministra el tipo o el producto requerido; en estos casos, le corresponde al constructor asegurarse de que efectivamente está obteniendo el tipo y la calidad solicitados y para ello también requiere efectuar un proceso de verificación semejante al comentado antes para el dueño de la obra. Esta situación requeriría del apoyo de laboratorios especializados, por los equipos y pruebas a efectuar, lo cual no resulta posible en la práctica.

Para atender estos requerimientos, resulta muy necesaria la implantación de la "certificación de productos" de tipo industrializado, para que sean las propias empresas productoras las que garanticen la calidad solicitada.

Actualmente algunas industrias ya tienen posibilidad de extender estos certificados, como Petróleos Mexicanos en el suministro de asfaltos, o la industria cementera, pero sería deseable que esto fuera una exigencia para todo tipo de producto industrializado y que estos productos estuvieran respaldados por Instituciones Internacionales, que acrediten la aplicación de sistemas de aseguramiento de calidad en su proceso productivo.

Lo anterior significa delimitar la responsabilidad del constructor en la calidad de las obras y compromete a los proveedores de los materiales industrializados en respaldar la calidad de sus productos.

Muestreo, Métodos de Prueba y Requisitos de Calidad

Es importante comentar que durante el muestreo y en la determinación de la calidad, se aplican criterios y procedimientos de prueba que están contenidos en las Normas y Métodos de la Normativa SCT. Sin embargo, es conveniente aclarar que en las Normas SCT se describen diversas posibilidades de muestreo (en el banco, en su producción, en almacenamiento y en la obra), así como las pruebas que también es posible aplicar a cada tipo de material para obtener su calidad, sin que se aclare la forma de aplicarlas.

Esto propicia que los laboratorios obtengan muchas muestras de un mismo material y que a estas muestras se les apliquen todas las pruebas indicadas, lo cual da como resultado un excesivo empleo de recursos materiales y del personal, así como el desgaste y deterioro de los equipos de prueba; por otra parte, los informes de calidad obtenidos con todos las características del material, sólo son aprovechados para juzgar aquellas características que son significativas durante el cumplimiento de los requisitos de proyecto.

Como ejemplo de lo anterior, se analiza el caso de un material para base hidráulica, al cual es posible efectuarle las once (11) pruebas siguientes:

1. Masa Volumétrica Seca Suelta
2. Masa Volumétrica Seca Máxima
3. Granulometría
4. Límite Líquido
5. Índice Plástico
6. Absorción
7. Densidad
8. Equivalente de Arena
9. Desgaste Los Ángeles
10. Valor Soporte de California Estándar (CBR)

11. Afinidad con el asfalto

Una vez definido el banco de material pétreo y el tratamiento para obtener el material de base, difícilmente variarán significativamente algunas características del material, como son: la Absorción, la Densidad, el Desgaste los Ángeles y su Afinidad con el asfalto.

Otros parámetros quedan condicionados a la variación de la granulometría y/o de la plasticidad, como son la Masa Volumétrica Seca Suelta, la Masa Volumétrica Seca Máxima y el CBR Estándar.

Finalmente, sólo se tienen 3 características cuya variación afecta la calidad del material, con amplias posibilidades de no hacerlo aceptable: la granulometría, los límites de plasticidad y el equivalente de arena.

De estas últimas características se ha demostrado que el índice de equivalente de arena es un parámetro muy sensible para evaluar la variación de la plasticidad del material y del contenido de finos, por lo que en un proceso de control de calidad, sólo resulta necesario evaluar la variación de materiales a través de la granulometría y del equivalente de arena, siempre y cuando se haya comprobado previamente que el material del banco seleccionado y su tratamiento aplicado, permitan obtener un material aceptable de acuerdo al proyecto.

Considerando lo anterior, en un material de base hidráulica sólo conviene efectuar dos (2) pruebas de manera permanente (durante el proceso de producción del material) para controlar su calidad. Sin embargo, se requiere de un muestreo continuo durante la producción, para estar al pendiente de que no se produzcan volúmenes importantes de material con calidad deficiente, antes de efectuar correcciones en el proceso.

El ejemplo planteado permite concluir que la frecuencia de muestreo y las pruebas a aplicar pueden variar, dependiendo de la función o el tipo de trabajo que realice un laboratorio.

- Si se encuentra en la etapa de estudio preliminar para seleccionar un banco de materiales, se efectuará un tipo de muestreo y se aplicará una serie de pruebas índice particulares a este caso.
- Si se realiza un estudio definitivo de banco, se muestreará el material lo más exhaustivamente posible y se efectuarán todas las pruebas de calidad que permitan definir el rango de variación de calidad del material en estado natural, para seleccionar el o los tratamientos que serán necesarios aplicar para que cumpla con los requisitos de proyecto.
- Si se apoya el proceso de obtención o producción de materiales, el control de calidad requerirá una frecuencia alta de muestreo y la ejecución de sólo las pruebas más significativas.
- Si se efectúa una verificación de calidad, se requerirá una menor frecuencia de muestreo y seleccionar las pruebas que permitan la aceptación del material; y finalmente.
- Si se trata de una evaluación de la calidad del material existente en una obra en operación, la frecuencia de muestreo queda definida por el tipo de estudio y la importancia de la obra. Las pruebas a aplicar serán las que permitan valorar el tipo del material y su comportamiento en la estructura del pavimento.

La definición de las frecuencias de muestreo y de las pruebas a aplicar en cada una de las etapas antes consideradas, es responsabilidad de la Dependencia contratante, lo cual permite orientar a los laboratorios participantes en el estudio y en la ejecución de las obras.

Actualmente, la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT cuenta con una serie de criterios de muestreo y pruebas de calidad para los suelos y materiales pétreos de mayor uso en las obras viales, los cuales están en etapa de aplicación por parte de las Unidades Generales de Servicios Técnicos de los Centros SCT y de las Empresas contratadas, para atender el control y la verificación de calidad, durante la ejecución de las obras.

Los criterios de muestreo de los materiales más comunes, utilizados en las conservación de carreteras, pueden observarse en la Tabla 7.2.1; criterios que también pueden consultarse en la Normativa SCT vigente, haciéndose notar que las frecuencias de muestreo consideran una relación de 1 a 10 entre los criterios de control y los de verificación de calidad, que aplica actualmente la Dirección General de Servicios Técnicos.
Por lo que respecta a los métodos de prueba para determinar las características de los materiales, también puede consultarse el Libro de Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales (MMP), de la Normativa SCT.

A manera de ejemplo, en las Tablas 7.2.2 a 7.2.4 se indican las características y métodos de prueba de los materiales que se utilizan en los trabajos de conservación de pavimentos.

Tipo de Material:	Criterio de Muestreo: una muestra por cada	
	Control de Calidad	Verificación de Calidad
Material Pétreo para:		
• Cuerpo de Terraplén	1,000 m^3	10,000 m^3
• Capa Subyacente	800 m^3	8,000 m^3
• Capa Subrasante	500 m^3	5,000 m^3
• Subbase y Base	400 m^3	4,000 m^3
• Mezcla Asfáltica	250 m^3	2,500 m^3
• Riego de Sello	200 m^3	2,000 m^3
• Concreto Hidráulico	25 m^3	250 m^3
Otros Materiales:		
• Materiales Asfálticos	Autotanque de 36,000 litros	10 Autotanques de 36,000 llitros c/u
• Mezcla Asfáltica	250 m^3	2,500 m^3
• Concreto Hidráulico a Compresión	5 muestras/50 m^3	5 muestras /500 m^3
• Concreto Hidráulico a Tensión	3 muestras/50 m^3	3 muestras/500 m^3
• Acero de refuerzo	10 ton (1 muestra de 4 varillas)	20 ton (1 muestra de 4 varillas)
• Pintura base solvente (Horizontal)	4,000 l	40,000 l
• Pintura base solvente (Vertical)	2,000 l	20,000 l
• Pintura termo-plástica (Horizontal)	20,000 kg	200,000 kg

Tabla 7.2.1. Frecuencias de muestreo que aplica la SCT en los materiales más comunes de carreteras

Parámetros de Calidad para Materiales que se Utilizan en Terracerías	Referencia Normativa SCT
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M·MMP·1·02
Contenido de Agua	M·MMP·1·04
Densidades Relativas y Absorción	M·MMP·1·05
Granulometría de Materiales Compactables para Terracerias	M·MMP·1·06
Límites de Consistencia	M·MMP·1·07
Masa Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica	M·MMP·1·08
Compactación AASHTO	M·MMP·1·09
Valor Soporte de California (CBR) y Expansión en Laboratorio	M·MMP·1·11
Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar	M·MMP·1·12

Tabla 7.2.2. Características de calidad de materiales para terracerías

También es importante señalar que la aplicación racional de criterios de muestreo y de las pruebas para determinar la calidad, permiten un mejor aprovechamiento de los equipos de laboratorio, mejorar la confiabilidad de los resultados de calidad (menor cantidad de pruebas contra mayor calidad) y reducir el costo de los laboratorios en el valor total de las obras, sin detrimento de los beneficios que se obtienen con la aplicación del Sistema de Control y Verificación de Calidad, definidos para las obras de infraestructura del transporte.

Parámetros de Calidad para Materiales Pétreos que se Utilizan en Mezclas Asfálticas	Referencia Normativa SCT
Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·002
Densidad Relativa de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·003
Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·004
Partículas Alargadas y Lajeadas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·005
Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·006
Intemperismo Acelerado de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·008
Desprendimiento por Fricción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·009
Cubrimiento de Asfalto Mediante el Método Inglés de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·010
Partículas Trituradas de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·013
Azul de Metileno de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·014

Tabla 7.2.3. Características de calidad de los materiales pétreos que se utilizan en mezclas asfálticas

Parámetro de calidad para Materiales Asfálticos que se utilizan en Tratamientos Superficiales y Mezclas Asfálticas	Referencia Normativa SCT
Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·002
Viscosidad Cinemática de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·003
Viscosidad Saybolt Furol en Material Asfáltico	M·MMP·4·05·004
Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·005
Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·006
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·007
Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·008
Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·009
Pruebas en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos	M·MMP·4·05·010
Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos	M·MMP·4·05·011
Destilación de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·012
Asentamiento de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·013
Retenido en las Mallas Núm. 20 y 60 en Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·014
Cubrimiento del Agregado en Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·015
Miscibilidad con Cemento Portland de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·016
Carga Eléctrica de las Partículas de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·017
Demulsibilidad de Emulsiones Asfálticas	M·MMP·4·05·018
Índice de Ruptura de Emulsiones Asfálticas Catiónicas	M·MMP·4·05·019
Punto de Inflamación Tag en Asfaltos Rebajados	M·MMP·4·05·020
Destilación de Asfaltos Rebajados	M·MMP·4·05·021
Separación en Cemento Asfáltico Modificado	M·MMP·4·05·022
Resilencia en Cemento Asfáltico Modificado	M·MMP·4·05·023
Recuperación Elástica por Torsión en Cemento Asfáltico. Modificado	M·MMP·4·05·024
Módulo Reológico de Corte Dinámico	M·MMP·4·05·025
Recuperación Elástica en Ductilómetro	M·MMP·4·05·026

Tabla 7.2.4. Características de calidad de materiales asfálticos que se utilizan en pavimentos

La evaluación de las características de calidad de los materiales utilizados en los trabajos de conservación de carreteras deben estar referidos, en cada proyecto por ejecutar, a través de una Especificación Particular. Sin embargo, en la Normativa SCT, en el Libro de Características de los Materiales (CMT) pueden consultarse los requisitos de calidad de los materiales que se utilizan principalmente.

En la Tabla 7.2.5 se presenta un resumen de las Normas de Calidad de los Materiales, contenidos en la Normativa SCT, de aquellos de mayor aplicación en la conservación de carreteras.

Título de la Norma sobre Requisitos de Calidad	Referencia en la Normativa SCT
Materiales para Terraplén	CMT·1·01
Materiales para Subyacente	CMT·1·02
Materiales para Subrasante	CMT·1·03
Materiales para Mamposterías	CMT·2·01
Materiales para Concreto Hidráulico	CMT·2·02
Acero y Productos de Acero	CMT·2·03
Soldadura	CMT·2·04
Pintura para Recubrimiento de Estructuras	CMT·2·07
Placas y Apoyos Integrales de Neopreno	CMT·2·08
Apoyos Especiales para Puentes	CMT·2·09
Materiales para Revestimiento	CMT·4·01
Materiales para Subbases y Bases	CMT·4·02
Materiales para Estabilizaciones	CMT·4·03
Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	CMT·4·04
Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas	CMT·4·05
Pinturas	CMT·5·01
Acero para Señales y Dispositivos de Seguridad	CMT·5·02
Materiales Reflejantes	CMT·5·03
Botones y Botones Reflejantes	CMT·5·04
Geosintéticos	CMT·6·01

Tabla 7.2.5. Referencias de normas de calidad de los materiales comunes de carreteras

Recomendaciones para Implantar un Plan de Calidad para la Conservación de Carreteras

En la implantación de un Sistema de Aseguramiento de Calidad, es hace muy necesario contar con lineamientos de carácter general que definan las responsabilidades de todas las partes que intervienen en los procesos de las obras, sus esquemas de interrelación y los alcances y recursos para alcanzar la calidad. Por tanto, resulta necesario que se disponga y aplique un Plan de Calidad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para la conservación de las obras de infraestructura carretera.

Se propone y recomienda que en este Plan de Calidad para las obras viales, se incluyan los aspectos siguientes:

- Definición de términos y de las partes actuantes en el Sistema.
- Asignación de atribuciones y responsabilidades de las partes.
- Definición de las condiciones mínimas para aceptar la participación de Empresas en el concurso de las obras y aprovisionamiento de materiales, con base en su capacidad de producción comprobable y disponible para la obra, control de calidad aplicable, certificación de sus productos o acreditamiento de sus sistemas de trabajo y experiencias anteriores.
- Exigencia y evaluación de un Programa de Control de Calidad que propongan las empresas concursantes para la obra, como aspecto determinante para definir la selección de la empresa ganadora y comprometer la aplicación del programa propuesto, durante el desarrollo de la obra.

- Certificación de productos con base en una normativa de calidad reconocida internacionalmente (ISO), para los proveedores de materiales industrializados.
- Aplicación de criterios de control y verificación de calidad para aceptación o rechazo para cada tipo de producto y en función de la importancia de la obra, con base en la teoría estadística de muestreo, para lograr representatividad de la producción, así como de la aplicación de pruebas significativas de la calidad, que aseguren objetividad y oportunidad.
- Establecimiento y aplicación efectiva de sanciones para el constructor y/o el proveedor, para obligar al cumplimiento del proyecto.
- Formulación y aplicación de un Manual de Supervisión de las obras para la propia Dependencia contratante y para la Empresa contratada, que defina atribuciones y responsabilidades, procedimientos de la supervisión, criterios de aceptación o rechazo y asignación de sanciones económicas.

Comentarios Finales

El Control de Calidad es un sistema que permite valorar las características de interés de un producto, comparar estos valores con los requisitos del proyecto o diseño, evaluar las desviaciones de calidad que presenta el proceso productivo, identificando sus causas, y finalmente, efectuar las acciones que corrijan las deficiencias observadas.

El Control de Calidad no es un procedimiento de tipo “policiaco” que obstaculiza los avances, sino que es un mecanismo que incide en el proceso productivo para corregir desviaciones y eliminar tendencias y causas de calidad indeseables.

Una calidad inadecuada y variable en la construcción, generalmente provoca rechazos, reprocesos, repeticiones, retrasos y desperdicios, cuyos costos pueden reducir ostensiblemente las utilidades de la Empresa y afectar su prestigio.

Para reducir estos costos, el control de calidad maneja como filosofía que: “si las cosas se hicieran bien desde la primera vez, prácticamente no habría problemas de fallas y retrasos” y que: “lograr buena calidad tiene un costo, pero el costo de la mala calidad, siempre es mayor”.

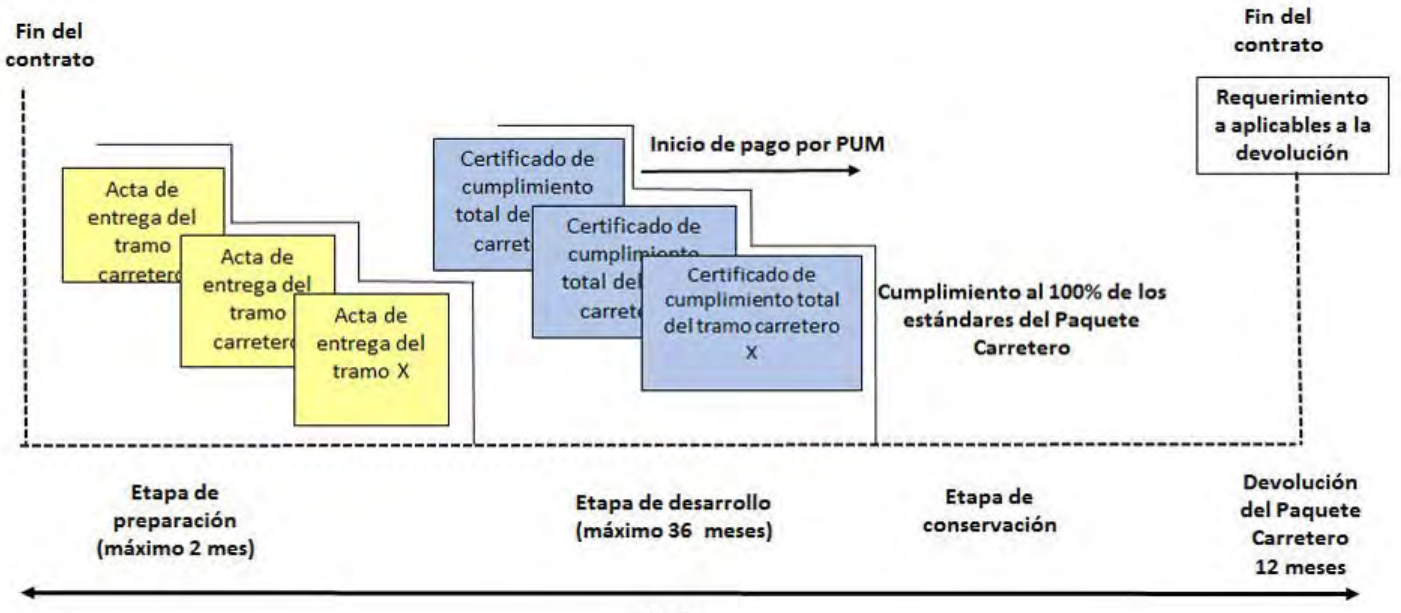
De acuerdo con estos postulados, se puede esperar que un buen control de calidad aporte los siguientes beneficios: internamente las empresas incrementan su productividad y la satisfacción por el trabajo, obteniendo costos de producción menores, mientras que externamente los clientes se muestran satisfechos y se obtiene una mayor participación en el mercado. Con la conjunción de estos beneficios, finalmente se pueden esperar ingresos mayores y la consolidación y el crecimiento de las empresas.

El control de calidad tiene como cualidades esenciales la economía, la confiabilidad y la oportunidad considerando las siguientes cuestiones:

- Para que sea costeable, debe estar enfocado a la evaluación de las características principales del producto, cuyos efectos incidan en su comportamiento y duración.
- Para que sea confiable, debe hacer uso de criterios de muestreo aleatorios, que aseguren la representatividad de la construcción en estudio, aplicar métodos estándar de prueba, así como aplicar a los resultados obtenidos una evaluación estadística, que aseguren tendencias o desvíos de la calidad.
- Y se requiere que sea oportuno, para que con las acciones correctivas o de ajuste que haya que hacer en el proceso productivo o de construcción, se optimice la utilización de los recursos disponibles, con las menores pérdidas económicas y de tiempo.

Es importante insistir en que el cumplimiento de la calidad del proyecto tiene como objetivo principal lograr una obra con el comportamiento y la durabilidad previstos, con un elevado y consistente nivel de servicio, que satisfaga ampliamente las expectativas de los usuarios de las carreteras.

8. Esquema de Contratación para la Conservación de Carreteras





8. ESQUEMAS DE CONTRATACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

Aspectos Legales Básicos de la Contratación

La ejecución de la obra pública está regulada en el Artículo 134 de la Constitución Política de Los Estados Unidos Mexicanos, que en 1917 decía:

"Todos los contratos que el gobierno tenga que celebrar para la ejecución de obras públicas, serán adjudicados en subasta, mediante convocatoria y para que se presenten proposiciones en sobre cerrado, que será abierto en junta pública."

La ejecución de obra pública debe respetar el siguiente marco legal:

1. Constitución
2. Ley
3. Reglamento
4. Políticas, Bases y Lineamientos
5. Contrato
6. Proyecto–Normas–Especificaciones, Bases de Licitación
7. Bitácora

El Artículo 3° de la Ley, Precisa

"Se consideran obras públicas los trabajos que tengan por objeto construir, instalar, ampliar, adecuar, remodelar, restaurar, conservar, mantener, modificar, y demoler bienes inmuebles."

Las Leyes que deben tomarse en cuenta en el desarrollo de la actividad de conservación de carreteras y que tienen incidencia directa en las actuaciones de cada etapa son:

a) Ley de Federal de Presupuesto y Responsabilidad Hacendaria
b) Ley de Planeación
c) Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
d) Ley General de Bienes Nacionales
e) Ley General de Deuda Pública
f) Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos
g) Ley Sobre la Celebración de Tratados
h) Ley del Diario Oficial de la Federación y Gacetas gubernamentales
i) Presupuesto de Egresos de la Federación
j) Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público
k) Precio Unitario. El importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al contratista se hará por unidad de concepto de trabajo terminado.

Formas de contratación de obras públicas y servicios relacionados, según el Artículo 27 de la Ley:

a) Licitación pública

b) Invitación a cuando menos 3 personas

c) Adjudicación directa

Tipos de licitación pública:

NACIONAL. Cuando únicamente puedan participar personas físicas y morales de nacionalidad mexicana.

INTERNACIONAL. Cuando puedan participar tanto personas físicas y morales de nacionalidad mexicana como extranjera.

Proceso de Licitación

Se inicia con la publicación de la convocatoria y concluye con la emisión del fallo. Para mejor entendimiento se listan las etapas más importantes:

Visita al Sitio de Realización de los Trabajos. Cuando proceda, lugar, fecha y hora para la visita o visitas al sitio de realización de los trabajos, la que debe llevarse a cabo dentro del período comprendido entre el cuarto día natural siguiente a aquél en que se publique la convocatoria y el sexto día natural previo al acto de presentación y apertura de proposiciones. Artículo 31. fracción IX de la Ley.

Junta de Aclaraciones. La fecha, hora y lugar de la primera junta de aclaraciones a la convocatoria de la licitación, siendo optativa la asistencia a las reuniones que, en su caso, se realicen. Levantar un acta. Difundir electrónicamente. Se podrán llevar a cabo tantas como se necesiten. Artículo 31. fracción X de la Ley.

Entrega de Proposiciones. Se hará en dos sobres cerrados que contendrán, por separado, la propuesta técnica y la propuesta económica. La documentación distinta a las propuestas podrá entregarse, a elección del licitante, dentro o fuera del sobre que contenga la técnica. Artículo 36 de la Ley.

Solvencia. Las dependencias y entidades para hacer la evaluación de las proposiciones deberán verificar que las mismas cumplan con los requisitos solicitados en la convocatoria a la licitación. Para tal efecto, la convocante deberá establecer los procedimientos y los criterios claros y detallados para determinar la solvencia de las proposiciones, dependiendo de las características, complejidad y magnitud de los trabajos por realizar. Artículo 38 de la Ley.

Fallo. En junta pública se dará a conocer el fallo de la licitación, a la que libremente podrán asistir los licitantes que hubieren presentado proposiciones, entregándoseles copia del mismo y levantándose el acta respectiva. Asimismo, el contenido del fallo se difundirá a través de CompraNet, el mismo día en que se emita. Artículo 39 de la Ley.

Tipos de Contratos de Obras Públicas y Servicios Relacionados (Artículo 45 de la Ley)

Precio Alzado. El importe de la remuneración o pago total fijo que deba cubrirse al contratista será por los trabajos totalmente terminados y ejecutados en el plazo establecido.

Precio Unitario. El importe de la remuneración o pago total que deba cubrirse al contratista se hará por unidad de concepto de trabajo terminado.

Mixtos. Cuando contengan una parte de los trabajos sobre la base de precios unitarios y otra, a precio alzado.

Amortización Programada. Pago total acordado en el contrato de las obras públicas relacionadas con proyectos de infraestructura.

El Contrato (Artículo 46 de la Ley)

El contrato es el instrumento jurídico que vincula a la partes en sus derechos y obligaciones.

Atendiendo a la naturaleza y a las características particulares de la obra, puedan incorporarse otras estipulaciones, siempre y cuando con ellas no se desvirtúe el tipo de contrato concursado.

Forman parte del contrato: Las bases de licitación, anexos técnicos, presupuesto, planos, especificaciones y la bitácora electrónica.

Tipos de Contratación en la Conservación de Carreteras

La contratación de la conservación de carreteras ha sido un tema de constante evolución. Hasta antes de que se promulgara la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LEY) y su Reglamento, las actividades de conservación en carreteras se realizaban por Administración Directa (Artículo 70 de la Ley); es decir, se usaban los propios medios con que contaba la Dependencia para ejecutar los trabajos, adquirir los materiales, dar mantenimiento a la plantilla vehicular, fabricar elementos o productos complementarios (mezcla asfáltica o concreto asfáltico) y controlar la calidad, entre otros.

Esta forma de trabajo empezó a ser cuestionada por diversas razones:

a) Bajos rendimientos y por tanto, altos costos

b) Problemas con los sindicatos

c) Horarios laborales cortos (de 7 am a 3 pm) y poco aprovechamiento del mismo

d) Costos excesivos en el mantenimiento de los vehículos, equipo y maquinaria de construcción y, la antigüedad del mismo

e) Mínima rendición de cuentas

Contratos de Conservación Rutinaria

Estos trabajos contratados bajo el esquema de precios unitarios y tiempo determinado, comenzaron en los inicios de los años 90´s. Empezó con proyectos piloto en prácticamente todas las entidades del país, contratos anuales en los que se agruparon los conceptos de trabajo que se consideraba la columna vertebral de la conservación: Bacheo, renivelaciones de no más de 50 m^3, riegos de sello aislados en no más de 1,000 m, deshierbe, limpieza y desazolve de cunetas y alcantarillas, reparaciones menores de aleros o cabezotes en alcantarillas, retiro de derrumbes menores o restitución de deslaves. Las longitudes no excedían los 100 km para cada contrato.

A mediados de esa década, se buscó reducir los tiempos invertidos en las licitaciones y optimizar los recursos tanto de la Dependencia como de los contratistas, de modo que la inversión en compra de equipo y la certeza ocupacional fueran más atractivas. Para lograrlo se propuso a la SHCP la contratación bianual de estas obras y, después de intensas gestiones, se autorizó esta modalidad de contratación plurianual.

Logros obtenidos con la contratación de la Conservación Rutinaria Bianual:

a) Fue más atractivo para los contratistas.

b) Hubo presencia permanente de las cuadrillas de conservación en los tramos carreteros.

c) La calidad de los trabajos aumentó, al responsabilizar a la Contratista del cumplimiento de la misma.

d) Se generó la conciencia de la rendición de cuentas al pagar mediante estimaciones mensuales solamente los trabajos ejecutados.

e) Se disminuyeron los desperdicios y los robos, al desaparecer los almacenes de asfaltos y las plataformas de materiales a cargo de la Dependencia.

f) Reducción de la plantilla del personal de base, que realizaba las actividades por administración directa.

Además de la Conservación rutinaria, el Programa Nacional de Conservación de Carreteras prevé la contratación de la Conservación Periódica y la Reconstrucción de tramos y puentes. Estos subprogramas se han realizado por contrato sobre la base de precios unitarios y tiempo determinado, aunque ya se empezaba a promover la contratación por Precio Alzado.

Contratos de Conservación Periódica y Reconstrucción

Son trabajos contratados bajo el esquema de Precio Unitario y Precio Alzado. Fue hasta el año de 1999 que se incursionó en la contratación bajo la modalidad de Precio Alzado, ésta propició un sin número de bondades:

a) Reducción de la incertidumbre del ejercicio presupuestal.

b) Se abarataron los montos de los contratos, debido a que no se permite la elaboración de convenios modificatorios.

c) Agilidad en el ejercicio presupuestal, debido a que se programa, ejecuta y paga por actividades principales.

d) Entre otras.

Los Subprogramas que se empezaron a contratar bajo esta modalidad son: Conservación periódica de tramos y Reconstrucción de tramos.

Programa Piloto de Mantenimiento Integral (PROPIMI)

Son trabajos contratados bajo el esquema de Mixtos. En el año 2001 la DGCC, en la busca de mayores retos, llevó a cabo nuevas alternativas para la atención de la conservación de la red de carreteras libre de peaje, aplicando soluciones innovadoras de contratación; fue así que propuso a las autoridades de la SCT la modalidad de contratos de Mantenimiento Integral.

A finales del año 2002, se implementó el denominado Programa Piloto de Mantenimiento Integral (PROPIMI) en la Carretera Federal Querétaro-San Luis Potosí, abarcando tres Entidades: Querétaro, Guanajuato y San Luís Potosí, teniendo como finalidad agrupar en un solo contrato las diferentes actividades de conservación: Rutinaria, Periódica o Reconstrucciones de tramos y puentes, además de homologar la imagen de la Dependencia en todo el corredor carretero, que diera seguridad, confianza, certeza y una imagen de orden y calidad de los trabajos al usuario de las carreteras federales e igualmente dar a los contratistas certeza presupuestal que les permitiera amortizar los costos de inversión en capacitación y equipo de vanguardia. A este tipo de modalidad se le llamó Conservación bajo el esquema de Mantenimiento Integral. A continuación se muestra el desglose de la meta en km, de cada subprograma de conservación por entidad federativa cruzada por la Ruta 57. Ver Tabla 8.1.

TRABAJOS POR EJECUTAR

ENTIDAD FEDERATIVA	CONSERVACIÓN RUTINARIA	CONSERVACIÓN PERIÓDICA	RECONSTRUCIÓN
	META TOTAL (km)	META TOTAL (km)	META TOTAL (km)
QUERÉTARO	113,8	110,7	0,0
GUANAJUATO	176,0	54,0	4,0
SAN LUIS POTOSÍ	143,1	117,9	15,0
TOTAL	**432,9**	**282,6**	**19,0**

Tabla 8.1. Desglose de metas mantenimiento integral

Particularidad. Incluye en un solo contrato los trabajos de conservación rutinaria, conservación periódica, trabajos de reconstrucción de tramos, servicios de vialidad y vigilancia, gestión para la programación de los trabajos. Todo lo anterior para elevar los niveles de servicio a los usuarios y tener una disminución de los costos de transporte. Figuras 8.1 y 8.2. Mejorando aún más dicho esquema durante los años 2007 – 2009, se implementó el programa llamado "Programa de Mantenimiento Integral" (PROMAI), en el cual se incorporaron mejoras tangibles, siguiendo las premisas establecidas en el comienzo del concepto de Mantenimiento Integral.



Figura 8.1. Trabajos de pintura de raya

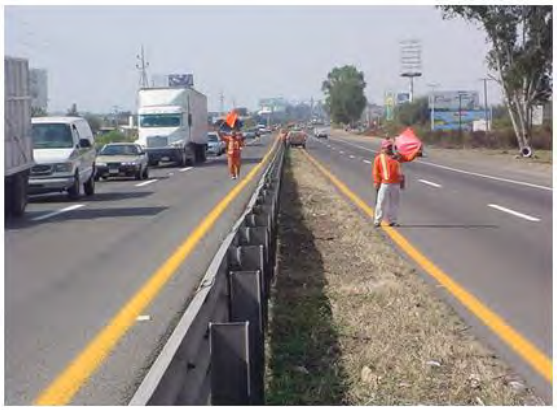


Figura 8.2. Trabajos de limpieza y pepena.

Como conceptos de innovación se incluye:

a) Gestión de trabajos que consiste en la programación, seguimiento y evaluación de los trabajos por parte de las empresas ejecutoras.

- Programación. Programación operativa de los trabajos propios del mantenimiento integral.
- Seguimiento. Información de las actividades realizadas, documentadas en formulario, el cual deberá estar actualizado.
- Evaluación. Análisis de las actividades realizadas, para verificar el cumplimiento de los objetivos.
- Inventario. Análisis de las características que definen las condiciones viales de los tramos.

b) Servicios de vialidad, que incluyen comunicaciones, vigilancia y atención de accidentes e incidentes.

- Servicios de comunicaciones. Establecer un centro de servicio permanente para la comunicación entre los participantes del mantenimiento integral y terceras personas (Comisión Federal de Electricidad, Teléfonos de México, Policía Federal Preventiva, etcétera) y en su caso, el usuario.

- Servicios de vigilancia. Comunicación de las anomalías del estado físico y funcionamiento de los tramos carreteros, para su atención correspondiente.

- Atención de accidentes e incidentes. Acción mediante la cual se ubica, señaliza y en su caso una incidencia en la carretera o consiguiente ayuda para solventarla.

c) Los beneficios de este proyecto son:

- Contratación global de las actividades de conservación de carreteras, con ahorro de recursos y trámites.
- Mayor seguridad y comodidad para los usuarios, con los servicios de vialidad.
- Mayor involucramiento y participación de las empresas a través del servicio de "Gestión de los Trabajos".

Para corroborar en forma más objetiva el éxito del proyecto, se han realizado encuestas entre los usuarios desde el año 2005, de las que se han obtenido, entre otros resultados:

- Que el 60% de los encuestados observó muchas veces a personal laborando en la carretera, el 39% en algunas ocasiones y sólo el 2% no vio trabajadores.
- El 81% percibió la existencia de vehículos para asistirlo en caso de una incidencia.
- El 93% percibió mejora en el estado físico de la carretera.
- El 99% manifestó que por sus condiciones físicas, la carretera le proporciona seguridad y confianza.

Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC)

Son trabajos contratados bajo el esquema de Precios Unitarios y Tiempo Determinado. De 2009 a 2014 se ha dado impulso a los contratos por precios unitarios y tiempo determinado, en los que se exige al contratista resultados basados en indicadores de desempeño. En estos contratos se busca entre otras cosas:

1. Contratar obras que atiendan integralmente todas las necesidades de conservación de una carretera, utilizando Indicadores de desempeño mediante los cuales se dé seguimiento al cumplimiento del contrato.

2. Que el sector privado tenga beneficios y economías de escala que se reflejarán en el precio ofertado a la Dependencia con:

   - Posibilidad de firmar contratos de suministro a mediano / largo plazo. Conlleva estabilidad de precios.
   - Incentivo a la eficiencia en la gestión y a la calidad en la ejecución de los trabajos. Evita sobrecostos y retrasos.
   - Amortización de la inversión en equipo de vanguardia.

3. El Estado se beneficiará con un menor número de licitaciones.

4. Reunir varias actividades en un solo contrato minimiza riesgos de integración y asegura, a través del mecanismo de pago por desempeño, que las actividades necesarias para conservar las carreteras se realicen oportunamente.

Objetivos del esquema propuesto:

a) Mejorar el servicio de seguridad, comodidad y economía que se proporciona a los usuarios en cada paquete carretero, mediante indicadores de desempeño.
b) Dar certidumbre presupuestal de largo plazo a la conservación de carreteras.
c) Modernizar la gestión de la red de carreteras federales, sin cancelar opciones para su futura, descentralización.
d) Promover el desarrollo de empresas especializadas en conservación de infraestructura vial.

Características del esquema:

a) Los Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC) están sujetos a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas y se propone otorgarlos por plazos entre cinco a diez años.

b) Su objeto será que el contratista realice trabajos de conservación en grupos de tramos de la red federal, para cumplir con los estándares de desempeño establecidos.

c) Los pagos de los trabajos se basarán en precios unitarios y una parte de ellos se sujetará a deducciones por incumplimiento de los estándares.

d) Antes de cada licitación, la SCT integrará un paquete de carreteras y definirá un proyecto de referencia para que los licitantes presenten su mejor oferta en los trabajos de conservación correspondientes.

e) Durante la vigencia del contrato, el proveedor elaborará proyectos específicos de conservación mayor que previamente sean aprobados por la SCT.

A partir del año 2009 la SCT licita el primer contrato de Obra bajo el esquema de Indicadores por resultados o estándares de Desempeño, llamados Contratos Plurianuales de Conservación de Carreteras (CPCC).

Estos contratos están sujetos a la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas (LOPSRM) y se otorgan por plazos de siete años. Los trabajos se efectúan con base en el cumplimiento de estándares de desempeño, lo que le permitirá a la Secretaría mejorar de manera sustancial el servicio a los usuarios y tener mayor certidumbre presupuestal para la conservación de los principales tramos federales del país; esto es, contar con un presupuesto irreductible.

Las obras y servicios que estarían a cargo del Contratista son los siguientes:

a) Servicios de vialidad para propiciar el uso seguro, cómodo y eficiente de las carreteras

b) Reconstrucción del pavimento y de puentes

Los criterios considerados para definir los paquetes a conservar mediante los CPCC son:

a) Aplicación prioritaria en tramos pertenecientes a corredores o a la red básica.

b) Tránsito promedio mayor de 7,000 vehículos diarios.

c) Continuidad de rutas específicas.

d) Longitudes que permitan obtener economías de escala en la gestión del sector privado (entre 400 y 700 km).

e) Aspectos sociales, económicos y estratégicos (tramos que llegan a ciudades importantes, tramos que representan la única vialidad entre dos ciudades o poblaciones, etcétera).

Forma de Pago

Para los trabajos de Reconstrucción, los pagos se harán por precio unitario por unidad de obra terminada (PUOT) y se irán activando o desactivando según se vayan cumpliendo o no, los indicadores de desempeño. Para evitar un esquema injusto para las partes, la Dependencia analizó varias alternativas, entre las que destacó:

Dividir el tramo carretero en segmentos homogéneos de modo que, al estar evaluando el cumplimiento de estándares en toda su longitud, la activación de indicadores fuera de unos cuantos segmentos específicos y no de

la totalidad, lo cual desanimaría al contratista, pues con un solo punto que no cumpliera correría el riesgo de no cobrar un solo peso. Esta estrategia fue la mejor opción y la más equitativa.

Los trabajos de conservación se pagarán por cumplimiento de estándares de desempeño o por precio unitario por obra terminada (PUOT). Esto es, todos los trabajos que se realicen en la Etapa Preparatoria, serán pagados por Precio por Unidad de Obra Terminada (PUOT), ya que son los que levantan cada elemento de la carretera al estándar esperado (cumplir con todos los indicadores de desempeño) de la forma tradicional, cuando ya se esté en la Etapa de Desarrollo y con la mayoría de los elementos activados por estándares. Se paga por un precio que fue analizado por mes (PUM) y no por el volumen ejecutado que, aunque sigue siendo Precio Unitario, éste ya fue analizado por mes como unidad de medida.

A manera esquemática y para mayor entendimiento, se ilustran a continuación las etapas que componen el esquema CPCC, aunque para más detalle el lector puede consultar los Apéndices que para este Capítulo se incluyen en esta Guía. Figura 8.3 y Tabla 8.2.

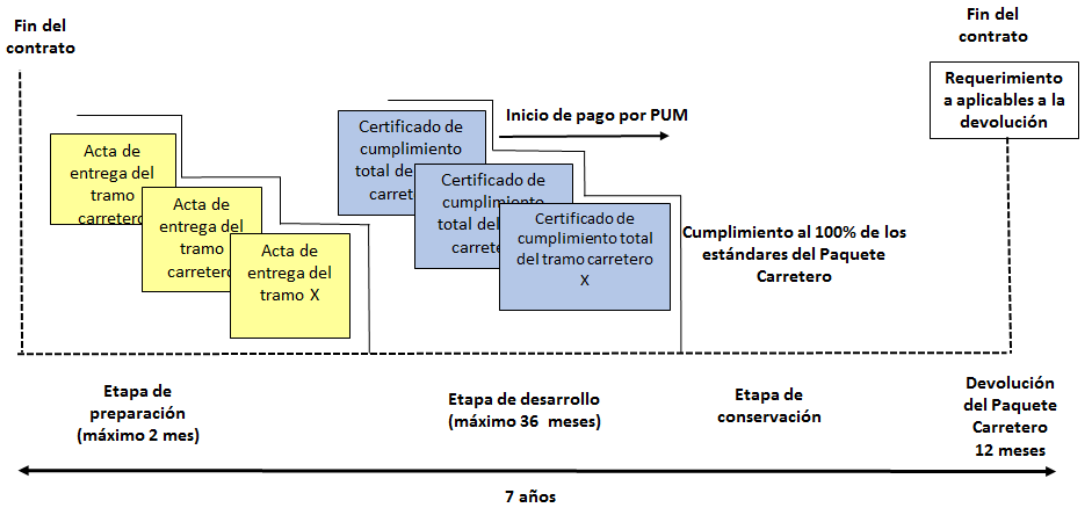


Figura 8.3. Etapa del esquema de pago CPCC

Etapas	Actividades
Preparatoria	Inicia con la firma del CPCC y termina cuando la SCT entrega al contratista cada uno de los tramos del paquete carretero, en un máximo de dos meses.
Desarrollo	Inicia para cada uno de los tramos cuando el contratista obtiene el certificado de inicio y concluye cuando cumple con el 100% de los estándares de desempeño requeridos y recibe el certificado de cumplimiento, en un plazo máximo de 36 meses.
Conservación	Inicia para cada uno de los tramos cuando el contratista obtiene el certificado de cumplimiento del tramo y concluye al término del plazo del contrato. En esta etapa el contratista deberá cumplir con los estándares de desempeño de cada tramo y de todo el paquete, con excepción de los plazos en que se lleván a cabo trabajos de reconstrucción. En el último año el contratista deberá efectuar trabajos para cumplir con los requerimientos técnicos a la devolución del paquete carretero de la SCT.

Tabla 8.2. Etapas y actividades CPCC

Beneficios Esperados

a) Elevación de la calidad del servicio
b) Estado físico 100% bueno al tercer año del contrato
c) Servicios viales conexos
d) Uniformidad de los tramos bajo un mismo CPCC
e) Ahorros en administración del programa, por reducir el número de contratos y de proveedores
f) Eficiencia en la gestión de los contratistas y traslado de beneficios a SCT
g) Planeación de largo plazo
h) Convenios con proveedores y compras de mayor escala
i) Amortización de inversiones y costos fijos
j) Trabajos de mayor calidad
k) Irreductibilidad de una parte significativa del gasto de conservación

Contratos con Esquemas de Asociaciones Público-Privadas

Son trabajos contratados bajo el esquema de Proyectos de inversión a largo plazo. Los esquemas de participación público-privada que la SCT desarrolló para canalizar la inversión privada a los proyectos camineros, son tres:

1. **Esquema de Concesiones.** Creado en 2003; los recursos públicos permiten que el resto de la inversión aportada por empresarios privados y bancos que les otorgan los créditos, sea recuperable y obtenga un rendimiento adecuado dentro del plazo de concesión.

2. **Esquema de Prestación de Servicios (PPS).** Creado en 2006; se concentra mayoritariamente en el desarrollo de proyectos de modernización de carreteras existentes libres de peaje, las cuales una vez modernizadas siguen operando en régimen libre del pago de cuotas.

3. **Esquema de Aprovechamiento de Activos.** Creado en 2007; es una variación del modelo de concesión que consiste en "empaquetar" activos carreteros existentes (por lo general pertenecientes al FONADIN) con nuevas carreteras de cuota por construir, de tal manera que a través de una licitación pública de la SCT se adjudique la concesión a un particular que opere, conserve y explote los activos existentes, construyendo las nuevas autopistas del paquete, para luego también operarlas y conservarlas.

Para mayor detalle y entendimiento de los aspectos técnicos de estos esquemas de contratación, consultar la sección de Apéndices de este Capítulo.

9. Atención de Emergencias



9. ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Introducción

Como es sabido, México por su ubicación geográfica y diversidad de climas es susceptible a sufrir afectaciones por fenómenos naturales extraordinarios tales como huracanes, tormentas tropicales, frentes fríos y sismos. Esto ha quedado evidenciado con los acontecimientos ocurridos en los últimos años. Figura 9.1.



Figura 9.1. Afectaciones por fenómenos naturales

Lo anterior ha obligado al Estado Mexicano a tomar medidas urgentes que eficienten la respuesta ante estos desastres, de modo que la conectividad se afecte el menor tiempo posible y se restablezca de manera pronta, tanto en carreteras, puentes, zonas urbanas y rurales, activando la economía y el flujo de personal y productos.

Cuando una región llega a ser afectada, la red carretera es determinante para llevar la ayuda a los sectores de la población afectados, así también la intervención de la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) con el Plan DN-III, da tranquilidad y confianza a las personas.

Esta circunstancia de vulnerabilidad y la importancia de la conectividad rápida y expedita, hacen necesaria la coordinación de diversas autoridades de los tres órdenes de gobierno. Hoy en día, la respuesta sigue siendo tardía; por eso, independientemente de que en esta Guía se citan como Apéndices las Reglas de operación del Fonden, es impostergable la aplicación de acciones y procedimientos homologados para la actuación de las Dependencias que tienen a su cargo la Operación y Conservación de las carreteras federales y estatales libres de peaje, las de cuota y concesionadas y los caminos rurales alimentadores.

La experiencia que cada entidad federativa ha tenido, buena o mala desde el punto de vista de la oportunidad de la respuesta, ha planteado la necesidad de contar con un procedimiento sencillo y práctico que sirva de guía para determinar el tipo de acciones antes, durante y después de la emergencia; sobre todo las acciones preventivas que pueden mitigar el daño o eficientar la respuesta ante éste.

Antecedentes

Frente a la eventualidad de un desastre natural, la respuesta tradicional del Gobierno Federal, así como de los gobiernos estatales y municipales, consistía en la reorientación del gasto presupuestado para reparar, en la medida de lo posible, los daños sufridos en la infraestructura física y para atender a la población damnificada.

Lo anterior provocaba que, en ocasiones, los programas normales de las Dependencias y Entidades a quienes correspondía la atención inmediata del desastre, sufrieran importantes modificaciones o no se cumplieran cabalmente.

A partir de 1996 se constituyó, dentro del Ramo 23 del Presupuesto de Egresos de la Federación (PEF), el Fondo de Desastres Naturales **(FONDEN)**, con el propósito de atender eficaz y oportunamente los daños ocasionados a la población damnificada y a la infraestructura física pública, dotando de recursos a las zonas declaradas como emergencia. A continuación se muestra el recurso autorizado para atender las afectaciones a la red carretera federal. Figura 9.2.

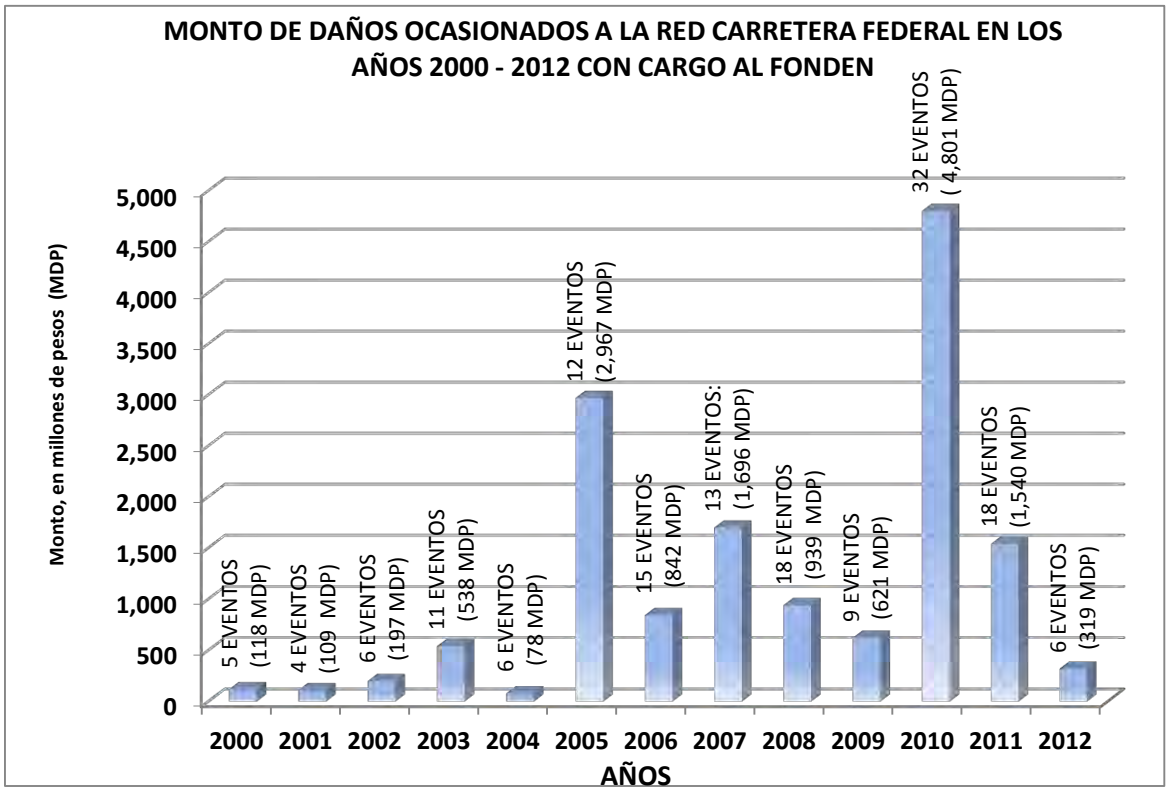


Figura 9.2. Gráfica estadística de los recursos autorizados por FONDEN

FONDEN

Es el Fondo de Desastres Nacionales, operado por la Secretaria de Gobernación con la participación de la SEDENA, SEMAR, Dirección General de Protección civil y otros actores como la CFE, Conagua, Cenapred y Secretarías de Estado que según el tipo de desastre deban de intervenir.

Con este Fondo, se ha eficientado la asignación de recursos, pero sobre todo la inclusión expedita de empresas solventes y de respuesta inmediata para atender tales emergencias.

Procedimiento para Acceder a los Recursos de FONDEN

Una vez declarada la Zona de emergencia por la Secretaría de Gobernación (SEGOB), se procede a formalizar los contratos respectivos.

Una vez publicada la declaratoria de Desastre Natural, si la SCT va a solicitar recursos del FONDEN debe apegarse estrictamente a las Reglas Generales del Fondo y a sus Lineamientos de Operación específicos.

Las solicitudes preliminares de recursos, formuladas al FONDEN, se capturan en el ***Sistema Fonden en línea*** en cada Residencia de obra, capturando los tramos afectados, los daños provocados y las obras y acciones para su rehabilitación; posteriormente son validadas por la Dirección General Normativa en el mismo Sistema, a fin de realizar el trámite ante la Coordinación General de Protección Civil, a través de la Subsecretaría de Infraestructura.

Una vez autorizados los recursos por el Comité Técnico del Fideicomiso 2003 FONDEN, se contratarán las obras de reconstrucción.

Contratadas las obras por el centro SCT, la Dirección general Normativa recursos autorizados con cargo al Fonden, para informar mensualmente a la superioridad y trimestralmente al Comité Técnico del Fideicomiso 2003 FONDEN (SHCP, SEGOB Y BANOBRAS); así como de las obras de Coparticipación Fiscal-Fonden.

Definición de Emergencia

Para efectos de este Capítulo, se entiende como emergencia, el efecto causado por desastres producidos por fenómenos naturales extraordinarios, cuya magnitud y ubicación no pudo ser prevista.

Consideremos emergencia en carreteras cuando los efectos destructivos excedan a la capacidad instalada para la atención inmediata y que requieran de recursos financieros superiores a los autorizados para el programa anual de obra. Se muestran a continuación imágenes de distintas afectaciones. Figura 9.3.



Figura 9.3. Distintas afectaciones a la red carretera

Causas Principales que Provocan una Emergencia

Cuando se genera una afectación a la red carretera y provoca una emergencia, es inevitable pensar que se pudo haber evitado o mitigado; es decir, que los responsables de la conservación y operación de esa vía de comunicación debieron haber ejecutado acciones preventivas para que no se presentara. Ese pensamiento es en parte entendible, porque definitivamente sí hay trabajos que se pudieron realizar antes del periodo de lluvias, si ese fuera el caso; sin embargo, no debemos olvidar que las causas de la emergencia son FENOMENOS NATURALES que no tienen palabra y que es prácticamente imposible "adivinar" dónde, qué, cómo y cuándo va a ocurrir el daño.

Para ilustrar un poco más los fenómenos que causan las emergencias carreteras, se listan los principales ocurridos en nuestro país, según experiencias:

Hidrometeorológicos. Depresión tropical, tormenta tropical, huracán; lluvia torrencial y tromba; nevada, granizada o helada atípica; inundación significativa; sequía prolongada y atípica.

Geológicos. Terremoto, erupción volcánica, alud, avalancha o derrumbe, movimiento de terreno (colapso de terreno o de suelo), maremoto, deslave.

Otros: Incendio forestal de gran magnitud.

Fenómenos Hidrometeorológicos

Ciclones

Es un viento muy fuerte que se origina en el mar, gira alrededor de un eje vertical acarreando humedad en grandes cantidades y que al tocar una zona poblada causa daños importantes e incluso desastres.

Un Ciclón tiene durante su desarrollo tres etapas, recibiendo nombres distintos:

1. **Depresión tropical.** Velocidad de vientos menor o igual a 62 km/h
2. **Tormenta tropical.** Velocidad de vientos entre 63 y 110 km/h
3. **Huracán.** Velocidad de vientos igual o mayor a 119 km/h

La Tabla 9.1 muestra las diferentes categorías de Huracanes, según Saffir/Simpson:

ESCALA DE HURACANES SAFFIR/SIMPSON	
CATEGORÍA	VIENTOS (km/h)
1	119-153
2	154-177
3	178-208
4	209-251
5	Mayor a 252

Tabla 9.1. Escala de Huracanes

Existen 8 zonas ciclógenas en el planeta, de las cuales 2 son las que afectan a nuestro país:

- **Zona 1, Atlántico Norte.** Es una cuna de huracanes del Caribe que afecta a la costa del Golfo de México.
- **Zona 2, Océano Pacifico Nor-Oriental.** Afecta a la Costa del Pacifico Mexicano.

**Para mayor información consultar el Atlas Nacional de Riesgos, elaborado por la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación.*

Lluvias Extremas

Se considera así cuando al compararse con la muestra de lluvias diarias del mismo mes para los últimos 30 años (en caso de haberlos) o todos los datos disponibles en esa estación, la precipitación resulte por arriba del 90 % de los valores en dicha muestra. Figura 9.4.



Figura 9.4. Lluvias extremas

Nevada

Precipitación de cristales de hielo aislado o aglomerado formando copos. Una tempestad de nieve es una perturbación meteorológica en la cual la nevada es intensa y se presenta acompañada a menudo de viento fuerte.

Granizada

Precipitación de partículas de hielo (granizos), transparentes parcial o totalmente opacas, de forma esferoide, cónica o irregular, cuyo diámetro varia generalmente de 5 a 50 mm, que caen separadas o aglomeradas en bloques irregulares.

Inundación Atípica

Desbordamiento del agua más allá de los límites normales de un cauce o de una extensión de agua, o acumulación de agua por afluencia en las zonas que normalmente no están sumergidas.

Tornado

Tormenta muy violenta asociada a un vórtice generalmente de sentido ciclónico, de diámetro pequeño (100 m en promedio), con una corriente vertical intensa en el centro, capaz de levantar objetos pesados, desprender árboles y provocar la destrucción explosiva de edificaciones, debido a la diferencia de presiones locales. Es el más violento de los fenómenos meteorológicos.

Fenómenos Geológicos

Sismo

Tiene su origen en la envoltura externa del globo terrestre y se manifiesta a través de vibraciones o movimientos bruscos de la superficie de la Tierra, de corta duración e intensidad variable. La República Mexicana está ubicada

en una de las zonas de más alta sismicidad en el mundo; esto se debe a que su territorio está localizado en una región donde interactúan cinco importantes placas tectónicas: Cocos, Pacífico, Norteamérica, Caribe y Rivera.

Maremoto

Es un terremoto submarino que genera una secuencia de olas (Tsunamis) que pueden arribar a las costas con gran altura y provocar efectos destructivos, pérdidas de vidas y daños materiales. La gran mayoría se originan por sismos que ocurren en el contorno costero del océano pacífico, en las zonas de hundimiento de los bordes de las placas tectónicas que constituyen la corteza del fondo marino.

Deslaves

Falla de un talud o ladera por pérdida de la resistencia al esfuerzo cortante de una masa de tierra o roca, la cual puede ser provocada por la saturación del material al infiltrarse el agua. Figura 9.5.



Figura 9.5. Deslaves

Volcanes

La actividad volcánica es propia de sectores rigurosamente determinados del globo terrestre y coincide con las zonas móviles orogénicas, donde se han desarrollado profundas fracturas. La mayor parte de los volcanes activos (casi el 60 %) se concentra en la costa del Océano Pacífico, en la zona del denominado Anillo de Fuego del Pacífico.

Las grandes erupciones volcánicas representan peligro para las poblaciones a cientos de kilómetros. Algunos de los peligros volcánicos ocurren incluso sin que el volcán esté en erupción, como es el caso de las avalanchas de escombros sobre poblaciones y carreteras.

*** Para mayor información de los resultados de las erupciones y la cuantificación de eventos sísmicos desde 1994 a la fecha, se pueden consultar las publicaciones del Centro Nacional de Prevención de Desastres.*

Acciones para Afrontar una Emergencia

Procedimiento

La infraestructura carretera suele ser la más afectada por los efectos de los fenómenos naturales extraordinarios. Para afrontar las situaciones de emergencias, los Centros SCT siguen un procedimiento sistemático que se divide en tres etapas:

1. Antes de la Emergencia

Tiene por objetivo fortalecer la capacidad de los Centros SCT para responder de manera inmediata a las contingencias ocasionadas por los eventos naturales de gran magnitud.

Acciones

- Establecer un centro operativo en los Centros SCT.
- Efectuar reuniones con las empresas encargadas de la Conservación rutinaria de tramos y puentes, para acordar los trabajos que deben ejecutar en caso de presentarse una emergencia, con daños a la red carretera.
- Dotar a los Residentes de obra con aparatos GPS con cámara para georreferenciar los daños. Figura 9.6.



Figura 9.6. Comunicación de daños

- Contar con suficientes lotes de señalamiento de protección en obra y que cumplan con lo establecido en la Normativa.
- Tener en los Centros SCT de mayor recurrencia de estos fenómenos, rampas de emergencia elaboradas con tubos de acero cédula 40 y 10 pulgadas de diámetro, con longitud de 40 m y ancho de 3.5 m.
- Prever en las Residencias de obra de las zonas de mayor riesgo, contar con almacén de material friccionante (arena) en un volumen mínimo de 1000 m^3. Figura 9.7.



Figura 9.7. Almacenamiento de material (arena)

- Tener conocimiento de los trámites que deben hacerse para acceder a los recursos del FONDEN, en caso de ser necesario.

- Verificar constantemente que la maquinaria adquirida con recursos del FONDEN esté en óptimas condiciones, en caso de requerirse.

- Prever estación repetidora móvil para establecer comunicación por radio.

- Disponer en las zonas de riesgo con generadores de luz que operen con combustible, de por lo menos 4 HP. Figura 9.8.



Figura 9.8. Generadores de luz a base de combustible

- Prever almacenes estratégicos de combustible.

- Tener un listado de radio aficionados. Información vital para la comunicación permanente durante la contingencia.

- Revisar que se cuente con el inventario georreferenciado de bancos y almacenes de materiales básicos necesarios para restablecer la conectividad: pétreos, piedra, arena, material cementante, etcétera.

- Tener pre estudiadas las rutas alternas, identificadas en mapas y diferenciando los caminos vecinales, rurales, de cuota y veredas.

- Listar e identificar posibles daños y alternativas de solución, para reducir los tiempos de decisión y atención.

2. Durante la emergencia

Hay que consolidar estrategias para enfrentar los daños que se presenten en los tramos carreteros, a fin de adoptar las medidas necesarias para atenderlos y superarlos en forma inmediata.

Acciones

- Se debe implementar lo siguiente:

  - Traslado de señalamiento diurno y nocturno

  - Acopio y concentración de personal, equipo y maquinaria de las contratistas (incluyendo la maquinaria del FONDEN)

  - Instalación de base móvil de comunicación

- Consultar la información referente a la naturaleza y características del fenómeno causante de la emergencia (en las páginas de la Dirección General de Protección Civil de la Secretaría de Gobernación, de la Conagua, de la CFE y del canal Weather Channel).

- Preparar el equipo de protección indispensable para garantizar la seguridad del personal, tanto de la Dependencia como de las contratistas (cascos, chalecos, botas, impermeables, gafas y guantes).Es recomendable diferenciar mediante colores la jerarquía de mandos.

3. Después de la emergencia

Restablecer la comunicación, ya sea provisional o definitiva, en el menor tiempo posible. Figura 9.9.



Figura 9.9. Alternativa para restablecer paso

Acciones

- Concentración de información. Para recabar la información durante la emergencia intervienen distintos actores. En el caso de la SCT, deben participar todas las Subsecretarias y, en las Entidades Federativas, es recomendable que sea el Centro SCT, de modo que se evite la dispersión de datos y confusiones en la toma de decisiones.

- Restablecer el servicio permanentemente.

  - Elaborar el reporte de daños, obteniendo fotografías y/o videos, con toda la información que permita determinar la magnitud de los daños. Las fuentes de información referente a los daños en la red carretera son: los Residentes de tramo, las empresas supervisoras y las contratistas, quienes darán aviso de la emergencia al Centro SCT a más tardar una hora después de ocurrencia.

  - Dar respuesta inmediata con la capacidad instalada. El Residente girará instrucciones de las acciones a realizar, como colocación de señalamiento de protección, traslado de personal, equipo y maquinaria.

  - Considerar en primer lugar al contratista que tiene a su cargo la conservación del tramo afectado, para implementar los pasos provisionales. Estos trabajos serán cubiertos mediante convenios modificatorios. En caso de que los trabajos excedan la capacidad instalada de estas empresas, se buscaría otras con capacidad suficiente y respuesta inmediata, que se encarguen de esta actividad.

  - Implementar los pasos provisionales en el menor tiempo posible, lo que implica que estos trabajos sean en forma continua (día y noche). Siempre habrá un representante de la Dependencia para la toma de decisiones: Instalar Puentes Bailey, pontones, rampas tubulares.

- Establecer una estrategia para determinar el procedimiento constructivo a seguir, para dar la solución a cada lugar crítico donde se tengan daños.

- Definir las rutas alternas a utilizar, haciendo uso de los mapas de riesgos y rutas alternas que para el caso han sido elaboradas.

- Determinar alternativas probables de solución.

- Acciones que deben realizar las residencias de obra:

  - Ubicar la zona de contingencia apoyándose con los medios informativos y los reportes del clima.

  - Dar aviso a su jefe inmediato. Una vez ubicada la zona afectada, enterarán por cualquier medio los daños ocurridos y la situación del tránsito vehicular.

  - Traslado al lugar afectado. Una vez que se garanticen condiciones de transito seguras, las residencias de obra se trasladarán al sitio afectado para generar la información y cuantificación de daños.

  - Obtención de información. Ya en sitio, medirán y cuantificarán los daños, informaran las acciones implementadas y estimarán el tiempo en el que se restablecerá la comunicación del tramo carretero o puente.

  - Transmisión de reportes. Deben ser oportunos para la toma de decisiones, por lo que una vez determinada la magnitud del daño, deben comunicarlo de inmediato a su jefe, por cualquier medio de comunicación.

  - Seguimiento de las obras por parte del Residente de obra. Debe ser permanente durante el tiempo que dure la ejecución de la obra en el paso provisional. Esta información se canalizará diariamente, cuidando tener la evidencia que garantice la calidad de la información.

- **Reconstrucción de los Tramos o las Estructuras Dañadas** (trabajos definitivos). Se listan los pasos a seguir y la documentación que se debe integrar:

  - Elaboración del Acta circunstanciada donde se precisen los daños y la cuantificación de los mismos.

  - Formulación del Dictamen Técnico. Donde se indican los aspectos técnicos de la reparación específica del daño en la emergencia; en éste se opina sobre la conveniencia de una adjudicación directa dependiendo de la magnitud y las características del tramo carretero o puente.

  - Elaboración, en su caso, del Dictamen de adjudicación directa a una empresa con capacidad de respuesta inmediata.

  - Elaboración, en su caso, del proyecto de acuerdo con el Subsecretario de Infraestructura, mediante el cual se le notifica la contratación de los trabajos en forma directa.

  - El Centro SCT inicia la elaboración de los Estudios y Proyectos, ya sea por contrato o por administración directa, en coordinación con la Dirección Normativa central.

  - En el caso de puentes, debe preverse la utilización de elementos tipificados de modo que éstos puedan construirse en serie, para abatir tiempos.

  - Requisitar los formatos requeridos para la aplicación de recursos del Fonden y remitirlos a la Dirección Normativa correspondiente.

Políticas en SCT para Informar los Daños en la Red Federal de Carreteras

En una situación de emergencia, generalmente el flujo de información se da en un escenario de caos. Las Dependencias deben ser muy cuidadosas del tipo de informes que generen, tomando en cuenta que intervienen diferentes actores Federales, Estatales y Municipales y que todos están trabajando en restablecer la comunicación de la zona afectada y bajo presión. Por esta razón, la SCT ha implementado una serie de actuaciones documentadas, para que el flujo de información se desarrolle en forma ordenada.

Estas actuaciones se enuncian a continuación en forma resumida:

- Se deben reportar todos aquellos daños que como consecuencia de un evento natural o humano interrumpa la transitabilidad en tramos carreteros.

- En cada Centro SCT se debe nombrar un solo responsable que aporte la información de los daños, así como de los trabajos y sus avances. Es recomendable que sea un Director General.

- La información debe reunir las siguientes características:

  Veraz. Debe ser producto de un recorrido de campo por parte del personal de la SCT, en el cual se haga un recuento de las afectaciones, georreferenciando cada una de ellas y priorizándolas según la magnitud de ésta.

  Oportuna. Informar sólo de los tramos en que se tenga certeza, diferenciando los que no se tenga acceso e información. Conforme se vayan obteniendo datos del resto de los tramos afectados se les debe incorporar al informe de inmediato y por cualquier medio.

  Actualizada. Establecer horarios matutinos y vespertinos para emitir un informe (definir horario), esto con el fin de mantener informadas a las autoridades y a la ciudadanía en general.

  Pertinente. Remitir la información que sea de interés tanto para las Autoridades Normativas como para el Usuario, tal es el caso de riesgos, previsiones, alertas de tramos interrumpidos, rutas alternas, etcétera. Entre esta información útil está el mapa de ubicación de las Residencias con mayor incidencia de afectaciones por fenómenos naturales. Figura 9.10.

- Los informes se formularán de acuerdo a formatos preestablecidos por SCT y se enviarán a la Dirección Normativa Central. Cuando los daños sean en varios puntos, se debe acompañar el informe de un mapa en el que se localicen y describan los daños.

- Con base a los puntos anteriores, la Dirección Normativa Central informará al Subsecretario de Infraestructura y a los Usuarios de la Red Carretera; a estos últimos a través de la página de internet de la SCT o el servicio de consulta telefónica sin costo.

- La emisión de informes será permanente hasta que la situación de emergencia se haya regularizado. Figura 9.10



Figura 9.10. Mapa de residencias más afectadas por emergencias

Inventario de Vehículos, Equipo, Maquinaria y Dispositivos con que Cuenta la SCT para la Atención de Emergencias

La SCT cuenta con medios físicos para dar respuesta inmediata ante una Emergencia Carretera. Precautoriamente se han adquirido, con recursos propios y del FONDEN, distintos equipos y maquinaria dependiendo de las necesidades de cada zona del país en la que ha habido alguna experiencia (Figura 9.11). Entre otros, se adquirieron:

Equipo y Maquinaria con Recursos del FONDEN

- Maquinas quita-nieve para estados fronterizos del norte del país
- Camiones volteo de 7 m^3 de capacidad
- Cargadores frontales de ruedas
- Tractores de empuje
- Motoconformadoras o Motoniveladoras
- Compactadores Vibratorios



Figura 9.11. Vehículos, equipo y maquinaria del FONDEN

En la Figura 9.12 se muestra en un mapa la distribución de ese equipo propiedad del FONDEN.



Figura 9.12. Ubicación de equipo especializado FONDEN

Rampas y Puentes Portátiles Provisionales. Figuras 9.13 y 9.14.

- Tipo Bailey
- Tipo Acrow
- Rampas de tubos
- Pasos con Pontones



Figura 9.13. Puentes portátiles y rampas provisionales



Figura 9.14. Ubicación de los puentes modulares

****En los Apéndices correspondientes a este Capítulo se precisan entre otras cosas:*

- *A.9.1.1 Recomendaciones técnicas generales*
- *A.9.1.2 Procedimiento para la instalación de puentes tipo Bailey*
- *A.9.1.3 Reglas de operación del fondo de desastres naturales*

10. Acrónimos de Organismos

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS
PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
EN MÉXICO

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

10. ACRÓNIMOS DE ORGANISMOS

ABREVIACIÓN	DESCRIPCIÓN
AASHTO	Siglas inglesas "American Association of State Highway and Transportation Officials" Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transportes.
AEMA	Siglas inglesas "Asphalt Emulsion Manufacturers Association" Asociación de Fabricantes de Emulsiones Asfálticas.
AIPCR	Siglas francesas "Association Mondiale de la Route" Asociación Mundial de Carreteras
AILA	Asociación Ibero Latinoamericana del Asfalto.
AMAAC	Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.
AMIVTAC	Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C.
ANALISEC	Asociación Nacional de Laboratorios Independientes al Servicio de la Construcción, A.C.
ASTM	Siglas inglesas "American Society for Testing and Materials" Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
CAPUFE	Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos.
CILA	Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto.
CMIC	Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción.
EIA	Evaluación del Impacto Ambiental.
EMA	Entidad Mexicana de Acreditación.
FHWA	Siglas inglesas "Federal Highway Administration" Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos.
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo.
IMT	Instituto Mexicano del Transporte.
LAN	Ley de Aguas Nacionales.

PALABRA	DEFINICIÓN
LGDFS	Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable.
LGPGIR	Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.
LGVS	Ley General de Vida Silvestre.
LS	Ley de Salud.
MIA	Manifestación de Impacto Ambiental.
NAPA	Siglas inglesas “National Asphalt Pavement Association” Asociación Nacional de Pavimentos Asfalticos de los Estados Unidos.
NCAT	Siglas inglesas “National Center for Asphalt Technology” Centro Nacional para la Tecnología del Asfalto.
ONNCCE	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
PEMEX	Contracción de Petróleos Mexicanos.
PIARC	Siglas inglesas en inglés de la Asociación Mundial de Carreteras (Asociación Internacional Permanente de los Congresos de Carreteras).
POET	Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio.
REIA	Reglamento de la Ley en Materia de Impacto Ambiental.
RLOPSRM	Reglamento de la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas.
SAM	Siglas inglesas de la expresión "membrana absorbente de esfuerzos", que identifica una capa superficial de tipo Microaglomerado en frío o tratamiento superficial con asfalto modificado con polímeros, cuyas características de flexibilidad, cohesión, elasticidad y susceptibilidad térmica, le permite soportar, sin fisuración prematura, las tensiones que llegan de las juntas o grietas de las capas inferiores.
SAMI	Siglas inglesas de la expresión "membrana intercapa absorbente de esfuerzos, que identifica una capa de materiales adecuados que se coloca sobre un pavimento agrietado antes de construir una sobrecapa, con el fin de disipar los movimientos y esfuerzos desarrollados en las juntas o grietas del pavimento existente, evitando o retrasando su reflejo en la superficie de la sobrecapa.
SCT	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
WORLD OF ASPHALT	Mundo del Asfalto. Feria de maquinaria, productos y servicios relacionados con el asfalto, que se realiza en Estados Unidos.

11. Glosario y Términos Técnicos

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

11. GLOSARIO Y TÉRMINOS TÉCNICOS

PALABRA	DEFINICIÓN
abultamientos	Ondulaciones del pavimento, perpendiculares al eje de la vía, Forman crestas de presiones alternas, a intervalos próximos y regulares. Se deben, principalmente, a la falta de estabilidad de las capas asfálticas.
acotamiento	Franja adyacente a un carril extremo de circulación, que sirve para estacionamiento momentáneo de vehículos, para descanso o efectuar reparaciones y para protección del pavimento. Berma, margen, arcén y espolón.
abrasión	Desprendimiento o desgaste de la superficie de un pavimento o agregados, debido a la fricción de las llantas de los vehículos y el raspador de quita-nieve o removedor de hule en aeropistas.
absorción	Retención de una sustancia de las moléculas de otra en estado líquido o gaseoso. Penetración de un gas o un líquido en un sólido.
acera	Franja longitudinal de la carretera, elevada o no, destinada al tránsito de peatones.
adherencia	Afinidad intermolecular de los materiales a permanecer unidos entre sí. Resistencia a la separación del asfalto en contacto con los agregados bajo efecto de acciones exteriores, por ejemplo en presencia de agua.
adherencia activa	Es la que se desarrolla de forma inmediata entre el asfalto y el agregado. La propiedad del asfalto de envolver adecuadamente el material pétreo (envuelta).
adherencia pasiva	Capacidad de asfalto de mantenerse adherido bajo la presencia de agua (desenvuelta).
adhesión	Atracción molecular entre superficies de cuerpos distintos puestos en contacto. Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales.
adhesividad	El recubrimiento de la superficie de un agregado por un ligante asfáltico.
adsorción	Proceso de atracción de las moléculas o iones de una sustancia, (adsórbato), en la superficie de otra (adsorbente), siendo el tipo más frecuente el de la adhesión de líquidos y gases en la superficie de los sólidos. La adsorción es un fenómeno físico o químico de la naturaleza. Es un proceso de separación para remover impurezas, basandose en el hecho de que ciertos materiales altamente porosos fijan cierto tipo de moléculas en su superficie.
afinidad	Tendencia que tienen los cuerpos a combinarse. Tendencia de la película asfáltica a fijarse sobre la superficie del agregado pétreo.
afloramiento de agua	Presencia de agua en la superficie de la calzada, proveniente de la estructura del pavimento o del suelo subyacente.
afloramiento de finos (bombeo)	Ascenso de partículas finas de las capas inferiores del pavimento a través de la capa asfáltica.

PALABRA	DEFINICIÓN
aglutinante	Cementante que une partículas granulares para formar una mezcla. Elemento de la naturaleza adhesiva que es principalmente responsable de las fuerzas adhesivas que mantienen juntos a dos cuerpos.
agregado	Material granular duro de composición mineralógica como la arena, la grava, la escoria o la roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños. La materia mineral utilizada junto con el asfalto para elaborar mezcla asfáltica para construcción de caminos.
agregado pétreo	Material granular duro, sano y resistente, clasificado por su tamaño como grava, arena y finos, obtenido de yacimientos naturales, por trituración de fragmentos de roca o como subproducto industrial.
agrietamiento	Aparición de grietas de diversa índole en la superficie de un pavimento.
ahuellamiento	En el pavimento flexible, es la depresión longitudinal en su superficie que coincide con la zona donde pasan con mayor frecuencia las ruedas de los vehículos.
alineamiento	Determinación de la posición y dirección de una vía.
anclaje	Dispositivo de sujeción de los extremos de las armaduras activas. Puede ser activo o pasivo, según se efectúe desde ellos el tensado o esté situado en un extremo del tendón por el que no se tensa.
anteproyecto	Consiste en el estudio a escala adecuada y consiguiente evaluación de las mejores soluciones al problema planteado, de forma que pueda concretarse la solución óptima.
arcilla	Suelo sedimentario formado a partir de depósitos de grano muy fino, se compone esencialmente por silicatos de aluminio hidratados o por alteración de una roca.
arena	Material granular resultante de la desintegración, molienda o trituración de la roca cuyas partículas pasan la malla Núm 4 (4.75 mm) y son retenidas por la malla Núm 200 (0.075 mm). Ambas mallas se aplican para la arena natural y la procesada.
asentamiento	Movimiento de descenso de la superficie del terreno o del terraplén, independientemente de la compactación.
asfaltenos	Hidrocarburo de elevado peso molecular que se halla presente en el asfalto. La fracción de hidrocarburo de alto peso molecular en el asfalto es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción especifica de solvente asfalto. Componente de la estructura físico química del asfalto, con los núcleos de hidrocarburos más pesados. A los asfáltanos los rodean las resinas, qué constituyen la fase intermedia de dicha estructura y finalmente, ocupando el espacio restante, se encuentran los aceites. Proporciona al asfalto su color y dureza.
asfalto	Se denomina así a determinadas sustancias de color oscuro que pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas, compuestas esencialmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono en su mayor parte y procedentes de yacimientos naturales u obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos de petróleos por destilación o extracción. Estos últimos representan más del 90% de la producción total de asfaltos.

PALABRA	DEFINICIÓN
asfalto modificado	Dícese del asfalto convencional, al cual se le añade algún aditivo modificador, cómo pueden ser los polímeros o hule molido, mejorando principalmente las propiedades viscoelásticas, la susceptilidad a la temperatura, la durabilidad, la adhesión y la cohesión.
auscultación	Recolección de información sobre la condición estructural y funcional de un pavimento.
autopista	Carretera de cuatro o más carriles, con sentidos de circulación separados por una mediana central y control de accesos proyectada para circular a velocidades elevadas.
bache	Porción de la superficie del pavimento que ha sido destruida y removida por diferentes factores, con dimensión mayor a 20 cm en la superficie y profundidad, mayor al espesor de la carpeta.
bacheo	Conjunto de labores requeridas para reponer una porción de la superficie de rodamiento que ha sido destruida y removida por el tránsito, formando baches.
barrera de seguridad	Sistemas de contención de vehículos, instalados en las márgenes de las carreteras cuya finalidad es proporcionar un cierto nivel de protección a un vehículo fuera de control.
basalto	Material pétreo muy duro, de origen volcánico. Roca extrusiva.
base	Capa de material que se encuentra inmediatamente debajo de la capa superficial o capas asfálticas. Puede estar compuesta de escoria triturada, roca triturada, grava y arena triturada o sin triturar, o cualquier combinación de estos materiales. También puede ser estabilizada con asfaltos o cemento Portland.
base granular	Capa granular de un pavimento flexible, situada inmediatamente debajo de la capa asfáltica de rodadura.
berma	Nombre que en algunos países sudamericanos le dan al acotamiento. También se aplica a terraplenes o cortes escalonados, de función estabilizadora.
bombeo	Pendiente transversal del pavimento en tramos en recta.
bordillo	Elemento de concreto, mezcla asfáltica, piedra u otros materiales que se construyen al borde de la carretera con el fin de encauzar el agua superficial proveniente de la calzada e impedir que ella escurra hacia el talud inferior.
calafateo	Procedimiento de relleno de grietas mediante una lechada, previó a cualquier otro tratamiento.
calavera	Porción de la corona del camino que ha sido destruida y removida por diferentes factores, de forma sensiblemente circular, cuyá dimensión mayor es inferior a 20 cm y de espesor no mayor de 5 cm o igual al espesor de la carpeta asfáltica.
calzada	Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos. Se compone de un cierto número de carriles.

PALABRA	DEFINICIÓN
capa de rodadura	Capa superior de un pavimento que sirve para la circulación de los vehículos.
capa drenante	Capa del pavimento con un elevado porcentaje de vacíos.
carpeta	Capa superior de la estructura de pavimento que soporta directamente el tránsito con características adecuadas para el rodamiento. Debe ser impermeable y resistente a efectos de clima, o tener abajo una capa impermeable.
carril	Parte de la calzada destinada al tránsito de una solo fila de vehículos.
carril de diseño	Carril por el cual se espera la circulación de mayor número de cargas de diseño. Normalmente es cualquiera de los dos en una vía de carriles múltiples.
catiónica	Referido a los glóbulos de asfalto con carga eléctrica positiva.
CBR	La relación de soporte de California (California Bearing Ratio), conocida comúnmente como CBR; es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad cuidadosamente controladas, que tienen aplicación principalmente en el diseño pavimentos flexibles. Se define como la relación entre el esfuerzo requerido para introducir un pistón normalizado dentro de un suelo que se ensaya y el esfuerzo requerido para introducir el mismo pistón hasta la misma profundidad en una muestra de patrón de piedra triturada. Esta relación se expresa en porcentaje.
cementante	Material que actúa como cemento. Material que actúa fuertemente como material adhesivo, mediante reacciones químicas como el cemento Portland o la cal.
cemento asfáltico	Asfalto fluxado o no, especialmente preparado de una calidad y consistencia para uso directo en la construcción de pavimento asfáltico y teniendo una penetración a 25° C entre 5 y 300 bajo carga de 100 gramos, aplicados en 5 segundos y una viscosidad de 200 a 10,000 poises a 60° C. Posee propiedades aglutinantes; es impermeable, termoplástico y susceptible a factores climáticos.
cemento hidráulico	Es un material pulverizado que además de cal contiene sílice, alúminia y óxido de hierro y que forma, por adición de una cantidad apropiada de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto el agua como el aire.
cohesión	La propiedad de un material que le permite ser resistente sin estar confinado, aún después de haber sido secado al aire, y que no se desintegra cuando es sumergido.
compactación	Acción de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño, desplazando el aire. La compactación en los pavimentos se logra usando compactadores neumáticos, de rodillos pesados o vibratorios, para aumentar su resistencia y reducir su deformidad.
concreto asfáltico	Mezcla asfáltica se elaborada en caliente, muy bien controlada, compuesta de cemento asfáltico de altas especificaciones y agregado bien graduado, también de altas especificaciones; compactada adecuadamente forma una masa densa, uniforme y resistente.

PALABRA	DEFINICIÓN
concreto asfáltico de granulometría densa	Mezcla de cemento asfáltico en caliente y agregado denso bien gradado, de altas especificaciones y graduación cerrada. Se utiliza para formar capas estructuradas de alta resistencia, impermeabilidad y mínima deformación.
concreto hidráulico	Es el producto resultante de mezclar cemento, agua, agregado pétreo fino (arena), agregado pétreo grueso (gravas) y eventualmente productos de adición que al fraguar y endurecer le dan una notable resistencia.
concreto magro	Mezcla homogénea de agregados, agua y conglomerante, que se coloca en obra de forma análoga a un pavimento de concreto vibrado, aunque su contenido de cemento es bastante inferior al dicho pavimento.
confiabilidad	Se entiende por confiabilidad de un proceso diseño comportamiento de un pavimento a la probabilidad de que una sección, diseñada usando dicho proceso, se comportara satisfactoriamente bajo las condiciones de tránsito y ambientales, durante el periodo de diseño. La confiabilidad pretende incorporar algún grado de incertidumbre al procedimiento de diseño, para asegurar que las diferentes alternativas de éste se mantengan para el período de análisis.
corona	Ancho total de un camino de hombro a hombro.
cribar	Pasar a través de una malla (materiales sólidos como grava o piedra); usualmente es el examen metódico de la separación de los materiales en grupos de diferentes tamaños.
cribas de la planta	Cribas localizadas entre el secador y las tolvas calientes, que separan los agregados calientes en los tamaños apropiados.
cuneta	Zanja construida al borde de una vía para recoger y encauzar el agua superficial.
curado	Conjunto de operaciones que tienen por objeto lograr que el solvente o líquidos de la mezcla asfáltica se eliminen, hasta un límite previamente fijado. Acondicionamiento especificado de los especímenes, previo al ensayo. Fenómeno que comienza cuando la emulsión asfáltica, en contacto con el árido, inicia el proceso de rotura y finaliza con la separación del agua. Periodo durante el cual una mezcla estabilizada adquiere cierta resistencia.
curva granulométrica	La que representa los porcentajes acumulados de partículas de distintas dimensiones, al ser pasadas por las cribas y que constituyen un material.
deflexión	Deformación vertical elástica que representa la respuesta del pavimento y la subrasante, a la carga aplicada.
deformación	Cambio del pavimento con respecto a su forma original.
degradación	Disminución de la capacidad funcional y estructural de una calzada, debido a los efectos del tránsito y los agentes ambientales.
densidad	Grado de acomodo que puede alcanzarse en un material y que sólo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa. Se define como el peso de la masa entre el volumen que ocupa.

PALABRA	DEFINICIÓN
depresión	Hundimiento localizado de un pavimento asfáltico, de forma circular o parecida a ella, sin pérdida de material.
descascaramiento	Perdida de fragmentos de la capa de rodadura de un pavimento asfáltico, sin afectar las capas inferiores de la estructura.
desintegración	Separación progresiva de partículas de agregado en el pavimento, desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia el interior. La desintegración puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.
durabilidad	Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación que describe su habilidad para resistir desintegración por efectos ambientales o de tránsito. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto tales como oxidación y volatilización, cambios en el pavimento y en el agregado, debidos a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.
eje de diseño	Eje utilizado como referencia para la conversión de las cargas reales del tránsito, con fines de evaluación o diseño de pavimentos. Generalmente es un eje simple de 80 KN equipo multifunción de evaluación de carreteras. Equipo montado en un vehículo que permite la obtención de datos sobre rugosidad, textura, ahuellamientos y agrietamientos del pavimento como sobre las características geométricas esenciales de la vía: radio de curvatura en planta, pendiente longitudinal, perfil transversal y peraltes. La estructura de la información obtenida permite su fase de incorporación de cualquier sistema de base de datos.
elastómero	Es un material natural o artificial que, como el caucho, tiene gran elasticidad y se utiliza para mejorar las características reológicas de los asfaltos. Es uno de los dos tipos de polímeros fabricados a partir del butadieno. Los elastómeros tienden aumentar la viscosidad del cemento asfáltico fundido; pueden separarse en fases durante un proceso prolongado de almacenamiento y requieren generalmente del uso de mezcladores de alto poder de corte y de un prolongado tipo de mezcla, para obtener una buena dispersión.
emulsión asfáltica	Es un sistema heterogéneo de dos fases normalmente inmiscibles como son el asfalto (60-70%) y el agua, al que se le incorpora una pequeña cantidad de un agente activador de superficie (0.2-1%), tenso activo o emulsificante, de base jabonosa o solución alcalina, el cual mantiene en dispersión el sistema, siendo la fase continua el agua y la discontinua los glóbulos de asfalto de tamaño entre 1 y 10 micrones.
envejecimiento del asfalto	El envejecimiento del asfalto se produce por medio de variadas y complejas reacciones, cuando éste se encuentra expuesto a agentes ambientales como rayos ultra violeta, agua, calor y oxígeno. El envejecimiento produce cambios en el comportamiento geológico del asfalto, transformándolo en un material más rígido y de menor susceptibilidad térmica. Durante la vida del asfalto se pueden distinguir dos importantes procesos de envejecimiento: (1) Primario, que se produce durante el mezclado, almacenamiento y colocación de la mezcla asfáltica y (2) Secundario, que es el que sufre el asfalto durante la vida del pavimento.

PALABRA	DEFINICIÓN
escarificación	Acción de remover materiales de construcción que han sufrido previamente una acción de compactación natural o artificial.
estabilización de suelos	Es el conjunto de procesos físicos, químicos y físico químicos tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan para un determinado uso en ingeniería, haciendo que el material "suelo" sea adecuado para la utilización prevista, reemplazando a otros materiales no disponibles o más costosos. Las propiedades de más interés son: comportamiento bajo de cargas, cambios de volumen por variación del contenido de humedad y comprensibilidad.
estabilización de suelos	Es el conjunto de procesos físicos, químicos y físico-químicos tendientes a modificar las propiedades de los suelos que interesan para un determinado uso en ingeniería, haciendo que el material "suelo" sea adecuado para la utilización prevista, reemplazando a otros materiales no disponibles o más costosos. Las propiedades de más interés son: comportamiento bajo de cargas, cambios de volumen por variación del contenido de humedad y comprensibilidad.
estabilización mecánica	La que sólo se logra por mezcla de agregados y suelos en cantidad suficiente como para desarrollar ampliamente las condiciones de fricción y cohesión de los materiales componentes.
extracción de corazones	Toma de muestras de concreto asfáltico mediante perforadoras rotacionales y brocas, con objeto de comprobar en el laboratorio: a resistencia, granulometría, dosificación, densidad, espesor y otras características físico-mecánicas del pavimento.
estrobo	Pedazo de cabo unido por sus chicotes, que sirve para suspender cosas pesadas.
exudación	Aparición de un exceso de ligante asfáltico en la superficie del pavimento.
falla	Defecto en la superficie de rodamiento de un pavimento que puede afectar adversamente su estabilidad y la seguridad, comodidad y rapidez de la circulación del tránsito.
falla estructural	Defecto de la superficie de rodamiento, causado por el colapso de una o más de las capas constitutivas del pavimento.
falla funcional	Defecto de la superficie de rodamiento, producido por fallas de la capa superficial, que no afecta el comportamiento estructural de la calzada pero que se traduce en incomodidades para el tránsito, debido al aumento de la rugosidad.
fatiga	Factor de falla de una capa, consistente en la repetición, constante y prolongada de un esfuerzo de magnitud tal que rebasa un determinado umbral. Materiales rígidos, altas deflexiones y altos niveles de tensiones conducen a vidas útiles reducidas por la fatiga. También se dice que las subrasantes con drenajes pobres y saturados originan pavimentos débiles, con altas deflexiones. Capas delgadas muy rígidas, sujetas a altas deflexiones por cargas repetidas son más susceptibles a fisurarse por fatiga.
filler	Es la porción de un material pétreo que pasa por la malla Núm 200 (0.075 mm).
fisura	Línea de rotura de un pavimento, caracterizada por una abertura no mayor de 3 mm.

PALABRA	DEFINICIÓN
flexibilidad	Propiedad de un material para doblarse fácilmente sin llegar pronto a la falla por fatiga. Habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse a los asentamientos en la cimentación. Generalmente, un alto contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.
fresado	Molienda en frío de la superficie de un pavimento que permite conformarla con las rasantes y pendientes transversales deseadas, removiendo ondulaciones, baches y otras imperfecciones de la capa de rodadura, dejando una superficie de apropiada y resistente al deslizamiento.
fricción superficial	Resistencia desarrollada en la interfaz llanta pavimento que evita el deslizamiento cuando se aplican las fuerzas de frenado de la llanta.
gálibo	Distancia vertical entre la calzada y un obstáculo superior, que limite la altura máxima para el tránsito de vehículos.
grado penetración	Sistema de clasificación para los cementos asfálticos basada en la penetración a una temperatura de 25° C. Existen cinco grados patrones de clasificación: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.
grado viscosidad	Sistema de clasificación de cementos asfálticos, basada en rangos de viscosidad a una temperatura de 60° C (140° F). Usualmente también se especifica una viscosidad mínima a 135° C (275° F). El propósito es establecer valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Los 60° C (140° F) se aproximan a la máxima temperatura de servicio de la superficie del pavimento asfáltico en México. Los 135° C (275° F) se aproximan a la temperatura de mezclado y colocación de pavimentos de mezclas en caliente. Existen cinco grados de cemento asfáltico basados en la viscosidad del asfalto original a 60° C (140° F).
granulometría	Distribución por tamaños de las partículas de un agregado pétreo. El "análisis granulométrico" nos proporciona la forma de la "granulometría" de un pétreo. La granulometría de un agregado pétreo es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que lo constituyen.
granulometría continua	Es la que corresponde a un agregado pétreo o suelo uniforme graduado en todos sus tamaños, desde los más gruesos hasta los más finos.
granulometría discontinua	El que corresponde a un agregado pétreo o suelo al que le faltan tamaños intermedios.
grietas	Roturas en la superficie de un pavimento asfáltico. Los tipos más comunes son: piel de cocodrilo, juntas de borde, juntas de unión entre carriles, de reflexión, de contracción y de deslizamiento. Quiebre o ruptura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho en el plano superficial es mayor a 3 mm.
grietas de contracción	Son aquellas grietas que se interconectan, formando una serie de bloques largos, usualmente con esquinas o ángulos agudos. Son causadas frecuentemente por cambios en volumen, ya sea en la mezcla asfáltica por defectos de las temperaturas bajas o en la base granular o subrasante.

PALABRA	DEFINICIÓN
grietas de fatiga	Grietas del tipo piel de cocodrilo, causadas por un número excesivo de repeticiones de cargas pesadas para el espesor y características del pavimento.
grietas de reflexión	Grietas en las sobre capas que reflejan las trayectorias de las grietas o juntas existentes en la estructura del pavimento adyacente. Se deben a expansiones y retracciones por temperatura o cambios de humedad.
humedad	Cociente entre la masa de agua presente en un cuerpo y su masa seca. Se expresa en porcentaje.
impermeable	Material por el que no permean los líquidos. Material que es incompatible con el agua, incapaz de unirse con el agua.
índice de fricción internacional	Escala de referencia, de la aplicación internacional de la fricción y la textura de un pavimento. Se expresa mediante dos valores, llamados constante de fricción a 60 km/h (F60) y constante de referencia de velocidad (Sp), a partir de los cuales es posible estimar la fricción a cualquier velocidad.
índice de rugosidad internacional (IRI)	El Banco Mundial en 1986 lo define como "Estándar de medida de la desigualdad superficial de un camino "El cálculo matemático del Índice de Rugosidad Internacional relaciona la acumulación del desplazamiento (en valor absoluto), de la masa superior con respecto a la inferior de un vehículo modelo, dividido entre la distancia recorrida sobre un camino transitado por el vehículo a una velocidad de 80 km/h. El IRI se expresa en unidades de mm/m, pulgadas /milla, etcétera. Para un camino pavimentado el rango de la escala del IRI es de 0 a 12m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino prácticamente intransitable.
índice de servicio	Valor numérico, que oscila entre cero y cinco, obtenido mediante una ecuación de regresión que incluye la rugosidad y eventualmente otros deterioros del pavimento, el cual da una indicación del comportamiento del pavimento desde el punto de vista del usuario. Se conoce normalmente por sus siglas en inglés, PSI.
irregularidad	Defecto de una carretera consistente en que presenta un perfil inadecuado para la rodadura.
juntas	Superficie o bordes, producidos por el ancho de los equipos de construcción y que deben unirse para completar el ancho del proyecto de un elemento. Bordes transversales al finalizar un tendido.
juntas transversales de construcción	Son las juntas que se construyen transversalmente a la línea central del pavimento rígido y están debidamente espaciadas para controlar la fisuración generada por la retracción y por los cambios de humedad y temperatura. Estas juntas, generalmente son perpendiculares a los bordes y a la línea central del pavimento. Algunos recomiendan cortar las juntas de contracción con esviaje para ayudar a disminuir el impacto de las cargas dinámicas, a través de las juntas porque eliminan el paso simultáneo de las ruedas del eje sobre la junta.

PALABRA	DEFINICIÓN
macrotextura	Irregularidades de la superficie de un pavimento, con condiciones horizontales comprendidas entre 0.5 y 50 mm y verticales entre 2.0 y 10 mm. La macro textura está ligada al tamaño de los agregados y a la formulación y puesta en obra de la mezcla o tratamiento superficial. Sus longitudes de onda tienen el mismo orden de magnitud de los labrados de la llanta en la interfaz cubierta pavimento. La macro textura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento a alta velocidad.
megatextura	Irregularidades de la superficie del pavimento con dimensiones horizontales comprendidas entre 50 y 500 mm y verticales entre 10 y 50 mm. Sus longitudes de onda tienen el mismo orden de magnitud de la interfaz cubierta pavimento. Estas irregularidades producen incomodidad en la circulación vehicular, con vibraciones y alto desgaste de llantas.
mezcla en frío con emulsión asfáltica	Mezcla de asfalto emulsionado y agregado; producida en una planta central (mezcla en planta) o mezclada en el lugar de la obra. Los agregados pétreos pueden o no ser controlados en su granulometría, se emplea en carreteras con bajo volumen de tránsito.
mezcla asfáltica	Mezcla elaborada con agregados pétreos y un material asfáltico, eventualmente con aditivos, cuyas propiedades mecánicas dependen de las propiedades de cada uno de los componentes de su proporción relativa en mezcla. Puede elaborarse en frío o en caliente, en planta o en lugar.
mezcla asfáltica drenante	Mezcla abierta en caliente que se emplea como capa de rodadura, con el fin de que el agua lluvia que caiga sobre la calzada se evacúe rápidamente por infiltración. Su mejor comportamiento se obtiene al emplear asfaltos modificados con polímeros.
microaglomerado en frío	Mezcla, en proporciones adecuadas, de agregado fino totalmente triturado y bien gradados, llenante mineral, agua y emulsión asfáltica de rodadura lenta modificada con polímeros y eventualmente aditivos, que da lugar a un producto fluido, homogéneo y cremoso que, al ser aplicado sobre una superficie, proporciona un sello impermeable y antideslizante, después de la evaporación del agua que contiene.
microtextura	Irregularidades superficiales de un pavimento con dimensiones horizontales comprendidas entre 0 y 0.5 mm y verticales entre 0 y 0.2 mm. La microtextura está ligada a las asperezas del agregado grueso, del agregado fino y de la superficie del pavimento en contacto con las cubiertas. Proporciona una sensación más o menos áspera, pero normalmente es muy pequeña para ser visible. Su existencia es necesaria para asegurar una buena resistencia al deslizamiento.
modelo de pavimento	Esquema teórico que reproduce el perfil y la condición estructural de un pavimento real.
módulo de reacción	El módulo de reacción (K) de un suelo (en estado natural, subrasante, subbase o base), conocido en algunos lugares como coeficiente de balasto, es una característica de resistencia que se considera constante, lo que implica elasticidad de suelo. Su valor numérico depende de la textura, compacidad, humedad y de otros factores que afectan la resistencia del suelo. Las pruebas del módulo de reacción de los suelos varían con el área cargada la cantidad de asentamiento. Debido a lo anterior, es usual que la determinación de K se haga por medio de una placa circular de 76.2 cm (30") de diámetro, bajo una presión tal que produzca una deformación de suelo (incrustamiento de la placa) de 0.127 cm (0.05") con lo que se tiene: K= esfuerzo/ deformación=kg/ cm^3 ó Ib/$pulg^3$.

PALABRA	DEFINICIÓN
módulo dinámico	Módulo que caracteriza el comportamiento de un material a la deformación bajo solicitaciones dinámicas.
módulo resiliente	Módulo que caracteriza el comportamiento a deformación elástica de suelos y materiales granulares. Ensayo triaxial de carga repetida a presión de confinamiento constante; es el módulo secante en la descarga, es decir la relación entre esfuerzo desviador y la deformación elástica unitaria axial.
nivel de servicio	Es la medida de la calidad de flujo de tránsito por la vía. Se cuantifica con una serie de factores tales como velocidad, tiempo recorrido, interrupciones del tránsito, libertad de manejo, seguridad y costos de operación.
número de ejes equivalentes	Es el número de pasadas de un eje tipo que producirían en un pavimento el mismo grado de fallos que el ocasionado por el conjunto de los ejes de tránsito pesado real que circule por el mismo.
oxidación	Proceso fisicoquímico en el cual está involucrada la asimilación de iones oxígeno. Transformación de un material por la acción del oxígeno u oxidante. El asfalto es propenso a oxidarse, modificando su estructura molecular.
pérdida de agregados	Desprendimiento de agregados de un tratamiento superficial, caracterizado por la aparición de una o más líneas descubiertas, paralelas a la dirección de aplicación.
pérdida de película de asfalto	Separación de la película de ligante de la superficie de agregados en una mezcla asfáltica, producida por la acción del agua y el tránsito.
periodo de diseño	Lapso transcurrido desde un pavimento nuevo o recién habilitado al servicio, hasta que alcanza su índice de servicio terminal.
petrolizadora	Máquina generalmente autopropulsada, compuesta esencialmente de un tanque con aislamiento térmico, dispositivos de calentamiento, barra o barras de riego y otros accesorios, que se utiliza para la distribución d materiales asfálticos sobre superficies por pavimentar o pavimentadas.
polímero	Compuesto químico, natural o sintético, formado por la unión de dos o más monómeros de un hidrocarburo, formando cadenas de alto peso molecular.
polvo mineral (filler)	Porción de los agregados finos que pasan por el tamiz Núm 200.
pulimento	Excesivo desgaste superficial de los agregados de la superficie de rodadura de un pavimento, el cual afecta las características de fricción.
reciclado	Reutilización de parte de las capas de estructura existente, para mejorar su capacidad estructural. La adición de nuevos materiales es necesaria para mejorar la resistencia y el comportamiento del pavimento mejorado.
reconstrucción	Remoción de capas y reemplazo parcial o total del pavimento, para mejorar su capacidad estructural, adaptándolo a las necesidades del tránsito futuro.
refuerzo	Colocación de capas de pavimento que proporcionan capacidad estructural adicional o mejoran la serviciabilidad.

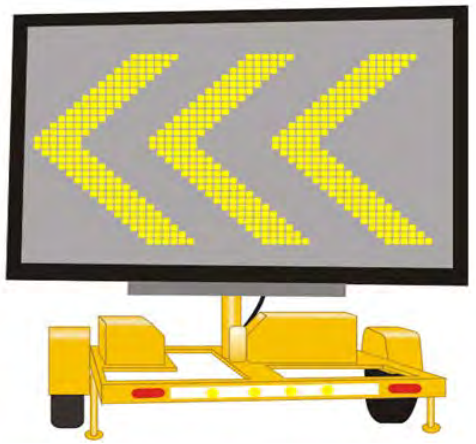
PALABRA	DEFINICIÓN
regularidad superficial	Se aplica a la desviación que presenta la superficie del pavimento con respecto a una superficie plana, con dimensiones características en sentido longitudinal, correspondientes a una longitud de onda comprendida entre 0.5 y 50 m.
rehabilitación	Trabajo que se realiza para prolongar la vida de un pavimento, que puede incluir la colocación de una o más capas de restauración o refuerzo y otros trabajos necesarios de acondicionamiento, como la reparación de defectos localizados, el mejoramiento del drenaje, la reconstrucción de bermas, el reciclado o la remoción y reemplazo parcial de la estructura existente.
rejuvenecedor	Producto del petróleo líquido, que usualmente contiene máltenos y que agregado al pavimento le restablece la viscosidad, la plasticidad y la flexibilidad.
renivelación	Capa de concreto asfáltico con espesores variables, usada para eliminar las depresiones de una rueda de una superficie de pavimento existente, antes de aplicar tratamientos superficiales o construcción de una sobrecarpeta.
residuo asfáltico	Material asfáltico resultante de la evaporación del agua y/o solvente en un proceso de refinación del petróleo crudo o destilación. Rompimiento de emulsión o fraguado.
resistencia	Fuerza necesaria para que tenga lugar la ruptura o para que comience la deformación plástica.
resistencia a la fatiga	Habilidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por el paso de las cargas de las ruedas. Generalmente, entre más alto el contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga, así como de la granulometría y forma d las partículas del agregado pétreo.
resistencia al deslizamiento	Habilidad de una superficie de pavimento, particularmente cuando está mojado, para resistir el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos. Entre los factores que más contribuyen se encuentran un apropiado contenido de asfalto en la mezcla y una textura superficial rugosa del agregado. El agregado, en particular, también debe ser capaz de resistir el pulimiento. Los agregados que contienen minerales que no pueden ser pulidos, con diferentes características de desgate y abrasión, proporcionan una continua regeneración de la textura del pavimento, por lo tanto mantienen una superficie resistente al deslizamiento; depende de la micro y macro textura.
riego de impregnación	Aplicación de una emulsión o asfalto rebajado a una capa de base, con objeto de impermeabilizar y/o estabilizarla para favorecer la adherencia entre ella y la carpeta asfáltica.
riego de liga	Aplicación de un material asfáltico en una superficie existente no absorbente para proporcionar una liga minuciosa entre la antigua y la nueva carpeta o capa de base.
riego de sello	Es la aplicación de un material asfáltico, cubierto con una capa de material pétreo, de granulometría especial para impermeabilizar la carpeta, protegerla del desgate y proporcionar una superficie antiderrapante. También se le conoce como carpeta de riegos.

PALABRA	DEFINICIÓN
roderas	Surcos que pueden desarrollarse en el pavimento, en la trayectoria de las ruedas del vehículo en tránsito. Las roderas pueden ser el resultado de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tránsito o pueden ser generadas por el desplazamiento de la superficie misma de la carpeta. Pueden ocurrir bajo efectos del tránsito en pavimentos asfálticos nuevos, que han tenido muy poca compactación durante su construcción o como resultado del movimiento plástico, de una mezcla que tiene muy poca estabilidad para resistir el tránsito.
rueda de Hamburgo	Este dispositivo de rueda para prueba de pavimentos está compuesto de un motor eléctrico capaz de mover una rueda de acero con diámetro de 203,6 mm (8 pulgadas) y ancho de 47 mm (1,85 pulgadas) sobre el espécimen de la prueba. La carga aplicada por la rueda es de 705± 22 N (158±5 libras). Debe oscilar sobre el espécimen en prueba en una posición de variación sinusoidal todo el tiempo, haciendo aproximadamente 50 pasadas por minuto. La máxima velocidad de la rueda debe ser de 0,305 m/s ó sea de 1.1 pies/segundo y deberá ser alcanzada sobre el punto medio de la pieza en prueba. Tendrá control de temperatura y estar en baño María, circulando constantemente; además dispondrá de medidor de profundidad de la huella o deformación producida, un contador de pasadas de la rueda y un dispositivo para montar el espécimen. Véase prueba de rueda de Hamburgo.
rugosidad	Respuesta dinámica acumulada al perfil longitudinal en un pavimento, al ser recorrido por un vehículo normal o por un dispositivo experimental de similar respuesta dinámica, denominado rugosómetro.
segregación	Separación de agregados perdiendo la granulometría original y el predominio de un tamaño.
SHRP	Iníciales en inglés del Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, operado por la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA) de los Estados Unidos de Norteamérica, para el desarrollo de nuevas especificaciones, ensayes y normas de diseño para materiales asfálticos y concreto hidráulico, entre otros objetivos. El producto final del programa de investigación SHRP para mezclas asfálticas es un nuevo sistema conocido como Superpave.
silos	El silo de una planta de asfalto es un cuerpo metálico cilíndrico instalado en posición vertical, perfectamente aislado térmicamente y sellado al aire, que se utiliza para contener la mezcla asfáltica terminada. Después de que los agregados y el cemento asfáltico han sido mezclados, la mezcla asfáltica en caliente se transporta a los silos de almacenaje, a temperatura determinada y controlada por lo que pueden contener la mezcla hasta por una semana. Las plantas de lotes (bachas) utilizan silos que están aislados pero no se calientan y están diseñados para contener la mezcla por algunas horas. De los silos de almacenaje la mezcla en caliente es pesada y cargada a los camiones para transportarla al tramo en construcción.
sobreelevación	Inclinación dada al perfil transversal de un camino en los tramos de curvatura horizontal, para contrarrestar el efecto de la fuerza centrífuga que actúa sobre un vehículo en movimiento.
subbase	Capa de material granular seleccionado, colocado y compactado, de menor calidad que la base.

PALABRA	DEFINICIÓN
subrasante	Capa sobre la tierra preparada y compactada para soportar una estructura de pavimento.
Superpave	Acrónimo de Superior Performing Asphalt Pavemen (Pavimento Asfáltico de Comportamiento Superior). Producto final del programa SHRP, el cual nace en 1987 con la necesidad de racionalizar el gasto y la inversión en la construcción y mantenimiento de las autopistas en los Estados Unidos de Norteamérica. Superpave ofrece un sistema mejorado para especificar el cemento asfáltico y material pétreo para las mezclas; también desarrolla un método de diseño de mezclas asfálticas, analizando y estableciendo predicciones de su comportamiento. Asimismo, este sistema propone un programa computacional que integra sus componentes, de dicho sistema, propone equipo de ensaye y nuevos métodos, desarrollando nuevos criterios y mecanismo de deterioro y comportamiento de las mezclas asfálticas. Los mecanismos de deterioro son: roderas o deformaciones plásticas permanentes, agrietamientos por fatiga, grietas de contracción y envejecimiento.
susceptibilidad térmica	Propiedad del asfalto a ser modificada su consistencia por cambios en su temperatura. A las temperaturas ambientales normales el asfalto es un material sólido o semi sólido. A altas temperaturas actúa como un líquido viscoso, fluye y se oxida rápidamente. A bajas temperaturas, se comporta como un sólido elástico pudiéndose volver frágil o muy frágil.
tamaño máximo	Así denomina la malla más grande que el tamaño máximo nominal de la partícula.
tamaño máximo nominal	Se refiere al agregado. Tamaño máximo nominal de la partícula es la malla más grande que la primera malla que retiene más del 10% de las partículas de agregado pétreo. Tamaño máximo de partícula es la malla más grande que el tamaño máximo nominal de la partícula.
tambor mezclador	El tambor mezclador de una planta portátil de asfalto seca el agregado y lo cubre con una capa de cemento asfáltico para producir una mezcla en caliente. Los componentes principales son: tambor, quemador, ventilador de escape, tolvas para agregados, sistema de alimentación del agregado y un sistema recolector de polvo. El tambor funciona como una combinación de secador y mezclador, puesto que el tambor gira sobre su eje longitudinal. El quemador se encuentra en el extremo elevado del tambor y produce gases calientes para secar el agregado pétreo. El ventilador de escape en el otro extremo succiona los gases calientes del tambor.
terraplén	Obra de tierra con que se rellena un hueco, o que se construye para alcanzar un nivel de proyecto de un camino. (Bordo de defensa u otra obra semejante).
textura de un pavimento	Es el aspecto o característica de la superficie del pavimento que depende del tamaño, forma, disposición y distribución del agregado pétreo y del agente ligante. Una mezcla densa que da una superficie suave tendrá una textura fina; una superficie abierta tendrá una textura gruesa. Las irregularidades de la superficie, tales como baches, escalonamientos de juntas y otras, no definen la textura, quizá se encuentra relacionada con irregularidades de longitudes de onda inferiores a 50 mm. Apariencia del terminado de una superficie. Se definen la micro, macro y mega textura, según la longitud de onda.
tolerancia	Desviaciones permitidas, en las propiedades o características establecidas en un proyecto.

PALABRA	DEFINICIÓN
tolva de almacenamiento	Dispositivo que sirve como receptáculo de materiales, que almacena los agregados calientes ya separados antes de su proporcionamiento final en el mezclador de una planta de producción por bachadas (término usado en la plantas de mezclas asfálticas).
trabajabilidad	Facilidad con que las mezclas de pavimentación pueden ser colocadas y compactadas.
tránsito diario promedio anual (TDPA)	Es el valor de la media aritmética de los volúmenes diarios de flujo vehicular para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la carretera.
tratamiento superficial	Aplicación de un material asfáltico, seguido de una capa de agregado mineral. Múltiples aplicaciones de material asfáltico y agregado mineral pueden ser utilizadas como mezclas de poco espesor para la superficie de rodamiento, riegos de sello, riegos de fricción, lechadas asfálticas, etcétera
trituración	Acción y resultado de triturar o fragmentar un material pétreo por medios mecánicos, alterando o destruyendo su estructura. El material pétreo puede reducirse a partículas por medio de machacadas o ser molido.
vacíos	Espacios vacíos ocupados por aire en una mezcla asfáltica compactada.
vacíos en el agregado mineral	Valor del volumen total que ocupan los espacios con aire y gases de una mezcla de pétreos entre sus agregados, una vez que han sido compactados.

12. Apéndices



	Aeropuerto		Sanitarios		Auxilio turístico		Teléfono
	Área recreativa		Teleférico		Chalana		Aeropuerto corto alcance
	Campamento		Transbordador	E	Estacionamiento		Aeropuerto largo alcance
	Depósito de basura		Aeropuerto mediano alcance		Estación de ferrocarril		Paso de minusválidos
	Estacionamiento para casas rodantes		Aeropuerto llegada		Helipuerto		Artesanías
	Gasolinería		Acueducto	?	Información		Cascada
HOTEL	Hotel o motel		Balneario		Mecánico		Lago-laguna
	Metro		Gruta		Muelle		Parque nacional
	Médico		Monumento colonial		Parada de tranvía		Zona arqueológica
	Parada de autobús		Playa		Restaurante		
	Parada de trolebus		Albergue		Taxi		



A 3.1.1 PRINCIPALES FALLAS EN PAVIMENTOS Y SU ORIGEN

El pavimento constituye el elemento más importante de una carretera, porque a través de su estructura y de la superficie de rodadura se disipan los efectos de las cargas de los vehículos y se canaliza el tráfico durante su vida de servicio. Los materiales con los que se construye un pavimento deben ser de calidad seleccionada y su estructura se diseña para asegurar un comportamiento adecuado y la durabilidad para un determinado periodo de servicio.

La estructura de un pavimento se denomina "flexible" si está formada por capas de materiales pétreos de buena calidad y en su capa superior o en su superficie de rodadura se utiliza un material pétreo de mejor calidad, combinado con un material asfáltico. A este tipo de estructura también se le denomina "pavimento asfáltico".

Otro tipo de pavimento se denomina "rígido", si la estructura está formada por una capa de apoyo de materiales pétreos de buena calidad, sobre la que se coloca una losa de concreto hidráulico de alta calidad. A esta estructura también se le denomina "pavimento de concreto hidráulico".

Un tercer tipo de pavimento se puede denominar "mixto", si alguna capa de su estructura, por debajo de la capa de rodadura, está formada por materiales mezclados con asfalto o con cemento Portland, para aumentar su rigidez y resistencia mecánica. A esta estructura mixta, también se le denomina "pavimento semirrígido".

En México, desde los inicios del siglo pasado se han construido pavimentos flexibles en carreteras, mientras que los pavimentos rígidos se empezaron a construir en los últimos quince años, por lo que en el medio se dispone de una mayor experiencia en el comportamiento y deterioros de los pavimentos asfálticos.

En la sección de Glosario y Términos Técnicos, al final de esta Guía, se pueden consultar las definiciones y esquemas de los tipos de pavimento, las distintas capas que los integran, así como otros términos relativos a esta sección. De igual manera, en la sección de Bibliografía se incluyen diversas fuentes bibliográficas para que los interesados puedan consultar con mayor detalle las fallas de los pavimentos y su origen.

En esta sección se comentan las principales fallas que presentan los pavimentos flexibles y rígidos durante su operación, así como las diversas causas y los mecanismos de evolución de deterioro que las van produciendo, a efecto de reconocer cómo se puede prevenir su aparición o qué acciones de conservación puede ser conveniente realizar para eliminarlas o atenuar su evolución, a fin de mantener o mejorar los niveles de servicio y de seguridad de las carreteras.

a) Causas y Evolución de las Fallas en los Pavimentos

Son varios los factores que originan las fallas de los pavimentos, comentándose a continuación los efectos de los factores que causan los principales tipos de deterioro, así como los mecanismos de evolución de estas fallas.

a.1) Efecto de la Intensidad del Tráfico y del Peso de los Vehículos

La intensidad, velocidad, tipo y peso de vehículos que transitan una carretera durante su vida de servicio, condicionan el desarrollo de fallas en el pavimento, porque producen esfuerzos dinámicos de tensión, compresión y mixtos, que son absorbidos o disipados por la capa superior (asfáltica o de concreto hidráulico) y por las capas inferiores de la estructura.

- **Agrietamiento por Fatiga de las Capas Superiores del Pavimento**

Los esfuerzos de tensión generalmente se presentan y son disipados en la capa superior, ya sea construida por un material pétreo aglutinado con asfalto o con cemento Portland, de tal forma que el paso sucesivo de las cargas dinámicas genera el fenómeno de fatiga en esta capa.

En el diseño de la estructura del pavimento se analiza que la falla por fatiga no ocurra durante el periodo de servicio del proyecto, para lo cual se considera el uso de materiales en los que se revisa en pruebas dinámicas de laboratorio que presenta una alta resistencia a la fatiga, determinando además un espesor de la capa superior que "rigidice" y asegure la resistencia a la fatiga para la vida de servicio del pavimento.

La fatiga de la capa superior del pavimento ocasiona la aparición de pequeñas grietas que generalmente inician entre la unión de la capa superior y la capa de apoyo, como se puede observar en la Figura A 3.1.1.1 El paso de las cargas dinámicas de los vehículos durante un determinado tiempo, favorece el desarrollo de las grietas a través del espesor de la capa superior, hasta que empiezan a ser visibles en la superficie de rodadura.

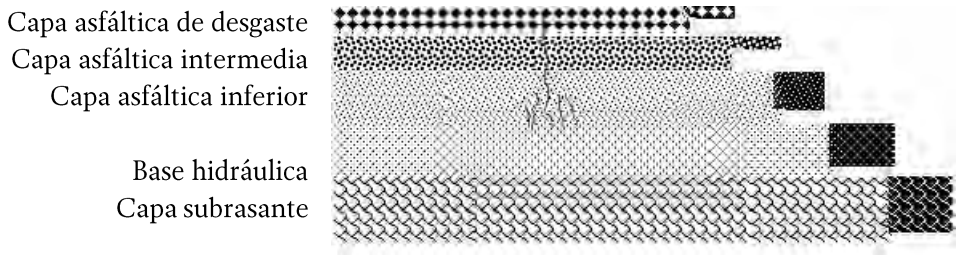


Figura A 3.1.1.1 Inicio y desarrollo de las grietas ocasionadas por fatiga

El agrietamiento por fatiga de la capa superior puede continuar evolucionando, observándose inicialmente un agrietamiento reticular en la superficie, sobre todo en la zonas de pavimento por donde se canaliza el tráfico, siendo crítico cuando ya se observa un agrietamiento en forma de "panal" o de "piel de cocodrilo", porque en esa condición el pavimento ya requiere la sustitución de la capa superior o la reutilización de materiales para construir una nueva capa.

De no tomar medidas oportunas para atender este tipo de falla, lo más probable es que el pavimento en corto tiempo sufra una desintegración paulatina de la capa de rodadura, que la vuelva intransitable o con un nivel de servicio muy bajo.

- **Deformaciones de la Estructura del Pavimento Flexible**

Los esfuerzos de compresión que producen las cargas de los vehículos, van generando con el tiempo deformaciones permanentes en el pavimento flexible, principalmente en las zonas de canalización del tráfico. A este tipo de deformaciones usualmente se les denomina "roderas".

Cuando un esfuerzo de compresión se aplica en la estructura del pavimento flexible, se produce una determinada deformación y cuando el esfuerzo se retira, las capas del pavimento en su conjunto sufren una recuperación parcial ("deformación elástica") aunque no se alcanza la recuperación total.

La acumulación de las deformaciones que no se recuperan en las capas del pavimento, por el paso sucesivo de los vehículos, se denomina "deformación permanente".

La deformación permanente total que se va produciendo con el tiempo en un pavimento asfáltico es la suma de las deformaciones permanentes de cada una de sus capas que lo constituyen, incluyendo la deformación que también se produce en las capas de desplante del pavimento (capa subrasante y cuerpo de terraplén). El valor de la deformación permanente de cada capa es variable y depende de su espesor así como de la calidad de los materiales utilizados en su construcción y de su grado de acomodo. Figura A 3.1.1.2.

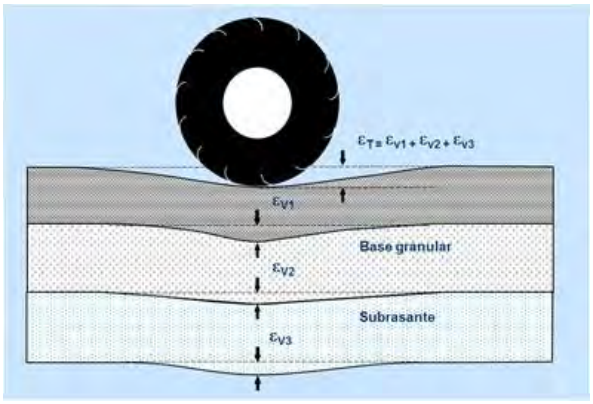


Figura A 3.1.1.2. Deformación permanente en el pavimento flexible y en la capa subrasante

En el diseño del pavimento se efectúa el análisis de esta falla, considerando que un pavimento con una determinada estructura y calidad de materiales presentará un determinado valor de deformación permanente, cuando se concluya el periodo de servicio previsto. Visto de otra manera, cuando un pavimento presenta una deformación permanente igual o superior a un valor determinado en el diseño, se considera que el pavimento terminó su vida de servicio y debe ser rehabilitado o reconstruido.

a.2) Efecto del Agua

Es importante considerar que el agua es quizás el factor principal que ocasiona más daños en las carreteras, por lo que la mejor recomendación siempre será eliminar o alejar el agua de la zona donde discurre el trazo de una obra vial.

En la Figura A 3.1.1.3 se observan las diversas formas en que el agua tiene contacto con la carretera y particularmente con el pavimento.



Figura A 3.1.1.3. Ingreso y contacto del agua con el pavimento

Es importante señalar que la superficie de rodadura debe ser impermeable para que el agua de lluvia pueda ser desalojada por las orillas del pavimento, canalizándola hasta las obras de drenaje superficial.

Sin embargo, cuando los pavimentos flexibles y rígidos presentan grietas superficiales o las juntas de construcción están mal selladas, el agua se introduce a las capas inferiores, saturando y reblandeciendo los materiales de apoyo de la capa superficial, ocasionando los efectos asociados a las fallas que se comentan a continuación.

La saturación de las capas intermedias del pavimento también puede ocurrir por infiltración capilar de las capas inferiores, por lo que se recomienda que los materiales pétreos de las capas intermedias tengan bajo contenido de finos para evitar la ascensión capilar y un rápido desalojo del agua.

- **Deformaciones, Agrietamientos y Baches en Pavimentos Flexibles**

La presencia del agua en las capas del pavimento flexible, y en las terracerías de apoyo, provoca en general una disminución de la resistencia de los materiales utilizados en su construcción.

La cantidad de finos que contienen los materiales pétreos y los suelos que se utilizan en las capas intermedias del pavimento y en las terracerías, respectivamente, con la presencia del agua se ven afectados en su comportamiento mecánico y más si estos finos son de tipo arcilloso.

En diversos estudios de investigación se ha comprobado que entre más elevado sea el contenido de finos y estos finos provengan de arcillas con alta plasticidad, se disminuye la resistencia mecánica de todo el material pétreo, lo que puede ocasionar deformaciones transversales y longitudinales, así como deformaciones notables sobre todo en zonas en donde estos materiales están prácticamente saturados.

El porcentaje de finos y su naturaleza plástica se ha limitado en las especificaciones contenidas en la Normativa SCT que se están aplicando en los últimos años, con objeto de reducir el efecto del agua en la matriz fina de los materiales.

Sin embargo, la mayor parte de la red de carreteras en nuestro país, se construyó en las últimas décadas del siglo pasado, por lo que los materiales utilizados en los pavimentos de estas carreteras presentan este problema y por tanto es necesario solucionarlo durante la conservación y particularmente en la rehabilitación de los pavimentos antiguos.

Como consecuencia, en carreteras con materiales que presentan saturación de agua en las capas hidráulicas intermedias del pavimento o también con suelos saturados en las terracerías, se presentan inicialmente deterioros en forma de deformaciones en zonas locales, luego agrietamientos dentro de las áreas deformadas y finalmente se presenta la desintegración paulatina de la estructura del pavimento. A este tipo de fallas comúnmente se les conoce como “baches”. Figura A 3.1.1.4.

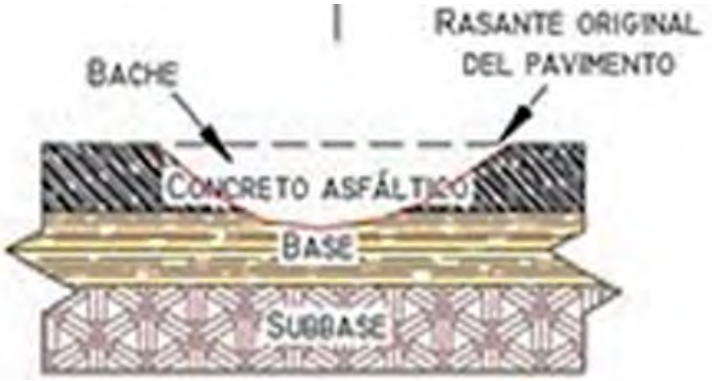


Figura A 3.1.1.4. Aspecto de un bache en un pavimento flexible

Cuando los baches representan un porcentaje bajo del área del pavimento en operación (normalmente hasta 15%), se puede efectuar una reparación de las zonas dañadas mediante el procedimiento denominado “bacheo profundo”, que se describe en el Capítulo correspondiente de esta Guía.

En el bacheo profundo es necesario eliminar los materiales saturados del área afectada en una profundidad cuando menos hasta la capa subrasante y rellenar y compactar adecuadamente con un nuevo material pétreo de buena calidad hasta la capa de base y después colocar y compactar con mezcla asfáltica adecuada hasta la superficie de rodadura, procurando dejar la reparación al mismo nivel que presenta la superficie de rodadura.

Cuando las zonas de baches representan una superficie superior al 15% del área total de la superficie de rodadura del pavimento en operación, se debe seleccionar otro tipo de solución para corregir estas fallas, como construir subdrenes longitudinales en las zonas laterales del pavimento para reducir la infiltración de agua al pavimento y efectuar un tratamiento de las capas existentes para mejorarlas con algún producto estabilizador, técnicas que también se incluyen en las secciones correspondientes de esta Guía.

- **Agrietamiento y Pérdida de Soporte por la Migración de Finos a la Superficie de los Pavimentos**

Cuando los materiales pétreos que forman la capa de apoyo de la capa asfáltica superficial o de la losa de concreto hidráulico, contienen un porcentaje de finos elevado y se encuentran saturados del agua que se infiltra por las grietas o por las juntas de construcción mal selladas, con el paso constante de los vehículos pesados se presenta un fenómeno de migración de finos a través de las grietas o las juntas, hacia la superficie de rodadura, el cual se conoce en el medio de carreteras como “bombeo”.

La migración de finos hacia la superficie, que se denota por la aparición de manchas blancas alrededor de las grietas o juntas, ocasiona posteriormente que en las zonas de la capa de apoyo en donde se pierden finos por migración, se produzca una falta de sustentación de la capa superior, provocando en los pavimentos flexibles mayor agrietamiento de la capa de rodadura y originando baches, y en los pavimentos rígidos, rompimiento y desplome de parte de la losa de concreto hidráulico.

- **Desprendimiento de Agregados y Pérdida de Resistencia en Capas Asfálticas**

En las capas asfálticas o en las carpetas de riegos con material pétreo y asfalto, también se presenta otro efecto perjudicial por la presencia del agua de lluvia que se encuentra en la superficie de rodadura o se introduce dentro de la capa a través de las grietas.

El agua libre que tiene contacto con el material pétreo adherido con el asfalto, por la naturaleza mineralógica de los materiales pétreos con el tiempo puede llegar a separar el asfalto adherido, presentándose entonces un desprendimiento de partículas en la superficie de rodadura que va evolucionando hasta que en el caso más crítico puede llegar a desmoronar la capa asfáltica superficial o levantar la carpeta de riegos.

Por otra parte, la infiltración del agua en una capa asfáltica, por el mismo efecto de separación del asfalto en el material pétreo antes comentado, puede llegar a disminuir la resistencia mecánica de la mezcla asfáltica y por lo tanto disminuir su resistencia a los esfuerzos de tensión y compresión de las cargas de los vehículos, presentando deformaciones y fatigas prematuras, que reducen el desempeño esperado y la durabilidad de la capa.

Esta causa del deterioro en las mezclas asfálticas y en carpetas de riegos, es importante que se detecte en el estudio de calidad de los materiales pétreos, para evitar el uso de materiales que presenten mala afinidad con el asfalto o en su caso, recomendar tratamientos que reduzcan este problema, tales como obtener nuevas caras en los materiales pétreos mediante trituración o adicionar aditivos mejoradores de afinidad y adherencia.

a.3) Efecto de la Temperatura y del Medio Ambiente

A lo largo de su vida de servicio, el pavimento está expuesto a cambios de temperatura en el día y por los cambios de clima durante el año. Los gradientes de temperatura a las que está expuesto, también varían por el lugar en el que esté ubicada la carretera, aunque por la posición geográfica de México, los efectos más perjudiciales por temperatura se tienen en las zonas más calurosas, siendo común medir temperaturas máximas en la superficie de rodadura, de hasta 70º C.

- **Agrietamiento por Contracción y Dilatación en las Capas Superiores del Pavimento**

Los gradientes térmicos a los que están expuestos los pavimentos flexibles y rígidos, ocasionan fenómenos de contracción y dilatación en los materiales de las capas que los constituyen, provocando agrietamientos transversales o alabeo de las losas de concreto hidráulico, originándoles también grietas y desportilladuras en las juntas.

- **Agrietamiento y Envejecimiento de la Capa Asfáltica en Pavimentos Flexibles**

Por otra parte, el medio ambiente tiene un efecto de oxidación con el consecuente endurecimiento y envejecimiento del asfalto que se encuentra en las capas y tratamientos asfálticos de los pavimentos flexibles. Esto ocasiona que con el tiempo se presente un agrietamiento en forma de mapa, así como una disminución del comportamiento mecánico y reducción de la vida de servicio de las capas asfálticas y de las carpetas a base de riegos.

- **Deformación Permanente de Capas Asfálticas**

Las altas temperaturas ocasionan en las capas asfálticas que se presenten deformaciones, sobre todo cuando se emplean asfaltos de naturaleza blanda, lo cual también puede producir desplazamientos laterales de la mezcla, por el paso del tráfico pesado. Lo recomendable, para que no suceda este deterioro, es utilizar un material asfáltico duro o un asfalto modificado con algún aditivo de tipo polimérico.

a.4) Efecto de un Control de Calidad Deficiente Durante la Construcción

Durante la construcción de un pavimento, es necesario efectuar un estricto control de calidad para asegurar el cumplimiento de las especificaciones contenidas en el proyecto, lo que conlleva a lograr el desempeño y la durabilidad previstos.

El control de calidad debe aplicarse desde la selección y producción de los materiales pétreos, hasta el tendido y compactación de las capas del pavimento en la obra. Sin embargo, el descuido o la falta de un control de calidad eficiente, da lugar a una serie de fallas que normalmente se presentan y detectan desde el inicio de la operación de una carretera.

Aunque los procedimientos y técnicas del control de calidad se presentan en la sección correspondiente de esta Guía, es necesario abordar en esta sección las causas y fallas en los pavimentos, que se presentan por diversos problemas en el control de calidad que se aplica durante la construcción.

- **Desempeño Deficiente y Corta Durabilidad del Pavimento**

Es importante que se aplique un control de calidad eficiente en la producción, almacenamiento y manejo de los materiales pétreos, asfálticos y del cemento Portland, que fueron seleccionados previamente porque cumplen con la calidad requerida para la construcción de un pavimento, para que durante la construcción se evite la contaminación con otros materiales de baja calidad, la segregación de partículas y la inadecuada dosificación de materiales.

De igual manera, el diseño de la mezcla asfáltica o de concreto hidráulico debe efectuarse con las fracciones de tamaños reales disponibles en los materiales pétreos, para que pueda lograrse una granulometría que además de que cumpla con la especificación correspondiente, pueda reproducirse durante la producción de la mezcla asfáltica o de concreto hidráulico.

En cuanto a la dosificación, se requiere un estricto control de los materiales pétreos, del asfalto (en mezclas asfálticas), del agua, aditivos y cemento Portland (en concreto hidráulico), para asegurar el desempeño y la durabilidad definidos en el diseño y exigidos en el proyecto. En el caso de una escasez de asfalto se originan también desprendimientos de partículas y si existe exceso de asfalto se provoca su exudación (llorado) en la superficie y deformaciones.

Es importante también que durante la producción de la mezcla asfáltica en caliente, se realice un control estricto de las temperaturas de materiales, para evitar otros problemas colaterales que originan que la mezcla tenga un desempeño y durabilidad limitados y que no cumpla con las expectativas del diseño y del proyecto.

De no cuidarse todos estos aspectos durante la producción de materiales, así como de las mezclas asfálticas y de concreto hidráulico, se obtendrán resistencias mecánicas inferiores a las definidas en el diseño y requeridas en el proyecto, presentándose a corto o mediano plazo algunas de las fallas antes comentadas.

- **Desprendimiento de Partículas en Capas Asfálticas**

El desprendimiento de partículas, que normalmente se presenta en una capa asfáltica recién construida, puede deberse a diversas causas asociadas con un control de calidad deficiente, como son: exceso de agregados gruesos en la superficie por una dosificación inadecuada en la producción de la mezcla, separación de gruesos durante el tendido (técnica común en el medio nacional), endurecimiento prematuro del asfalto por falta de control de temperatura del material pétreo, falta de cohesión para contener la fracción gruesa por falta de finos o por escasez de asfalto en la mezcla.

Desafortunadamente el desprendimiento prematuro de partículas requiere una acción inmediata para que este deterioro no se continúe desarrollando, porque de no atenderse oportunamente, con el tiempo podría originar el desgranamiento de la capa asfáltica hasta su completa desintegración. Las medidas que generalmente se aplican, dependiendo de la gravedad de la evolución de la falla, van desde un riego superficial de asfalto hasta la colocación de una nueva capa de protección.

- **Falta de Adherencia entre la Capa de Apoyo y la Capa Asfáltica de Rodadura**

Para asegurar un comportamiento integral de las capas que forman el pavimento flexible, es necesario asegurar que tanto el riego asfáltico de impregnación como el riego asfáltico de liga (para impermeabilizar y obtener una unión entre la capa de apoyo y la capa de rodadura) se efectúen en una superficie limpia sin partículas sueltas, con una dosificación uniforme y óptima o suficiente, para que no esté escasa o con exceso, porque en ambos casos se presentarán como consecuencia zonas permeables y que ambas capas no trabajen integralmente.

Una aplicación deficiente en los riegos asfálticos de impregnación o de liga, causan baja resistencia de materiales por infiltración de agua, disminución de la resistencia a la fatiga de la capa superior, corrimiento de la capa asfáltica superior o exudación superficial del asfalto.

- **Defectos de la Capa Superior del Pavimento durante su Construcción**

Una vez producida la mezcla asfáltica o el concreto hidráulico, se requiere que su traslado a la zona de construcción se realice con estricto cuidado para evitar contaminaciones, segregación de partículas y demoras para su colocación, para aprovechar las cualidades aglutinantes de asfalto o del cemento Portland.

También será necesario que la colocación (tendido) y el acomodo (compactación) se realicen con el equipo y el procedimiento adecuados y oportunos, para evitar acomodos defectuosos, juntas constructivas abiertas e inoportunas, segregación y clasificación de partículas, acabados defectuosos, etcétera.

En la construcción de mezclas asfálticas, los defectos comunes que se presentan, atribuibles a un control de calidad inadecuado en el tendido y compactación, son:

- Clasificación de partículas, que posteriormente provoca desprendimientos.
- Juntas de construcción abiertas, por donde se infiltra el agua de lluvia.
- Baja regularidad superficial, que no cumpla con la especificación, afectando el confort de los usuarios.
- Acabados con falta de uniformidad.
- Grados de compactación por debajo del límite mínimo especificado, lo cual reduce el desempeño y la durabilidad de la capa.

En la construcción de losas de concreto hidráulico, los defectos comunes que se presentan por un control de calidad deficiente en la colocación y acomodo, son:

- Clasificación de partículas, que puede provocar desprendimientos.

- Sangrado de la lechada hidráulica, que provoca defectos en el acabado superficial.
- Grietas de contracción en lugares no previstos, por una inducción inoportuna en las juntas de construcción.
- Grietas de esquina y de contracción, por un mal funcionamiento de los pasajuntas en las juntas transversales.
- Esquinas desportilladas y rompimiento de losas, por un deficiente sellado de las juntas.

En resumen, las fallas en los pavimentos son ocasionadas por diversos factores como son la intensidad y el tipo de tráfico, la infiltración de agua en la estructura, los agentes climáticos y un control de calidad deficiente, provocando distintos tipos de deterioro que de no atenderse con oportunidad, presentan una evolución que tienden a crecer y extenderse por toda el área del pavimento, lo que conlleva a reducir los niveles de servicio en la operación de las carreteras y a tener necesidad de aplicar medidas más costosas, conforme el daño resulte mayor.

b) Clasificación de las Fallas en los Pavimentos Flexibles

En el medio técnico de carreteras, las fallas en los pavimentos se clasifican en dos tipos, en razón de su nivel de exposición y del costo que podría significar su rehabilitación.

b.1) Falla Funcional

Se considera una falla de tipo funcional cuando sólo afecta la capa de rodadura de la carretera, la cual tiene una repercusión directa en las expectativas de satisfacción y seguridad de los usuarios.

Como es de esperarse, la capa de rodadura debe proporcionar una superficie cómoda, a través de una adecuada regularidad superficial; también debe ser impermeable, para evitar la infiltración del agua pluvial a las capas inferiores del pavimento; y además debe tener un coeficiente de fricción elevado, para proporcionar seguridad en el frenado y el tránsito de los vehículos:

Estas características de comodidad, impermeabilidad y seguridad deben mantenerse bajo las cargas repetidas del tráfico y las cambiantes condiciones atmosféricas, durante el tiempo de servicio previsto en el proyecto.

Los indicadores que definen la funcionalidad de la capa superior del pavimento son la regularidad superficial, la adherencia neumático-superficie de rodadura, la permeabilidad, el ruido por el paso del tráfico y las características reflectantes.

Ejemplos de fallas de tipo funcional son: la deformación y desplazamiento lateral de la capa asfáltica, el desprendimiento de partículas, el agrietamiento de la capa de rodadura, el deslizamiento o “arriñonamiento” de la capa superficial, el descascaramiento de la capa superficial, los baches superficiales, la exudación o “llorado” del asfalto, etcétera.

b.2) Falla Estructural

Se define una falla estructural, cuando el deterioro afecta total o parcialmente la estructura del pavimento. Este tipo de falla es ocasionada por deficiencias de la estructura, que es definida por el diseño del pavimento y por la calidad de los materiales utilizados en la construcción, así como también por las condiciones de acomodo y capacidad drenante para desalojar el agua de infiltración.

Cuando se presenta una falla de tipo estructural, es necesario analizar detenidamente la forma en que el pavimento puede ser rehabilitado o reconstruido, porque las soluciones generalmente representan un alto costo.

Para ello es importante que se determinen las características de calidad y los parámetros de desempeño de los materiales, como son la resistencia a la compresión o a la tensión, los módulos elásticos, la deformación o

ahuellamiento de la mezcla asfáltica y la resistencia a la fatiga, para que en el análisis de las opciones de rehabilitación, mediante los métodos de diseño aplicables, se defina una nueva estructura y los tratamientos de reutilización de los materiales existentes o los nuevos materiales que se requerirán, en el caso de una reconstrucción del pavimento.

Ejemplos de fallas estructurales son la deformación permanente, el agrietamiento por fatiga y podrían considerarse los baches profundos, cuando abarcan un área notable de la superficie del pavimento.

c) Presentación Objetiva de las Principales Fallas en Pavimentos

A continuación se muestran las principales fallas en los pavimentos, tanto flexibles como rígidos, la mayoría de los cuales se comentaron anteriormente en el Inciso b), indicando su descripción básica y resumiendo sus posibles causas.

Es importante comentar que sólo se presentan objetivamente las principales fallas en pavimentos, pero son muchas más las distintas fallas que suelen presentarse, mismas que pueden consultarse en los diversos Catálogos de Fallas que se disponen en el medio técnico, cuyas referencias se incluyen en la sección de Bibliografía de esta Guía.

También es necesario indicar que los criterios para determinar la magnitud de la falla y su grado de severidad (a efecto de que se valoren los niveles de deterioro para definir las opciones de su rehabilitación) varían en los diversos catálogos de fallas disponibles.

Por lo tanto, para efecto de uniformizar la valoración de las fallas, se recomienda aplicar los criterios contenidos en los Catálogos de Fallas en Pavimentos Flexibles y en Pavimentos Rígidos, formulados por el Consejo de Directores de Iberia e Iberoamérica, denominados:

- M5.1. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles. Volumen Núm. 11 (2002)
- M5.2. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos. Volumen Núm. 12 (2002)

Principales Fallas en Pavimentos Flexibles

Agrietamiento Longitudinal (Falla funcional)

Descripción:

Rotura longitudinal sensiblemente paralela al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm. Figura A 3.1.1.5.

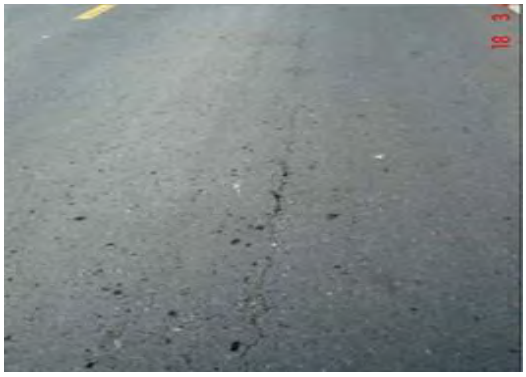


Figura A 3.1.1.5. Agrietamiento longitudinal

Causas comunes:

- Gradiente térmico superior a los 30º C
- Junta longitudinal mal construida
- Uso de asfaltos duros
- Envejecimiento del asfalto

Agrietamiento Transversal (Falla funcional)

Descripción:

Rotura transversal perpendicular al eje de la carretera, con abertura mayor de 3 mm. Figura A 3.1.1.6.



Figura A 3.1.1.6. Agrietamiento transversal

Causas comunes: Gradiente térmico superior a 30º C

- Reflejo de grietas en bases rígidas (losas de concreto hidráulico o bases tratadas con cemento Portland)
- Uso de asfaltos duros
- Envejecimiento del asfalto

Agrietamiento en forma de Mapa (Falla funcional)

Descripción:

Rotura longitudinal y transversal, en forma de retícula, con aberturas de grieta menor de 3 mm. Figura A 3.1.1.7.



Figura A 3.1.1.7. Agrietamiento forma de mapa

Causas comunes:

- Uso de asfaltos duros
- Oxidación y envejecimiento del asfalto
- Reflejo de fisuras en bases tratadas con cemento Portland

Agrietamiento de "Piel de Cocodrilo" (Falla estructural)

Descripción:

Roturas longitudinales y transversales con separación menor de 15 cm y con abertura de grieta creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada. Figura A 3.1.1.8.



Figura A 3.1.1.8. Agrietamiento piel de cocodrilo

Causas comunes:

- Fatiga de la capa asfáltica
- Saturación de agua en capas inferiores
- Estructura del pavimento inadecuada
- Uso de asfaltos duros

Deformación Longitudinal o Rodera (Falla estructural)

Descripción:

Deformación del perfil transversal por hundimiento en las zonas de canalización del tráfico. Figura A 3.1.1.9.



Figura A 3.1.1.9. Deformación longitudinal o rodera

Causas comunes:

- Capacidad insuficiente de la estructura del pavimento
- Compactación o calidad deficiente de las capas
- Uso de asfaltos blandos
- Uso de agregados redondeados

Deformación Transversal (Falla estructural)

Descripción:

Deformación del perfil longitudinal por hundimiento en zonas similarmente distantes entre sí. Figura A 3.1.1.10.



Figura A 3.1.1.10. Deformación transversal

Causas comunes:

- Capacidad insuficiente de la estructura del pavimento
- Compactación o calidad deficiente de las capas
- Uso de asfaltos blandos
- Uso de agregados redondeados

Desprendimiento de Partículas (Falla funcional)

Descripción:

Partículas sueltas en la superficie de la capa asfáltica con presencia de agregados parcialmente expuestos fuera de la mezcla asfáltica. Figura A 3.1.1.11.



Figura A 3.1.1.11. Desprendimiento de partículas

Causas comunes:

- Mala afinidad del material pétreo con el asfalto
- Uso de agregados con tamaño inadecuado
- Segregación de partículas por un mal manejo en la construcción

Exudación de asfalto (Falla funcional)

Descripción:

Presencia de asfalto sin agregado en la superficie. Figura A 3.1.1.12.

Causas comunes:

- Exceso de asfalto en la dosificación
- Uso de asfalto blando
- Derrame de solventes



Figura A 3.1.1.12. Exudación de asfalto

Migración de finos a la superficie (Falla estructural)

Descripción:

Finos de la base hidráulica saturada que son expulsados a través de las grietas de la capa superior, por el paso del tráfico pesado. Figura A 3.1.1.13.

Causas comunes:

- Exceso del contenido de finos en la base hidráulica
- Saturación de agua en la base hidráulica



Figura A 3.1.1.13. Migración de finos a la superficie

Bache Superficial (Falla funcional)

Descripción:

Pérdida de la capa asfáltica de rodadura. Figura A 3.1.1.14.

Causas comunes:

- Falta de adherencia por esparcido heterogéneo del asfalto de liga
- Falta de limpieza en la capa de apoyo
- Colocación con lluvia o presencia de agua en la capa de apoyo
- Compactación deficiente



Figura A 3.1.1.14. Bache superficial

Bache Profundo (Falla estructural)

Descripción:

Pérdida parcial de bloques de la capa de rodadura con hundimiento local y con agrietamiento en malla cerrada (piel de cocodrilo). Figura A 3.1.1.15.

Causas comunes:

- Saturación de agua de las capas del pavimento
- Estructura del pavimento inadecuada



Figura A 3.1.1.15. Bache profundo

- Materiales heterogéneos en las capas del pavimento
- Defecto constructivo aislado



Figura A 3.1.1.16. Grietas de esquina

Grietas de Esquina (Falla estructural)

Descripción:

Grieta de forma triangular entre las juntas longitudinal y transversal, con longitud de los lados del triángulo que varía entre 30 cm y la mitad del ancho de la losa. Figura A 3.1.1.16.

Causas comunes:

- Falta de apoyo de la losa por erosión de la base o alabeo térmico
- Sobrecarga en las esquinas
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas



Figura A 3.1.1.17. Grietas diagonales

Grietas Diagonales de Contracción (Falla funcional)

Descripción:

Grietas capilares en la superficie del pavimento que se orientan en el sentido longitudinal y se encuentran interconectadas con grietas más finas distribuidas en forma aleatoria. Figura A 3.1.1.17.

Causas comunes:

- Curado deficiente del concreto hidráulico
- Compactación superficial excesiva y/o adición de agua durante el acomodo



Figura A 3.1.1.18. Grietas transversales

Grietas Transversales (Falla estructural)

Descripción:

Grieta predominantemente perpendicular al eje del camino que se extiende desde una junta longitudinal hasta el borde del pavimento. Figura A 3.1.1.18.

Causas comunes:

- Losa de longitud excesiva
- Aserrado tardío de la junta de contracción
- Insuficiente espesor de la losa para las solicitaciones del tráfico
- Retracción térmica que origina alabeo

Grietas Longitudinales (Falla estructural)

Descripción:

Grietas predominantemente paralelas al eje del camino o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia mucho mayor que la mitad del ancho de la losa. Figura A 3.1.1.19.



Figura A 3.1.1.19. Grietas longitudinales

Causas comunes:

- Asentamiento de la base o la capa de apoyo
- Ancho excesivo de la losa
- Falta de junta longitudinal
- Mal posicionamiento de los pasajuntas
- Aserrado tardío de la junta

Levantamiento de Losas (Falla estructural)

Descripción:

Levantamiento de la unión entre losas contiguas, con resquebrajamiento de las orillas del concreto hidráulico. Figura A 3.1.1.20.



Figura A 3.1.1.20. Levantamiento de losas

Causas comunes:

- Variaciones térmicas cuando la longitud de la losa es excesiva y no cuenta con juntas de expansión
- Mal posicionamiento de los pasajuntas
- Presencia de un suelo expansivo a poca profundidad

Deformación por Hundimiento (Falla estructural)

Descripción:

Escalonamiento entre losas contiguas, con resquebrajamiento de las orillas contiguas. Figura A 3.1.1.21.



Figura A 3.1.1.21. Deformación por hundimiento

Causas comunes:

- Baja compactación de la base
- Falta de juntas de amarre

Migración de Finos y Hundimiento Local
(Falla estructural)



Figura A 3.1.1.22. Migración de finos y hundimiento local

Descripción:

Expulsión de agua con arrastre de finos a través de las juntas, grietas y el borde externo del pavimento, por el paso de vehículos pesados, con hundimiento posterior de parte de la losa por la falta de apoyo. Figura A 3.1.1.22.

Causas comunes:

- Saturación de la base con alto contenido de finos
- Inadecuada transmisión de las cargas entre losas

Descascaramientos y Escamaduras (Falla funcional)



Figura A 3.1.1.23. Descascaramiento y escamaduras

Descripción:

Desintegración superficial progresiva perdiendo primero la textura y luego el mortero, quedando el agregado grueso expuesto. Figura A 3.1.1.23.

Causas comunes:

- Exceso de mortero en el concreto hidráulico
- Mala dosificación del concreto hidráulico
- Curado deficiente
- En climas fríos, acción del tráfico y de los ciclos de hielo y deshielo, en concreto hidráulico sin aire incluido

A 3.1.2 MANUAL DEL USUARIO DE LA HERRAMIENTA DE APOYO PARA SELECCIONAR ALTERNATIVAS SUPERFICIALES DE CONSERVACIÓN

Los trabajos de conservación en carreteras son parte medular en el funcionamiento adecuado de la red vial de cualquier país. En México no es la excepción, en donde los trabajos a ejecutar para mantener condiciones de servicio aceptables son diversos y su correcta aplicación depende prácticamente del criterio y experiencia del Ingeniero Proyectista o del encargado, tanto de evaluar las condiciones de deterioro de la vialidad como de proponer las acciones de mantenimiento que serán llevadas a cabo.

Esta herramienta es una aportación del Comité de Conservación de Carreteras de la AMIVTAC, con el objetivo de apoyar a los involucrados en la toma de decisión, en la selección más adecuada de los tratamientos de conservación de pavimentos flexibles, forma parte del Manual de Conservación de Carreteras.

Instrucciones de Uso

La pantalla principal del programa es la hoja "Resumen" de Excel, Figura A 3.1.2.1, en la cual se llevará a cabo el inicio de la secuencia, así como la impresión final de los resultados.

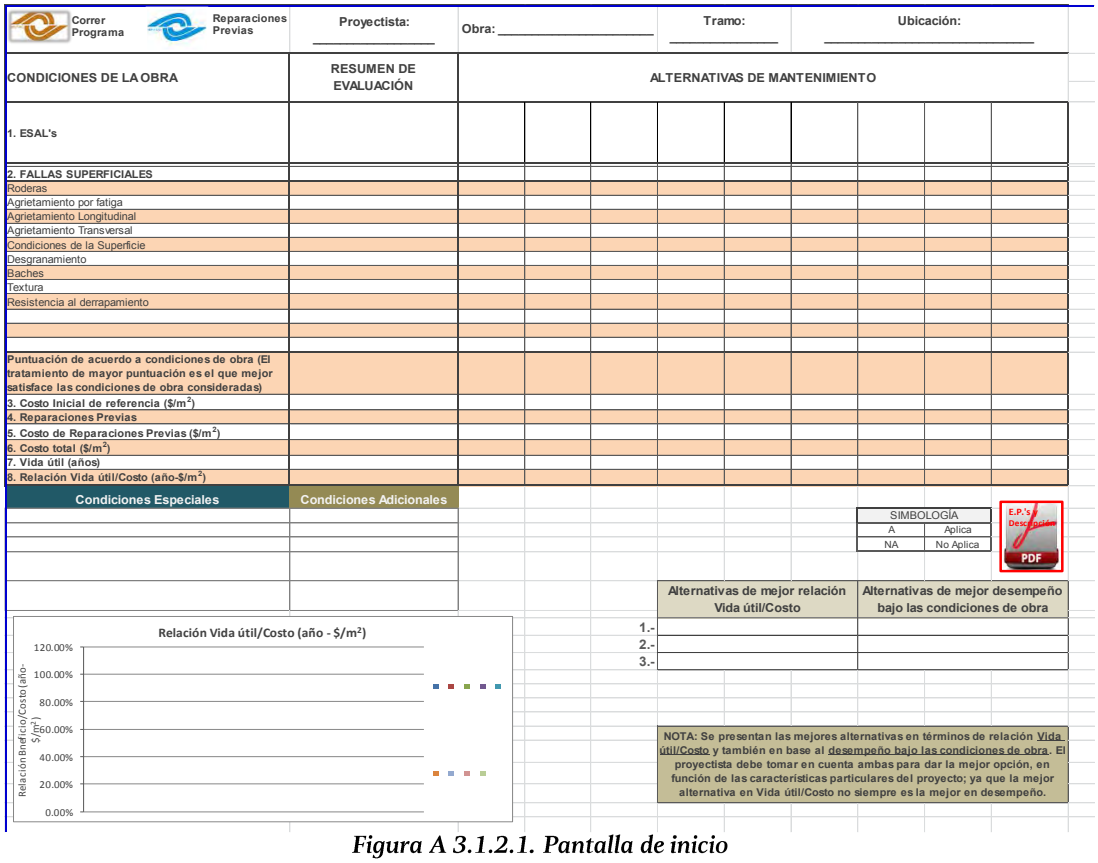


Figura A 3.1.2.1. Pantalla de inicio

La secuencia de evaluación se inicia haciendo "click" sobre el logo de AMIVTAC que se encuentra en la parte superior izquierda en la hoja "Resumen".

Se muestra la ventana de "Menú de Inicio", Figura A 3.1.2.2. En la cual se muestra en primera instancia la Bienvenida y donde puede elegir la opción de recurrir a este Manual del Usuario, ver las Consideraciones

Preliminares o Comenzar con la evaluación del programa. El Menú de Inicio también contiene pestañas en la parte superior referentes a la Propiedad y Uso, Desarrollo y Revisión del programa. Si se desea también se puede salir del programa en cualquier ventana mostrada durante la ejecución, lo cual interrumpirá el proceso de evaluación y selección.

Una vez que se seleccionó la opción "Comenzar", se despliega la ventana de "Condiciones Especiales" de la evaluación (Figura A 3.1.2.3), en la cual se tienen la Calidad Funcional, Calidad Estructural y Condiciones Especiales Durante la Construcción, Figura A 3.1.2.4. En estas ventanas se deben elegir las Condiciones que se tendrán en la vialidad a evaluar.



Figura A 3.1.2.2. Pantalla de bienvenida

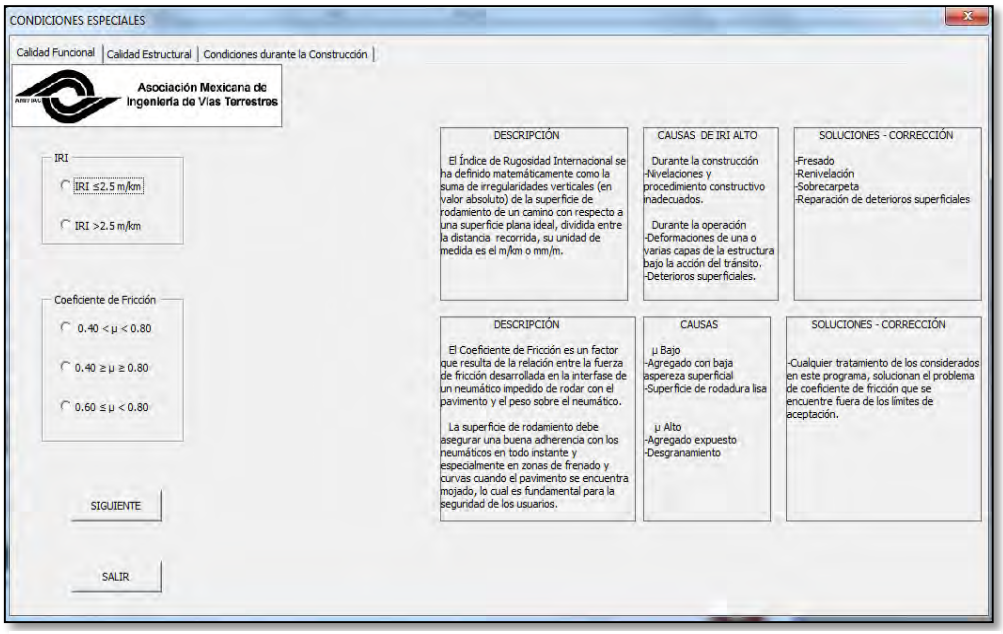


Figura A 3.1.2.3. Condiciones especiales (calidad funcional)

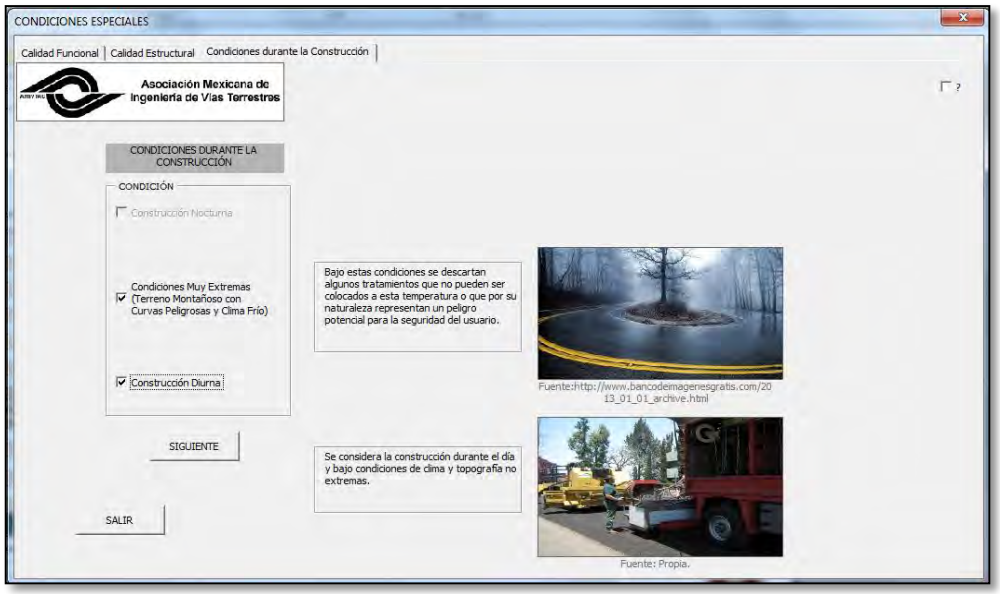


Figura A 3.1.2.4. Condiciones especiales (condiciones durante la construcción)

Al dar "click" en el botón "Siguiente" en la ventana "Condiciones durante la Construcción" aparecerá una ventana informativa correpondiente a los ejes equivalentes (ESAL's). Figura A 3.1.2.5.

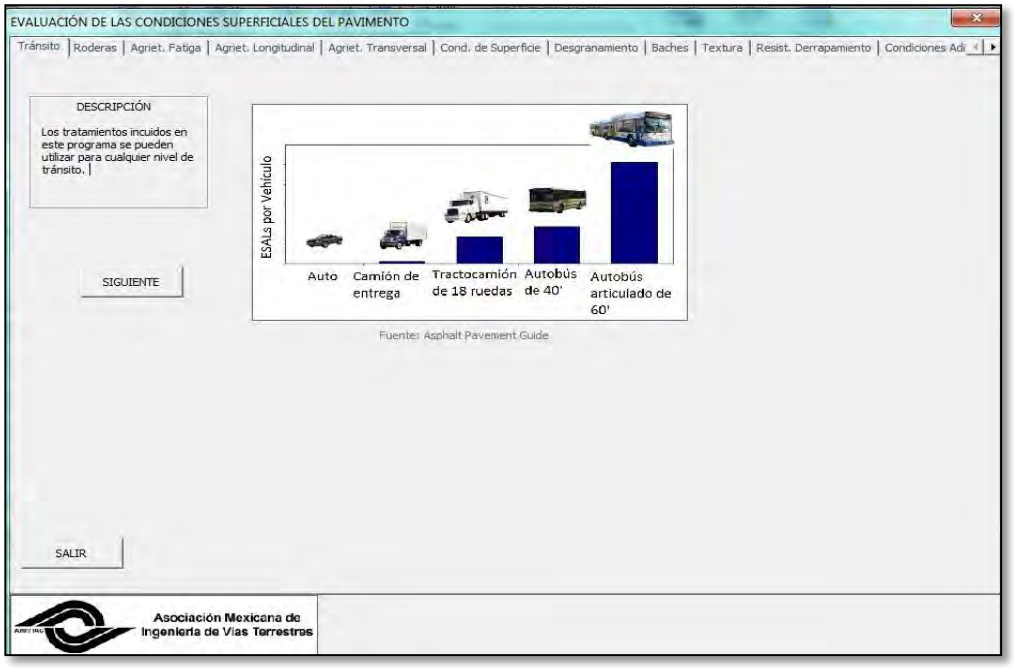


Figura A 3.1.2.5. Consideración del nivel de tránsito

En cada pestaña aparece la descripción de la condición o deterioro que se esté evaluando.

El botón "Siguiente" permite pasar a la evaluación de los deterioros, o bien se puede cambiar dando "click" sobre la pestaña deseada que se encuentran en la parte superior. De igual forma el botón "Atrás" retrocede a la pestaña anterior.

Las fallas superficiales del pavimento con sus respectivos niveles de deterioro aparecen en cada pestaña a evaluar, las cuales se enlistan a continuación:

- **Roderas**
  - Bajo (< 3/8")
  - Moderado (3/8" a 1")
  - Alto (>1")
- **Agrietamiento por Fatiga**
  - Bajo (< 6 mm)
  - Moderado (entre 6 y 19 mm)
  - Alto (> 19 mm)
- **Agrietamiento Longitudinal**
  - Bajo (< 6 mm)
  - Moderado (entre 6 y 19 mm)
  - Alto (> 19 mm)
- **Agrietamiento Transversal**
  - Bajo (< 6 mm)
  - Moderado (entre 6 y 19 mm)
  - Alto (> 19 mm)

- **Condiciones de la Superficie**
  - Seca
  - Porosa
  - Exudada
- **Desgranamiento**
  - Bajo
  - Moderado
  - Alto
- **Baches**
  - Bajo (Prof. < 25 mm)
  - Moderado (Prof. entre 25 y 50 mm)
  - Alto (Prof. > 50 mm)
- **Textura**
  - Áspera
- **Resistencia al Derrapamiento**
  - Baja

En la pestaña final "Condiciones Adicionales" (Figura A 3.1.2.6), se pregunta al evaluador si desea elegir algún parámetro que mejore el desempeño del tratamiento a elegir, con lo cual se dará un peso específico mayor a los tratamientos que presenten mayores prestaciones ante estas solicitaciones.

Al dar "click" en el botón "Siguiente" se inicia la secuencia de evaluación en Excel para obtener las tres alternativas de mantenimiento de mayor relación Vida útil/Costo.

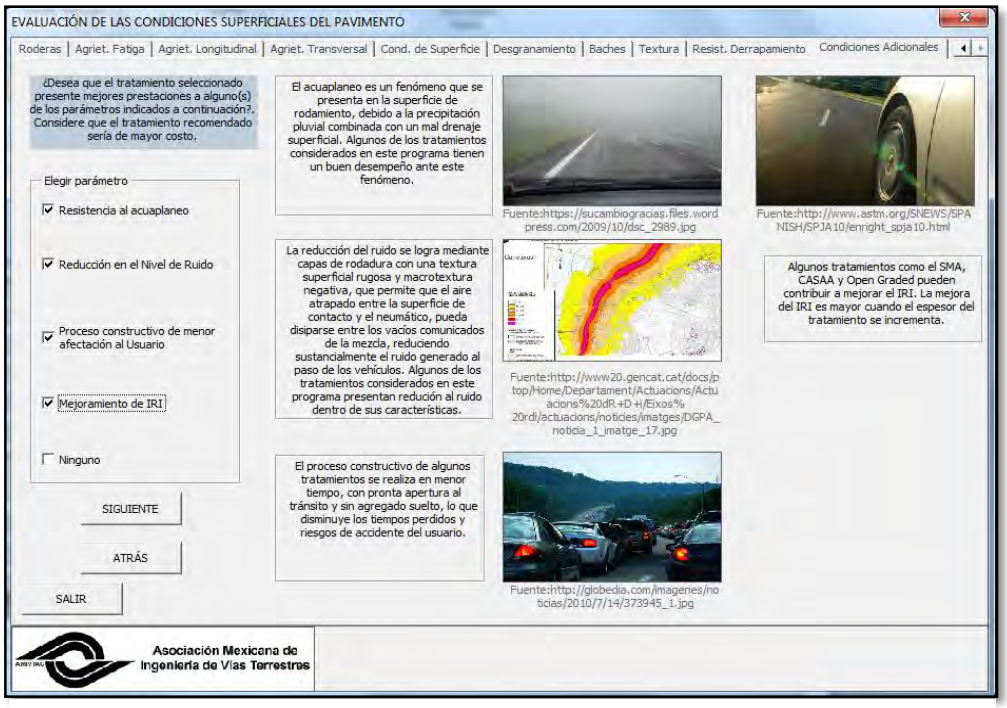


Figura A 3.1.2.6. Condiciones Adicionales de Desempeño

Hecho lo anterior el programa nos regresa a la hoja "Resumen" de Excel Figura A 3.1.2.7, mostrando las Alternativas de mantenimiento en la parte superior derecha, las cuales pasaron por un primer filtro y son las que mayor puntuación obtuvieron de acuerdo a las condiciones de obra.

Iniciar Programa | Reparaciones Previas | Proyectista: | Obra: | Tramo: | Ubicación:

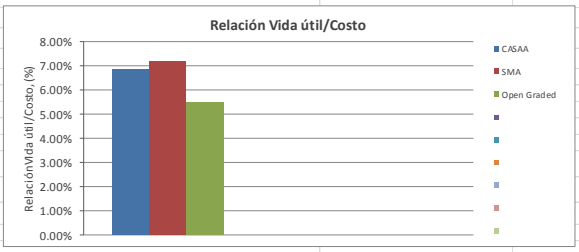
CONDICIONES DE LA OBRA	RESUMEN DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN								
1. ESAL's		CASAA	SMA	Open Graded						
2. FALLAS SUPERFICIALES										
Roderas con Def. Carpeta Asfáltica	Bajo	A	A	A						
Agrietamiento por fatiga	Sin Agrietamiento por Fatiga	A	A	A						
Agrietamiento Longitudinal	Bajo	A	A	NA						
Agrietamiento Transversal	Sin Agrietamiento Transversal	A	A	A						
Condiciones de la Superficie	Buenas Condiciones	A	A	A						
Desgranamiento	Bajo	A	A	A						
Baches	Moderado	NA	NA	NA						
Textura	Buenas Condiciones	A	A	A						
Resistencia al derrapamiento	Buenas Condiciones μ ≥ 0.4	A	A	A						
Puntuación de acuerdo a condiciones de obra (El tratamiento de mayor puntuación es el que mejor satisface las condiciones de obra consideradas)		6.75	6.75	4.50						
3. Costo Inicial de referencia ($/m²)		95	105	100						
4. Reparaciones Previas		Si Requiere	Si Requiere	Si Requiere						
5. Costo de Reparaciones Previas ($/m²)		0	0	0						
6. Costo total ($/m²)		95	105	100						
7. Vida útil (años)		6.5	7.5	5.5						
8. Relación Vida útil/Costo, año-$/m²x100, (%)		6.84%	7.14%	5.50%						

Condiciones Especiales	Condiciones Adicionales
IRI ≤2.5 m/km	Proceso constructivo de menor afectación al Usuario
0.40 < μ < 0.80	
D ≤ 0.8 mm	
Condiciones Muy Extremas (Terreno Montañoso con Curvas Peligrosas y Clima Frío)	
Construcción Diurna	

SIMBOLOGÍA	
A	Aplica
NA	No Aplica

E.P.'s y Descripción PDF

	Alternativas de mejor relación Vida útil/Costo	Alternativas de mejor desempeño bajo las condiciones de obra
1.-	SMA	SMA
2.-	CASAA	CASAA
3.-	Open Graded	Open Graded



NOTA: Se presentan las mejores alternativas en términos de relación Vida útil/Costo y también en base al desempeño bajo las condiciones de obra. El proyectista debe tomar en cuenta ambas para dar la mejor opción, en función de las características particulares del proyecto; ya que la mejor alternativa en Vida útil/Costo no siempre es la mejor en desempeño.

Figura A 3.1.2.7. Hoja resumen después de la evaluación

El punto No. 3 enmarca el costo inicial de referencia ($/m^2), del cual se tiene un valor sugerido de costo del trabajo a ejecutar. La vida útil en años a la que se refiere el punto No. 7, también es un valor de vida útil sugerido, en el caso de no contar con un valor más certero.

Debido a la variación de costos de los trabajos a ejecutar de una región a otra, se tomaron estos valores promedio, pues para fines de evaluación se necesita un valor en específico. En el caso de conocer con mayor precisión los costos y la vida útil de los trabajos se pueden introducir manualmente estos valores en los puntos No. 3 y No. 7 de la hoja "Resumen" después de la evaluación. En caso de modificar estos valores se debe hacer "click" en el logo AMIVTAC azul "Reparaciones Previas". Se desplegará una ventana emergente que contiene las 3 alternativas de mayor relación Vida Útil/Costo (VU/C). En el caso en que se requieran realizar reparaciones previas, dicha ventana mostrará para las tres mejores alternativas de mantenimiento, las fallas para las que No Aplica (Figura 3.1.2.8). El usuario deberá de ingresar el costo de las reparaciones previas para que el programa nuevamente haga el cálculo de las 3 Alternativas de mejor relación VU/C. En caso de que las 3 alternativas sí apliquen para todos los deterioros, los cuadros de texto de Fallas y Reparaciones aparecerán en blanco (Figura A 3.1.2.9) y por lo tanto basta con dar "click" al botón "Procesar".

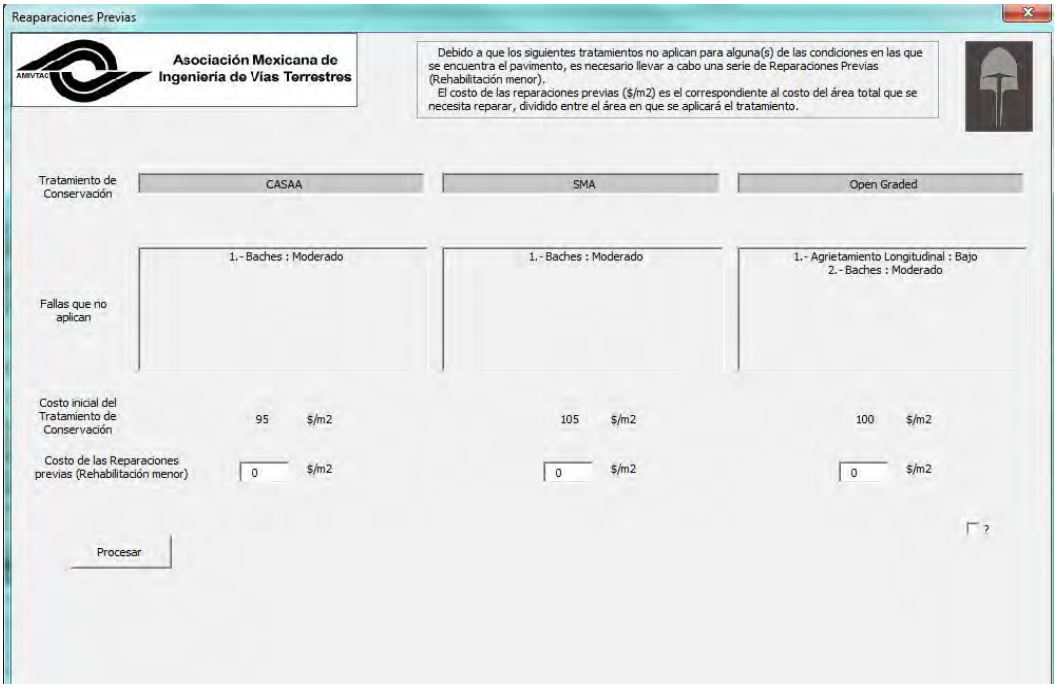


Figura A 3.1.2.8. Costo de las Reparaciones previas

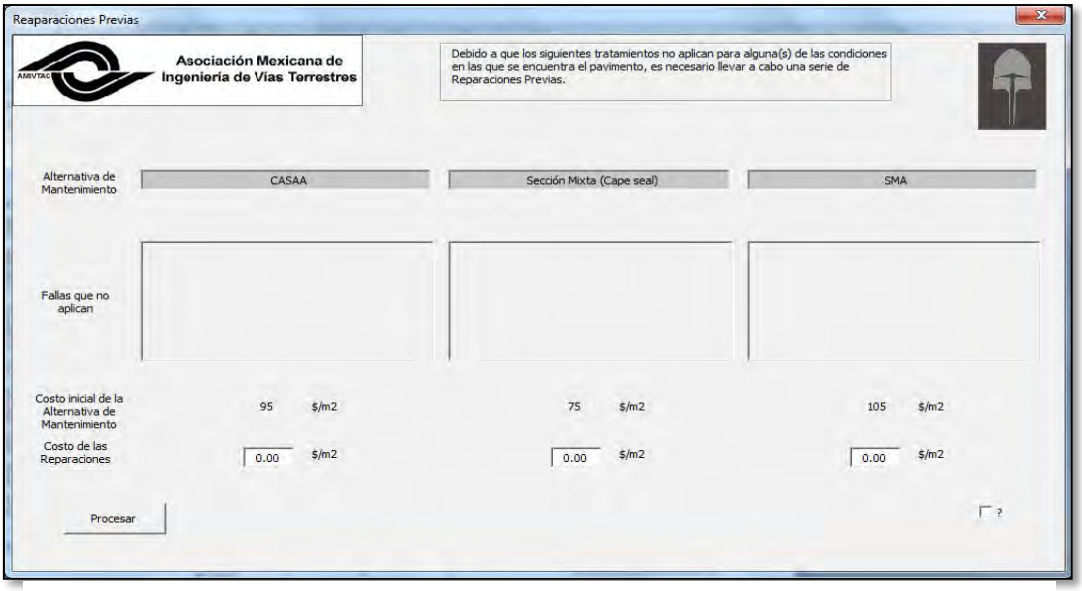


Figura A 3.1.2.9. Pantalla sin fallas por reparar

En la parte izquierda de la hoja Resumen se tienen graficadas las relaciones VU/C de las Alternativas de mantenimiento, de esta manera habrá una perspectiva más clara de las diferentes alternativas que se tienen en función de su vida útil esperada y el costo de construcción.

En el punto No. 8 se obtiene la relación Beneficio/ Costo, dividiendo la vida útil en años entre el costo inicial de referencia (dicho valor se expresó en porcentaje ya que el número es pequeño). De esta manera el que tenga la mayor relación será la alternativa más adecuada, partiendo del análisis siguiente:

De la Figura A 3.1.2.10 se tiene una serie de alternativas de mantenimiento a manera de ejemplo, las cuales pueden cumplir con ciertas características de deterioro en el pavimento. De todas las alternativas, la de mejor relación VU/C es el SMA, ya que es la de mayor relación, teniendo una vida útil de 7.5 años y un costo de 105 $/m^2.

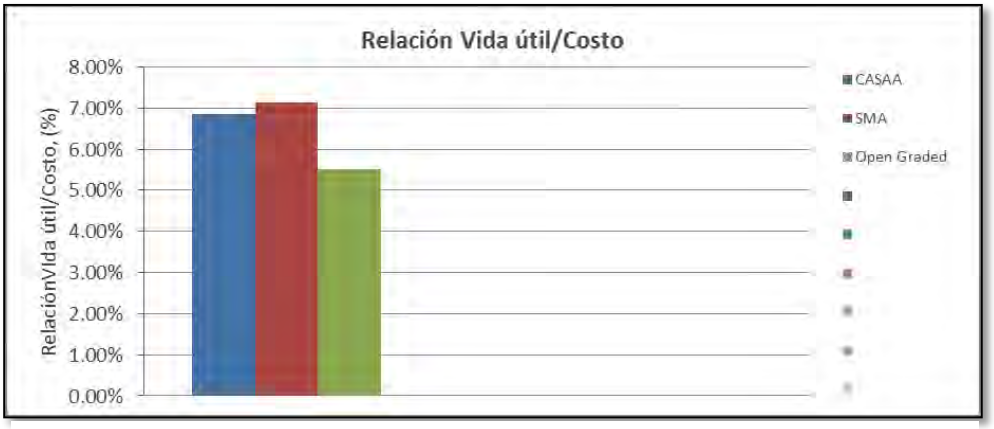


Figura A 3.1.2.10. Ejemplo del análisis Vida útil/Costo

El programa también evalúa cuáles son las mejores alternativas de mejor desempeño bajo las condiciones de la obra. Por lo cual, para fines de este ejemplo, las alternativas con mejor relación VU/C y de mejor desempeño en orden descendente son las que se enlistan en la Tabla A 3.1.2.1.

	Alternativas de mejor relación vida útil/costo	Alternativas de mejor desempeño bajo las condiciones de obra
1	**SMA**	**SMA**
2	**CASAA**	**CASAA**
3	**Open Graded**	**Open Graded**

Tabla A 3.1.2.1. Ejemplo de alternativas con mayor vida útil/costo y mejor desempeño

Sin embargo, es decisión y criterio del proyectista el tomar la alternativa que más se adapte a las necesidades de mantenimiento de la obra vial, debido a que puede ser que la alternativa con mayor relación Vida Útil/Costo, no cubra un deterioro en específico del pavimento que es imperante reparar.

Por último, en la parte derecha inferior se tiene el ícono de PDF 

en el cual al hacer "click", aparece una pantalla emergente (Figura A 3.1.2.11) con las opciones de las tres alternativas de mejor relación VU/C. Se muestran tanto sus descripciones como sus Especificaciones Particulares (E.P.).

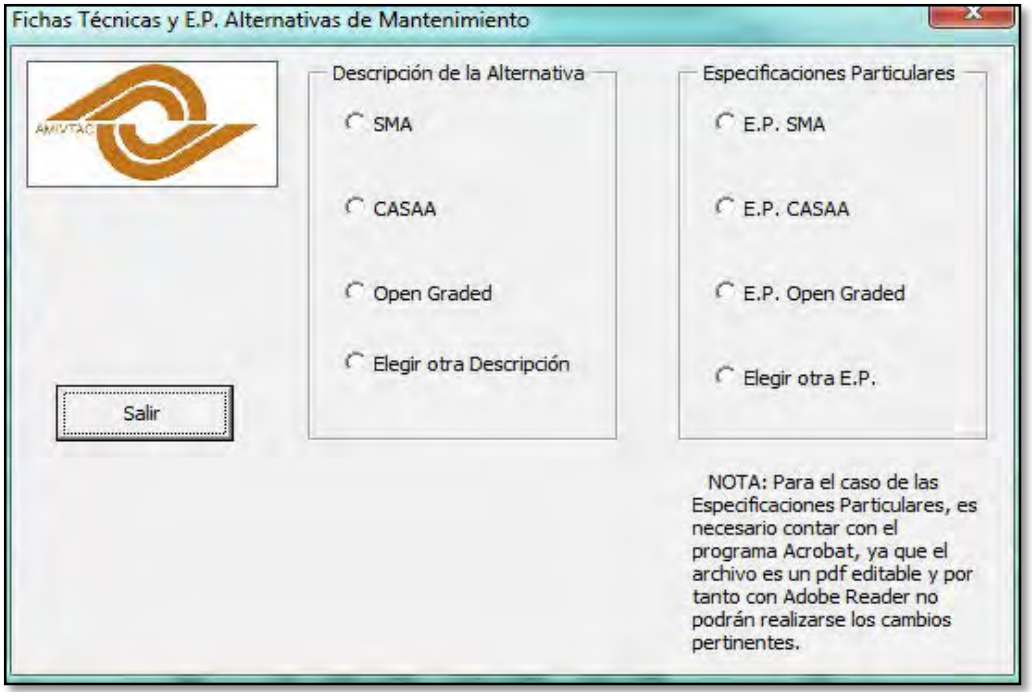


Figura A 3.1.2.11. Descripciones y E.P.'s de las alternativas de mantenimiento

Al seleccionar alguna de ellas se muestra el archivo en PDF. Al elegir el botón de opción "Elegir otra", se muestra una ventana emergente para abrir alguna otra Ficha o E.P. desde la ruta de su elección. Figura A 3.1.2.12.

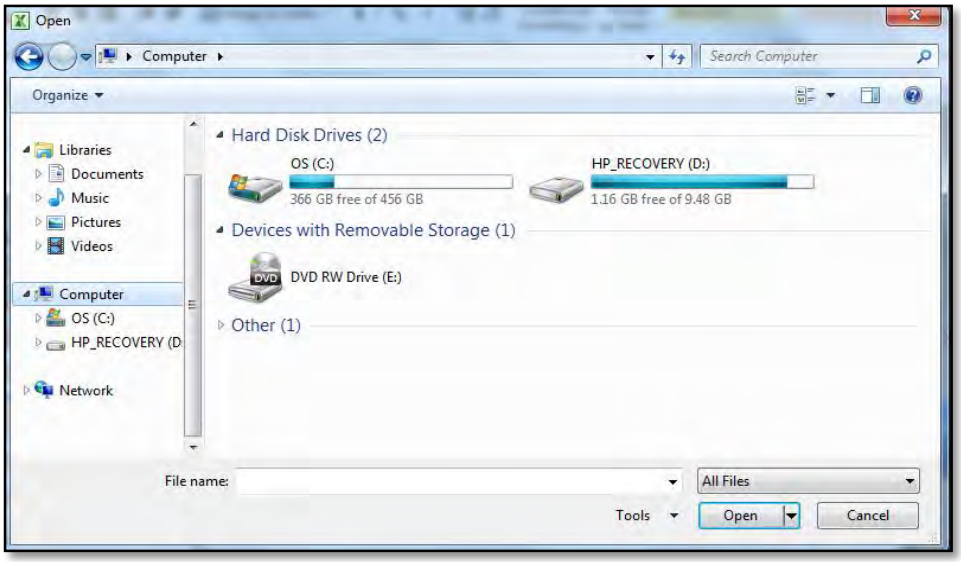


Figura A 3.1.2.12. Ventana emergente para elegir otro archivo

Consideraciones para la Selección de los Tratamientos

La selección se hace primeramente en base a la puntuación obtenida de cada tratamiento. Las Alternativas que tengan mayor puntuación son las que pasan un primer filtro, puesto que son las que más deterioros pueden mejorar debido a sus características, dejando fuera las de menor puntuación. De esta manera se asegura tener las opciones que cubren la mayor parte de las necesidades de mantenimiento.

La Figura A 3.1.2.13 muestra la hoja "Cálculo", en donde se lleva a cabo la evaluación por puntuación de las alternativas de mantenimiento en base a los niveles de deterioros seleccionados.

PROPUESTA AMIVTAC PARA LA SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION, EN OBRAS DE LA DGCC

CONDICIONES DE LA OBRA	PARAMETROS	Evaluación	Mantenimiento								
			Sellado de grietas	Riego de sello sincronizado	Riego de sello reforzado con fibra	CASAA	Microaglomerado en Frío	Sección Mixta (Cape seal)	Riego negro	SMA	Open Graded
1. Ejes equivalentes acumulados (ESAL´s) a la vida de diseño de la aplicación	≤ 10E7	1	√	√	√	√	√	√	√	√	
	> 10E7	0	√	√	√	√	√	√	?	√	
2. Fallas superficiales											
Roderas	< 3/8"	1				1	1	1		1	0.5
	3/8" a 1"	0				0	0	0		0	0
	> 1"	0									
Agrietamiento por fatiga	Bajo	1	0.5	1	1	1	1	1		1	
	Moderado	0			0	0		0		0	
	Alto	0									
Agrietamiento Longitudinal	Bajo	0	0	0	0	0	0	0		0	
	Moderado	0	0	0	0	0		0		0	
	Alto	0	0								
Agrietamiento Transversal	Bajo	0	0	0	0	0	0	0		0	
	Moderado	0	0	0	0	0		0		0	
	Alto	0	0								
Condiciones de la Superficie	Seca	1		1	1	1	1	1	1	1	1
	Porosa	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	Exudada	0				0	0	0		0	0
Desgranamiento	Bajo	0		0	0	0	0	0	0	0	0
	Moderado	1		1	1	1	0.5	1	0.5	1	0.5
	Alto	0		0	0	0	0	0		0	
Baches	Bajo	1				1	1	1		1	1
	Moderado	0									
	Alto	0									
Textura	Áspera	0		0	0	0	0	0	0	0	0
Resistencia al derrapamiento	Baja	1		1	1	1	1	1		1	1
		Puntuación	**0.5**	**4**	**4**	**7.5**	**5.5**	**6**	**1.5**	**6**	**6**
Costo Inicial de referencia ($/m2)	*Rango Sugerido*		10 a 15	30 a 35	40 a 45	90 a 100	40 a 50	70 a 80	6 a 8	100 a 110	95 a 105
Vida útil (años)	*Rango Sugerido*		1 a 4	3 a 6	3 a 6	5 a 8	3 a 6	4 a 7	1 a 3	6 a 9	4 a 7
Costo Inicial de referencia ($/m2)	*Promedio Sugerido* ***ó Dato***		**12.5**	**32.5**	**42.5**	**95**	**45**	**75**	**7**	**105**	**100**
Vida útil (años)	*Promedio Sugerido* ***ó Dato***		**2.5**	**4.5**	**4.5**	**6.5**	**4.5**	**5.5**	**2**	**7.5**	**5.5**

Figura A 3.1.2.13. Evaluación de las alternativas de mantenimiento

Después se realiza la selección más adecuada en base a la relación Vida Útil/Costo, Figura A 3.1.2.14, la cual resulta de dividir los años de vida útil entre el costo total (costo inicial + costo de reparaciones previas). Se trabajó con este criterio debido a que se busca la alternativa de mayor relación; en caso contrario de haber trabajado con la relación costo/vida útil, se estaría buscando la alternativa de menor relación lo cual podría ser confuso para el evaluador.

Como se mencionó anteriormente, en los puntos No. 3 y No. 7 de la hoja "Resumen" se pueden ingresar manualmente los valores de acuerdo a la información con que se cuente. Esto da lugar a obtener la Relación VU/C en el punto No. 8, dando "click" en el ícono .

Iniciar Programa / Reparaciones Previas	Proyectista:	Obra:			Tramo:		Ubicación:			
CONDICIONES DE LA OBRA	RESUMEN DE EVALUACIÓN	TRATAMIENTOS DE CONSERVACIÓN								
1. ESAL's		CASAA	SMA	Open Graded						
2. FALLAS SUPERFICIALES										
Roderas con Def. Carpeta Asfáltica	Bajo	A	A	A						
Agrietamiento por fatiga	Sin Agrietamiento por Fatiga	A	A	A						
Agrietamiento Longitudinal	Bajo	A	A	NA						
Agrietamiento Transversal	Sin Agrietamiento Transversal	A	A	A						
Condiciones de la Superficie	Buenas Condiciones	A	A	A						
Desgranamiento	Bajo	A	A	A						
Baches	Moderado	NA	NA	NA						
Textura	Buenas Condiciones	A	A	A						
Resistencia al derrapamiento	Buenas Condiciones μ ≥ 0.4	A	A	A						
Puntuación de acuerdo a condiciones de obra (El tratamiento de mayor puntuación es el que mejor satisface las condiciones de obra consideradas)		6.75	6.75	4.50						
3. Costo Inicial de referencia ($/m^2)		95	105	100						
4. Reparaciones Previas		Si Requiere	Si Requiere	Si Requiere						
5. Costo de Reparaciones Previas ($/m^2)		0	0	0						
6. Costo total ($/m^2)		95	105	100						
7. Vida útil (años)		6.5	7.5	5.5						
8. Relación Vida útil/Costo, año-$/m^{2}x100, (%)		6.84%	7.14%	5.50%						

Figura A 3.1.2.14. Alternativas de mantenimiento en base a la relación Vida Útil/Costo

De todas las alternativas enlistadas en la hoja "Resumen" sólo se eligen las tres alternativas de mayor relación VU/C. Por lo tanto, de la Figura A 3.1.2.14, las tres mejores opciones bajo este criterio son las que se indican en la Tabla A 3.1.2.2.

Alternativas de mejor relación vida útil/costo (3)
1. SMA
2. CASAA
3. Open Graded

Tabla A 3.1.2.2. Resumen del ejemplo de las tres mejores alternativas con mejor vida útil/costo

Adicionalmente se tienen las alternativas de mejor desempeño bajo las condiciones de obra, las cuales pueden ser diferentes a las de mejor relación VU/C, y depende exclusivamente de la puntuación de acuerdo a condiciones de obra que hayan obtenido. Para el ejemplo en cuestión coincidió que son las mismas alternativas para ambos criterios. Tabla 3.1.2.3

Alternativas de mejor desempeño bajo las condiciones de obra (3)
1. SMA
2. CASAA
3. Open Graded

Tabla A 3.1.2.3. Resumen del ejemplo de las tres mejores alternativas con mejor desempeño

A. 3.3.1 REPORTE DE AUSCULTACIÓN DE TALUDES

FORMATO

REPORTE DEL ESTADO FÍSICO DEL TALUD

JEFE DE BRIGADA: _____ **FECHA:** _____

I. DATOS GENERALES Y DE UBICACIÓN

1. **CARRETERA:** _____ TIPO DE CARRETERA: _____
   NÚMERO DE CARRILES: _____
2. **TRAMO:** _____ ACOTAMIENTO: (m)
3. **SUBTRAMO:** _____
4. **KILÓMETRO:** _____
5. **ESTADO:** _____
6. **COORDENADAS** **UTM** _____
7. **TIPO DE TALUD:** _____

CORTE: LADO:
TERRAPLÉN: LADO:
BALCÓN: DEL CORTE: DEL TERRAPLEN:

II. GEOMETRÍA

8. **DISTANCIA ENTRE EL EJE DE LA CUNETA Y PIE DEL TALUD:** **m**
9. **ACOTAMIENTO:** **m**
10. **LONGITUD:** **m** DEL km AL km
    ALTURA MÁXIMA: m EN EL km
    ALTURA MÍNIMA: m EN EL km
    ALTURA MEDIA: m

ESQUEMA: (PLANTA Y PERFIL).

III. DATOS GEOLÓGICOS-GEOTÉCNICOS

11. TIPO DE TOPOGRAFÍA DEL ENTORNO

MONTAÑOSA ( ) PLANA ( )

LOMERÍO SUAVE ( ) LOMERÍO FUERTE ( )

12. GEOLOGÍA REGIONAL: (DESCRIBIR)

EXISTE ALGUNA FALLA GEOLÓGICA CERCANA: SÍ ( ) NO ( )

13. GEOLOGÍA LOCAL: (DESCRIBIR)

HAY INDICIOS DE MOVIMIENTOS REGIONALES MASIVOS: SÍ ( ) NO ( )

14. PERFIL ESTRATIGRÁFICO VISIBLE EN LA CARA DEL TALUD: (DESCRIBIR)

NOTA: SI HUBIESEN FRAGMENTOS DE MATERIALES INESTABLES DESCRIBIRLOS Y PEDIR PRIORIZACIÓN.
NOTA: SI NO SE PUEDE DESCRIBIR EL PERFIL ESTRATIGRÁFICO, DECIR POR QUÉ

15. EXISTEN BANCOS DE MATERIALES CERCANOS: SÍ ( ) NO ( )

IV. CONDICIONES HIDRÁULICAS, HIDROLÓGICAS Y DE DRENAJE

16. TAMAÑO DE CUENCAS HIDROLÓGICAS CERCANAS AL ENTORNO:

GRANDES ( ) MEDIANAS ( ) PEQUEÑAS ( )

17. PRECIPITACIÓN MEDIA DE LA ZONA:

18. EXISTENCIA DE OBRAS DE DRENAJE: EN EL km Y EL km

TIPO DE OBRAS DE DRENAJE:

DIÁMETROS DE LAS OBRAS DE DRENAJE:

SON SUFICIENTES: SI ( ) NO ( )

NECESITAN INSPECCIÓN DETALLADA: SI ( ) NO ( )

ESTÁN AZOLVADAS: SI ( ) NO ( )

ESTÁN DEFORMADAS: SI ( ) NO ( )

19. ESQUEMA EN PLANTA DONDE SE UBIQUEN LAS OBRAS DE DRENAJE RESPECTO AL TALUD EN ESTUDIO

20. EXISTE SUBDRENAJE: SI ( ) NO ( )

21. EXISTE CONTRACUNETA: SI ( ) NO ( )

SECCIÓN y LONGITUD DE LA CONTRACUNETA:

DISTANCIA AL HOMBRO DEL TALUD:

EXISTEN ZONAS DE INUNDACIÓN O ENCHARCAMIENTOS EN LA CORONA DEL TALUD

SI ( ) NO ( )

22. EXISTEN LAVADEROS: SI ( ) NO ( )

CUANTOS Y DONDE ESTÁN UBICADOS:

(HACER ESQUEMA)

ESTÁN AZOLVADOS: SI ( ) NO ( )

23. DRENES DE PENETRACIÓN: SI ( ) NO ( )

24. EXISTEN PUENTES CERCANOS: SI ( ) NO ( )

A QUE DISTANCIA:

V. OBRAS DE ESTABILIZACIÓN

25. TRABAJOS DE ESTABILIZACIÓN ANTERIORES: SI ( ) NO ( )

A BASE DE:

( ) **TENDIDO DE TALUD**; ( ) **MUROS DE CONTENCIÓN** ( ) **ANCLAJE**
( ) **PROTECCIÓN SUPERFICIAL**

(DESCRIBIR EN QUE CONSISTE)

( ) **CONCRETO LANZADO Y DRENES DE PENETRACIÓN**
( ) **REMOCIÓN DE FRAGMENTOS INESTABLES**
( ) **COMBINACIÓN DE SOLUCIONES**

(DESCRIBIR EN QUE CONSISTE)

( ) **OTROS**

(DESCRIBIR)

NOTA: **EN CUALQUIER CASO HACER UN CROQUIS EXPLICATIVO**

VI. CONCLUSIONES

26. EL TALUD PRESENTA RIESGO DE FALLA:

BAJO ( ) MEDIO ( ) ALTO ( ) YA FALLÓ ( )

27. MEDIDAS A TOMAR:

HACER ESTUDIOS: SI ( ) NO ( )

MEDIR COMPORTAMIENTO: SI ( ) NO ( )

HACER ESTUDIOS Y PROYECTO DE ESTABILIZACIÓN: SI ( ) NO ( )

28. OBRAS COMPLEMENTARIAS

ESTADO: BUENO ( ) MALO ( )

VII. RECOMENDACIONES

29. HACER LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

30. ESTUDIO GEOTÉCNIUCO A BASE DE RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO: SI ( ) NO ( )

EXPLORACIÓN DIRECTA EN LA CARA DEL TALUD: SI ( ) NO ( )

EXPLORACIÓN GEOFÍSICA: SI ( ) NO ( )

EXPLORACIÓN A BASE DE SONDEOS DIRECTOS: SI ( ) NO ( )

NÚMERO Y PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS:

31. ESTUDIOS HIDRÁULICOS E HIDROLÓGICOS

REVISIÓN DE CAPACIDAD HIDRÁULICA DE OBRAS DE DRENAJE: SI ( ) NO ( )

32. ESTABILIDAD

REVISIÓN DE ESTABILIDAD ESTRUCTURAL: SI ( ) NO ( )

33. PROYECTO EJECUTIVO DE ESTABILIZACIÓN: SI ( ) NO ( )

VIII. REPORTE FOTOGRÁFICO

ESTE REPORTE DEBE INCLUIR, POR LO MENOS, 2 FOTOGRAFÍAS DE TODOS Y CADA UNO DE LOS CONCEPTOS DEL REPORTE DE AUSCULTACIÓN.

IX. NOTAS

CUALQUIER NOTA ADICIONAL A LO AQUÍ SOLICITADO Y QUE SE ESTIME SEA DE UTILIDAD, INCLUIRLO AQUÍ.

AMBOS REPORTES DE AUSCULTACIÓN Y EL FOTOGRÁFICO, DEBEN ESCRIBIRSE CON LETRA ARIAL, CON LOS SIGUENTES TAMAÑOS:

a) TÍTULO ARIAL 16
b) SUBTÍTULO ARIAL 14
c) **TEXTOS, PIE DE FOTOS, ETC. ARIAL 10**

A 3.4.1 BASE DE DATOS DE SIPUMEX

Ejemplo de Formato

```
DGCC/SCT                          SIPUMEX                          Fecha     Hoja
                      Reporte de inspección principal              114.07.2     1

Puente: 07-002-04.0-0-03.0 El Zapote

Estado...........: Chiapas
Carretera........: Tuxtla Gutierrez - Ciudad Cuauhtemoc(Ruta 190)
Ramal............: Ent.T.G./Chiapa de Corzo-La Angostura
Kilometraje......:   20.360
Tramo............: Tuxtla Gutierrez - Chiapa de Corzo
Año de construccíon...................: 1960
Año de la última reconstrucción.......:    0

Paso Superior / Inferior..............:  S
Dir. de kmt. de la car.princip........:  E
Requisitos de inspección..............:  0  Nada
Numero de secciones de inspección.....:  1
Colección de datos: Fecha.............: 1996.12.20
                    Iniciales.........: HPF

Posición geográfica:
Latitud: 016 gra 35.79 min    Longitud: 092 gra 57.75 min    Altitud:  524 m

Geometría: Número de claros...........:         2
           Longitud de claro mín...(m):       3.0
           Longitud de claro máx...(m):       3.0
           Longitud total..........(m):      17.3
           Ancho total.............(m):       8.1
           Ancho del camellón......(m):       0.0  No apl.
           Ancho de la banq. iz....(m):       0.0  No apl.
           Ancho de la banq. de....(m):       0.0  No apl.
           Ancho de la calzada.....(m):       7.3
           Ancho entre bordillos...(m):       8.1
           Ancho del acceso........(m):       7.3
           Area....................(m2):       140
           Puente en curva.......(S/N):         N
           Esviajamiento.........(gra):         0  No apl.

Superestructura, tipo principal:
  Diseño tipo.........................:  S
  Diseño de la sección transversal....: 52  Arco inferior, tipo cerrado
  Diseño de la elevación..............: 20  Viga continua, secc. constante
  Material............................: 60  Mampostería

Superestructura, tipo secundario:
  Diseño tipo.........................:
  Diseño de la sección transversal....: 91  No aplicable
  Diseño de la elevación..............: 91  No aplicable
  Material............................: 91  No aplicable
```

```
DGCC/SCT                          SIPUMEX                          Fecha     Hoja
                    Reporte de inspección principal                114.07.2     2

Puente: 07-002-04.0-0-03.0 El Zapote


Subestructura:
  Estribos: Tipo .....................: 10  Estribo con aleros integrados
            Material..................: 10  Mampostería
            Tipo de cimentación.......: 10  Cimentación directa

  Pilas...: Tipo......................: 10  Pila sólida
            Material..................: 10  Mampostería
            Tipo de cimentación.......: 10  Cimentación directa

Detalles:
  Tipo de parapeto....................: 60  Parte de la superestructura
  Parapeto inclinado..................:  N
  Tipo de superficie de desgaste......: 10  Asfalto
  Tipo de juntas de expansión.........: 91  No aplicable

  Tipo de apoyos fijos sobre soportes.: 91  No aplicable
  Tipo de apoyos móviles sobre soport.: 91  No aplicable
  Tipo de apoyos fijos en trabes......: 91  No aplicable
  Tipo de apoyos móviles en trabes....: 91  No aplicable

Carga de diseño..........:
Cl. de distrib. de carga.:  1  Distribución en 2 direcciones

Obstáculo que cruza:
  Tipo de paso............: 30  Río ó arroyo
  Ident. de la carretera.:                    Kmt..:
  Nombre de la carretera.:

Espacio libre:
  Sobre el puente.....(m):     I:          IM:         DM:          D:
  Bajo  el puente.....(m):     I: 0.00     IM: 4.00    DM: 4.00     D: 0.00

Propietario............:  101  DGCC/SCT (RED SECUNDARIA)
Cooperador.............:    7  CHIAPAS
Resp. de la inspec....:    7  CHIAPAS
Proyectista............:   91

Observaciones:

   Arroyo sin nombre.Bovedas de mamposteria.
   0.5m de tirante.
```

DGCC/SCT SIPUMEX Fecha Hoja
Reporte de inspección principal 114.07.2 3

Puente: 07-002-04.0-0-03.0 El Zapote

Resumen cronológico:

Fecha	Actividades
1993.03.09	Inspección principal
1995.01.12	Inspección principal
1995.12.02	Inspección principal
1996.12.18	Inspección principal
2000.09.20	Inspección principal
2001.08.20	Inspección principal
2003.06.28	Inspección principal
2005.06.28	Inspección principal
2007.09.19	Inspección principal
2011.08.18	Inspección principal

Ultima inspección principal:

Fecha: 2011.08.18 Iniciales: HPF Tiempo: SOLEADO Temperatura: 33

Tránsito: TPDA.....: 3182
Carros % .....: 70
Autobuses % .....: 6
Camiones % .....: 24

Año de la próxima inspección principal: 2014

DGCC/SCT — SIPUMEX — Fecha 114.07.2 — Hoja 4

Reporte de inspección principal

Puente: 07-002-04.0-0-03.0 El Zapote

Nú. Componente Descripción del daño Tipo de daño	Fotos	Calif	Mant en	Ins Esp	Obras de reparación			
					Tp	Canti	Año	Costo
1 SUPERFICIE DE PUENTE	0	1	-					
4 PARAPETO/PASAMANOS Son bordillos	0	2	-					
5 CONOS/TALUDES	0	2	-					
6 ALEROS	0	2	-					
7 ESTRIBOS	0	2	-					
8 PILAS	0	2	-					
10 LOSA Se observan escurrimientos en las bovedas. Daño estructural (sobrecarga)	0	3	-		D	60	0	50,000
12 CAUCE El cauce se encajona en el cruce,por la velocidad se está socavando el zampeado de mampostería y erosionando los muros de los estribos y pila. Erosión / socavación	0	3	-					
14 PUENTE EN GENERAL El cuello de botella que se forma en el cruce,a socavado el zampeado de mampostería y erosionado la base de los muros de la pila y estribos.Se requiere ampliar el área hidraul Erosión / socavación	0	3	-	+	C	280	2012	1,400,000

A 3.4.2 REPORTE DE INSPECCIÓN

Ejemplo de Formato

REPORTE DEL ESTADO FÍSICO DEL PUENTE

JEFE DE BRIGADA: Ing. Mónica Adriana Jara Ramos **FECHA:** Agosto 2014

1. CARRETERA: Tapanatepec-Talismán
COLINEAL A LA CARRETERA: X
TRANSVERSAL A LA CARRETERA:
NO EXISTE:

2. TRAMO: Pijijiapan-Mapastepec

3. SUBTRAMO: ----------

4. KILOMETRO: 187+600

5. ESTADO: Chiapas.

6. NOMBRE: Puente "Río Viejo I"
No. de SIPUMEX 07-005-00.0-56.0

7. MATERIAL DE SUPERESTRUCTURA:

CONCRETO REFORZADO: X
CONCRETO PRESFORZADO:
METALICO:
METALICO – CONCRETO:
OTRO, ESPECIFICAR: Actualmente la estructura está reforzada con presfuerzo externo.

8. MATERIAL DE SUBESTRUCTURA:

PILAS (0):
CONCRETO
MAMPOSTERIA
OTRO, ESPECIFICAR:

ESTRIBOS(2):
CABALLETES():
MAMPOSTERIA X
CONCRETO
Son estribos de mampostería, pero en el 2001 se cubrieron con concreto reforzado, como parte del proyecto de rehabilitación del Puente.

9. TRAZO GEOMÉTRICO:

EN PLANTA:
TANGENTE X
CURVA DERECHA
CURVA IZQUIERDA

EN ELEVACION:
TANGENTE* X
EN CRESTA
EN COLUMPIO

*Tangente descendente en el sentido del cadenamiento

10.- TABLEROS (1 Tramo):

NORMAL __ **ESVIAJADO** 30° 35' 37" **GRADOS DER.** **ESVIAJADO** ____ **GRADOS IZQ.**

11. JUNTA DE DILATACIÓN:

SE APRECIAN: X **NO SE APRECIAN:** _____

DESCRIPCIÓN: Juntas de dilatación para calzada tipo Mex T-50

ESTADO: Están cubiertas con carpeta asfáltica, hay oquedades (baches) en donde se observan los elementos de la junta.
No es estanca en la zona de la banqueta y permite filtraciones a la subestructura.
Foto No. 5 y 6.

12. APOYOS:

METÁLICO _____ **PLOMO** _____ **NEOPRENO** X

OTRO _____

DESCRIPCIÓN: Apoyo de neopreno
Los apoyos tienen placas de concreto, mortero grout y placas de acero como complemento a los apoyos de neopreno, todos estos para nivelar y dar la altura de rasante definitiva del puente.

ESTADO: Algunos presentan agrietamientos leves, en general se encuentran en buen estado, no hay necesidad de realizar un cambio aún.
Las placas de acero sí presentan corrosión.
Fotos Nos. 7 a la 14.

13. BANQUETA, GUARNICIÓN Y PARAPETO:

DESCRIPCIÓN: Compuesto por: Remates, pilastras, banquetas y vigas de concreto reforzado.

ESTADO: Se encuentran en buen estado. Fotos Nos. 15 a la 19.

14. TABLEROS DE CONCRETO REFORZADO: (1 Tramo)

DIAFRAGMAS: 3 (Ejes en total) **NUMERO / TRAMO:** 3 Ejes / 1 Tramo

DESCRIPCIÓN: La superestructura cuenta con 2 diafragmas extremos y 1 diafragma intermedio, todos son de concreto reforzado.

Para poder realizar el gateo de la superestructura en el proyecto de rehabilitación del 2001, se construyeron diafragmas de izaje adosados a los diafragmas extremos existentes.

ESTADO: Se encuentran en buen estado. Fotos Nos. 22 y 23.

Las placas de acero de fijación de varilla transversal de los bloques de izaje, adosados a los diafragmas extremos tienen protección anticorrosión, pero solo en su cara frontal y en las laterales tienen corrosión. Fotos No. 29.

TRABES: 4 (Nervaduras) **NUMERO / TRAMO** 4 Pzas / 1 Tramo

DESCRIPCIÓN: Nervaduras de concreto reforzado.

En el 2001 se realizaron trabajos de reforzamiento del puente con postensado exterior longitudinal en cada nervadura, bloques desviadores y dispositivos de anclaje.

ESTADO: Las nervaduras están en buen estado. Foto No. 22.

En los extremos de los ductos del presfuerzo externo de todas las nervaduras (junto a los estribos No. 1 y No. 2), se presenta una oquedad y pérdida de inyección de lechada, por lo que el acero de presfuerzo está expuesto a la corrosión. Fotos Nos. 27, 28 y 29.

En tramo de ducto de presfuerzo se observó un agrietamiento con desgaste. Foto No. 31.

LOSAS: 1

DESCRIPCIÓN: Losas de concreto reforzado.

Dentro de los trabajos de rehabilitación de la estructura, realizados en el 2001, se construyó una sobrelosa.

ESTADO: Sobre la superficie de rodamiento, la carpeta asfáltica presenta desgaste leve. Foto No. 20.

En los volados de la banqueta se observaron desconches de concreto con acero de refuerzo expuesto. Fotos Nos. 24, 25, 26, 30, 32 y 34.

FLECHAS:

SE APRECIAN _____ NO SE APRECIAN **X**

MIDE _____

15. ESTUDIO DE CAUCE:

A LOS LADOS DE LA ESTRUCTURA EXISTE:

RIO X **CARRETERA** _____ **FERROCARRIL** _____
OTRO: _____ **ESPECIFICAR:** _____

EFECTOS DE SOCAVACIÓN:

NO SE APRECIAN: X

SE APRECIAN: _____

DESCRIPCIÓN: _____

ENCAUZAMIENTO:

DEFINIDO X **TANGENTE** _____ **EN CURVA** _____

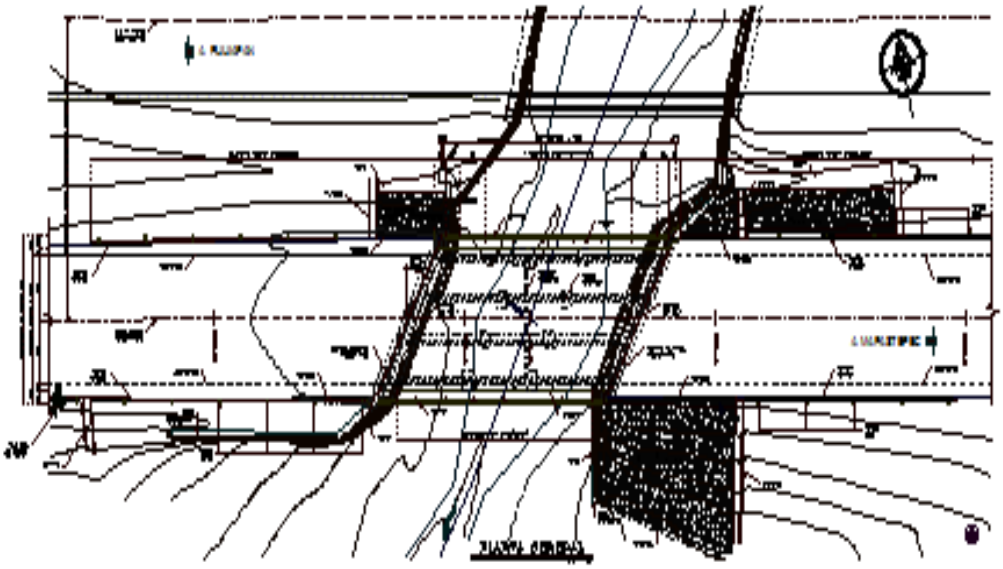
INDEFINIDO _____

OBSTRUCCIONES:

NO SE APRECIAN _____ **SE APRECIAN** X

DESCRIPCIÓN: Está obstruido por vegetación abundante, lo que provoca que el cauce quede estrechado. Fotos Nos. 35 a la 38.

Croquis (Mostrando Pilas y Estribos)



16. ESTADO DE LA SUBESTRUCTURA:

SOCAVACIÓN:

SE APRECIA _____ **NO SE APRECIA** **X**

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____

DAÑOS DE IMPACTO:

SE APRECIAN _____ **NO SE APRECIAN** **X**

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____

HUNDIMIENTOS:

SE APRECIAN _____ **NO SE APRECIAN** **X**

MIDE _____

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____

DESPLOMES:

SE APRECIAN _____ **NO SE APRECIAN** **X**

MIDE _____

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____

AGRIETAMIENTOS:

SE APRECIAN _____ **NO SE APRECIAN** **X**

DESCRIPCIÓN: (LUGAR Y TIPO) _____

OTRAS PARTICULARIDADES DE LA SUBESTRUCTURA:

DESCRIPCIÓN:	Los estribos son de mampostería pero fueron rehabilitados con un recubrimiento de concreto reforzado. Tienen los aleros integrados al cuerpo del estribo.
ESTADO:	Los estribos están en buen estado, solo se tiene crecimiento de vegetación frente a los aleros que obstruye el cauce. Fotos Nos. 40, 41, 46 y 47.
	Topes laterales, muros pantalla y bancos de apoyo están en buen estado. Hay crecimiento de vegetación y material pétreo, gravas y lodo obstruyendo cabezales de los estribos. No tienen neopreno entre topes laterales y nervaduras extremas. Fotos Nos. 42,43, 44, 48, 49 y 50.
	Las juntas en sus extremos no trabajan como juntas estancas y permiten el paso del agua hacia la subestructura y también los drenes extremos mojan los cabezales y cuerpo de los estribos en sus extremos. Fotos Nos. 24, 25, 29, 30, 45 y 75.

17. REVISIÓN DE ACCESOS Y CONOS DE DERRAME:

20. ALUMBRADO:

EXISTE _____ **NO EXISTE** X

ESTADO: _____

21. SOLICITUD DE MANTENIMIENTO:

DESCRIPCIÓN:
- Aplicación de anticorrosivo a placas metálicas de los apoyos y del bloque de izaje de los diafragmas extremos.
- Limpieza de cabezales de los estribos.
- Sello de los ductos de presfuerzo en sus extremos y reparación de ducto con desgaste leve.
- Limpieza y deshierbe en el cauce.
- Sello de grietas de las losas de protección de los terraplenes.
- Limpieza y pintura a defensa metálica.
- Colocación de codo de tubo de PVC a drenes.

22. SOLICITUD DE REPARACIÓN:

DESCRIPCIÓN:
- Reparación de las juntas de dilatación.
- Reparación de desconches del volado de la banqueta.
- Reparación de bordillos y lavaderos.

23. OTRAS PARTICULARIDADES:

DESCRIPCIÓN: El estudio de este puente es para realizar una ampliación transversal, por lo que se hará proyecto para trabajos de mantenimiento y se proyectará la ampliación transversal.

24. CALIFICACIÓN: C

GRADO A: PUENTES O ESTRUCTURAS QUE PRESENTAN UNA O MAS DEFICIENCIAS GRAVES QUE IMPLICAN UN PELIGRO INMINENTE PARA LA SEGURIDAD PUBLICA O QUE PUEDAN OCASIONAR LA INTERRUPCIÓN PROLONGADA DEL TRANSITO SOBRE EL PUENTE. ESTOS PUENTES REQUIEREN DE ATENCIÓN INMEDIATA.

GRADO B: AQUELLOS QUE PRESENTEN UNA O VARIAS DEFICIENCIAS IMPORTANTES, QUE DE NO ATENDERSE PUEDEN EVOLUCIONAR HACIA DEFICIENCIAS GRAVES. ESTOS PUENTES REQUIEREN ATENCIÓN A MEDIANO PLAZO.

GRADO C: LOS QUE SOLO PRESENTAN DEFICIENCIAS MENORES CON EVOLUCIÓN LENTA Y ÚNICAMENTE REQUIEREN DE TRABAJOS RUTINARIOS DE CONSERVACIÓN.

25. REPORTE FOTOGRÁFICO

SE ANEXA A CONTINUACIÓN REPORTE FOTOGRÁFICO, RELACIONANDO EL NUMERO DE FOTOGRAFÍA CON LOS DAÑOS INDICADOS EN ESTE FORMATO.

A 3.4.3 REPORTE FOTOGRÁFICO

Ejemplo de Formato

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

No. DE CONTRATO: 2014-09-CB-A-116-Y-00-2014

OBRA: ELABORACIÓN DE ESTUDIOS Y PROYECTOS EJECUTIVOS DE AMPLIACIÓN TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA Y DE LA SUBESTRUCTURA DEL LOS PUENTES: "OINTALAPA II" DEL KM 250+600 DEL TRAMO MAPASTEPEC-HUIXTLA, "P.I.V. CHALACA" DEL KM 230+800 DEL TRAMO LIBRAMIENTO VILLACOMALTITLÁN, AMBOS DE LA CARRETERA TAPANATEPEC-TALISMÁN; "QUITACALZÓN", DEL KM 247+760 DEL TRAMO TRINITARIA-EL JOCOTE Y "EL ZAPOTE", DEL KM 20+360 DEL TRAMO RAMAL LA ANGOSTURA, AMBOS DE LA CARRETERA TUXTLA GUTIÉRREZ-CD. CUAUHTÉMOC, TODOS EN EL ESTADO DE CHIAPAS.

REPORTE FOTOGRAFICO DE INVENTARIO

PUENTE: "RIO VIEJO I" KM: 187+600 Foto No. 1 Fecha de Elaboración: AGOSTO 2014



Vista general en planta del cuerpo del camino con dirección hacia Mapastepec, el puente existente en este cuerpo, es el que corresponde a nuestra revisión. Es un tablero esviajado con dos carriles de circulación. El trazo geométrico está en tangente. La superficie de rodadura es a base de carpeta asfáltica, con parapeto y banqueta de concreto reforzado en ambos lados.

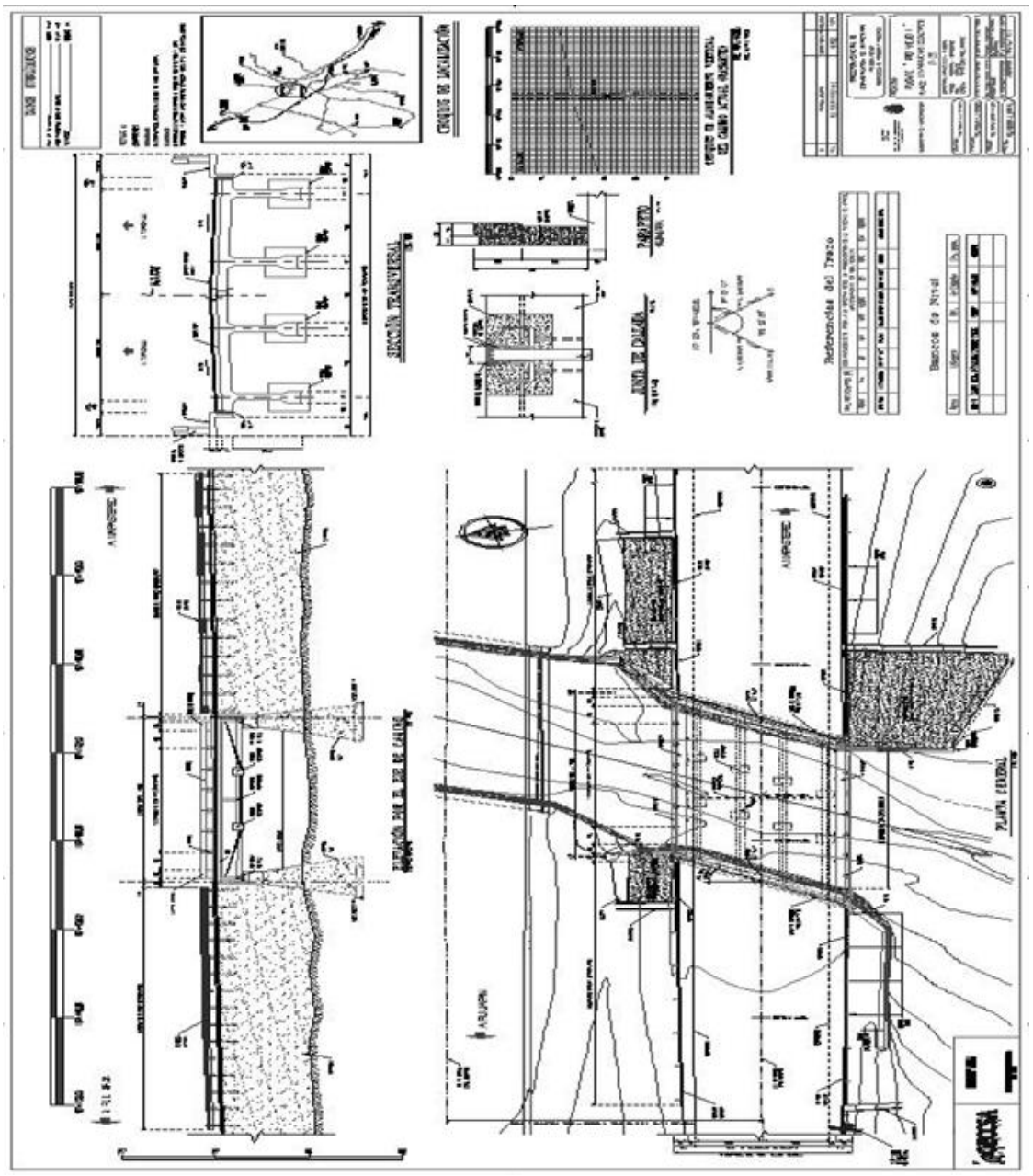
Foto No. 2



Vista general en elevación; la superestructura esta formada por un claro simplemente apoyado de losa con cuatro nervaduras de concreto reforzado, esta estructura fue reforzada con presfuerzo externo. La subestructura la forman dos estribos de mamposteria con aleros integrados, pero fueron reforzados con concreto armado en el año 2001, como parte del proyecto de rehabilitación del puente.

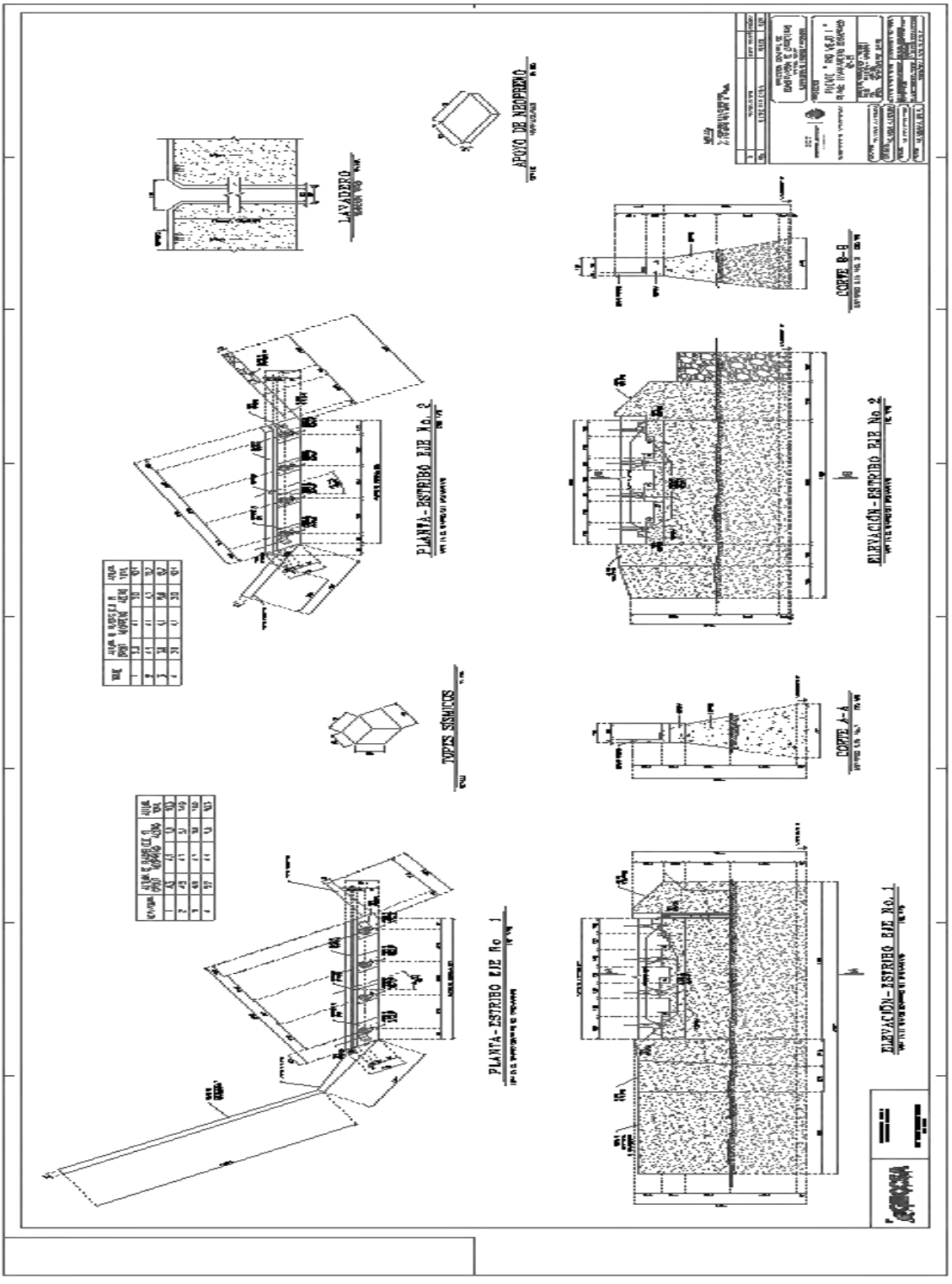
A 3.4.4 PLANO DE LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO (1 DE 2)

Ejemplo



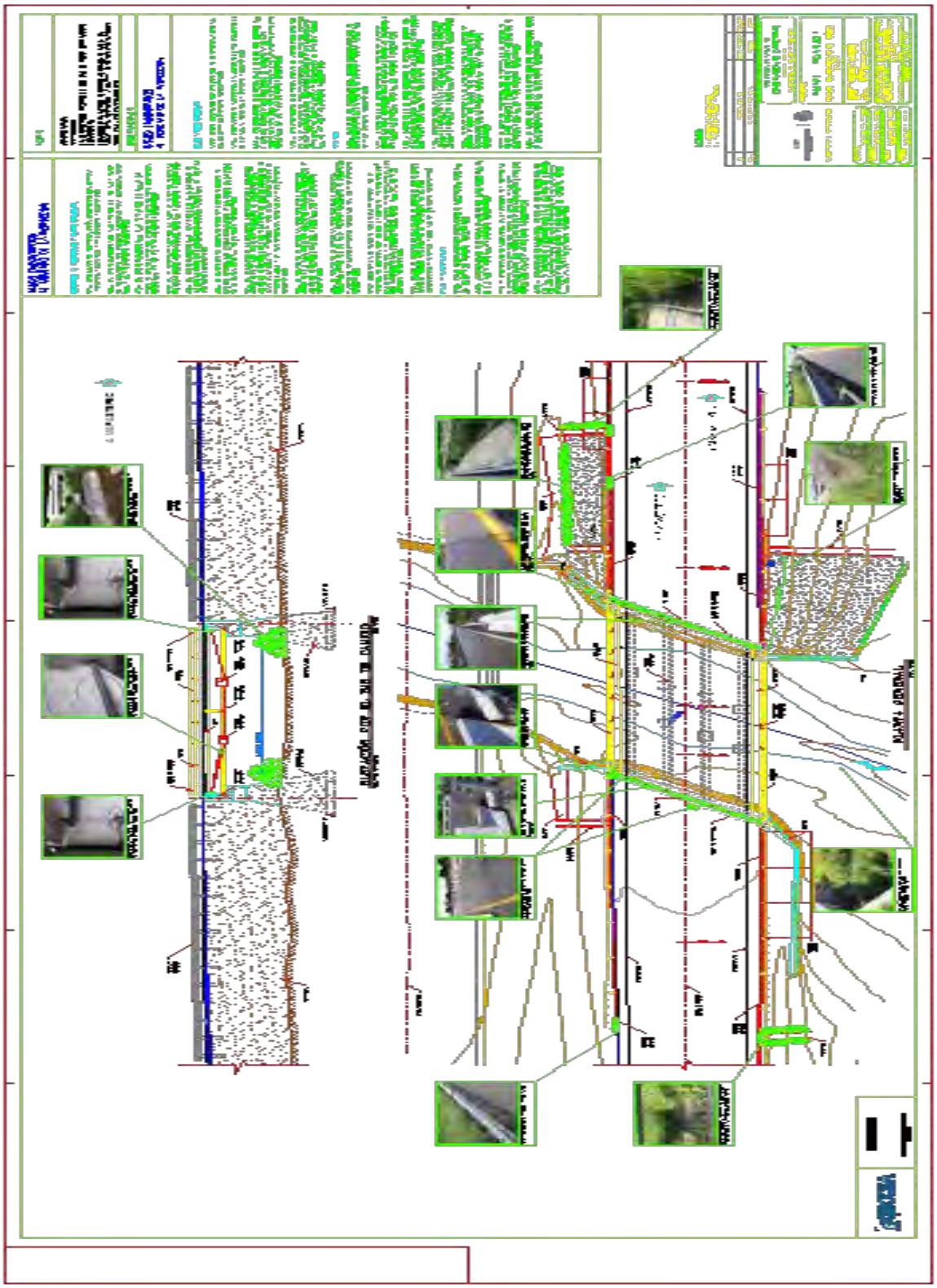
A 3.4.4 PLANO DE LEVANTAMIENTO GEOMÉTRICO (2 DE 2)

Ejemplo



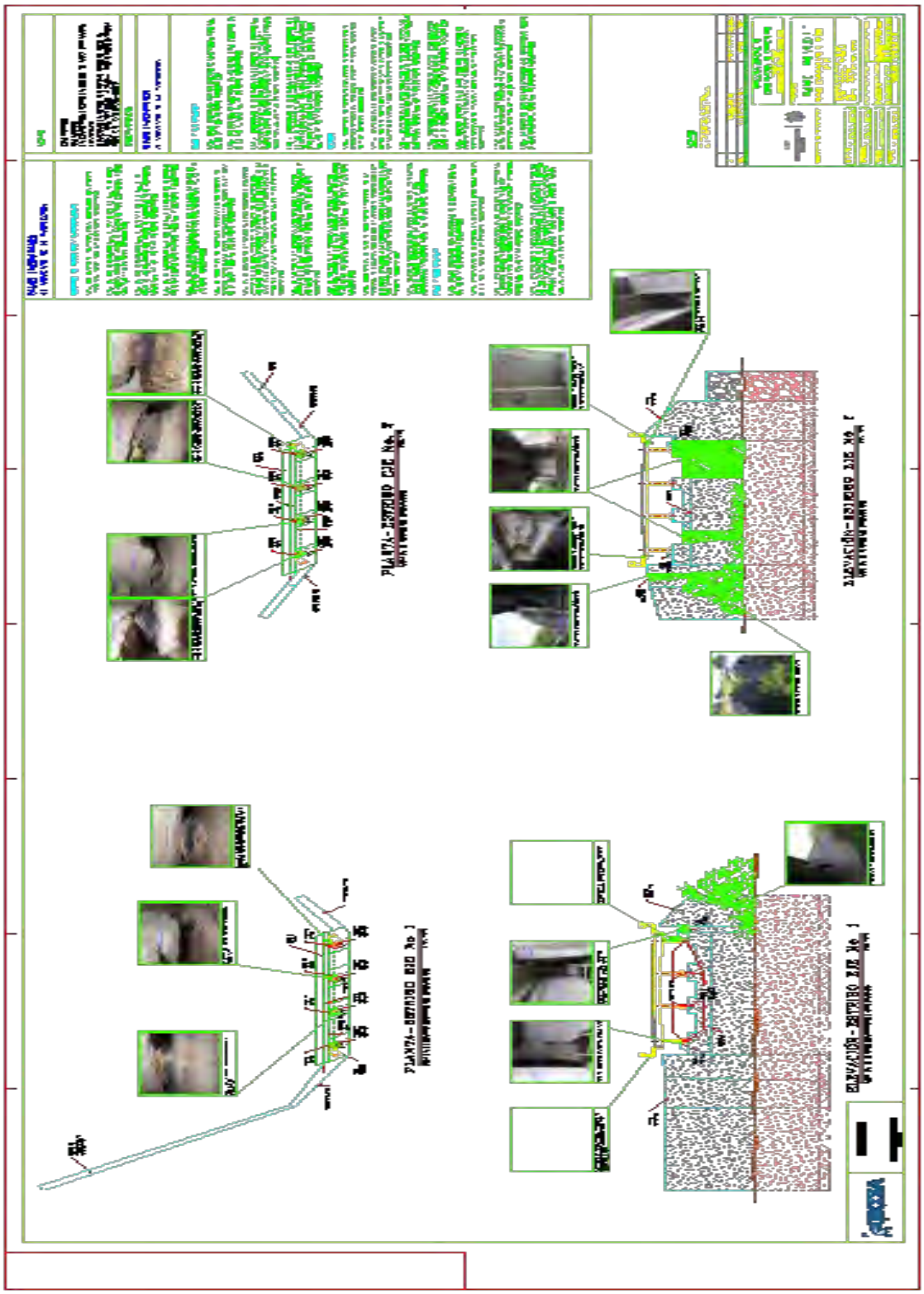
A 3.4.5 PLANO DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS (1 DE 2)

Ejemplo



A 3.4.5 PLANO DE LEVANTAMIENTO DE DAÑOS (2 DE 2)

Ejemplo



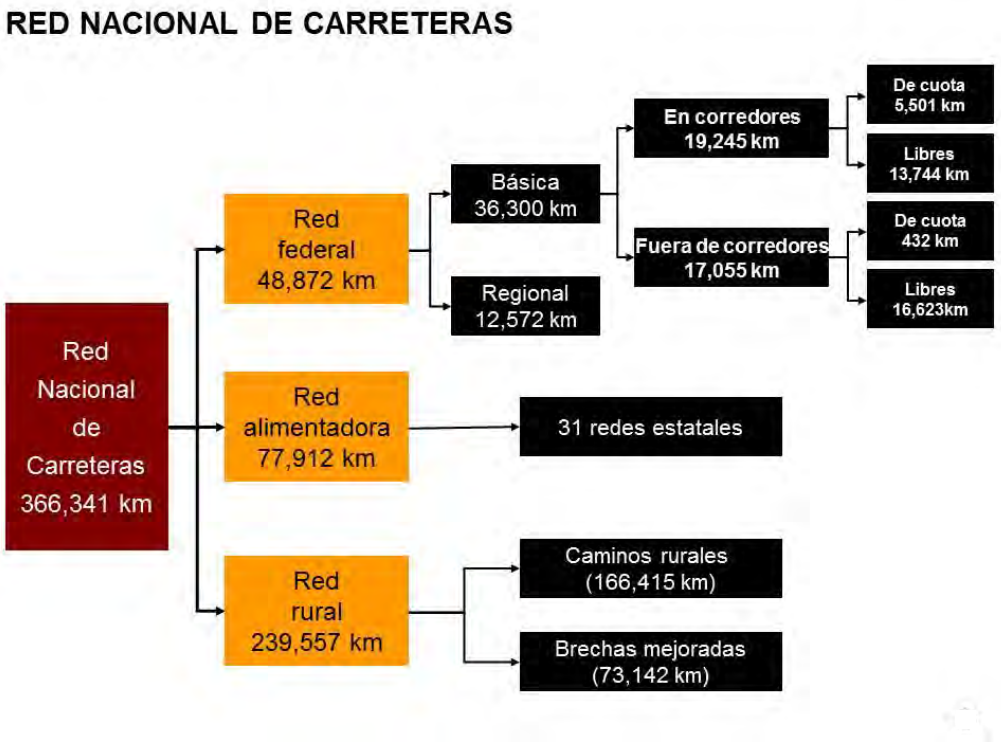
A 4.1.1 ASPECTOS PRÁCTICOS EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS A CARGO DE LA DGCC

Como ya se dijo en Capítulos anteriores, la **Conservación** es el conjunto de actividades destinadas a preservar en buen estado el patrimonio carretero, cumpliendo con requerimientos de comodidad, seguridad y economía.

Se ha hablado mucho que la Conservación es una actividad menor, desde el punto de vista de las inversiones o de lo atractivo que puede ser para un constructor intervenir en ésta, pero basta citar algunos conceptos importantes que bien pudieran hacernos cambiar de opinión:

- No hay nada que hasta ahora se haya construido que no necesite mantenimiento
- Invertir en conservación es cuidar el patrimonio nacional
- Hace falta una cultura de la conservación
    - Tener un buen nivel de servicio, con inversiones en mantenimiento, incide a favor de la competitividad comercial al tener menores costos de operación del transporte
- Las carreteras son fundamentales para la vida de México, ya que a través de ellas se moviliza el 96.4% de los pasajeros y el 57.5% de la carga en el país.
- El valor residual actual de la red federal libre de peaje se estima en 600,000 MDP, por lo que representa un patrimonio que es importante conservar.

Para información general, en el diagrama que se muestra a continuación se desglosa la composición de la Red nacional de carreteras, datos que seguramente serán útiles para el lector:



En el mapa siguiente se ilustran los principales corredores carreteros:



Datos Prácticos en la Conservación de Carreteras

La conservación rutinaria debe planearse de tal manera que siempre haya presencia en el tramo carretero; para ello, en la contratación de la conservación rutinaria, la DGCC ha establecido criterios a seguir basados en: las experiencias históricas, las tendencias internacionales y la evolución de los métodos de contratación, o sea

- Contratos con tramos carreteros de no más de 100 km de longitud.
- Distribución de cuadrillas por especialidad: Pavimentos, zonas laterales, obras de drenaje y señalamiento.
- Imagen homogénea (colores y tipo): Vestuario, prendas de protección, señalamiento de protección en obra, vehículos y equipo.

En lo que se refiere a personal y equipo, es recomendable que la empresa que haga conservación cuente por lo menos con el siguiente personal y equipo en propiedad:

Personal

CUADRILLA	SUPERINTENDENTE	CABO	CHOFER	PEÓN	OPERADOR
Pavimentos	1/4	1/4	1	8	1
Zonas laterales	1/4	1/4	1	6	2
Obras de drenaje	1/4	1/4	1	6	1
Señalamiento	1/4	1/4	1	6	0
TOTALES	**1**	**1**	**4**	**26**	**4**

Equipo, Vehículos y Maquinaria

CUADRILLA	CAMIÓN	REDILAS	MOTOCONFOR-MADORA	TRACTOR AGRICOLA	COMPACTADOR	RETROEXCA-VADORA
Pavimentos	1	0	1/2	0	1	1/2
Zonas laterales	0	1	1/2	1	0	0
Obras de drenaje	1	0	0	0	0	1/2
Señalamiento	0	1	0	0	0	0
TOTALES	**2**	**2**	**1**	**1**	**1**	**1**

Respecto al Catálogo de conceptos y la cuantificación de los volúmenes a ejecutar en el ejercicio presupuestal, esto ha sido un tema de amplia discusión. Sin embargo, en lo general podemos decir que las actividades de conservación rutinaria de tramos se resumen en no más de 50 conceptos de trabajo principales, mismos que en la Tabla siguiente se enlistan, no sin antes citar que habrá casos especiales en los que éstos dependerán de la asignación de recursos presupuestales; tal es el caso de autopistas de cuota, cuya exigencia y presupuesto son superiores a los tramos libres de peaje.

Listado de los Conceptos más Utilizados en los Contratos de Conservación Rutinaria		
Superficie de Rodamiento		
No.	**Concepto**	**Unidad**
1	Bacheo superficial aislado	m^3
2	Bacheo profundo aislado	m^3
3	Sellado de grietas aisladas en carpeta	m
4	Renivelación con mezcla en caliente	m^3
5	Retiro de obstáculos sobre corona	pieza
6	Riego de sello con material premezclado	m^2
7	Riego asfáltico de protección	lt
8	Sellado grieta losa concreto hidráulico	m
Zonas Laterales y Derecho de Vía		
No.	**Concepto**	**Unidad**
9	Deshierbe	ha
10	Recolección de basura en derecho de vía	m^3
11	Poda de árboles en derecho de vía	pieza
12	Reposición de cerca delimitadora del derecho de vía	m
13	Construcción muros mampostería de 3a.	m^3
14	Recargue de taludes	m^3
15	Remoción y retiro de derrumbe	m^3
16	Relleno de deslaves	m^3
17	Rastreo del derecho de vía	m^2

Obras de Drenaje y Subdrenaje		
No.	**Concepto**	**Unidad**
18	Limpieza y desazolve alcantarillas	m^3
19	Limpieza y desazolve de cunetas y contracunetas	m
20	Construcción de cunetas y contracunetas	m
21	Reparación de lavaderos	m
22	Limpieza de lavaderos	m
23	Limpieza de canales de entrada y salida	m^3
24	Limpieza y desazolve de muros alcancía	m^3
25	Reparación de elementos de mampostería de 3a. en alcantarillas	m^3
26	Reparación de elementos de concreto hco. en alcantarillas	m^3
27	Construcción de subdrenes (geodrenes)	m
Señalamiento (Horizontal y Vertical) y Dispositivos de Seguridad		
No.	**Concepto**	**Unidad**
28	Aplicación pintura tránsito en raya delimitadora discontinua	m
29	Aplicación pintura tránsito en raya delimitadora continua	m
30	Suministro y colocación vialetas bidireccionales	pieza
31	Suministro y colocación vialetas unidireccionales	pieza
32	Suministro y colocación ménsula reflejantes	pieza
33	Reposición de Señales verticales bajas	pieza
34	Reposición de Señales verticales altas	pieza
35	Limpieza y lavado señales verticales bajas	pieza
36	Limpieza y lavado de Señales verticales altas	pieza
37	Suministro y colocación malla antideslumbrante	m
38	Limpieza de barrera central de concreto	pieza
39	Limpieza de defensa metálica de dos y tres crestas	m
40	Suministro y colocación papel reflejante en ménsulas	pieza
41	Suministro y colocación de remates cola de pato	pieza
42	Alineación de defensa metálica	m^2
43	Suministro y colocación de indicadores alineamiento	pieza
44	Reposición de postes de kilometraje	pieza
45	Suministro y colocación de Terminales de absorción de impactos	pieza
46	Suministro y colocación de indicadores de obstáculos	pieza
47	Suministro y aplicación de pintura vinílica	m^2
48	Suministro y colocación de barrera central de concreto	m

A 4.1.2 DATOS DE INVERSIÓN EN CONSERVACIÓN: CAPUFE Y DGCC

Es tan relevante la actividad de CONSERVAR que en el paso del tiempo se han hecho esfuerzos institucionales por buscar siempre optimizarle recursos. Las Dependencias de los tres órdenes de Gobierno han ido implementando distintas estrategias, de modo que se tienda a lograr este objetivo y así tenemos que:

Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE)

Es un Organismo Descentralizado, que atiende cerca de 6000 km de red de autopistas de cuota a su cargo. Realiza anualmente tanto trabajos de conservación por Administración Directa como trabajos por Contrato, teniendo una robusta plantilla de personal.

La inversión anual en mantenimiento menor ha sido del orden de 528 mdp. La Figura A 4.1.2.1 ilustra un ejemplo de la inversión de 2007 a 2012. Fuente: Página oficial de CAPUFE.

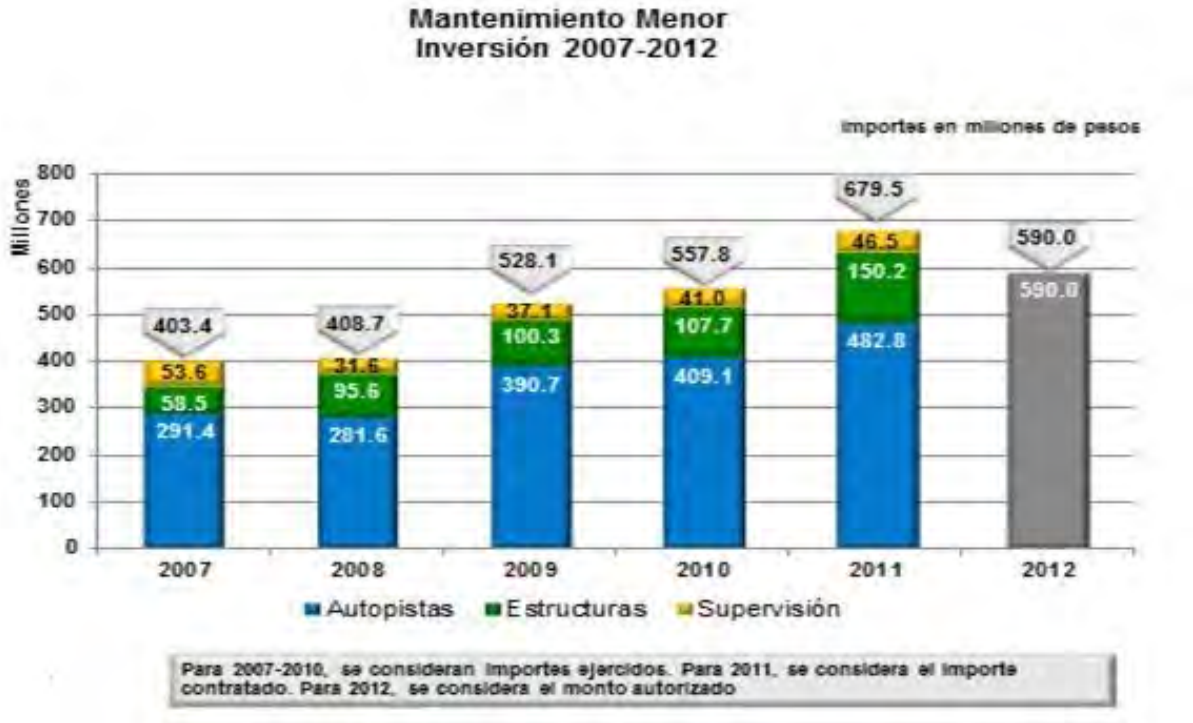


Figura A 4.1.2.1

En el mismo periodo, la inversión anual global en mantenimiento (mayor y menor) ha sido del orden de 4100 mdp en promedio. Figura A 4.1.2.2.



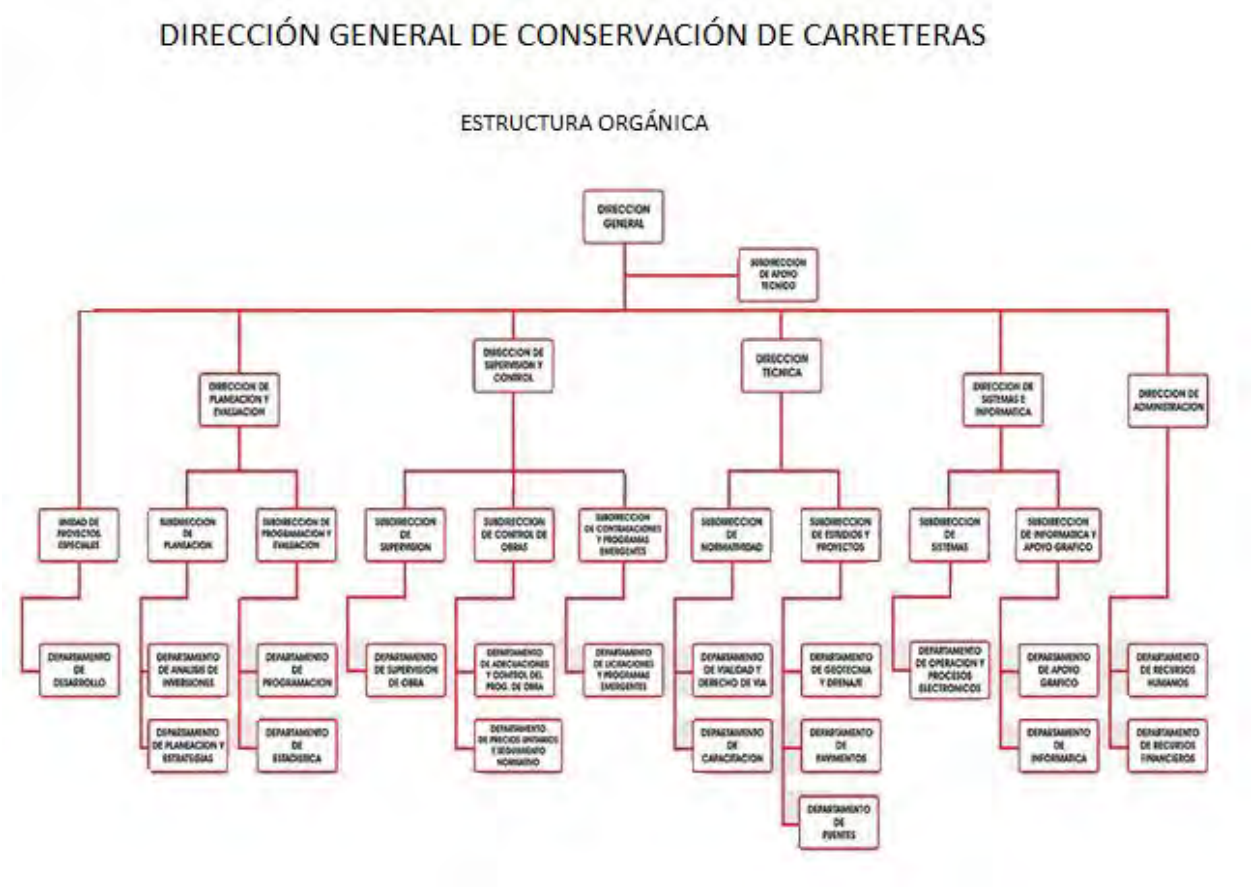
Figura A 4.1.2.2

Los números anteriores dan una inversión promedio para la conservación por contrato (mantenimiento mayor y mantenimiento menor) de $ 680,000.00/km, sin tomar en cuenta la inversión para la Conservación por Administración que según datos oficiales anda por un tanto igual.

Actualmente están desarrollando una estrategia para atender con mayor eficiencia las labores de conservación, emulando los esquemas de indicadores de resultados por estándares de desempeño experimentados con éxito en la SCT.

Por su parte en la: **Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC)**

Esta Dirección Normativa dependiente de la SCT, cuenta con un organigrama diseñado para dar cobertura a todas las necesidades de conservación con el Programa Nacional de Conservación de Carreteras (PNCC), dividido en Subprogramas que resuelven las distintas necesidades, en concordancia con un techo presupuestal autorizado. A nivel central su organigrama está compuesto de la siguiente manera:



En la evolución de la manera de afrontar la actividad de conservar las carreteras del país, podemos listar algunos esfuerzos hechos en la DGCC, a manera de recapitulación:

- Hasta hace unos 16 años, la mayor parte de los trabajos de Conservación se hacían por Administración Directa. Hoy todo es por Contrato.

- El número aproximado de trabajadores dedicados a la Conservación en la DGCC era de 12,000 personas. En la actualidad existen menos de 2,000.

- Se contaba con 2,000 vehículos ligeros. Actualmente se tienen 800.

- Se tenían 4,648 máquinas para la construcción de obra. Ahora se cuenta únicamente con 300 (sólo en los estados con recurrencia de emergencias).

- A partir del año 1996, se incrementó la contratación de los trabajos de conservación.

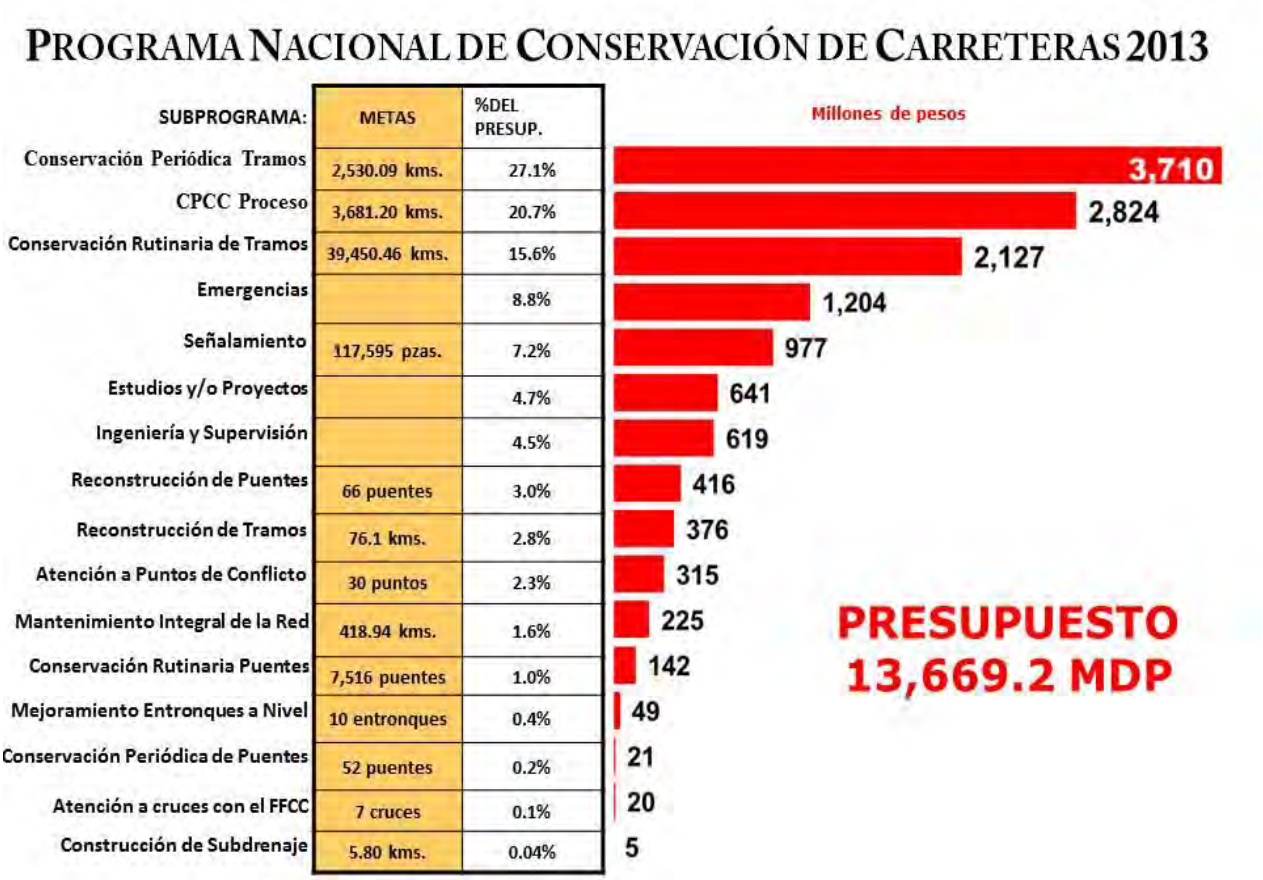
En la actualidad, toda la obra de Conservación en la red carretera libre de peaje se ejecuta POR CONTRATO y la adjudicación es mediante los procedimientos de contratación establecidos en la Ley. A manera ilustrativa se muestra, como ejemplo, la distribución del presupuesto 2013 por subprograma, Figura A 4.1.2.1. Fuente: Archivos de la DGCC.

Si tomamos como dato este ejemplo, la inversión promedio para dar conservación por contrato (todos los subprogramas) es de $ 300,000.00/km equivalente de carretera.

En resumen con los dos ejemplos descritos antes, la conservación cuesta por km:

En Autopistas a cargo de CAPUFE: $ 680,000.00/km

En carreteras libres de peaje: $ 300,000.00/km



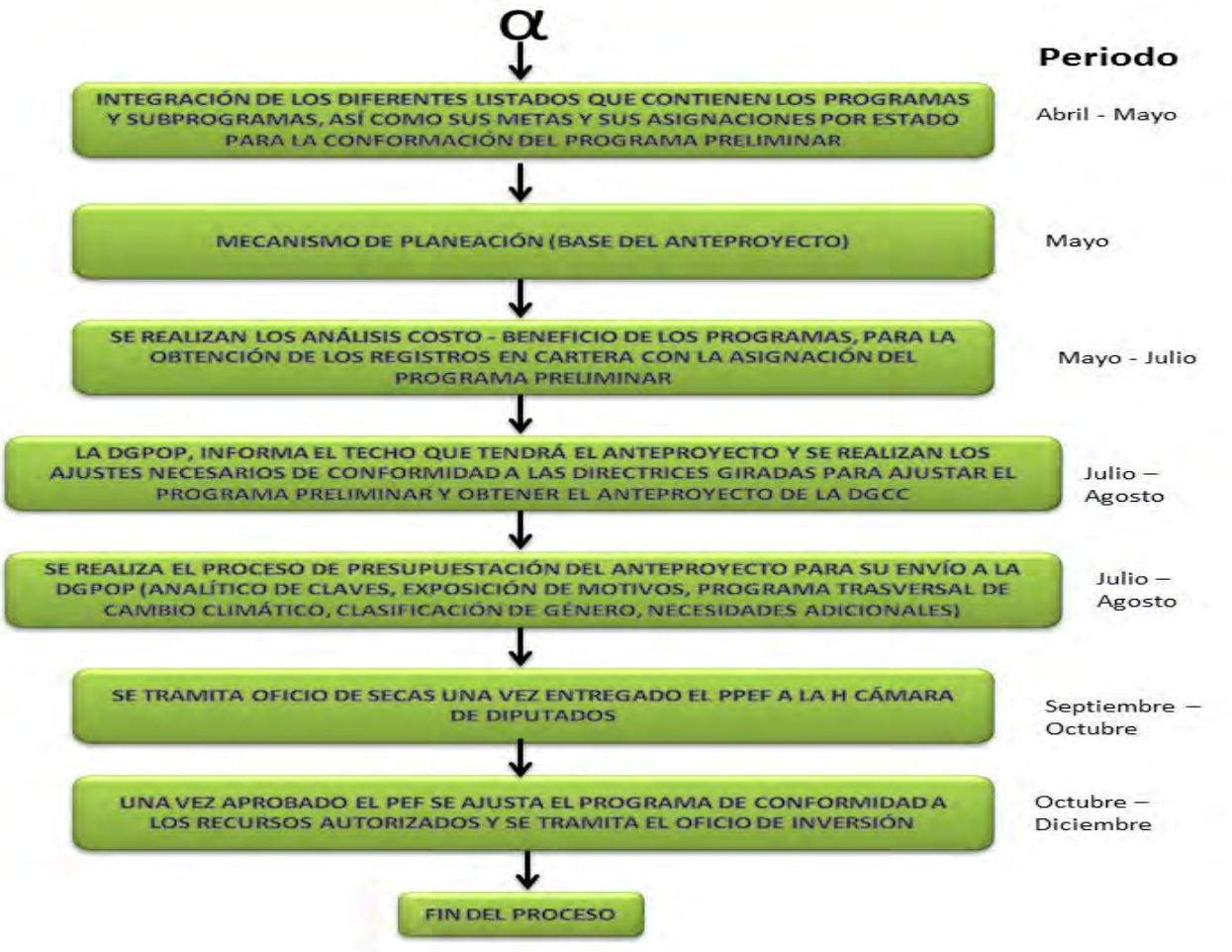
SUBPROGRAMA:	METAS	%DEL PRESUP.	Millones de pesos
Conservación Periódica Tramos	2,530.09 kms.	27.1%	3,710
CPCC Proceso	3,681.20 kms.	20.7%	2,824
Conservación Rutinaria de Tramos	39,450.46 kms.	15.6%	2,127
Emergencias		8.8%	1,204
Señalamiento	117,595 pzas.	7.2%	977
Estudios y/o Proyectos		4.7%	641
Ingeniería y Supervisión		4.5%	619
Reconstrucción de Puentes	66 puentes	3.0%	416
Reconstrucción de Tramos	76.1 kms.	2.8%	376
Atención a Puntos de Conflicto	30 puntos	2.3%	315
Mantenimiento Integral de la Red	418.94 kms.	1.6%	225
Conservación Rutinaria Puentes	7,516 puentes	1.0%	142
Mejoramiento Entronques a Nivel	10 entronques	0.4%	49
Conservación Periódica de Puentes	52 puentes	0.2%	21
Atención a cruces con el FFCC	7 cruces	0.1%	20
Construcción de Subdrenaje	5.80 kms.	0.04%	5

A 4.1.3 PLANEACIÓN DE LA CONSERVACIÓN EN LA DGCC

Dato importante es la asignación presupuestal prevista para cada ejercicio fiscal, de modo que podrán establecerse prioridades para obtener una estrategia de conservación que logre objetivos estratégicos, como por ejemplo:

- Diseñar e implantar un programa de conservación de la red federal de carreteras, que permita mantener en buenas y aceptables condiciones la red.
- Atender los puntos de conflicto para incrementar la seguridad.
    - Reforzar los elementos de toma de decisiones para una gestión que optimice la utilización de los recursos.

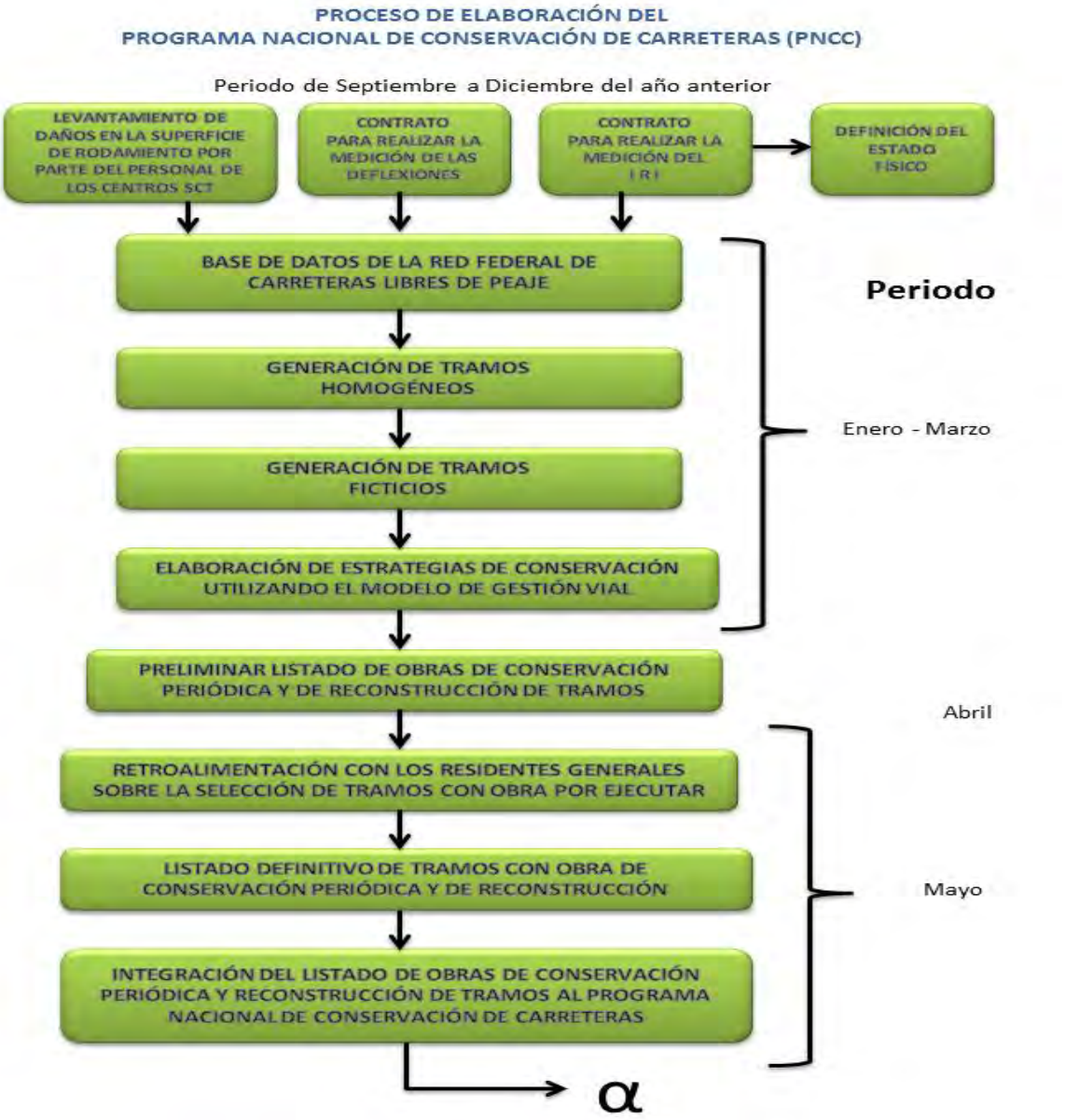
Proceso de Gestión del Presupuesto de Conservación en la DGCC



Para definir el Programa Nacional de Conservación de Carreteras (PNCC), la DGCC tiene implementados dos modelos de gestión, que determinan en forma objetiva el estado físico de la red carretera y programan las actividades de conservación, a través de rutinas de simulación. Veamos

1. **HDM-4: para tramos carreteros**





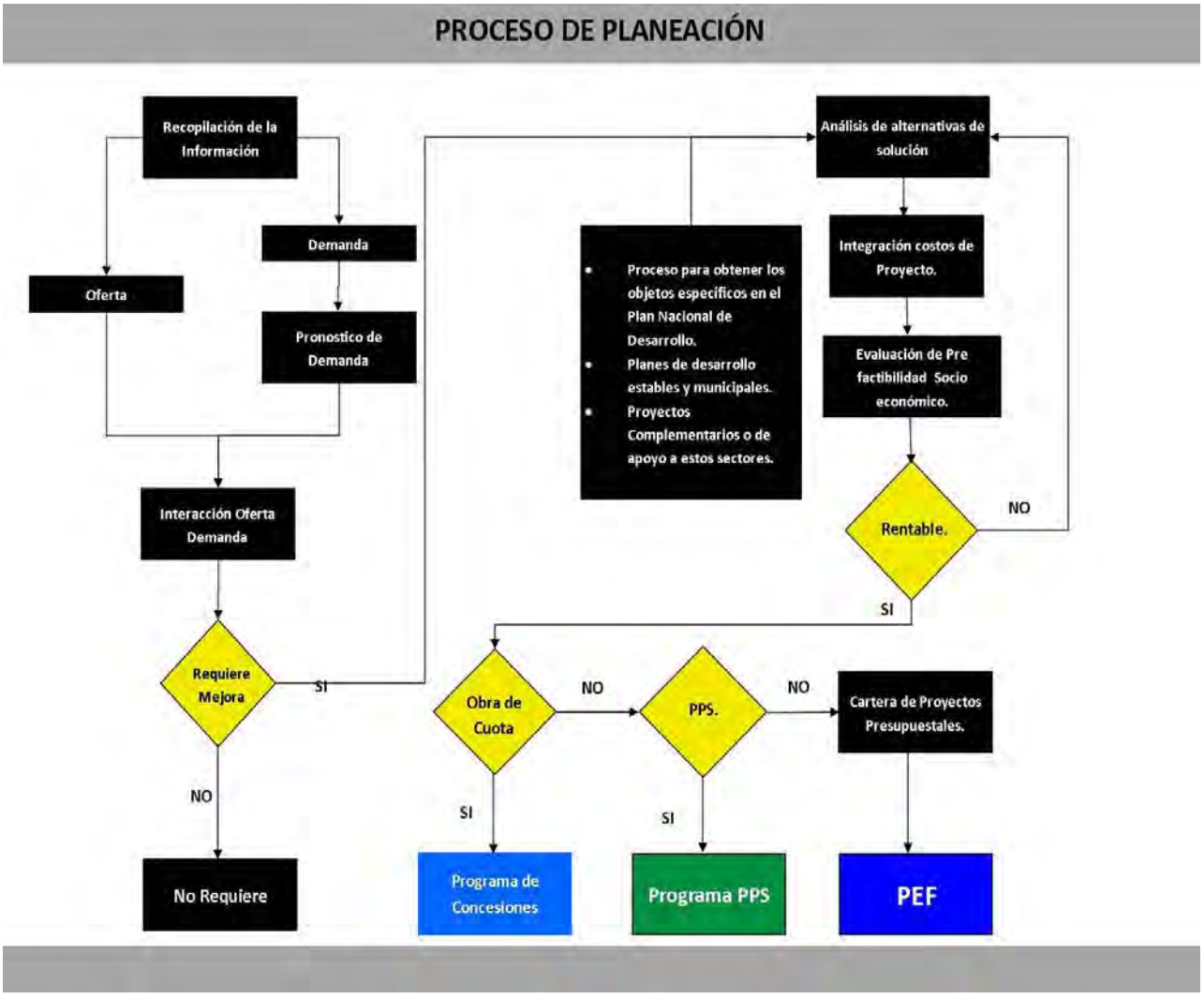
Con estos modelos aplicados a la búsqueda de la mejor estrategia de conservación, se tiende a:

Que la red carretera disminuya su porcentaje en estado No satisfactorio e incremente el estado Bueno y Satisfactorio.

Pavimentos en estado:

- **Bueno.** Deterioro lento y poco visible.
- **Satisfactorio.** Etapa crítica donde urge atención para evitar un rápido deterioro.
- **No satisfactorio.** Donde el deterioro es acelerado, rápida descomposición total.

El proceso de planeación del presupuesto en forma esquemática y general para cualquier Dependencia del Gobierno Federal es el que se ilustra a continuación.



*PEF: Presupuesto de Egresos de la Federación

A 5.3.1 CÁLCULO DE ESTABILIDAD DE UN TALUD EN ROCA

Ejemplo

Estudio y proyecto para la estabilización del talud en:
Carretera:
Tramo:
Km 10+690 al km 10+740, lado izquierdo
Estado de:

Contenido

1. Características del talud.
2. Análisis estereográfico.
3. Análisis cinemático del talud.
4. Conclusiones.

1. Características del Talud

Para realizar el estudio de la estabilidad del talud, primeramente se consultó la información del levantamiento topográfico tomando como referencia el cadenamiento fijado mediante los bancos de nivel; posteriormente se realizó el levantamiento geológico del sitio donde se listaron las características morfológicas, litológicas, estructuras geológicas e hidrología, las cuales se encuentran en el Estudio Geotécnico-Geológico.

En este tramo se localizaron tres puntos en los cuales el talud que se extiende desde el km 10+690 al km 10+740, presenta deslizamientos de material que ha afectado la superficie de rodamiento de la carretera. Se hicieron los levantamientos de los rasgos geológicos para cada uno de los tres puntos siguientes:

1. km 10+730
2. km 10+750
3. km 10+800

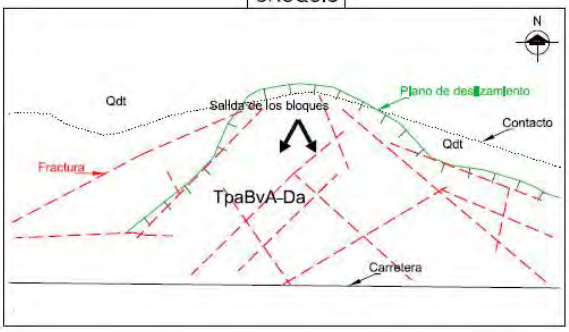
La información que se obtuvo del levantamiento geológico se encuentra resumida en las Tablas A 5.3.1.1 a A 5.3.1.3, en ellas se muestran los rasgos estructurales que afectan al macizo rocoso y que definirán los mecanismos de falla que pudieran generarse en las intersecciones de las discontinuidades; estos resultados servirán para determinar las características y parámetros del modelo geotécnico, que permita evaluar su estabilidad.

TALUD NUM. 3		TRAMO:			HOJA:		
FECHA:		10 +730			FOTO:		
LITOLOGÍA Brecha andesítica - Dacita	NATURALEZA: Volcanico			POTENCIA:	FORMACIÓN Y EDAD Fm. Tetelcingo - Paleógeno		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Volcanico Piroclástico			MORFOLOGIA: Lomerios suaves		ESPESOR: 15 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS			FRACTURAS		
FRACTURAMIENTO	BLOQUES Fracturas/m³ 2	Muy grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30	Muy pequeños >30	Muy Brechificado>60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremada mente blanda (uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de martillo) 2	Media (Golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe de martillo) 4	Muy dura (varios golpes de martillo) 5	Extrem. dura (solo raya con martillo) 6
GRADO DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada		VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (con señales de agua)	Humedo	Goteos	Flujo		CAUDAL ESTIMADO

FOTO



CROQUIS



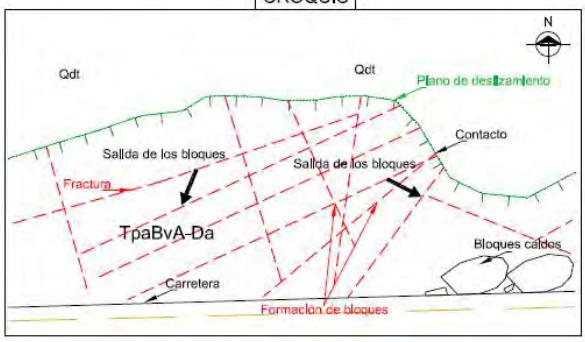
| ESTACIÓN N° | | | ESPACIADO en mm | | | | | | | CONTINUIDAD Rumbo | | | | | | |

TALUD NUM. 3		TRAMO:			HOJA:		
FECHA:		10 +750			FOTO:		
LITOLOGÍA Brecha andesítica - Dacita	NATURALEZA: Volcanico			POTENCIA:	FORMACIÓN Y EDAD Fm. Tetelcingo - Paleógeno		
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Volcanico Piroclástico		MORFOLOGIA: Lomerios suaves		ESPESOR: 15 m		
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS			FRACTURAS		
FRACTURAMIENTO	BLOQUES Fracturas/m³ 5-6	Muy grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30 10	Muy pequeños >30	Muy Brechificado>60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremada mente blanda (uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de martillo) 2	Media (Golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe de martillo) 4	Muy dura (varios golpes de martillo) 5	Extrem. dura (solo raya con martillo) 6
GRADO DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual	
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (con señales de agua)	Humedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO	

FOTO



CROQUIS



ESTACIÓN N°			ESPACIADO en mm						CONTINUIDAD Rumbo				CONTINUIDAD Buzamiento				ABERTURA en mm						RUGOSIDAD Escalonada			RUGOSIDAD Ondulada			RUGOSIDAD Plana			RELLENOS			Meteorización						Filtraciones				Resistencia					
TIPO DE PLANO (E,S,F,J)	DIRECCIÓN DEL BUZAMIENTO	BUZAMIENTO	Extrem. juntas	Muy juntas	Juntas	Moderadam. juntas	Separadas	Muy separadas	Extrem. separadas	Muy baja	Baja	Moderada	Alta	Muy alta	Muy cerrada	Cerrada	Parcialm. abierta	Abierta	Moderadam. abierta	Ancha	Muy ancha	Extrem. ancha	Cavernosa	I Rugosa	II Lisa	III Pulida	IV Rugosa	V Lisa	VI Pulida	VII Rugosa	VIII Lisa	IX Pulida	Composición	Espesor mm	I Sana	II Algo meteorizada	III Media meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI suelo residual	Seco	Humecto	Goteo	Flujo	1 Muy blando	2 Blando	3 Consistente	4 Muy Consistente	5 Duro	6 Muy duro
			<20	20-60	60-200	200-600	600-2000	2 000-6000	<6 000	<1m	1-3m	3-10m	10-20m	>20m	<0.1	0.1-0.25	0.25-0.5	0.5-2.5	2.5-10	>10	10-100	100-1000	>1 000																													
J	167	36				X							X	X		X															X	O	2			X					X								X	
J	350	86				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	180	55				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	340	76				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	199	55				X							X	X		X															X	O	2			X					X								X	
J	320	88				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	200	54				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	330	80				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	215	76				X							X	X		X															X					X					X								X	
J	50	70				X							X	X		X															X					X					X								X	

TIPO DE PLANO: E=Estratificación, S=Esquistosidad, F=Fallas, J=Juntas

RELLENO: G=Gravas, S=Arenas, A=Arcillas, B=Brecha, M=Milonita, O=Oxidos, F=Feldespatos

Tabla A 5.3.1.2. Características generales del talud de acuerdo al levantamiento geológico, km 10+750

TALUD NUM. 3	TRAMO:		HOJA:
FECHA:	10 +800		FOTO:

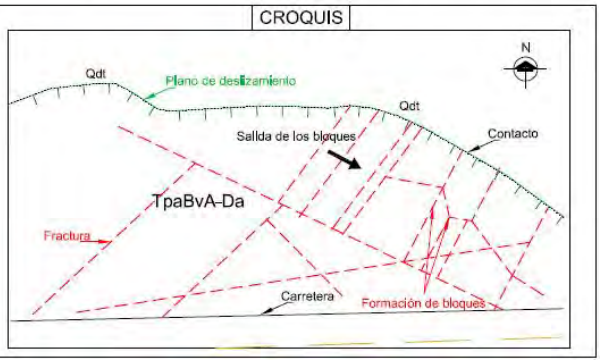
LITOLOGÍA Brecha andesítica - Dacita	NATURALEZA: Volcanico	POTENCIA:	FORMACIÓN Y EDAD Fm. Tetelcingo - Paleógeno			
FORMACIONES SUPERFICIALES	NATURALEZA Y TEXTURA: Volcanico Piroclástico	MORFOLOGIA: Lomerios suaves			ESPESOR: 15 m	
ESTRUCTURA	PLIEGUES	FALLAS		FRACTURAS		
FRACTURAMIENTO	BLOQUES Fracturas/m³ 3	Muy grandes <1	Grandes 1-3	Medios 3-10	Pequeños 10-30 10	Muy pequeños >30	Muy Brechificado>60
RESISTENCIA DE MATRIZ ROCOSA	Extremada mente blanda (uña) 0	Muy blanda (Navaja) 1	Blanda (Punta de martillo) 2	Media (Golpe de martillo) 3	Dura (+ 1 Golpe de martillo) 4	Muy dura (varios golpes de martillo) 5	Extrem. dura (solo raya con martillo) 6

GRADO DE METEORIZACIÓN	I Sana	II Algo meteorizada	III Medianamente meteorizada	IV Muy meteorizada	V Completamente meteorizada	VI Suelo residual
HIDROGEOLOGÍA	Sin presencia de agua	Seco (con señales de agua)	Humedo	Goteos	Flujo	CAUDAL ESTIMADO

FOTO



CROQUIS



| ESTACIÓN N° | | | ESPACIADO en mm | | | | | | | CONTINUIDAD Rumbo | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ABERTURA en mm | | | | | | | | | | RUGOSIDAD | | | | | | | | | | | | RELLENOS | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

DISCONTINUIDADES (Dip/Dip Direction)	LONGITUD visible en m	ESPACIAMIENTO (discontinuidades en un metro lineal)	RUGOSIDAD DE LAS PAREDES	ABERTURA	RELLENO	OBSERVACIONES
Fracturas (f1) 80°/334°	> 20,0	De 0,20 a 0,60 y en ocasiones más de 1,0	Plana y lisa	Unas cuantas abiertas hasta 0,0025 m	Sin relleno	Superficialmente los planos ligeramente abiertos, tienden a cerrarse hacia el interior. Alabeadas
Fractura (f2) 76°/231°	De 10,0 a 20	De 0,30 a 0,60	Plana y lisa, con rugosidad muy suave	Algunas abiertas hasta 0,0025 m	Sin relleno	Algunas se alabean
Fractura (f3) 58°/190°	> a 20,0	De 0,30 a 0,60	Plana y lisa	Cerradas	Sin relleno	Son persistentes, casi paralelas al corte del talud
Fractura (f4) 86°/138°	De 10,0 a 15	De 0,20 a 0,60	Plana y lisa, con rugosidad ligera	Cerrada, algunas abiertas con 0,0025 a 0,01	Sin relleno	Alabeadas, con el mismo rumbo de la f1
26°/356°	De 10,0 a 20,0	De 0,30 a 0,60	Plana y lisa	Unas cuantas de 0,002 m	Sin relleno	Este sistema corresponde a los distintos eventos piro clásticos

Tabla A 5.3.1.4. Principales características de las estructuras geológicas que afectan la calidad del macizo de roca del tramo km 10+690 al km 10+740

Las familias de las discontinuidades y la seudoestratificación que fueron localizadas en los taludes se representan gráficamente en los estereogramas que se encuentran en la Figura A 5.3.1.1.

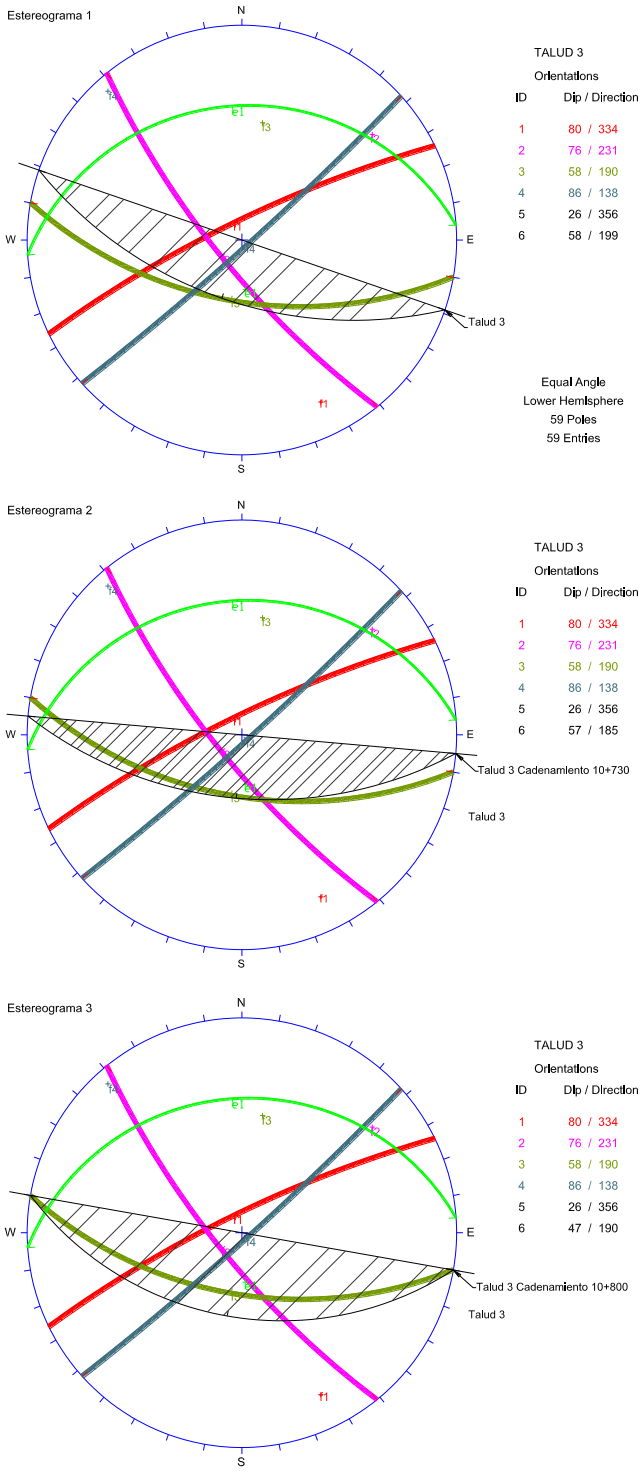


Figura A 5.3.1.1. Estereograma en donde se representa mediante círculos máximos la orientación y buzamiento de los principales sistemas de fracturas y la seudoestratificación, con respecto a la orientación e inclinación del plano del talud

Con las proyecciones del talud y las familias de discontinuidades se procedió a localizar los bloques potencialmente inestables; para esto se buscaron aquellos que pudieran presentar fallas planas, en cuña, pandeo, vuelco de estratos o rotura curva.

Las familias de discontinuidades que se encuentran en los estereogramas 2 y 3 no dan lugar a que se presenten fallas planas, en cuña y pandeo. Sin embargo, como los estratos tienden a presentar buzamiento contrario a la inclinación del talud y dirección subparalela al mismo, entonces se favorece el vuelco de fragmentos de roca. En la fotografía se verifica que los estratos están fracturados en bloques, mismos que han caído al pie del talud, variando los tamaños de los fragmentos desde un diámetro de 30 hasta 80 cm, aproximadamente.

Por otro lado, del estereograma 1 se puede observar que la familia (F1) y la familia (F3) dan lugar a una cuña que deberá ser analizada para obtener el factor de seguridad de dicha configuración

3. Análisis Cinemático del Talud

En la sección anterior (denominada análisis estereográfico) se definieron los mecanismos de fallas que se pueden presentar en este sitio. De acuerdo con lo observado en campo y con los datos proporcionados por el levantamiento geológico, se concluyó que el talud puede presentar fallas planas y fallas en cuña, siendo éstas las de mayor interés en el análisis de estabilidad de rocas. Por lo tanto se realizarán los análisis correspondientes a estos tipos de fallas.

Otro problema existente en el sitio se debe a los desprendimientos locales de no muy gran volumen, conocidos como caídos de fragmentos de roca. En este sitio en particular estos desprendimientos se deben al intemperismo y la erosión, los cuales han quitado el apoyo a los bloques, favoreciendo el relajamiento del macizo rocoso, especialmente en la cara del talud. De esta manera los fragmentos de roca han sufrido pérdida de soporte y se han presentado mecanismos de volteo en los fragmentos más grandes de roca, mismos que presentan un mecanismo de rotación tal como se puede observar en la foto de la Figura A 5.3.1.2.



Figura A 5.3.1.2. Caído de fragmentos de roca de la cara del talud en estudio

Las fuerzas que intervienen en las fallas por volteo son el peso de los bloques y los empujes debidos a los bloques subyacentes que también están en un estado de inestabilidad, todo esto resulta en desprendimientos de bloques de diversos tamaños en la cara del talud. El análisis numérico de los bloques en esta condición es muy difícil de realizar. Actualmente no se tiene un procedimiento analítico que permita cuantificar los factores de seguridad de taludes en esta condición. Existen programas que realizan modelados numéricos muy avanzados para este tipo de condiciones como aquellos que utilizan: el Método de Diferencias Finitas 3D (FDM), el Método de Elementos Discretos 3D (DEM), o modelos constitutivos complejos como el basado en el Modelo Anisótropo de Macizos Rocosos Fracturados (AJRM). Estos programas permiten un análisis detallado de las condiciones del macizo rocoso pero también requieren de parámetros complejos de obtener. Para este caso, los análisis avanzados quedan fuera del alcance del estudio.

Las fallas planas que pueden presentarse en este corte, debido a la presencia de las familia 3, son semejantes a los caídos de fragmentos de roca que existen en el lugar; de esta manera se prevé que si existieran fallas solamente se desarrollarían en los estratos más superficiales y los bloques serían de pequeñas dimensiones. La fotografía de la Figura A 5.3.1.2 corrobora que sólo en la parte más superficial se encuentran los planos para este tipo de fallas. El macizo se ha clasificado de calidad media.

Estabilidad de la Cuña con las F1 y F3

$$\text{Talud: } {}^{58^\circ}/_{199}$$

$$\alpha_{talud} = 23^\circ$$

$$\delta_{sobretalud} = 58^\circ$$

$$h = 12\ m$$

$$Plano\ 1\text{: } {}^{80}/_{334}$$

$$Plano\ 3\text{: } {}^{58}/_{190}$$

$$\emptyset_1 : 25^\circ$$

$$\emptyset_3 : 25^\circ$$

Para este caso se tienen los siguientes datos:

$$c_1 : 0\ \frac{kN}{m^2}$$

$$c_3 : 0\ \frac{kN}{m^2}$$

$$\gamma_{roca} : 24.0\ \frac{kN}{m^3}$$

$$\gamma_{agua} : 10.0\ \frac{kN}{m^3}$$

Cuando se considera que no hay presencia de agua en las caras de los planos el factor de seguridad es:

$$F.S = 1.3$$

Considerando la presión de poro, para un deslizamiento en la línea de intersección de los planos se tiene un factor de seguridad de:

$$F.S = 0$$

Discontinuidades sin agua

$A_1 = 104.84m^2$

$A_2 = 20.00m^2$

$V_{cuña} = 51.4m^3$

$W_{cuña} = 123.3\text{t}$

Coordenadas de la cuña

P_{origen}

$x = 0$

$y = 0$

$z = 0$

P_{izq}

$x = -0.59$

$y = 7.50$

$z = 12$

P_{der}

$x = 10.50$

$y = 7.50$

$z = 12$

P_{sup}

$x = 13.98$

$y = 10.65$

$z = 13.34$

Fuerzas normales

$N_1 = 118.00\text{t}$

$N_2 = 90.30\text{t}$

Agua entre las discontinuidades

$u = 2.22\frac{t}{m^2}$

$U_1 = 233.00\text{t}$

$U_2 = 44.40.00\text{t}$

$N_1 = -115.03\text{t}$

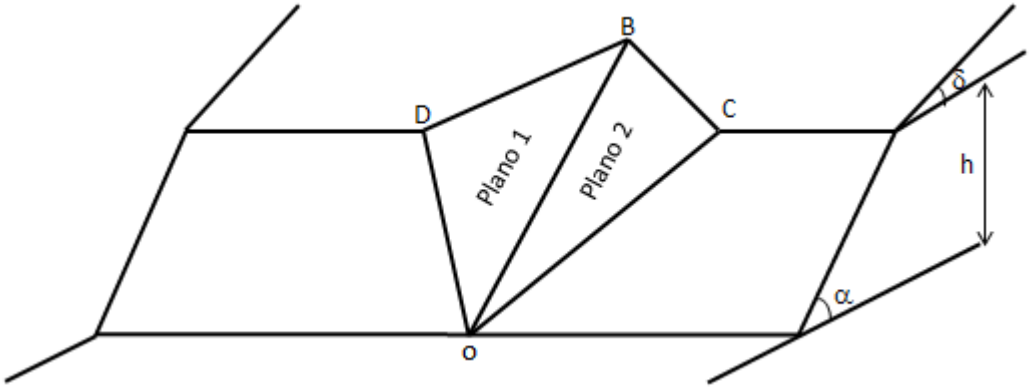
$N_2 = 45.90\text{t}$

Fuerza externa

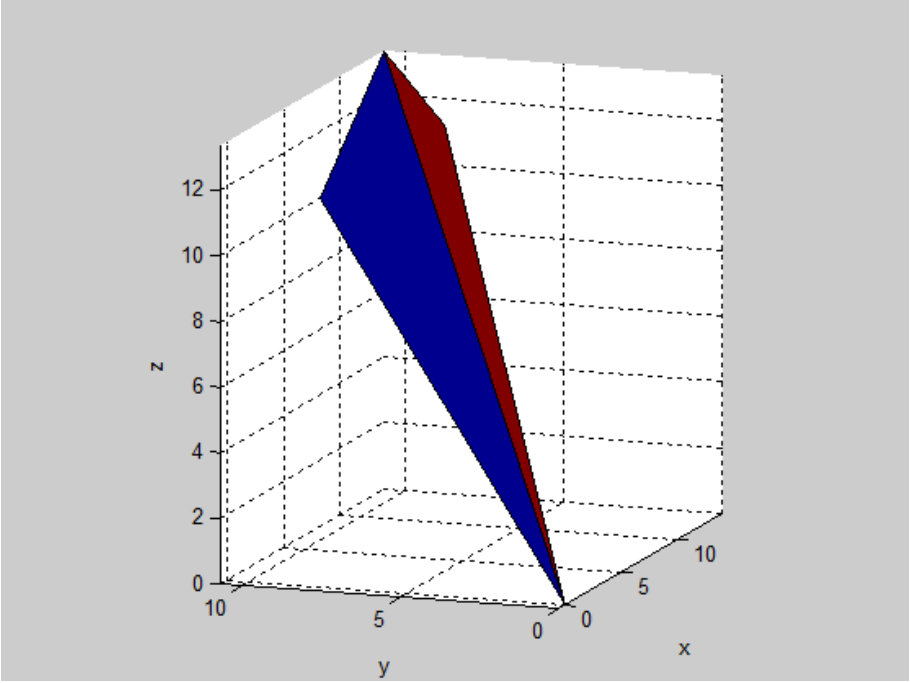
$F = 0.00\text{t}$

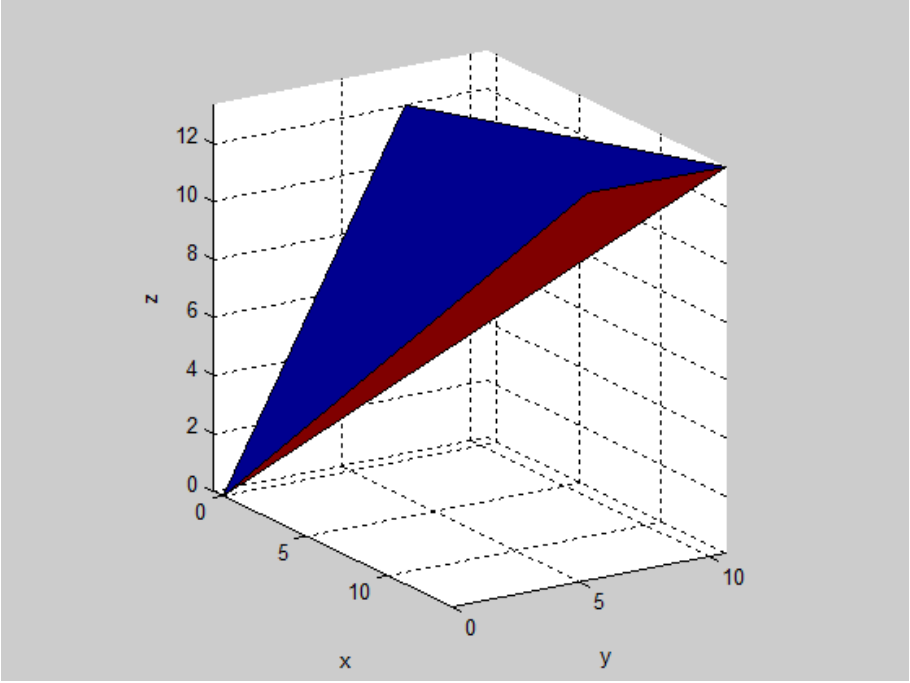
Datos:

Diagrama de la cuña



Cuña Analizada





De la información que se muestra se obtienen los siguientes datos:

$V_{cuña} = 51.4\ m^3$

$W_{cuña} = 123.3\text{t}$

La cuña que se forma con las discontinuidades de las familias F1 y F3 es de gran tamaño y por lo consiguiente de gran peso, además está en condiciones de falla, el factor de seguridad no garantiza contra falla por deslizamiento, la cuña inestable puede observarse en la Figura A 5.3.1.3

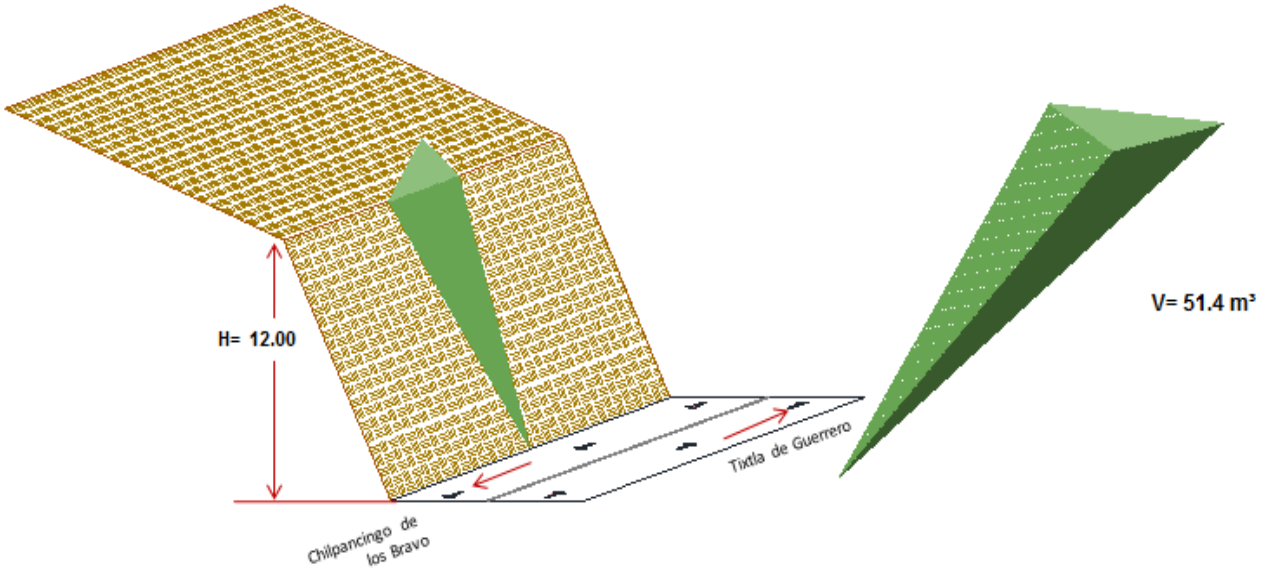


Figura A 5.3.1.3. Cuña formada por las familias F1 y F3

Las recomendaciones que se darán para este caso, son aquellas que se han derivado de los trabajos de la ingeniería práctica. En este sentido la estabilidad se mejorará mediante la disminución de las fuerzas actuantes, el aumento de las fuerzas resistentes o la combinación de éstas. También se recurrirá a la eliminación total de la cara del talud, de aquellos bloques que tengan la geometría de la cuña analizada.

4. Conclusiones

El talud en estudio no presenta fallas planas. Las cuñas formadas por las familias que favorecen un deslizamiento hacia la carretera a lo largo de su línea de intersección, son inestables. Durante la inspección al sitio, se detectaron cuñas similares a éstas, aproximadamente de la misma geometría pero de menor tamaño, algunas de ellas han caído a la carretera; por tal razón, en la solución que se proponga para este sitio, se deberá considerar obligatoriamente la eliminación total de los bloques y las cuñas que se aproximen en geometría a la cuña crítica; la eliminación será a lo largo de la cara del talud.

Mediante este procedimiento se solucionará el problema del desprendimiento de fragmentos de roca que varían en tamaño y que son el producto del fracturamiento de la roca madre y la erosión, adicionalmente de que la configuración de las discontinuidades favorece que los fragmentos se vuelquen mediante un mecanismo de rotación y se desplacen hasta la superficie de la carretera.

Se recomienda aplicar soluciones prácticas derivadas de los trabajos aplicados a casos parecidos.

A 5.3.2 SECUENCIA DE CÁLCULO PARA DISEÑO DE ANCLAS

El diseño de las anclas debe seguir una secuencia con el fin de obtener valores realistas, como se muestra en el esquema de la Figura A 5.3.2.1; los elementos que deben diseñarse se detallan a continuación; todos ellos deben contar con factores de seguridad adecuados y además, su trabajo conjunto debe garantizar la estabilidad global de la excavación, talud o corte.

Diseño Geotécnico

Análisis de Estabilidad. El diseño inicia con el cálculo del factor de seguridad (FS) del talud sin anclaje; si el FS resulta escaso se determina la fuerza de anclaje necesaria para llevarlo a valores adecuados (comúnmente mayor que 1.5 en taludes temporales y mayor que 2 en taludes permanentes). Dependiendo de la geometría y las condiciones estratigráficas se propone un número de niveles de anclaje. La capacidad del ancla se determina dividiendo la fuerza total de anclaje necesario entre el número de niveles, que se divide a su vez entre la separación entre anclas propuestas.

Empuje Sobre Elementos de Retención. Para estabilizar excavaciones verticales, la fuerza de anclaje necesaria se determina a partir de diagramas de empujes semiempíricos que dependen del tipo de suelo y del tiempo de permanencia del corte.

Longitud del Bulbo Inyectado. Esta longitud debe garantizar que las fuerzas de fricción en el contacto entre el medio circundante y el bulbo inyectado sean las requeridas. En estos cálculos se debe tener presente que las fuerzas de fricción dependen de la presión del mortero inyectado.

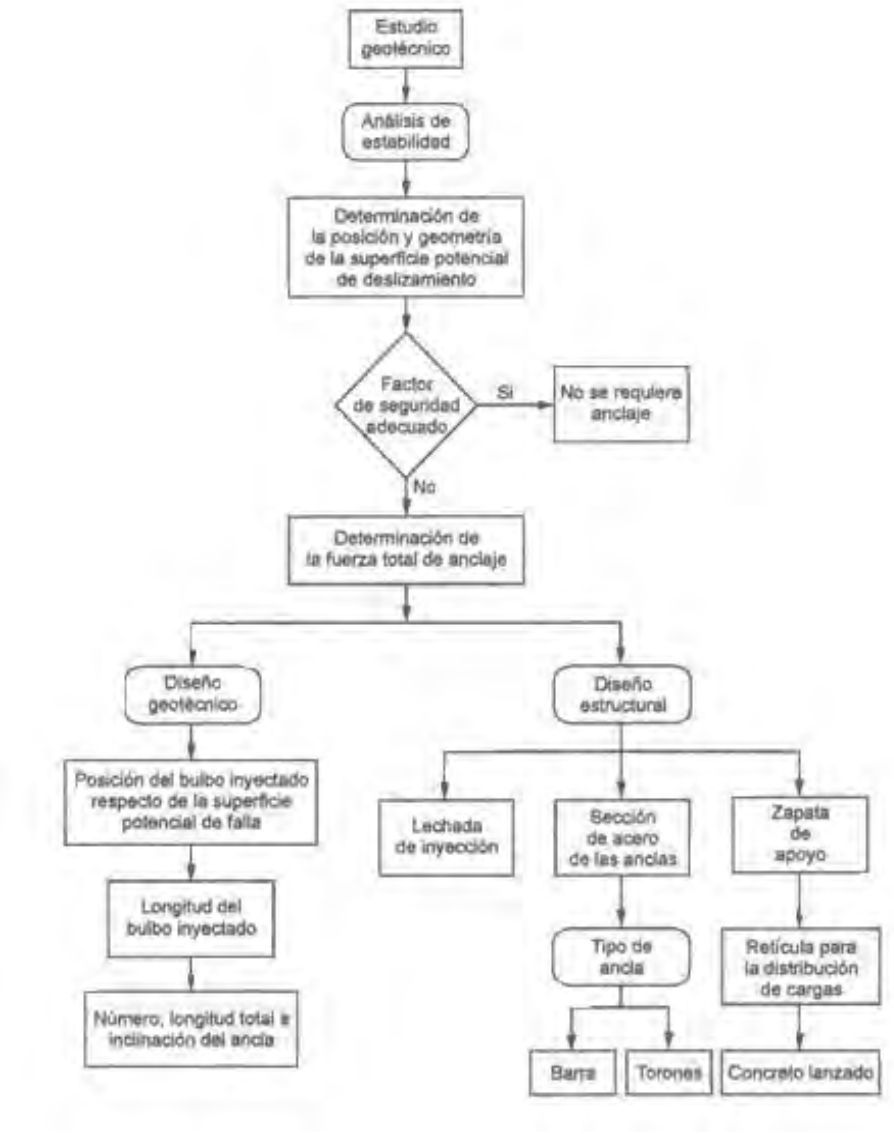


Figura A 5.3.2.1. Secuencia de cálculo para diseño de un sistema de anclaje

Posición del Bulbo Inyectado Respecto de la Superficie de Falla Potencial. La instalación de anclas sólo tiene sentido cuando las fuerzas que proporcionan se aplican fuera de la masa que potencialmente puede deslizarse.

Estabilidad en las Zapatas de Apoyo. Debe comprobarse que la capacidad de carga en la cara del talud sea suficiente para soportar la presión transmitida por el ancla; asimismo, se revisará que la componente tangencial de la fuerza de anclaje pueda ser soportada por la fricción entre la capa de concreto y la superficie del talud.

Apoyo del Elemento de Retención. Debe verificarse la capacidad de carga en el desplante de la estructura de soporte para evitar la penetración en el estrato de apoyo.

Diseño Estructural

Barra, Cables o Torones de Acero. Se deben determinar su sección y su número, en función de la calidad y características del acero disponible.

Morteros con los Cuales se Rellena el Barreno. Debe garantizarse que la adherencia entre las anclas y el mortero sea suficiente.

Zapatas de Apoyo. Las fuerzas de tensión que transmite el ancla implican reacciones a compresión que deben ser resistidas por esta zapata de apoyo.

Estructuras Para la Distribución de las Cargas. En algunos proyectos conviene ligar las zapatas de apoyo a una retícula de trabes de concreto reforzado, con las cuales se logra una mejor distribución de las cargas transmitidas por las anclas en la cara expuesta del talud.

Análisis y Diseño de los Elementos Componentes de un Ancla

Análisis de Estabilidad. El método de cuñas suele emplearse para determinar la carga externa (fuerzas de anclaje) requerida para mantener el equilibrio de la excavación o corte. En estos análisis se supone que a lo largo de la superficie de deslizamiento se moviliza la totalidad de la resistencia al corte, factorizada de acuerdo con el nivel de seguridad deseado. La inclinación de la superficie crítica de deslizamiento se determina por aproximaciones sucesivas y es la que proporciona la fuerza de anclaje máxima.

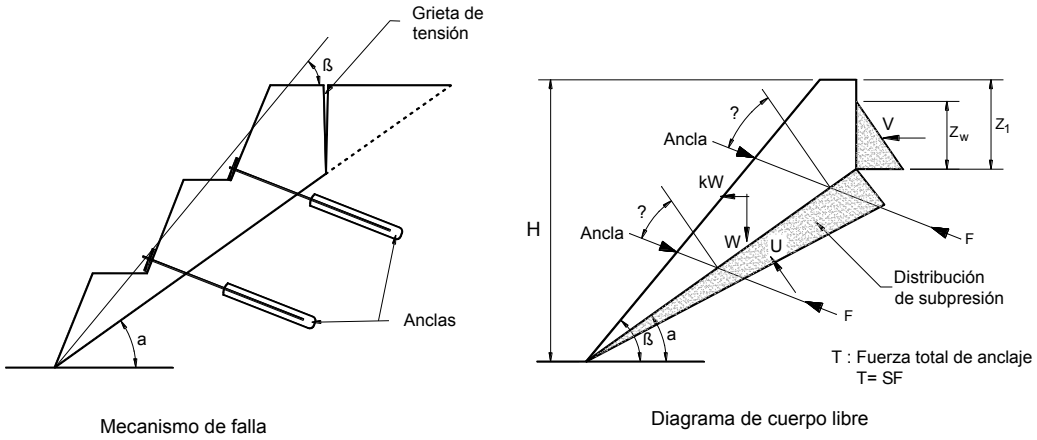


Figura A 5.3.2.2. Talud anclado

El factor de seguridad de un talud se determina mediante la siguiente expresión, de acuerdo con el sistema de fuerzas representadas en la Figura A 5.3.2.2

$$F.S. = \frac{c'^{H-Z_t}\, sen\beta - z_t sen\beta + (W\cos\alpha - U + T\cos\theta - (V + kW)sen\alpha)\tan\phi'}{Wsen\alpha + (V + kW)\cos\alpha - Tsen\theta}$$

$$A = \pi r^2$$

Donde:

c’ Parámetro de cohesión del suelo (en términos de esfuerzos efectivos)

Ø' ángulo de fricción del suelo (en términos de esfuerzos efectivos)

H altura del talud

β ángulo de inclinación del talud

z_t profundidad de la grieta de tensión

α	inclinación de la superficie potencial de deslizamiento
W	peso total de la cuña que potencialmente puede deslizarse
U	Fuerza de subpresión en la superficie de falla
V	empuje de agua en la grieta de tensión
T	Fuerza total de anclaje por unidad de longitud
θ	Inclinación de las anclas respecto de la normal a la superficie potencial de deslizamiento
k	Coeficiente sísmico

El análisis tiene por objeto determinar la fuerza de anclaje T necesaria para alcanzar un factor de seguridad FS adecuado, usualmente de 1.5 a 2, en condiciones estáticas de corto y largo plazo, respectivamente; en condiciones sísmicas, el FS mínimo es de 1.3.

La geometría de la masa deslizante no necesariamente es triangular, se pueden encontrar soluciones en las que se tengan cuñas con otras formas. En la Figura A 5.3.2.2, también se muestra una grieta de tensión por donde penetra el agua, así como la distribución de subpresiones a lo largo de la superficie de deslizamiento. Como se aprecia, la distribución supuesta es lineal, lo cual generalmente conduce a estimaciones conservadoras de los empujes de agua. Alternativamente, la distribución de presiones de poro a lo largo de la superficie de deslizamiento se puede obtener de una red de flujo. La resultante del empuje hidrostático originado por la grieta es V y la debida a la subpresión a lo largo de la superficie de deslizamiento U.

A 5.3.3 NORMAS PARA COMPONENTES DE ANCLAS

La práctica del anclaje varía entre los distintos países y regiones. No existe por tanto código de aceptación mundial. En Norteamérica lo más común es aplicar las normas del Post-tensioning Institute y de la de ASTM (American Society for Testing and Materials) y/o AASHTO (American Association of State Highway Transportation Officials). En la última revisión del comité de anclajes del Post-tensioning Institute, uno de los puntos más importantes tocados fue precisamente la necesidad de asignar especificaciones de la ASTM y de la AASHTO para todos y cada uno de los componentes de un anclaje. A continuación se presenta una serie de Tablas, conteniendo las principales normas con las que deben cumplir los distintos componentes de un ancla.

Normas aplicables para el tendón

Barra roscada de alta tensión tensión a la rotura de 105 – 125 kg/mm^2	ASTM A-722
Torón con tensión a la rotura de 190 kg/mm^2	ASTM A-416
Torón cubierto y relleno con epóxico impregnado con arena para mejor adherencia.	ASTM A-882

Normas aplicables para cementantes

Cemento Portland	ASTM C-845
Resina	ASTM A-775, A-884, D3863, AASHTO M284, M254

Normas aplicables para elementos de protección contra la corrosión

Galvanizado	ASTM C-845
Epóxico	ASTM A-775, A-153, AASHTO No. 284 Accesorios: ASTM A-123; AASHTO M191
Grasa	ASTM B-117; ASTM D-1743 Cumple con PTI para compuestos inhibidores de corrosión
Tubo corrugado	HDPE ASTM D-1785 Clase 200 ASTM D2241 AASHTO No. R6
Tubo Liso PVC	Cédula 40 ASTM D-1745 Clase 200 ASTM D-1785, D-2241 AASHTO No. R6

Normas aplicables para accesorios de la cabeza del ancla

Cubierta para la cabeza del ancla (de PVC)	ASTM D-1785
Tuerca hexagonal	ASTM D-1785
Rondana	ASTM A-29 Grado C-1045
Placa (hueco redondo)	ASTM F-436 AASHTO No. M293

A 5.3.4 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES PARA ANCLAS

Materiales

En la construcción de un ancla, intervienen materiales de diversa índole y comportamiento, como son: acero (tendón), cementante (bulbo), PVC (protección de la longitud libre), grasas y otros materiales anticorrosivos, además del propio suelo. En este Subtema se hablará de los primeros, debido a que son susceptibles de un control de calidad que garantice un comportamiento consistente y predecible. En cuanto al suelo, éste generalmente deberá usarse en la forma que la naturaleza lo presenta.

Acero

Tipos y formas de presentación. De acuerdo con las normas norteamericanas y europeas, el material del elemento tensor debe ser acero de alta resistencia. Éste se presenta en forma de barras lisas o corrugadas, cables y torones. Las barras (Figura A 5.3.4.1) tienen un diámetro comprendido entre 12 y 40 mm y generalmente se utilizan para anclas cortas y de baja capacidad. La tensión se mantiene sujetando la barra por medio de una tuerca que se aprieta contra la placa de apoyo. Ocasionalmente, se emplean paquetes conteniendo un máximo de cuatro barras, por limitaciones de espacio en el interior de los barrenos, que comúnmente tienen un diámetro de entre 100 y 200 mm. Los cables vienen en rollos, para facilitar su transporte, su diámetro es de entre 2 y 8 mm. Los torones se componen de una serie de cables trenzados en torno a un eje central común, Figura A 5.3.4.2. El número de cables que componen un torón es entre 4 y 20. Los torones se emplean para anclas de alta capacidad. La tensión se mantiene por medio de cuñas, que se apoyan en lo que se denomina "queso de torones". Figura A 5.3.4.3.

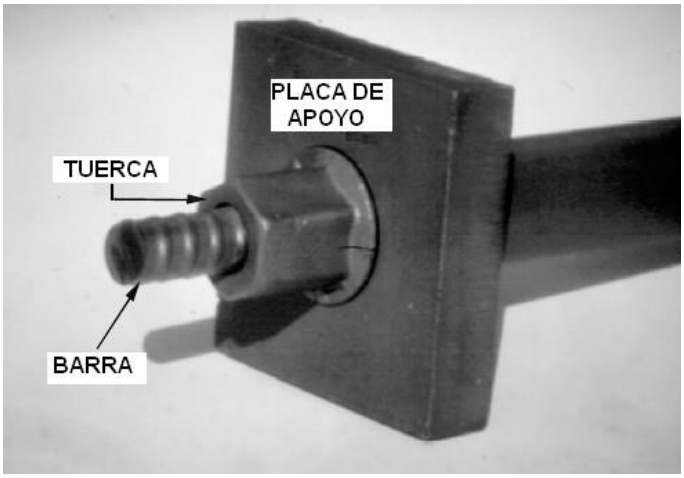


Figura A 5.3.4.1. Tendón a base de una barra de acero (FHWA, 1999)

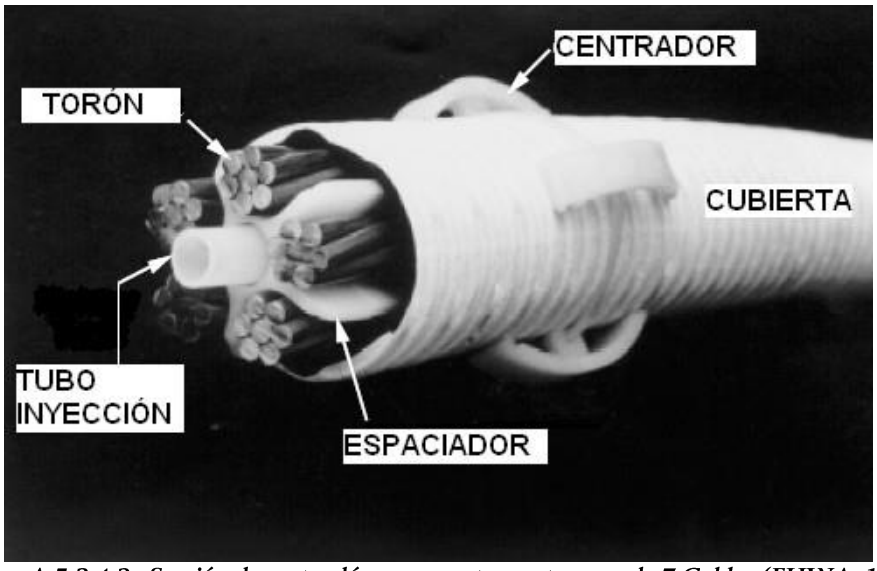


Figura A 5.3.4.2. Sección de un tendón compuesto por torones de 7 Cables (FHWA, 1999)

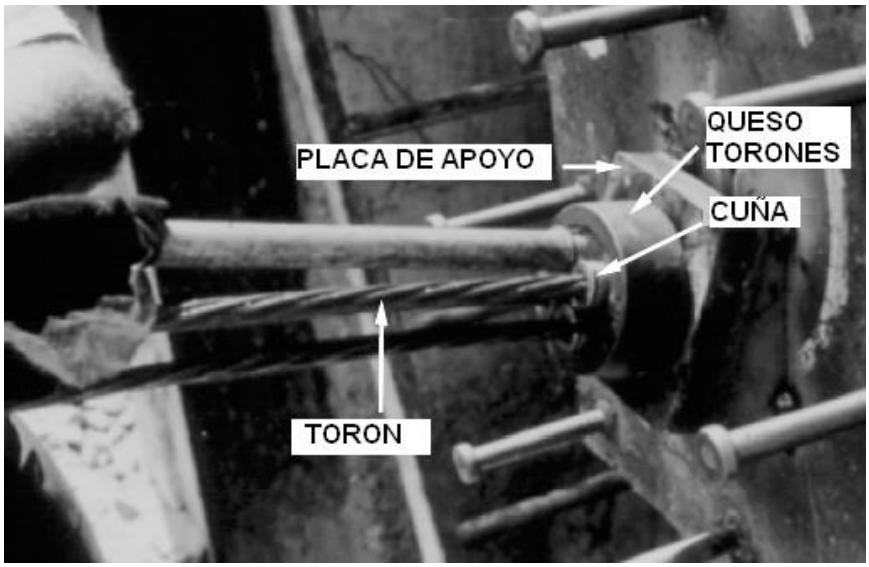


Figura A 5.3.4.3. Tendón a base de torones (FHWA, 1999)

Esfuerzos permisibles. Para efectos de diseño, al proyectista le interesa conocer las características de elasticidad, flujo plástico y relajamiento, resistencia a la tensión y esfuerzos permisibles. Con respecto al último punto, la carga de servicio permisible deberá ser una fracción del esfuerzo correspondiente al límite elástico (TG) (Habib P., 1989), como se muestra a continuación.

Para anclajes temporales, esto es para un periodo menor de 18 meses

$$a\ G\ T \leq 0.75T \qquad \textit{Ecuación 5.1}$$

para anclajes permanentes, o temporales cuya vida exceda de 18 meses

$$a\ G\ T \leq 0.60T \qquad \textit{Ecuación 5.2}$$

Los valores obtenidos mediante las ecuaciones 5.1 y 5.2 en ningún caso deben ser excedidos. En ciertas aplicaciones, como es el anclaje en ambientes agresivos (ambiente marino, por ejemplo) dichos valores pueden ser aún menores.

En los E.U.A. se producen actualmente barras de acero de preesfuerzo con resistencias últimas de 150 kips (1035 N/mm^2) y 160 kips (1104 N/mm^2). También se producen torones conformados hasta por 19 cables. Tabla A 5.3.4.1.

Grado del Acero	Diámetro Nominal	Esfuerzo último f_{pu}	Área Nominal de la sección, A_{ps}	Resistencia última $f_{pu}\,A_{ps}$	Fuerza de preesfuerzo		
					0.8 $f_{pu}\,A_{ps}$	0.7 $f_{pu}\,A_{ps}$	0.6 $f_{pu}\,A_{ps}$
(ksi)	(pulg.)	(ksi)	(pulg^2)	(kips)	(kips)	(kips)	(kips)
150	1	150	0.85	127.5	102.0	89.3	76.5
	1 ¼	150	1.25	187.5	150.0	131.3	112.5
	1 3/8	150	1.58	237.0	189.6	165.9	142.2
	1 ¾	150	2.66	400.0	320.0	280.0	240.0
	2 ½	150	5.19	778.0	622.4	435.7	466.8
160	1	160	0.85	136.0	108.8	95.2	81.6
	1 ¼	160	1.25	200.0	160.0	140.0	120.0
	1 3/81	160	1.58	252.8	202.3	177.0	151.7
(ksi)	(mm)	(N/mm^2)	(mm^2)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
150	26	1035	548	568	454	398	341
	32	1035	806	835	668	585	501
	36	1035	1019	1055	844	739	633
	45	1035	1716	1779	1423	1246	1068
	64	1035	3348	3461	2769	2423	2077
160	26	1104	548	605	484	424	363
	32	1104	806	890	712	623	534
	36	1104	1019	1125	900	788	675

Tabla A 5.3.4.1. Propiedades de las barras de acero de presfuerzo (ASTM A722) (tomada de FHWA, 1999)

Número de de cables 15 mm	Arrea de la sección		Resistencia Última		Fuerza de preesfuerzo					
	(pulg^2)	(mm^2)	(kips)	(kN)	0.8 $f_{pu}\,A_{ps}$		0.7 $f_{pu}\,A_{ps}$		0.6 $f_{pu}\,A_{ps}$	
1	0.217	140	58.6	260.7	46.9	209	41.0	182	35.2	156
3	0.651	420	175.8	782.1	140.6	626	123.1	547	105.5	469
4	0.868	560	234.4	1043	187.5	834	164.1	730	140.6	626
5	1.085	700	293.0	1304	234.4	1043	205.1	912	175.8	782
7	1.519	980	410.2	1825	328.2	1460	287.1	1277	246.1	1095
9	1.953	1260	527.4	2346	421.9	1877	369.2	1642	316.4	1408
12	2.604	1680	703.2	3128	562.6	2503	492.2	2190	421.9	1877
15	3.255	2100	879.0	3911	703.2	3128	615.3	2737	527.4	2346
19	4.123	2660	1113.4	4953	890.7	3963	779.4	3467	668.0	2972

Tabla A 5.3.4.2. Propiedades de los torones de acero de presfuerzo de 15 mm de diámetro (ASTM A416) (tomada de FHWA, 1999)

Los anclajes Dywidag, Tablas A 5.3.4.3 y A 5.3.4.4, emplean sus propias barras y tendones. Sus propiedades son ligeramente distintas a las presentadas en las dos tablas anteriores. En el caso de las anclas de torones, éstas pueden construirse para una mayor capacidad agregando más cables.

Acero de presfuerzo				Acero GEWI (R)				Acero GEWI Plus (R)			
Diám. barra	Grado acero	Resist. última	Esfuerzo fluencia	Diám. barra	Grado acero	Resist. última	Esfuerzo fluencia	Diám. barra	Grado acero	Resist. última	Esfuerzo fluencia
mm	N/mm^2	$kN(1_{pa})$	$kN(T_y)$	mm	N/mm^2	$kN(1_{pa})$	$kN(T_y)$	mm	N/mm^2	$kN(1_{pa})$	$kN(T_y)$
15	900/1100	195	159	16	500/600	121	100	18	670/800	204	170
20	900/1100	283	283	20	500/600	188	157	22	670/800	304	255
26.5	950/1050	523	523	25	500/600	295	245	25	670/800	393	329
32	950/1050	764	764	28	500/600	370	308	28	670/800	493	413
36	950/1050	967	967	32	500/600	482	402	30	670/800	565	474
40	950/1050	1194	1194	40	500/600	756	630	35	670/800	770	645
47	950/1050	1648	1648	50	500/600	1176	980	43	670/800	1162	973
				63.5	555/700	2217	1758	57.5	670/800	2077	1740
								63.5	670/800	2354	2122

Tabla A 5.3.4.3 Barras de acero Dywidag

Número de cables	Resistencia última kN(fpu)	Esfuerzo de fluencia kN (Ty)
1	300	255
2	600	510
3	900	765
4	1200	1020
5	1500	1275
6	1800	1530
7	2100	1785
8	2400	2040
9	2700	2295
10	3000	2550
11	3300	2805
12	3600	3060

*construidas a partir de cables compactados, grado 1550/1820 N/mm^2

Tabla A 5.3.4.4. Anclas de torones* Dywidag

Cementante. El cementante empleado en la instalación de anclas puede ser fabricado con base en el cemento Portland (lechada, mortero o concreto) o resina epóxica. Las funciones que debe cumplir son tres fundamentalmente:

1. Fijar el tendón al terreno
2. Proteger al acero contra la corrosión
3. Llenar vacíos o fisuras en el suelo

Para la elección del cementante hay que considerar dos aspectos distintos:

1. Agresividad del suelo respecto al cemento
2. Agresividad del cemento en relación con el tendón

El suelo donde se instala el anclaje se puede clasificar en tres tipos: los que no presentan riesgos por sus características de agresividad (ambiente no agresivo) y los que presentan una particular agresividad: ambiente moderadamente y muy agresivo. El primero es aquel donde el suelo y el agua libre gravitacional están libres de elementos nocivos para el ancla (productos químicos y contaminación). Los dos segundos se presentan cuando el suelo contiene sustancias químicas (por ejemplo sulfatos) y agua con estos mismos productos o contaminada. Tabla A 5.3.4.5.

Tipo de ambiente	Características
No agresivo	El sitio ubicado en una atmósfera no agresiva, el agua del suelo no es agresiva y su nivel es prácticamente constante. En ausencia de agua, tampoco debe haber elementos químicos.
Moderadamente agresivo	El agua del suelo tiene un pH ácido o es suave pero su nivel cambia continuamente.
Muy agresivo	Medio ambiente marino, cerca de una planta química con productos corrosivos o el agua en el suelo es muy agresiva.

Tabla A 5.3 4.5. Clasificación del medio ambiente respecto a su agresividad (Habib, 1989)

Los puntos más importantes a considerar para determinar la agresividad de un suelo o roca, son los siguientes:

1. Resistividad del suelo
2. pH del suelo
3. Composición química del agua y suelo
4. Permeabilidad del suelo respecto al agua y al aire
5. Factores externos electroquímicos y físicos
6. Contaminación del agua libre gravitacional

Por lo general el concreto fabricado con cemento tipo Portland proporciona un ambiente suficientemente alcalino (pH>12) para no ser agresivo al acero; al menos en condiciones iniciales.

De cualquier forma, no es conveniente confiarse de la protección inicial que brinda el concreto, ya que su naturaleza alcalina puede cambiar a una ácida con el tiempo. La tendencia del concreto al agrietamiento, cuando está sujeto a esfuerzos de tensión y su permeabilidad, son los dos factores principales para que el cambio mencionado ocurra.

Protección Contra la Corrosión

Mecanismo. Este es uno de los aspectos más importantes en el diseño de un anclaje, ya que el elemento estructural principal, el tendón, está fabricado en acero, que por naturaleza es susceptible de corroerse. El acero es un producto industrializado a partir de óxidos de hierro que es como se encuentra en estado natural; en equilibrio con el medio. Si las condiciones ambientales son propicias, tenderá a volver a dicho estado de equilibrio inicial, o sea que se oxidará.

La corrosión u oxidación de ciertos metales, es un fenómeno electrolítico. Se da cuando el metal entra en contacto con agua y oxígeno, produciéndose una reacción química. En dicha reacción hay pérdida de material y conversión de agua y oxígeno en iones OH. La región donde ocurre pérdida de metal se denomina ánodo y donde el agua y oxígeno se combinan para formar iones OH se llama cátodo. Para que lo anterior ocurra, ánodo y cátodo deben estar conectados por un puente, que en este caso es la barra de acero. Además, las reacciones en ambas regiones deben ser simultáneas.

En la Figura A 5.3.4.6 se observa que en la zona anódica los iones de fierro van a la solución; como consecuencia hay una pérdida de material. En el cátodo por otro lado se forman iones de hidróxido. En el punto donde los dos productos mencionados se encuentran (marcados con el número 3) se forma hidróxido ferroso. Los factores que determinan la posibilidad de corrosión y su rapidez son la diferencia de potencial entre la zona anódica y la catódica, y el pH del medio.

El fenómeno descrito en el párrafo anterior se manifiesta como una reducción de la resistencia en el ancla por degradación del material y reducción de la sección. En todo caso, al ingeniero le interesa determinar el potencial corrosivo y cómo prevenirlo.

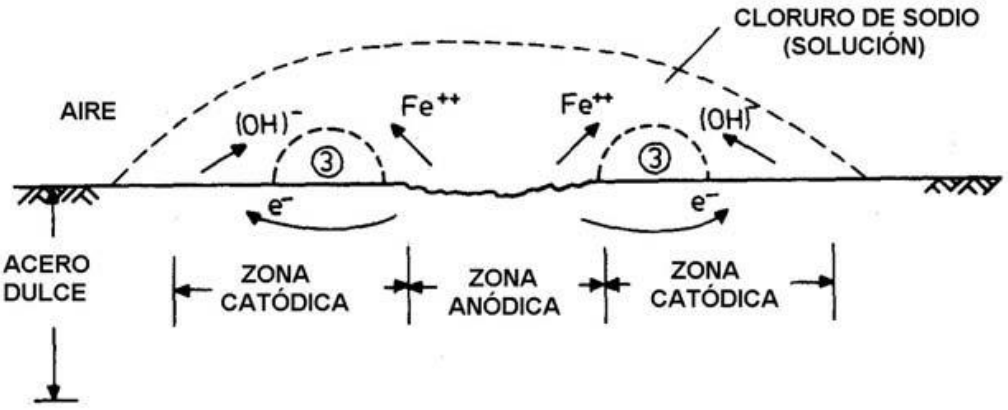


Figura A 5.3.4.6. Representación de corrosión galvánica (Hanna, 1982)

Tipos de Corrosión

Podemos distinguir cuatro distintos tipos de corrosión:

1. Corrosión galvánica (superficial)
2. Picaduras
3. Corrosión de baja tensión
4. Fragilidad por hidrógeno

Corrosión Galvánica. Consiste en la formación de una delgada capa de óxido (pátina), uniformemente distribuida en la superficie. La distribución uniforme responde a que las zonas anódicas y catódicas son aproximadamente iguales. La formación y permanencia de esta delgada capa previene contra un ataque mayor al metal.

Picaduras. Las picaduras son un tipo de corrosión más localizado. Pueden ser superficiales o profundas. Están asociadas con la ruptura local de la delgada capa de óxido formada por corrosión galvánica.

Corrosión de Baja Tensión. Se presenta cuando el incremento de esfuerzos en el área reducida por picaduras locales, provoca la exposición de material fresco y la propagación de la grieta, hasta que se produce la falla por ruptura.

Fragilidad por Hidrógeno. Ocurre cuando el hidrógeno penetra la estructura atómico molecular del acero, convirtiéndose ahí en hidrógeno molecular. El mayor volumen de moléculas de hidrógeno reduce la ductilidad del acero y tiene un efecto nocivo el fondo de la fisura, al generar un incremento de esfuerzos.

Agresividad del Ambiente

Las anclas se usan en una gran variedad de terrenos potencialmente agresivos. Las medidas para proteger contra la corrosión al tensor obligan al proyectista a definir si el anclaje será temporal o permanente. Los parámetros más importantes para determinan la agresividad del suelo son los siguientes:

Resistividad del Suelo. Se mide haciendo pasar una corriente conocida en el medio y midiendo la caída de voltaje a lo largo de la línea de corriente. A menor resistividad, mayor riesgo de corrosión (la posibilidad de corrosión es muy grande para resistencias menores de 2000 ohm-cm).

Potencial Redox. Es una medida del potencial corrosivo debido a los agentes microbiológicos. Los suelos arcillosos con un alto contenido de humedad presentan el mayor riesgo.

Potencial de Hidrógeno (pH). El suelo se considera agresivo si el pH<5.5. En suelos altamente ácidos (pH<4) se da la corrosión por picaduras en el metal. Por otro lado, los suelos orgánicos dan lugar a la formación de ácidos orgánicos.

Presencia de Sales. Las sales reducen la resistividad. Los cambios en contenido salino cerca de la superficie pueden deberse a la presencia de agua residual o contaminación. Los carbonatos, sin embargo, reducen el potencial corrosivo.

Ciclos de Humedecimiento y Secado. El aumento en el contenido de humedad hace que el de oxígeno disminuya. Probablemente, el potencial corrosivo es mayor cuando el contenido de humedad es bajo y el oxígeno es más abundante.

Debido a que no existe ningún método seguro para determinar el potencial corrosivo del terreno, la práctica actual consiste en adoptar un doble sistema de protección. En el Anexo 1 se presenta una "check list" de las consideraciones que deben hacerse al momento de seleccionar la protección contra la corrosión (Hanna, 1982).

Niveles de Protección

La protección necesaria para prevenir la corrosión está en función de la vida útil y la agresividad del medio. La clasificación comúnmente empleada consta de tres distintos grados: P0, P1 y P2. En lo que sigue se describe cada uno de éstos.

Protección Grado P0. No implica algún tipo de protección en particular. No obstante, deberá evitarse el contacto entre la longitud libre del tendón y el terreno circundante, por medio de una funda (tubo PVC normalmente).

Protección Grado P1. Este tipo de protección puede aplicarse antes o después del tensado, de acuerdo con el producto empleado. Consiste en llenar el espacio anular (formado entre el tendón y el tubo de protección) con material anticorrosivo.

Protección Grado P2. También puede aplicarse antes o después del tensado, según el material empleado. Consiste en la protección total del anclaje. La Tabla A 5.3.4.6 muestra los niveles de protección necesarios en función de la agresividad del medio y la vida útil.

Ambiente	Vida útil		
	Menos de 9 meses	9 a 18 meses	Más de 18 meses
No agresivo	P0	P1	P2
Moderadamente agresivo	P1	P2	P2
Muy agresivo	P2	P2	P2

Tabla A 5.3.4.6. Niveles de protección contra la corrosión

Sistemas de Protección para el Tendón

Esencialmente, hay tres formas de evitar la corrosión del ancla. La primera es usar un material no corrosible. Actualmente no hay en el mercado un material que garantice totalmente la integridad del elemento a tensión. La segunda es aplicar una protección previa a la introducción del ancla en el terreno. La tercera y última es utilizar el sistema de protección después de que el ancla se encuentra en posición. Estas tres formas de protección pueden aplicarse en forma combinada (práctica común).

Para que un sistema de protección sea confiable, debe cumplir con las siguientes características Hanna (1982):

1. Tener una vida útil igual a la del ancla
2. No debe interferir con el funcionamiento del ancla
3. Permitir el libre movimiento del ancla
4. No debe fallar durante el tensado
5. No debe dañarse durante las operaciones de construcción

Con esta filosofía se han desarrollado diferentes sistemas de protección, conformados por otros tantos tipos de materiales. En lo que sigue se comentan los más usuales. Figura A 5.3.4.7.

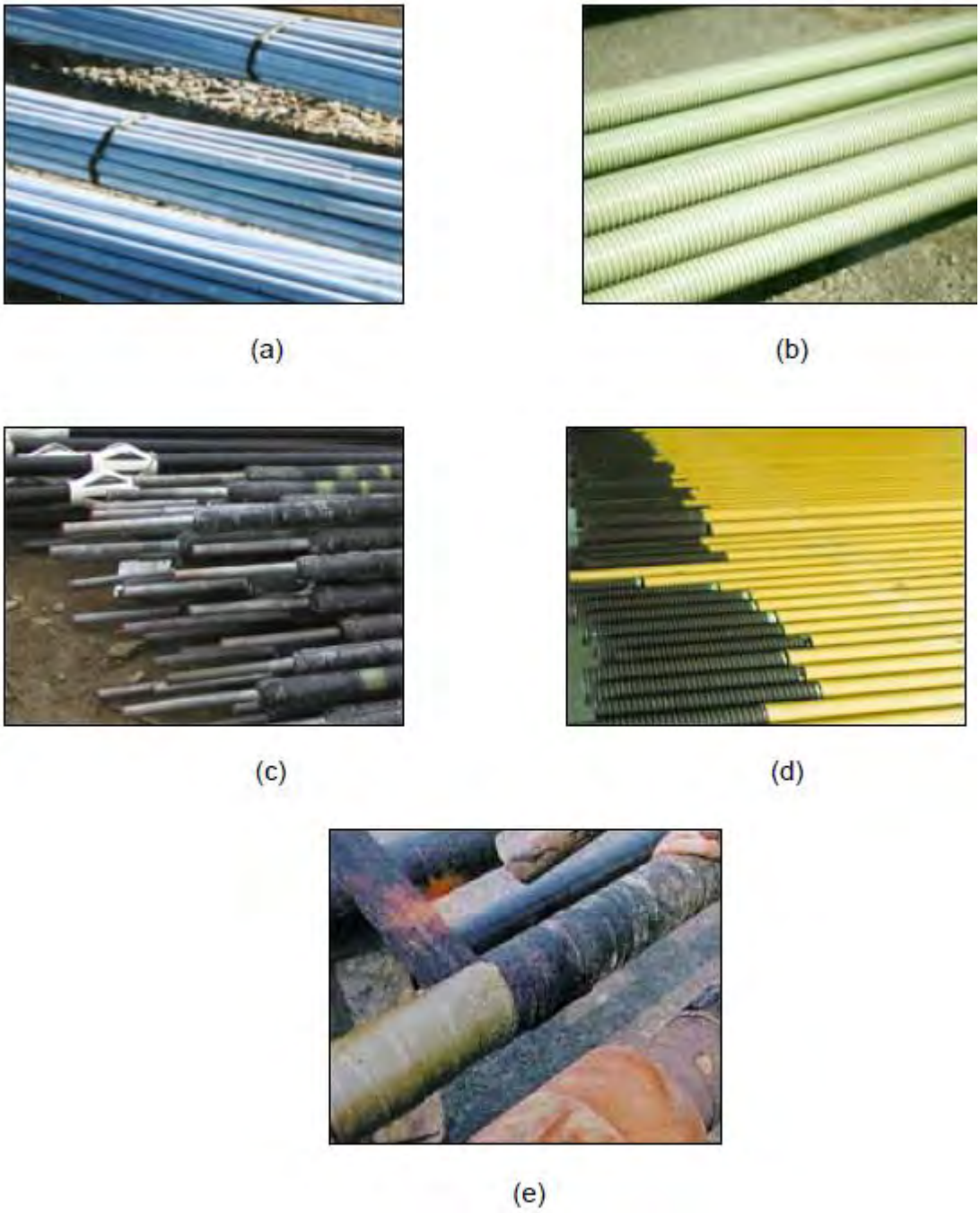


Figura A 5.3.4.7. Sistemas de protección contra la corrosión: a) galvanizado, b) cubierta epóxica, c) preinyectadas, d) cubierta de polietileno, e) cinta inhibidora

Galvanizado en Caliente. Este proceso consiste en la inmersión del acero en un crisol de zinc fundido. El espesor de la protección queda comprendido entre 3 y 4 mils (0.075 a 0.100 mm) y debe cumplir con la Norma ASTM A-153. La adherencia es superior a la de cualquier pintura, ya que se produce una aleación con el acero base. El galvanizado se puede efectuar tanto en el tendón como en sus accesorios. Las piezas galvanizadas presentan una excelente resistencia a la abrasión. La desventaja de este procedimiento es que no puede efectuarse en campo.

Cubierta Epóxica. El material empleado es una resina de poliéster a la cual se le agrega un catalizador para su endurecimiento. El espesor de la cubierta debe ser de entre 7 y 12 mils (0.18 a 0.30 mm) según la Norma ASTM A-775.

A diferencia del galvanizado, la resistencia a la abrasión es muy baja, por ello las barras deben manejarse con mayor cuidado. Este sistema, al igual que el anterior, no puede aplicarse en campo. A cambio de esas desventajas, la cubierta epóxica tiene el costo más bajo de todos los sistemas de protección y puede aplicarse a los accesorios también.

Barras Previamente Inyectadas. Se emplean en zonas particularmente agresivas, tales como ambientes marinos con ciclos de humedad y secado debidos a fluctuaciones de la marea. Para proporcionar una barrera adicional contra la corrosión, las barras de acero se colocan en el interior de un tubo de polietileno corrugado y se inyectan. A este tipo de anclas se les conoce también como anclas con protección múltiple o MCP, por sus siglas en inglés. Este sistema presenta una buena resistencia a la abrasión, pero las barras deben prepararse en taller.

Cubierta de Polietileno Extruido. Consiste en una capa de polietileno de alta densidad con un espesor de 23 a 25 mils (0.58 a 0.64 mm) que se coloca en taller. Su función es evitar la migración de agua y oxígeno. Combina una buena resistencia a la abrasión con un bajo costo. La principal desventaja de esta protección es que no puede aplicarse en campo, ni a los accesorios.

Cinta Inhibidora de Corrosión. Consiste en una banda de material sintético no-tejido, totalmente impregnada y cubierta con un compuesto neutro derivado del petróleo. Para su aplicación es necesario limpiar las barras previamente. El espesor promedio de la protección es de 45 mils (1.15 mm). Las cintas vienen en rollos de 10 m de longitud por 5 o 10 cm de ancho. Este sistema de protección presenta una resistencia a la abrasión media. El costo de este sistema es de los más altos entre los mencionados anteriormente, pero tiene la ventaja de que puede aplicarse en campo, tanto a las barras como a los accesorios.

Alquitrán de Hulla Epóxico. Este sistema ofrece una buena resistencia a la abrasión, es económico y durable. Se puede aplicar en campo, tanto a barras como accesorios, en un espesor máximo de 35 mils (0.9 mm). Previamente se elimina la grasa y polvo de la superficie donde se aplica.

Engrasado y Forrado. Esta protección es la que comúnmente se especifica para la longitud libre del tendón. Antes de enviar las barras a la obra, se engrasan perfectamente y se enfundan con un tubo de PVC, acero o nylon reforzado con fibras. La resistencia a la abrasión no es muy buena, por lo cual deben manejarse con cuidado.

Protección de la Cabeza

La parte del ancla que se conecta con la estructura es la más crítica desde el punto de vista de protección contra la corrosión. Esto se debe a que esta zona se encuentra expuesta a los efectos del intemperismo, filtraciones de agua y movimientos de la estructura. Aquí, es importante dar protección al tramo de barra comprendido entre la tuerca y la protección dada a la longitud libre. Esto se logra por medio de un tubo protector, Figura A 5.3.4.8. Para permitir el pretensado del ancla, se emplea una tapa removible rellena con grasa que se coloca sobre la parte expuesta del tendón, Figura A 5.3.4.8b. Si lo anterior no es una condición de diseño, entonces la parte expuesta se protege con varias manos de material asfáltico, bitumen y concreto de ser posible.

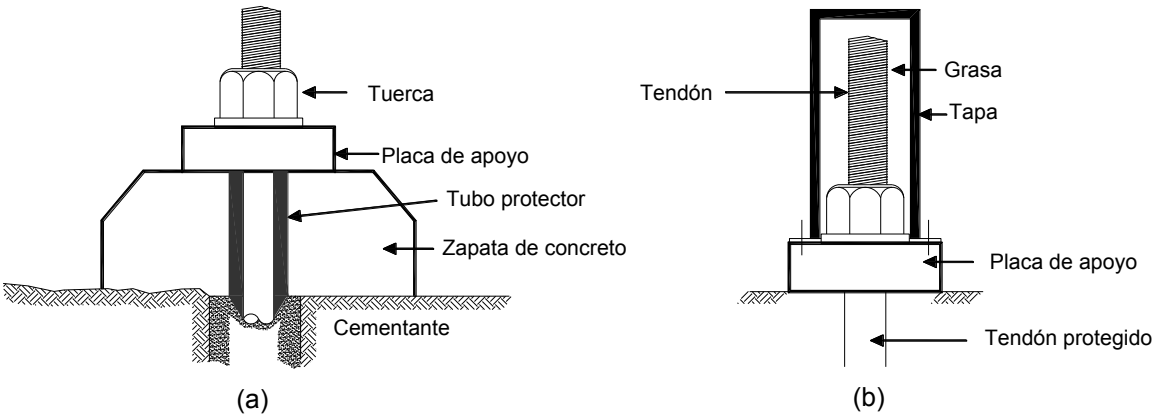


Figura A 5.3.4.8. Diagrama del sistema de protección en la cabeza del ancla. Tubo protector (a) y tapa (b)

Sistemas de Protección Integral

La protección contra la corrosión de los componentes estructurales del ancla es tan importante que muchas de las empresas dedicadas a la fabricación de anclas han diseñado sistemas integrales, que garantizan el buen desempeño a lo largo de la vida útil. Un ejemplo de lo anterior son las anclas de barras o torones Dywidag. Se consideran dos casos: ancla temporal (2 años de vida) y permanente (hasta 120 años). La Figura A 5.3.4.9 muestra un esquema del sistema correspondiente a los anclajes de barra.

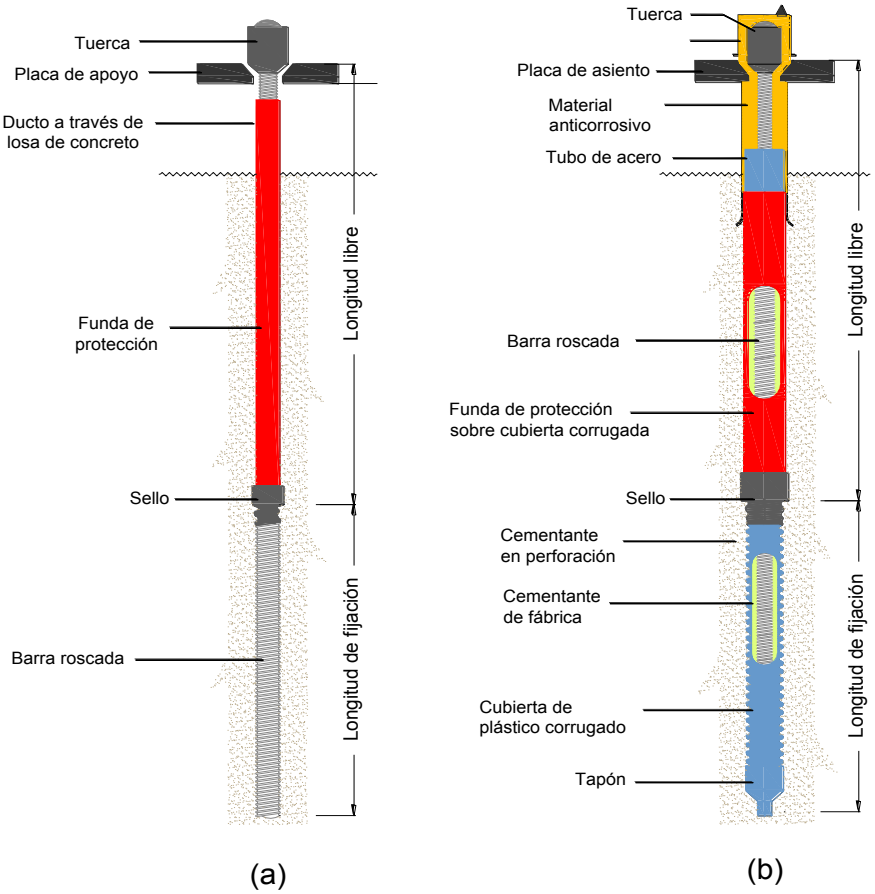


Figura A 5.3.4.9. Sistemas de protección sencilla (a) y doble (b) para ancla de barra Dywidag

A 5.4.1 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MENOR DE PUENTES (FORMATO)

xxxxxxxxxxxxxxxxxx, S.A. DE C.V.

PROGRAMA DE MANTENIMIENTO MENOR PARA ESTRUCTURAS
EJERCICIO 2012

NOMBRE DE LA EMPRESA OPERADORA:
CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

NOMBRE DE LA AUTOPISTA:
LIBRAMIENTO TEJOCOTAL - NUEVO NECAXA

UBICACIÓN DEL PUENTE KM.:
134+060

NOMBRE DEL PUENTE:
P.I.P. 134+060

DATOS GENERALES		
1	TIPO	P.I.P.
2	LATITUD	20°-8'-13.44"
3	LONGITUD	98°-1'-14.25"
4	ALTITUD	
5	No. DE CLAROS	1
6	LONG. TOTAL	31.8
7	CLARO MAYOR	
8	GALIBO	

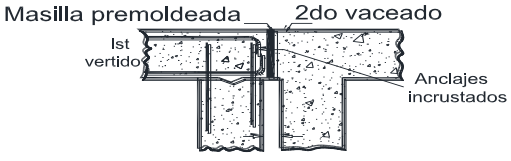
REPORTE DE CONCEPTOS DE OBRA EJECUTADOS

No.	Concepto	Unidad	CANTIDAD EXISTENTE	CANTIDAD P/CONSERVAR	P.U.	Importe
1	**SUPERFICIE DE RODAMIENTO**					
1.1	Limpieza de superficie de rodamiento.	m2	127.20	127.20		0.00
1.2	Limpieza de juntas de dilatación	ml				0.00
1.3	Calafateo de juntas de dilatación	ml				0.00
1.4	Bacheo superficial con carpeta asfáltica en caliente	m3				0.00
1.5	Renivelación con carpeta asfáltica en caliente	m3				0.00
1.6	Sellado de juntas de dilatación con poroloflex y sikaflex.	ml				0.00
1.7	Bacheo superficial con concreto hidráulico	m3	?			0.00
1.8	Calafateo de grietas en concreto hidráulico	ml				0.00
	SUBTOTAL SUPERFICIE DE RODAMIENTO:					**$ -**
2	**SUPERESTRUCTURA**					
2.1	Pintura vinilica en parapetos y guarniciones de concreto.	m2				
2.2	Pintura y protección anticorrosiva en parapetos metálicos.	m2				
2.3	Reparación de parapeto metálico	Kg.				
2.4	Reparación de parapeto de concreto hidraulico	m3				
2.5	Reparación de banqueta de concreto hidráulico simple	m3				
2.6	Reparación de guarnición de concreto hidráulico simple	m3				
2.7	Reparación de desconchamientos menores	dm3				
2.8	Limpieza de trabes y losa con chorro de agua	m2	127.20			
2.9	Colocación de goteros	ml				
2.10	Calafateo de grietas	ml	?			
2.11	Inyección de fisuras en losas y nervaduras	ml				
	SUBTOTAL SUPERESTRUCTURA:					**$ -**
3	**SUBESTRUCTURA**					
3.1	Limpieza de dispositivos y bancos de apoyo	Pza.				
3.2	Limpieza de cabezales en pilas y estribos	m2				
3.3	Pintura en aleros, estribos, pilas , columnas, cabezales.	m2				
3.4	Calafateo de grietas en conos de derrame	ml				
3.5	Limpieza y sellado de grietas menores de 3 mm	ml				
3.6	Restitución de concreto en losas de acceso, incluye acero de refuerzo	m3				

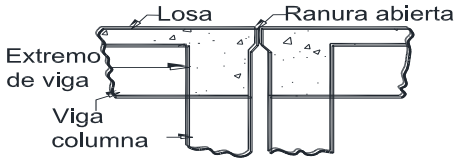
3	**SUBESTRUCTURA**					
3.1	Limpieza de dispositivos y bancos de apoyo	Pza.				
3.2	Limpieza de cabezales en pilas y estribos	m2				
3.3	Pintura en aleros, estribos, pilas , columnas, cabezales.	m2				
3.4	Calafateo de grietas en conos de derrame	ml				
3.5	Limpieza y sellado de grietas menores de 3 mm	ml				
3.6	Restitución de concreto en losas de acceso, incluye acero de refuerzo	m3				
3.7	Restitución de concreto en conos de derrame, incluye malla electrosoldada 6-6/10-10	m3				
3.8	Reparación de zampeado	m2				
3.9	Reparación de desconchamientos	dm3				
3.10	Pintura de reglas tipo estadal para registro de movimientos del tirante	Pza				
3.11	Retiro de maleza acumulada en zapatas y cilindros de cimentación	m2				
3.12	Tratamiento anticorrosivo en apoyos multidireccionales	Pza				
	SUBTOTAL SUBESTRUCTURA:					**$ -**
4	**DRENAJE**					
4.1	Desazolve de drenes.	pza				
4.2	Desazolve de tuberías y canalones	m3				
4.3	Reconstrucción de bordillos con concreto hidráulico en P.I.V.'s	ml				
4.4	Reconstrucción de lavaderos con concreto hidráulico	ml				
4.5	Reconstrucción de guarnición con concreto hidráulico f'c=200 kg/cm2, incluye acero de refuerzo en aproches	M3				
4.6	Canalización de escurrimientos superficiales	ml				
4.7	Reposición de drenes y/o extensión de drenes	pza				
	SUBTOTAL DRENAJE:					**$ -**

7	**SEÑALAMIENTO VERTICAL**					
7.1	Limpieza de señal vertical baja	Pza				0.00
7.2	limpieza de señal vertical alta	Pza				0.00
7.3	Limpieza de mensulas reflejantes	Pza				0.00
7.4	Reposición de señal SP-25	Pza				0.00
7.5	Reposición de señal SR-15	Pza				0.00
7.6	Reposición de señal SIS-12	Pza				0.00
7.7	Reposición de señal SIG 249 x 40	Pza				0.00
7.8	Reparación de señal vertical baja	Pza				0.00
7.9	Reparación de señal vertical alta	Pza				0.00
	SUBTOTAL SEÑALAMIENTO VERTICAL:					**$ -**
8	**ELEMENTOS DIVERSOS**					
8.1	Reporte de Inspección Semestral	Reporte	1.00	1.00		0.00
8.2	Leyenda de Identificación de la Estructura	Pza	1.00	1.00		0.00
	SUBTOTAL ELEMENTOS DIVERSOS:					**$ -**
	IMPORTE TOTAL:					**$0.00**

A 5.4.2 OTROS TIPOS DE JUNTAS DE DILATACIÓN PARA PUENTES



(h) MURO DOBLE O SERIE DE COLUMNAS DOBLES



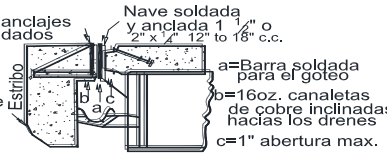
(i) COLUMNAS DOBLES

JUNTAS CERRADAS

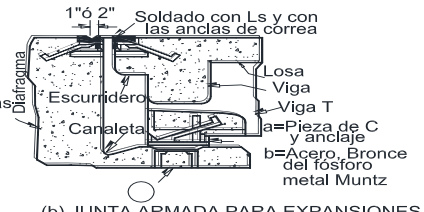
JUNTAS ABIERTAS



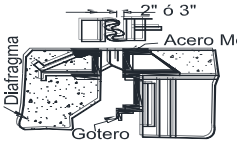
(a) JUNTA CERRADA PARA EXTREMO FIJO O EXPANSION PEQUENA



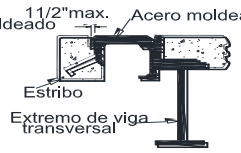
(b) JUNTA ABIERTA DRENANTE PARA EXTREMO FIJO O EXPANSION PEQ.



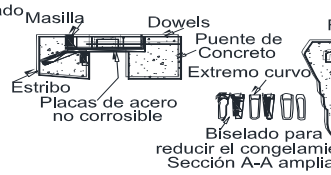
(b) JUNTA ARMADA PARA EXPANSIONES MODERADAS, CANALETAS PARA DRENAJE



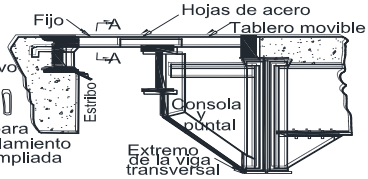
(b) JUNTA DENTADA PARA EXPANSIONES MODERADAS



(e) ARMAZON FLOTANTE PARA PERMITIR DEFLEXIONES VERTICALES



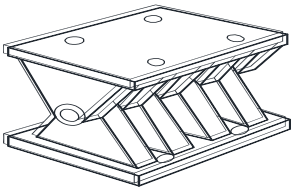
(f) LOSA FLOTANTE PARA EXPANSIONES PEQUEÑAS



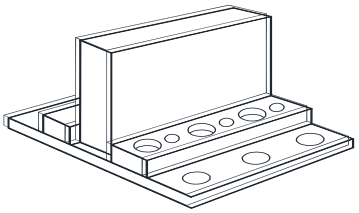
(g) JUNTAS DENTADAS PARA PUENTES QUE REQUIEREN EXPANSIONES GRANDES

A 5.4.3 OTROS TIPOS DE APOYOS PARA PUENTES

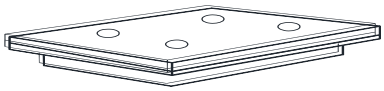
1. Aparatos de Apoyo de acero



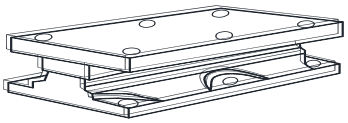
TIPO ARTICULADO
(Para grandes rotaciones,permite resistir gran carga horizontal)



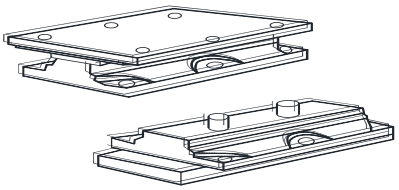
TIPO GUIA (PLACA)
(Para deslizamiento libre, permite resistir gran carga horizontal)



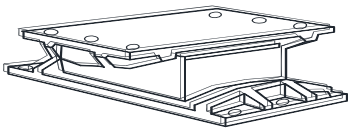
TIPO PLANCHA DESLIZANTE
(Solo traslación)



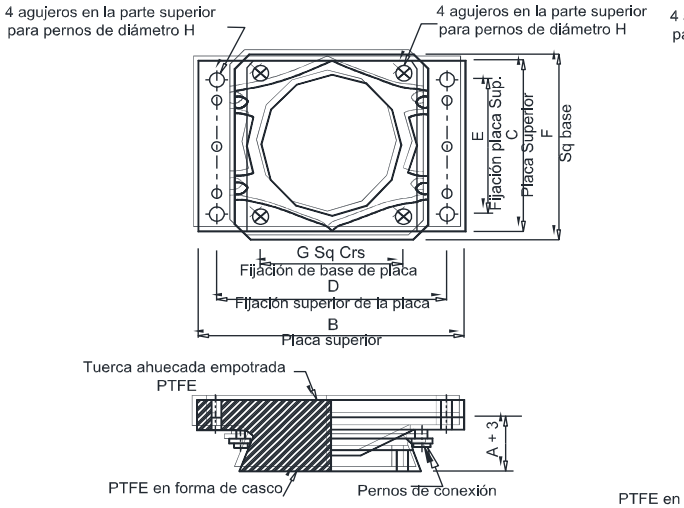
TIPO ROCKERS LINEAL FIJO
(Solo traslación y rotación alrededor de un eje)



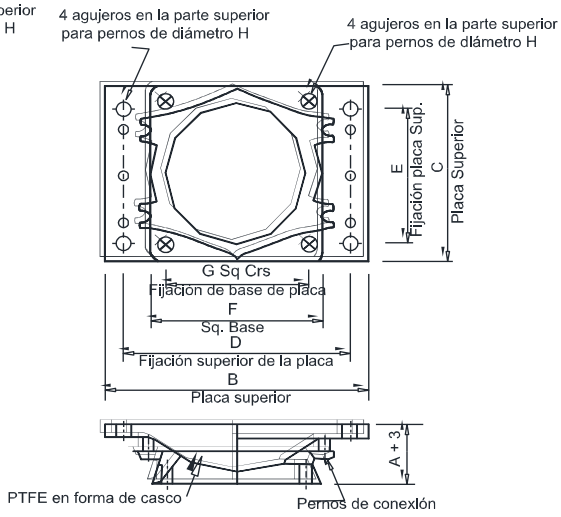
TIPO ROCKERS MODIFICADO
(Traslación y rotación alrededor de un eje)



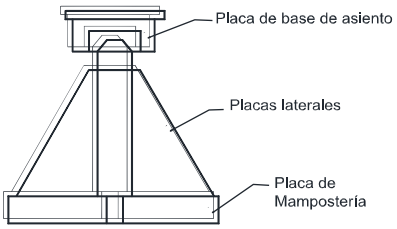
TIPO ROCKERS
(Traslación y rotación alrededor de ambos ejes)



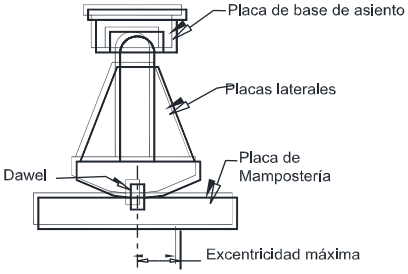
TIPO TETRONICO MOVIL
(Traslacion y rotacion alrededor de ambos ejes)



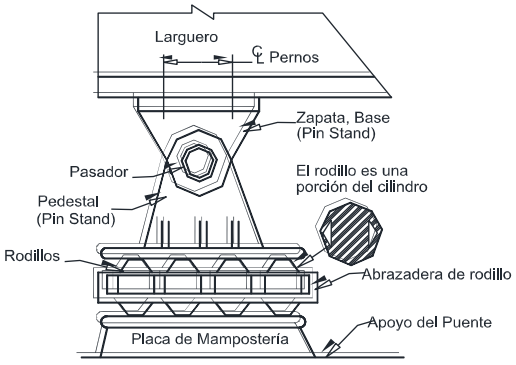
TIPO TETRONICO FIJO
(Traslacion y rotacion alrededor de ambos ejes)



APOYO FIJO
(Rotacion alrededor de un eje)

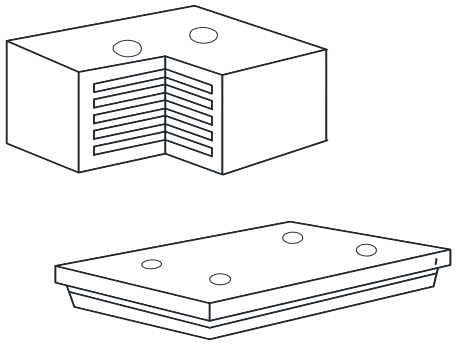


APOYO MOVIL
(Traslacion y rotacion alrededor de un eje)



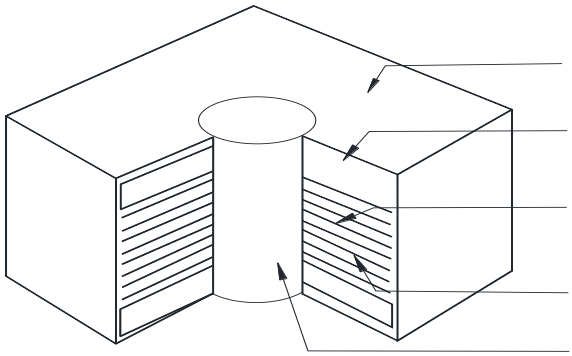
APOYO DE EXPANSION TIPO ROLLER

2. Aparatos de Apoyo de Neopreno



TIPO ALMOHADA NEOPRENO REFORZ.
(Provee rotación y traslación en ambos ejes)

3. Aparatos de Apoyo de Neopreno con alma de plomo



CUBIERTA DE CAUCHO
- Proteje las placas de acero

PLACAS DE CARGA DE ACERO
- Distribuye las cargas verticales
- Transfiere el esfuerzo cortante a los apoyos

PLACAS REFORZADAS DE ACERO
- Proporciona capacidad de cargas verticales
- Base de plomo confinado

CAPAS DE CAUCHO INTERNAS
- Proporciona flexibilidad lateral

NUCLEO PRINCIPAL DE PLOMO
- Proporciona resistencia al viento
- Reduce la fuerza del sismo y desplazamiento por disipación de la energía (amortiguamiento)

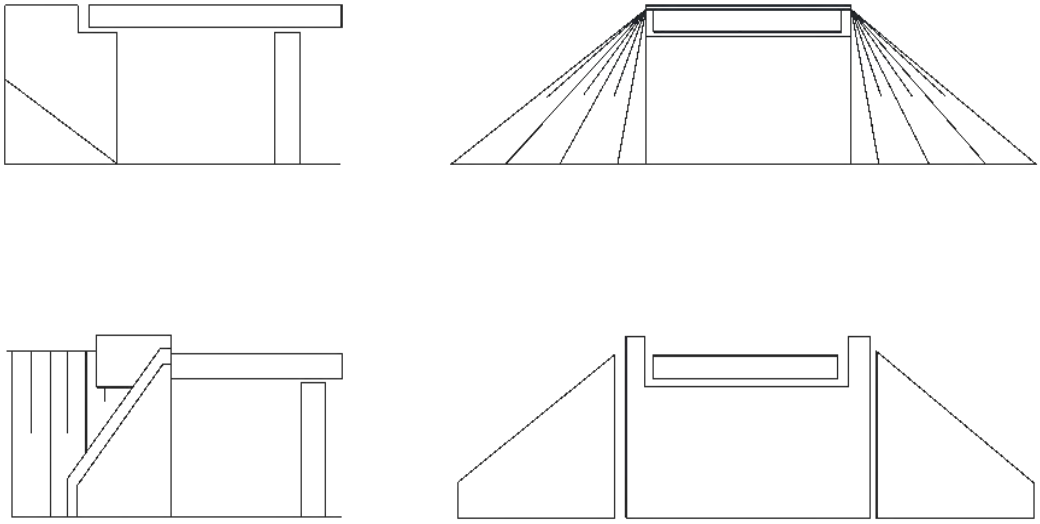
TIPO ALMOHADA NEOPRENO CON ALMA DE PLOMO

(Disipaión por los lazos histeréticos)

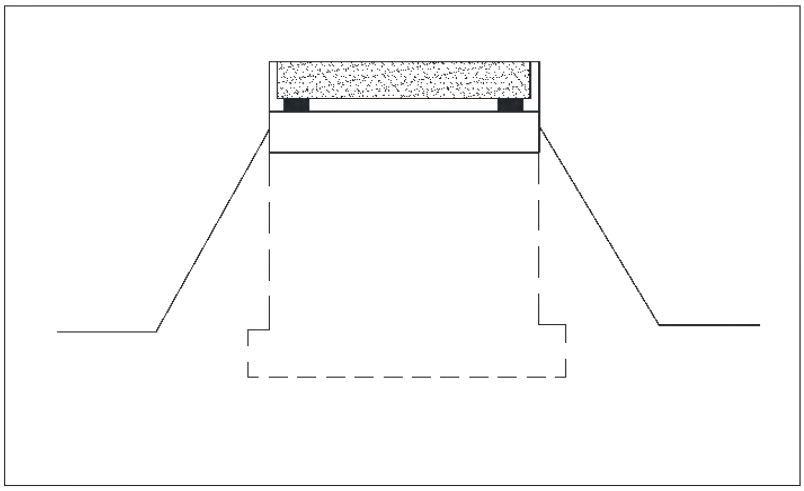
A 5.4.4 TIPOS DE ESTRIBOS, DE ACUERDO AL REPORTE SIPUMEX

10 Estribo con aleros integrados.
11 Estribo con aleros separados.
20 Estribos enterrado, sólido.
21 Estribo enterrado, columnas o pilotes con cabezal.
29 Estribo enterrado, tipo desconocido.
90 Otro.
91 No aplicable.
92 Desconocido.
93 No registrado.

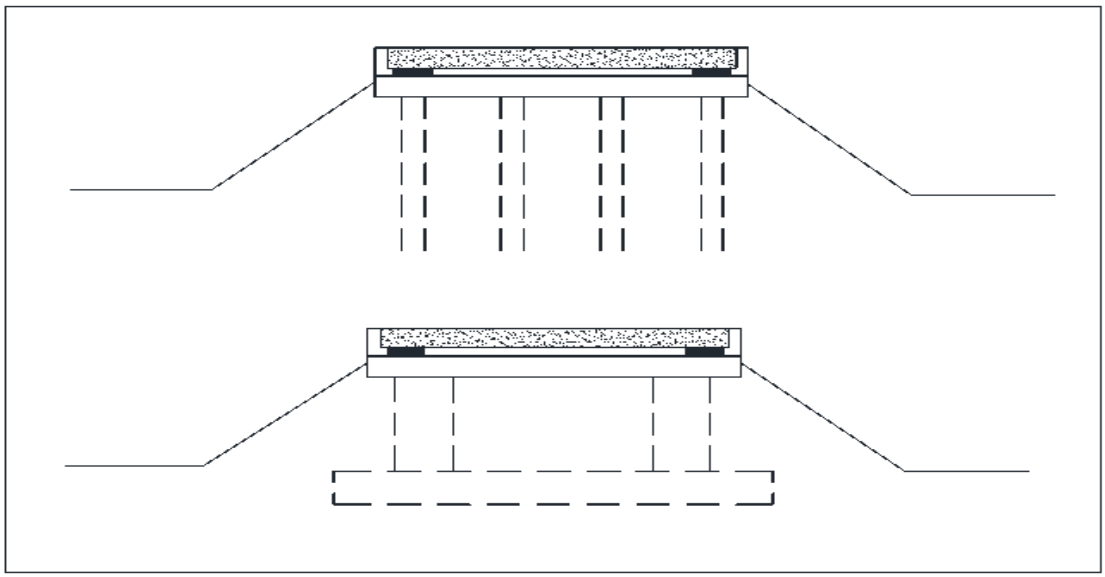
Estribos tipos 10 y 11



Estribo tipo 20



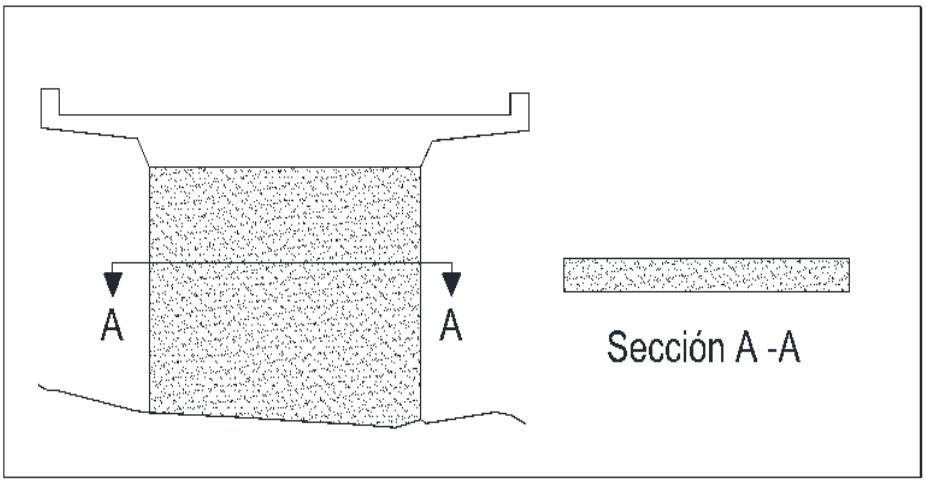
Estribo tipo 21



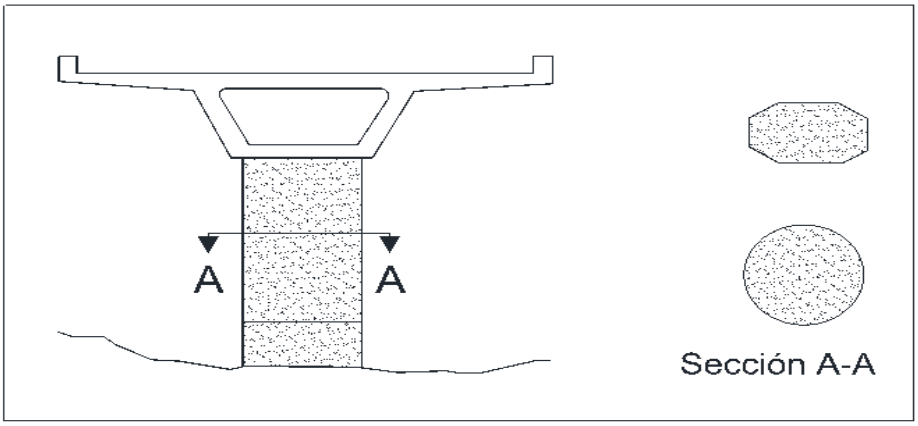
A 5.4.5 TIPOS DE PILAS, DE ACUERDO AL REPORTE SIPUMEX

10 Pila sólida.
20 Columna sólida.
21 Dos o más columnas sin cabeza.
30 Columna sola con cabezal de martillo.
31 Dos o más columnas con cabezales separados.
32 Dos o más columnas con cabezal común.
33 Dos más columnas con cabezal común y diafragma ((o vigas horizontales).
40 Pilotes con cabezal.
41 Pilotes con cabezal y diafragma (o vigas horizontales).
90 Otro.
91 No aplicable.
92 Desconocido.
93 No registrado.

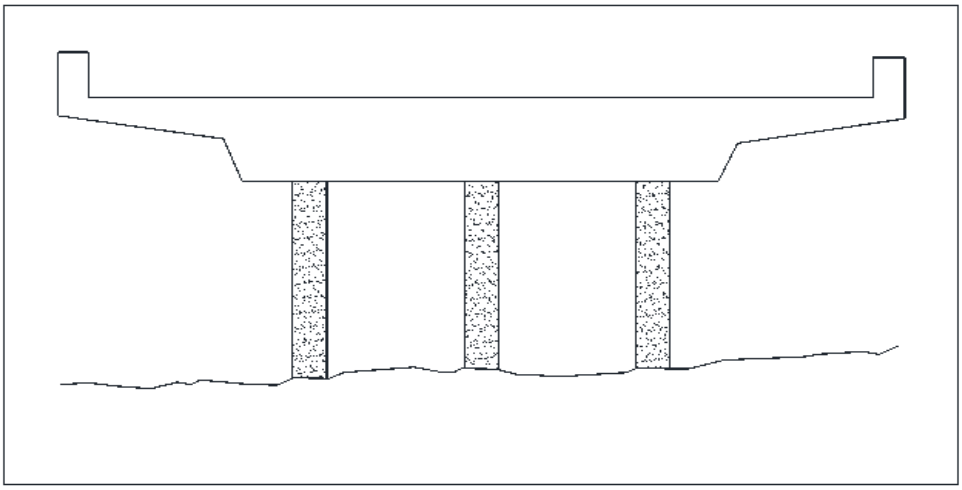
Pila tipo 10



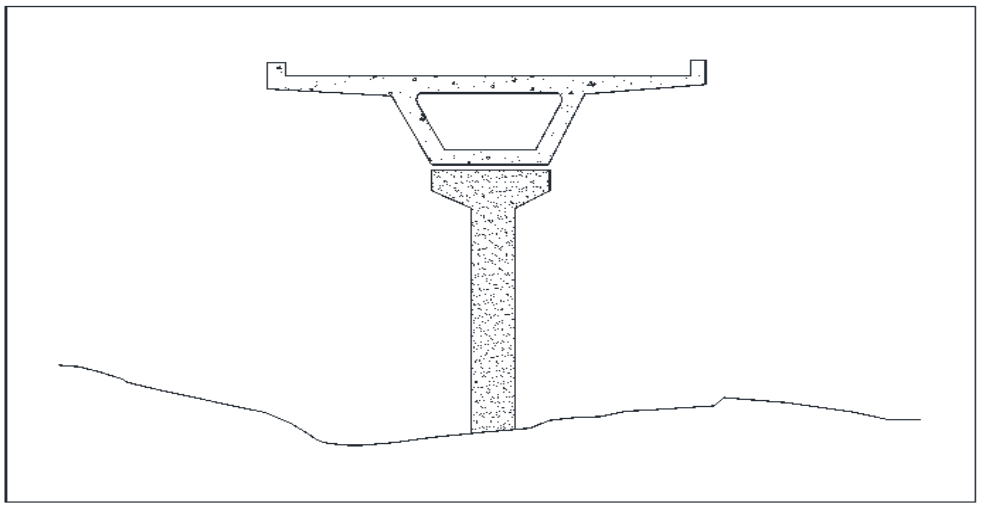
Pila tipo 20



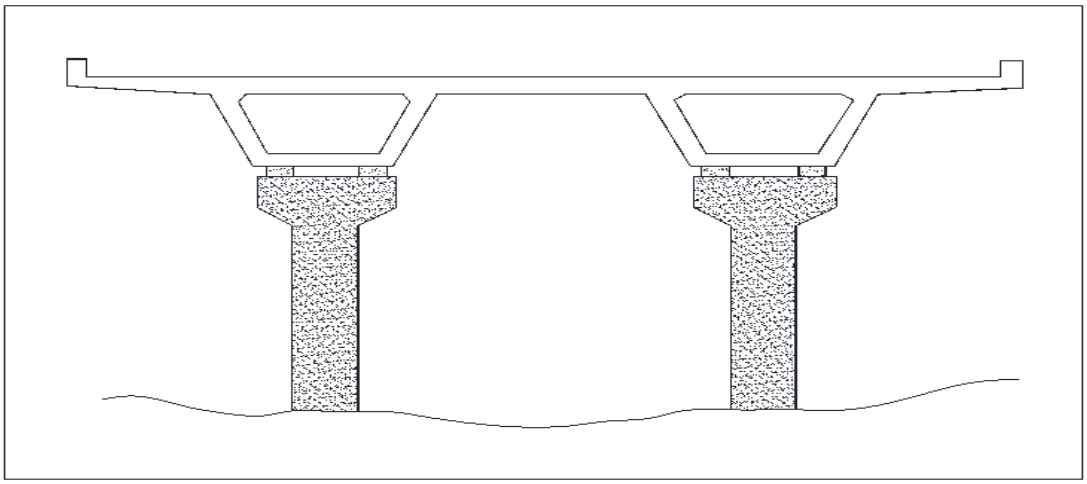
Pila tipo 21



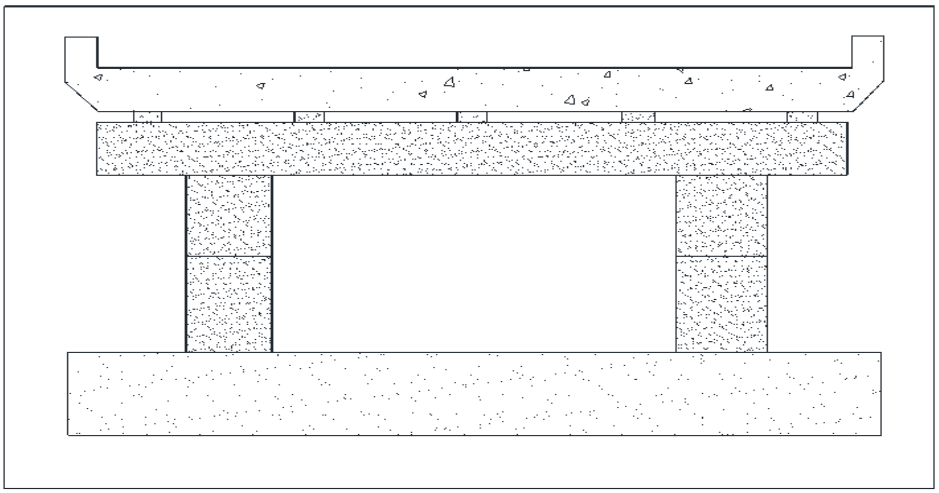
Pila tipo 30



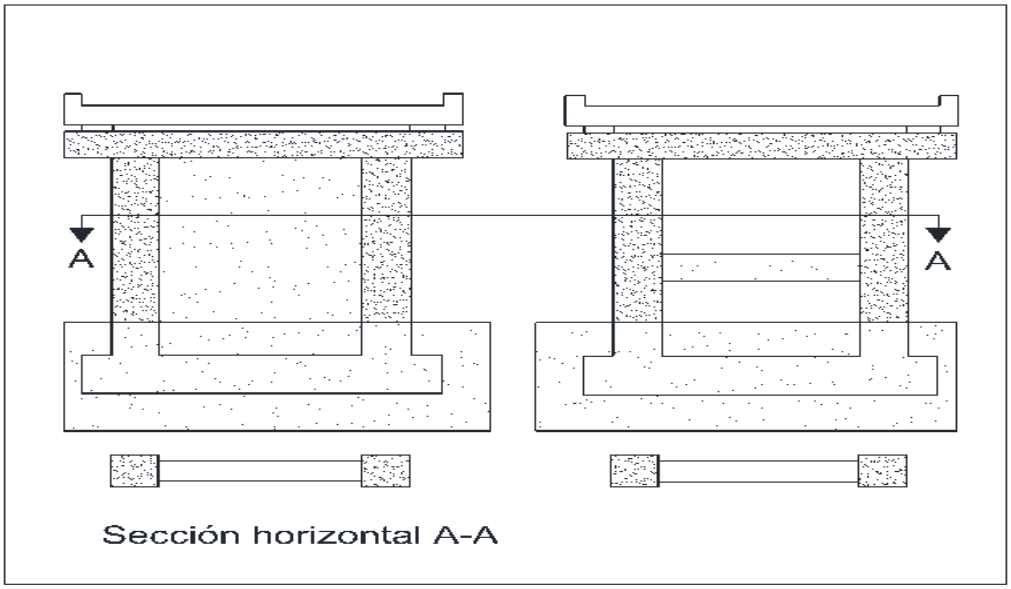
Pila tipo 31



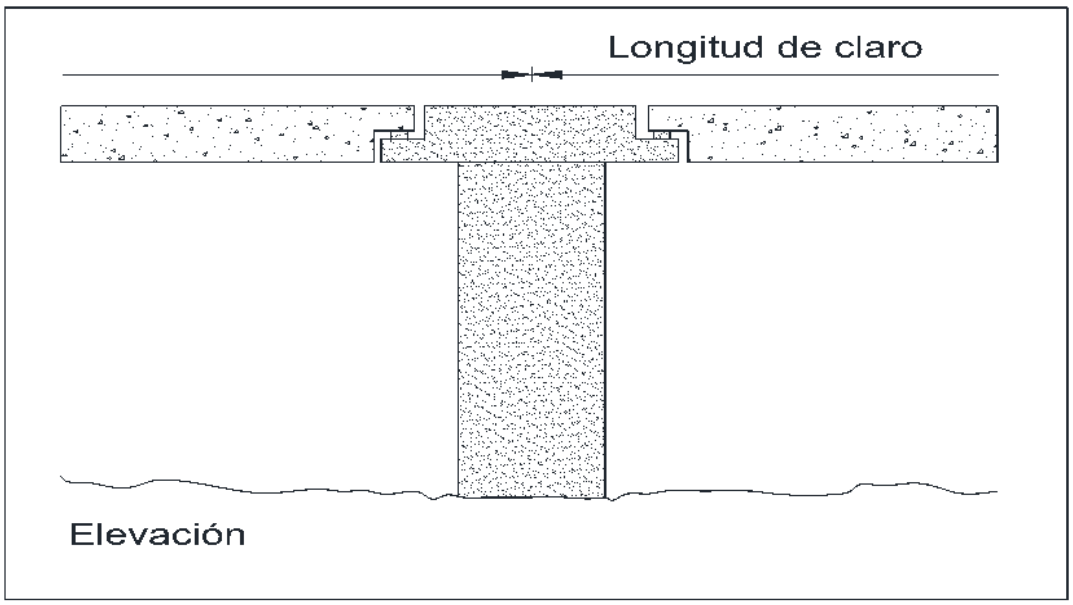
Pila tipo 32



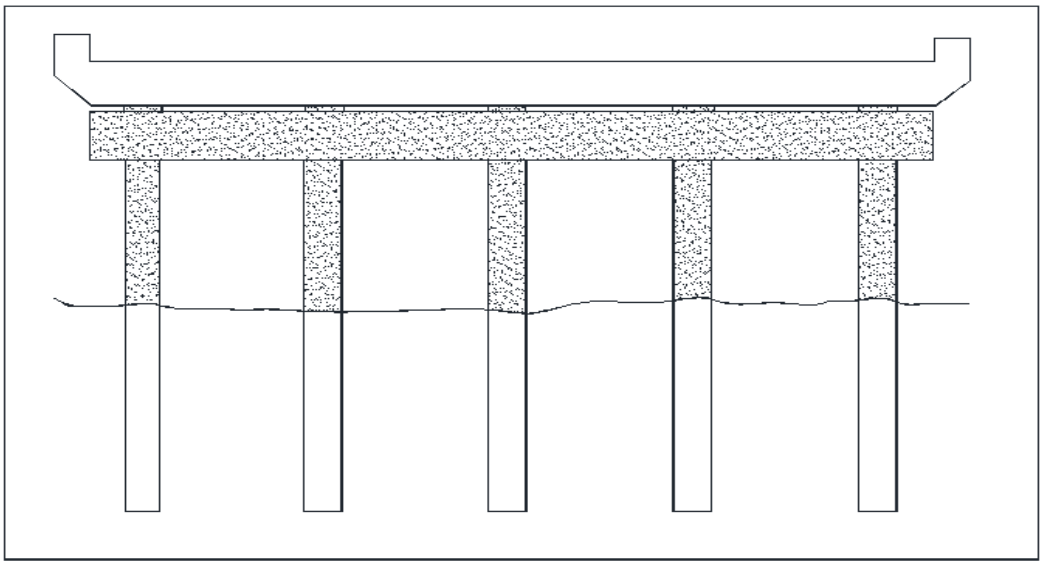
Pila tipo 33



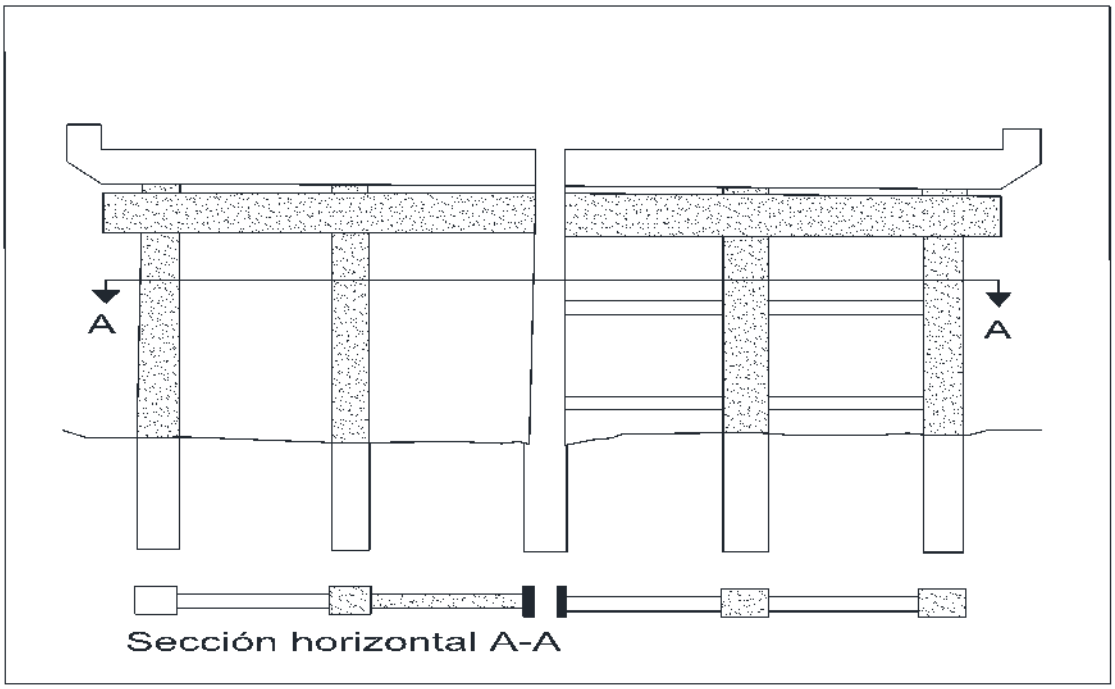
Pila tipo 31 y 33



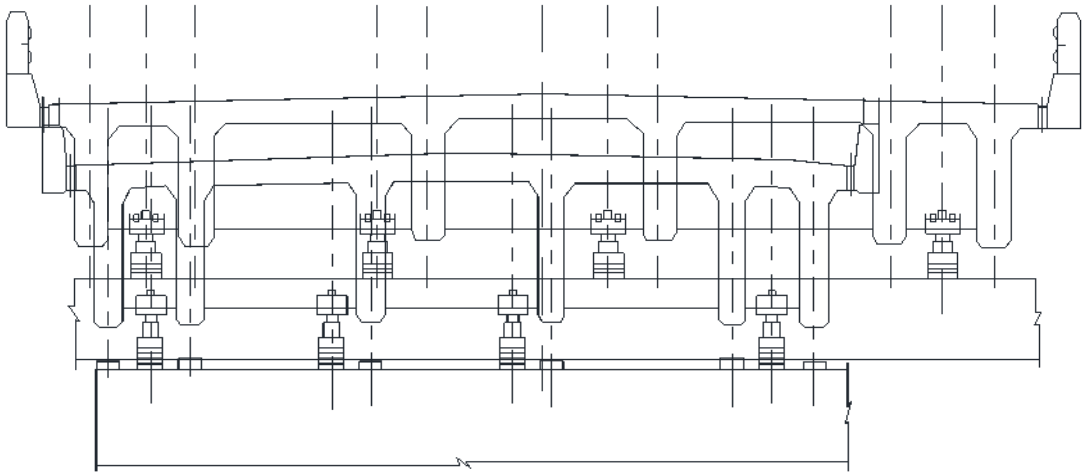
Pila tipo 40



Pila tipo 41

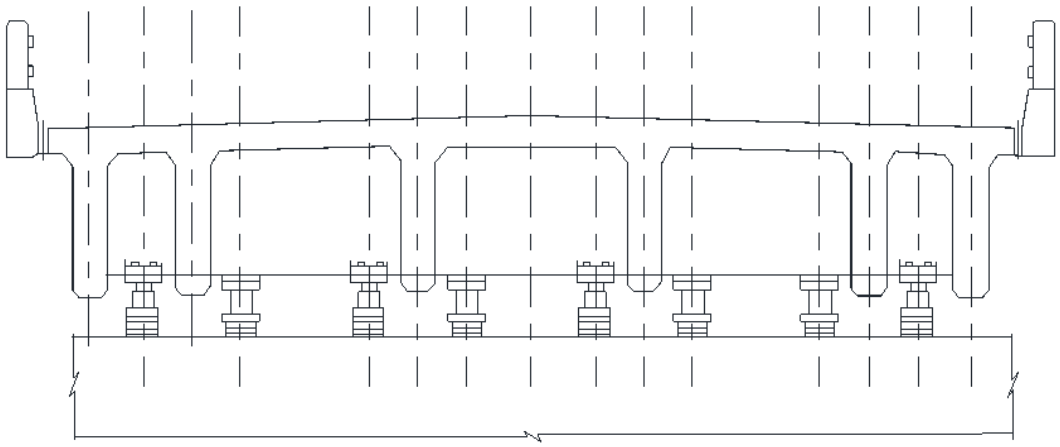


A 5.4.6 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CAMBIO DE APOYOS



Primera Etapa

Se colocan los gatos bajo el diafragma en la posición indicada, levantando la superestructura hasta la altura necesaria para realizar maniobras. El accionamiento de los gatos será simultáneo, de tal manera que no se modifique la pendiente del puente.

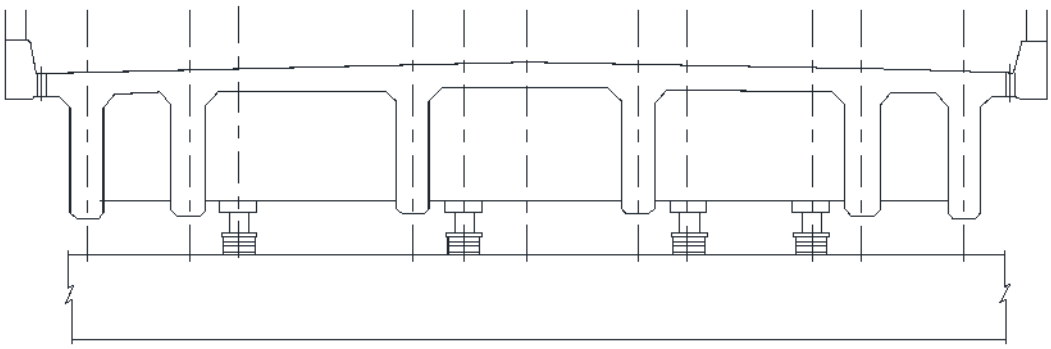


Segunda Etapa

Se colocarán los apoyos provisionales bajo el diafragma, cuidando que los gatos desarrollen la misma fuerza y que al bajar las trabes se conserve la pendiente original del puente.

Tercera Etapa

Se procederá a reparar la cara inferior de la trabe de ser necesario. Se preparará la superficie de la corona para la colocación del nuevo apoyo.



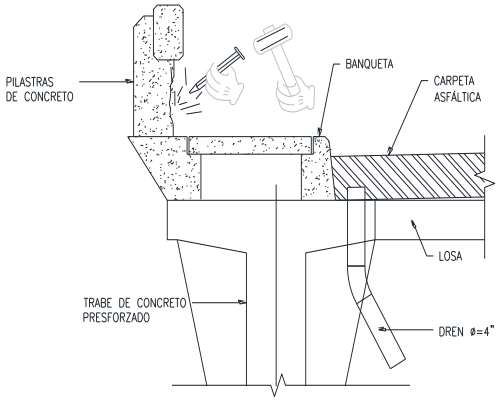
Cuarta Etapa

Una vez que bajo las trabes estén colocadas sus placas de apoyo definitivo, se levantará la superestructura nuevamente y se retirarán los apoyos provisionales y la calza, para asentar la estructura de manera definitiva.

A 5.4.7 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL TRATAMIENTO DE ACERO DE REFUERZO EXPUESTO Y OXIDADO

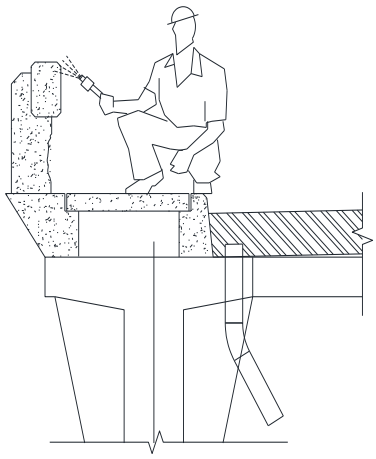
Reparación de desconche en parapeto.

1. Amacice. Se deberá retirar concreto suelto, laminado y despostillado, dejando el acero de refuerzo expuesto. La demolición se realizará con una profundidad máxima de 5 cm, utilizando mazo y cincel.



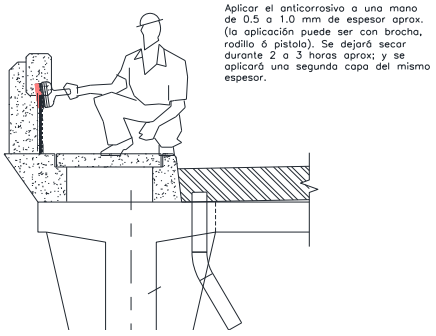
Retiro de concreto

2. Limpieza. Se retirará todo el óxido de las barras de refuerzo, con chorro de arena (Sand Blast). Después, con aire a presión, se removerán partículas sueltas y se eliminarán polvo y cualquier otro material que reduzca la adherencia entre el concreto y el material de reparación.



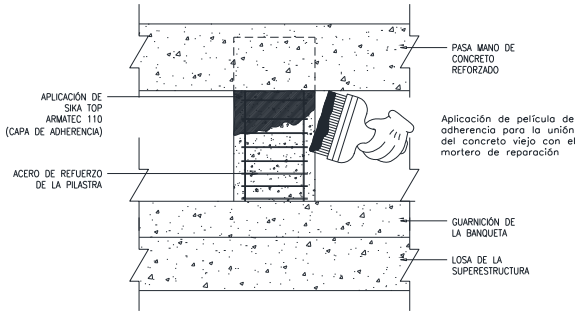
Limpieza con Sand Blast

3. Protección del acero de refuerzo. Una vez que la zona por reparar esté completamente limpia (libre de polvo y grasa), se aplicará el recubrimiento anticorrosivo "Sika Top - Armatec 110 Epocem o similar", de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.



Protección del acero de refuerzo

4. Aplicación de la capa de adherencia. Al terminar de aplicar el recubrimiento anticorrosivo en el acero de refuerzo, colocará la capa de adherencia entre el concreto viejo y el mortero de reparación, utilizando "Sika Top - Armatec 110 Epocem" con espesor no menor a 0.5 mm.



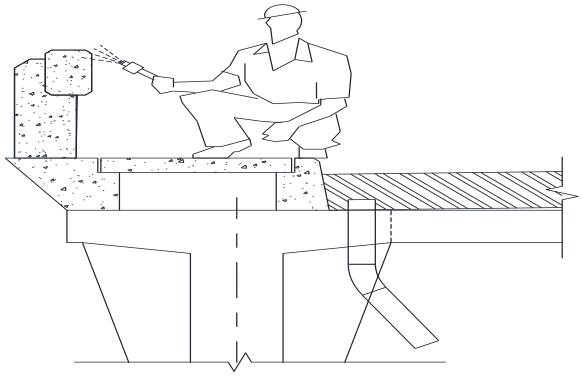
Aplicación de la capa de adherencia

A 5.4.8 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA EN BANQUETAS, GUARNICIONES Y PARAPETOS DE CONCRETO

Pintura en parapeto de concreto reforzado

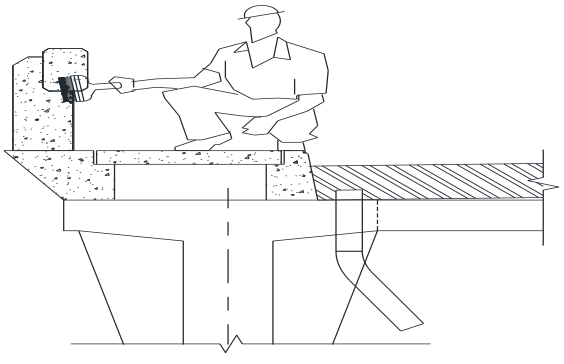
Una vez terminado con los trabajos de reparación de desconche se sustituirá la pintura en ambos parapetos del puente.

1. **Limpieza.** Con un cepillo de raíz, se deberán remover las capas de pintura que se encuentren mal adheridas al parapeto. Después con agua a presión, se deberán retirar todas las partículas sueltas, eliminando polvo y cualquier otro material que reduzcan la adherencia entre el concreto y la pintura.



Limpieza con agua a presión

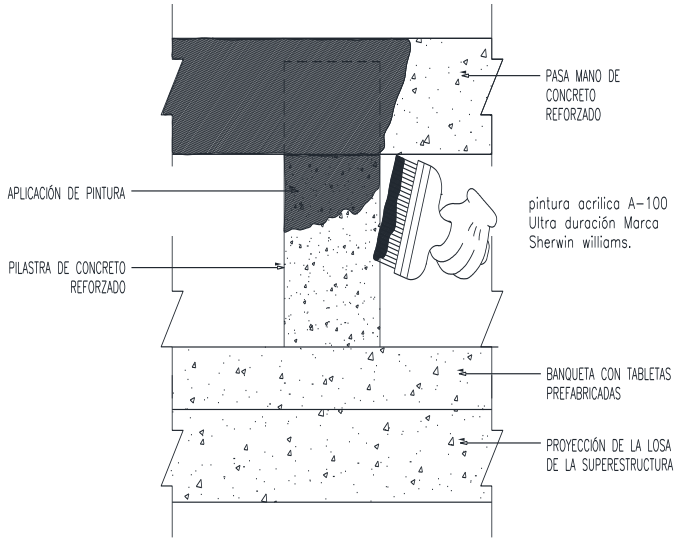
2. **Aplicación de la Capa Premier.** Con una superficie perfectamente limpia y seca , se aplicará el primario acabado multisuperficies, de la marca Sherwin - Wiliams o similar, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.



Aplicación de la capa de protección

3. **Aplicación de la Capa de Pintura.** Después de colocar la capa primaria, sobre la superficie de remate del parapeto se trazarán las franjas diagonales; geometría y dimensiones se harán de acuerdo al Manual de señalamiento horizontal y vertical de carreteras y vialidades, última edición (SCT). Posteriormente se aplicarán 2 capas de pintura acrílica marca Sherwin Williams color blanco y negro, siguiendo las

recomendaciones del fabricante, cumpliendo con lo establecido en la Norma **N·CMT·2·07/04** (pinturas para recubrimiento de estructuras).



Parapeto de concreto para calzada

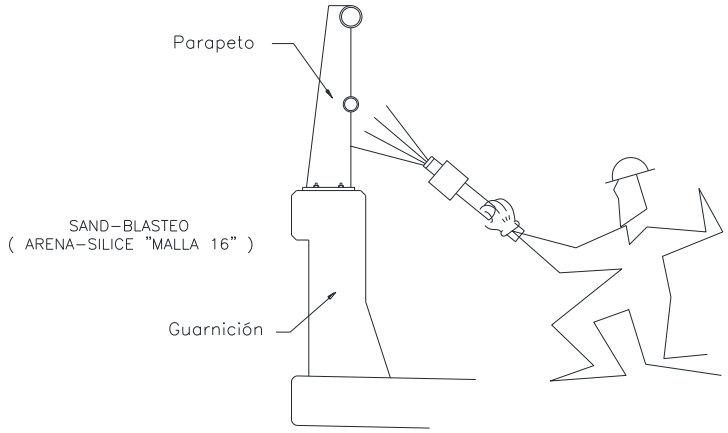
A 5.4.9 PROCEDIMIENTO PARA LA APLICACIÓN DE PINTURA EN PARAPETOS METÁLICOS

Procedimiento para Sand Blast y protección anticorrosiva a los elementos metálicos del parapeto.

1. Se coloca algún dispositivo de protección para evitar daños en los vehículos que circulen bajo el puente, al realizar los trabajos descritos en el presente procedimiento.

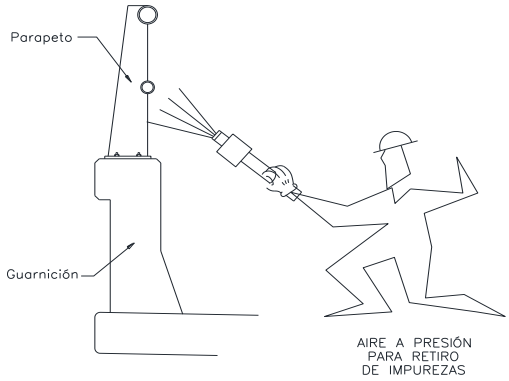
2. Antes de colocar la malla ciclón se realizan trabajos de limpieza con Sand Blast, aplicación de un primario epóxico y pintura alquidálica en parapeto metálico.

3. En la limpieza con Sand Blast, debe quedar la superficie de color uniforme gris claro, ligeramente rugoso para proporcionar una mejor adherencia del recubrimiento.



Limpieza con chorro de abrasivo grado metal blanco

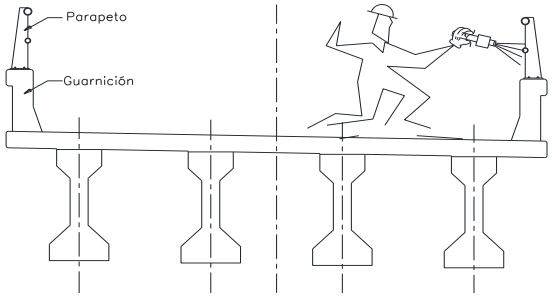
4. Terminados los trabajos de limpieza con Sand Blast, se deben retirar los residuos de pintura y polvo con aire a presión.



Limpieza Mecánica

En zonas de difícil acceso se recomienda la utilización de cepillos, cuñas, espátulas o cardas (medios mecánicos), a fin de garantizar la correcta limpieza de los elementos que conforman al parapeto.

5. Posteriormente, se aplica el primario, siguiendo las recomendaciones del fabricante; inmediatamente después de colocar el primario se aplica una capa de pintura alquidálica marca Comex color naranja, código 109, siguiendo las recomendaciones del fabricante y debe cumplir con lo establecido en la Norma **N·CMT·2·07/04** (pinturas para recubrimiento de estructuras).



Protección anticorrosiva (Primario y Pintura Epóxica)

Especificaciones para Sand - Blast y protección anticorrosiva del parapeto metálico.

1. Se debe realizar la limpieza de la superficie del parapeto a metal blanco (todos los tubos, pilastras y placas de asiento). Antes de comenzar con el Sand Blasteo, se toman las precauciones necesarias para evitar afectaciones que pueda causar daño a los usuarios de la autopista.

2. Los trabajos de Sand-Blast y protección anticorrosiva , no se llevan a cabo si se presenta alguna irregularidad o las condiciones siguientes:

   - Humedad. En general debe evitarse pintar cuando la humedad relativa sea mayor de 85%. La probabilidad de que se condense la humedad sobre una superficie por pintar, puede predecirse midiendo la temperatura de la superficie y determinando el punto de rocío de la atmosfera circundante.

   - Temperatura. El rango de temperatura óptima para la aplicación de recubrimiento oscila entre 15° C y 32° C. Generalmente, los recubrimientos no deben ser aplicados cuando la temperatura del medio ambiente sea inferior a 4° C ó superior a 43° C, durante la aplicación.

   - Viento. Sobre todo para aplicaciones por aspersión; además de la gran cantidad de pintura desperdiciada, la apariencia de la superficie pintada generalmente no alcanza la conformidad deseada.

   - Precipitación. La precipitación puede: causar mala adherencia, erosionar la pintura fresca, depositar contaminantes químicos, causar manchas en la pintura o alterar las propiedades de la película.

   - Con lluvia o a punto de llover, si se ejecuta el trabajo al aire libre.

   - Si el abrasivo esta mojado o húmedo.

   - Si la operación interfiere con el pintado.

   - En malas condiciones de iluminación.

   - Si el equipo no se encuentra en buenas condiciones de operación.

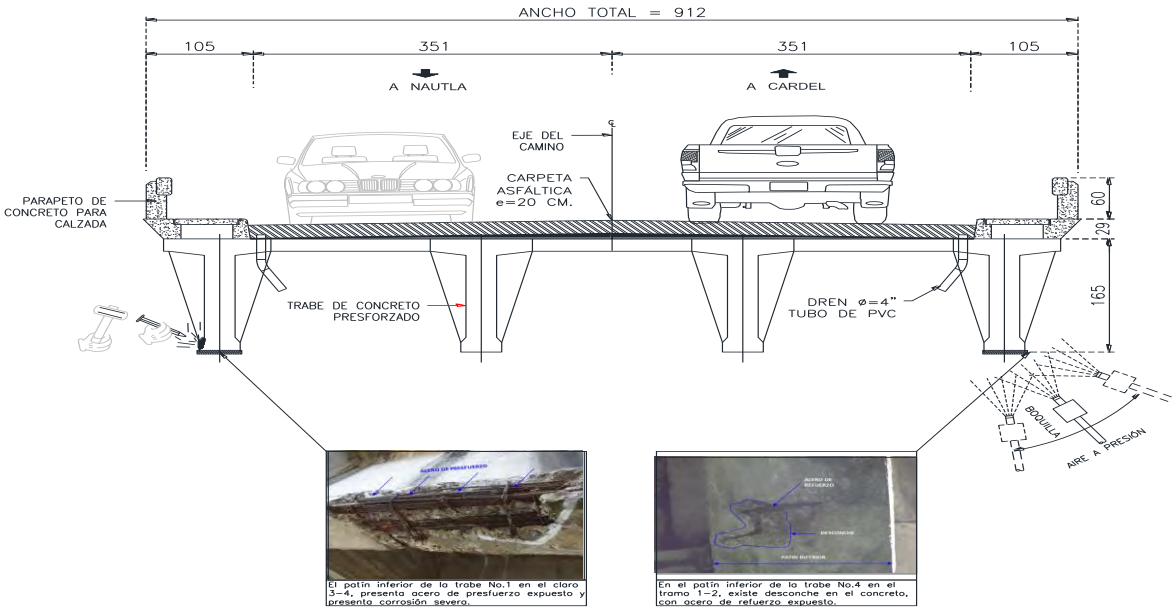
3. La limpieza de la superficie se efectua con chorro de arena (arena sílice “malla 16”); incluyendo todos los rincones y depresiones, eliminando toda la grasa, aceite, mugre, óxido y materiales extraños.

4. Después del Sand-Blast, la superficie se limpia con aire y agua a presión. Habrá que eliminar todo el óxido; antes de aplicar el primario se removerá completamente las partículas sueltas. Si después de la limpieza queda cualquier impureza, aceite grasa u otra, adherida a la superficie, ésta será removida con espátula, lavando con solventes o agua jabonosa y aplicando nuevamente la limpieza especificada.

   a. Antes de aplicar la pintura es conveniente leer las instrucciones que recomienda el fabricante para la aplicación del producto, cuyas recomendaciones se encuentran en las etiquetas de los recipientes de las pinturas.

   b. Se recomienda utilizar el método por aspersión sin aire para aplicar la pintura. Para ello se utiliza una bomba de alta presión accionada hidráulicamente o por aire; en caso de utilizar otro método se pondrá a consideración de la supervisión de obra.

A 5.4.10 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR LA REPARACIÓN DE DESCONCHES Y OQUEDADES EN TRABES, LOSAS Y DIAFRAGMAS

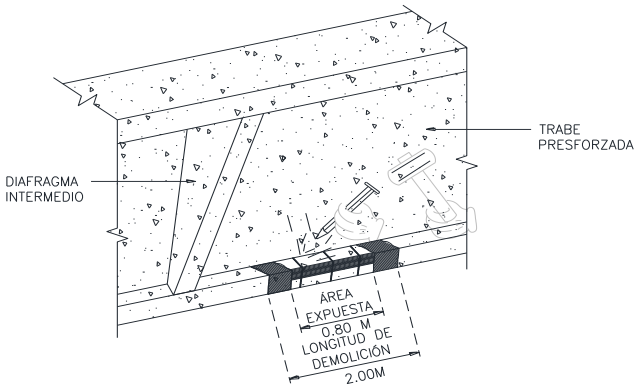


Reparación de desconches y oquedades

Reparación de la trabe No.1, del claro 3-4

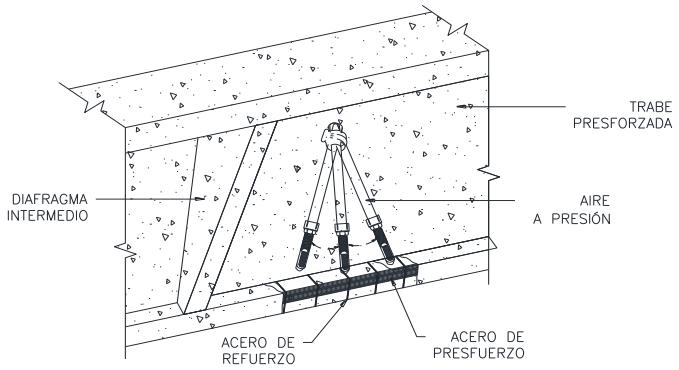
En el patín inferior de la trabe No.1 en el claro 3-4, el acero de refuerzo se encuentra expuesto y presenta corrosión, se deberá reparar de la siguiente manera:

1. **Demolición.** Se retirará concreto dañado, en una longitud de 2.0m ó hasta encontrar acero de presfuerzo en buen estado. La demolición se hará con herramienta adecuada, evitando dañar el acero de presfuerzo.



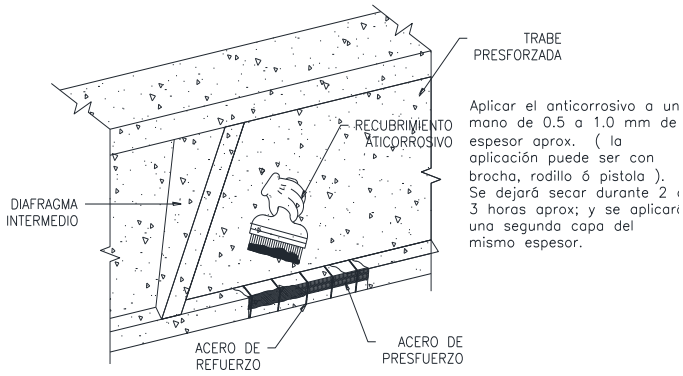
Demolición de concreto

2. **Limpieza.** El acero de presfuerzo y de refuerzo se limpiarán perfectamente con chorro de arena (Sand Blast), removiendo óxido y corrosión; después con aire a presión se removerán partículas sueltas, eliminando polvo y cualquier otro material extraño.



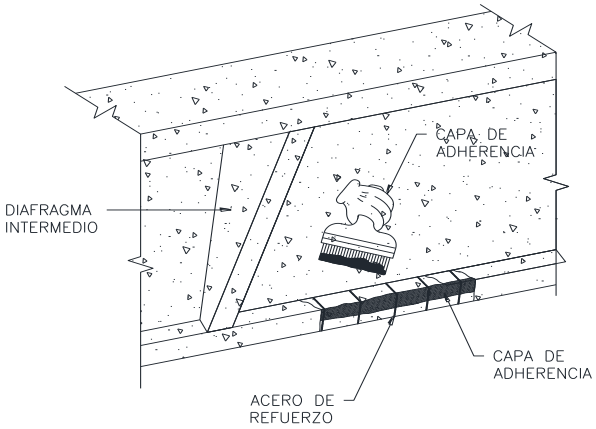
Limpieza de acero de presfuerzo

3. **Protección del Acero de Presfuerzo.** Una vez que la zona por reparar esté completamente limpia (libre de polvo, y grasa), se aplicará el recubrimiento anticorrosivo "Sika Top – Armatec 110 Epocem o similar" de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.



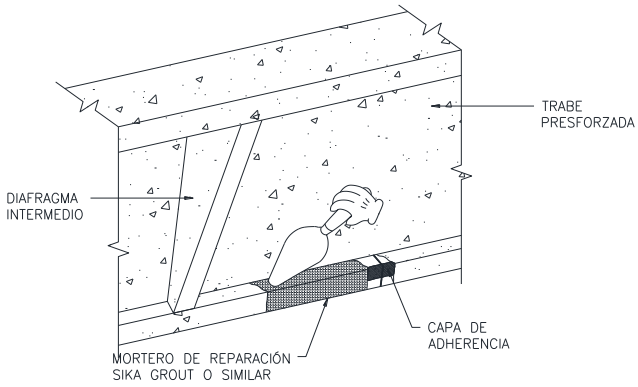
Protección del acero de presfuerzo

4. **Aplicación de la Capa de Adherencia.** Al terminar de aplicar el recubrimiento anticorrosivo en el acero de refuerzo, se colocará la capa de adherencia entre el concreto viejo y el mortero de reparación, utilizando "Sika Top-Armatec 110 Epocem" con espesor no menor a 0.5mm.



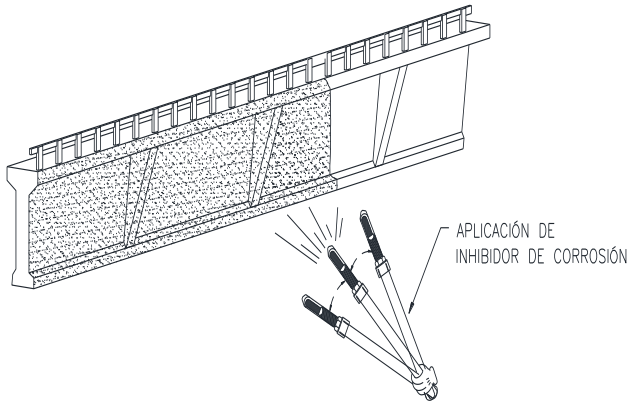
Aplicación de la capa de adherencia

5. **Aplicación del Mortero de Reparación.** Inmediatamente después de aplicar la capa de adherencia se colocará el mortero de reparación Sika Grout, en toda la superficie debiendo impregnar previamente una pequeña cantidad del mismo producto, frotándola fuertemente contra la superficie con la mano enguantada. Luego se aplicarán las siguientes capas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Para obtener mejor adherencia entre capa y capa es recomendable rayar el mortero base para dejar una superficie rugosa; este procedimiento se realizará varias veces hasta completar y enrasar la profundidad de la sección.



Mortero de reparación

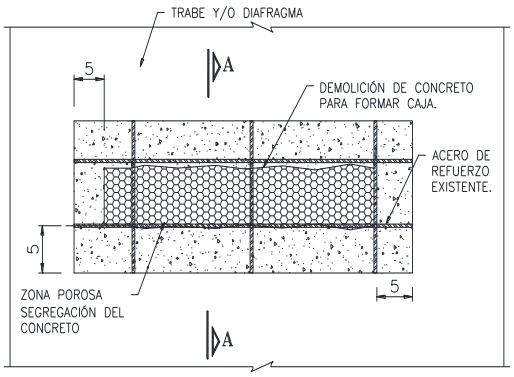
6. **Aplicación de Inhibidor de Corrosión.** Utilizando un cepillo de raíz se limpiarán las caras laterales de la trabe, removiendo partículas sueltas o mal adheridas. Con aire a presión se eliminarán polvo y cualquier otro material extraño. Después se aplicará el aditivo inhibidor de la corrosión, mediante impregnación "Sika Ferrogard - 903" o similar de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, con la finalidad de proteger contra la corrosión el acero de refuerzo y presfuerzo. La aplicación se hará con rodillo o por el método de aspersión, empleando 0.5 kg/m^2 de Sika Ferrogard – 903. El número de capas dependerá de la absorción del sustrato, dejando un tiempo en espera entre capa y capa de aproximadamente 45 minutos (a 23° C y 50% de humedad relativa); o mínimo cuando la anterior capa este seca al tacto o cuando la humedad relativa sea mayor a 50%. El tiempo entre capas puede incrementarse hasta 3 horas aproximadamente. No se deberá aplicar Sika Ferrogard – 903 si se pronostica lluvia; si llueve se dejará secar la superficie durante 6 horas.



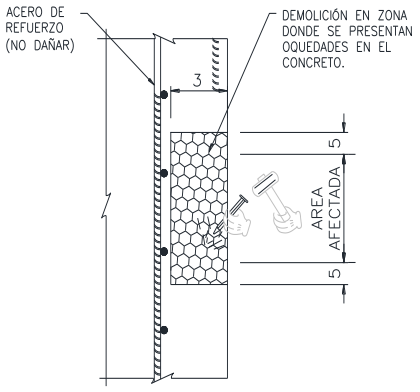
Protección contra la corrosión

Reparación de Desconches y Oquedades en Trabes y Diafragma

1. **Demolición.** Se delimitará la zona a reparar realizando un corte con disco; después se retirará el concreto en mal estado los primeros 3 cm de profundidad, dejando descubierto el acero de refuerzo expuesto. Si al momento en que está llevando a cabo la demolición, se encuentra que el área dañada (concreto o acero en mal estado) es mayor a la indicada, se deberá continuar con los trabajos de remoción hasta encontrar concreto sano y acero de refuerzo en buen estado.



Demolición del concreto

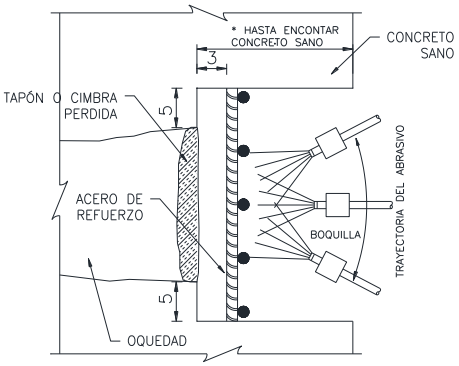


Corte A - A

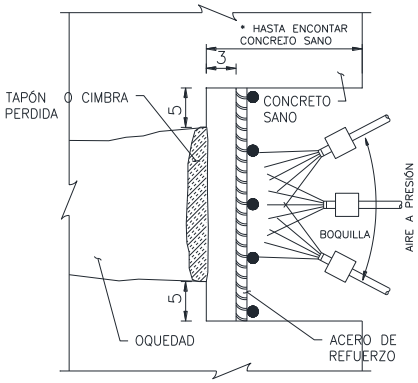
2. **Limpieza.** Una vez realizada la demolición, se limpiara el acero de refuerzo con chorro abrasivo de arena (Sand Blast), considerando lo siguiente:

- Se debe asegurar la limpieza del acero de refuerzo, eliminando todo el óxido y retirando partículas sueltas, polvo y cualquier otro material que impida la adherencia entre el concreto y el material de reparación.

- Como se desconoce la profundidad de las porosidades, en caso de que sean mayor a lo indicado en la demolición, se colocara un tapón con mortero de reparación (Sikatop -122) o cimbra pérdida para delimitar la reparación.

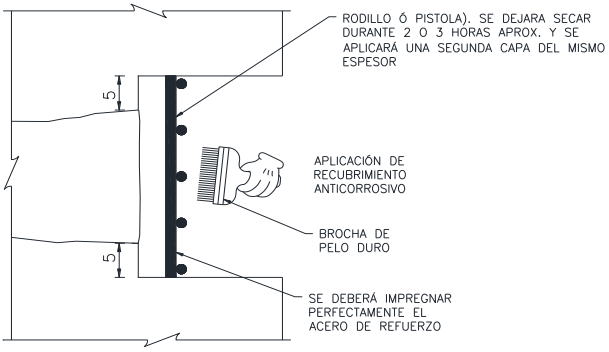


Sand Blast



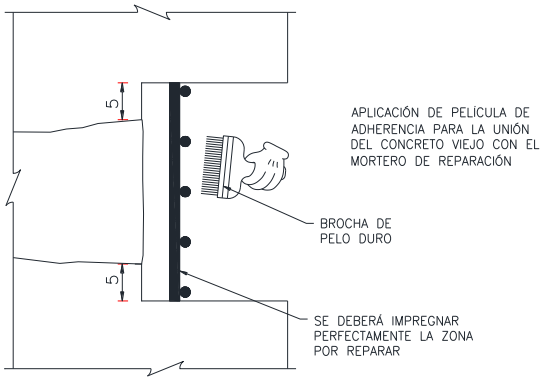
Limpieza con aire a presión

3. **Protección del Acero de Refuerzo.** Una vez que la zona por reparar esté completamente limpia (libre de polvo, grasa, material suelto, etcétera), se protegerá el acero de refuerzo aplicando el recubrimiento anticorrosivo epóxico-cemento "Sika Top-Armatec 110 Epocem", de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.



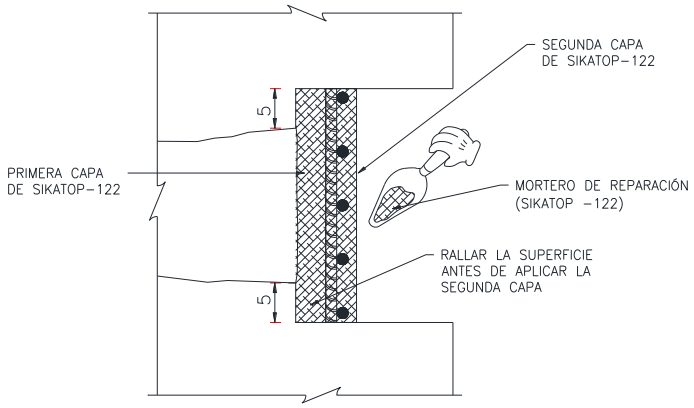
Aplicación del anticorrosivo

4. **Aplicación de la Capa de Adherencia.** Al terminar de aplicar el recubrimiento anticorrosivo en el acero de refuerzo, se colocará la capa de adherencia entre el concreto viejo y el mortero de reparación, utilizando "Sika Top –Armatec 110 Epocem "con espesor no menor a 0.5 mm.



Aplicación de capa de adherencia

5. **Aplicación del Mortero de Reparación.** Inmediatamente después de aplicar la capa de adherencia se colocará el mortero de reparación Sika top-122 en toda la superficie, debiendo impregnar previamente una pequeña cantidad del mismo producto, frotándola fuertemente contra la superficie con la mano enguantada. Después se aplicarán las siguientes capas de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. Para obtener mejor adherencia entre capa y capa es recomendable rallar el mortero base para dejar una superficie rugosa; este procedimiento se realizará varias veces, hasta completar y enrasar la profundidad de la sección.



Aplicación del mortero de reparación

A 5.4.11 PROCEDIMIENTO PARA REALIZAR REPARACIONES EN LA ESTRUCTURA DE ACERO DE UN PUENTE CON ARMADURA DE PASO INFERIOR

Drenaje y limpieza del interior de la cuerda inferior y de la superior, en las armaduras principales.

(Actividades sobre la superestructura).

Esta actividad consiste en garantizar que en el interior de las secciones de las cuerdas mencionadas no exista humedad y mucho menos agua que pudiera ocasionar problemas de corrosión, antes de que sean selladas en forma definitiva mediante la colocación de placas en la parte superior en inferior de dichas cuerdas.

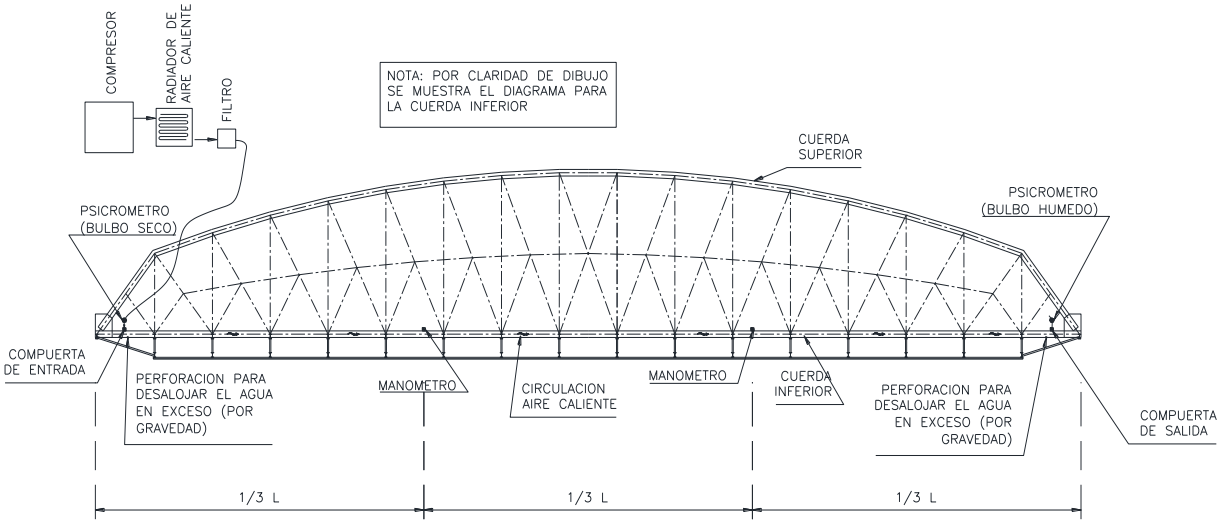
1. Se sellarán los extremos colocándoles una placa.

2. En ambos extremos de la cuerda inferior se realizarán 3 perforaciones para desalojar el agua en exceso (por gravedad), sellándose posteriormente.

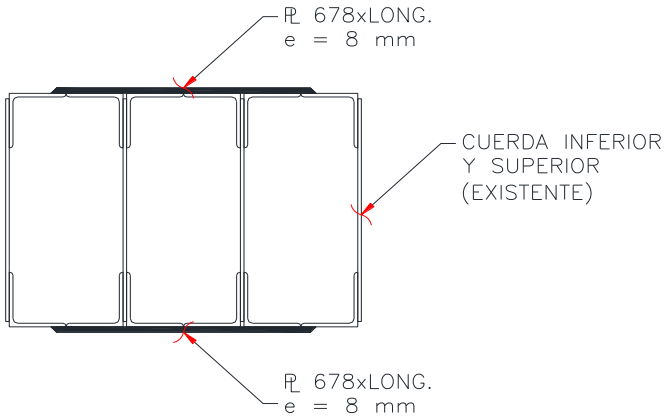
3. En ambos extremos de la longitud de las cuerdas se colocarán compuertas, a través de una de las cuales se inyectará aire caliente y seco a presión, mismo que saldrá por el otro extremo.

   La cantidad y el tiempo de inyección estarán regidos por los resultados de las pruebas que se realizarán y que se describen a continuación.

4. En el punto de inyección de aire caliente y seco se determinará la humedad relativa mediante un psicómetro, el cual mide la temperatura de bulbo húmedo y la temperatura de bulbo seco de la corriente de aire, para determinar la humedad relativa de entrada; esta misma operación se hace a la salida de la corriente de aire. Si este aire está arrastrando la humedad existente, la humedad relativa obtenida en este punto deberá ser mayor cada vez, hasta alcanzar un máximo, el cual empezará a disminuir hasta un valor similar o ligeramente superior al del punto de inyección.



5. Una vez que de la sección salga aire seco, se cerrarán las compuertas y se procederá a colocar las cubre placas previamente habilitadas, tanto por la parte inferior como por la parte superior.



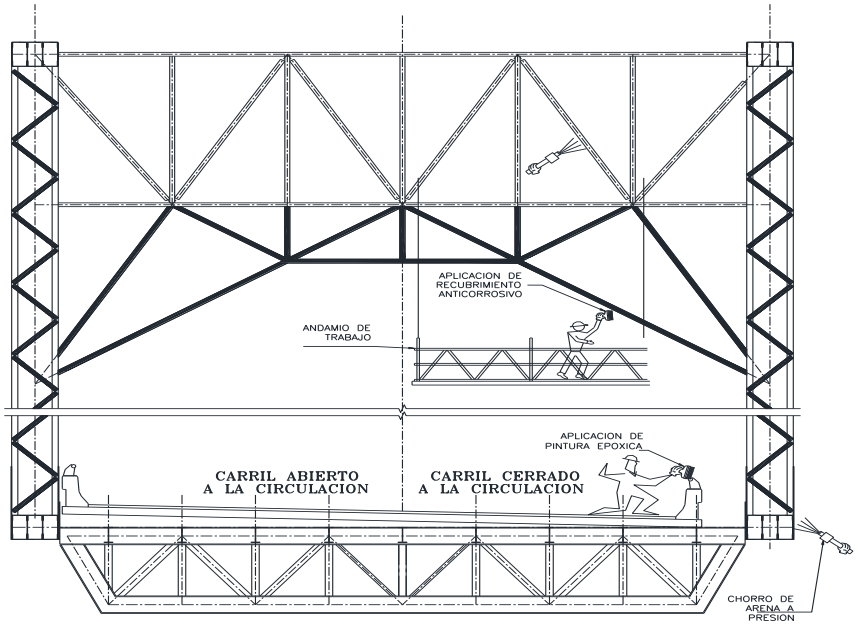
6. Una vez que se termine de colocar el 100% de las placas se realizará una prueba más, para medir la humedad relativa. Si los valores son similares a la entrada y salida, se retirarán las compuertas y se sellarán las entradas de manera permanente.

Protección de Pintura a Elementos Metálicos (actividades sobre y bajo la superestructura).

1. Una vez que se terminó de colocar el refuerzo y la protección en las armaduras principales y secundarias, se aplicará un Sand Blast para retirar el total de la pintura en los elementos metálicos existentes.

2. Los elementos a los que se aplicará una limpieza con chorro de arena (Sand Blast) son el total de los elementos que se encuentran sobre la losa de rodamiento (afectados por el intemperismo), incluyendo los nodos de unión entre las piezas puente intermedias y la cuerda inferior de las armaduras principales. Adicionalmente a éstos se considera también el parapeto metálico (por encima de la losa de rodamiento) y en su totalidad las dos piezas puente extremas (existente, y nuevas, por debajo de la losa de rodamiento).

3. Una vez que se aplique el Sand Blast, si es necesario se retirarán los residuos de polvo con aire a presión, se aplicará el primario y posteriormente la pintura epóxica; en ambos casos los espesores estarán apegados a las recomendaciones del proveedor de los mismos, y los colores de la pintura serán iguales a los ya existentes tanto para los elementos estructurales como para el parapeto.

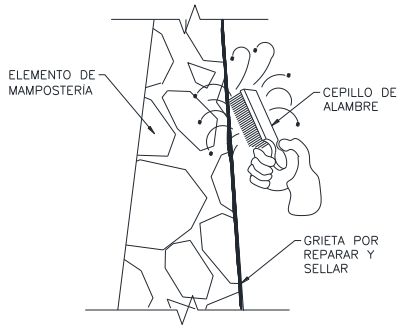


A 5.4.12 PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE GRIETAS EN LA MAMPOSTERÍA

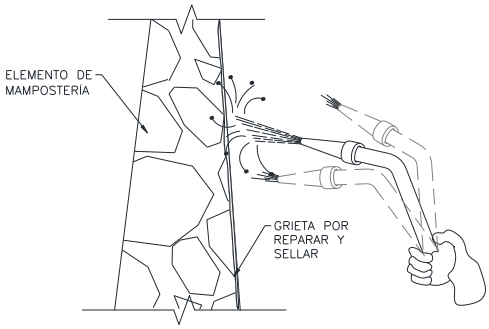
Inyección de grietas con lechada de cemento de mampostería:

1. **Limpieza**

Usando un cepillo de alambre se limpiarán 2.5 cm de cada lado de la grieta, removiendo mortero suelto y deteriorado. Con aire a presión se eliminará todo el polvo de partículas sueltas. Después con agua a alta presión se eliminarán grasas, aceites y cualquier otro material que impida la adherencia del material que se utilizará para sellar las grietas.



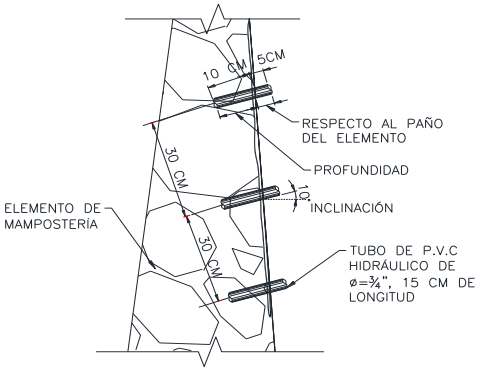
Remoción de mortero deteriorado



Limpieza con aire y agua a presión

2. **Colocación de los Tubos**

Al concluir la limpieza de la grieta, se insertarán tubos de P.V.C. hidráulico de Ø = ¾" de 15 cm de longitud, quedando 5 cm sobresalidos del paño del elemento, con una inclinación positiva de 10°. La colocación de los tubos se hará en toda la longitud de la grieta distribuyéndolos a cada 30 cm de separación, los cuales se fijarán con mortero (Emaco S88 CA).



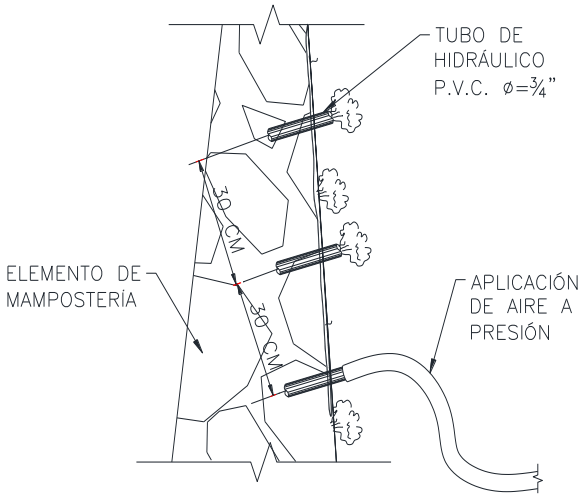
NOTA:

CUANDO EL TUBO DE P.V.C. NO PUEDA SER INSERTADO DENTRO DE LA GRIETA SE RECOMIENDA REALIZAR UNA PERFORACIÓN, CON UNA PROFUNDIDAD DE 10 CENTÍMETROS, UTILIZANDO UNA BROCA DE ⅞" DE DIÁMETRO, CON UNA INCLINACIÓN POSITIVA DE 10°. POSTERIORMENTE SE INSERTARÁ EL TUBO.

Colocación de tubo P.V.C.

3. **Limpieza en el Interior de los Tubos**

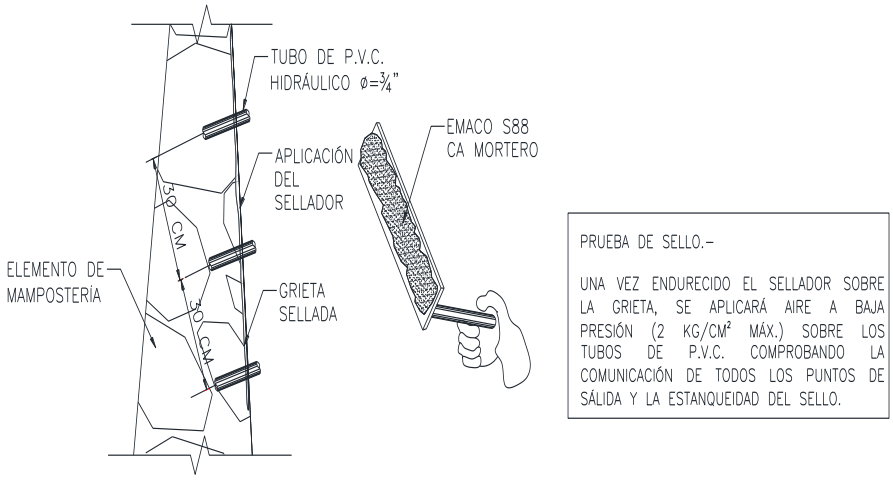
Cuando haya fraguado el mortero, se limpiará con aire a presión el interior de los tubos, asegurándose de eliminar polvo y retirar todas las partículas sueltas.



Limpieza de los tubos de P.V.C.

4. Aplicación del Sellador

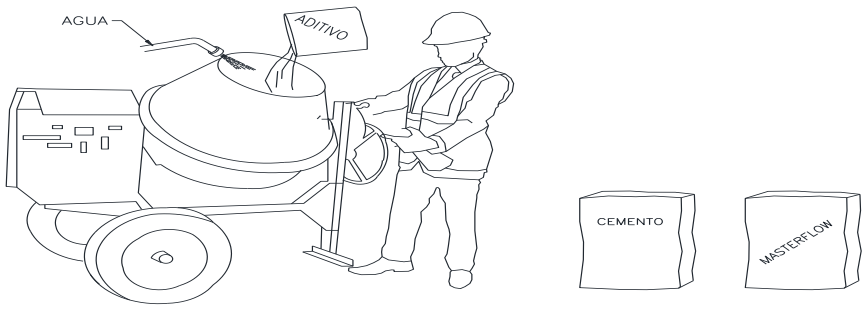
Después de la limpieza en el interior de los tubos, se aplicará una capa de mortero Emaco S88 CA, con el objeto de sellar la grieta y evitar fugas durante la inyección de la lechada. La colocación del mortero se hará de forma manual utilizando una malla metálica o espátula, en un ancho de 2.5 cm de cada lado de la grieta.



Sellado de la grieta

5. Preparación de la Lechada de Cemento

La lechada se preparará de acuerdo con la siguiente dosificación: cada litro de lechada llevará la mezcla de 0.532 litros de agua potable; 1.5 kg de cemento; 0.09 kg de Grout Masterflow 928 y 0.03 litros de aditivo reductor de agua Pozzolith NC 534.



Preparación de la lechada

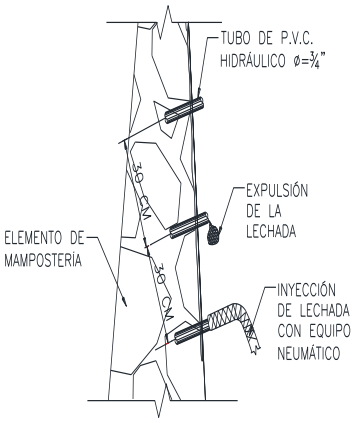
6. Inyección de Lechada

Comprobada la continuidad de los puntos, se deberá realizar lo siguiente:

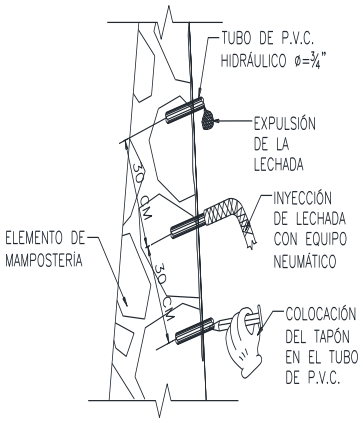
- Iniciar la inyección de la grieta por el punto extremo inferior hasta que la lechada salga por el siguiente punto. Posteriormente, se colocará un tapón de madera a presión de tal manera que selle el tubo P.V.C.; continuar este procedimiento hasta que la resina salga por el último inyector, después taponear y mantener la presión durante algunos minutos para asegurar el correcto llenado de la oquedad. La presión de la inyección será de 6 kg/cm^2 como mínimo y 8 kg/cm^2 como máximo.

  Se utilizará un manómetro para controlar la presión de inyección. Se recomienda dejar un testigo para verificar el fraguado de la lechada.

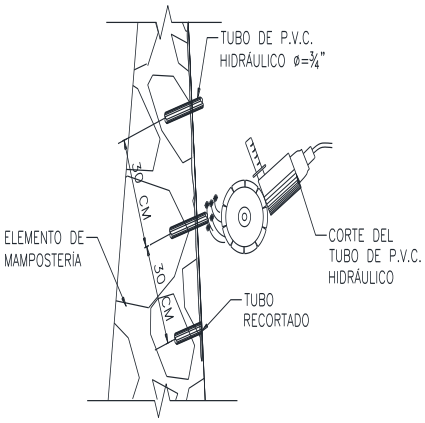
- Una vez que haya fraguado la lechada se procederá a cortar los tubos de P.V.C. con un esmeril, recortándolos a paño del elemento.



Inyección de la lechada



Procedimiento de Inyección



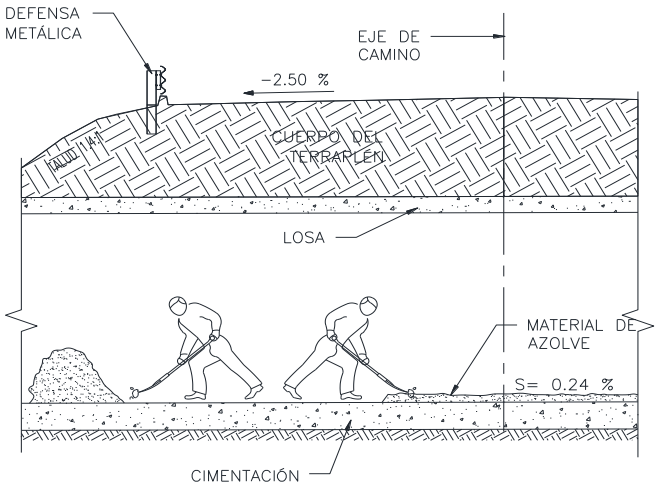
Corte del tubo de P.V.C.

A 5.4.13 PROCEDIMIENTO PARA LA REPARACIÓN DE FRACTURAS EN ESTRIBOS DE CONCRETO CICLÓPEO

Reparación de Fractura de Estribo

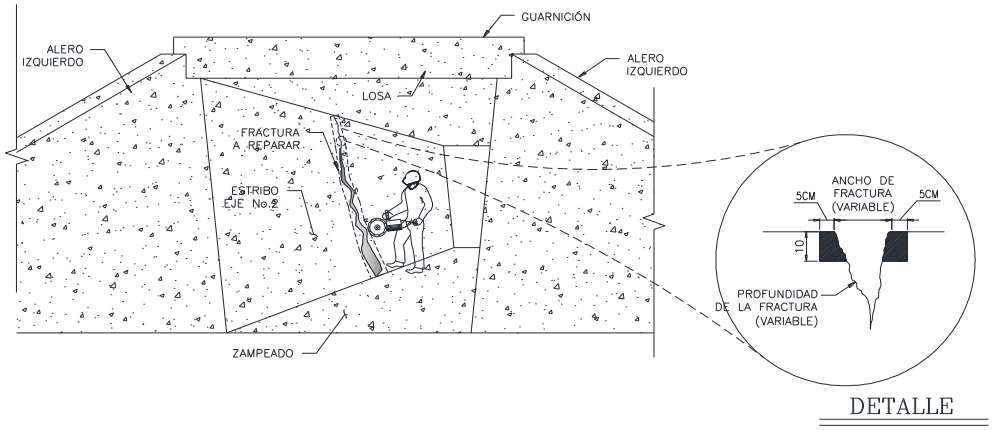
De acuerdo con los resultados de la revisión estructural de los estribos (ejes No. 1 y 2, ver 3er. esquema), se determinó que dichos elementos no requieren de algún tipo de reforzamiento; por lo tanto, los daños se reparaban con trabajos de resane, rellenando las oquedades de la fractura con mortero de reparación, conforme al siguiente procedimiento constructivo.

1. **Desazolve en el interior del paso ganadero.** Antes de iniciar los trabajos de reparación de las fracturas en los estribos (ejes No. 1 y 2), se deberá retirar el material de azolve en el interior del paso ganadero, con la finalidad de facilitar y agilizar los trabajos posteriores.

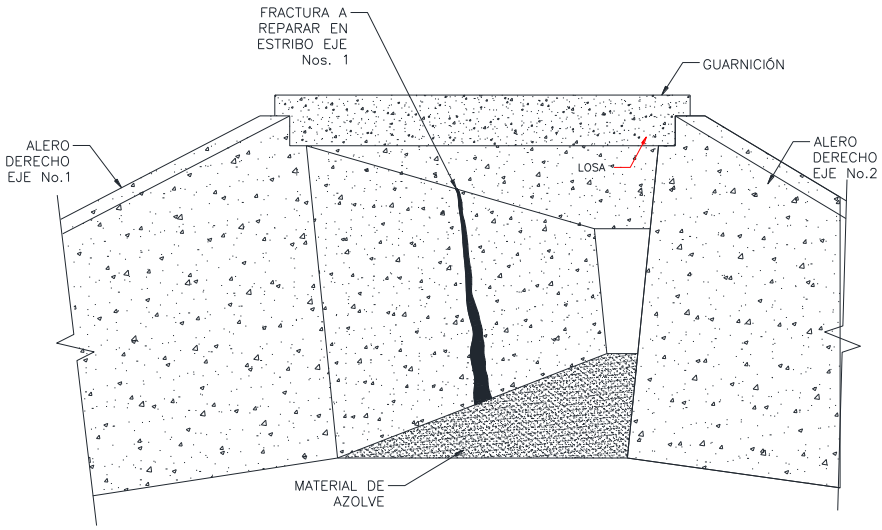


Desazolve del paso ganadero

2. **Demolición.** Se deberá delimitar el área de la fractura por reparar, realizando un corte el concreto, formando una caja de 5 cm de ancho con 10 cm de profundo, haciéndolo en cada lado de la fractura y en toda la longitud. Se Utiliza un disco de corte para concreto; enseguida, con mazo y cincel, se retirará todo el concreto en la zona delimitada.

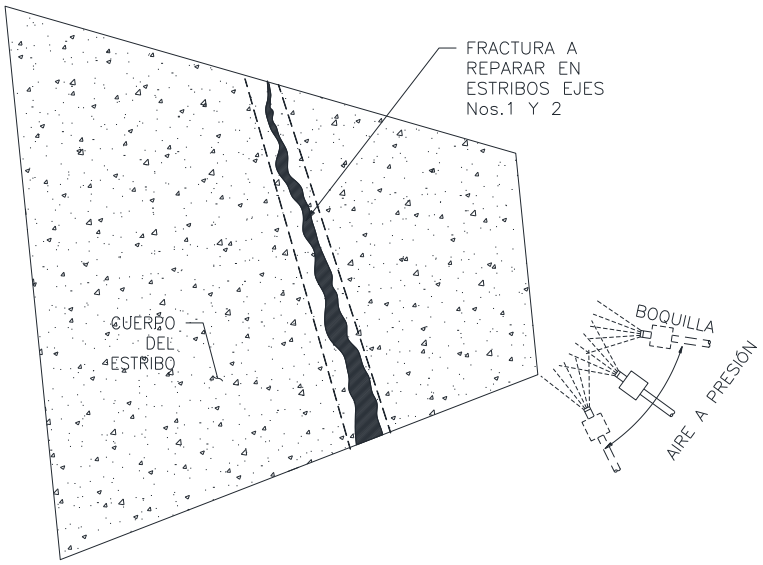


Trabajos de corte y demolición (Vista general del paso ganadero)



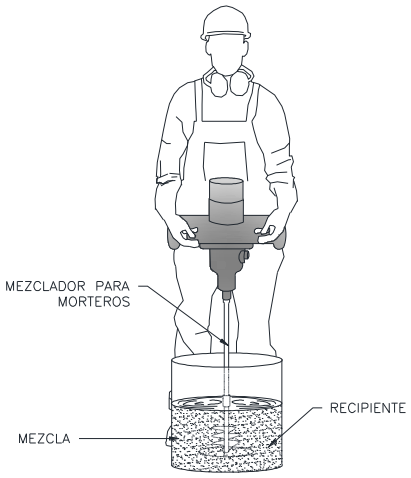
Detalle de zonas a reparar (vista lado derecho del paso ganadero)

3. **Limpieza.** Una vez terminada la demolición, se limpiará con aire a presión eliminando polvo y concreto despostillado y partículas sueltas; después con agua a alta presión se eliminarán grasas, aceites y cualquier otro material que impida la adherencia del mortero de reparación.



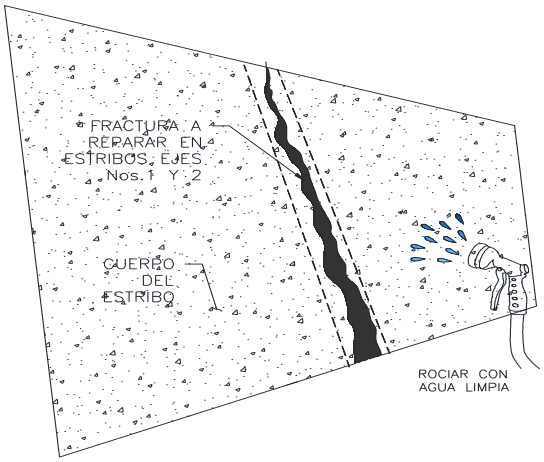
Limpieza con aire a presión

4. **Preparación del Mortero de Reparación.** Se utilizará el mortero de reparación estructural "Sika Monotop-412 SM". La reparación de la base de cemento (reforzado con fibras de baja contracción) se hará de la siguiente manera: En un recipiente o molde de boca ancha se deberán vaciar 3.5 litros de agua, añadiendo gradualmente el mortero, mezclando durante 5 minutos hasta obtener una mezcla homogénea, libre de grumos y con la consistencia requerida.

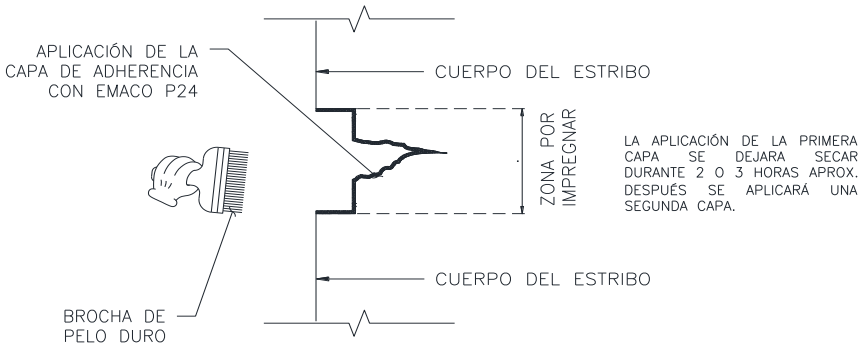


Preparación de la mezcla

5. **Aplicación de la Capa de Adherencia.** Antes de colocar el mortero de reparación, la superficie a tratar deberá rociarse agua, dejándola totalmente limpia y amacizadas luego, con una llana metálica o brocha de pelo duro se aplicarán dos capas de 0.25 mm de "Emaco P24", dejando pasar un lapso de tiempo de 2 a 3 horas entre cada capa, verificando que el material adherente penetre perfectamente en el concreto; el producto es de color azul, permitiendo observar las zonas donde requiera la aplicación de más mezcla. La preparación del producto se hará de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.



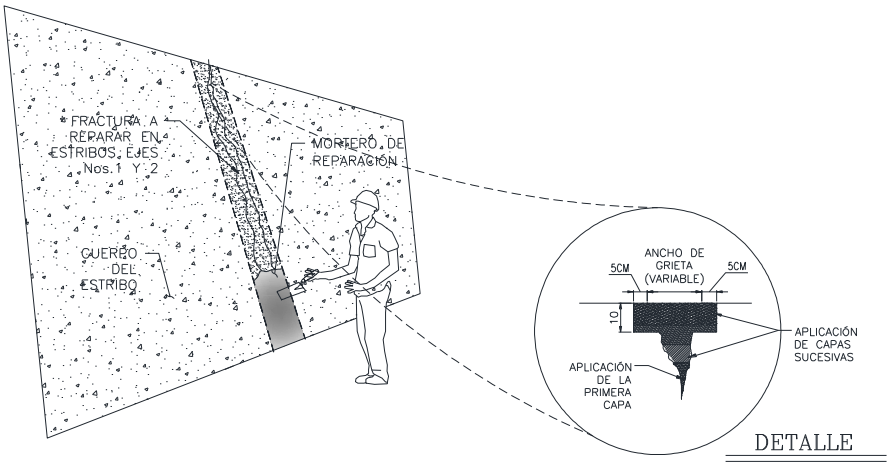
Aplicación de agua



Aplicación de Emaco P24

6. **Aplicación del Mortero de Reparación.** Inmediatamente después de aplicar la capa de adherencia y antes de que seque, se colocará el mortero de reparación "Sika Monotop-412 SM" en toda la superficie a tratar debiendo impregnar previamente una pequeña cantidad del mismo producto, frotándola fuertemente contra la superficie, llenando el fondo de la grieta. Después se aplicarán las capas sucesivas de 5 cm de espesor cada una; para la aplicación de cada capa se deberá esperar de 20 a 25 minutos, tiempo estimado para que comience a fraguar el mortero. Se recomienda rallar la capa inferior para crear una superficie rugosa y mejorar la adherencia; este procedimiento se realizará varias veces hasta llenar en su totalidad la grieta y enrasar al paño del estribo.

El curado se hará manteniendo húmeda la reparación por 7 días.

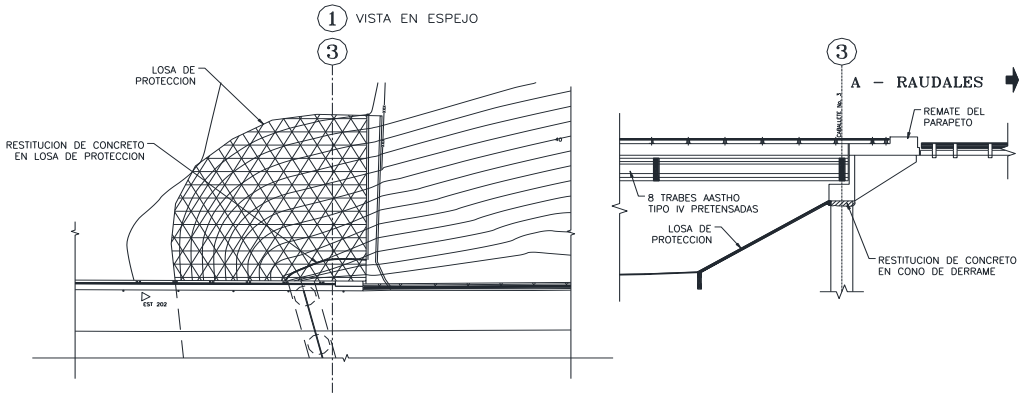


Colocación de Sika Monotop – 412 SM

A 5.4.14 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE LOSA DE PROTECCIÓN DE UN CONO DE DERRAME

Se realizará una reparación de las zonas que presenten fracturas en la losa de protección de los conos de derrame, debido a los asentamientos que se han presentado en estos últimos. El procedimiento consiste en lo siguiente:

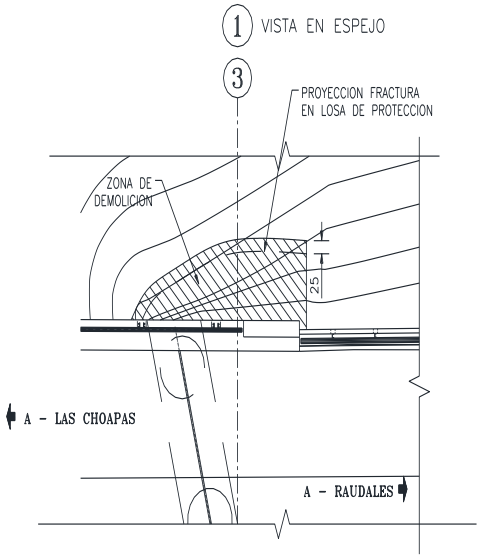
1. **Primeramente**, se llevará a cabo la limpieza y retiro de vegetación en los conos de derrame. Se demolerá el concreto en las zonas que actualmente presenten fracturas en la losa de protección. En el caballete eje número 1 y 3 se restituirá el material de suelo en la oquedad existente a lo largo de la base del cabezal, debido a un asentamiento del cono; en este caso, se demolerá la franja de losa paralela a dicha grieta.



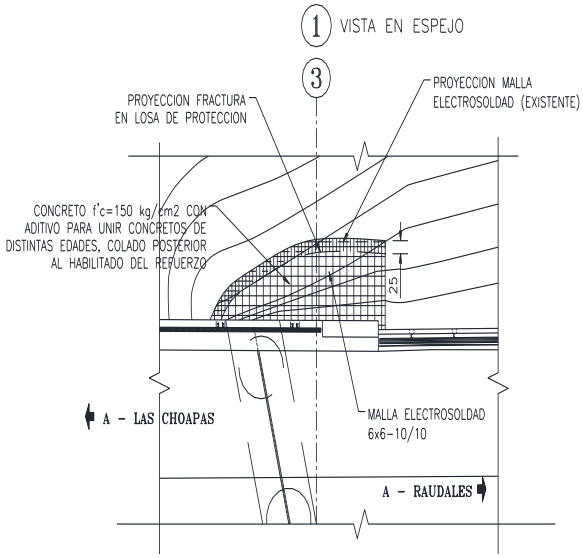
Restitución de concreto

2. **Posteriormente**, se colocará una malla de acero electrosoldada en las áreas de reparación de la losa de protección. Se tendrá especial cuidado de anclar la malla nueva a la malla existente.

3. **Finalmente**, se procederá al colado con concreto f 'c =150 kg/cm² de las áreas de reparación de la losa, las cuales se sujetarán al cono por medio de anclas de varilla de 2.5 m de longitud.



Refuerzo de losa de protección (Preparación)



Refuerzo de losa de protección (Refuerzo)

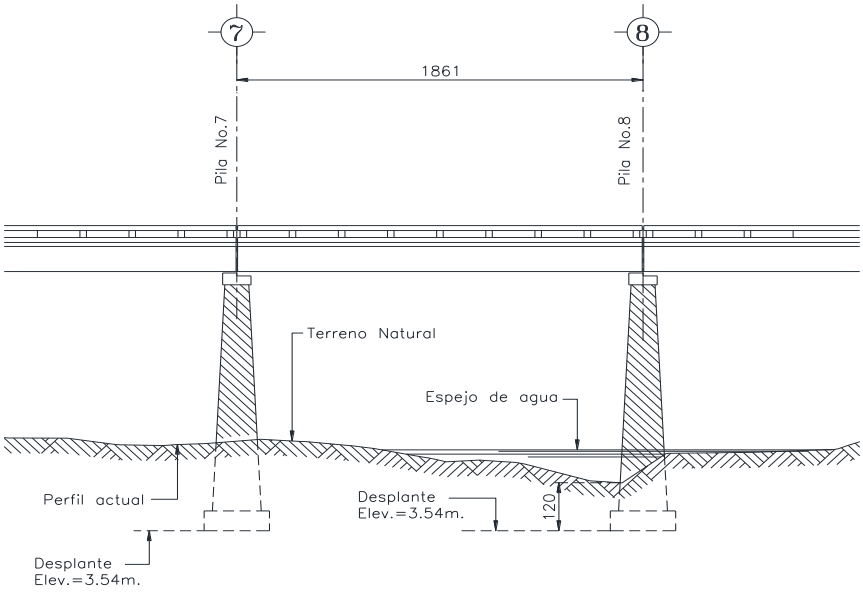
A 5.4.15 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA ENROCAMIENTO

Paso No. 1

Una alternativa para proteger contra socavación a las Pilas No.7 y 8 es colocar un enrocamiento, de acuerdo a los Estudios y Análisis realizados, con fragmentos de roca de 60 cm como mínimo.

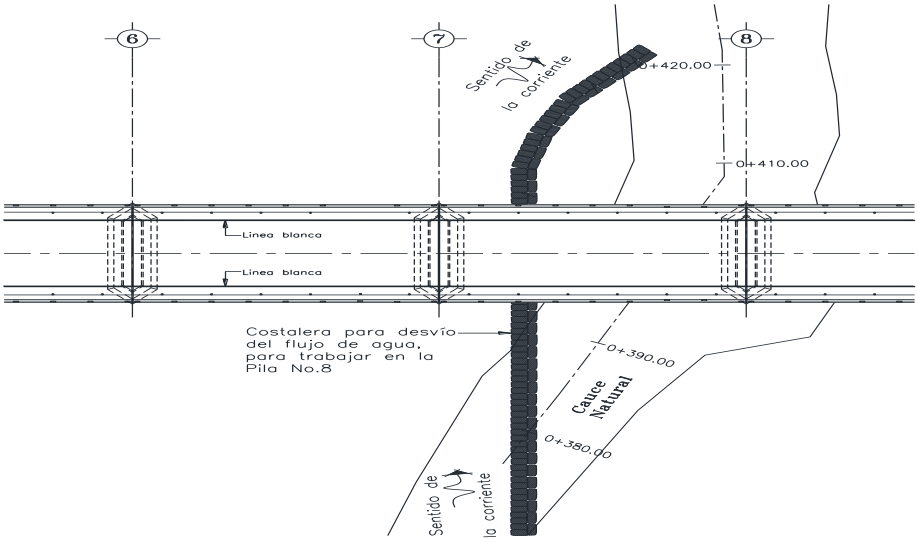
Los trabajos se llevarán a cabo en época de estiaje.

El procedimiento constructivo, será el que a continuación se indica.



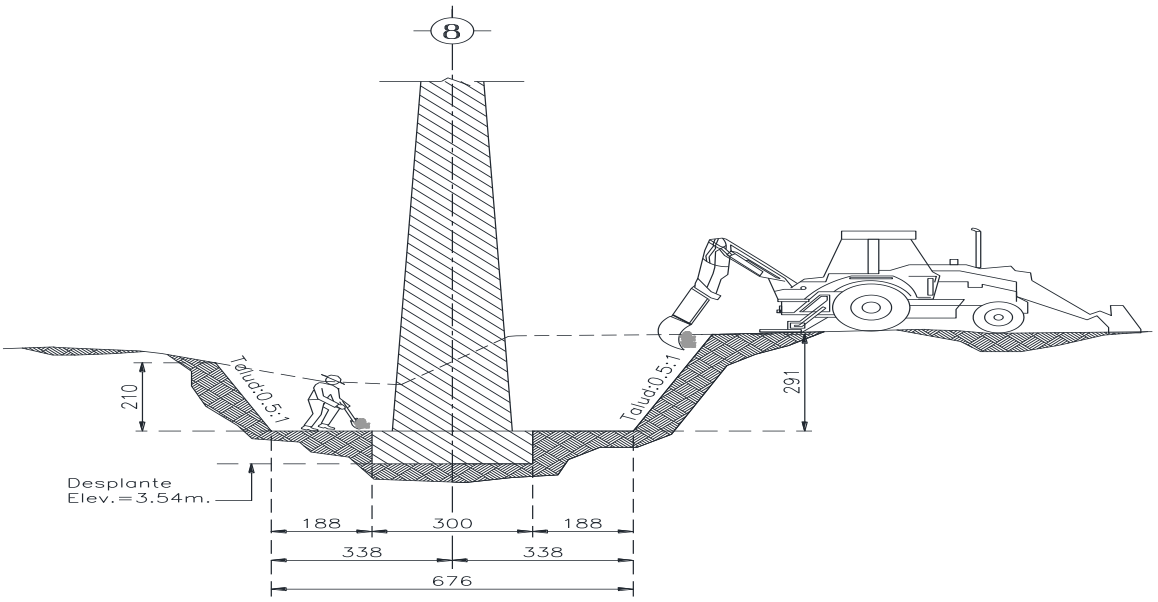
Paso No. 2

Se desviará el flujo de agua a un lado de la Pila No.7, para comenzar a trabajar por la Pila No.8

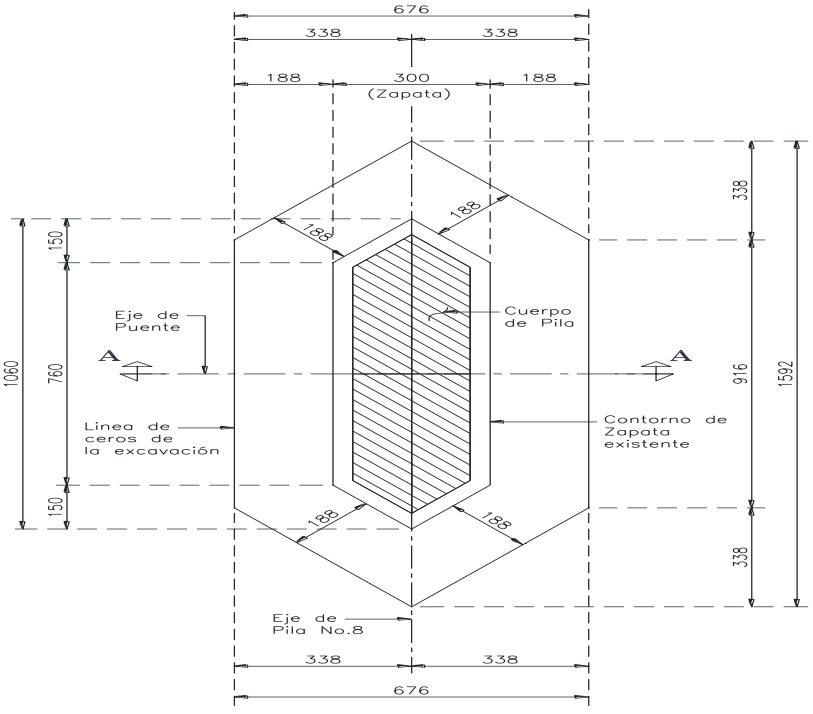


Paso No. 3

Se realizará una excavación alrededor de la zapata para alojar el enrocamiento, de la forma como a continuación se ilustra.



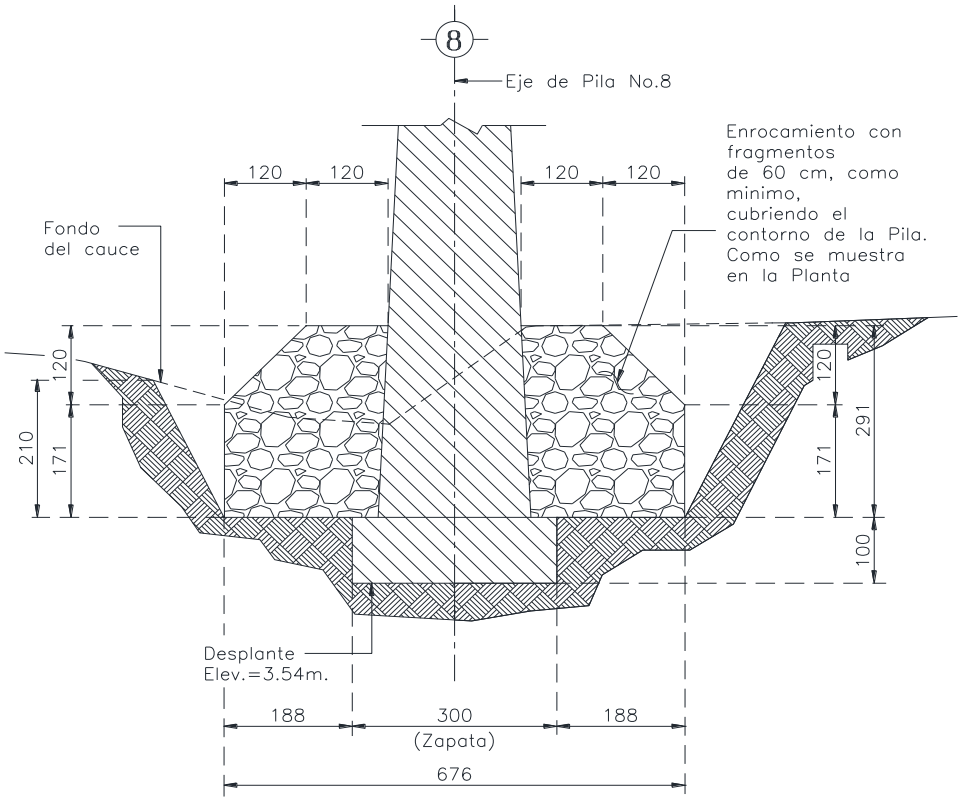
Corte A – A



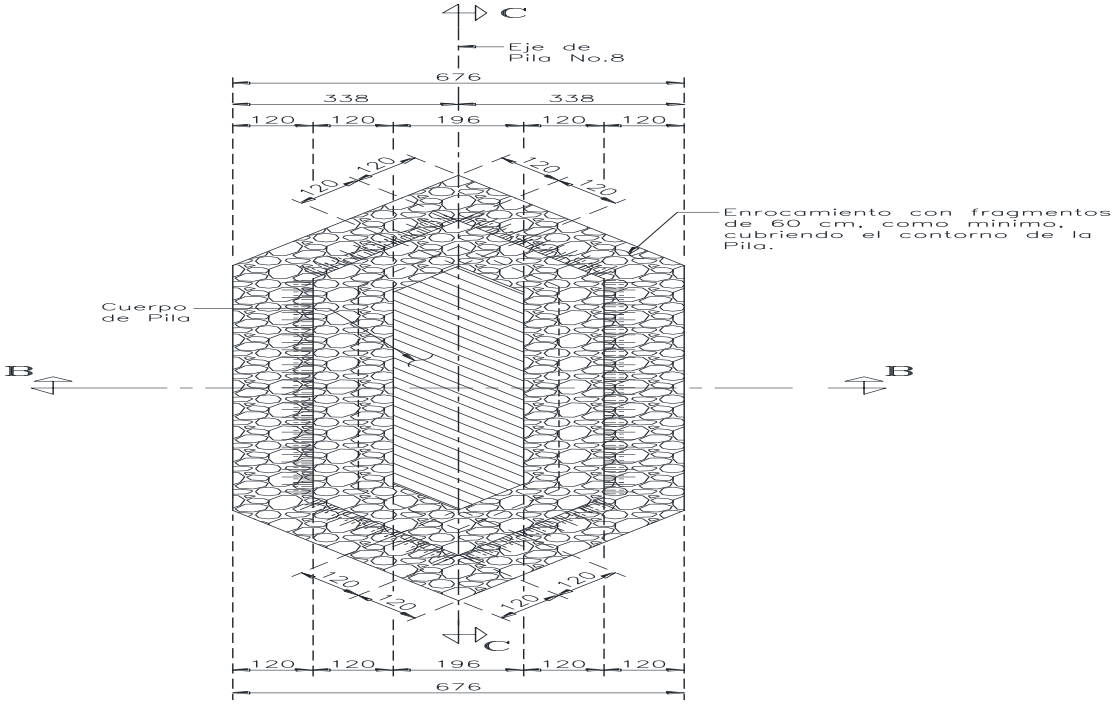
Planta - Excavación

Paso No. 4

Una vez excavado se procederá a colocar el enrocamiento, con fragmentos de 60 cm, como mínimo. Su colocación podrá ser a volteo, acomodándolo con un equipo adecuado para mover los fragmentos de roca.



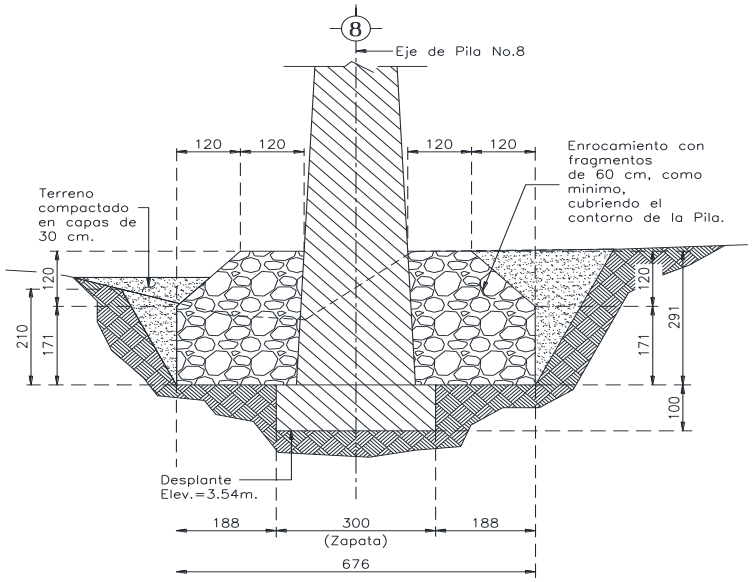
Corte B - B



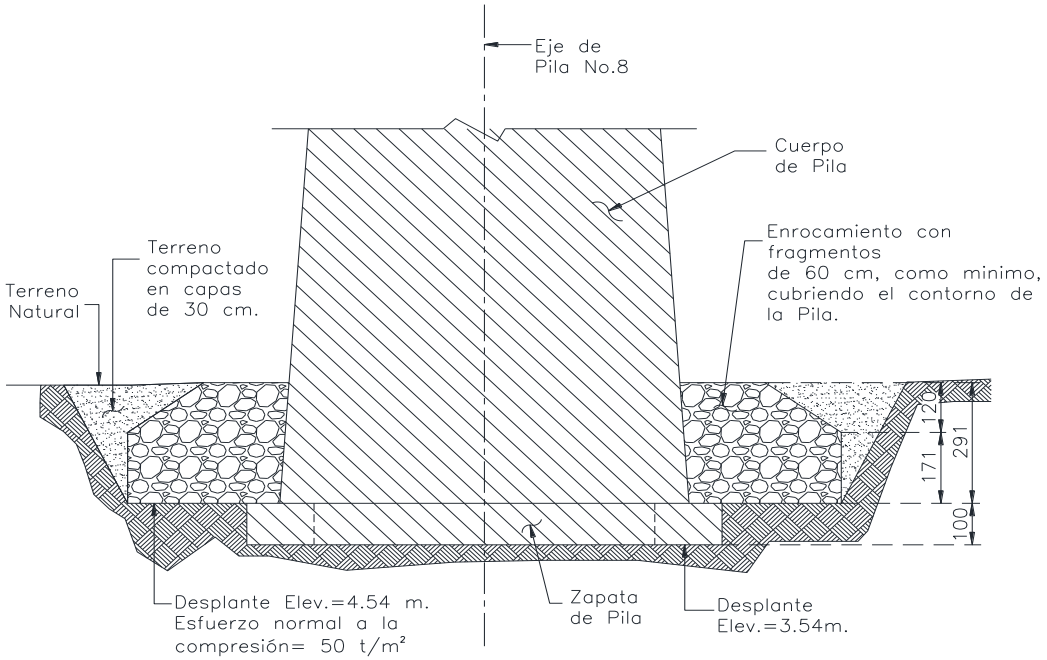
Planta

Paso No. 5

Posterior al enrocamiento, se procederá a restituir nuevamente el terreno en las zonas donde quedaron huecos. El relleno será con el mismo terreno, producto de la excavación. El terreno se compactará en capas de 30 cm.



Corte B – B



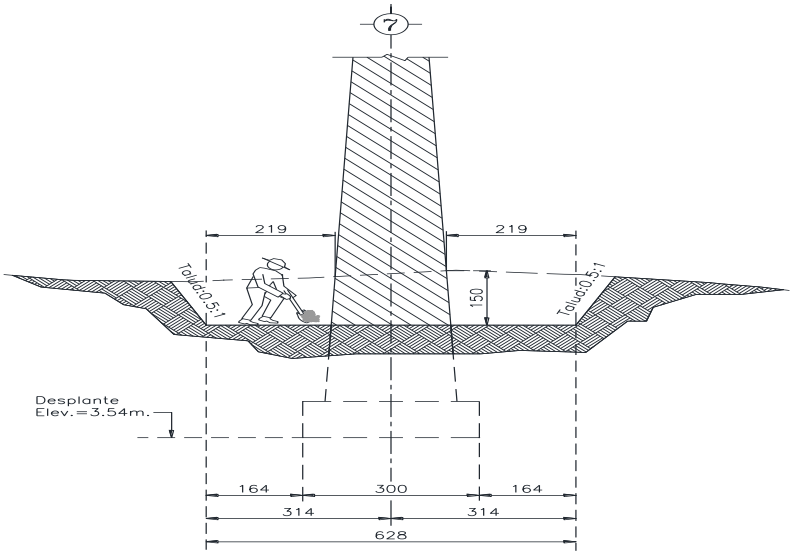
Corte C - C

Paso No. 6

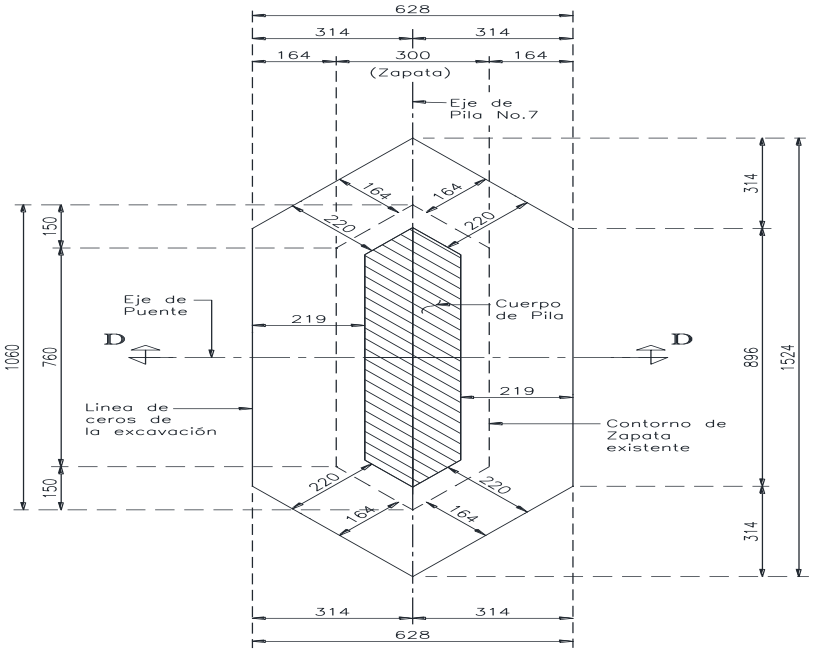
Una vez terminado los trabajos en la Pila No.8, se procederá a proteger contra socavación a la Pila No.7; para lo cual se desviará el flujo de agua a un lado de la Pila No.8, comenzando a trabajar por la Pila No.7, según se ilustró en el Paso No. 2.

Paso No. 7

Se realizará una excavación alrededor del cuerpo de la Pila número 7, para alojar el enrocamiento de la forma como a continuación se ilustra.



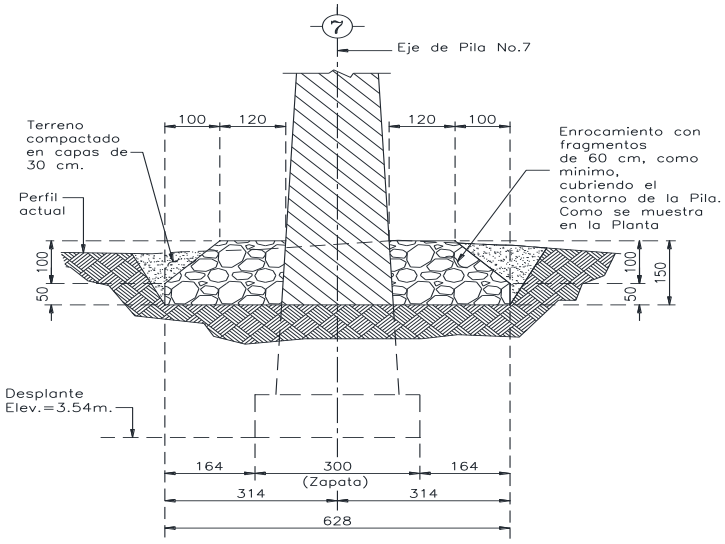
Corte D – D



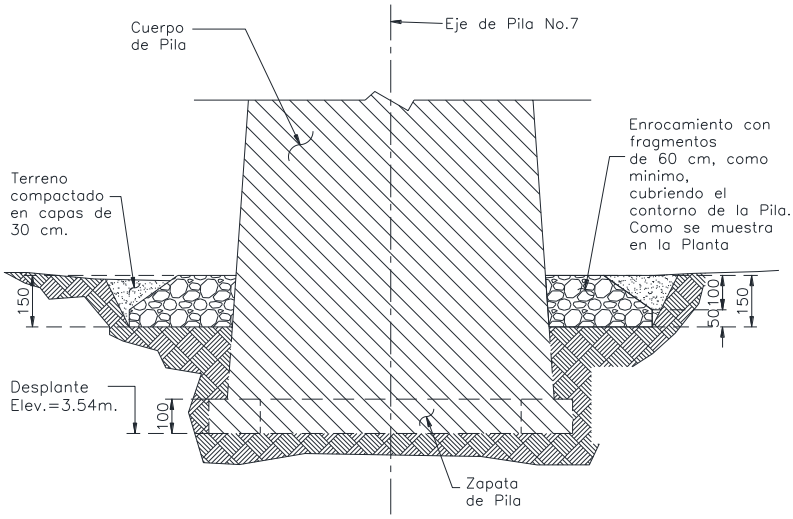
Planta – Excavación

Paso No. 8

Una vez excavado se procederá a colocar el enrocamiento, con fragmentos de 60 cm como mínimo. Su colocación podrá ser a volteo, acomodándolo con un equipo adecuado para mover los fragmentos de roca. Posterior al enrocamiento, se procederá a restituir nuevamente el terreno en las zonas donde quedaron huecos. El relleno será con el mismo terreno, producto de la excavación. El terreno se compactará en capas de 30 cm.



Vista en corte Transversal de pila No. 7



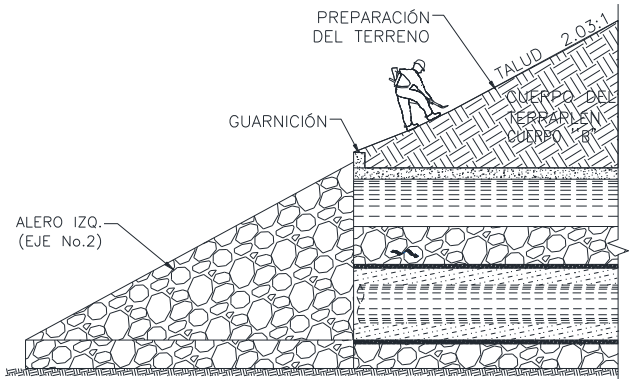
Vista en corte longitudinal de pila No. 7

A 5.4.16 PROCEDIMIENTO PARA LA COLOCACIÓN DE LOSA DE PROTECCIÓN DE CONCRETO, ASÍ COMO PARA LA SUSTITUCIÓN DE UNA LOSA DAÑADA

Construcción de la Losa de Protección

1. Preparación del Terreno

Se realizará un despalme retirando material superficial (vegetación, basura y material extraño), con la finalidad de dejar una superficie maciza y libre de cualquier irregularidad.

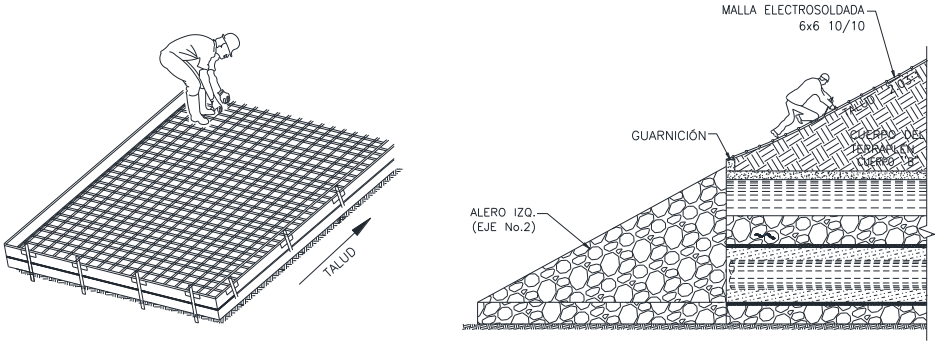


Despalme de talud de terraplén

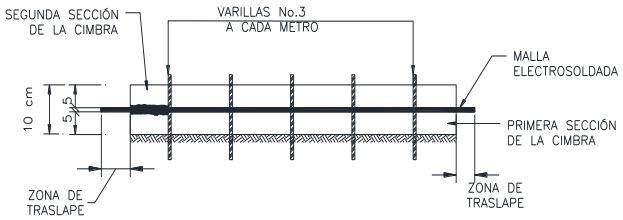
2. Colocación de Malla Electrosoldada

Con una superficie limpia y firme, se colocará la cimbra utilizando tiras de madera de 5.0 cm de ancho y 2.6 cm de espesor, las cuales deberán ser impregnadas con un producto desmoldante, para evitar algún daño al concreto al momento de su retiro. La colocación de la cimbra se hará por secciones.

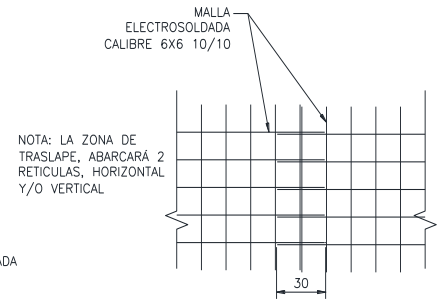
En la primera sección se pondrá una primera tira de madera en toda la sección por colar y después la malla electrosoldada. Finalmente se colocará otro tramo de cimbra. Para fijar y asegurar la cimbra se usarán varillas del No. 3, enterrándolas al terreno a cada metro de separación.



Colocación malla electrosoldada



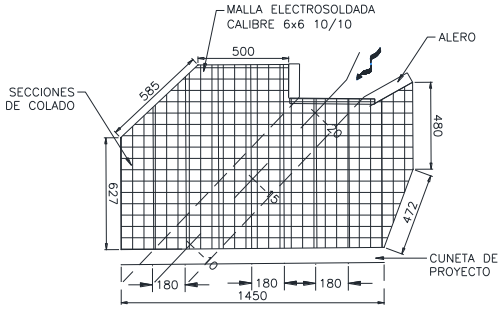
Colocación de la cimbra



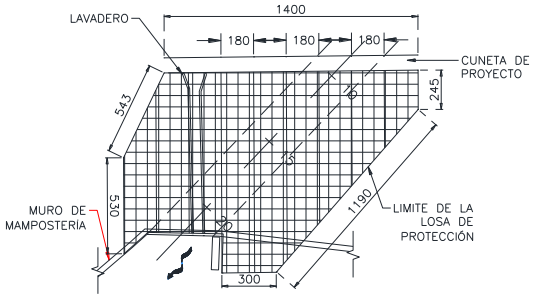
Área de traslape

3. Colocación de Sellador Waterstop

Se utilizará y colocará sellador Waterstop impregnado con Synko-Flex Primer: en la unión de la losa de protección con la cuneta de la carretera , en el lavadero del cuerpo "A" y en las juntas constructivas de las secciones ya coladas, dejándose ahogado en el concreto de la sección por colar. Su colocación se hará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.



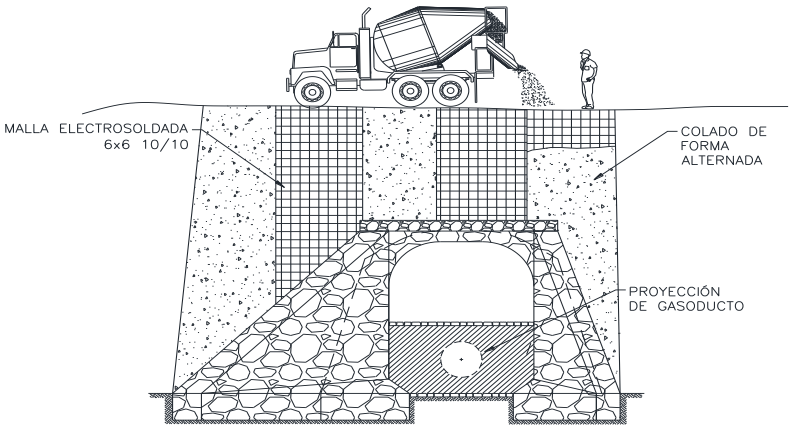
Construcción de la losa (Cuerpo Izquierdo "B")



Construcción de la losa (Cuerpo Derecho "A")

4. Colado de la Losa de Protección

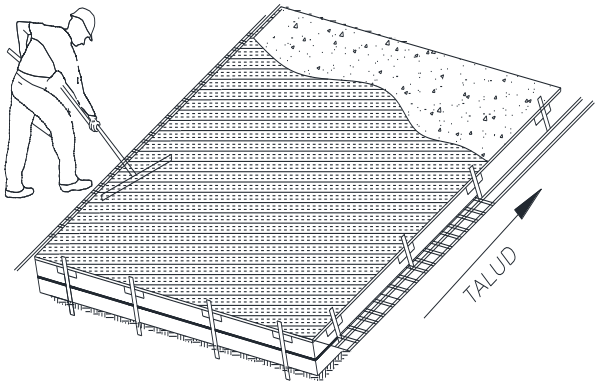
Se colocará con concreto premezclado de f 'c= 150 kg/cm^2 de 10 cm de espesor, en secciones de 180 cm de ancho, en forma alternada.



Colado de la losa de protección

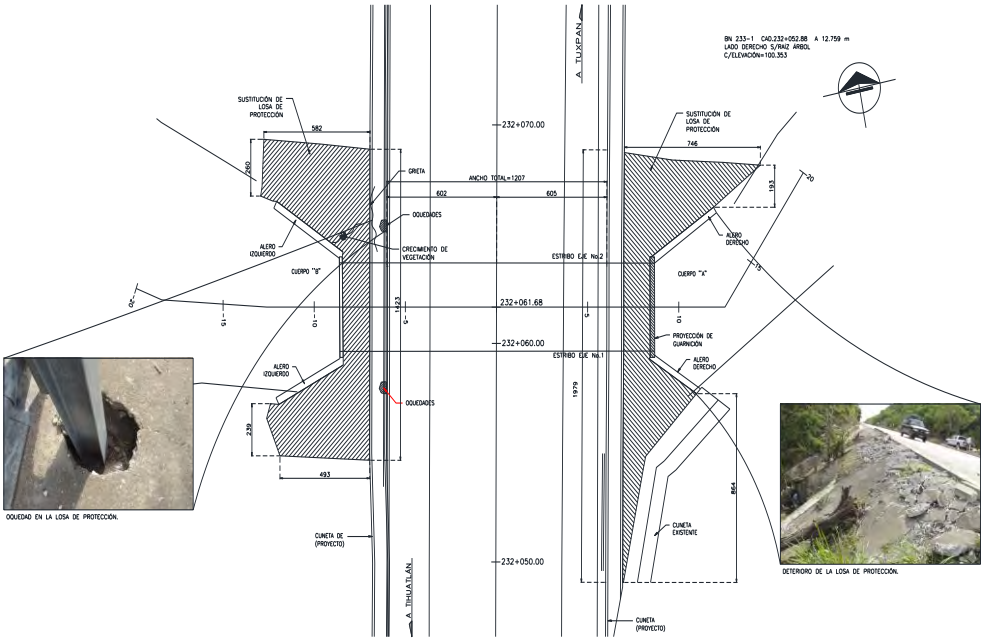
5. Acabado

El acabado final será la superficie resultante del concreto después de realizados los trabajos de extendido y compactación con aspecto de “repellado”.



Acabado final del concreto

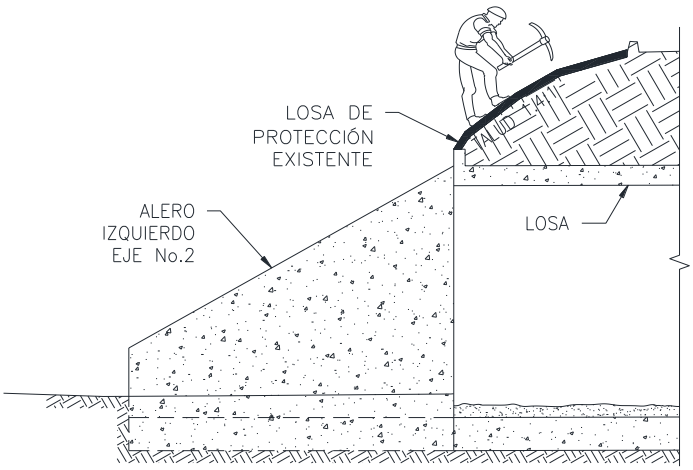
Sustitución de la Losa de la Protección Dañada



Procedimiento

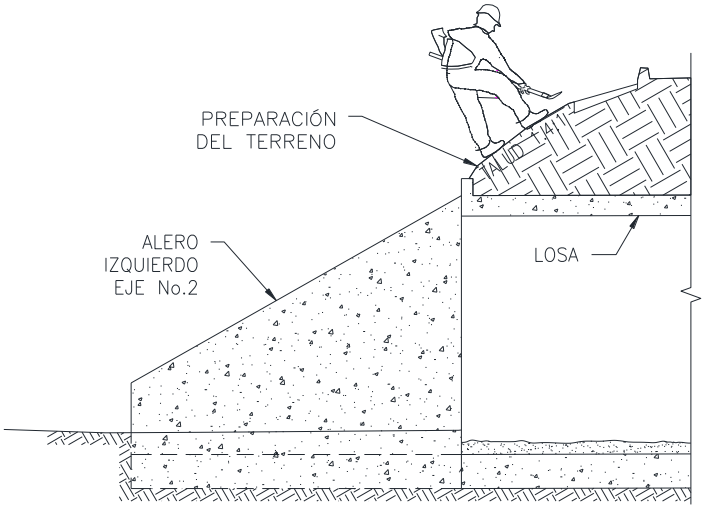
La sustitución de la losa de protección existente, una vez terminado, los trabajos de construcción de cuneta en ambos hombros de la carretera, se hará de acuerdo con el siguiente procedimiento constructivo:

1. **Demolición del Zampeado Existente.** Se demolerá y retirará en su totalidad la losa de concreto existente. El material producto de la demolición se cargará, transportará y retirará en camiones de volteo hasta el banco de tiro.



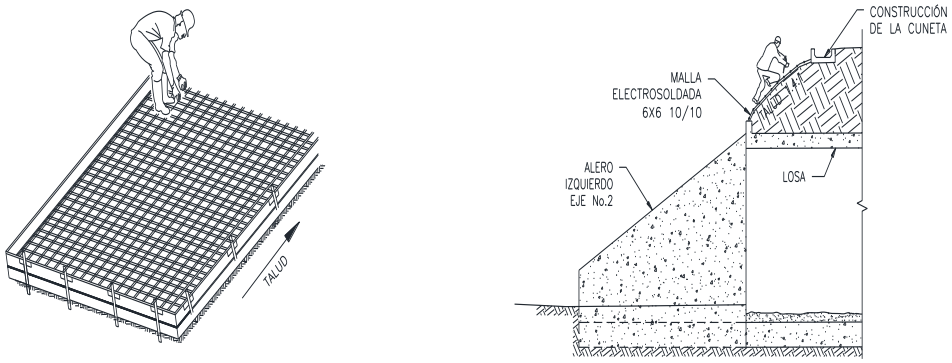
Demolición de losa de protección

2. **Preparación del Terreno.** Se deberá remover capa vegetal, basura u otro material ajeno al terraplén, dejando una superficie regular y firme. Se suministrará y colocará material de banco de zonas erosionadas del talud del terraplén. El material del terraplén faltante de las zonas erosionadas se absorberá con concreto hidráulico.

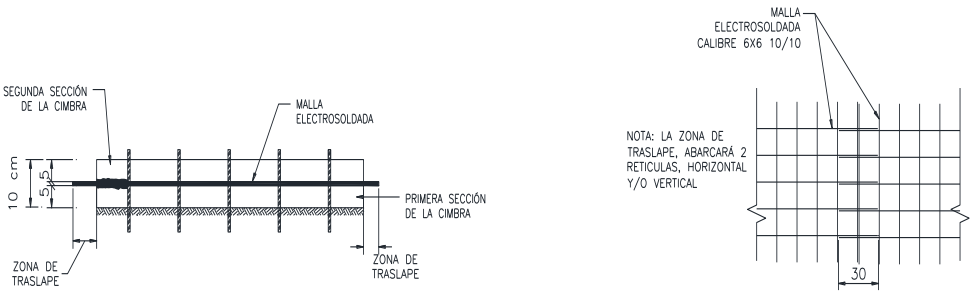


Limpieza del terraplén

3. **Colocación de Malla Electrosoldada.** Con una superficie limpia y firme se colocará cimbra, utilizando tiras de madera de 5.0 cm de ancho y 2.6 cm de espesor, las cuales deberán estar impregnadas con un producto desmoldante, para evitar algún tipo de daño al concreto al momento de su retiro. La colocación de la cimbra se hará por secciones; en la primera sección se colocará la primera tira de madera en toda la sección por colar, después la malla electrosoldada, finalmente se colocara otro tramo de cimbra. Para fijar y asegurar la cimbra se usarán varillas del No. 3, enterrándolas al terreno a cada metro de separación.



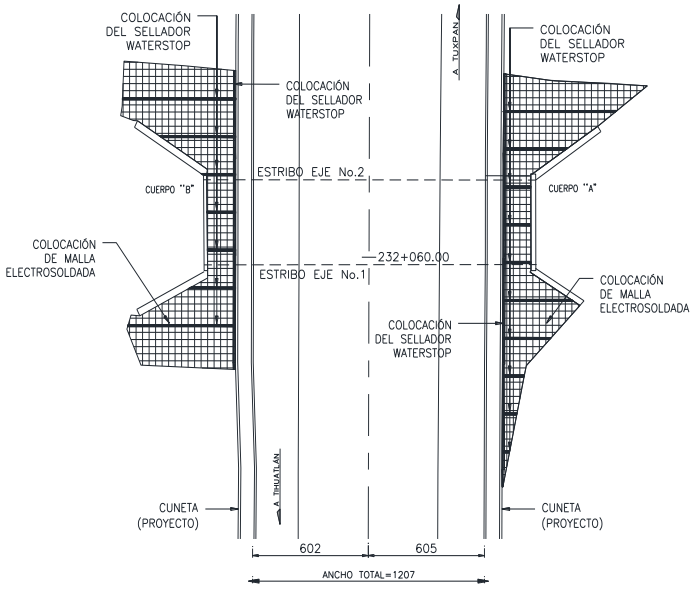
Colocación de malla electrosoldada



Colocación de cimbra

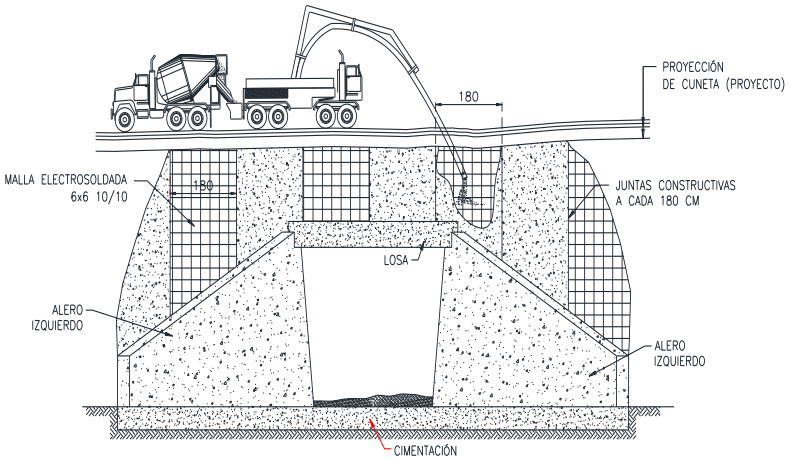
4. **Colocación de Sellador Waterstop.** Se colocará el sellador Waterstop impregnado con Synko Flex Primer en la unión de la losa de protección con la cuneta de la carretera y en las juntas constructivas de las secciones ya coladas.

Dejándose ahogado en el concreto de la sección por colar, su colocación se hará de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.



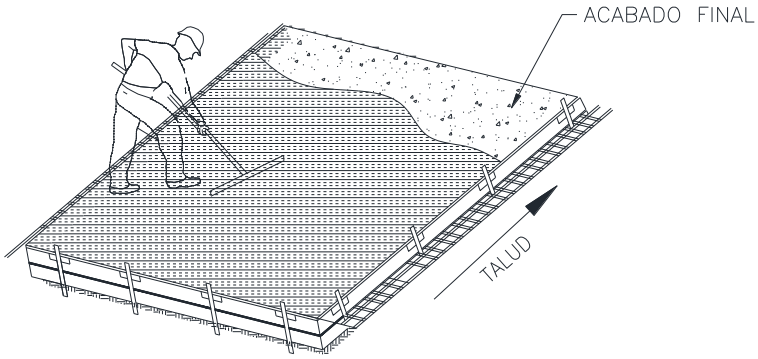
Colocación de la cimbra y sellador

5. **Colado de la Losa de Protección**. Se colará con concreto premezclado de f ’c=150 kg/cm^2 de 10 cm de espesor, en secciones de 180 cm de ancho, de forma alternada.



Colocación de losa de protección

6. **Acabado.** El acabado final será la superficie resultante del concreto después de realizados los trabajos de extendido y compactación con aspecto de “repellado”.

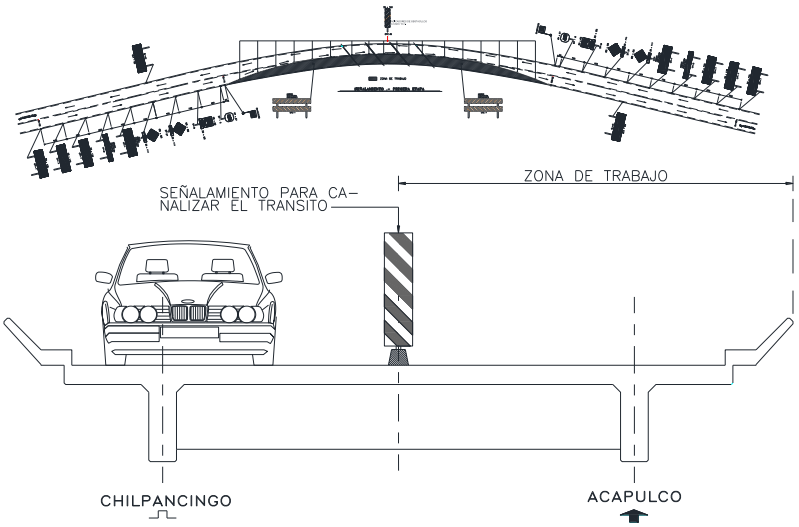


Acabado final del concreto

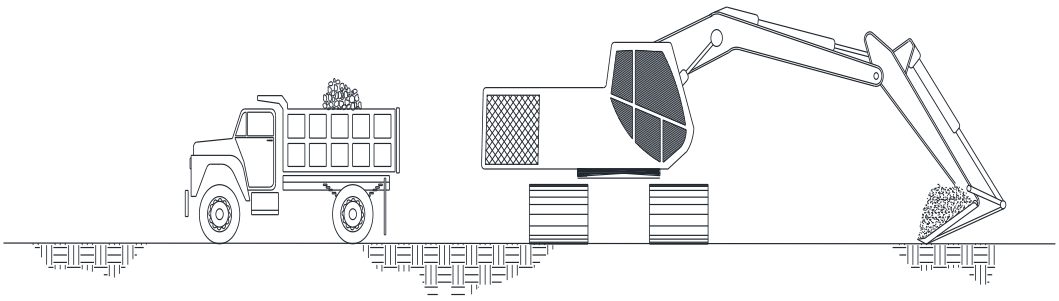
A 5.4.17 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA EL REFORZAMIENTO INCREMENTANDO EL NÚMERO DE TRABES Y COLOCANDO UNA SOBRELOSA

Procedimiento Constructivo

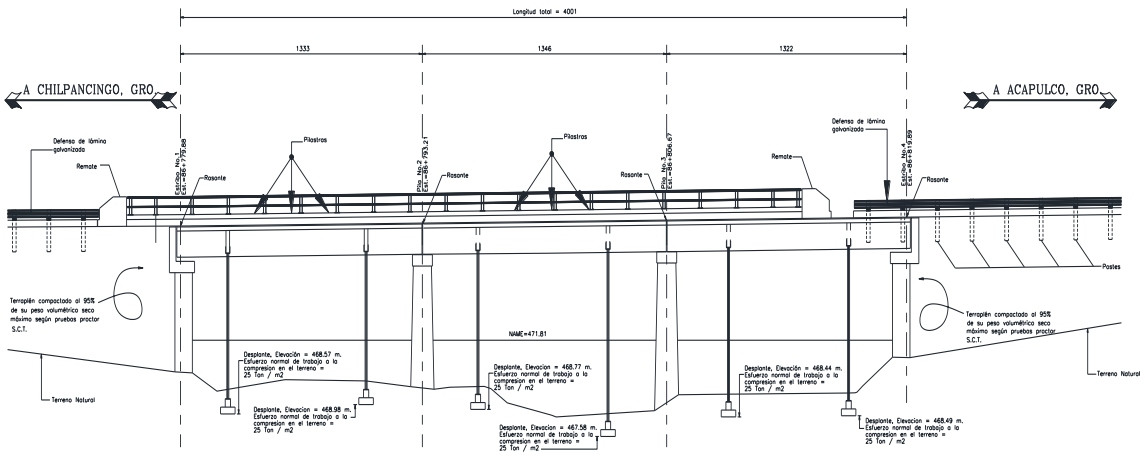
1. Como primer paso, se efectuará la colocación de señalamiento para canalizar el tránsito.



2. A continuación se procederá al retiro de la carpeta asfáltica existente, tanto sobre la estructura como en los accesos.

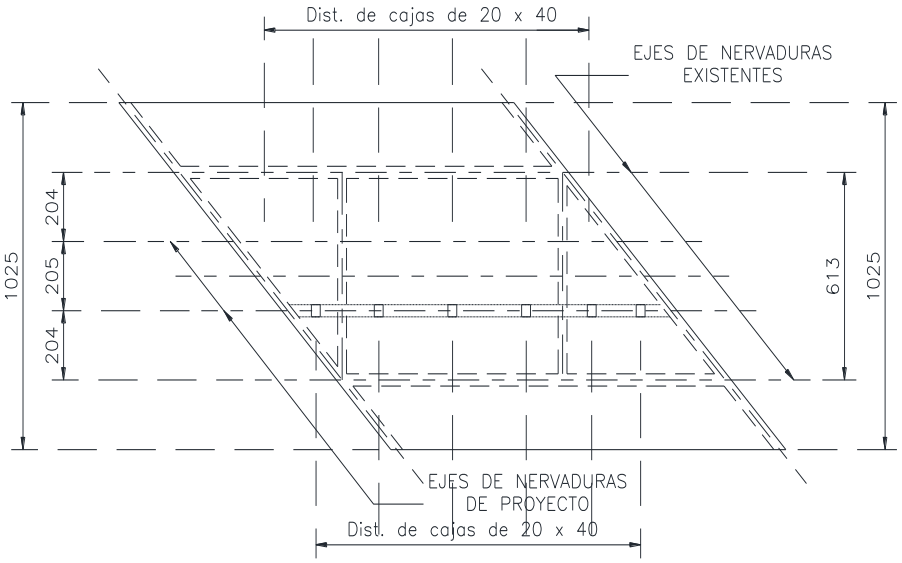


3. Posteriormente se ubicarán y realizarán las zapatas, se colocarán los perfiles IR 254 X 17.9 y placas para el apuntalamiento de la estructura.



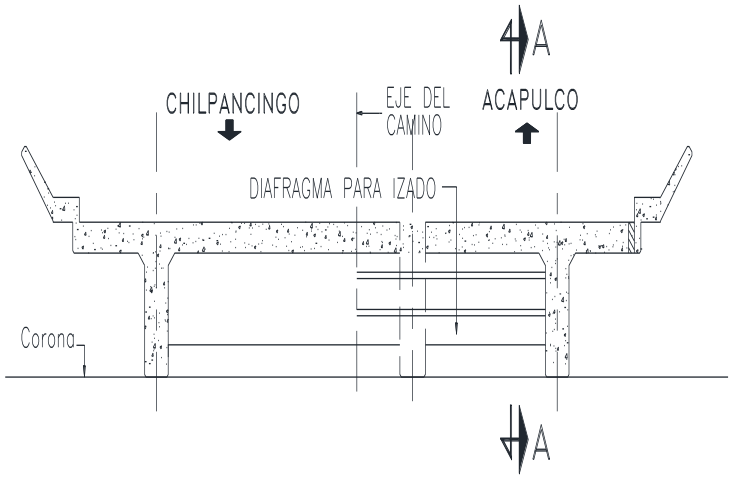
Elevación por el eje de trazo

4. Enseguida se ubicarán y realizarán las ventanas para el control del colado de la nervadura futura localizada sobre el hombro derecho, con dimensiones de 30 x 40 cm, con martillo neumático. Esta actividad sólo se podrá efectuar sobre una nervadura a la vez.

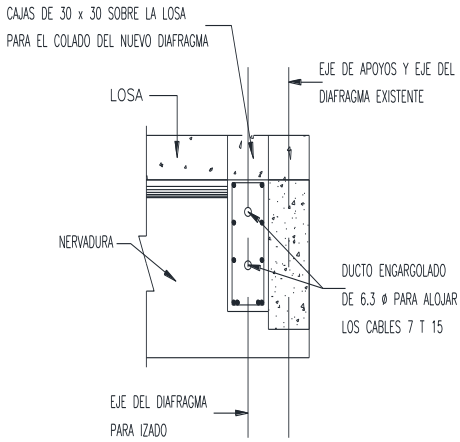


Distribución de ventanas para colado de nervaduras de proyecto

5. Simultáneamente a la actividad anterior, se procederá a efectuar las preparaciones para la construcción de los diafragmas para el izado de la estructura.



Cambio de Apoyos en estribos y pilas.



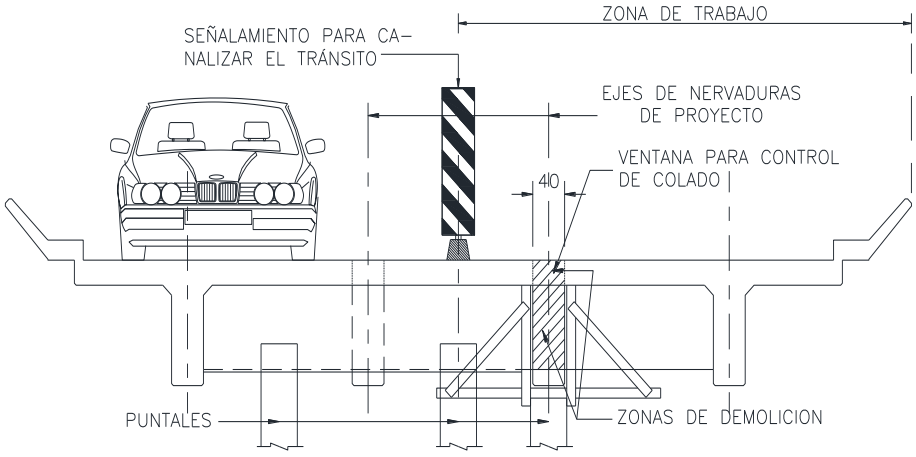
Corte A – A

6. A continuación, se apuntalará el diafragma en ambos lados del colado.

   Se efectuará la demolición en la zona de los diafragmas extremos e intermedios, sin dañar el acero de refuerzo existente.

   Se colocará el acero de refuerzo y la cimbra para el colado, tanto de la nueva nervadura como de los diafragmas de izaje con los concretos cuyos f 'c se especifican en los planos correspondientes.

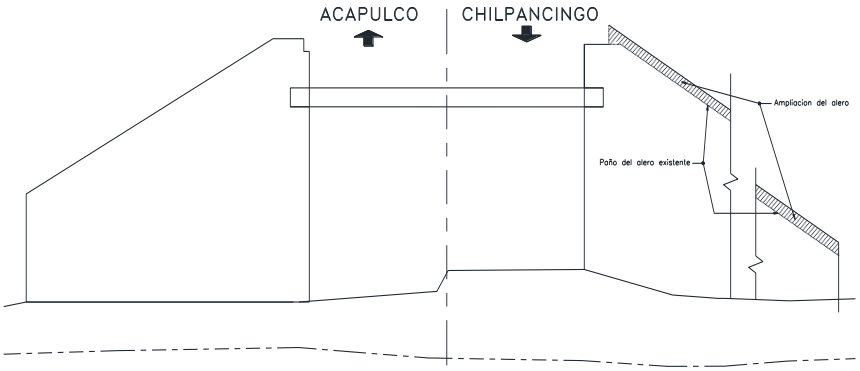
   Cuando el concreto haya alcanzado una resistencia de 225 kg/cm^2 se procederá con los pasos siguientes asentados en el presente proyecto de reforzamiento de la estructura existente.



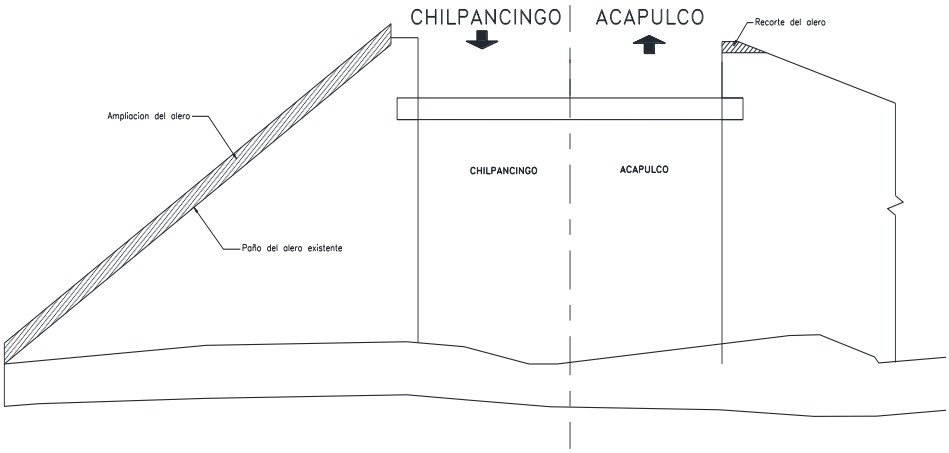
Colado de nuevas nervaduras

7. Posteriormente se efectuará la demolición y retiro de los tramos de junta existente, para la posterior colocación de la junta definitiva.

8. El siguiente paso consistirá en realizar la adecuación de los estribos, para dar lugar a la ampliación del ancho del puente y absorber el desnivel correspondiente.

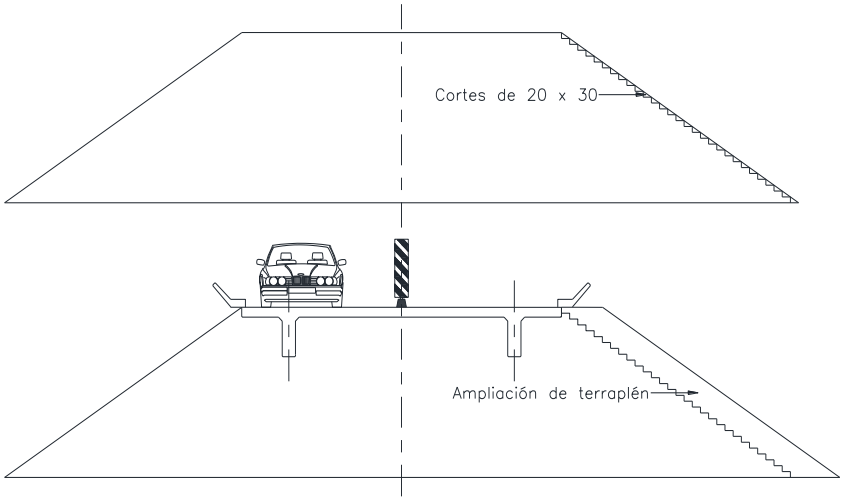


Adecuación de los aleros Estribo 1

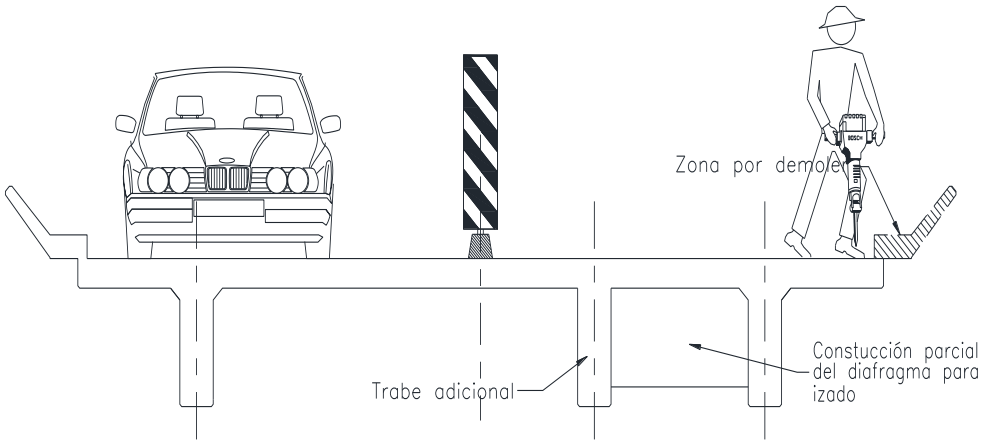


Adecuación de los aleros Estribo 4

9. A la par el punto anterior, se podrá realizar la demolición del terraplén, para ligar la ampliación del mismo en los accesos.

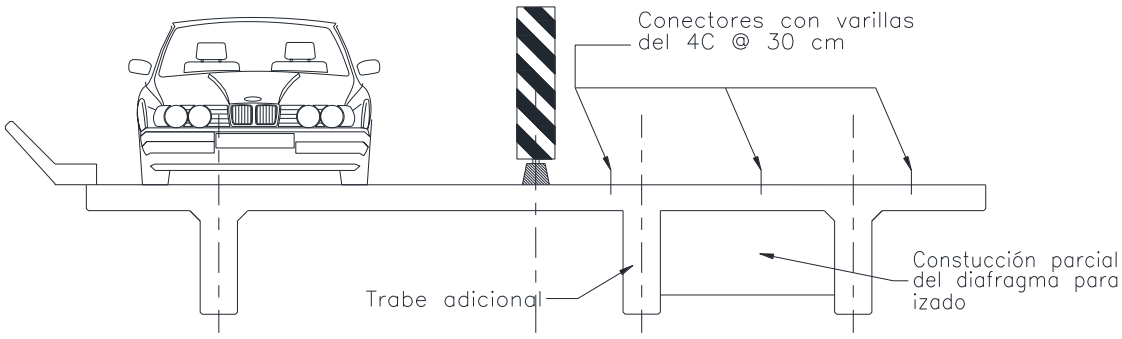


10. Posteriormente se efectuará la demolición de banquetas y guarniciones, para dar paso a la futura ampliación.

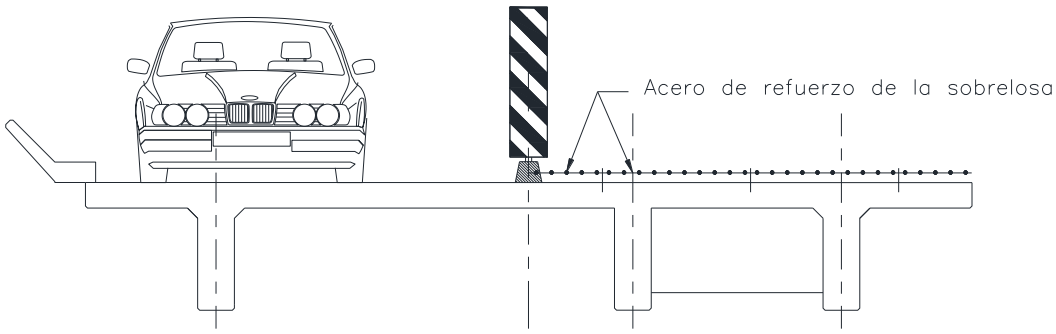


11. Terminada la demolición del punto anterior, se dará paso a la construcción de la sobrelosa conforme a lo asentado en el presente proyecto, que en forma general presenta los siguientes pasos:

- Colocar conectores de varilla del 4c tal como se muestra a continuación.

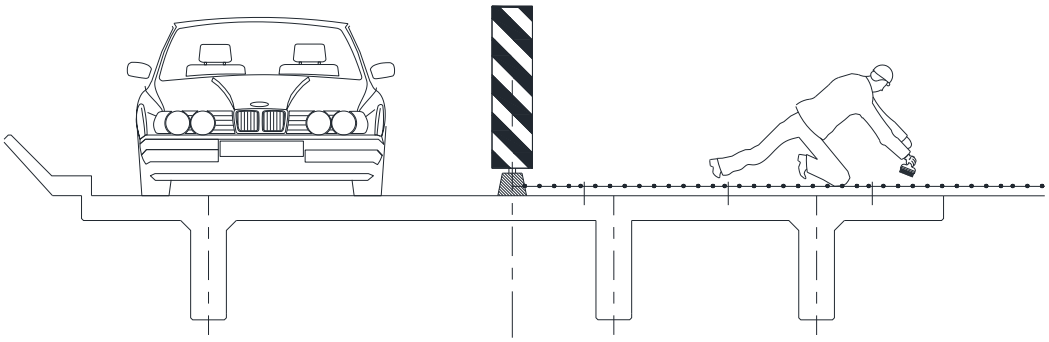


- Habilitar y colocar el acero de refuerzo de la sobrelosa.

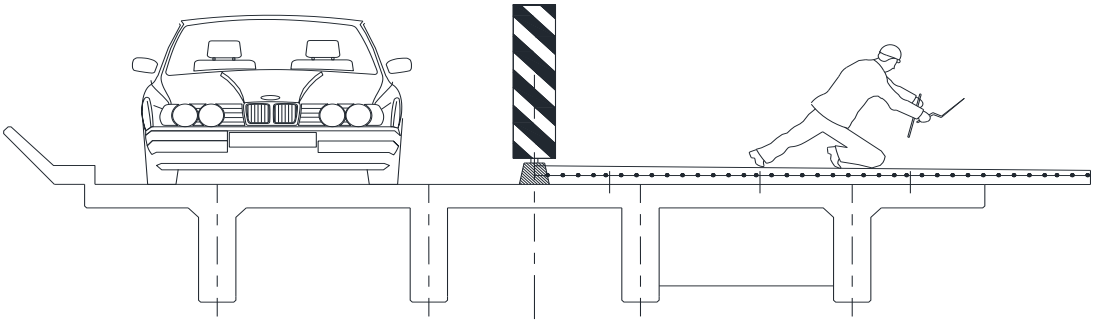


-

- Antes de colocar el concreto, se aplicará el festerbod para garantizar unir el concreto nuevo de la sobrelosa con el concreto ya existente de la losa.

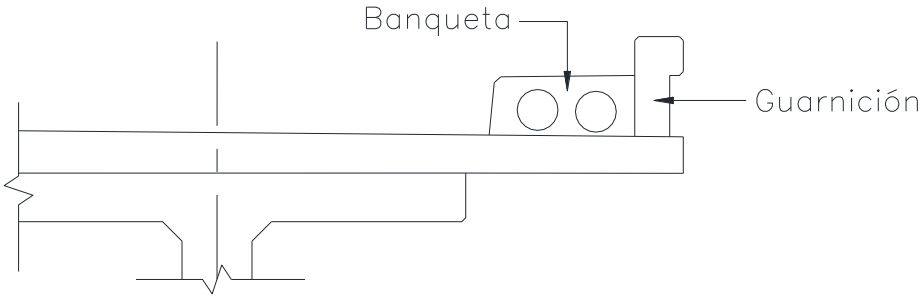


- Colado de la sobrelosa con los niveles indicados en el proyecto.

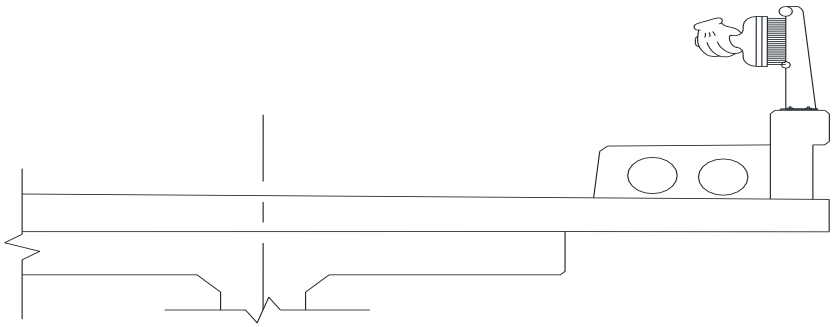


- Se deberán dejar las preparaciones necesarias para armar y colar las banquetas, guarniciones, así como para las juntas sobre la sobrelosa de acuerdo al presente proyecto.

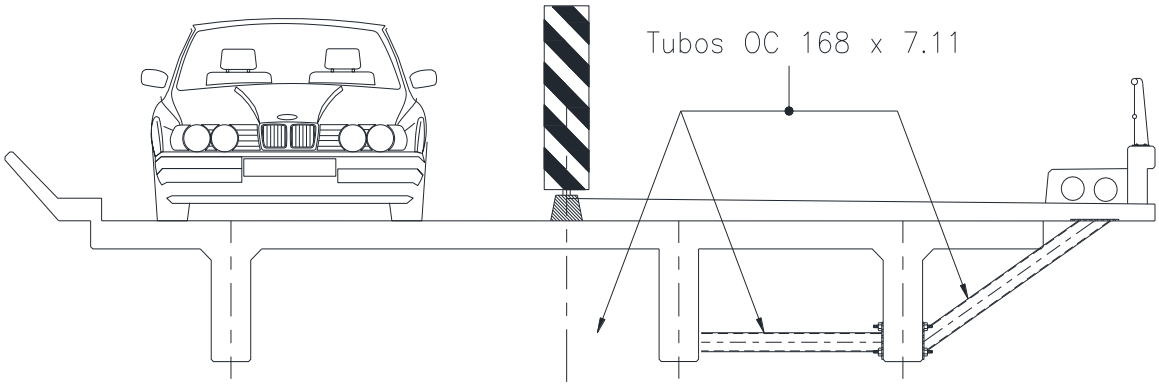
12. La actividad siguiente será la construcción de las banquetas y guarniciones de la estructura, sobre el hombro derecho de los tres tramos.



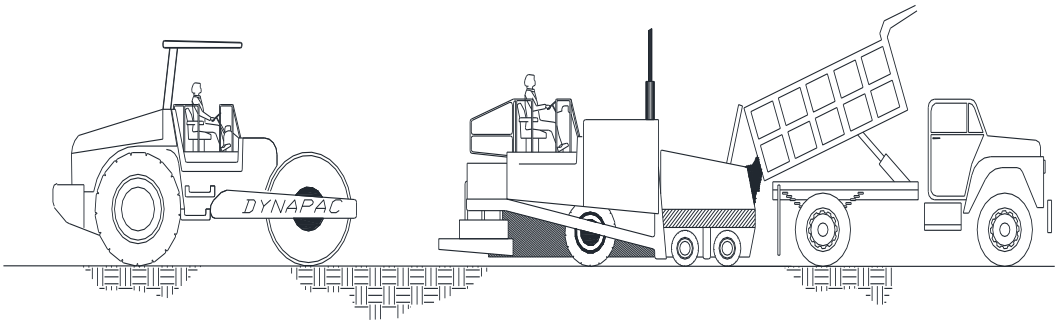
13. Cuando el concreto de las guarniciones alcance la resistencia de proyecto, se procederá a la colocación del parapeto, así como la aplicación de pintura a éste, una vez que se encuentre ya colocado y fijado a las guarniciones.



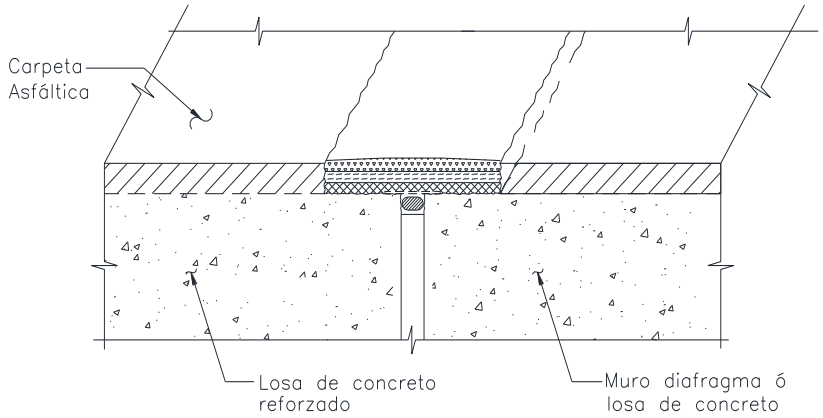
14. Cuando el concreto de la sobrelosa alcance la resistencia de proyecto, se procederá a la colocación de los tubos OC 168 X 7.11, placas y anclas, en los sitios indicados según los planos para reforzar los nuevos volados de la ampliación en losas.



15. Concluido los puntos anteriores, se ejecutarán el tendido y la compactación de la carpeta asfáltica, dando el espesor indicado en este proyecto, tanto sobre la superestructura como en los accesos del hombro derecho.

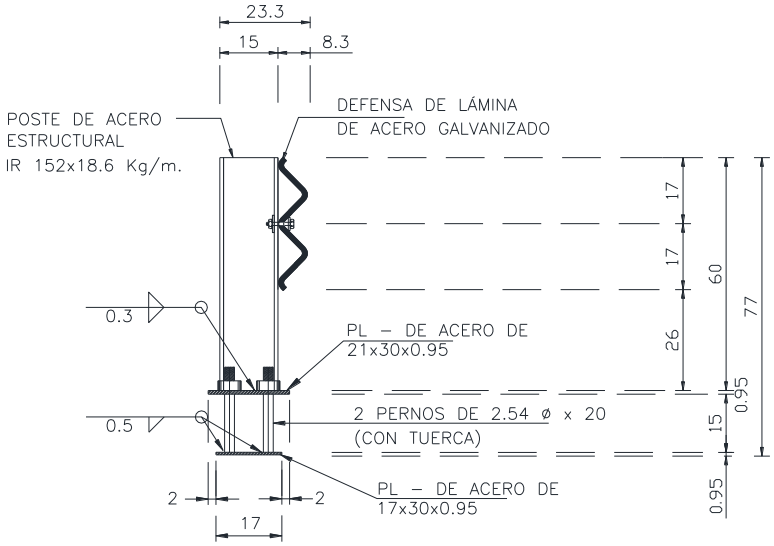


16. A continuación se procederá a la colocación de las juntas de dilatación, en los tramos ubicados en la zona de trabajo, según lo indicado en el presente proyecto.



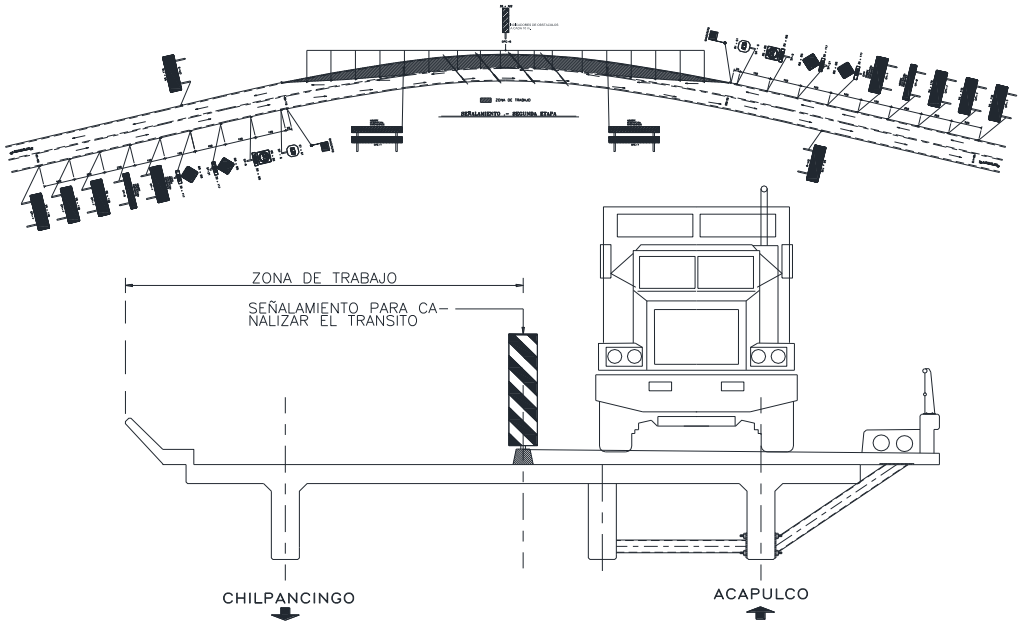
Junta "Matrix 502"

17. Posteriormente se efectuará la construcción de postes, bordillos, lavaderos y la colocación de la defensa metálica en los accesos, para lo cual, habrá de acatarse lo asentado en el plano general para la localización de dichos elementos dentro de los 40 m de ambos accesos.



Elevación del Poste

18. Concluidos todos los trabajos descritos en los puntos anteriores se invertirá el señalamiento, para ahora poder trabajar el hombro izquierdo, colocando el señalamiento indicado.



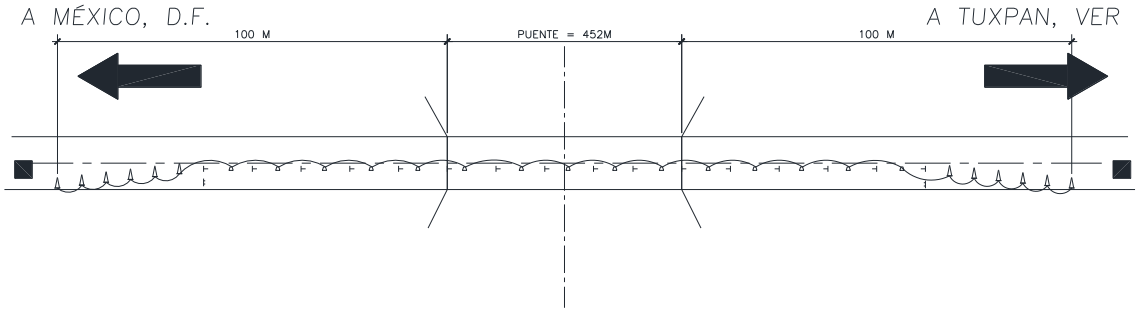
19. Una vez colocado el señalamiento descrito en el punto anterior, se repetirán los puntos 2 al 17 pero ahora sobre el hombro izquierdo, hasta concluir los trabajos de ampliación de la estructura existente.

A 5.4.18 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA REFORZAMIENTO CON PRESFUERZO EXTERNO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL

Procedimiento Constructivo

Etapa I. Señalamiento

Antes de comenzar los trabajos de reforzamiento del puente, se colocarán los necesarios señalamientos, informativos, preventivos y restrictivos, cerrando el tránsito a un carril del puente y canalizando el tránsito de los vehículos por medio de goteo.



Etapa II. Geometría

Se localizarán las zonas donde se colocarán los bloques de anclaje, diafragmas intermedios y bloque desviador. Se hará el levantamiento detallado de la sección transversal en las zonas donde se ubicarán los bloques de anclaje y diafragma intermedio, para definir geometría de cimbras y obra falsa requerida para la construcción de elementos de concreto.

De ser preciso se harán las adecuaciones necesarias al proyecto, para definir la geometría y disposición de bloques de anclaje y refuerzo requeridos.

Reforzamiento:

- Construcción de diafragmas nuevos (tramos en voladizo)
- Construcción de diafragma y bloques de anclaje sobre pilas
- Construcción de bloques de anclaje sobre pilas de acceso
- Tensado de barras en bloques de anclaje y tensado de presfuerzo longitudinal

Etapa III. Construcción de bloques de anclaje y desviador

Construcción de diafragmas nuevos (tramos en voladizo)

1. Localización de secciones donde se ubicarán los nuevos diafragmas y bloques de anclaje.
2. Perforación de nervaduras para paso de barras de presfuerzo en diafragmas nuevos.

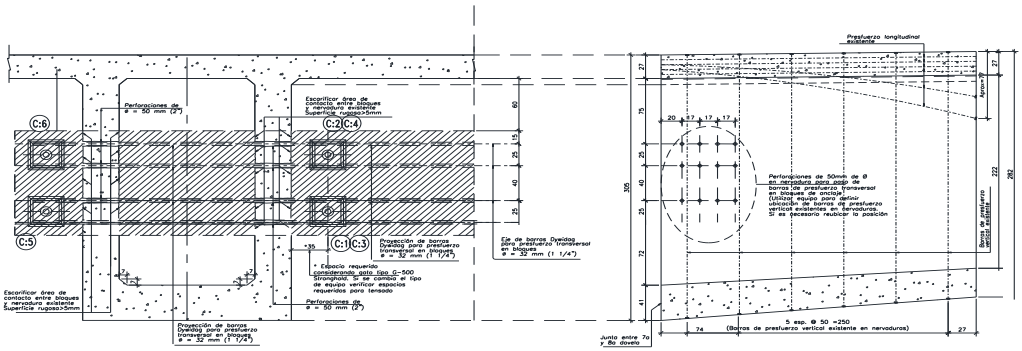
3. Escarificación de nervaduras en zona de contacto con diafragmas nuevos.

4. Construcción de diafragmas nuevos con f 'c=350 kg/cm^2.

5. De ser necesario se usará aditivo expansor de concreto, para garantizar el adecuado llenado de moldes y evitar deformación de elementos estructurales al tensar las barras del presfuerzo transversal.

6. Cuando el concreto en diafragma nuevo alcance una resistencia de 0.8f 'c = 280 kg/cm^2 podrán tensarse las barras de 32mm de Ø. El orden de tensado será tal que no provoque alta excentricidad de esfuerzos en la sección.

7. Presfuerzo transversal en diafragmas nuevos con barras de 32 mm de Ø, aplicando una fuerza de tensión de 67.8 ton/barra



Diafragma y bloques de anclaje, tramos en voladizo. Sección Transversal. Perforaciones para uso de barras

Construcción de Diafragma y Bloques de Anclaje Sobre Pilas

1. Demolición de guarnición en zona sobre pilas.

2. Perforación de losa para ubicar paso de barras de 32 mm de bloque desviador.

3. Perforación de nervaduras para paso de barras de presfuerzo en bloques de anclaje.

4. Escarificación de nervaduras en zona de contacto con diafragmas nuevos.

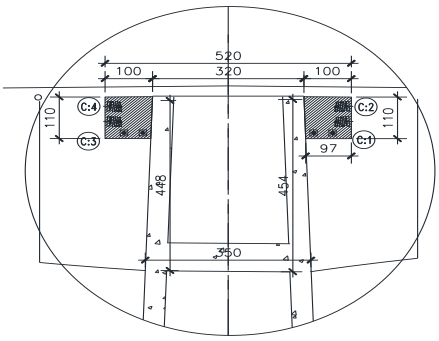
5. Construcción de diafragmas nuevos con f 'c=350 kg/cm^2.

6. De ser necesario se usará aditivo expansor de concreto para garantizar el adecuado llenado de moldes y evitar deformación de elementos estructurales, al tensar las barras del presfuerzo transversal.

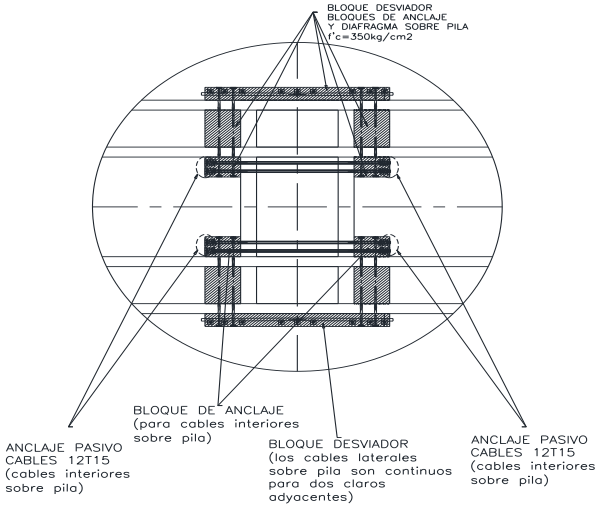
7. Presfuerzo vertical de barras en bloque desviador; barras verticales de 32mm de Ø a una fuerza máxima de 67.8 ton/barra.

8. Presfuerzo vertical (barras horizontales) en bloques de anclaje con barras de 32 mm de Ø, aplicando una fuerza máxima de 67.8 ton/barra.

9. El orden de tensado será tal que no provoque alta excentricidad de esfuerzos en la sección.



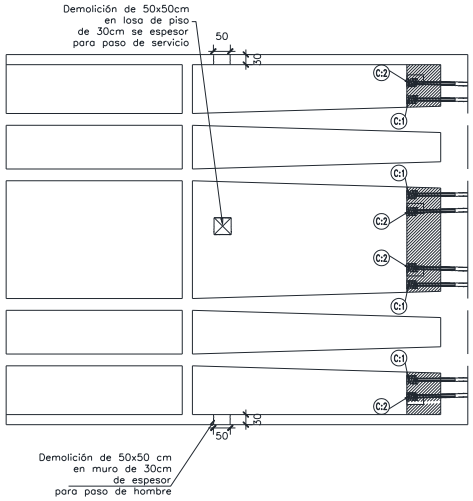
Diafragma y Bloques de anclaje Sobre Pilas – Elevación



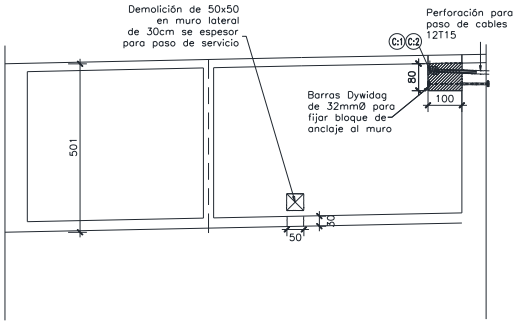
Diafragma y Bloques de Anclaje Sobre Pilas - Planta

Construcción de Bloques de Anclaje Sobre Pilas de Acceso

1. De ser necesario se abrirán ventanas para permitir el paso de personal para la construcción de bloque de anclaje, atrás del muro de pila de acceso.



a. Tramo de acceso (Planta)



Tramo de acceso (Elevación)

2. Perforación de muro para ubicar paso de barras de 32 mm de bloque de anclaje.
3. Perforación de muro para paso de cables de presfuerzo 12T15.
4. Escarificación de nervaduras en zona de contacto con diafragmas nuevos.
5. Construcción de diafragmas nuevos con f ’c=350 kg/cm^2.

6. Cuando el concreto en bloques alcance una resistencia de 0.8f ’c = 280 kg/cm^2 podrán tensarse las barras de 32mm de Ø. El orden de tensado será tal que no provoque alta excentricidad de esfuerzos en la sección.

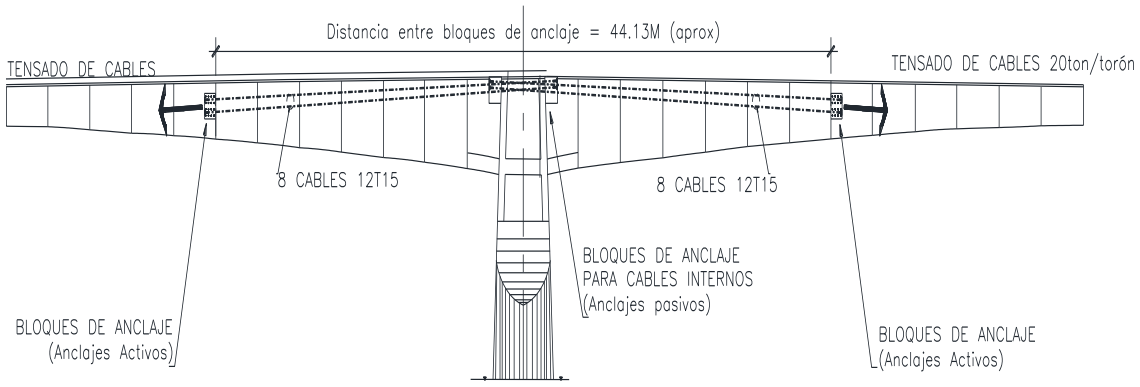
7. Presfuerzo transversal en bloques con barras de 32 mm de Ø, aplicando una fuerza de tensión máxima de 67.8 ton/barra.

Presfuerzo Longitudinal

1. Colocación de cables 12T15 en vaina de polietileno de alta densidad.

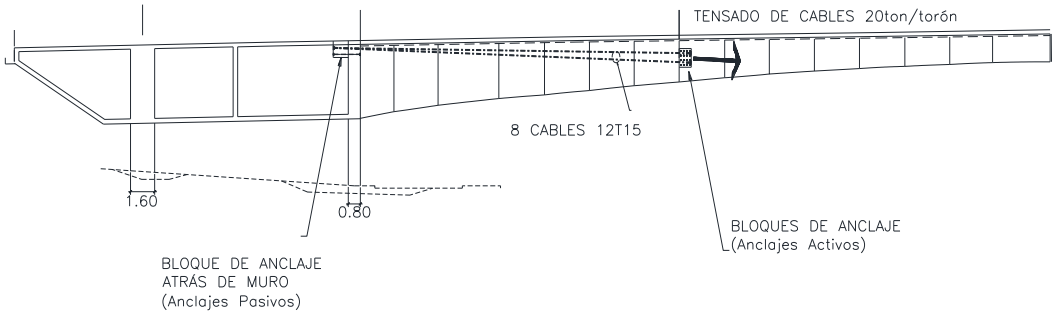
2. Colocación de dispositivos de anclaje para cables 12T15.

3. Tensado de cables de presfuerzo a un máximo de 20 ton/torón.



4. El tensado de cables se hará en forma simétrica; la tensión se mediará en función del alargamiento de cables, previas pruebas de laboratorio y definiendo con exactitud la longitud efectiva de los cables.

5. Primero se hará la tensión en cables sobre pila y después en los tramos de acceso.



6. Concluidos los trabajos de tensión de cables se procede a la inyección de lechada en ductos.

7. Sellado de anclajes con mortero Grout.

A 5.4.19 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA SUSTITUIR PRESFUERZO VERTICAL

Debe sustituirse totalmente el presfuerzo de las dos primeras trabes, conforme a la solución indicada en este proyecto, antes de atacar las dos trabes contiguas al tramo siguiente, y así sucesivamente hasta el tramo 8-9, se deben terminar totalmente los trabajos del carril en reparación incluyendo al cambio de las juntas de dilatación, antes de iniciar con el otro carril. Por ningún motivo se atacaran ambos carriles a la vez.

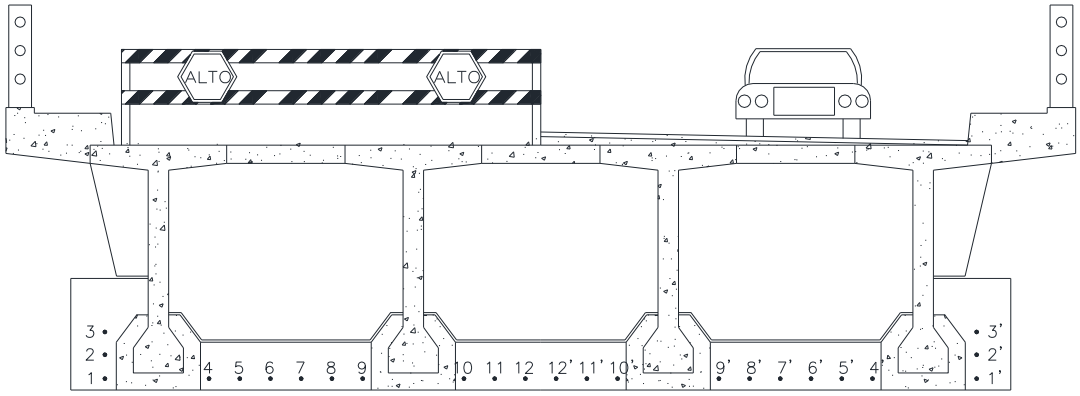
1. Se coloca el señalamiento para cerrar la circulación de un solo carril del tramo en reparación a lo largo de todo el puente.

2. Se efectúa la demolición de carpeta y sobrelosa de 5 cm de espesor.

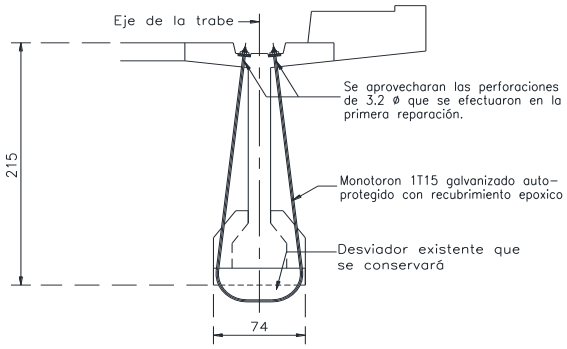
3. Se descubren los anclajes de la trabe extrema bajo el carril que se ha cerrado y los anclajes del presfuerzo vertical.

4. Se procede a destensar y retirar los cables longitudinales de la siguiente manera:

   - Se retiran los estribos formados por cable Monotoron t15.
   - Se destensan los cables 1 y 4 (se hace referencia al croquis).
   - Se prosigue con los cables 2 y 5.
   - Se destensan los cables 3 y 6.



5. Se colocan y tensan los monotorones t15 en sustitución de los ya retirados.



Monotorones

6. Inmediatamente se procede a realizar la adecuación de los ductos de acero de 7.6 ∅ existentes, tanto en los bloques de anclaje como en los de desvió, según se indica en el plano correspondiente.

7. Se efectúa limpieza integral de estos ductos mediante una carda, para garantizar el retiro del posible óxido existente.

8. Se alojan las vainas de P.H.D. de 6.3 cm ∅ que reciben los cables 10t13, haciéndolas pasar por los bloques de anclaje y desvío.

9. Se reemplazan los anclajes y se procede a efectuar los barrenos de 1/2" x 20 cm para alojar las varillas a los cajetines, conforme a la adecuación que se hacen de éstos.

10. Antes de colocar el acero de presfuerzo longitudinal, se reemplazan las barras de 32 mm ∅, que se encuentren dañadas.

11. A continuación se insertan los cables, sustituyendo a los retirados anteriormente, así como sus aditamentos.

12. Al mismo tiempo, se procede a descubrir el anclaje de la trabe contigua y se procede a destensar en el siguiente orden:

    a) Se destensan los cables 7 y 12 (se hace referencia al croquis)
    b) Se prosigue con los cables 8 y 11
    c) Y finalmente se destensan los cables 9 y 10
    d) Se retiran los Monotorones t15

13. Inmediatamente se procede a realizar la adecuación de los ductos de acero de 7.6 ∅ existentes, tanto en los bloques de anclaje como en los de desvió, según se indica en el plano correspondiente.

14. Se efectúa una limpieza integral de estos ductos mediante una carda, para garantizar el retiro del posible óxido existente.

15. Se alojan las vainas de P.H.D. de 6.3 cm ∅ que reciben los cables 10t13, haciéndolas pasar por los bloques de anclaje y desvío.

16. Se procede al tensado de los cables de la trabe extrema invirtiendo el orden en que se destensaron los cables dañados, es decir se tensarán primero los cables 3 y 6, se proseguirá con los cables 2 y 5 y finalmente los cables 1 y 4.

    A continuación se colocan las medias cañas uniéndolas por termofusión, para posteriormente realizar el inyectado del voltagel.

17. Inmediatamente se procede al tensado de los cables de la trabe contigua invirtiendo el orden en el que se destensaron los cables dañados, es decir se tensan primero los cables 9 y 10, luego se prosigue con los cables 8 y 9.

    Y finalmente se tensarán los cables 7 y 12.

    A continuación se colocan las medias cañas uniéndolas por termofusión, para posteriormente realizar el inyectado del voltagel.

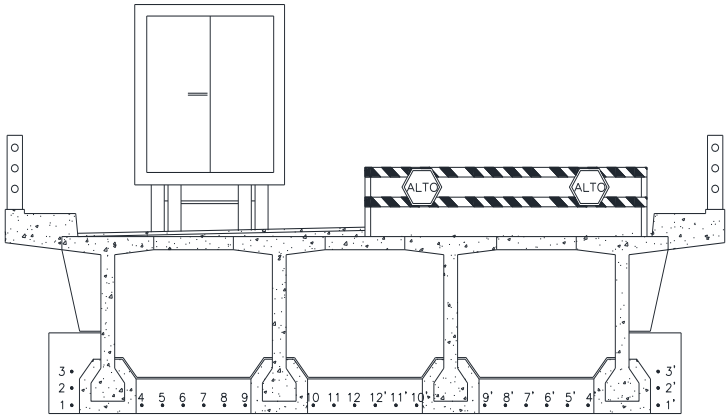
18. Se doblan las varillas y se efectúa el colado de los sellos de liga con grout.

19. Posteriormente se procede al colado de la sobrelosa de 5 cm de espesor con armado a base de malla electrosoldada 6 x 6 6/6 y concreto de f'c = 250 kg/cm^2 en este carril del presente tramo.

20. Finalmente se procede al cambio de la junta de dilatación, así como a la colocación de la carpeta asfáltica de 4 cm de espesor.

21. Se cimbra y cuela el concreto simple para adecuar la ampliación del patín inferior, a fin de evitar infiltración de humedad y la generación de nidos en la zona superior actual de dicho patín, en ambas trabes reparadas.

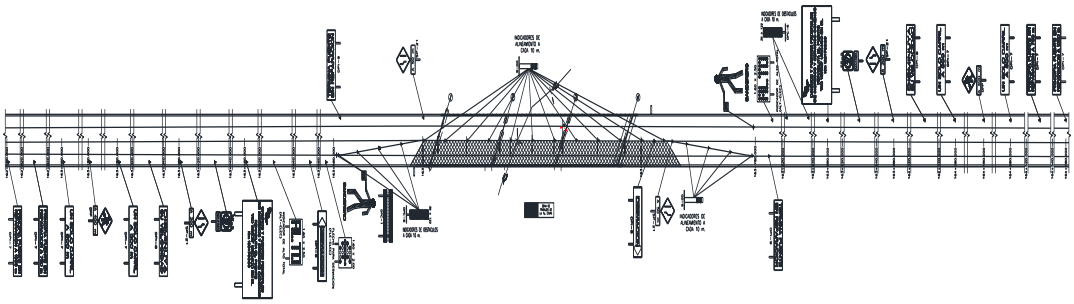
22. Una vez concluida en su totalidad la reparación de este carril a lo largo del puente, se cambiará el señalamiento para la reparación de las dos trabes contiguas.



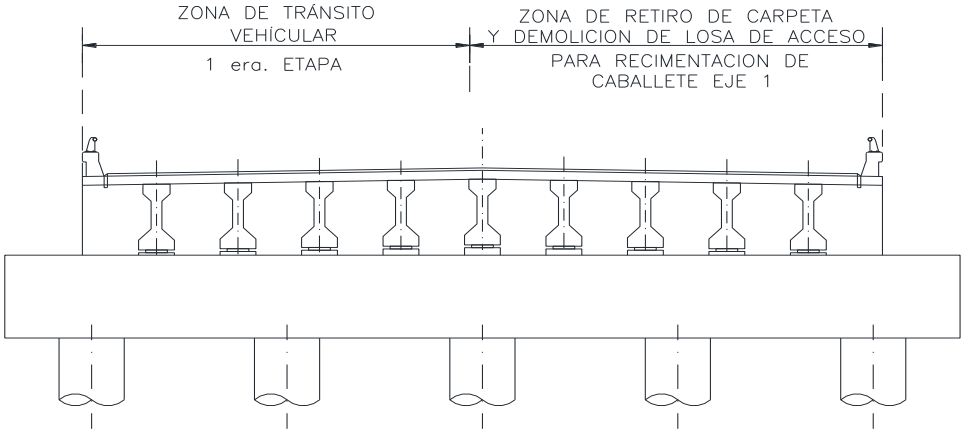
23. Se aplica el mismo procedimiento de los puntos anteriores, para reforzar las trabes faltantes.

A 5.4.20 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA RECIMENTACIÓN CON PILASTRONES Y PRESFUERZO

1. Antes de realizar cualquier trabajo sobre el puente se debe colocar el señalamiento necesario, para el desvío del tránsito sobre el puente existente.



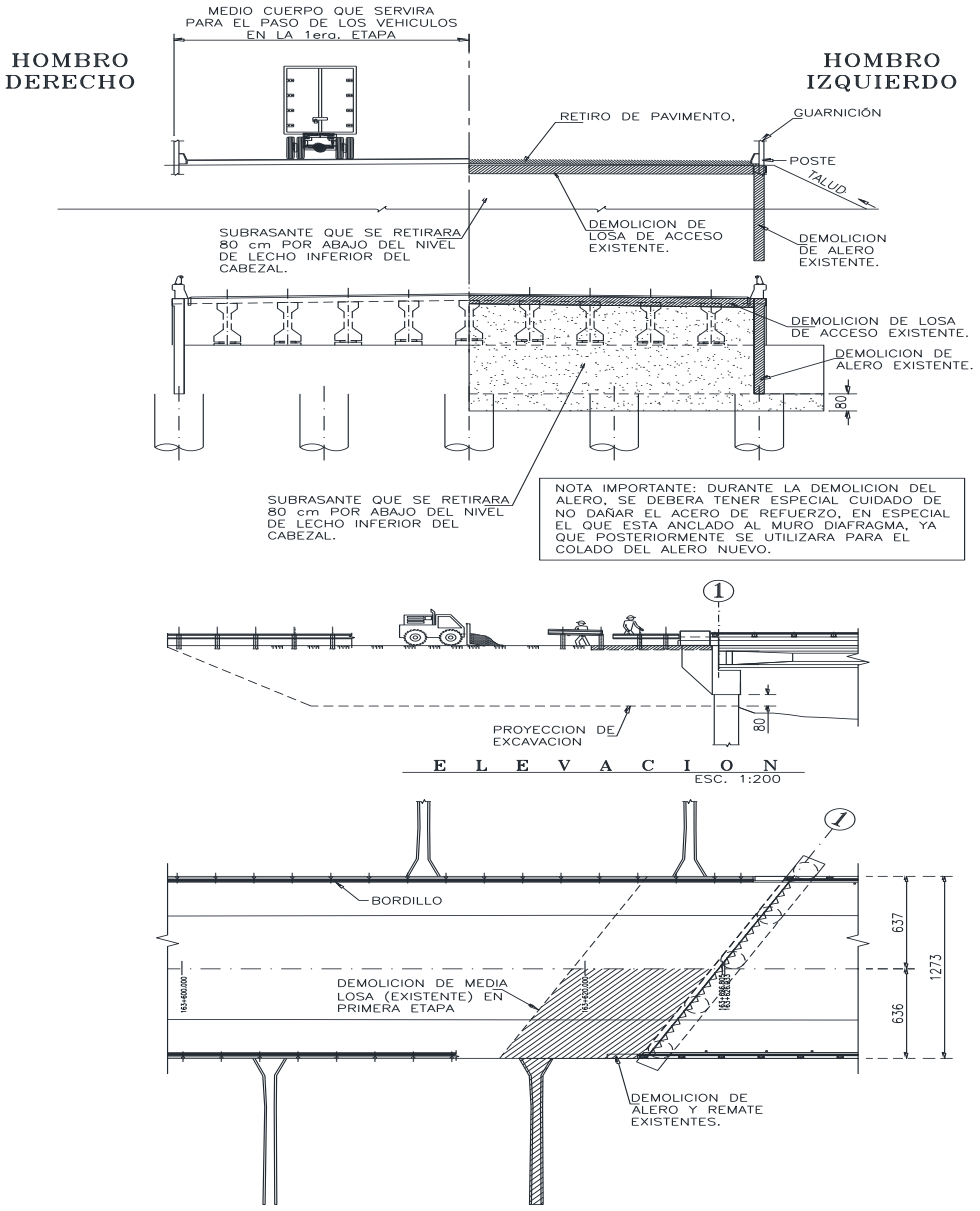
2. Una vez colocado el señalamiento se desvía el tráfico por un carril del puente y dejando el otro cerrado para el inicio de los trabajos de recimentación en el caballete eje no. 1. El señalamiento se debe cambiar de posición una vez terminados los trabajos en el cuerpo donde se hayan iniciado los trabajos.



Elevación tipo para caballete eje 1

3. Se desmantela la defensa metálica, postes y accesorios en el acceso y se retira la carpeta asfáltica hasta la losa de acceso en el eje 1; estos trabajos, como ya se mencionó, se hacen por partes empezado por una calzada. Una vez retirada la carpeta asfáltica, se procede a demoler la losa de acceso existente, así como también el remate de parapeto y alero sobre el hombro que se esté trabajando.

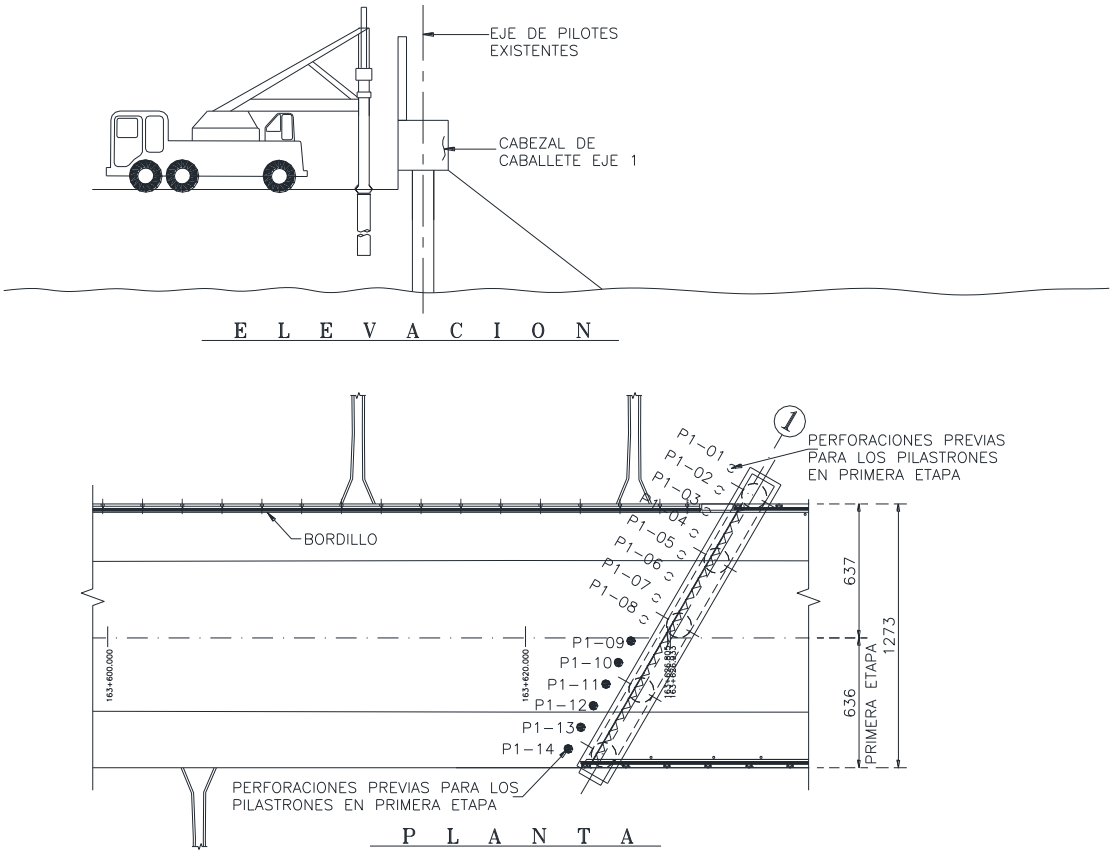
4. Una vez hecho lo anterior se excava hasta el nivel del lecho inferior del cabezal y por 80 cm abajo de éste.



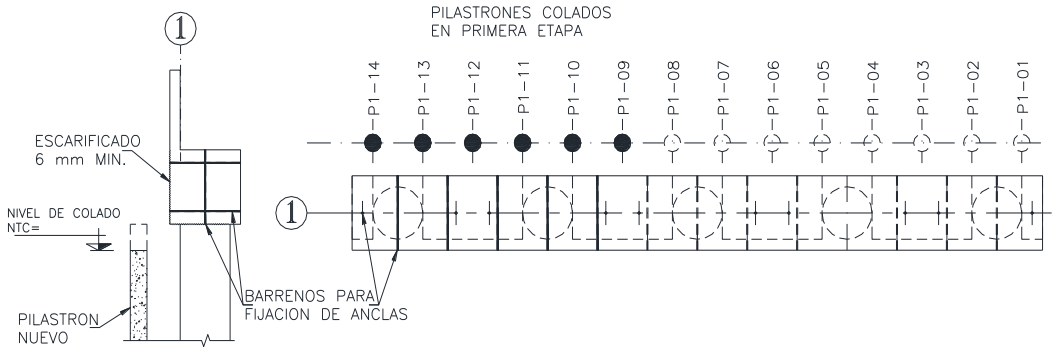
Planta

5. Una vez terminada la excavación en el acceso del caballete eje 1 se procede al sembrado de los pilastrones y se hacen sus perforaciones previas.

6. Una vez terminada las perforaciones previas en el caballete eje 1 se elabora el habilitado del acero de refuerzo para los pilastrones que se colarán.



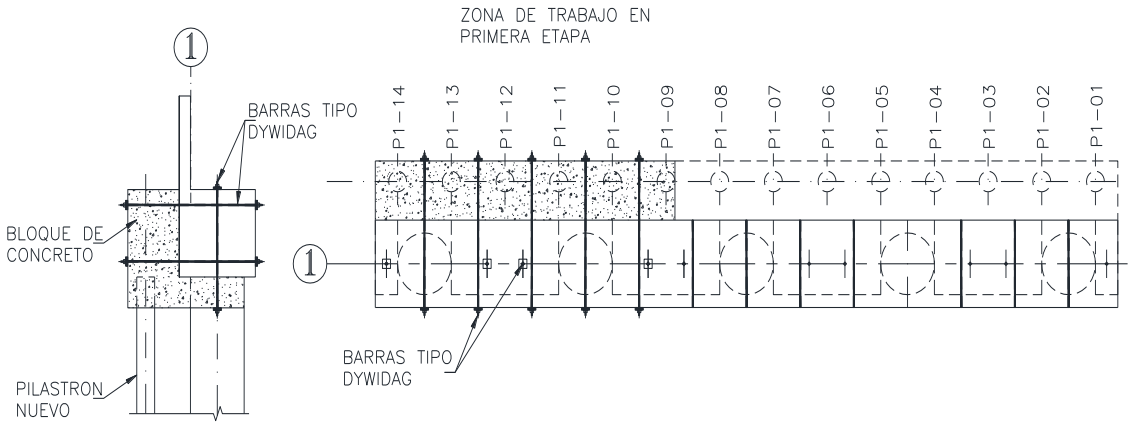
7. Una vez que se habilitó el acero de refuerzo para los pilastrones, se procede a colar hasta los niveles indicados en el proyecto. Asimismo, se puede ir haciendo el escarificado del cabezal existente y los barrenos para la fijación de las anclas tipo barras Dywidag. De igual forma que en el caballete eje 1, se puede hacer el escarificado y los barrenos en las zapatas de las pilas ejes 2 y 3.



Elevación Caballete Eje 1 ***Planta Caballete Eje 1***

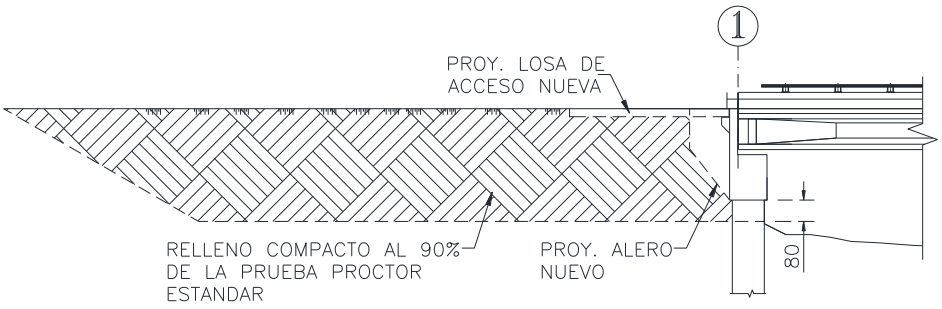
a. Una vez realizado el punto anterior y que el concreto tenga la resistencia de proyecto, se procede a cimbrar y habilitar el acero de refuerzo para el bloque y la ménsula. Asímismo, se podrán dejar las barras de presfuerzo habilitadas para postensarlas posteriormente.

b. Se colarán el bloque y la ménsula; previo a ello se debe colocar un aditivo para unir el concreto viejo con el nuevo. Una vez que el concreto en el bloque y la ménsula tengan la resistencia de proyecto se podrá hacer el tensado de las barras tipo Dywidag, como se indica en el proyecto.



Elevación caballete eje 1 ***Planta caballete eje 1***

c. Una vez que se tensaron los bloques y la ménsula, se podrá rellenar la zona de trabajo hasta alcanzar el nivel de desplante de la losa de acceso, este relleno debe estar compacto cuando menos al 90% de la prueba proctor estándar. Se coloca cartón asfaltado en las ménsulas existentes donde se apoya la losa de acceso nueva y se pueden hacer el cimbrado, suministro y habilitado del acero refuerzo para su colado. Una vez terminado lo anterior se cimbra y coloca el refuerzo secundario para el colado del alero, continuando con la construcción del remate de parapeto reubicado ya sobre la losa de la superestructura.



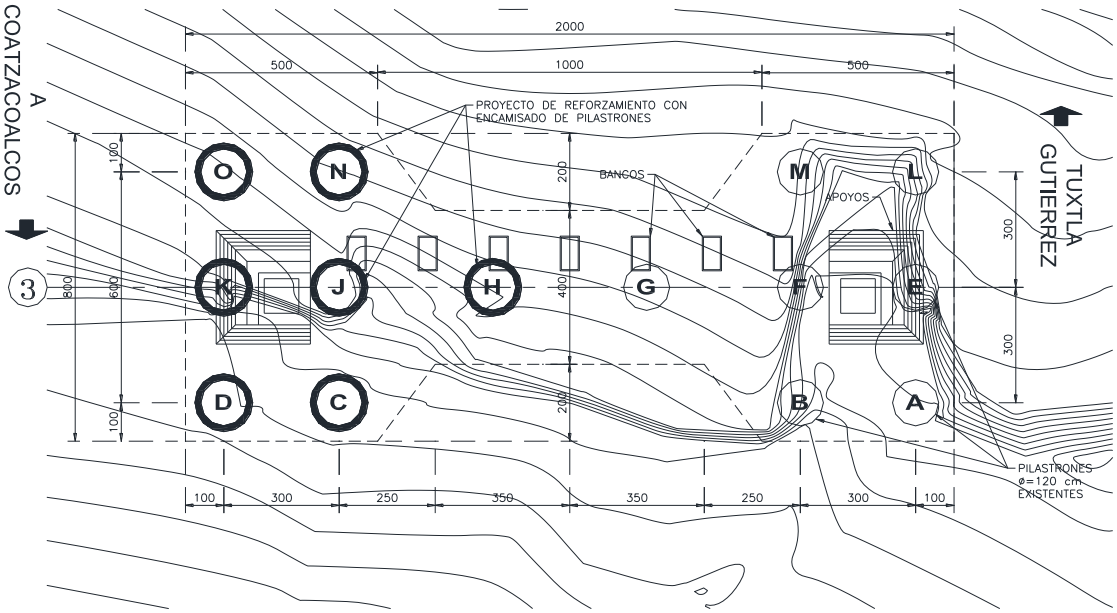
Elevación

d. Una vez terminada la primera etapa de la recimentación se podrá reinstalar la defensa metálica con sus postes y accesorios.

Alcanzada la resistencia de proyecto de todos los elementos, se continúa con la segunda etapa, para el reforzamiento del caballete eje 1, consistente en cambio de señalamiento, retiro de la carpeta existente, demolición de la losa de acceso y alero, excavación, sembrado de pilastrones, perforación previa para el colado de pilastrones, suministro y habilitado del acero de refuerzo, colado de pilastrones, perforaciones para anclaje con barras de presfuerzo en cabezal, cimbrado, suministro y habilitado del acero de refuerzo y presfuerzo en bloque y ménsula, colado de bloque y ménsula, relleno, colocación de cartón asfaltado en ménsula de apoyo de losa de acceso, cimbrado, suministro y habilitado del acero de refuerzo para el colado de la losa de acceso y alero.

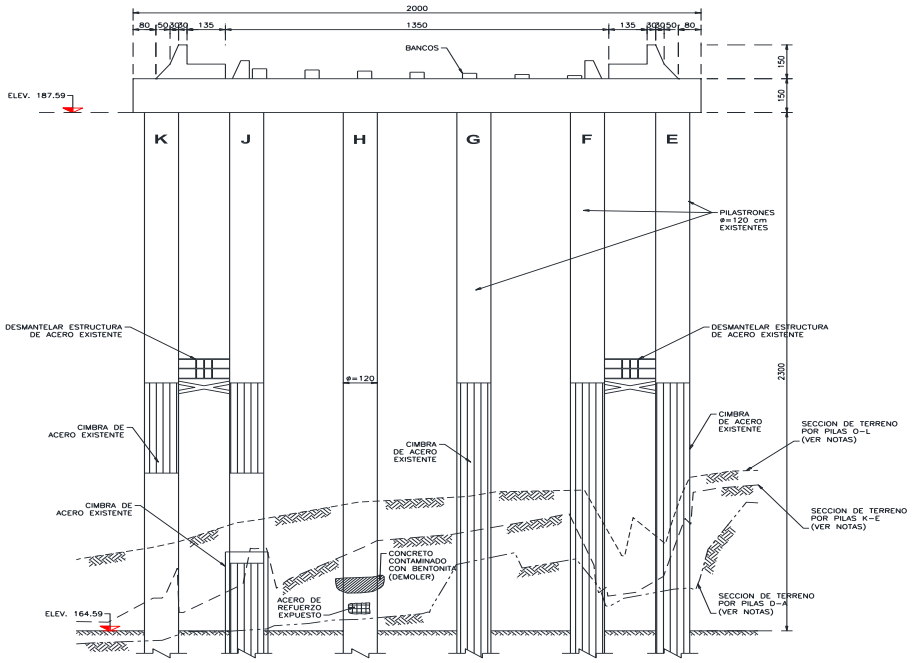
Y una vez terminado lo anterior, se podrán concluir los trabajos de la segunda etapa de la recimentación del caballete eje 1. De igual forma, una vez que se haya alcanzado la resistencia de proyecto de todos los elementos en la segunda etapa (última), se coloca la carpeta asfáltica en ambos cuerpos del acceso del caballete eje 1 y se pintan las líneas que delimitan las bandas de circulación y sus acotamientos.

A 5.4.21 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA REFUERZO DE PILASTRONES CON ENCAMISADO DE CONCRETO

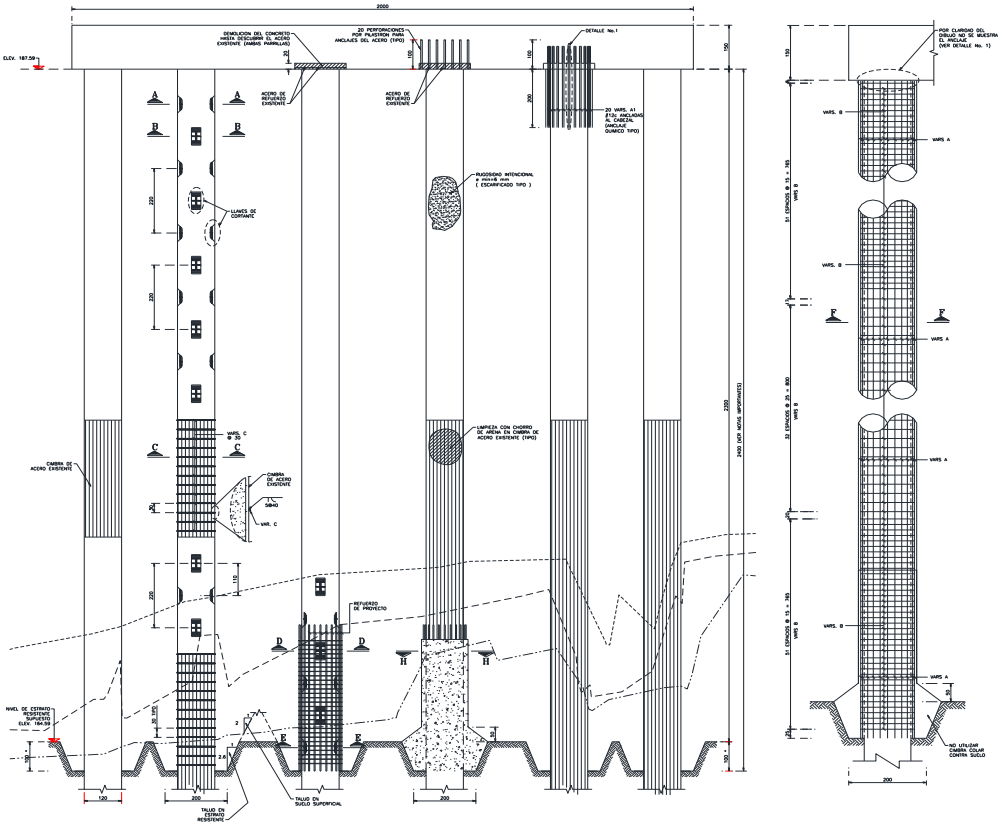


Media sección de proyecto *Media sección existente*

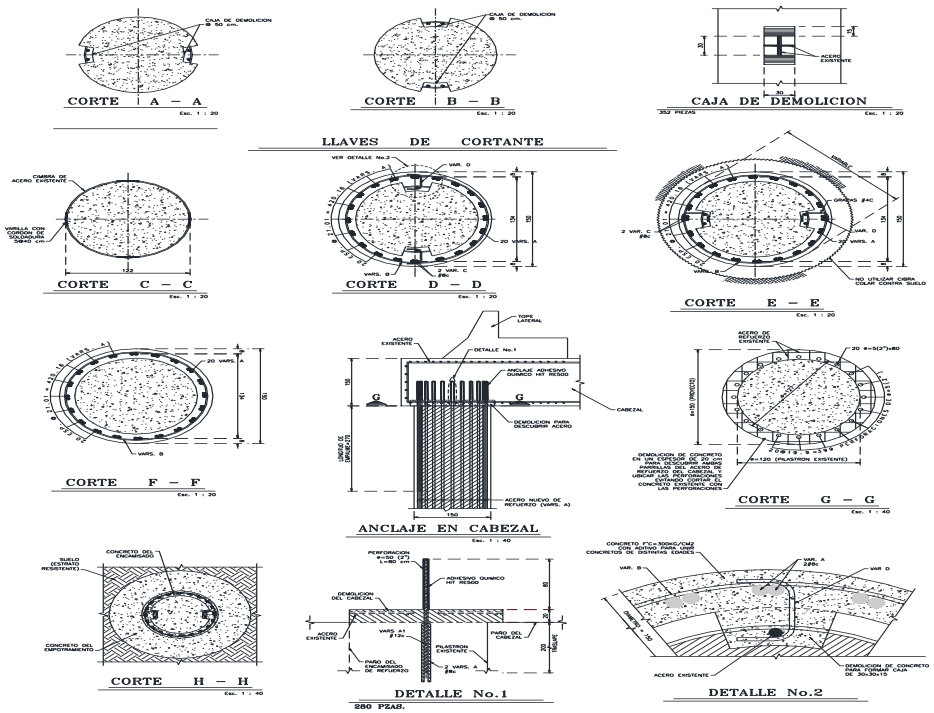
Planta



Elevación existente



Trabajos previos *Encamisado de pilastrones*



Procedimiento Constructivo

Reparación y Refuerzo del Apoyo Eje No. 3

El objetivo del reforzamiento del apoyo del eje No. 3 es el reparar y reforzar, buscando darle mayor inercia al apoyo para que su resistencia y desplazamientos estén dentro de lo permisible. Para ello es necesario realizar las 5 actividades siguientes:

Nota: Se recomienda que los trabajos de reparación y reforzamiento del apoyo se realicen en época de estiaje, esto es cuando la presa tenga su nivel de aguas mínimo del ciclo anual (que las pilas queden en seco).

1. Trabajos Previos

1.1. Desmantelamiento de estructuras metálicas existentes (utilizadas durante el procedimiento constructivo original).

1.2. Excavación para desplante del encamisado de los pilastrones.

1.3. Demolición de concreto contaminado con lodo bentonítico.

2. Reparación de Zonas Dañadas o Contaminadas

Reparación de concreto con oquedades o cavidades con o sin acero de refuerzo expuesto. Para lo cual es necesario:

2.1 Una vez que se realizó la demolición del concreto contaminado, se identificarán las zonas con oquedades o cavidades, realizando una caja en cada una de las zonas con cortes a 90 grados para exponer el acero de refuerzo del pilastrón (el concreto se puede retirar mediante cincel y martillo) hasta 2 cm atrás del acero principal.

2.2 Posteriormente, se limpian las superficies del acero y del concreto (si las barras existentes han perdido más del 25% de su sección transversal, será necesario reemplazarlas en cantidad y diámetro).

2.3 Una vez terminada la limpieza, se procede a colocar un aditivo para unir concretos de distintas edades, quedando lista la preparación para recibir el concreto nuevo del encamisado. Se tendrá especial cuidado de que el concreto rellene perfectamente la caja mediante la vibración.

3. Integración de Encamisado y Pilastrón Existente

3.1 Ubicar y realizar las cajas (llaves de cortante), descubriendo el acero existente y colocar el acero que une el refuerzo existente con el nuevo.

3.2 En las zonas de concreto (donde no existe cimbra metálica) realizá un escarificado de un espesor mínimo de 6 mm (rugosidad intencional). Se considera una longitud total de 216 m para la cubicación.

3.3 Sobre la cimbra metálica existente se realiza limpieza con chorro de arena a presión (Sand Blasteo). Se considera una longitud total de 120 m para la cubicación.

3.4 En la cimbra metálica existente se colocan anillos (varilla soldada) que servirán para ligar la cimbra metálica existente con el concreto del encamisado.

4. Anclaje del Acero de Refuerzo del Encamisado del Pilastrón al Cabezal Existente

4.1 En la parte inferior del cabezal (sobre cabezal) se realiza la demolición del concreto para descubrir el acero de refuerzo del cabezal.

4.2 Ubicar las perforaciones, librando el acero de refuerzo existente. Las perforaciones son sobre cabeza de 5 cm (2") de diámetro por 80 cm de profundidad, según se indican en el plano.

4.3 Limpiar el orificio con la ayuda de un cepillo y aire a presión.

4.4 Colocar el adhesivo de inyección "Hit Re 500" (o similar) empezando desde el fondo del orificio hasta llenar de 1/2 a 2/3 partes del agujero.

4.5 Insertar la varilla del # 12c en el agujero, haciéndola girar durante la instalación.

4.6 Fijar la varilla recién insertada al acero de refuerzo del cabezal, evitando moverla mientras gela el adhesivo.

5. Encamisado de Pilastrones

5.1 Habilitar y colocar el acero de refuerzo, dejando anclado el acero de refuerzo del muro que protege a los pilastrones.

5.2 Posteriormente se coloca el concreto incluyendo un aditivo para unir concretos de distintas edades.

5.3 Para colar el concreto por debajo del terreno resistente (empotre) no se utiliza cimbra; colar directo contra el suelo.

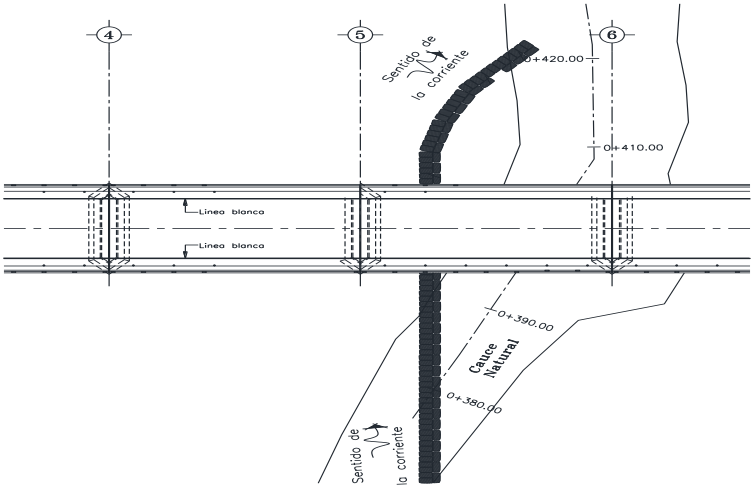
5.4 El trepado de colado queda a juicio y discreción del constructor.

A 5.4.22 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO PARA RECIMENTACIÓN CON AMPLIACIÓN DE ZAPATA Y PROTECCIÓN CONTRA SOCAVACIÓN CON ENROCAMIENTO

Paso No.1

Reencauzar el río, mediante un bordo formado por costaleras, canalizando el flujo a un lado de la pila No. 5, para trabajar por la Pila No. 6.

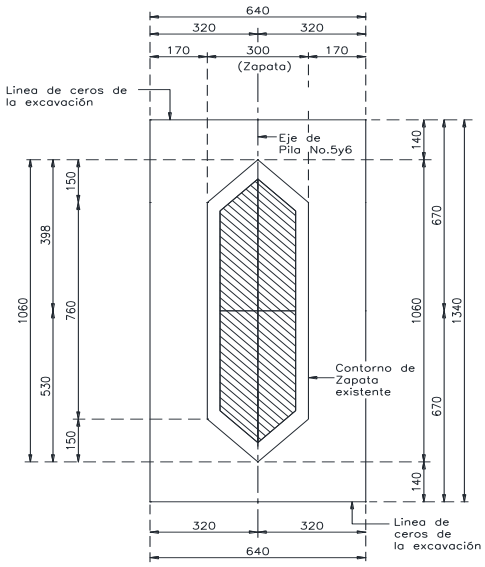
Terminado los trabajos en la Pila No. 6, se canaliza el agua por otro lado para comenzar a trabajar en la Pila No. 5.



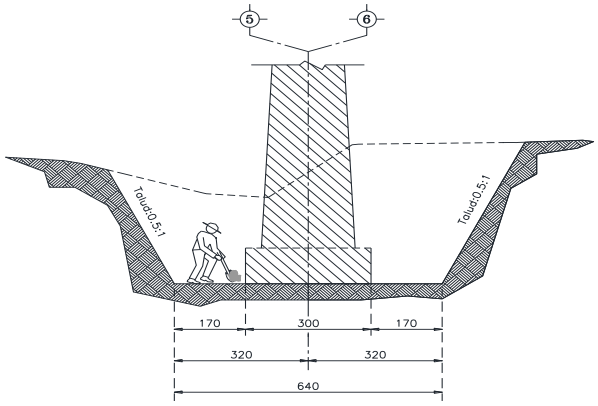
Paso No.2

Se realiza la excavación como a continuación se ilustra.

Se emplea un equipo de bombeo para abatir el agua proveniente de filtraciones procedentes del NAmin.



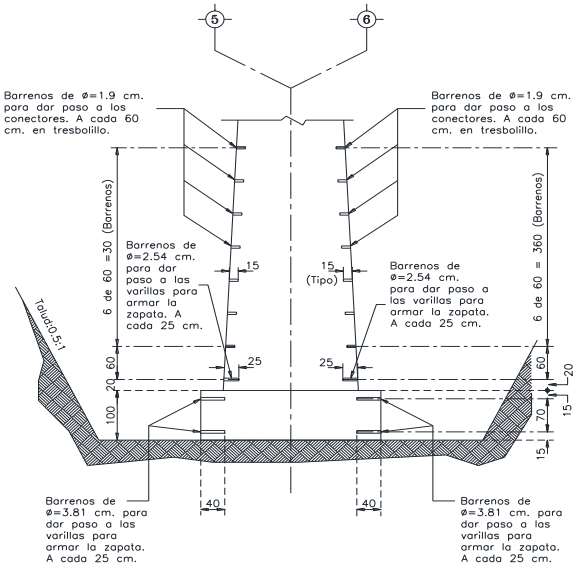
Planta – Excavación



Corte A-A

Paso No. 3

Realizar barrenos en las paredes de la Zapata y cuerpo de Pila para colocar conectores, como se ilustra en la siguiente figura.

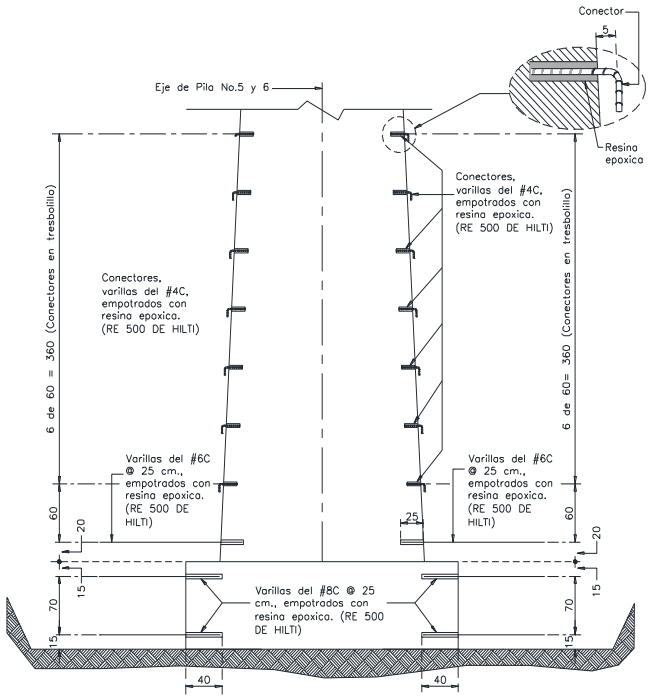


Sección Transversal

Paso No. 4

Colocar los conectores en el cuerpo de la Pila y habilitar las varillas en las caras de la Zapata, para armar la ampliación de la Zapata.

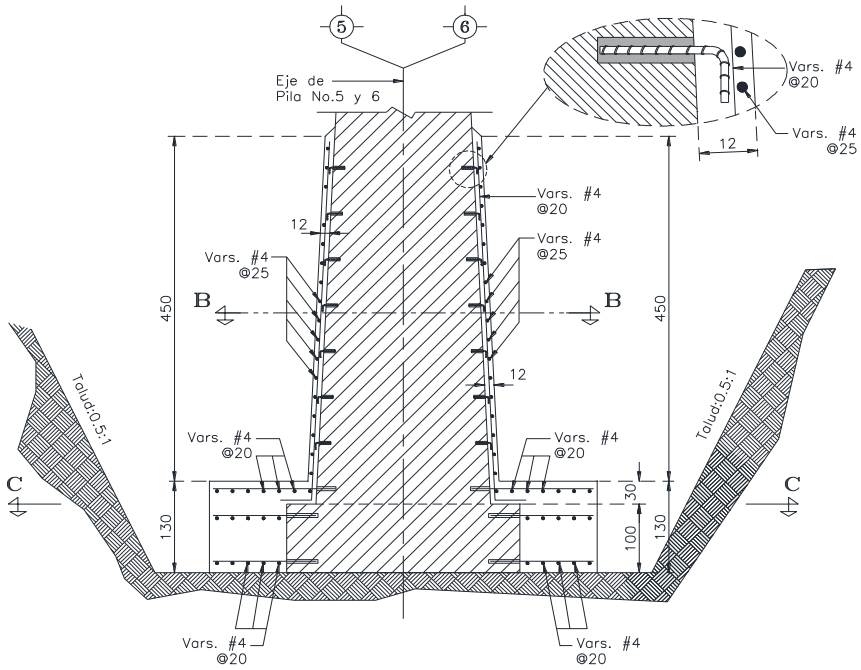
El empotramiento de los conectores y varillas en la Zapata será con un mortero epóxico.



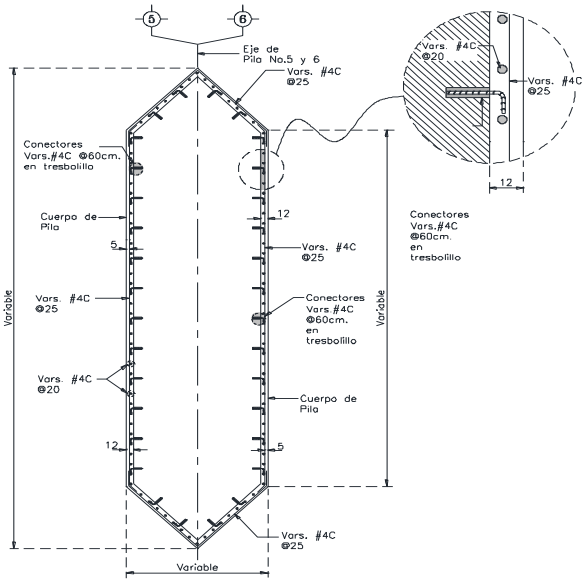
Sección Transversal

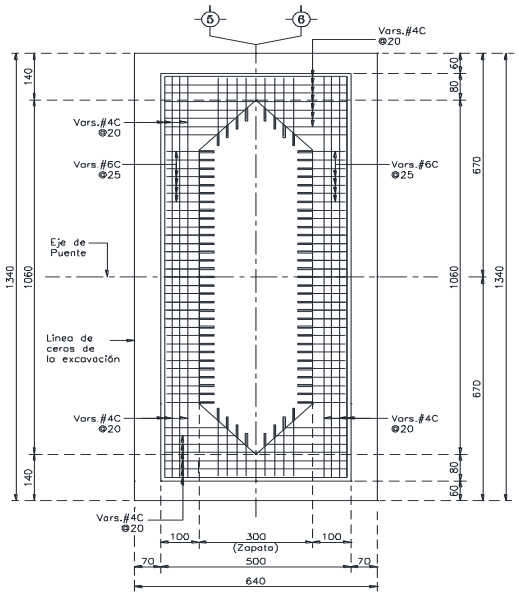
Paso No.5

Habilitar el acero de refuerzo en el cuerpo de la Pila para su encamizado, y refuerzo en la Zapata ampliándola, para posteriormente cimbrar y colar con un concreto de f'c=250 Kg/cm.



Sección Transversal





Corte B - B

A 5.5.1 CARACTERÍSTICAS DEL SEÑALAMIENTO

Señales Preventivas (SP)

Tienen como función dar al usuario un aviso anticipado o para prevenir la existencia de algún obstáculo que puede estar sobre la carretera, de un peligro potencial y de su naturaleza.

La señal por si misma debe provocar que el conductor adopte medidas de precaución y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón.

Las señales preventivas deben instalarse siempre que una investigación o estudio de transito indique que existe una condición de peligro. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas son las siguientes:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas.
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles y pasos a nivel con vías de ferrocarril.
- Reducción o aumento del número de carriles y cambios de anchura de pavimento.
- Pendientes peligrosas.
- Proximidad de un crucero donde existe un semáforo o donde se debe hacer un alto.
- Pasos peatonales y cruces escolares.
- Condiciones deficientes en la superficie de la carretera o calle, como presencia de huecos y protuberancias.
- Presencia de derrumbes, grava suelta, etcétera.
- Aviso anticipado de dispositivos de control por obras de construcción.

El tablero de las señales preventivas es de forma cuadrada, de esquinas redondas, que se coloca con una de sus diagonales en sentido vertical tomando la forma de diamante. Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo, llevan un tablero adicional en su parte inferior de forma rectangular con su mayor dimensión en posición horizontal y con las esquinas redondeadas, con leyendas, entre otras, como 3.20 m ó la distancia a la que se presenta la situación que se señala, formando así un conjunto.

Los colores de las señales preventivas son en acabado reflejante: amarillo para el fondo, y negro para el símbolo, leyendas, caracteres y filete, a excepción del símbolo de “ALTO” en la señal de “ALTO PRÓXIMO”, que debe de ser rojo y el símbolo de la señal “TERMINA PAVIMENTO”, que debe ser negro con blanco.

El tablero adicional debe tener fondo de color amarillo reflejante, con letras y filetes de color negro.

El color del reverso del tablero y de las estructura de soporte son gris mate o acabado galvanizado.

La ubicación de las señales preventivas en sentido longitudinal será antes del riesgo que se trate de señalar, a una distancia que depende de la velocidad de aproximación, la cual puede variar (a juicio del proyectista) en situaciones especiales para lograr las mejores condiciones de visibilidad. En sentido lateral las señales se fijan en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras o sobre la banqueta en calles, a las distancias laterales y alturas que especifiquen el uso de las señales preventivas en la práctica.

Tabla de correlación distancia / velocidad

Velocidad KM/H	≤ 30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Distancia m	30	45	65	85	110	140	170	205	245	285

	Curva		Anchura libre		Codo		Altura libre
	Curva inversa		Vado		Codo inverso		Termina pavimento
	Camino sinuoso		Superficie derrapante		Cruce de caminos		Pendiente peligrosa
	Entronque en T		Zona de derrumbes		Entronque en Delta		Alto próximo
	Entronque lateral oblicuo		Peatones		Entronque en Y		Escolares
	Glorieta		Ganado		Incorporación del tránsito		Cruce de ferrocarril
	Doble circulación		Maquinaria agrícola		Salida		Semáforo
	Estrechamiento simétrico		Camino dividido		Estrechamiento asimétrico		Camino dividido
	Puente móvil		Ciclistas		Puente angosto		Grava suelta

Señales Restrictivas (SR)

Tienen como función expresar en la carretera o calle alguna fase del Reglamento de Tránsito, para su cumplimiento por parte del usuario. En general, tienden a restringir algún movimiento del mismo, recordándole la existencia de alguna prohibición o limitación reglamentada. Infringir las indicaciones de una señal restrictiva acarreará las sanciones previstas por las autoridades de tránsito.

Las señales restrictivas, de acuerdo a su uso, se clasifican en los siguientes grupos:

- De derecho o de paso de vía
- De inspección
- De velocidad máxima o mínima
- De movimientos o circulación
- De mandato por restricciones y prohibiciones
- De estacionamiento

Ejemplo de éstas son las siguientes:

El tablero de las señales restrictivas es de forma cuadrada, con dos de sus lados en posición horizontal y las esquinas redondeadas, excepto: la señal de “ALTO”, que tiene forma octagonal; la señal de “Ceda el paso” tiene forma triangular con los tres lados iguales, con uno de sus vértices hacia abajo y la señal de “Sentido de Circulación” que forma rectangular, con su mayor dimensión horizontal y con esquinas redondeadas; en virtud de que esta última señal establece el sentido en que deben circular los vehículos, tiene carácter de restrictiva.

Las señales restrictivas que requieran una explicación complementaria, además del símbolo llevan un tablero adicional de forma rectangular, con su mayor dimensión en posición horizontal y con las esquinas redondeadas, colocado en su parte inferior formando un conjunto. El tablero adicional tiene, entre otras, las leyendas “ENTRADA” o “SALIDA”.

El color del fondo de las señales restrictivas será blanco en acabado reflejante.

El anillo y la franja diagonal en rojo; símbolo, letras y filetes en negro, excepto las señales de “ALTO”, “Ceda el paso” y “Sentido de Circulación”. La señal de “ALTO” lleva fondo rojo con letras y filete en blanco. La señal de “Ceda el paso” lleva fondo blanco, con letras en negro y el contorno en rojo. La señal de “Sentido de Circulación” debe llevar fondo de color negro y la flecha de color blanco reflejante.

El color del reverso del tablero y de la estructura de soporte, debe ser gris mate o acabado galvanizado.

La ubicación longitudinal de las señales restrictivas es en el punto mismo donde existe la restricción o prohibición, eliminando cualquier objeto que pudiera obstruir su visibilidad. En el sentido lateral las señales se fijan en uno o dos postes colocados a un lado del acotamiento en carreteras y sobre la banqueta en calles, a las distancias y alturas que se especifican.

El tablero adicional debe tener fondo de color blanco reflejante, con letras y filetes de color negro.



La no obediencia de alguna de estas señales está tipificada con multas en los Reglamentos de Tránsito.

Señales Informativas (SI)

Son tableros fijados en postes con leyendas, escudos y flechas, que tienen como función guiar al usuario a lo largo de su itinerario por calles, carreteras y autopistas, e informarle sobre nombres y ubicación de poblaciones, lugares de interés, servicios, kilometraje y ciertas recomendaciones que conviene observar.

Las señales informativas, de acuerdo a la información que proporcionan, se clasifican en:

- De identificación (SII)
- De destino (SID)
- De recomendación (SIR)
- De información (SIG)
- De servicios y turísticas (SIST)

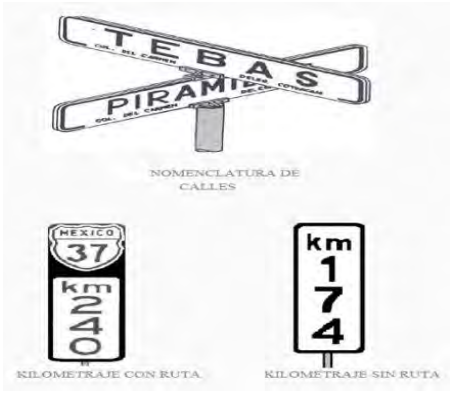
Informativas de Identificación (SII). Tienen como función identificar las calles según su nombre y nomenclatura, y las carreteras según su número de ruta y/o kilometraje.

La forma de las señales de nomenclatura es rectangular con su mayor dimensión horizontal y con la leyenda en ambas caras. Las señales de ruta tienen forma de escudo, federal, estatal o camino rural, colocado sobre un tablero rectangular, que incluye una flecha que indica la trayectoria que sigue la ruta o dentro de las señales informativas de destino. El tablero de las señales de kilometraje es rectangular colocado con su mayor dimensión vertical.

El color de fondo se las señales de identificación será blanco reflejante, letras, números, flechas y filete en negro.



Informativas de Destino (SID). Tienen como función informar a los usuarios sobre el nombre y la ubicación de cada uno de los destinos que se presentan a lo largo de su recorrido. Pueden ser señales bajas, diagramáticas y elevadas. Su aplicación es primordial en las intersecciones, donde el usuario debe elegir la ruta a seguir, según el destino seleccionado. Se emplean en forma secuencial de tal manera que permitan a los conductores preparar con la debida anticipación su maniobra en la intersección, ejecutarla en el lugar preciso y confirmar la correcta selección del destino.



Su forma será rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal, sobre apoyos adecuados.

El color de fondo de las señales de destino es verde reflejante y las letras, números, flechas, escudos y filetes en color blanco reflejante, excepto las señales diagramáticas en zona urbana, que son de fondo blanco con caracteres, flecha alargada y filete en color negro, y las señales informativas de destino turístico o de servicios, en las que el fondo debe ser de color azul reflejante, con símbolos, caracteres y filetes de color blanco.

De acuerdo a su ubicación longitudinal, las señales informativas de destino se clasifican en previas, decisivas y confirmativas. Las señales preventivas deben colocarse anticipadas a la intersección, a una distancia tal que permita a los conductores conocer los destinos y preparar las maniobras para tomar el elegido. Las señales decisivas se colocan donde el usuario debe tomar la ruta deseada. Las señales confirmativas se colocan después de una intersección o a la salida de una población, a una distancia donde no exista el efecto de los movimientos direccionales ni la influencia del tránsito urbano, para confirmar al usuario que ha tomado la ruta deseada, indicándole la distancia por recorrer.





Las 2 primeras señales informan que la carretera pertenece a la ruta México-45, que Irapuato se encuentra a 109 kilómetros y Celaya a 47 kilómetros.





Informativas de Recomendación (SIR). Tiene como función recordar a los usuarios determinadas recomendaciones o disposiciones de seguridad que conviene observar durante su recorrido por calles y carreteras. Son de forma rectangular, colocadas con su mayor dimensión horizontal sobre apoyos adecuados.

Las señales informativas de recomendación que requieran información complementaria deben tener abajo un tablero adicional de forma rectangular, con su mayor dimensión en posición horizontal. El tablero adicional puede tener, entre otras, las leyendas “PRINCIPIA”. “TERMINA”, o la longitud en que se presenta la situación que se señala.







El color de fondo de las señales de recomendación será blanco reflejante, con letras y filete en negro.

Se colocan en aquellos lugares donde sea conveniente recordar a los usuarios la observancia de la disposición o recomendación de que se trate. En ningún caso deben interferir con cualquiera de los otros tipos de señales, y de preferencia se deben colocar en tramos donde no existan aquéllas.

Información General (SIG). Tienen como función proporcionar a los usuarios información general de carácter poblacional y geográfico, así como indicar nombres de obras importantes en la carretera, límites políticos, ubicación de casetas de cobro, puntos de inspección y sentidos de circulación del tránsito. Su forma es rectangular con su mayor dimensión horizontal colocada sobre apoyos adecuados.

El color del fondo de las señales de información general es blanco reflejante con letras y filete en negro. Las que indican sentido de circulación del tránsito tendrán fondo negro y flecha de color blanco reflejante.

Informativas de Servicios y Turísticas (SIST). Tienen como función informar a los usuarios la existencia de un servicio o de un lugar de interés turístico y/o recreativo, a través de tableros con pictogramas y leyendas.

La forma del tablero es cuadrado. Puede llevar un tablero adicional rectangular donde se indica la dirección o la distancia del sitio.

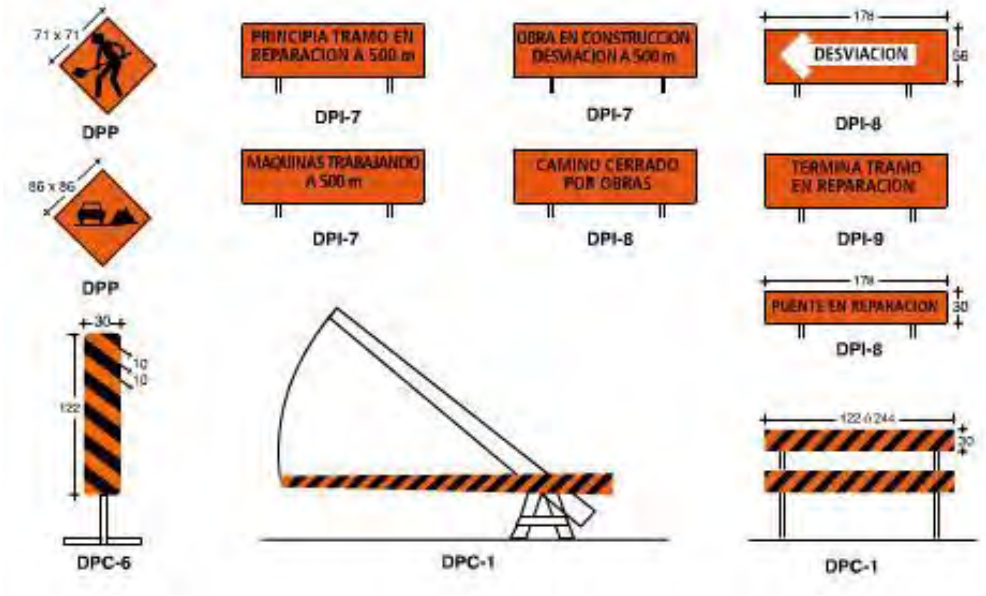
El color del fondo, tanto del tablero de las señales como el tablero adicional, es azul reflejante con pictogramas, símbolos, letras, flechas y filetes en blanco reflejante.

Se colocan en el lugar donde existe el servicio y a un kilómetro del mismo. Cuando se estime conveniente, estas señales pueden colocarse a la salida de las poblaciones para indicar la distancia a la que se encuentra el o los servicios más próximos indicados en la señal.

	Aeropuerto		Sanitarios		Auxilio turístico		Teléfono
	Área recreativa		Teleférico		Chalana		Aeropuerto corto alcance
	Campamento		Transbordador		Estacionamiento		Aeropuerto largo alcance
	Depósito de basura		Aeropuerto mediano alcance		Estación de ferrocarril		Paso de minusválidos
	Estacionamiento para casas rodantes		Aeropuerto llegada		Helipuerto		Artesanías
	Gasolinería		Acueducto		Información		Cascada
	Hotel o motel		Balneario		Mecánico		Lago-laguna
	Metro		Gruta		Muelle		Parque nacional
	Médico		Monumento colonial		Parada de tranvía		Zona arqueológica
	Parada de autobús		Playa		Restaurante		
	Parada de trolebús		Albergue		Taxi		

Dispositivos para Protección en Obras (DP)

Son las señales y otros medios que se usan transitoriamente para proporcionar seguridad a los usuarios, peones y trabajadores y guiar al tránsito a través de calles y carreteras en construcción o conservación.



Según su propósito y ubicación, el señalamiento para protección en obras se clasifica de la siguiente manera:

Señalamiento Horizontal. Es el conjunto de marcas provisionales que tienen por objeto delinear las características geométricas de las desviaciones, en sitios donde se realicen trabajos de construcción o conservación, con el fin de proteger a los usuarios de la vialidad, al personal y a la obra en sí, durante la ejecución de los trabajos. El señalamiento horizontal para protección en obras según su uso, se clasifica como se indica.

Señalamiento Vertical. Es el conjunto de tableros fijados en postes, marcos, caballetes y estructuras, colocados provisionalmente en sitios donde se realicen trabajos de construcción o conservación, con leyendas y símbolos que tienen por objeto proteger a los usuarios de la vialidad, al personal y a la obra en sí durante la ejecución de los trabajos, transmitiendo un mensaje relativo a las desviaciones u obras de que se trate, se clasifican en:

a) Señales Preventivas

b) Señales Restrictivas

c) Señales Informativas

d) Señales Diversas

a) Señales Preventivas de Protección en Obras (SPP). Se utilizan para prevenir a los usuarios sobre la existencia de una situación peligrosa y la naturaleza de ésta, motivada por la construcción o conservación de una calle o carretera, así como proteger a peatones, trabajadores y equipo de posibles accidentes. Son rectangulares, de fondo color naranja, con símbolos, leyendas, caracteres y filete en negro, a veces llevan franjas diagonales.

b) Señales Restrictivas de Protección en Obras (SRP). Se emplean para indicar a los conductores ciertas restricciones y prohibiciones que regulan la circulación en las vialidades, calles y carreteras, que se encuentren en proceso de construcción o conservación. La forma y color son las mismas definidas anteriormente para este tipo de señales.

c) Señales Informativas de Protección en Obras (SIP). Tienen por objeto guiar a los conductores en forma ordenada y segura, de acuerdo con los cambios temporales necesarios durante la construcción o conservación de las calles y carreteras. Son rectangulares con su mayor dimensión horizontal, de fondo color naranja, con leyendas, caracteres y filete negro.

d) Señales Diversas para Protección en Obras (SDP). Son dispositivos que se colocan para encauzamiento y prevención de los usuarios de las vialidades, durante trabajos de construcción o conservación. Así como proteger al personal y la obra en sí.

Dispositivos de Canalización



A 5.5.1.1. Dispositivos de canalización

Los dispositivos de canalización para protección en obras, identificados con la clave **DPC**, son elementos que se usan para encauzar al tránsito de vehículos y peatones a lo largo de un tramo en construcción o conservación, tanto en calles como en carreteras, para indicar cierres, estrechamientos y cambios de dirección de la ruta con motivo de la obra. Figura A 5.5.1.1.

Se clasifican en:

a) Barreras
b) Conos
c) Tambos
d) Dispositivos luminosos
e) Señales manuales

a) Las barreras levadizas son tableros articulados que se utilizan para dar paso exclusivamente a determinados vehículos o personas en zonas restringidas de obra. Se pintan con franjas inclinadas alternadas en colores naranja y negro.

Las barreras fijas son elementos modulares huecos que pueden ser llenados con agua, arena o concreto hidráulico, fabricados de materiales flexibles, ligeros y resistentes al impacto, que se colocan para impedir el paso de vehículos o peatones en zonas restringidas de obra y proteger a los usuarios, al personal de obra, a la maquinaria o a la obra en sí. Los módulos de barreras fijas son de colores naranja y blanco.

b) Los conos son dispositivos de forma cónica con una base generalmente cuadrada, que se colocan a nivel del suelo para delimitar las zonas de trabajo y encauzar al tránsito hacia el carril adecuado. Son de color naranja, pudiendo llevar o no una franja de color blanco en el extremo superior.

c) Los tambos son dispositivos de forma cilíndrica, que se colocan a nivel del suelo para delimitar las zonas de trabajo y encauzar el tránsito hacia el carril adecuado. Son de color naranja con dos franjas horizontales de color blanco reflejante.

d) Los dispositivos luminosos, como linternas, lámparas de destello y luces eléctricas, se utilizarán durante la noche o cuando la claridad y la visibilidad disminuyan y se haga necesario llamar la atención e indicar la existencia de obstrucciones o peligros.

e) Las señales manuales de protección en obras, identificados con la clave DPM, son banderas de tela operadas manualmente que sirven para controlar el tránsito de vehículos y peatones en las zonas de trabajo, operadas por una persona conocida como banderero.

Dispositivos Luminosos

El desarrollo de obras genera con frecuencia condiciones peligrosas en horas de oscuridad o en condiciones atmosféricas adversas, por lo tanto es necesario complementar las señales verticales y los elementos de canalización con dispositivos luminosos, tales como reflectores, luces permanentes y luces intermitentes o de destello.

Reflectores

En la ejecución de obras los reflectores tienen una limitada pero muy importante función, especialmente cuando se utilizan bandereros para regular el tránsito de vehículos. Con el fin de dar la mayor seguridad posible, es aconsejable agregara las medidas de prevención un reflector hacia el sector en donde este ubicado el banderero. Se debe tener cuidado de iluminar correctamente el área deseada, sin producir deslumbramiento a los conductores. La correcta posición de los reflectores puede determinarse mejor haciendo el recorrido y observando el área iluminada desde ambos lados de la vía. Figura A 5.5.1.2.



A 5.5.1.2. Reflectores

Debido al alto volumen de tránsito en ciudades, las obras en las vías o en las zonas aledañas a éstas deben hacerse preferentemente durante la noche, cuando es menor el flujo de vehículos. Una correcta iluminación, con reflectores en el lugar de trabajo, es indispensable para que los trabajadores puedan ver mejor el trabajo que están realizando y sin que sean vistos por los conductores.

Luces de Identificación de Peligro (luces intermitentes)

Las luces de identificación de peligro son del tipo intermitente con luz amarilla, con una lente mínima de 20 cm de diámetro. Serán utilizadas en puntos de peligro como un medio de llamar la atención de los conductores. La activación de las luces intermitentes se hará en horas nocturnas. En el día se usarán cuando las condiciones climáticas lo exijan. Podrán operarse por unidades o en grupos.

Durante obras de mantenimiento diurnas, las funciones de las luces intermitentes se suplen adecuadamente por medio del equipo de iluminación de los vehículos de mantenimiento, bien sea por luces de emergencia intermitentes, lámparas de techo rotativas o ambas. No obstante, en donde las actividades diurnas de mantenimiento requieran que la obstrucción permanezca en la calzada en horas de la noche, las luces intermitentes se pueden instalar en el punto de peligro.

Señales de Mensaje Luminoso

Estos dispositivos están conformados por paneles de unidades luminosas individuales, que en su conjunto producen mensajes. Dichos mensajes pueden ser textos, flechas o símbolos, hasta variables en el tiempo. Las luces que en su conjunto forman el mensaje pueden ser fijas o intermitentes.

Las dispositivos se mantendrán en unidades portátiles, permitiéndose su ubicación en sitios estratégicos, para mantener bien informado al usuario. Figura A 5.5.1.3.



A 5.5.1.3. Señales luminosas

Consejos Prácticos para la Interpretación del Señalamiento Vertical

1. Estar alerta cuando te encuentres con una Señal Preventiva, ya que ésta indicará que adelante podrás encontrarte con una situación en la que debas adoptar medidas de precaución para efectuar una maniobra, de la que dependerá tu propia seguridad y la de los demás vehículos.

2. Obedecer las indicaciones de las Señales Restrictivas, ya que éstas denotan la existencia de limitaciones o prohibiciones que exigen las propias circunstancias de la carretera y de la reglamentación del tránsito. Recordar que la desobediencia de estas señales implica sanciones establecidas en los Reglamentos de Tránsito.

3. Estar atento a las indicaciones de las Señales Informativas, ya que representan un auxilio muy útil para guiarte en el itinerario que llevas en tu viaje.

4. No destruyas el señalamiento, puesto que es uno de los principales medios para salvaguardar la seguridad del tránsito en calles y carreteras.

Marcas en el Pavimento

Las marcas son las rayas, los símbolos y las letras que se pintan sobre el pavimento, guarniciones y estructuras, dentro de o adyacentes a las vías de circulación, así como los objetos que se colocan sobre la superficie de rodamiento con el fin de regular o canalizar el transito e indicar la presencia de obstáculos.

Clasificación

Por su uso, tendremos Marcas sobre pavimento, para prohibir estacionamiento e indicar obstáculos, de las siguientes maneras:

a) Marcas en el pavimento. Empleando rayas tipo

1. Central sencilla, continua o discontinua
2. Adicional continua, para prohibir el rebase
3. Central doble continua
4. Separadoras de carriles
5. En las orillas de la calzada

6. Canalizadoras
7. De parada
8. Para cruce de peatones
9. Acompañadas de símbolos y letras, para cruce de ferrocarril
10. Para estacionamiento
11. Con leyendas y símbolos, para regular el uso de carriles
12. Con espaciamiento logarítmico

b) Marcas en guarniciones para prohibición de estacionamiento.

c) Marcas en obstáculos adyacentes a la superficie de rodamiento, para indicar

1. Guarniciones
2. Parapetos
3. Aleros
4. Pilas y estribos
5. Postes
6. Cabezales
7. Defensas
8. Muros de contención
9. Árboles

Uso

Las marcas en el pavimento, en guarniciones y obstáculos adyacentes a la superficie de rodamiento, se usan con el propósito de regular el tránsito y proporcionar advertencia o información a los usuarios de las calles y carreteras.

Las marcas en el pavimento cumplen con funciones definidas para regular el tránsito de vehículos y peatones.

Las marcas en guarniciones se usan principalmente para definir las restricciones de estacionamiento.

Las marcas en obstáculos adyacentes a la superficie de rodamiento, proporcionan indicaciones a los conductores sobre la presencia de un obstáculo que constituye serio peligro para la circulación de vehículos.

En la descripción que a continuación se hace para cada una de las Marcas anteriormente clasificadas, se establecen las recomendaciones sobre el uso específico, forma, tamaño y color de cada una de ellas.

Obras y Dispositivos Diversos

Son obras que se constituyen y/o dispositivos que se colocan dentro de una calle o carretera o en sus inmediaciones para protección, encauzamiento y prevención de conductores de vehículos y peatones.

Cercas

Se utilizan para evitar que la faja del Derecho de Vía sea invadida por construcciones particulares, que los peatones y ganado crucen la carretera y que los vehículos puedan incorporarse a ésta en cualquier lugar diferente a los proyectados para dicho fin.

Estos dispositivos están constituidos por postes situados a distancias que varían de 3 a 5 m para sostener varios hilos de alambre de púas, espaciados verticalmente de 25 a 40 cm ó malla de alambre. También podrán ser muros secos o de mampostería.

Las constituidas por alambre de púas se emplean en las zonas donde hay ganado, para evitar que los animales invadan o crucen la carretera.

En los lugares en que las carreteras cruzan alguna zona urbana, las cercas son de malla de alambre para evitar el paso de peatones y pequeños animales.

Se colocan en los límites del Derecho de Vía, a lo largo y a ambos lados del camino, y en el paso de peatones para encauzar el flujo de los mismos.

Defensas

Se emplearán para evitar en lo posible, que los vehículos salgan del camino o invadan el carril contrario. Podrán ser de lámina galvanizada, concreto u otro material resistente, apoyados en postes adecuados al tipo de material.

Su forma es aquella que permita un adecuado encauzamiento de los vehículos fuera de control.

La defensa lateral se instala en los lugares donde exista mayor peligro, ya sea por el alineamiento del camino o por accidentes topográficos. Deben colocarse en la orilla exterior de las curvas peligrosas o en tangentes con terraplenes altos o en balcón, en una o ambas orillas, según se requiera.

Las defensas centrales se ubican en el eje geométrico de la faja separadora central como complemento de la misma, para proporcionar mayor seguridad a los usuarios, excepto en las carreteras de cuerpos separados, en donde el tratamiento debe ser el que corresponde a una defensa lateral.

Para mayor seguridad en el uso de defensas, principalmente metálicas, en el extremo de la dirección por donde se aproxima el tránsito, el límite de la misma debe empotrarse en el piso.

Dependiendo de los recursos económicos, las defensas centrales podrán pintarse de color blanco mate.

Indicadores de Obstáculo

Se emplean en las bifurcaciones y frente a los obstáculos, cuando esto tenga un ancho menor de 30 cm, para indicar su presencia y llamar la atención del conductor.

Un indicador de obstáculos consiste en un tablero de 30 x 122 cm colocado en posición vertical, con franjas alternadas en colores blanco reflejante y negro, de 10 cm de ancho, inclinadas a 45° descendiendo hacia la derecha cuando se ubiquen a la derecha del tránsito.

En bifurcaciones, se utiliza un tablero de 61 x 122 cm, con franjas alternadas en colores blanco reflejante y negro, de 10 cm de ancho, inclinadas a 45° subiendo en la dirección del tránsito a partir del eje vertical de simetría del tablero.

La altura entre la parte inferior del tablero y la superficie de la isleta o del acotamiento del camino es de 20 cm.

Indicadores de Alineamiento

Se emplean para delinear la orilla de una vía de circulación, en cambios de alineamiento horizontal, para señalar los extremos de muros de cabeza de alcantarillas y para marcar estrechamiento de una vía de circulación.

Consisten en postes de color blanco de 1 m de longitud, sobresaliendo 75 cm del hombro de camino, con una franja reflejante cerca de su extremo superior.

Se colocan en las curvas horizontales, en el lado exterior, desde el principio de la transición de la entrada hasta el final de la transición de salida, de acuerdo a las separaciones que se indican.

En los casos de estrechamiento del camino los indicadores de alineamiento se instalan en ambas orillas, antes y después del estrechamiento del camino, a cada 5 m de distancia en una longitud de 50 m.

En los tramos en tangente se ubican espaciados a 40 m en ambas orillas y no se colocan en los lugares del camino que estén protegidos con defensas.

Estos dispositivos deben situarse de manera que su orilla interior coincida con el hombro del camino.

Tachuelas o Botones

Se usan para complementar las marcas sobre el pavimento. Su estructura debe ser lisa de color blanco y se fijan por medio de anclas o adhesivos, no debiendo sobresalir más de 2 cm del nivel del pavimento.

Estos dispositivos llevan un elemento reflejante de color blanco, rojo o amarillo, en una o ambas caras, según el caso y de frente al sentido del tránsito.

Reglas y Tubos Guía para Vado

Se utilizan en caminos para indicar a los conductores el tirante máximo de agua que van a encontrar sobre un vado; por lo cual, las reglas deben ser graduadas y fijas a postes.

Las reglas extremas deben fijarse en las cotas de las aguas máximas extraordinarias (NAME).

Los tubos y las reglas se instalan en ambos lados del vado y a lo largo del mismo, a una separación máxima de 10 m que sirvan como guía para marcar el ancho del vado, por lo que su altura libre debe ser de 1 m.

Bordos

Se emplean en zonas urbanas y rurales para indicar la proximidad a una isleta o a un obstáculo y para encauzar a los vehículos en las salidas de alta velocidad.

Son elementos de concreto simple de 12.5 cm de ancho por 10 cm de altura y longitud variable, sobresaliente 5 cm de la superficie de rodamiento.

Se usan en la posición de las rayas diagonales de las zonas naturales delimitadas por rayas canalizadoras. En ningún caso se construirán a través de los carriles de circulación.

Vibradores

Se instalan para anunciar la llegada a una caseta de cobro, antes de un cruce a nivel con el ferrocarril o en caminos secundarios, antes de un entronque con otro de mayor importancia, y en lugares donde se puedan presentar accidentes. Su objetivo es advertir a los conductores, mediante la vibración y el ruido que se produce al cruzarlos, de la condición particular de que se trate.

Son estructuras onduladas de concreto hidráulico simple, construidas normales al eje de una vía de circulación y sin sobresalir de la superficie de la carpeta. Se construyen a todo lo ancho de la corona. En carreteras con faja separadora, se construyen de la guarnición al límite de la corona.

Guardaganados

Son estructuras que se emplean para evitar que el ganado pase de un camino libre a otro de acceso controlado. El camino principal se encontrará delimitado por cercas.

Indicadores de Curva Peligrosa

Se utilizan como complemento al tratamiento normal de señalamiento del camino, cuando haya cambios peligrosos en la alineación horizontal, con el propósito de proporcionar un énfasis adicional y una mejor orientación a los conductores.

Son de forma rectangular colocada con su mayor dimensión vertical. Su símbolo (flecha izquierda o derecha) es de color negro sobre fondo amarillo reflejante.

El tablero de esta señal, lleva ceja perimetral doblada o placa plana sin ceja.

En caminos de dos carriles, los indicadores de curva peligrosa deben instalarse en la orilla exterior de la curva. En caminos divididos se instalan en la orilla exterior de la curva en la orilla exterior de cada cuerpo.

El espaciamiento de las señales debe ser tal que el conductor siempre tenga en su ángulo visual al menos dos de ellas y están orientadas en posición normal a la línea de aproximación del tránsito. Las señales deben ser visibles por lo menos a una distancia de 150 m para una mayor efectividad.

A 5.6.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA SEGURIDAD VIAL

El Conductor

Podemos definir al conductor como la persona que guía un vehículo, cualesquiera sean las características técnicas de éste. Legalmente, el conductor es la persona capacitada para guiar un vehículo, que ha reunido los requisitos exigidos y ha obtenido, en consecuencia, la licencia habilitante que otorga la autoridad competente. La experiencia desarrollada por los conductores crea expectativas, las cuales le permiten anticipar o facilitar respuesta a situaciones comunes, prediciendo y tomando las decisiones comunes y acertadas. Si las expectativas son violadas, se ocasiona un problema vial, dando como resultado una decisión errónea o un tiempo de reacción excesivamente largo. Algunas de las expectativas del conductor relacionadas con el diseño geométrico son:

- El conductor tiende a anticipar situaciones que son comunes al camino.
- El conductor experimentado tiene problemas de manejo cuando es sorprendido por irregularidades en el diseño.
- El conductor sólo reacciona ante situaciones estándares, en ausencia de evidencia contraria.
- El camino y el medio ambiente que corre antes de pasar por un sitio determinado crea una expectativa de las condiciones que se presentarán más adelante. El conductor experimenta problemas en áreas o sitios de transición con diseño inconsistente.

Los usuarios de la carretera deben contar con el tiempo suficiente para reaccionar.

Todos los usuarios de la carretera, principalmente los conductores, están involucrados en una actividad que incluye a casi todo el mundo. En la vida moderna no se excluye casi a nadie de participar en el tránsito vehicular. Los conductores comparten carretera con inexpertos, cansados y estresados; con personas de características físicas o mentales disminuidas; con personas distraídas o desconcentradas. El tránsito vial es el lugar de encuentro de una amplia gama de habilidades en todos los niveles, que se aprecian en peatones y usuarios del transporte público.

Es falsa la suposición de que los conductores, entre todos los usuarios del camino, demandan más poder de atención y fuerza física; no son personas excepcionales y tienen capacidades limitadas para actuar y reaccionar. El tiempo necesario para adaptarse de una situación de tránsito a la siguiente, o el tiempo para adaptarse a nuevas necesidades, es mayor del que podríamos pensar.

En fracciones de segundo (simple estímulo-tiempo de reacción) el conductor medio tarda de 4 a 6 segundos para adaptarse a una nueva situación de conducción (tiempo de percepción-tiempo de decisión). Cuando se conduce a una velocidad de 100 km/h se requieran 300 m para lograr un frenado completo (el tiempo consumido en recorrer esos 300 m se denomina “tiempo de frenado”). Una carretera cómoda proporcionara al conductor el tiempo necesario para adaptarse y reorganizar con seguridad su estilo de manejo.

El conductor cambia su estilo de conducción en tres fases lógicas consecutivas, fáciles de distinguir:

Orientación. Identifica el punto crítico, es decir, cualquier requisito para adoptar el programa de manejo.

Aproximación. Identifica en concreto el tipo de cambio por realizar (corrección de la posición del volante, frenado, aceleración), elige y comienza con el tipo de conducción apropiado; comprueba, ensaya y corrige la acción de frenado, la aceleración o la posición del volante.

- **Reacción Técnica.** Intervienen: el tiempo de frenado, las condiciones técnicas del vehículo, el clima y la interacción vehículo-pavimento.

Factores y Actitudes que Afectan la Capacidad de Conducir

Abuso del Alcohol

- Los peligros del alcohol al volante son bastante evidentes: según las estadísticas, en nuestro país más de la mitad de los accidentes tienen su origen en la ingesta de alcohol. Sus efectos repercuten tanto a nivel físico como psíquico.

- Se desprende de las investigaciones que la persona que conduce bebida, incluso a dosis muy bajas, tiene alteraciones sensoriales, sobre todo en la vista, disminución de los reflejos, dificultades de coordinación, alteraciones perceptivas y, como el alcohol es un depresor del sistema nervioso, también provoca somnolencia, fatiga, etcétera; a esto se añade que el individuo bebido subestima los efectos del alcohol e incluso llega a pensar que así se conduce mejor, no es consciente de su situación y, por el contrario, se crea en él una falsa seguridad en sí mismo, lo cual le lleva a aceptar mucho más el riesgo. En ocasiones también se incrementan las conductas impulsivas y agresivas, disminuyendo así la prudencia y la responsabilidad.

¿Cómo afecta el alcohol al conductor?

El alcohol produce:

1. Efectos desfavorables en la habilidad de conducir, el juicio, la conciencia, la vista y el tiempo de reacción.
2. Disminución de la capacidad para identificar el peligro.
3. Disminución de la capacidad para tomar una decisión correcta al momento de identificar el peligro.
4. Disminución del tiempo para reaccionar, aunque se haya tomado la decisión correcta.
5. El consumo de alcohol afecta las percepciones de distancia, profundidad y velocidad.
6. Para conducir y frenar suavemente, un conductor necesita estar bien coordinado, saber dónde están los vehículos a su alrededor e identificar la velocidad a la que avanza.
7. Muchos choques relacionados con el alcohol ocurren a altas velocidades, ya que los conductores alcoholizados no toman conciencia de lo rápido que conducen.

El riesgo de verse involucrado en un accidente de tránsito aumenta considerablemente cuando la alcoholemia pasa de los 0,004 g/dl.

Las leyes que prescriben un límite de alcoholemia de 0,05 g/dl ó inferior logran reducir eficazmente el número de accidentes de tránsito relacionados con la ingestión de bebidas alcohólicas.

El establecimiento de puestos de control y la verificación aleatoria de la alcoholemia, mediante la prueba del aliento, puede dar por resultado la disminución de los accidentes relacionados con el alcohol hasta un 20% y se ha comprobado que son muy rentables.

Drogas

Se estima que alrededor del 10% de los accidentes de mayor gravedad están relacionados con algún tipo de drogas. Los efectos que tienen en el conductor dependen de un complejo conjunto de variables como: la cantidad y calidad del tóxico, la edad y el estado psicofísico del consumidor, las posibles mezclas con otros productos, el tiempo de toma de la sustancia, el estado psicológico en el momento de la ingesta, la vía de ingestión, el proceso metabolizador y el tipo de sustancia o droga de que se trate.

- Las capacidades que se ven más alteradas en la conducción por el consumo de drogas tienen que ver con la atención, la percepción visual, la identificación, el procesamiento de la información, la evaluación del riesgo y la consiguiente toma de decisiones y el complejo control sensoriomotor.

La Velocidad Excesiva

- La velocidad excesiva se manifiesta como un claro factor de riesgo. Los efectos negativos más destacables: reduce el tiempo de reacción, dificulta el control del vehículo y la rectificación de la trayectoria, aumenta la violencia y el estrés del conductor y altera el funcionamiento sensorial (por ejemplo disminuye el campo visual) y fisiológico (por ejemplo incremento de la fatiga, ya que se ha de prestar más atención).

- El aumento de la velocidad promedio se relaciona directamente con la probabilidad de que ocurra un accidente de tránsito y con la gravedad de las consecuencias de éste. He aquí algunos datos sobre el particular:

- Los peatones tienen más probabilidades de sobrevivir a un atropello si la velocidad es, como máximo, de 30 km/h.

    - El límite de velocidad de 30 km/h puede disminuir el riesgo de accidentes y se recomienda en zonas frecuentadas por usuarios vulnerables de la vía pública (por ejemplo las zonas residenciales y los alrededores de las escuelas).

    - Además de reducir los traumatismos por accidentes de tránsito, circular a una velocidad baja puede tener otros efectos positivos sobre la salud; por ejemplo, la disminución de los problemas respiratorios relacionados con las emisiones de los vehículos.

    - La modificación de los límites de velocidad ha sido un tema que se ha debatido en diversas ocasiones; las conclusiones a las que han llegado siempre los expertos es que un aumento supondría un incremento de los accidentes, su gravedad y costo.

Fatiga y Sueño

Para realizar la actividad de conducir es necesario que todas nuestras capacidades psicofísicas estén en buen estado. La fatiga y el sueño son dos estados que repercuten negativamente en estas capacidades y por ello son dos de los fallos más importantes al conducir.

Tanto la fatiga como el sueño incrementan las distracciones y disminuyen la capacidad de concentración, incrementan los tiempos de reacción (tan importantes a veces para evitar un accidente), aumentan los niveles de tensión y agresividad... Además, el sueño repercute en la fatiga visual, la gravedad de lo cual es evidente. Por ello es tan importante empezar un viaje habiendo descansado y dormido por lo menos 7 horas. Las personas que padecen trastornos del sueño tienen aproximadamente siete veces más posibilidades de sufrir un accidente de tránsito mientras conducen un vehículo, ya que experimentan somnolencia excesiva.

Las Distracciones

Un segundo es el tiempo que transcurre, como media, desde que un conductor percibe el peligro y comienza a frenar. En ese tiempo el coche sigue rodando sin que hayamos hecho nada para impedirlo. Esa distancia, depende

de la velocidad que llevemos. Si en esos momentos estamos distraídos hemos de añadir dos o tres segundos más. O sea que si vamos a 100km/h recorreremos unos 115 metros antes de empezar a frenar.

Las distracciones causan casi un tercio de los accidentes de circulación. Acciones como encender un cigarrillo, marcar un número de teléfono, sintonizar una emisora, guardar algo en la guantera... pueden ocasionar una tragedia, pues en esos segundos dejamos de atender lo que tenemos enfrente y a veces eso es suficiente para provocar un accidente. Las distracciones más peligrosas, sin embargo, están causadas por estados emocionales (fuertes emociones de ira, ansiedad, euforia, tristeza, irritabilidad...) ya que absorben la atención que deberíamos utilizar en la tarea de conducir.

La distracción derivada del uso del celular mientras se conduce puede trastornar la conducción de muchas maneras, por ejemplo: aumentando el tiempo de reacción (en particular, el tiempo de reacción para frenar, pero también la reacción frente a las señales de tránsito), trastornando la capacidad de mantenerse en el carril correcto y acortando la distancia con el vehículo que va delante.

El envío de mensajes escritos por el celular entorpece considerablemente la conducción; los jóvenes se exponen en particular a los efectos de esta distracción.

Las probabilidades de verse envuelto en un accidente son aproximadamente cuatro veces mayores para los conductores que usan el celular mientras conducen, por comparación con los conductores que no lo hacen. Los celulares a manos libres no son mucho más seguros que los que se llevan en la mano.

Cabe mencionar intervenciones tales como la adopción de medidas legales, el lanzamiento de campañas de sensibilización y la recopilación regular de datos sobre la distracción al conducir, como medio para conocer mejor la naturaleza del problema.

El Estrés

El estrés y el manejo de vehículos están íntimamente vinculados. Por un lado, la conducción es una actividad de por sí estresante. Por otro, el estrés modula en buena medida la forma de conducir de las personas y puede ser la causa de un número considerable de accidentes. Puede ocasionar efectos negativos en el conductor como: generación de mayores niveles de hostilidad y de comportamientos competitivos, mayor tendencia a la impaciencia, a tomar decisiones arriesgadas y conducción imprudente; disminución de la concentración y el efecto negativo que tiene el uso incontrolado de fármacos, alcohol u otras sustancias que se puedan utilizar para reducir el estrés.

Ante una situación altamente estresante podemos actuar de diferentes formas para superar el estrés:

- Modificando la manera de percibir esa situación (en el caso de un atasco “otra vez saldré con más tiempo”)
- Teniendo pensamientos positivos (“no ocurre nada si llego un poco tarde”)
- Desviando el pensamiento de esa situación estresante (centrando nuestra atención en la tertulia de la radio, por ejemplo)
- Hacer estiramientos y favorecer así la relajación
- Respirar lenta y profundamente por la nariz y expulsar el aire por la boca varias veces

Inexperiencia

Tanto la inmadurez como la falta de experiencia en la conducción se ha demostrado contribuyen al mayor riesgo de accidentes entre los jóvenes conductores. La inmadurez se manifiesta en las prácticas de riesgo en la conducción, como el exceso de velocidad o el no mantener la distancia de seguridad. Debido a su inexperiencia, los jóvenes conductores son menos capaces de detectar los peligros inminentes y de reaccionar para afrontarlos si éstos se presentan. Tales factores se ven agravados por la tendencia de los jóvenes conductores a sobreestimar sus capacidades y a conducir en momentos y lugares de riesgo, como la noche.

Edad

La edad no debe ser una razón para dejar de conducir. Lo que se debe tener en cuenta son las capacidades frente al volante y el que a una avanzada edad debemos ser conscientes que la capacidad física no es la misma, por lo que los hábitos de conducción se deberán adaptar para preservar la seguridad vial

Aunque la edad nos proporciona virtudes como la sensatez y la prudencia, es cierto que sumar años afecta a nuestros reflejos, lo que hace que necesitemos más tiempo para procesar la información y reaccionar.

Este hecho se hace más palpable durante la conducción, debido a que las condiciones del tráfico y de la carretera cambian constantemente y hemos de evaluarlas con rapidez, para tomar las decisiones más seguras y adecuadas.

Respecto a la edad, el grupo que con mayor frecuencia sufre los accidentes es el comprendido entre 16 y los 24 años y, en segundo término, el de los mayores de 65 años.

Falta de Respeto a las Señales de Tránsito

En relación a los accidentes originados tanto en el tránsito urbano como en las rutas y autopistas, se puede corroborar que, en una cantidad considerable, por lo menos uno de los conductores involucrados ha violado alguna normativa del tránsito.

Son muchos los conductores que no respetan los semáforos ni los pasos de peatones, aun cuando haya personas cruzando en ese mismo momento; mientras que otros parecen haber olvidado definitivamente el uso de los intermitentes para maniobrar.

Los usuarios deben conocer el significado de cada señal, acatar sus indicaciones y conservarlas, debido a que si éstas no existieran o no fueran debidamente interpretadas el tránsito sería un verdadero caos.

Influencia del Vehículo

En relación a los efectos de funcionamiento del vehículo aparecen como un factor recurrente sólo en una pequeña proporción de los accidentes de carretera que suceden en los países desarrollados. En bastantes de los casos, el mantenimiento de los vehículos averiados había sido deficiente. Entre las averías cabe destacar las ponchaduras de los neumáticos, frenos en mal estado, rotura de direccionales, etcétera.

No obstante, existen aún aspectos que son susceptibles de mejora por la industria automovilística, como por ejemplo: la visibilidad desde el puesto del conductor (especialmente hacia atrás), el alumbrado en un crucero, el sistema de frenado en grandes camiones, etcétera. Pero, sobre todo hay que dar mayor atención a lo que denominamos seguridad pasiva. Se trata de conseguir que, si por un fallo humano ocurre un accidente, los ocupantes del vehículo reciban los menores daños posibles.

Seguridad Pasiva

Son los elementos que reducen al mínimo los daños que se pueden producir cuando el accidente es inevitable. Así tenemos

Los Cinturones de Seguridad

El cinturón es el elemento más importante para la seguridad pasiva, dado que hace de freno de nuestro cuerpo en caso de impacto. En contra de lo que pudiera parecer, el cinturón no sirve para que los pasajeros no se muevan en caso de choque, sino para que amortigüen su desaceleración. Además, el cinturón está hecho para estirarse; no es que sus fibras sean elásticas, sino que están tejidas para que pierdan anchura y ganen longitud, con el fin de no causar lesiones graves al usuario. Evitan que la persona salga despedida.

Para comprender la importancia del cinturón de seguridad es necesario saber qué ocurre dentro del vehículo durante un accidente. En realidad se producen dos impactos: el primero es el choque o colisión como tal, y el segundo, producido como reacción, es el choque de los ocupantes del vehículo con el vidrio del parabrisas, e incluso fuera del auto. Este segundo impacto es el que causa lesiones o la muerte. Las estadísticas demuestran que una persona despedida fuera del vehículo tiene 5 veces más probabilidades de morir que aquélla que permanece en el interior del vehículo durante el siniestro.

El uso del cinturón de seguridad disminuye de 40% a 50% el riesgo de muerte de los ocupantes delanteros de un vehículo y en un 25% a 75% el de los pasajeros de asientos traseros.

Las leyes correctamente aplicadas sobre el uso obligatorio del cinturón de seguridad han logrado aumentar la tasa de uso de este dispositivo.

Si se instalan como es debido y se usan correctamente, los medios de sujeción de niños reducen aproximadamente un 70% las muertes de los menores de un año, y entre un 54% y un 80% las de los niños de corta edad.

La siguiente Tabla resume los porcentajes de reducción de lesiones por accidentes gracias al uso del cinturón de seguridad:

PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LESIONES		
TIPO DE LESIÓN	**CONDUCTOR**	**PASAJERO**
Lesiones al cerebro	33%	56%
Fracturas de cráneo	18%	18%
Heridas faciales	45%	64%
Lesiones a los ojos	38%	40%
Fracturas faciales	6%	6%
Lesiones a los pulmones	33%	58%
Fuente: "Compulsory Seat Belt Wearing", Report by Department of Transport, Oct. 1985, UK		

Tabla A 5.6.1.1. Tipo de Lesiones y porcentajes de afectación en el conductor y pasajero

Para utilizar adecuadamente el cinturón de seguridad es necesario:

- Regular el asiento y respaldo de tal manera que viaje cómodamente. Cada asiento es para una sola persona.
- La cinta superior debe pasar por el hombro y no por el cuello o la garganta. Sujételo cómodamente pero firme.
- La cinta inferior debe cruzar a través de las caderas y no a través del estómago.
- Si una mujer embarazada viaja en automóvil, debe colocar la cinta superior entre los senos y la cinta inferior debajo del vientre.
- El cinturón no debe quedar torcido y tampoco rozar con aristas o bordes que lo puedan desgastar.

Lo que no debe hacer con el cinturón de seguridad:

- Usarlo holgado, porque de esta forma no protege.
- Pasarlos por debajo del brazo, porque en un impacto no detendrá eficazmente.
- Nunca lleve niños sobre las piernas ni los asegure junto con el adulto.
- Nunca incline demasiado el respaldo del asiento hacia atrás, porque durante un impacto el cuerpo podría deslizarse por debajo del cinturón. Figura A 5.6.1.1 y A 5.6.1.2.

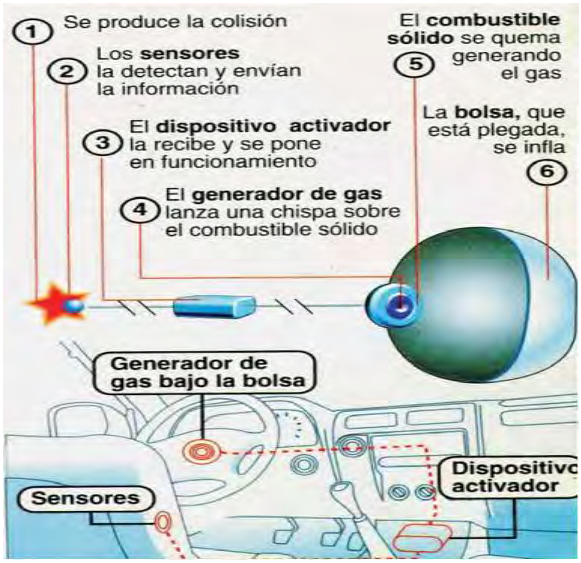


Figura A 5.6.1.1. Tomar medidas antes de salir, no sólo en carretera

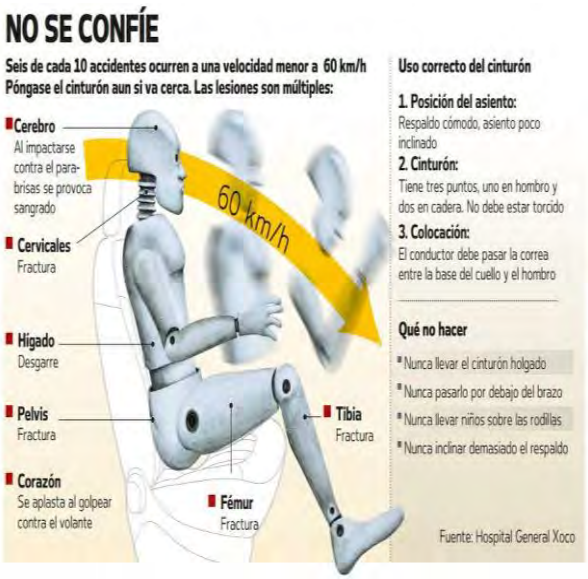


Figura A 5.6.1.2. Lesiones ocurridas por no usar cinturón de seguridad

Los Airbags

Como su propio nombre indica, una bolsa de aire es un "cojín" que se despliega llenándose con gas, lo cual hace que se infle rapidísimamente en unas milésimas de segundo. La finalidad principal del *airbag* es clara: es un elemento acolchonado que evita que el cuerpo de la persona golpee con elementos rígidos del coche, o en caso de que golpee, al menos el golpe se amortigüe.



Figura A 5.6.1.3. Bolsa de aire como amortiguador de golpe en un accidente vehicular

El gas que infla el *airbag* es fundamentalmente nitrógeno, gas inerte y uno de los principales componentes del aire que respiramos (alrededor del 78%). Este nitrógeno se genera al reaccionar un compuesto sólido (llamado acida sódica) con la corriente eléctrica que hace saltar el *airbag*, cuando el sensor que detecta la desaceleración brusca entiende que se ha producido un impacto severo. Figura A 5.6.1.3.

La ácida sódica es tóxica y no se debe manipular (pero conste que está escondida dentro del mecanismo, no es accesible si no se desmonta a posta). El nitrógeno que infla la bolsa no es tóxico.

No hay que preocuparse porque haya saltado el *airbag*. Cuando se libera el gas que rellena el *airbag*, unos segundos después de saltar, se suele liberar también polvo de talco (contenido en la bolsa textil, para que se despliegue mejor) y no habrá ningún peligro.

¿Cuál es su función?

1. Evita el impacto del conductor contra los elementos duros del vehículo
2. Absorbe parte de la energía cinética del cuerpo
3. Protege a los ocupantes del impacto de cristales del parabrisas
4. Disminuye el movimiento de la cabeza y con ello el riesgo de lesiones

Seguridad Activa

Es el conjunto de todos aquellos elementos que contribuyen a proporcionar una mayor eficacia y estabilidad al vehículo en marcha y, en la medida de lo posible, evitar un accidente.

El sistema de Frenado

Su función es fundamental para la seguridad del conductor. Todos los sistemas de frenado actuales cuentan con circuitos independientes que permiten frenar con seguridad, en caso de que alguno falle. Entre los mejores se encuentran los antibloqueo (ABS), que reducen la distancia de frenado manteniendo la capacidad de cambiar de dirección para evadir obstáculos, ya que no bloquean las ruedas. Figura A 5.6.1.4



Figura A 5.6.1.4. Tipos de sistema de frenos

Frenos ABS

Comencemos con el significado, las siglas ABS significan en inglés *Anti-lock Braking System*; fue la empresa Bosh quien inicia la investigación y el desarrollo del sistema, implementando en 1970 los primeros frenos ABS de la historia.

El objetivo del ABS es permitir a las ruedas mantener el contacto con el pavimento de acuerdo a las variaciones en el frenado del conductor, previniendo que las ruedas se bloqueen y conduzcan a una situación no controlada del vehículo.

Básicamente al tener una frenada de emergencia, el conductor de un auto con ABS puede permanecer estable y mantener la dirección del vehículo e inclusive poder girar mientras se frena.

¿Cómo funcionan los frenos ABS?

En cada una de las cuatro llantas se localiza un sensor de revoluciones, mismo que está conectado al mando central del control electrónico del ABS; este sensor mide las revoluciones y las compara constantemente respecto a la velocidad del auto. Una vez que detecta que una llanta disminuye considerablemente sus revoluciones, el control electrónico del ABS detecta el inminente bloqueo y reduce en cuestión de milésimas de segundo la presión hidráulica del líquido de frenos de la llanta en cuestión.

¿Cómo activar los frenos ABS?

El funcionamiento del ABS es automático (en dado caso que el vehículo cuente con dicho sistema); para activar el sistema únicamente es necesario pisar el pedal del freno a fondo y mantener esa presión constante para que

el sistema pueda trabajar de manera adecuada. Al entrar el sistema se escucharán ruidos anormales para el conductor pero denotan la normalidad del funcionamiento del sistema ABS.

Pros y Contras de los ABS

Pros. Seguridad para el conductor, sus pasajeros y peatones y auto en sí. También ayudan a prevenir los choques reduciendo la distancia de frenado y un pro muy importante, que nunca es mencionado, radica en que promueve la seguridad vial, con mayor valor de reventa, o menor costo de la póliza de seguro.

Contras. Costo de implementación, poca conciencia de que se puedan llegar a usar, teorías de que un conductor que posea frenos ABS en su auto manejará más agresivamente.

El Sistema de Dirección

Garantiza la correcta maniobra del vehículo. Los sistemas de dirección de los coches actuales se endurecen a altas velocidades, para evitar posibles accidentes.

Aunque el conductor no tenga idea cuando maneja su automóvil, cada vez que el vehículo cambia de dirección se desarrolla una compleja serie de eventos. Con cada movimiento o giro del volante de la dirección, varios obstáculos deben ser salvados para conseguir que el vehículo cambie de dirección. Dado el peso de un coche, su momento y el agarre de los neumáticos al pavimento, esto es un gran logro. Al girar el volante de dirección también se mueven engranajes, varillas y articulaciones del sistema de dirección, para conseguir que las ruedas delanteras reaccionen y respondan al momento.

Mantener y corregir la alineación de las ruedas y el nivel del fluido hidráulico es el más básico mantenimiento de estos sistemas de dirección. El engrase de la caja de los sistemas mecánicos es vital. La densidad de grasa o la del fluido hidráulico es asunto determinante en el sistema de dirección.

El Sistema de Suspensión

El automóvil se mantiene estable y absorbe las irregularidades de la carretera. Las barras estabilizadoras conectan las dos ruedas de cada eje y sirven para controlar la inclinación del coche en las curvas, evitando así una salida de la vía.

Cualquier defecto del sistema de suspensión pone en peligro la seguridad de circulación y puede afectar al funcionamiento de otros sistemas, como el de frenos, dirección o ruedas.

Se deben comprobar:

- Las fijaciones de los elementos del sistema y el estado de sus articulaciones.
- El estado de las hojas de las ballestas y de los cojines neumáticos.
- La no existencia de fugas en el circuito de aire, aunque este punto, por ser común con el sistema de frenos.

Los Neumáticos y su Adherencia al Suelo

Los neumáticos y su dibujo deben garantizar tracción adecuada en cualquier clima y condición. Estando en las mejores condiciones para obtener la máxima adherencia con el suelo. Figura A 5.6.1.5.



Figura A 5.6.1.5. Adherencia en el suelo para una buena tracción al suelo

El inflado apropiado es el factor más importante en el cuidado de los neumáticos. Utilice siempre la presión recomendada por el fabricante que aparece en el manual del propietario, en el borde de la puerta del conductor o en la tapa del llenado de gasolina.

Revise con regularidad la presión de sus neumáticos, idealmente fríos y antes de cualquier viaje largo o si viaja con una carga pesada.

La rotación regular de los neumáticos permite el desgaste uniforme. Los neumáticos deben rotarse aproximadamente cada 6000 a 8000 kilómetros. La primera rotación es la más importante.

Cuando los neumáticos se rotan, las presiones de inflado deben ser ajustadas a las recomendaciones del fabricante de su vehículo.

El balanceo apropiado de los neumáticos es importante para la comodidad en el manejo y para una larga vida útil. Los neumáticos desbalanceados pueden causar vibración, desgaste prematuro y daño a la suspensión del vehículo.

La vibración es un síntoma de alerta que se manifiesta directamente en el volante, sobre los 60 km/hr.

¿Es seguro reparar un neumático que está ponchado?

Si un neumático pierde su presión de aire, debe ser removido de la llanta para una inspección interna completa.



Figura A 5.6.1.6. Revisión y cambio de llantas

Los neumáticos que rueden estando pinchados, aun si recorren distancias pequeñas, generalmente están dañados sin remedio de reparación. La mayoría de los pinchazos, hoyos de clavos o cortes de hasta ¼ de pulgada – limitados a la banda de rodamiento- pueden ser satisfactoriamente reparados. Nunca reparar los neumáticos cuyos surcos de la banda de rodamiento tengan menos de 2 milímetros de profundidad. Figura A 5.6.1.6.

¿Cómo saber si es necesario adquirir neumáticos nuevos?

Los neumáticos tienen barras indicadoras de desgaste en sus surcos, moldeadas en el fondo de ellos. Cuando el diseño de la banda de rodamiento se ha desgastado hasta el punto en que usted puede ver una pequeña barra solida de caucho atravesando el ancho del surco, es momento de remplazar el neumático.

¿Al comprar únicamente dos nuevos neumáticos, deben ponerse al frente o atrás?

Para neumáticos de automóvil o camioneta es recomendable colocar los 2 neumáticos nuevos en el eje trasero. Esto permitirá un mayor agarre y estabilidad frente a un frenado de emergencia y también mejor estabilidad al tomar una curva cerrada, en especial cuando el pavimento esté mojado. Figura A 5.6.1.7.

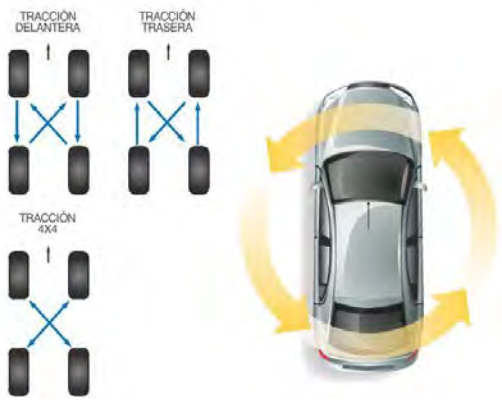


Figura A 5.6.1.7. Tracción, mayor desgaste en las llantas de atrás

La Iluminación

Hasta hace pocos años la luz que emitían los faros era muy débil y no era blanca. Recientes investigaciones han resuelto estos inconvenientes. Lo importante es ser vistos y ver bien.

Para cuidar el sistema de alumbrado, sobre todo, hay que tener una saneada instalación, una buena carga de la batería y contactos siempre limpios. Agua o gotas de agua en el interior del faro provocarán que se funda más rápidamente.

Téngase siempre regulada la altura de las luces, ya que por una parte veremos mejor y por otra, no deslumbraremos a las vehículos que vengan en dirección contraria. También las presiones de los neumáticos deben de ser correctas pues la altura de las luces variará si dicha presión no es la indicada por el fabricante y ello afectará a la iluminación de los faros.

Procurar, que los faros estén siempre limpios, para mejor calidad de luz. A la hora de cambiar bombillas procurar no tocar el elemento de cristal con los dedos, ya que podríamos dejar rastros de grasa, formándose una pequeña película de aceite, lo que provocaría que no se disipara correctamente el calor.

Sistemas de Control de Estabilidad

También conocidos como “antivuelcos”. Son muy útiles en caso de que el conductor pierda el control del automóvil. Mediante sensores (que perciben la velocidad de cada una de las llantas, la posición del volante y la posición del pedal del acelerador) un procesador electrónico determina las acciones a tomar: frenar una o más ruedas o manteniendo las llantas en los apropiados controles de tracción. Quizá sus siglas más extendidas y conocidas sean ESP.

Derecho de Vía

Una carretera no sólo está constituida por terracerías, superficie de rodamiento y estructuras auxiliares que garanticen el buen drenaje y su estabilidad, sino también por la franja de terreno de anchura variable donde se encuentra alojada, que se conoce como Derecho de Vía.

Derecho de Vía es la superficie de terreno de anchura variable, cuyas dimensiones fija la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, que se requiere para la construcción, conservación, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de una vía de comunicación y sus servicios auxiliares y que como tal es un bien de dominio público de la Federación; éste se delimita con postes, alambre de púas o malla ciclónica.

El Derecho de Vía lo constituyen la calzada, los hombros y los taludes laterales, así como todas las estructuras de drenaje de la carretera, ubicados en las áreas comprendidas dentro de los límites de expropiación.

Aunque el tráfico no usa normalmente las zonas aledañas a la calzada, la conservación de éstas contribuye a la seguridad de los usuarios así como con al ornato y estabilidad de la vía.

Es de suma importancia para los fines de su conservación el mantener despejada y limpia esa franja, a fin de ejecutar con libertad y seguridad los trabajos inherentes al mantenimiento, refuerzo, mejoramiento, ampliación o modernización que se requieran, sin obstáculos que impidan el libre movimiento del equipo de construcción para la realización de las obras de desviación y para el libre acceso a los bancos de materiales.

Uso del Derecho de Vía

El establecimiento de accesos, paradores, cruzamientos, instalaciones marginales y adosamientos, así como la colocación de anuncios y señales informativas en las carreteras, que solicitan los particulares, empresas o dependencias oficiales, constituyen el uso del Derecho de Vía de las carreteras.

Iluminación

Cerca del 60% de todos los accidentes fatales de tránsito ocurren por la noche, cuando los volúmenes de vehículos y peatones son más bajos. Al tomar como base el kilometraje, los índices de accidentes nocturnos son el doble de los diurnos en las ciudades y cerca del triple en las zonas rurales (The Automotive Safety Foundación. Traffic Control and Roadway Elements. Their Relationship to Highway Safety. Washington D.C., 1963, pag. 77).

La información visual imprescindible para conducir corresponde principalmente a la superficie de rodamiento y a la eventual presencia de obstáculos en ella o en sus inmediaciones. Excepto cuando se dan circunstancias meteorológicas muy adversas, la luz del sol es suficiente durante el día para que los conductores dispongan de una visibilidad que sólo está limitada por su propia capacidad visual y la eventual presencia de obstáculos que interfieran en la línea de visión. En cambio, por la noche es necesario recurrir a un alumbrado para que los conductores tengan una visibilidad suficiente.

Los faros de los vehículos son una fuente de iluminación que tiene limitaciones derivadas de su corto alcance, de la direccionalidad de la luz que proyectan y de la necesidad de no deslumbrar a los conductores que circulan en sentido contrario. Por ello, no se puede contar con un alumbrado eficaz procedente de los faros más allá de unos 150 a 200 m. Esta distancia es considerablemente menor, del orden de 50 m, si las circunstancias del tráfico obligan a circular con las luces de cruce.

Se pueden definir diversos tipos de alumbrado viario, considerando que cada situación requiere unas exigencias de luminosidad diferentes, según la importancia de la vía.

También deberían dotarse de iluminación los tramos en los que la razón entre la siniestralidad nocturna y la diurna sea superior al doble de la media en las carreteras sin alumbrar de similares características y entorno, y en los que un estudio específico indique que se puede esperar que el alumbrado reduzca significativamente la frecuencia de los accidentes.

Aunque los efectos de la fatiga, intoxicación y otros factores que podrían incrementar el riesgo de viajar de noche, no han sido completamente evaluados, es indiscutible que la velocidad reducida contribuye a estas diferencias en los índices de los accidentes. La iluminación artificial es un medio efectivo ya probado para reducir los accidentes nocturnos de tránsito.

Muchas veces, una correcta iluminación influye de forma indirecta en factores determinantes desde el punto de vista del tráfico, como son la velocidad de circulación, la capacidad de la vía o la seguridad de la misma. Por tanto, es conveniente disponer de una serie de nociones básicas acerca del tema, para poder abordar la construcción de vías urbanas.

Criterios de Iluminación

Partiendo del actual concepto de ciudad (o de núcleo de población en general) la iluminación de sus vías es conveniente y muchas veces necesaria. Esta necesidad puede cuantificarse en base a ciertos criterios:

- Intensidad del Tráfico. Las altas intensidades de tráfico requieren la iluminación de la vía.
- Multiplicidad de Nudos. La presencia de varios nudos, intersecciones o enlaces próximos en un tramo de vía urbana hace conveniente la iluminación del mismo.
- Carácter del Medio Atravesado. Es recomendable la iluminación de la vía en las inmediaciones de determinadas zonas, como las áreas residenciales o comerciales o en zonas próximas a otras ya iluminadas, así como en puntos donde se produzcan variaciones bruscas de velocidad de los vehículos.
- Zonas de Elevada Accidentalidad. En zonas donde la cantidad de accidentes nocturnos doble a la de diurnos se hace conveniente la instalación de sistemas de iluminación. Además, deben iluminarse zonas especialmente críticas, como túneles, puentes e intersecciones.

- Las carreteras urbanas deben tener mejor iluminación que el resto de las calles, dada la velocidad a la que circulan los vehículos, lo que requiere mejores condiciones de visibilidad entre peatones y conductores.

- Es también muy importante evitar áreas de fuerte contraste luminoso (como sucede en el caso de los túneles) o la finalización brusca de tramos de alumbrado. Debe disponerse, por tanto, de un sistema gradual de alumbrado que permita la acomodación del ojo humano a la nueva luminosidad, sin producir deslumbramiento.

Lámparas Empleadas en Iluminación Vial

El objetivo principal de la iluminación de vías es proporcionar al conductor una mayor visibilidad; es decir, que pueda reconocer formas a mayor distancia. Por ello, las lámparas empleadas deben tener elevados rendimientos luminosos, con bajo consumo para un mismo nivel de iluminación, así como una vida útil relativamente larga.

No importa tanto que tengan un buen rendimiento cromático, ya que su finalidad no es facilitar la distinción de colores, sino la de formas. El rendimiento cromático de una lámpara da idea de la riqueza de matices que posee la luz que produce.

Factores a Tener en Cuenta en la Elección del Alumbrado

Existen diversos factores económicos, sociales y técnicos que condicionan la elección del sistema de alumbrado a emplear:

- Determinación de nivel de iluminación necesario. Dependiendo del tipo de vía, será necesario el empleo de lámparas de mayor potencia o reducir la separación y/o la altura de los báculos de alumbrado.

- Enclavamiento de la vía. Situación de la vía en el contexto urbano global, así como la evaluación de sus características y del uso de suelo existente a su alrededor: plaza, parque, zona residencial, uso industrial, descampado, etcétera.

- Forma de disposición de los báculos. Atendiendo a criterios de tipo económico, pueden efectuarse diversas disposiciones en planta de los báculos de alumbrado, cada una de ellas aparejada a un mayor o menor grado de calidad.

- Altura del báculo. Dependiendo de la disposición y la potencia de la lámpara, deberá escogerse la altura del báculo, sin perder de vista el factor de uniformidad.

- Determinación de la interdistancia. Una vez definidos los anteriores parámetros, únicamente queda determinar la interdistancia entre luminarias, para conseguir el nivel de iluminación exigido.

Deslumbramiento

El deslumbramiento es sin duda uno de los causantes de situaciones de peligro en la circulación de vehículos, ya que priva al conductor de la visión durante un periodo lo suficientemente largo de tiempo como para producir cualquier tipo de accidente.

Este fenómeno puede producirse de una forma directa (a través de un segundo vehículo que circule en sentido contrario con el alumbrado de carretera encendido) o indirectamente (a través de las luminarias colocadas en los márgenes de la vía).

Se distinguen tres tipos de deslumbramiento: molesto, perturbador e irreversible.

1. **Molesto.** El deslumbramiento molesto afecta de manera leve a la visión, permitiendo la apreciación y diferenciación de los distintos elementos presentes en la vía, aunque provocando una sensación desagradable en el conductor que, si se prolonga en el tiempo, puede causar fatiga visual.

2. **Perturbador.** Se produce una merma de la capacidad visual, al ser las luminancias del fondo y los objetos muy similares, provocando un estado de confusión en el conductor del vehículo.

3. **Irreversible.** El deslumbramiento producido es de tal magnitud que, una vez cesado el estímulo, el ojo humano tarda varios segundos en recuperar la percepción total de los objetos. Es el más peligroso de los tres tipos de deslumbramiento y generalmente está causado por otros vehículos que circulan en sentido contrario al conductor.

Barreras de Seguridad

Las barreras de seguridad deben cumplir las siguientes funciones específicas:

- Modificar con suavidad la trayectoria del vehículo.
- Mantener al menos una parte de su eficacia después del choque.
- Detener o anular la componente transversal del movimiento del vehículo, a través de las fuerzas desarrolladas en su contacto con él (deformaciones y rozamientos).
- Guiar o mantener la trayectoria del vehículo paralela a la barrera tras el choque, sin que retorne a la calzada, donde podría chocar con otros vehículos.

Las Barreras se pueden clasificar en dos categorías:

Deformables. Experimentan deformaciones, permanentes o no, durante el impacto del vehículo, por lo que hay que contar con una distancia suficiente para permitirlas, sin alcanzar al obstáculo que protegen. Pertenecen a esta clase las barreras metálicas y las prefabricadas de concreto no ancladas.

Rígidas. Sus desplazamientos en caso de impacto resultan despreciables, dependiendo de la magnitud de las fuerzas de contacto y de la deformación del vehículo, que a su vez varía según la velocidad y el ángulo de impacto. Si este ángulo es pequeño, las ruedas de los vehículos que entran en contacto con la barrera se montan sobre ella gracias a que presenta un perfil transversal diseñado para conseguir tal efecto. De esta forma, las fuerzas transversales se transmiten al vehículo a través de su suspensión, haciendo que las ruedas giren en un plano inclinado transversalmente y redirigen al vehículo paralelamente a la calzada. Por otra parte, permiten colocar sobre ellas pantallas antideslumbrantes, pantallas anti ruido y báculos de iluminación. Pertenecen a esta clase las barreras de concreto ancladas.

Los amortiguadores de impacto se utilizan para proteger zonas u obstáculos peligrosos contra choques frontales, para los que las barreras de seguridad no resultan adecuadas. Su finalidad es la de atenuar las consecuencias del choque del vehículo, absorbiendo su energía cinética mediante la deformación del dispositivo. Deben cumplir dos requisitos funcionales específicos: detener el vehículo dentro de la longitud del amortiguador, sí es que aquél queda en la calzada y funcionar igual que una barrera de seguridad en un choque lateral. Los modelos existentes se pueden dividir en dos clases: dispositivos telescópicos y conjuntos de bidones.

Las barreras de seguridad se sitúan generalmente paralelas al eje de la carretera (aunque en las curvas se puedan adoptar otras disposiciones para reducir el ángulo de choque), de forma que intercepten la trayectoria de los vehículos fuera de control que, de no existir aquéllas, llegarían a zonas peligrosas u obstáculos. Su principio se debe anticipar al de la zona donde empieza a estar justificada su presencia y su final se debe retrasar respecto del de la zona donde deja de serlo; asimismo, conviene que se unan las barreras consecutivas separadas por distancias cortas, logrando así una mayor continuidad del dispositivo.

Cuando más lejos del borde de la plataforma se halle una barrera de seguridad, menor será la probabilidad de que un vehículo fuera de control choque con ella, pero también será mayor el ángulo del choque y, por lo tanto, la gravedad de éste. Es frecuente disponer las barreras junto al borde exterior de la plataforma. Los extremos de una barrera de seguridad tampoco deben constituir un peligro para los vehículos que choquen contra ellos; en caso contrario, hay que protegerlos como si se tratase de un obstáculo aislado. Asimismo en ellos hay que disponer unos anclajes para proporcionar la resistencia a tracción o flexión que necesite la barrera para cumplir su función.

En el borde de los tableros de los puentes, de los viaductos y de las demás obras de paso deben disponerse siempre pretiles, ya que las consecuencias de una caída por dicho borde suelen ser muy graves, tanto para los ocupantes del vehículo como para terceros.

En carreteras que discurran por un terreno accidentado o muy accidentado, deben disponerse pretiles del lado del valle sobre los muros de sostenimiento, siempre que la velocidad sea superior a 50 km/h.

La selección del nivel de contención de una barrera de seguridad o de un pretil se debe hacer atendiendo a las circunstancias propias de cada tramo: tráfico, trazado y gravedad del accidente que se pretende evitar. En cualquier caso, no se debe olvidar que los dispositivos de alta contención resultan bastante rígidos frente al choque de un vehículo ligero, por lo que su implantación se justifica sólo por la absoluta necesidad de retener un vehículo pesado.

Los amortiguadores de impacto deben disponerse en las situaciones en las que la protección de los obstáculos no pueda realizarse mediante la implantación de barreras. Es el caso de: narices de divergencias o salidas en las que existan obstáculos; obstáculos aislados en medianas o márgenes (donde no puedan disponerse barreras de seguridad, de forma que el choque contra ellas se haga con ángulo suficientemente pequeño) y de los obstáculos aislados temporales debidos a las obras u otras actividades ocasionales que se desarrollen en la carretera. Los amortiguadores de impacto se colocan delante de los obstáculos a los que protegen, de manera que el choque se produzca lo más frontalmente posible.

Rampas de Emergencia para Frenado

Las rampas de emergencia para frenado se emplean para desviar del flujo automovilístico a cualquier tipo de vehículo, especialmente de carga pesada, que por diversas circunstancias presenten fallas mecánicas en su sistema de frenado.

Se definen como franjas de terracería, compuestas por capas de materiales granulares sueltos (gravilla o arena), ubicadas a lo largo de grandes pendientes descendentes, continuas y prolongadas. Su función es disminuir, de forma controlada, la velocidad de los vehículos fuera de control, disipando su energía cinética y ocasionando su detenimiento seguro y fuera de peligro, aprovechando la acción de la fuerza de gravedad.

Por características propias de la orografía, en México es frecuente que los vehículos de carga circulen por pendientes de longitud considerable e inclinación elevada; tales particularidades crean condiciones inseguras, debido a que exponen a los conductores a efectuar constantes cambios de velocidad y a utilizar permanentemente los frenos (lo que causa los denominados “frenos humeantes”), así como a buscar la acción retardante de los motores al llevarlos embragados o enganchados constantemente a velocidades bajas; sin embargo, esta última medida no siempre es suficiente para mantener los vehículos bajo control ni, por ende, para impedir accidentes con graves daños humanos y materiales.

Principios Básicos

Existen varios elementos y fuerzas que actúan sobre el vehículo mientras realiza su recorrido a través de la pendiente descendente. Dichas fuerzas afectan su velocidad, su sistema de frenos e incluye la fuerza del motor del mismo. Por consiguiente, la sumatoria de las mismas resulta en la acción total presente. La fuerza del motor y de los frenos, puede ser despreciada para el diseño de la rampa, ya que se asume que el vehículo se encuentra fuera de control.

El correcto diseño, construcción y mantenimiento de este tipo de rampas, puede prevenir accidentes evitando colisiones que deriven en pérdidas de vidas humanas y en daños materiales. Figura A 5.6.1.8.

Dentro de la categoría de rampas de frenado existen cuatro diseños predominantes: de Montículo y tres cuya clasificación depende de la pendiente (Descedente, Horizontal y Ascendente). Se construyen de forma paralela y adyacente al camino. El estar constituidas por material granular suelto, aumenta la resistencia al rodado para la detención de los vehículos

El conductor de un vehículo fuera de control, difícilmente puede tomar decisiones o realizar acciones complejas, por lo que es de suma importancia la señalización en el diseño de una rampa de frenado. La señalización debe guiar al conductor, sin dar lugar a duda alguna, hasta el acceso a la rampa y lograr que comprenda las maniobras que debe realizar; al mismo tiempo debe percibir la confianza y la seguridad de ingresar y mantenerse en ella hasta detenerse, y no continuar en el flujo vehicular sobre la carretera.

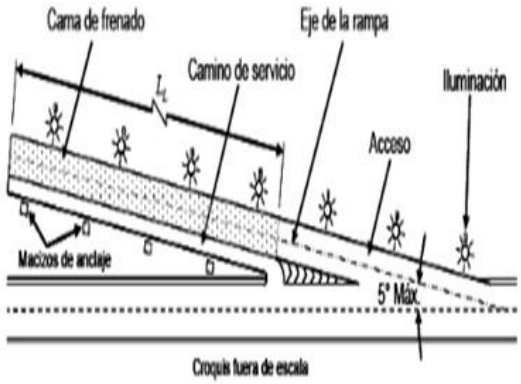


Figura A 5.6.1.8. Elementos de rampa de emergencia para frenar. Disposición en planta

La clave del éxito radica en la eficiencia para construir y mantener en buen estado este tipo de mecanismos, contando con un señalamiento claro y sencillo que guíe al conductor hacia la rampa de frenado, para lo cual se mencionan a continuación algunas recomendaciones de diseño.

En cuanto a ubicación, es preciso tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

a. Ubicarla en un punto previo al lugar donde se haya registrado el mayor número de accidentes asociados con la falla de frenos, ya que éste es un sitio de la pendiente que permitirá interceptar la mayor cantidad de camiones fuera de control.

b. Construirla antes de una curva horizontal que no pueda ser enfrentada de forma segura por un vehículo fuera de control.

c. Instalar la primera rampa entre los 5 y los 7 km de la curva vertical en cresta, la cual interceptará entre 70 y 80% de los vehículos descontrolados.

d. Ubicar la rampa en el costado derecho de la vía y en una alineación tangente a ésta, de manera que los vehículos que ingresen lo hagan de una forma segura ya que, una vez dentro, se pierde la maniobrabilidad. Además se debe contar con una buena visibilidad y el ángulo de ingreso debe ser menor a 5°.

e. En vías bidireccionales, no se recomienda diseñar rampas al costado izquierdo, ya que se debe evitar que los vehículos invadan el carril contrario.

f. En caminos unidireccionales con más de un carril de circulación, se podrán diseñar rampas al costado izquierdo, pero ubicadas sólo en la mediana de ambas calzadas.

g. Contar con una señalización adecuada, tanto previa a la rampa como dentro de ella. La señalización debe ser perfectamente distinguible (especialmente de noche) para evitar que un conductor la pueda confundir con el camino principal. De igual forma, se aconseja disponer iluminación en los casos de geometría complicada y condiciones climáticas desfavorables (por ejemplo neblina).

Los factores de diseño a considerar son: a) Informar al conductor sobre el comportamiento a seguir, b) Contar con un acceso amplio y que tenga buena visibilidad, c) Seleccionar y colocar los materiales adecuados en la cama de frenado, d) Disponer de una longitud suficiente y e) Instalar un carril auxiliar para remover los vehículos y permitir su mantenimiento.

Tipos de Rampas de Emergencia para Frenado

Rampas con Montículo

Son las que tienen una cama de frenado formada por un montículo de material granular suelto y seco, con pendiente ascendente y espesor creciente, que funciona como disipador de energía para disminuir y detener la carrera de los vehículos sin frenos, por la resistencia a la rodadura de las llantas, la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente del montículo y eventualmente por la fricción entre el material granular y algunas partes del vehículo. Sólo se debe utilizar este tipo de rampas cuando se tengan limitaciones de espacio y su conveniencia esté sustentada en un estudio técnico que la justifique en términos de la disipación de la energía del vehículo. Figura A 5.6.1.9.

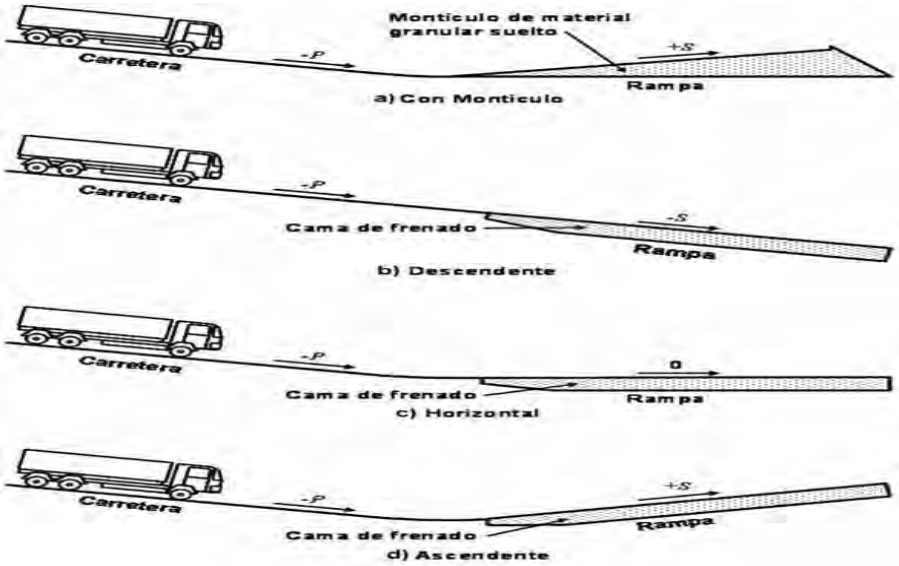


Figura A 5.6.1.9. Tipos de rampas de emergencia para frenado

Rampas Descendentes

Las que tienen una cama de frenado de espesor uniforme con pendiente longitudinal descendente. La acción de detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura y, debido a que la acción de la gravedad tiene un efecto acelerador, estas rampas suelen ser las de mayor longitud, dependiendo de la magnitud de su pendiente descendente, las características del material granular y la velocidad del vehículo para la que se diseñen.

Rampas Horizontales

Las que tienen cama de frenado horizontal de espesor uniforme, sin pendiente longitudinal. La detención se limita al aumento de la resistencia a la rodadura. Como el efecto de la gravedad en la detención es nulo, estas rampas suelen ser largas, dependiendo de las características del material granular y la velocidad del vehículo para la que se diseñen.

Rampas Ascendentes

Las que tienen una cama de frenado con espesor uniforme y pendiente longitudinal ascendente. Como en la detención se aprovecha la resistencia a la rodadura y la acción de la gravedad por la pendiente longitudinal ascendente, estas rampas suelen ser menos largas que las rampas descendentes y horizontales.

El mantenimiento es esencial para el funcionamiento adecuado de las rampas de frenado. Para ello, se requiere de un equipo que, además de asegurarse de que los trabajadores ocupados en esta tarea no estén expuestos al posible ingreso de algún vehículo que necesite utilizar la rampa, asegure que el dispositivo esté de vuelta funcionando en un período mínimo.

Como parte del diseño integral de una rampa de frenado, es indispensable construir un carril auxiliar de servicio y contar con el señalamiento y los dispositivos necesarios mientras se realizan las labores de remoción de los vehículos por medio de grúas u otros equipos de servicio. Se recomienda que este carril sea adyacente a la cama de frenado y ancho mayor a los 4 m, de tal forma que permita el acceso a camiones de remolque; preferentemente debe estar pavimentado, especialmente en zonas de lluvias; también se sugiere que, dentro de lo posible, retorne al camino principal.

Peatón

Cuando una persona transita a pie se le considera peatón, es decir, que camina por una vía pública. También se incluye a las personas que empujan o arrastran una carriola para menores, los que circulan en silla de ruedas y los que utilizan patines o similares. Los peatones son conductores de su propio cuerpo; algunos tienen dificultad de movimiento y es muy frecuente la falta de una infraestructura adecuada para el peatón. De aquí su vulnerabilidad ante un atropellamiento, definiéndose éste como el contacto violento entre un peatón y un vehículo.

El peatón tiene derecho de paso sobre cualquier vehículo al momento de cruzar intersecciones de calles no semaforizadas ni controladas por un policía de tránsito, siempre y cuando lo haga en forma directa a la acera opuesta, por las esquinas y pasos peatonales, cuando los vehículos que se aproximan estén a una distancia prudente que no represente peligro.

Los peatones deben transitar por las aceras o zonas peatonales, sin invadir la calzada. Si no existieran aceras, se debe caminar lo más cerca a las edificaciones, prestando atención a los vehículos que transitan y si fuera posible en dirección contraria a ellos, para verlos.

Aunque en la ciudad se puede circular por la derecha o por la izquierda de la acera, según convenga, existen ciertos peatones que deben circular siempre por la derecha, éstos son:

- Los peatones que empujan o arrastran un carrito de mano
- Los grupos dirigidos por una persona
- Los discapacitados en silla de ruedas

Las actitudes adecuadas de los peatones, tanto en la ciudad como en la carretera, deben ser siempre:

- Cruzar por las esquinas (ya que por ellas los vehículos circulan más despacio) y sobre el paso peatonal. En caso de no existir el paso peatonal, se deben calcular la distancia y la velocidad de los vehículos antes de cruzar; ante la duda es mejor esperar.
- En cruces con semáforo para peatones, cruzar únicamente cuando la silueta del peatón esté en verde de forma fija.

- En cruces con semáforo sólo para vehículos, se puede cruzar cuando los vehículos se encuentren totalmente detenidos con el semáforo en rojo.

- En vías de tránsito rápido de acceso restringido, como carreteras y autopistas, los peatones deben cruzar solamente por los puentes peatonales.

- Para cruzar por los pasos de peatones sin semáforo, se debe mostrar la intención de hacerlo para alertar a los conductores, pero sólo se cruzará cuando los vehículos se hayan detenido.

- Si se camina con varios niños y niñas, deben ser conducidos por las aceras en filas o hileras, con un guía adelante y otro atrás, agarrados de la mano.

- Se debe prestar atención y obedecer las señales de los policías de tránsito, porque están habilitados para el control del tránsito tanto peatonal como vehicular.

- Se debe estar atento a la presencia de talleres, garajes y otros pasos vehiculares, ya que pueden repentinamente entrar o salir vehículos.

- Se debe ayudar a cruzar a todo aquel que lo necesite; por ejemplo, personas mayores, invidentes, discapacitados o niños pequeños.

- Al circular por la acera utilizando patines, debe hacerse a paso de peatón.

- De noche es recomendable usar ropa clara y transitar en contra del sentido del tránsito.

- En carretera, cuando se va en grupo, se debe transitar en columna de uno y por la berma lateral (margen de la pista del lado izquierdo), dependiendo del sentido del vehículo.

- Cruzar la carretera por lugares que brinden seguridad, observando ambos lados de la vía.

- Evitar cruzar la vía en pendientes pronunciadas o curvas.

- En carreteras, se debe caminar en contra del sentido de los vehículos.

- Si no existen aceras se debe caminar lo más próximo posible a las casas, prestando mucha atención a los vehículos que circulan y si es posible de frente a ellos para verlos venir.

Las actitudes inadecuadas de los peatones, tanto en la ciudad como en la carretera, son:

- Detenerse en la acera sin causa justificada, impidiendo el paso a los demás.

- Hacer carreras o juegos que molesten a los demás.

- Caminar por el borde de la acera.

- Cruzar sin comprobar que los vehículos se han detenido, aun cuando el semáforo esté en verde para el peatón o en rojo para los vehículos.

- Circular por la calzada o bajar o ingresar a ella para intentar detener a un vehículo, con el fin de solicitar su servicio (tomar taxi, combi, camión, etcétera).

- Llevar animales sueltos que puedan molestar a otros peatones.

- Al cruzar, situarse detrás o entre vehículos que estén dando marcha atrás, iniciando el movimiento o haciendo cualquier otra maniobra.
- Atravesar glorietas o plazas abiertas a vehículos.
- Cruzar por lugares prohibidos saltando las vallas o barreras que lo impiden.
- Circular por la pista utilizando patines, o hacerlo por la acera a gran velocidad.

Banquetas

Es la parte del espacio público destinada a la circulación o a la permanencia de peatones. Se conforma por 3 franjas longitudinales paralelas a la vialidad: Figura A 5.6.1.10.

Franja se Circulación Peatonal. Espacio para el movimiento peatonal libre de cualquier obstáculo. El ancho mínimo será de 1.50 m en adelante. En banquetas igual, estrechas o menores de 1.50 m el ancho minino será de 0.90 m.

Franja de Fachada. Espacio para la permanencia del peatón, sólo en banquetas de zona comercial. Su dimensión es de 0.60 m en adelante.

Franja de Equipamiento. Espacio destinado para colocar el mobiliario, señalización, vegetación y equipamiento. Mide 0.60 m en adelante, hasta 3 m.

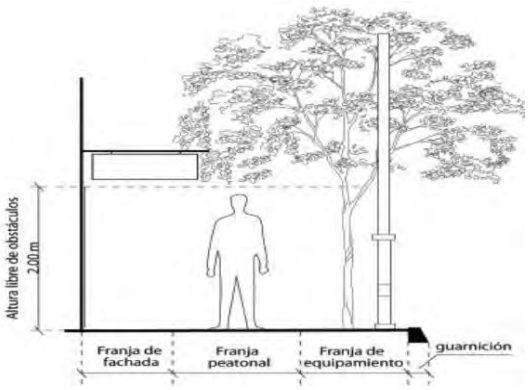


Figura A 5.6.1.10. Diseño de banquetas

Canalización de los Flujos Peatonales

En las zonas urbanas, donde el tráfico de peatones es importante, es imprescindible que la red viaria esté adecuadamente diseñada para canalizar los flujos peatonales en unas condiciones de seguridad y de comodidad. Las actitudes de los peatones son más diversas que las de los conductores y, en general, obedecen con menos rigor a las normas específicas y a la señalización. Esto hace más difícil ordenar sus movimientos y su seguridad. Tampoco es fácil medir las características de sus desplazamientos.

La velocidad media de los peatones depende de diversos factores, principalmente de la edad, del sexo, de la inclinación de la vía y de la cercanía de los vehículos. El Manual de Capacidad norteamericano recomienda considerar una velocidad media de 1.20 m/s si la proporción de personas mayores de 65 años es inferior al 20 %, y de 1 m/s en caso contrario. La existencia de una rampa de pendiente superior al 100 reduce estas velocidades medias en 0.1 m/s.

Las aceras por las que camines los peatones deben tener una anchura suficiente para los flujos que deban soportar. Se puede definir como anchura efectiva la que puede ser utilizada por los peatones para desplazarse sin encontrar obstáculos. La capacidad máxima de una acera, según el Manual de Capacidad, corresponde a una intensidad de paso de 75 peatones/min/m. La medida del nivel de servicio para los peatones viene dada por la superficie útil de acera disponible por peatón.

Además de disponer de una superficie suficiente de aceras, debe estudiarse la continuidad de los itinerarios peatonales para facilitar la movilidad en las ciudades; son los de cruce de las calzadas. El intervalo medio que requiere un peatón para cruzar una calzada suele estar comprendido entre 2 y 6 segundos.

La protección de los peatones al cruzar la calzada puede hacerse de tres formas:

- Con una señalización que establezca una preferencia para el peatón; como señales de paso a peatones y pasos de cebra.
- Con semáforos
- Con cruces a desnivel

Los peatones no siempre utilizan los cruces a desnivel, aunque la proporción que lo hace aumenta a medida que lo hace la intensidad del tráfico. Como regla general, un peatón no utiliza un paso a desnivel si le supone incrementar su tiempo recorrido en más de un minuto.

Los problemas de seguridad en el cruce de calzada requieren una mayor atención en las zonas escolares. Las condiciones que justifican la instalación de semáforos son menos estrictas que en otros pasos de peatones. En cualquier caso, deben estudiarse los recorridos normales de los niños, para modificarlos si es preciso con el objetivo de reducir el número de cruces y para adoptar en ellos medidas de precaución.

En los centros urbanos se establecen en ocasiones unas zonas reservadas a los peatones, en las que se prohíbe la circulación de automóviles. Se persigue con ello tres objetivos básicos:

- Facilitar la circulación de los peatones y su acceso a los comercios y al resto de los edificios, reduciendo el riesgo de accidentes.
- Estimular el desarrollo de los centros urbanos.
- Conseguir una mayor calidad urbana.

Los Niños en el Tránsito

Es común escuchar de los conductores expresiones como: “Tengo prisa”, “voy a llegar tarde”; estas actitudes ponen en riesgo la vida y más cuando incurren en algún error de conducción por un mal hábito, por “tocar el claxon” o “hacer cambio de luces” a peatones que se encuentran en las vialidades, creyendo con esto que su libre paso está asegurado.

En los niños las lesiones más frecuentes se presentan en la cabeza y el cuello con 44%, las extremidades superiores e inferiores con 13 y 11%, respectivamente, y en el tórax y abdomen, 9 y 6%. Para el resto se desconoce el tipo de lesión.

Estudios realizados indican que un niño podrá cruzar con eficacia una vialidad y percibir si se acercan vehículos a partir de los 12 años, es decir, cuando tendrá un control definitivo de la atención. Sin embargo, hay que mencionar que en los niños existe una tendencia a correr para “ganar” tiempo, pero sin tener clara noción de las ubicaciones de los vehículos.

Por ejemplo, si un niño cruza una vialidad a 36 m por delante del vehículo, lo más probable es que el conductor mate al menor si conduce a 70 km/h o más; lo lesionará si conduce a 60 km/h, y evitara el atropellamiento si conduce a 50 km/h.

Sin embargo, si el niño cruza a 15 m del vehículo, la probabilidad de herir al niño con consecuencias mortales parte de los 50km/h en adelante. Un aumento de 5% en la velocidad media supone un aumento aproximado de 10% de los accidentes con heridos y de 20% de los accidentes mortales.

Un niño no puede ser “adaptado” al tránsito, el tránsito debe adaptarse a él, y de esto los adultos son los únicos responsables.

Por tanto, es importante que todo conductor conozca las limitaciones psicofísicas de los niños como peatones y adopte actitudes responsables para la seguridad del menor. Especifiquemos:

La menor altura del niño le dificulta tener un panorama amplio de lo que sucede (esto se puede comprobar arrodillandose).

El niño tiene una gran agilidad física combinada con sus limitaciones psíquicas, lo cual lo lleva a cometer errores en forma frecuente.

El niño tiene grandes dificultades para articular lo que percibe con sus movimientos rápidos; y en casos de riesgo tiende a no moverse o ir en sentido equivocado a la situación.

El niño cuenta con menor visión periférica (100 - 110°) que un adulto (170°) y está obligado a girar la cabeza para tener un panorama completo del tránsito.

A los menores de 7 años se les dificulta conocer con exactitud de que dirección proviene el ruido de un vehículo que se acerca.

Un infante tiene dificultad para distinguir la izquierda de la derecha y para evaluar correctamente las distancias y velocidades de aproximación de los vehículos.

Por naturaleza, el niño es impulsivo con tendencia a bloquearse ante el peligro; se centra en aquello que lo atrae (por ejemplo: ir detrás de la pelota).

El tiempo de reacción ante una situación de peligro es casi el doble de la que requiere un adulto.

En los niños menores, el pensamiento es más abstracto y global; les resulta muy complejo tener un pensamiento concreto en relación con un tiempo y lugar determinados. El niño tiene propensión a lo que se denomina un pensamiento “mágico”.

La Tercera Edad en el Tránsito

Las personas de edad avanzada conforman un grupo especial entre los peatones, ya que tienen un mayor índice de mortalidad debido a su menor capacidad física y de recuperación. A este respecto, investigadores concluyen que la gravedad de los atropellamientos en las personas mayores obedece al mayor riesgo de accidentes y al daño producido por el impacto.

El envejecimiento produce cambios en los órganos, los sentidos y en el sistema nervioso, que se sintetizan en:

a. Menor rapidez de reflejos y marcha lenta.

b. Dificultad para percibir los objetos que se aproximan.

c. Disminución de la visión periférica y de la respuesta al deslumbramiento.

d. Disminución de la capacidad auditiva.

e. Disminución de luz en la retina.

f. Confianza excesiva hacia los conductores.

Estudios realizados en Argentina afirman que los adultos mayores tienen siete veces más riesgo de morir que un adulto y para el caso de un niño menor de nueve años es de tres veces mayor.

Asimismo, los adultos mayores incurren en mayor riesgo de muerte por su menor capacidad de recuperación y de sobrevivir al ser atropellados; en cambio, la vulnerabilidad de los niños está relacionada con el tamaño de su cuerpo, pues entre más pequeños sean se ocasionan traumatismos más severos.

Tipos de Atropellamiento

Al momento de un atropellamiento, en general las piernas del peatón son las primeras en impactarse contra la defensa del vehículo, inmediatamente después la cadera, pelvis y el pecho hacia el cofre y, por último la cabeza contra una parte del cofre y la parte baja del parabrisas. La severidad del golpe está relacionada con la estatura y el peso corporal del peatón, la altura de la defensa del vehículo y la velocidad de éste. Por supuesto que también es importante dónde impactó la cabeza.

El atropellamiento por un vehículo automotor es el riesgo más común al que están expuestos los peatones.

No obstante que las últimas generaciones de automóviles han evolucionado hacia la introducción de nuevas tecnologías para hacerlos menos agresivos al peatón al momento del impacto, la literatura indica que hay diferentes tipos de atropellamiento, en función de las trayectorias que ejecuta el peatón al momento de ser impactado. Los más comunes son:

1. **Por envoltura.** El vehículo impacta al peatón por debajo de su centro de gravedad, de manera que el cuerpo de éste cae sobre el cofre del vehículo y las extremidades superiores suelen impactar el parabrisas o el cofre. Posteriormente el cuerpo es proyectado hacia delante por la desaceleración, una vez que ha golpeado sobre el cofre. El vehículo avanza, pero desacelerando o a velocidad constante superior a los 30 km/h.

2. **Por proyección hacia delante.** Participan vehículos grandes cuyo centro de gravedad es elevado y por tanto está arriba del centro de gravedad del peatón. En este caso, el vehículo proyecta hacia delante al peatón, ocasionándole lesiones principalmente en el tórax. El vehículo circula acelerando o a velocidad constante superior a los 40 km/h.

3. **Por vuelta sobre la salpicadera.** El peatón camina perpendicular al vehículo y es impactado cerca del vértice delantero del vehículo y es arrojado hacia la salpicadera. La velocidad del peatón influye sobre el deslizamiento de su cuerpo sobre su costado, y la velocidad del vehículo es a partir de 40 km/h.

4. **Por vuelta por el techo.** El vehículo impacta al peatón y lo eleva de la superficie de rodamiento, de forma que pasa rotando o girando por arriba del vehículo que transita. En este tipo de atropellamiento es probable que el techo o la parte superior del parabrisas o la cajuela impacte nuevamente contra el cuerpo del peatón, para luego caer detrás o a un costado del vehículo. La velocidad del vehículo es a partir de 60 km/h.

La inseguridad, ya sea real o percibida, tiene un efecto importante en la decisión de caminar, especialmente en el caso de los niños y los adultos mayores. Preocupa especialmente la disminución de los desplazamientos a pie que se ha observado entre los niños, motivada en parte por la percepción de sus padres de que caminar es una actividad de alto riesgo.

Acciones a Favor del Peatón

No cabe duda de que la mejor acción que puede hacer un peatón dentro del flujo vehicular es establecer con claridad y anticipación lo que quiere hacer, y no esperar riesgos hasta tener claro que el conductor interpretó su intención de cruzar. También es evidente que con dificultad puede saber si el conductor lo ha visto y si le cederá el paso, ya que observa el vehículo en su conjunto. Para ello se requiere que el peatón establezca un buen contacto visual con el conductor y así aumentará su probabilidad de que ha sido visto y cruzará con mayor seguridad de que el conductor estará al pendiente de sus maniobras. El peatón debe tener conciencia de su fragilidad.

No es secreto que una medida para reducir los atropellamientos es la reducción de la velocidad de los vehículos (no mayor a la tolerancia humana, 30 km/h) en zonas que pueden ser transitadas por peatones. Al igual que un siniestro vial no suele venir de un factor aislado, los resultados no se obtendrán con una sola medida; por tanto, otra medida es la separación de peatones del resto del tránsito mediante aceras y pasos peatonales, así como el aumento d la visibilidad de los peatones y el respeto mutuo de la vía entre los usuarios.

Como Mejorar la Seguridad Vial

Circular a la velocidad adecuada es básico, ya que estaremos preparados para reaccionar ante cualquier imprevisto, provocado por otros coches o peatones o, incluso, por un fallo nuestro o mecánico.

Podemos ir muy seguros conduciendo, pero si circulamos a una velocidad muy alta no podremos responder ante un animal que invade la vía, un coche en sentido contrario que nos encontremos realizando un adelantamiento o, incluso, una retención a la salida de una curva.

En aras de la seguridad vial, en el caso de que viajemos en vehículos de dos ruedas el casco es imprescindible y, aunque en ocasiones nos puede resultar molesto, es el dispositivo que nos protege ante una caída o un accidente. Lo mismo hemos de decir del resto de elementos de seguridad pasiva como son los cinturones de seguridad y las sillitas de retención de los niños.

Para ver mejor y, sobre todo para que nos vean correctamente, se recomienda llevar las luces todo el día y no sólo cuando cae el sol. En temas de visibilidad, hay que decir que cuando aún no está oscuro del todo pero ya empieza a anochecer es cuando menos se nos ve y hemos de actuar en consecuencia.

Obviamente, no debemos tomar alcohol ni otras drogas legales o no, cuando conduzcamos. Además de ser ilegal, estaremos poniendo en riesgo nuestra seguridad vial y la del resto de los agentes que intervienen. Si tomamos algún medicamento antes de ponernos a conducir, deberemos consultar el prospecto ante posibles efectos adversos.

Siguiendo estos consejos de seguridad para conducir, estaremos contribuyendo a que la carretera sea un lugar más seguro. No sólo se trata de nuestra vida, sino también la de muchos otros conductores y viajeros.

Auditorías de Seguridad Vial

El objetivo esencial de la Seguridad Vial es minimizar al máximo posible las cifras de accidentalidad registradas. Una auditoría de Seguridad Vial trata de identificar problemas sustanciales de seguridad vial y proponer soluciones mediante las cuales se puedan reducir dichos problemas.

“Una auditoría de seguridad vial (ASV) es un examen formal a un proyecto vial o de tránsito, existente o futuro, en donde un grupo de profesionales calificados e independientes, informa sobre el riesgo potencial o de ocurrencia de accidentes y del comportamiento del proyecto desde la perspectiva de la seguridad vial.” La auditoría de seguridad vial además considera las necesidades de todos los usuarios de la vía (vehículos motorizados, bicicletas, peatones, tracción animal, etcétera). “Uno de los objetivos que persiguen las autorías de seguridad vial es evitar el próximo accidente.

El proceso de implementación de una mejora vial (tramo nuevo o mejora a un tramo existente) consiste en varias etapas, incluyendo generalmente las siguientes: diseño preliminar o anteproyecto, proyecto ejecutivo, construcción y operación.

Los procedimientos más comunes de realización de auditorías suelen considerar la ejecución de una auditoría sobre el producto resultante de cada una de las etapas anteriores, con el fin de identificar posibles fallas en materia de seguridad vial.

Así, se le denomina como auditoría de etapa 1 a aquélla que se ordena para identificar deficiencias en el anteproyecto que pudiesen generar inseguridad vial y accidente. Suele representar la última oportunidad para considerar los requerimientos de la seguridad en la gestión de recursos (por ejemplo para la adquisición de derecho de vía).

En la auditoría de etapa 2, dirigida a identificar deficiencias en el proyecto ejecutivo, la auditoría se centra en aspectos de mayor detalle de la mejora, considerando la geometría de los entronques, la posición de las señales

verticales, el señalamiento horizontal, la iluminación artificial, etcétera. La auditoría de etapa 2 debe identificar deficiencias identificadas en la auditoría de esta etapa 1 que no hubiesen sido atendidas y reiterarlas en el reporte de esta etapa.

La auditoría de etapa 3 debe realizarse cuando la construcción ha sido terminada substancialmente y preferentemente antes de su apertura a los usuarios. Los auditores deben examinar la mejora desde el punto de vista de los usuarios, y pueden caminar, conducir un vehículo o una bicicleta por ella con el fin de evaluar que los usuarios la entiendan. La auditoría de etapa 3 debe identificar deficiencias señaladas en la auditoría de etapa 2 que no hubiesen sido atendidas, y reiterarlas en el reporte de esta etapa.

La auditoría de etapa 4, también denominada inspección, se realiza cuando la carretera ya está en operación. En esta auditoría debe realizarse una verificación del número de accidentes con víctimas (lesionadas y fallecidas) que ocurren, a fin de identificar problemas serios y efectuar rápidamente las correcciones pertinentes. El reporte de esta autoría debe señalar los problemas de seguridad identificados a partir del análisis de los datos de accidentes, así como de las observaciones realizadas durante visitas de campo.

Metodología Aplicada

Para la realización del proceso de auditorías, se desarrolló una metodología que involucra a los siguientes 4 pasos:

a. Recopilación de Información Base. Planos de localización y trazo de la carretera, normatividad, datos viales, información de accidentes, etcétera.

b. Revisión y Evaluación de la Información Base de cada una de las Carreteras. El propósito principal es revisar el cumplimiento de la normativa, la identificación y localización de sitios con una concentración elevada de accidentes (“puntos negros”) y otros puntos que requieran un análisis detallado, tales como intersecciones, enlaces y puntos singulares.

c. Inspección de Campo o “In Situ”, Mediante Recorridos Diurnos y Nocturnos en Ambos Sentidos. En este punto el objetivo es analizar las condiciones de operación de cada una de las carreteras en diferentes condiciones de visibilidad, identificar y localizar, mediante GPS y del sistema mapa-móvil, aquellos elementos que pudieran representar un riesgo potencial para la seguridad (tanto los relacionados con la operación de la carretera como los que se refieren a la infraestructura, la señalización y el entorno de la misma).

d. **Inspección “In Situ”**. Se registran (en listas de verificación) las deficiencias detectadas en el señalamiento horizontal y vertical, la sección transversal, el sistema de drenaje, al alineamiento de la carretera, los dispositivos de contención, la conexión entre sistemas de contención, los ramales, las zonas laterales, etcétera.

También se lleva a cabo un levantamiento de datos mediante indicadores de velocidad segura en curvas, grabación en video y registro fotográfico.

Análisis en gabinete de toda la información obtenida.

Informe de la Auditoría. Este informe incluye las recomendaciones para la problemática identificada así como soluciones especificadas para la autopista auditada.

La metodología empleada tiene la bondad de aplicarse a todo tipo de carreteras, aunque inicialmente estuvo enfocada a autopistas en operación.

Como resultado de la aplicación del proceso de auditoría, se puede obtener un programa de acciones prioritarias y acciones masivas enfocadas obviamente a mejorar la seguridad vial. En este sentido, el reporte de la auditoría contiene una serie de recomendaciones que pueden utilizarse de las siguientes dos formas:

1. Corregir una por una las deficiencias identificadas en cada sitio, lo que se puede llamar tratamiento de sitios específicos.

2. Identificar sitios con problemas comunes, es decir, aquellos donde la deficiencia sea repetitiva y de esta forma lanzar programas por tipo de problema a lo largo de la carretera o de la red.

Al lanzar un programa de acciones masivas, es necesario identificar las acciones requeridas más frecuentes y, como se comentó, esas condiciones nacen de las deficiencias repetidas a lo largo de la vialidad en los señalamientos, zonas libres de obstáculos, etcétera, que debido a su frecuente aparición en el camino representan un riesgo. Asimismo, una vez que se tienen las acciones referidas, es necesario priorizarlas para un mejor aprovechamiento de los recursos financieros y aplicarlos en sitios donde haya un riesgo potencial de que se presenten accidentes con víctimas, o aquellos en las que ya se suscitaron, de manera que tanto los recursos como las acciones sean encaminados a eliminar y/o reducir las consecuencias de los accidente.

La auditoría realizada en cada autopista permite identificar las fallas en materia de seguridad vial y proponer las acciones para subsanarlas.

A 6.1.1 ENSAYES DE CALIDAD PARA AGREGADOS PÉTREOS UTILIZADOS EN MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO

Agregado Grueso

Desgaste Los Ángeles

El objetivo de la prueba de desgaste por medio de la máquina "Los Ángeles" es determinar la resistencia a la trituración o abrasión de los materiales pétreos utilizados en las mezclas asfálticas.

Para determinar la resistencia se hace actuar una carga abrasiva sobre la muestra de material que se desee analizar. La carga abrasiva la proveerán unas esferas metálicas estandarizadas que al interactuar con la muestra de material dentro de la máquina Los Ángeles alterarán su composición granulométrica, triturando el material; como resultado se tendrá una pérdida de material con respecto a su masa inicial que indicará la calidad del mismo ante el desgaste o la abrasión.

La máquina Los Ángeles consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en sus extremos, que tiene un diámetro interior de 710 ± 5 mm y un largo de 510 ± 5 mm. El cilindro está montado sobre dos soportes situados al centro de sus caras planas en los extremos, de tal manera que pueda girar alrededor de este eje en posición horizontal a una velocidad angular de 30 a 33 rpm, tal como se muestra en la Figura 6.1.1.1. Para introducir la muestra y las esferas metálicas el cilindro tendrá una puerta de la misma curvatura del cilindro a fin de evitar discontinuidades en la superficie interior del mismo; la citada puerta debe ser hermética para evitar salida de polvo.



Figura A 6.1.1.1. Máquina de abrasión Los Ángeles

Las esferas necesarias para representar la carga abrasiva son esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 445 g cada una, Figura 6.1.1.2. Se necesitan de 6 a 12 esferas para realizar cada prueba dependiendo de la granulometría de la muestra a analizar. La cantidad de esferas y la masa de la muestra a ensayar se especifican en la Tabla 6.1.1.1.



Figura A 6.1.1.2. Esferas para la carga abrasiva

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de Tamaños		Masa de la fracción g
	mm	Designación	
A	37.5 - 25	1 ½" - 1"	1 250 ± 25
	25 -19	1" - ¾"	1 250 ± 25
	19 -12.5	¾" - ½"	1 250 ± 10
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	1 250 ± 10
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10
B	19 - 12.5	¾" - ½"	2 500 ± 10
	12.5 - 9.5	½" - 3/8"	2 500 ± 10
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10
C	9.5 - 6.3	3/8" - ¼"	2 500 ± 10
	6.3 - 4.75	¼" - No. 4	2 500 ± 10
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10
D	4.75 - 2	No. 4 - No. 10	5 000 ± 10

Tabla A 6.1.1.1. Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas

El resultado del ensayo es la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra, expresada en tanto por ciento del peso inicial. A este valor numérico se le denomina coeficiente de desgaste Los Ángeles.

Si el desgaste es mayor de 50%, se asume que el agregado es de mala calidad; si es menor de 20%, el agregado es excelente.

Esta propiedad disminuye la susceptibilidad al desgranamiento de baches y rompimiento del material durante su manejo y colocación.

Partículas Planas y Alargadas

Las partículas individuales del agregado de tamaños de tamices específicos, se miden para determinar las relaciones de ancho a espesor, largo a ancho, o largo a espesor; estas dimensiones se pueden ejemplificar de acuerdo a lo ilustrado en la Figura 6.1.1.3.

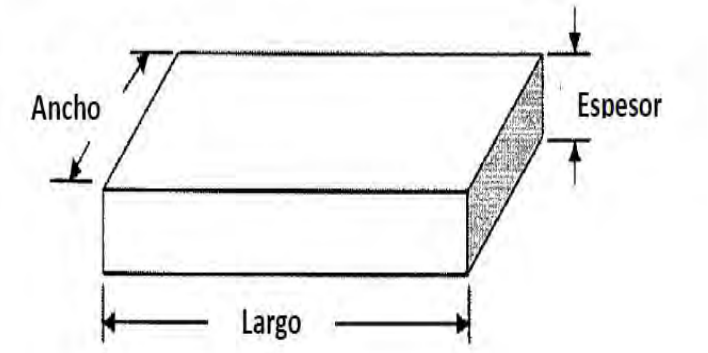


Figura A 6.1.1.3. Dimensiones de la partícula

La forma de las partículas del agregado grueso influye en las propiedades de algunos materiales de construcción y puede afectar su colocación y desempeño.

El equipo usado debe ser el apropiado para ensayar las partículas de agregado para determinar su cumplimiento con la relación de 5 a 1. El equipo capaz de obtener estas dimensiones es llamado "calibrador de proporciones" el cual consiste de una placa de base con dos pines fijos y un brazo oscilante montado entre ellos, de modo que las aberturas entre los extremos del brazo oscilante y los pines fijos mantengan una relación constante. La posición del eje puede ser ajustada para proveer la relación de dimensiones de abertura. Figura 6.1.1.4.

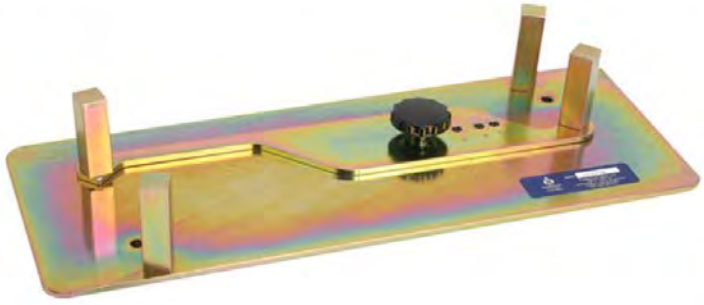


Figura A 6.1.1.4. Calibrador de proporciones

Este método de ensayo provee un medio para comprobar el cumplimiento con especificaciones que limitan tales partículas o para determinar las características relativas a la forma de los agregados gruesos, de acuerdo a lo establecido en la **Norma ASTM D 4791-99**.

El calibrador de proporciones se posiciona en la relación 5:1, para separar las partículas de la muestra, que tengan una relación superior a la citada, tal como se ejemplifica en la Figura 6.1.1.5.



Figura A 6.1.1.5. Determinación de forma de la partícula

Se calcula el porcentaje de partículas en cada grupo con aproximación al 1% para cada fracción de tamaño ensayada que sea mayor de 9.5 mm (3/8 pulgadas).

Desprendimiento por Fricción

La adherencia se define como "la capacidad de un asfalto para quedar fijo en el agregado, al que recubre sin peligro de desplazamiento, incluso en presencia de agua, tránsito y cambios bruscos de temperatura". Con la finalidad de analizar la adherencia pétreo - asfalto existen diversos métodos, en los cuales la evaluación se efectúa a partir de una valoración visual del desprendimiento, también denominado "stripping". Esta valoración se lleva a cabo luego de poner en contacto a la mezcla asfáltica (o una determinada fracción de la misma) con agua, bajo condiciones y tiempo determinados, conforme a cada uno de los métodos particulares.

Tales metodologías son conocidas bajo los siguientes nombres:

- Desprendimiento por fricción en la fracción gruesa de materiales pétreos para mezclas asfálticas. **(ASTM D3625-96 (2005) ó Método de Ebullición**
- Desprendimiento por fricción en la fracción gruesa de materiales pétreos para mezclas asfálticas. **(RA 07/10) ó Método Australiano**
- Desprendimiento por fricción en la fracción gruesa de materiales pétreos para mezclas asfálticas. **(MMP 4·04·009/03) ó Método de la SCT**
- Desprendimiento por fricción en la fracción gruesa de materiales pétreos para mezclas asfálticas. **(RA 08/10).**

Estas pruebas tienen por objeto conocer si el material pétreo que se pretende emplear en la elaboración de mezclas asfálticas es de características hidrofílicas o hidrofóbicas. Se dice que un material es hidrofílico cuando tiene más afinidad por el agua que por el asfalto e hidrofóbico en caso contrario.

Si un material empleado para formar carpeta asfáltica es hidrofílico atraerá el agua y desalojará a la película de asfalto que lo recubre y por lo tanto, queda destruida la adherencia existente entre el agregado y el asfalto y por ende se presentará la falla de la carpeta, por la pérdida de estabilidad al separarse el asfalto.

La afinidad del material pétreo con el asfalto se considera buena cuando se logra como máximo un 20% de desprendimiento del asfalto en las partículas.

En las siguientes imágenes se muestran las metodología de ensaye utilizadas y permitidas para la mezclas de alto desempeño, para determinar el desprendimiento por fricción de los materiales pétreos. Figuras 6.1.1.6 a la 6.1.1.9.



Figura A 6.1.1.6. Desprendimiento por ebullición



Figura A 6.1.1.7. Desprendimiento por el método Australiano

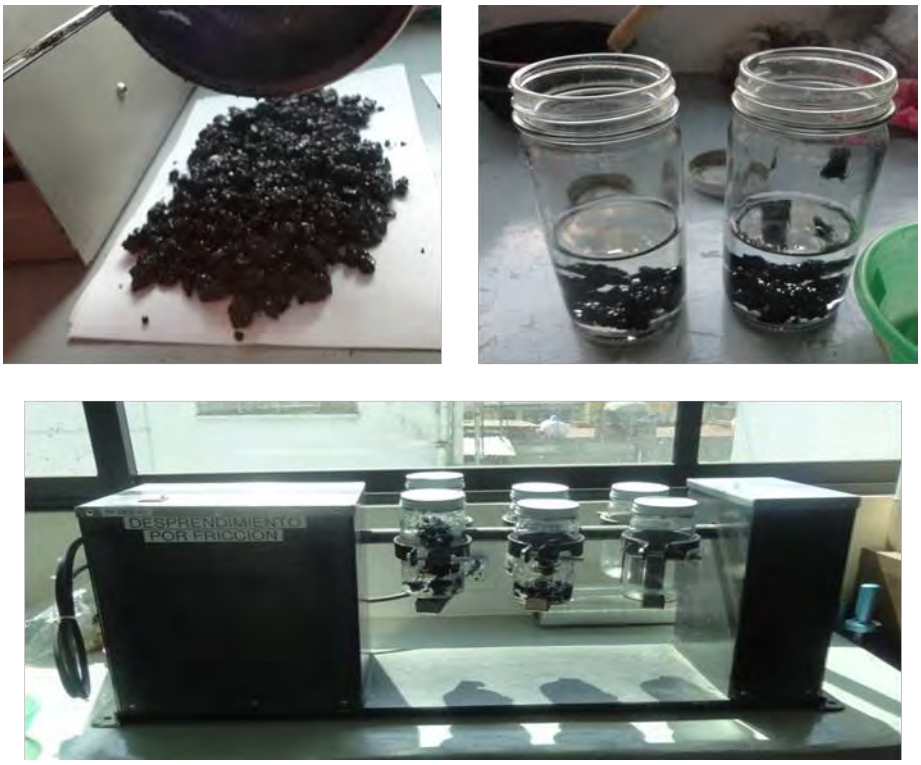


Figura A 6.1.1.8. Desprendimiento por Método de la SCT



Figura A 6.1.1.9. Desprendimiento por Método RA-08

Desgaste Micro Deval

Es una medida de la resistencia a la abrasión y durabilidad de los agregados. La prueba se realiza en el agregado grueso para determinar la pérdida por abrasión en presencia de agua y una carga abrasiva. Muchos agregados son más débiles saturados en agua que secos; el uso de agua en esta prueba mide la disminución de la resistencia a la degradación. Provee información útil para determinar la dureza/resistencia a la abrasión y la durabilidad/intemperismo del agregado grueso sujeto a la acción abrasiva saturada en agua, información muy útil sobre todo si no se cuenta con un historial de utilización de dicho material. Figura 6.1.1.10.



Figura A 6.1.1.10. Equipos MicroDeval

La muestra con una graduación establecida se sumerge en agua por lo menos una hora; después se coloca en un recipiente de acero con 2.0 litros de agua y una carga abrasiva consistente en 5000 g de balines de acero de 9.5 mm de diámetro. El recipiente, los agregados, el agua y la carga abrasiva se rotan a 100 rpm durante 2 horas. La muestra luego es lavada y secada en horno. La pérdida por desgaste es la cantidad de material que pasa el tamiz de 1.18 mm (No 16), expresada como porcentaje de la masa original de la muestra. Figura 6.1.11.



Figura A 6.1.11. Ejecución del ensaye MicroDeval

El ensayo MicroDeval es un ensayo útil porque detecta cambios en las propiedades de un agregado procesado en un banco de materiales, en su control de calidad o para asegurar la calidad de un proceso.

Caras Fracturadas

Las partículas irregulares y angulares generalmente resisten el desplazamiento (movimiento) en el pavimento, debido a que se entrelazan al ser compactadas. El mejor entrelazamiento se da, generalmente, con partículas de bordes afilados y de forma cúbica, producidas casi siempre por trituración.

Una superficie angular (áspera o quebrada) de una partícula de agregado, formada por trituración por medios artificiales o por la naturaleza, es denominada “cara fracturada”.

Una cara será considerada fracturada, solo si tiene un área proyectada al menos tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal de la partícula) y si la cara tiene bordes cortantes y bien definidos; esto excluye pequeños, tal como se ilustra en la Figura 6.1.1.12.

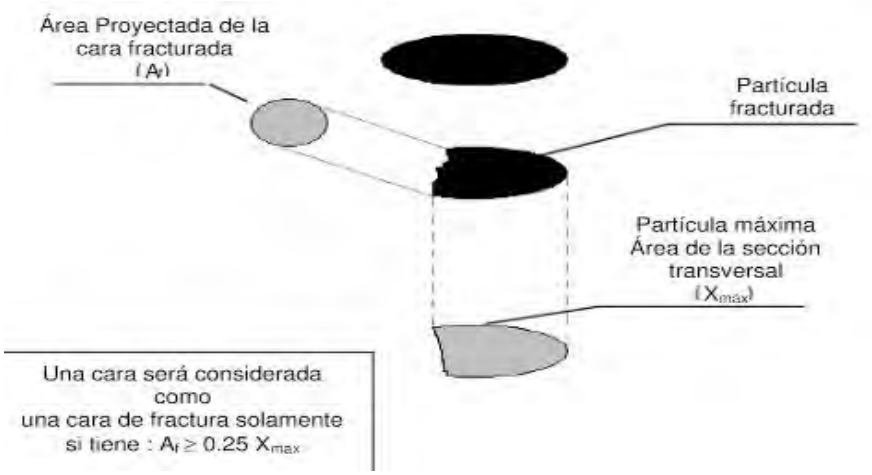


Figura A 6.1.1.12. Representación esquemática de las caras fracturadas

La metodología para mezclas densas de alto desempeño plantea como requisito un porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos. Uno de los propósitos de este requisito es aumentar la resistencia al corte, incrementando la fricción entre partículas en mezclas de agregado ligadas o no ligadas. Otro propósito es dar estabilidad a los agregados usados en tratamientos superficiales y proporcionar mayor fricción y textura para agregados usados en capas superficiales de pavimento.

La determinación de la prueba se realiza de manera visual, esparciendo la muestra previamente lavada y seca en una superficie suficientemente grande, para inspeccionar cada partícula. Figura 6.1.1.13.



Figura A 6.1.1.13. Determinación de caras fracturadas

Para verificar que una partícula cumpla el criterio de fractura, se sostiene la partícula de agregado de tal manera que la cara pueda ser observada directamente. Si la cara constituye al menos un cuarto de la mayor sección transversal de la partícula, se debe considerar como una cara fracturada.

La masa de partículas se clasifica según la categoría, en partículas fracturadas, dudosas y no fracturadas. Al dividir o compara esas se pueden obtener el porcentaje de caras fracturadas y no fracturadas.

Intemperismo Acelerado

El Intemperismo o meteorización es la desintegración y descomposición de una roca en la superficie terrestre o próxima a ella, como consecuencia de su exposición a los agentes atmosféricos, con la participación de agentes biológicos.

Esta prueba permite determinar la degradación esperada por Intemperismo de los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en someter a varios ciclos de saturación y secado los diferentes tamaños de la fracción de agregados gruesos (gravas) de una muestra de materiales pétreos, mediante el empleo de una solución saturada de un sulfato de sodio o magnesio y medir la diferencia de su masa antes y después de haber sido sometida a este tratamiento. Figura 6.1.1.14 y 6.1.1.15.



Figura A 6.1.1.14. Saturación de agregados



Figura A 6.1.1.15. Saturación y secado

Este método de prueba proporciona información útil en la evaluación de la sanidad de los agregados, cuando no hay información adecuada disponible en los registros de servicios del material expuesto a las condiciones de Intemperismo actual.

Los valores para el porcentaje de pérdida permitido por este método de prueba son usualmente diferentes para agregados finos y gruesos, porque se utilizan dos tipos de sales. Debe tenerse cuidado en fijar límites apropiados en cualquier especificación que incluya requerimientos para esta prueba. La prueba es usualmente más severa cuando se usa sulfato de magnesio; por lo tanto, los límites para el porcentaje de pérdida permitido cuando se usa sulfato de magnesio son normalmente más altos que los límites cuando se usa sulfato de sodio.

Desprendimiento por Fricción de SCT, por Ebullición y Australiano

Agregado Fino

Equivalente de Arena

Esta prueba tiene como objetivo determinar la calidad que tiene un suelo que se va emplear en las capas de un pavimento, desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica.

El método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena.

Los materiales de un camino necesitan de una menor cantidad de finos posibles, sobre todo de arcillas, porque estos finos plásticos, en contacto con el agua, causan un gran daño al pavimento.

Esta es una prueba determinante, para saber si se puede usar un material en un pavimento, que no representa mayor problema en cuanto a equipo, ya que inclusive se puede realizar en campo puesto que no requiere de máquinas o accesorios muy complicados. Únicamente se requiere de equipo o herramienta menor y se puede realizar en menos de una hora.

El ensayo consiste en introducir la muestra de material que pasa la malla No. 4 en una probeta llena de una solución floculante (compuesta por glicerina, formaldehido y cloruro de calcio anhidro). La probeta se sacude vigorosamente de izquierda a derecha manteniéndola en posición horizontal, realizando 90 ciclos en 30 segundos, recorriendo 20 cm ó bien utilizando un agitador mecánico. Figuras 6.1.1.16 y 6.1.1.17.



Figura A 6.1.1.16. Agitador mecánico para equivalente de arena



Figura A 6.1.1.17. Agitación manual

El equivalente de arena es la relación de la altura de arena a la altura de arcilla suspendida, en porcentaje.

Azul de Metileno

La naturaleza de los materiales presenta diferencias en la cantidad y composición de los finos. Las especificaciones técnicas hacen referencia al ensayo equivalente de arena como un indicador cualitativo de dicha característica. Sin embargo, es indispensable definir la reactividad de estos finos.

Para determinar esta reactividad se emplea el Valor de Azul de Metileno, mediante el cual se estima la cantidad de arcillas dañinas y materia orgánica presente en un agregado. Un valor significativo indica una gran cantidad de arcilla o de materia orgánica presentes en la muestra. Tabla 6.1.1.2.

Valor de Azul de Metileno (mg/g)	Desempeño anticipado
≤ 6	Excelente
7 - 12	Marginalmente aceptable
13 - 19	Problemas / Posible Falla
≥ 20	Fallado

Tabla A 6.1.1.2. Valor de azul de metileno y comportamiento de la mezcla

Esta prueba permite estimar el grado de reactividad de los materiales finos, con partículas menores de 0,075 mm (malla Num 200), contenidos en los materiales pétreos para mezclas asfálticas. La prueba consiste en añadir a los finos, dosificaciones controladas de azul de metileno, hasta que ya no lo absorban más. Mientras más azul de metileno retengan los finos, ellos serán más activos, lo cual proporciona un índice indirecto de su potencialidad expansiva.

Este ensayo se utiliza como ensayo alternativo o complementario en algunos casos del ensayo del equivalente de arena, para caracterizar en el agregado fino un índice representativo de la naturaleza y proporción de los finos que contiene dicho suelo.

La determinación de azul de metileno se caracteriza por ser sencilla, económica y conveniente para cualquier laboratorio.

Las siguientes imágenes muestran la secuencia de la determinación del valor de azul de metileno, empleando la técnica de titulación y obteniendo una alícuota a cada minuto, con adición de la solución de azul de metileno, hasta la formación del "halo" color azul. Figura 6.1.1.18.

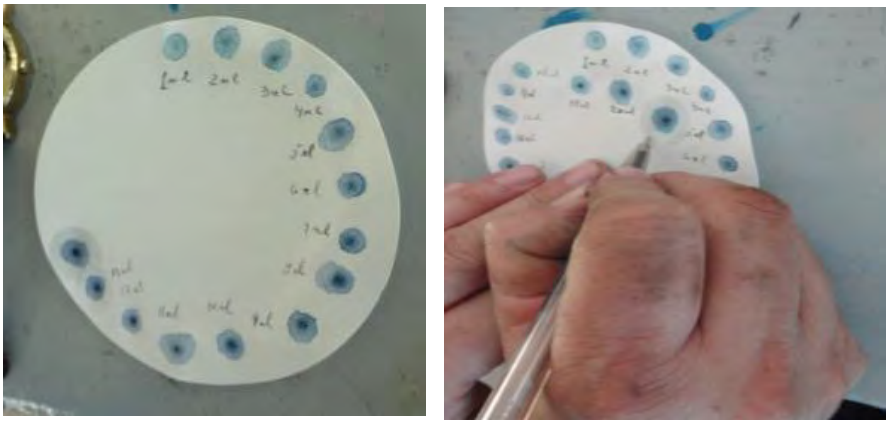


Figura A 6.1.1.18. Desarrollo de la prueba de azul de metileno

Angularidad en el Agregado Fino

Esta prueba tiene como objetivo asegurar un alto grado de fricción interna entre los agregados y por lo tanto evitar la deformabilidad de la mezcla. Se define como el porcentaje de vacíos de aire presentes en agregados sueltos, con tamaños menores de 2.36 mm.

El Equipo de Angularidad como su nombre lo dice, sirve para medir la Angularidad que tiene el agregado fino; es decir, mide la forma en que las partículas se acomodan unas entre otras en un recipiente cilíndrico de cobre, en un tiempo determinado.

El ensayo consiste en obtener la relación de vacíos de la parte final de un agregado en el estado más suelto. El valor así obtenido se compara con valores mínimos de acuerdo al nivel de tránsito.

Como es una relación de vacíos obtenida en caída libre (Figura 6.1.1.19) su valor dependerá de la forma del agregado (agregados angulosos producen mayores relaciones de vacíos, y viceversa) y la textura superficial.

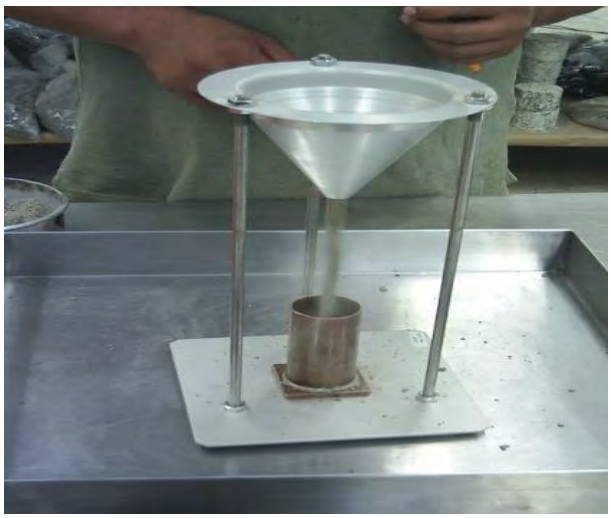


Figura A 6.1.1.19. Ensayo de angularidad

Para la realización del ensayo es necesario conocer la granulometría del material y su gravedad específica Gsb.

A 6.1.2 ENSAYES DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO DE DESEMPEÑO (PG)

Viscosidad Rotacional (ASTM D4402/12)

La viscosidad es la relación entre la fuerza aplicada a un fluido y la velocidad con la que fluye. Por lo tanto, la viscosidad de un cemento asfáltico es una de sus características esenciales desde el punto de vista del comportamiento en el momento de su aplicación cuando su consistencia es baja. La viscosidad de los asfaltos depende de la temperatura, por lo que la determinación a diferentes temperaturas proporciona una idea de cuál es su susceptibilidad térmica.

Se aplica el ensayo rotacional de viscosidad para obtener las características de flujo del asfalto a las elevadas temperaturas que se emplean en las plantas de mezclado.

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, en un rango de 38 a 260° C, mediante la medición de la resistencia que ofrece una muestra de asfalto a la deformación. El ensayo consiste en medir el par de torsión que es necesario aplicar a un eje rotacional, en el interior de una muestra de asfalto, bajo condiciones controladas de temperatura, para que gire a una cierta velocidad.

El equipo para la ejecución de esta prueba consiste en un viscosímetro de cilindro rotacional coaxial, conectado a un control digital que calcula automáticamente la viscosidad a la temperatura de ensayo. Este equipo es también llamado Viscosímetro Rotacional y/o Brookfield (denominado así por la marca), el cual se muestra en la Figura A 6.1.2.1.



Figura A 6.1.2.1. Viscosímetro Rotacional

El viscosímetro también se utiliza para desarrollar las curvas viscosidad – temperatura, con las que se definen las temperaturas de mezclado y compactación aplicadas en el diseño y producción de mezclas, como se muestra en la Figura A 6.1.2.2.

MEZCLADO (Pa*s)				COMPACTACION (Pa*s)			
Temp	Min	Media	Max	Temp	Min	Media	Max
120	0.15	0.17	0.19	120	0.25	0.28	0.31
200	0.15	0.17	0.19	200	0.25	0.28	0.31

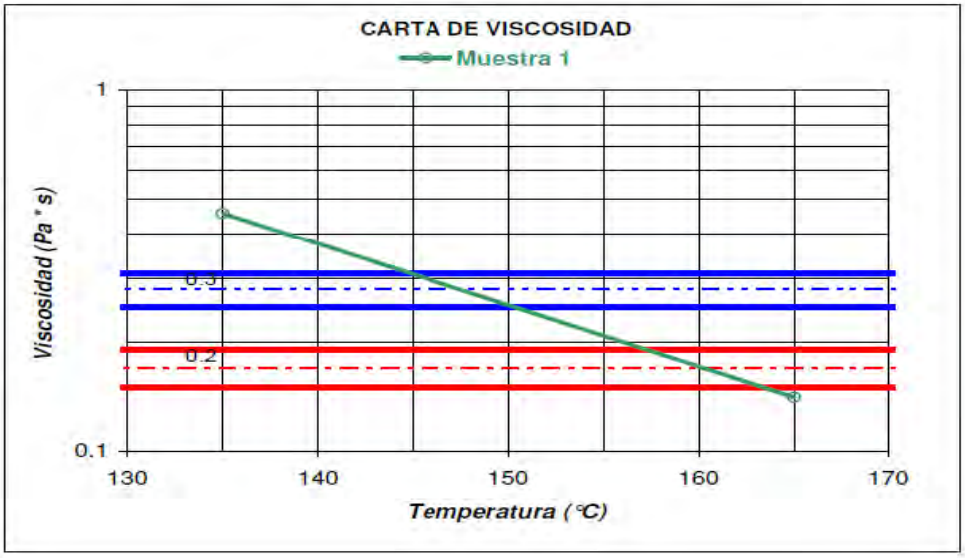


Figura A 6.1.2.2. Carta Viscosidad - Temperatura

Ensayo de la Película Delgada en Horno Giratorio (ASTM D2872/04)

El ensayo de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO) fue desarrollado por el Departamento de Carreteras de California, para simular el envejecimiento que ocurre en las plantas durante la elaboración de mezclas en caliente.

Este ensayo cubre dos propósitos: uno es producir un asfalto oxidado que pueda emplearse para ensayos adicionales (DSR y PAV), el otro es determinar la cantidad de volátiles que pierde el asfalto durante el ensayo. La cantidad de volátiles perdidos indica el envejecimiento que puede ocurrir durante el proceso de mezclado y construcción. Algunos asfaltos pueden ganar peso durante el RTFO, debido a productos de oxidación que se forman durante el ensayo.

El equipo utilizado es un horno con control digital de temperatura. Cuenta con un sistema revolvedor para los vasos con prueba de mezcla asfáltica, teniendo motor reductor e incluye un sistema de filtrado, un regulador de presión de aire, sellado hermético en cámara y puerta con una ventana de vidrio templado, para observar el proceso en su interior, tal como el que muestra la Figura A 6.1.2.3.



Figura A 6.1.2.3. Equipo RTFO

Ensayo de Envejecimiento con Olla de Presión PAV (ASTM D6521/08)

El envejecimiento de los asfaltos en largos períodos de servicio no era considerado en especificaciones anteriores. El equipo usado por muchos años en investigación fue modificado, dando como resultado la Olla de Envejecimiento PAV (Pressure Aging Vessel), que se muestra en la Figura A 6.1.2.4.



Figura A 6.1.2.4. Equipo PAV

El equipo PAV usa presión y temperatura para reducir el tiempo de ensayo, así un largo período de envejecimiento puede ser simulado en 20 horas.

Los cementos asfálticos, después del envejecimiento en el RTFOT, son colocados en el PAV y envejecidos por 20 horas. Las propiedades físicas son medidas para determinar si el asfalto se comportará adecuadamente luego de varios años de servicio.

El ensayo se realiza a distintas temperaturas, dependiendo del clima en que el pavimento será construido, en climas normales a 100°C y climas desérticos a 110°C, a una presión de 2.10 MPa ± 0.1. (Figura 6.1.2.5)



Figura A 6.1.2.5. Condiciones de ensayo PAV

Ensayo Reológico de Corte Dinámico DSR (ASTM D7175/08)

La reología es el estudio de la deformación y el flujo de la materia. Una definición más moderna expresa que la reología es la parte de la física que estudia la relación entre el esfuerzo y la deformación en los materiales que son capaces de fluir.

Las propiedades mecánicas estudiadas por la reología se pueden medir mediante reómetros, aparatos que permiten someter el material a diferentes tipos de deformaciones controladas y medir los esfuerzos o viceversa.

Algunas de las propiedades reológicas más importantes son:

- Viscosidad aparente (relación entre esfuerzo de corte y velocidad de corte).
- Coeficientes de esfuerzos normales.
- Viscosidad compleja (respuesta ante esfuerzos de corte oscilatorio).
- Módulo de almacenamiento y módulo de pérdidas (comportamiento viscoelástico lineal).
- Funciones complejas de viscoelasticidad no lineal.

Para condiciones dadas de presión y temperatura, el material responde a la aplicación de un esfuerzo: primero con una deformación elástica (reversible, cuyo trabajo se acumula en forma de energía potencial) que es directamente proporcional al esfuerzo; luego con una deformación plástica (irreversible, que se disipa en forma de calor) que crece más rápido que el esfuerzo; y por último, con una deformación rígida (ruptura) que a diferencia de las anteriores rompe la continuidad original del material. Figura A 6.1.2.6.

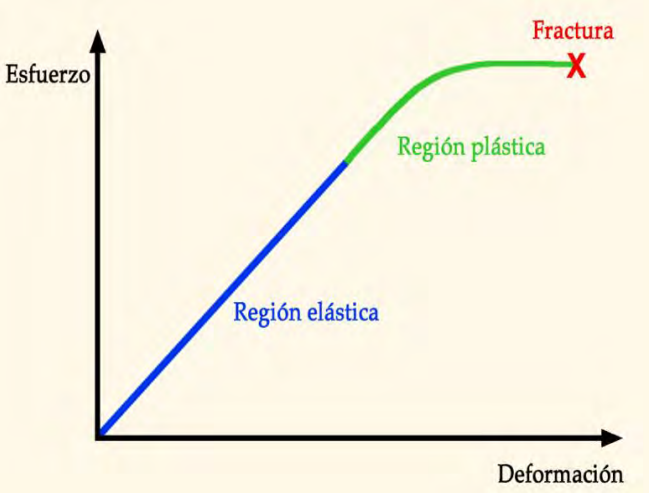


Figura A 6.1.2.6. Comportamiento Elástico y Viscoso

Este método determina el módulo de corte dinámico y el ángulo de fase del asfalto cuando es ensayado al corte dinámico (oscilatorio), utilizando una geometría de prueba de platos paralelos concéntricos, como la que se muestra en la Figura A 6.1.2.7. Es aplicable a cementos asfálticos con valores de módulo de corte dinámico de 100 Pa a 10 MPa. Este rango se obtiene típicamente entre 6° y 88° C.

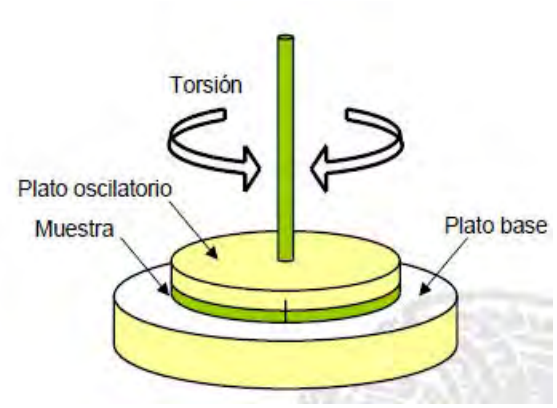


Figura A 6.1.2.7. Geometría de Reómetro de Corte Dinámico (DSR)

El equipo de Reómetro de Corte Dinámico (DSR) (Dynamic Shear Rheometer) es el que se utiliza para caracterizar las propiedades visco-elásticas de los asfaltos. El DSR calcula G* (módulo complejo de corte) y δ (ángulo de fase), midiendo la respuesta de la deformación especifica de corte en el espécimen sometido a un torque.

El módulo G* se puede considerar como la resistencia total del asfalto a la deformación cuando es sometido repetidamente a un esfuerzo cortante. El módulo G* consta de dos componentes:

1. Módulo de almacenamiento G' o de la parte elástica

2. Módulo de pérdida G'' o de la parte viscosa

Ambas temperaturas y frecuencia de carga afectan significativamente los valores de G* y δ para los cementos asfálticos. Los asfaltos se comportan como sólidos elásticos a temperaturas bajas, representados por una línea sensiblemente horizontal. En otro caso, los cementos asfálticos se comportan como líquidos viscosos a temperaturas altas (mayores que las temperaturas de pavimentos), representados por una línea sensiblemente vertical.

Sin embargo, a la temperatura normal de servicio la mayoría de los asfaltos se comportan como materiales visco-elásticos.

Cuando los materiales visco-elásticos son cargados, parte de la deformación es elástica (recuperable) y parte es viscosa (no recuperable). El DSR da una idea completa del comportamiento de los cementos asfálticos a temperaturas del servicio del pavimento, midiendo G* y δ.

En la Figura A 6.1.2.8 se puede observar que el asfalto "B" va a mostrar mayor deformación elástica y menor deformación viscosa que el asfalto "A"; sin embargo ambos tienen el mismo G*, que es la longitud de la diagonal. Así se demuestra que es necesario el ángulo de fases, para caracterizar a los cementos asfálticos.

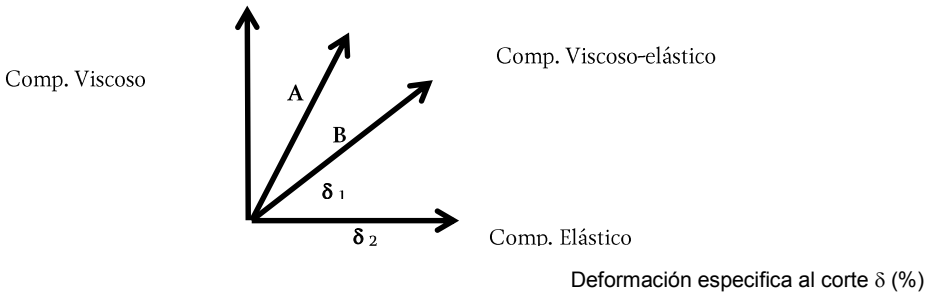


Figura A 6.1.2.8. Propiedades visco-elásticas de los asfaltos

El equipo DSR que típicamente se utiliza para esta caracterización se muestra en la Figura A 6.1.2.9.



Figura A 6.1.2.9. Equipo Reómetro de Corte Dinámico (DSR)

Ensayo con Reómetro de Viga a Flexión BBR (ASTM D6648/08)

El Reómetro de Viga a Flexión (BBR) (Bending Beam Rheometer) mide la rigidez del asfalto a muy bajas temperaturas. El ensaye se basa en la teoría de vigas midiendo la rigidez de una pequeña viga de asfalto simplemente apoyada, sometida a carga repetida (de creep), para simular los esfuerzos que gradualmente se producen en un pavimento al bajar la temperatura. Dos parámetros se evalúan con el BBR: la rigidez a la fluencia, que es un indicador de como el asfalto resiste una carga constante, y el valor "m" (pendiente de la curva) que mide la variación de la rigidez del asfalto al aplicar la carga.

Este es un equipo sencillo, denominado así por la forma de la muestra y el método de carga usado en el ensayo, como se muestra en la Figura A 6.1.2.10.



Figura A 6.1.2.10. Equipo Reómetro de Viga a Flexión

Los elementos claves en el BBR son: el mecanismo de carga, el control de temperatura del baño, el sistema de control y registro de resultados y la muestra de ensayo. El BBR usa un eje de punta roma para aplicar una carga en el centro de la viga, la cual está simplemente apoyada. La celda de carga está montada sobre un eje, el cual es soportado por un cojinete de aire para eliminar cualquier fricción al aplicar la carga. Un sensor de deflexión es conectado al eje para monitorear la deflexión. Las cargas son aplicadas por presión neumática y ajustadas por reguladores.

El baño de temperatura contiene un fluido compuesto por etileno glicol, metanol y agua; este fluido es circulado entre el baño del ensayo y un baño de circulación que controla su temperatura con una precisión de 0.1° C. La circulación o cualquier otra agitación no deben perturbar la muestra y con ello influir en el proceso de ensayo.

La muestra de ensayo es una viga de asfalto que se prepara vaciando asfalto caliente dentro de un molde prismático rectangular. También pueden emplearse moldes de goma de silicón para fabricar las vigas de ensayo. Las muestras de trabajo quedan como las mostradas en la Figura A 6.1.2.11.

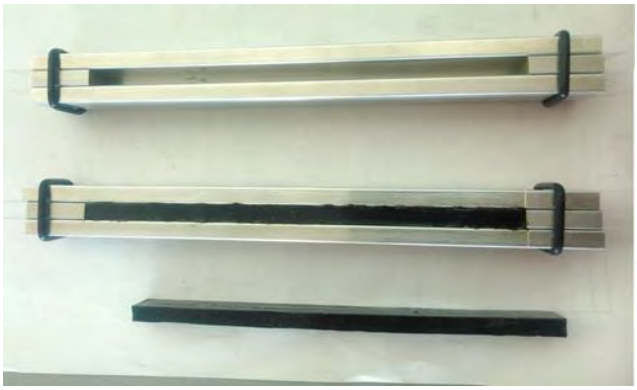


Figura A 6.1.2.11. Muestra de ensayo para BBR

El sistema de registro de los resultados se realiza en una computadora (con software), conectada al BBR para controlar los parámetros de ensayo y registrar los resultados de carga y deflexión.

El funcionamiento general del reómetro es verificado con una delgada viga patrón de acero, de rigidez conocida. Si la rigidez medida varía con respecto a la rigidez conocida en más de 10% la operación general del reómetro es dudosa.

A 6.7.1 DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS

El diseño, especificaciones y tipo de emulsificantes han progresado enormemente y como consecuencia también han aparecido tipos de emulsiones de rompimiento controlado que permiten abrir al tránsito en autopistas en un par de horas.

Los métodos de diseño han mejorado con aportación de la International Slurry Surfacing Association (ISSA) y la Asphalt Emulsion Manufactures Association (AEMA), lo que ha hecho posible contar con los métodos de prueba.

Cada país, según su experiencia y resultados obtenidos, establece la granulometría que va a emplear. Sin embargo, en los últimos años por el intercambio de experiencias reportadas en la ISSA, se han normalizado criterios, métodos de evaluación y diseño, ya reconocidos en la "American Society for Testing and Materials"ASTM; como método de prueba.

Usualmente varían los materiales para cada trabajo y es necesario realizar el diseño de cada mezcla. En cada caso la granulometría y equivalente de arena son los factores que influyen en los resultados del diseño.

Características, Método de Diseño, Diseño Slurry Seal, Proceso de Prueba de Abrasión, Ensaye de Cohesión, Especificaciones para los Insumos y Esquema para Diseño de Mezclas

- Mezcla en frío
- Colocado in situ
- Pronta apertura al tráfico
- Alta fricción
- Bajo en ruido
- Durable

El diseño, especificaciones y tipos de emulsiones han progresado enormemente y como consecuencia también han aparecido tipos de emulsiones de rompimiento controlado, que permiten abrir al tránsito los morteros en un tiempo no mayor de 15 a 30 minutos.

Actualmente la ASTM tiene aprobada la **Norma D3910-80**, que sitúa al mortero asfáltico más avanzado en las normas y especificaciones, sobre el resto de las aplicaciones de las emulsiones que aún carecen de un criterio en forma de norma, para diseñar y controlar la calidad de la construcción de los pavimentos construidos con emulsiones.

Método de Diseño

Por lo que se refiere al método de diseño, como todos los proyectos de mezcla en general, lo primero que se tiene que hacer es identificar el material pétreo, con el objetivo de conocer todas sus características físicas mediante las pruebas correspondientes, o sea:

- Identificación petrográfica
- Peso volumétrico
- Equivalente de arena

- Resistencia al desgaste (Los Ángeles)

Según se dijo cada país establece las granulometrías que va a emplear; sin embargo, durante los últimos ISSA., se han normalizado criterios, métodos de evaluación y diseño.

En algunos casos, como en España, se considera que el materia debe permanecer constante en todas sus características, llegando a emplear un solo equipo de material en varios trabajos, a pesar de que el acarreo es un renglón muy importante en el costo del trabajo. Cuando tal es el caso, la empresa que diseña la mezcla del mortero lo hace una sola vez y únicamente se comprueba si existe alguna variante.

Cuando el trabajo que se va a realizar, requiere la mejor calidad posible, el factor precio no es tan importante y se justifica la realización de la mezcla con los materiales seleccionados por una calidad óptima, especialmente cuando se trata de aeropuertos. Usualmente varían los materiales para cada trabajo y es necesario realizar el diseño de mezcla para cada caso; la granulometría y el equivalente de arena son factores que influyen en los resultados del diseño.

Si el mismo material tiene una variación en el equivalente de arena, su comportamiento será diferente. Esto incluye directamente en el tipo de emulsión, sobre todo cuando se emplean emulsiones catiónicas de rompimiento controlado.

Un material con el 7.0 % de finos que pasan la malla 200 y el equivalente de arena de 80 %, resulta totalmente diferente si contiene el mismo porcentaje de finos pero el valor equivalente de arena es de 50 %; estas variaciones se miden como el “coeficiente de actividad de filler”.

En algunos países se acepta un mínimo del 45 % de equivalente de arena, pero es recomendable tener materiales más limpios con valores de 60 a 70 % con objeto de evitar un desgaste prematuro y mejorar la eficiencia de las emulsiones de rompimiento controlado.

Al respecto se considera que actualmente es más difícil conseguir materiales pétreos y si va a realizarse un gasto como el que representa este tratamiento, entonces la administración de la obra debe de exigir un buen material para que el mortero tenga el menor desgaste posible y su periodo de vida sea mínimo de 5 años.

Esto también es deseable para obtener una alta calidad de tratamiento superficial, que no retenga humedad durante la construcción ni altere sus propiedades por este motivo.

Los cálculos de granulometría y equivalente de arena se pueden hacer en la hoja tipo No. 1. El resumen con la curva de la granulometría se puede hacer en cualquiera de las hojas No. 2, 3 y 4 de acuerdo con el diseño de que se trate.

El cemento o la cal hidráulica que vaya a emplear cada “filler” debe escogerse entre las marcas conocidas que garanticen su calidad. El cemento debe ser fraguado normal, ya que el tipo de fraguado rápido no es recomendable.

El “filler” tiene 2 funciones principales: acelerar o retardar el rompimiento de la emulsión (según el tipo que se emplee), y formar un gel que mantenga la emulsión en suspensión completamente repartida en la mezcla. Cuando carece de una pequeña cantidad de cemento o cal, la emulsión tiende a bajar y escurrirse; en tal caso la superficie del tratamiento aplicado queda sin cohesión.

Un exceso de “filler” puede tener resultados negativos en la prueba de abrasión, siendo ésta independiente del porcentaje de ligante asfáltico. La cantidad crítica de cemento en la mezcla de mortero es cercana a 2.5%.

El tipo de emulsión asfáltica para los morteros debe estar de acuerdo con las exigencias del trabajo. La emulsión que se emplea en los morteros asfálticos se divide en 2 grandes grupos. Ver Tabla A 6.7.1.1.

EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA MORTERO	
Aniónicas	Catiónicas
Medias	Rompimiento rápido o de complicado control
	Rompimiento medio
Súper estable	Súper estable

Tabla A 6.7.1.1. Tipos de emulsiones asfálticas

Se debe hacer notar que el súper estabilizador es el indicador para trabajar los morteros asfálticos, porque tiene la suficiente estabilidad y pueden ser manejados por cualquier máquina aplicadora, pero tiene sus limitaciones, definidas por las condiciones climatológicas.

Las subdivisiones que se mencionan dentro de un grupo de emulsiones catiónicas no existen en las especificaciones, sino que sólo se mencionan como emulsiones de rompimiento lento C-SS en la nomenclatura de la ASTM y la Norma AMFE 1996 como **ERL-C**.

Después de analizar las pruebas que se realizan a los elementos que componen un mortero, se procede a estudiar el diseño de la mezcla conforme a un posible comportamiento en la construcción, en condiciones bajo las cuales se va a realizar la aplicación.

El primer paso es analizar el máximo contenido teórico de asfalto, empleado en el método de M. Duriez modificado; partiendo de este valor se procede a determinar la cantidad óptima de agua de mezclado y tendido. Tabla A 6.7.1.2.

MALLA	TIPO I	TIPO II	TIPO III
9.51	100	100	100
4.76	100	90-100	70-90
2.38	90-100	60-90	45-70
1.19	65-90	45-70	28-50
0.6	40-60	30-50	19-35
0.3	20-42	18-30	25-15
0.15	10-30	10-21	12-18
0.075	10-2	07-15	07-15

Tabla A 6.7.1.2. Granulometrías

Se determina el agua del mezclado, manteniéndola constante, para proceder a determinar el porcentaje óptimo de ligante empleando la prueba de abrasión.

Esta comprobación de la resistencia a la abrasión se efectúa variando los contenidos de ligante, con el objeto de hallar la combinación que muestre la menor abrasión posible.

El tipo de abrasión también debe comprobarse, ya que es especial. Las de tipo catiónico varían sus características de acuerdo con las temperaturas de aplicación: A mayor temperatura más estable debe ser la emulsión que se une; en cambio cuando baja la temperatura, ésta puede ser de rompimiento controlado sin que esto afecte su "trabajabilidad".

Se han propuesto a través del tiempo varios aparatos para medir el desgaste de abrasión, pero el aceptado por la ASTM hace mención especial de esta prueba, la cual fue aceptada extra oficialmente por Aeropuertos y Servicios

Auxiliares (ASA), en México desde 1985, empleando como cabeza de desgaste una manguera de hule flexible, una pieza de hule macizo y la influencia de cambios de máquinas de abrasión, ya que el modelo Hobart-100 salió del mercado.

La Asociación Internacional de Slurry Seal (ISSA) está actualmente investigando 2 cambios: la posibilidad de sustituir la manguera flexible por una pieza de hule macizo y la influencia de cambios de maquinaria de abrasión, en vista de la salida del mercado del mencionado modelo Hobard-100.

Los laboratorios que no tengan el modelo Hobart deberán ver cuántas revoluciones tienen las máquinas que están en el mercado y referir el tiempo al número de revoluciones que requiera la prueba.

Diseño Slurry Seal

Las propiedades físicas de los materiales pétreos se determinan de acuerdo con la prueba listada en la Tabla A 6.7.1.3.

PRUEBA	NORMA SCT 6.01.03 (1990)	NORMA ASTM
Identificación petrográfica	009-D	C-136
Peso Volumétrico	009-L	C-29
Equivalente de arena	009-I	C-2419
Desgaste de Los Ángeles	010_M	C-131
Absorción de agua	Parte IX cap CIX	

Tabla A 6.7.1.3. Propiedades físicas

Obtenidos los valores anteriormente indicados, se seguirán los siguientes pasos:

1. Cálculo teórico de ligantes asfálticos.
2. Determinación práctica de porcentajes de agua óptima de mezclado.
3. Determinación del tipo de emulsión más adecuado para trabajar con los materiales pétreos por emplear y los aditivos modificadores si fuesen necesarios.

Una vez determinada la emulsión más conveniente, se procede a determinar prácticamente las cantidades de los componentes del mortero, según las pruebas del diseño:

- % óptimo de ligante asfáltico
- % óptimo de humedad de mezclado
- % óptimo de “filler”
- % de aditivo si es necesario

Todo lo anterior se determina por medio de varios métodos de prueba, que a su vez emplean diferentes aparatos que dan cierto tipo de valores, que no dejan de ser empíricos y ya en la práctica garantizan la calidad del tratamiento con el mortero.

Pruebas de Abrasión

Las pruebas de abrasión en inmersión (A.I) proporcionan un buen criterio de diseño para los tratamientos superficiales del sello cuando se emplean morteros asfálticos, si se logran relacionar sus resultados con el comportamiento real en la construcción.

Esta prueba (A.I) mide la resistencia de este tipo de capas delgadas bajo condiciones de inmersión, que da una idea esencial de la adherencia y afinidad entre asfalto y el material pétreo. El procedimiento empieza después de haber obtenido todos los datos físicos del material pétreo y haber establecido la granulometría de trabajo.

Para determinar el ligante óptico teórico se calcula la superficie específica mediante la fórmula siguiente:

SE= 1/100(0.342 G + 1.92 g + 15.33 K + 118 F)

Donde:

SE = Superficie especifica

G = % entre las mallas 3/8 y Num 4

G = % entre las mallas Num 4 y 5

K = % entre las mallas Num 50 y 100

F = % pasa las malla Num 200

Con el valor de **SE** se entra en el gráfico de la hoja donde existen 3 curvas, cuyos valores dependen del tipo de materiales y las propiedades de ellos previamente determinadas.

El criterio que influye al tomar la curva (H) es que hay una tendencia en muchos diseñadores de tomar el mínimo de ligante asfáltico posible, para obtener un mortero con bajo contenido de asfalto puro.

La cantidad de agua para realizar la mezcla se determina por tanteos prácticos, hasta hallar la más adecuada. El porcentaje inicial por lo regular es aquel que al incorporarse en la arena y mezclarse sin la emulsión, produzca una mezcla fácilmente trabajable suelta, sin que exista agua libre.

Cuando se incorpore la emulsión del material pétreo (ya incluido el cemento o la cal), se hacen los ajustes necesarios. Esta humedad Ho será la que se emplee para realizar la mezcla que más tarde se prueba en la máquina de abrasión.

La cantidad de emulsión que se emplee será:

% E [(1-1.0); (1-0.5); (1.0); (1+0.5); (1+1.0)]

En todos los casos es recomendable mantener constante la cantidad de “filler” de 0.5 a 2.0 % con el objetivo de garantizar el menor desgaste posible.

El factor Ho es la humedad óptima de trabajo, luego de que los elementos constituyentes del mortero produzcan una mezcla tal que al verterla en el molde no escurra.

Los especímenes así logrados se forman sobre bases de apoyo hechas con losetas vinílicas o de asbesto, que resultaron ser los materiales más adecuados para este fin. El espesor del espécimen está de acuerdo con los tamaños de partículas de material pétreo que se emplee.

Se recomienda que el secado de los especímenes sea hecho exponiéndolos al sol, para evitar la difusión del asfalto artificialmente y un posible agrietamiento. Si se le somete a un secado dentro del horno, la temperatura debe ser de 60˚ C hasta tener el peso constante. En ambos casos se pesan los especímenes y se anota su peso **Pe**.

Aunque no está señalado el método original, se recomienda compactar los especímenes con una carga estática equivalente a la que ejercen los compactadores en la construcción. Esta compactación se debe hacer en cuatro porciones, girando el espécimen. Todo lo anteriormente mencionado es válido cuando se emplean, como ligante,

las emulsiones de curado lento o súper estable, ya que en los casos de las emulsiones catiónicas de rompimiento controlado el diseño debe hacerse tomando en cuenta otros factores (que actúan sobre el mezclado) y el tiempo de curado del mortero.

La influencia del agua absorbida e incluida en la mezcla después de afectar la prueba, es también comprobada por la compañía Química Bonaerense, en el mismo trabajo mencionado. La solución que se le dio a esta acción o influencia del agua fue evaporar a una temperatura de 60˚ C hasta tener un peso constante y compactar.

Proceso de Prueba de Abrasión

- Elaboración de los especímenes de acuerdo a los pasos indicados anteriormente.
- Se evapora el agua contenida y se compactan los especímenes. Se pesa el conjunto del espécimen y la base, obteniendo el peso Pe_1.
- Inmersión de los especímenes en el baño de agua a 25˚ C, durante una hora antes de la prueba.
- Se prueba el espécimen durante 5 minutos también en inmersión de acuerdo al método.
- Después de haberlo sometido al desgaste, el espécimen se seca hasta obtener el peso constante en el horno a 60˚ C.
- Se pesa el conjunto nuevamente y se tendrá el peso Pe_2.
- Calcúlese la abrasión de g/m² de acuerdo con la fórmula:

$$Fa = \frac{(Pe_1 - 6Pe_2)}{A \quad 0.03038} = 32.9(Pe_1 - 6Pe_2) < 800 g/m^2$$

Donde:

Fa = factor de abrasión en g/m²

Pe_1 = peso del conjunto antes de la prueba

Pe_2 = peso del conjunto después de la prueba

A = área desgaste en el espécimen (0.03048 m²)

Esta área es la manguera de 12.7 cm (5 pulgadas) de longitud. “El área varía de acuerdo con la longitud de la manguera”. El factor FA máximo admisible es de 800 g/m².

Ejemplo:

Malla	**% pasa**	
¼	100	Equivalente de arena= 65%
No. 4	97	Absorción=2.0
8	82	
16	57	
30	32	
50	21	
100	15	

200 10

SE= 1/100[0.01026+1.4592+1.6863+ 11.80] =14.95

Con este valor de superficie específica se entra al gráfico y según las características del material se escogió la curva G, de donde obtenemos un % de asfalto teórico de 9.5 %; si la emulsión que se va a emplear tiene 62 % de residuo entonces la cantidad de emulsión por emplear es de 15.32 %.

Con esta cantidad de emulsión determinada, se ensayaron varios contenidos de humedad de mezclado hasta obtener el valor óptimo Hop= 9 a 10 %.

En base a esos datos se procedió a elaborar los especímenes de prueba de 14, 15 y 16 % de emulsión y la humedad de mezclado Hop, determinada en forma práctica. Tabla A 6.7.1.4.

Emulsión % c/u	Factores de abrasión g/m²	Especificación g/m²	Especificación propuesta g/m²
14	225 240 225 210		
15	167 170 167 166		
16	164 165 163 163		
Óptimo	163	800	400

Tabla A 6.7.1.4. Factores de abrasión

Resultados de la prueba de abrasión en inmersión

Desgaste de inmersión empleando el contenido óptimo de emulsión y agua, pero variando el porciento de cal hidratada. Tabla 6.7.1.5.

Filler	Factor de abrasión g/m²
0.5	192 193 191 189
1.0	169 161 164 164

Tabla A 6.7.1.5. Resultados obtenidos

Resultados obtenidos:

Residuo de la mezcla = 9.0 %

Emulsión de 15 %

Cal hidratada = 1.0 %

Hop = 9.0 %

Cantidad de material pétreo/m^2 = 6mm x 1.0 x 1.0 = 6lt

Peso volumétrico suelto = 1450 kg/m^3

Peso del material /m^2 aproximadamente = 6 x 1.450 = 8.7 kg/m^2

Rendimiento /m^3 = 1450/8.7 =166 m^2/m^3 aproximadamente

Cantidad de emulsión = 8.7 x 15 % = 1.3 lt/m^2

Cantidad de emulsión/m^3 = 1450 x 15% =217 lt/m^3

La máquina que se considera en este ejemplo es de modelo **SC-804** de la Scan Road con las características siguientes:

- Tanque de agua = 2200 litros
- Tanque de emulsión = 2200 litros
- Tolva de agregados= 6.0 m^3
- Tolva de filler= 0.02 m^3
- Rendimiento teórico = [1450 x 6] /8.7 =1000 m^2
- Emulsión empleada = 6 x 217 = 1302 litros

Si 2 máquinas tienden con una sola rastra se debe tener un rendimiento de 10 a 12 máquinas por día. Esto quiere decir que la superficie cubierta sería en teoría de 10,000 a 12,000 m^2, pero por su eficiencia hay que afectar el rendimiento con el 25 % menos.

Ensaye de Cohesión

Esta prueba determina la cohesión en la mezcla del mortero con respecto al tiempo que tarda en curar.

Actualmente se ha progresado mucho en todo lo que se refiere a la aplicación de los morteros asfálticos. Uno de los factores que han influido en este proceso han sido los diferentes emulsificantes que han salido al mercado, para fabricar emulsiones con diferentes tiempos de rompimiento y curado.

Empleando diferentes emulsiones se han llegado a producir morteros que puedan abrirse al tránsito casi de una forma inmediata, y otra que pueda trabajarse por la noche con temperatura relativamente baja 15 a 18° C y tener un rompimiento de la emulsión de 30 minutos.

Al llegar a la perfección, hubo necesidad de hallar algún método de prueba que clasifique el tipo de emulsión y al mismo tiempo indicar qué se podría esperar del sistema utilizado en la elaboración del mortero.

Esta prueba simula el giro aplicado por las llantas sin moverse, de un automóvil de dirección hidráulica, con una presión aproximada de 193 Kpa (28 lb/plg^2). La prueba de una idea más precisa del lapso que necesita un mortero para poder abrir el tránsito.

Sin embargo, la prueba no indica el comportamiento que pueda tenerse en los aeropuertos, ya que las presiones de las llantas van de 100 a 150 lb/plg^2 ó más. La conclusión que se puede dar al problema es que este tratamiento no debe de ser empleado en zonas como cabeceras sin gotas y plataformas, donde se transmiten fuerzas cortantes enormes cuando un avión pivotea en 180˚.

Proceso de prueba

- Se hacen varios especímenes con aros de 10.16 cm de diámetro y espesor de 9.5; 5.0 ó 2.36 mm, de acuerdo con el tamaño máximo del material que se está empleando y se anota la hora de elaboración.

- Se va observando cómo va rompiendo la emulsión y como protegerla al curado de la mezcla. Esto se logra tocando la superficie del espécimen con cierta presión, empleando un papel absorbente. Se dice que una emulsión está rota cuando al aplicar la presión con el papel, éste absorbe únicamente agua limpia, anotando la hora en que esto ocurre.

    - Sin embargo se ha notado que las emulsiones que tienen un rompimiento superficial por contacto con el aire y cuando se toma una muestra del interior del espécimen con cierta presión con el papel y se le introduce en un frasco con agua, si la mezcla se lava totalmente se dice que ha ocurrido un “rompimiento falso” y por supuesto el curado no existe.

- Si el tiempo es menor de una hora, se prueba el espécimen de acuerdo al método de ensaye y se anota el valor de cohesión que se obtenga y el tiempo en que fue realizado el ensaye. Si el valor obtenido es menor de 12 kg-cm habrá que tomar las humedades del espécimen cada media hora.

- Se anotan los valores y los tiempos en que se van obteniendo los valores 12, 15 y 20 kg-cm y la humedad de cada espécimen cuando se logran estos valores.

- Por lo regular el valor de 20 kg-cm se logra cuando la humedad está entre 5.0 a 6.0 en el mortero.

- Cuando se logre el valor de 20 kg-cm se sugiere compactar otros especímenes y probarlos, con objeto de conocer cuando se aumenta la cohesión, ya que está en condición real de trabajo de mortero.

Lo anterior sugerido es muy útil, en especial para las aplicaciones en los aeropuertos, autopistas y avenidas con una intensidad de tránsito importante, a fin de habilitar en forma inmediata y si se requiere compactación.

La clasificación de los morteros, de acuerdo con el resultado de esta prueba, se puede hacer de la siguiente manera:

- Mortero de curado rápido. Son aquellos que alcanzan el valor de 20 kg-cm, en 30 minutos. Tránsito inmediato.

- Mortero de apertura rápida al tránsito. Son los que pueden alcanzar el valor mínimo de 20 kg-cm en 60 minutos.

- Mortero de rompimiento rápido pero de curado lento. Son los que pueden prolongar su curado hasta 3 días.

- Mortero de rompimiento falso. Son aquellos en que la emulsión rompe pero su curado se prolonga indefinidamente y la mezcla permanece tierna.

- Mortero de apertura rompimiento muy lento. Éste es en el que la emulsión empleada (por sus características) prolonga el curado del mortero, dejando que ello ocurra únicamente por la vía de la evaporación. Tal es en el caso de las emulsiones aniónicas e iónicas.

Especificaciones para los Insumos

Granulometría, Pruebas, Aditivos, Agua, Emulsiones

TAMAÑO DE TAMIZ	TIPO I % PASA	TIPO II % PASA	TIPO III % PASA	TOLERANCIAS
3/8" (9.5 mm)	100	100	100	
#4 (4.72 mm)	100	90–100	70–90	±5%
#8 (2.36 mm)	90–100	65–90	45–70	±5%
#16 (1.18 mm)	65–90	45–70	28–50	±5%
#30 (600 mm)	40–65	30–50	19–34	±5%
#50 (300 mm)	25–42	18–30	12–25	±4%
#100 (150 mm)	15–30	10–21	7–18	±3%
#200 (75 mm)	10–20	5–15	5–15	±2%

Tabla A 6.7.1.6. Slurry Seal: tipo I, II y III Micropavimento: Tipo II y III

Pruebas

Ensayos	Slurry Seal	Micropavimento
Granulométrico	Tipo I, II, III	Tipo II, III
Durabilidad	15% máximo	15% máximo
Desgaste	35% máximo	30% máximo
Forma de partícula	100% triturada	100% triturada
Equivalente de arena	45% mínimo	65% mínimo
Azul Metileno	ninguno	15 mg/g máximo *

Tabla A 6.7.1.7. Valores normados para pruebas de laboratorio

Aditivos

- Normalmente usado hasta 2% con respecto al peso del agregado seco.
- Cemento portland, cal hidratada ó cualquier otro fino que ayude en alguno de los tres propósitos, para los cuales es usado:

1. Aditivo para iniciar la reacción
2. Agente tixotrópico
3. Corrige deficiencias en los finos que pasan la malla # 200

Agua

- Componente intermedio en diseño
- Potable (de preferencia)
- No debe contener sólidos en suspensión

Emulsiones

Ensayos	Slurry Seal	Micropavimento
Residuo Asfáltico	60% mínimo	62% mínimo
Viscosidad	20 – 100 SSF	20 – 100 SSF
Sedimentación Tamiz	1.0% máximo	1.0% máximo
Penetración	0.1% máximo	0.1% máximo
Punto de Ablandamiento	40 – 90 dmm	40 – 90 dmm 57° C mínimo
% Polímero	Ninguno	3.0% mínimo

Tabla A 6.7.1.8. Caracterización de emulsiones

Esquema para Diseño de Mezclas

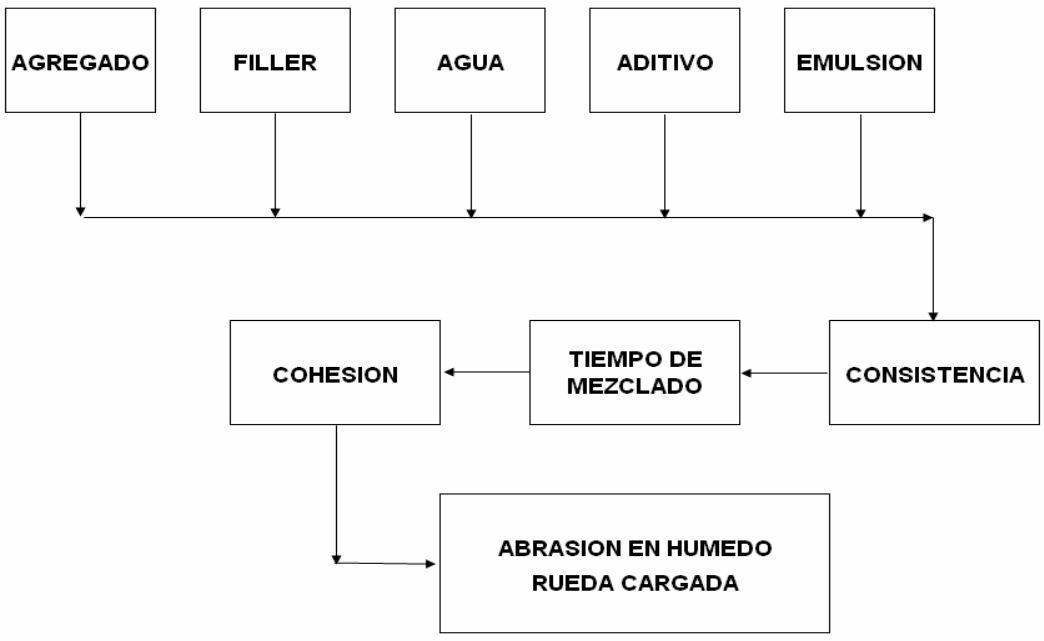


Figura A 6.7.1.1. Diseño de Mezcla

A 6.9.1 CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO ESPUMADO

El asfalto espumado se caracteriza por dos propiedades principales:

- Razón de expansión, que es una medida de la viscosidad de la espuma y va a determinar qué tan bien se va a dispersar el asfalto en la mezcla. Se calcula como la razón entre el máximo volumen de la espuma relativo a su volumen original.

- Vida media, que es una medida de estabilidad de la espuma y provee una indicación de la tasa de colapso de la espuma. Se calcula como el tiempo, en segundos, que transcurre para que la espuma colapse a la mitad de su volumen máximo.

Estas propiedades se muestran de manera objetiva en la Figura A 6.9.1.1.

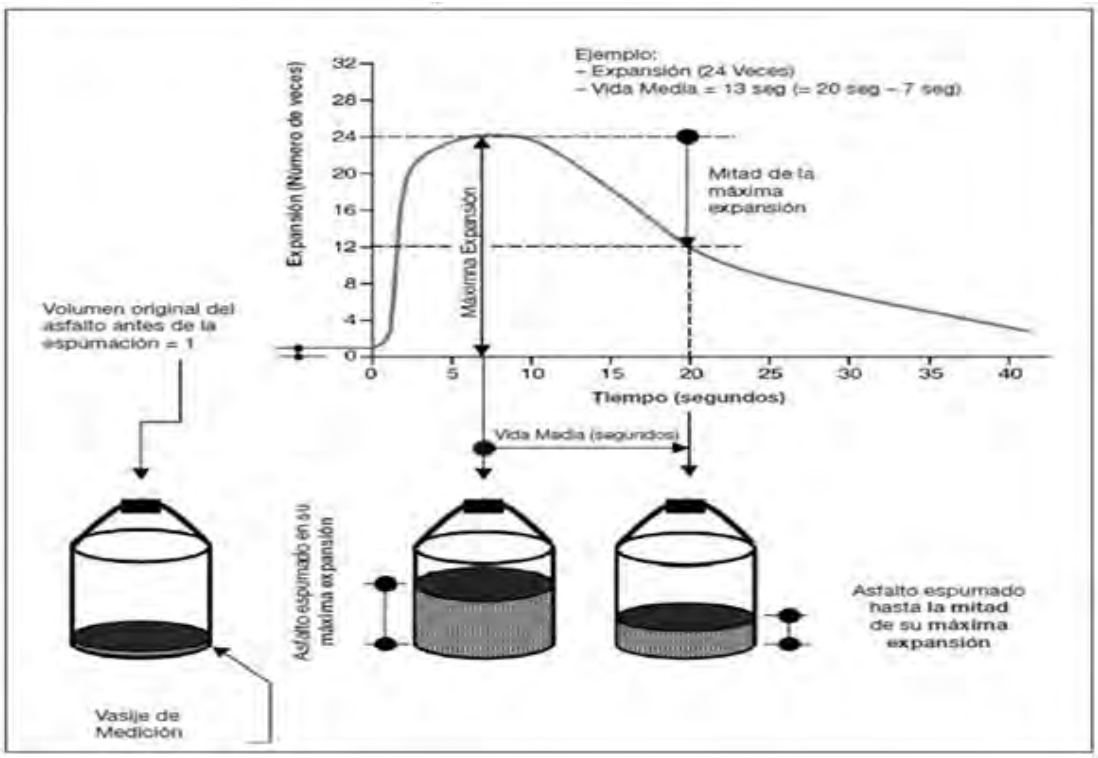


Figura A 6.9.1.1. Características del asfalto espumado

Factores que Influyen a las Propiedades de la Espuma

Se considera que la "mejor" espuma es la que optimiza tanto la expansión como la vida media. La determinación de las propiedades espumantes de un asfalto se presenta en el **Apéndice 6.9.2**, en el procedimiento descrito para el diseño de mezclas de material tratado con asfalto espumado.

La razón de expansión y la vida-media del asfalto espumado están afectadas por:

- **Adición de agua**. Al aumentar la cantidad de agua inyectada al asfalto aumenta efectivamente el volumen de espuma producido por un factor multiplicador de 1500. Así, aumentar la cantidad de agua añadida aumenta el tamaño de las burbujas creadas, causando que aumente la tasa de expansión.

  Sin embargo, el aumentar el tamaño individual de las burbujas reduce el espesor de la película del asfalto que las rodea, haciéndolas menos estables y resultando en una reducción de la vida media. Por ello, la

razón de expansión y la vida media están relacionadas de forma inversa a la cantidad de agua que es añadida, como se muestra en la Figura A 6.9.1.2.

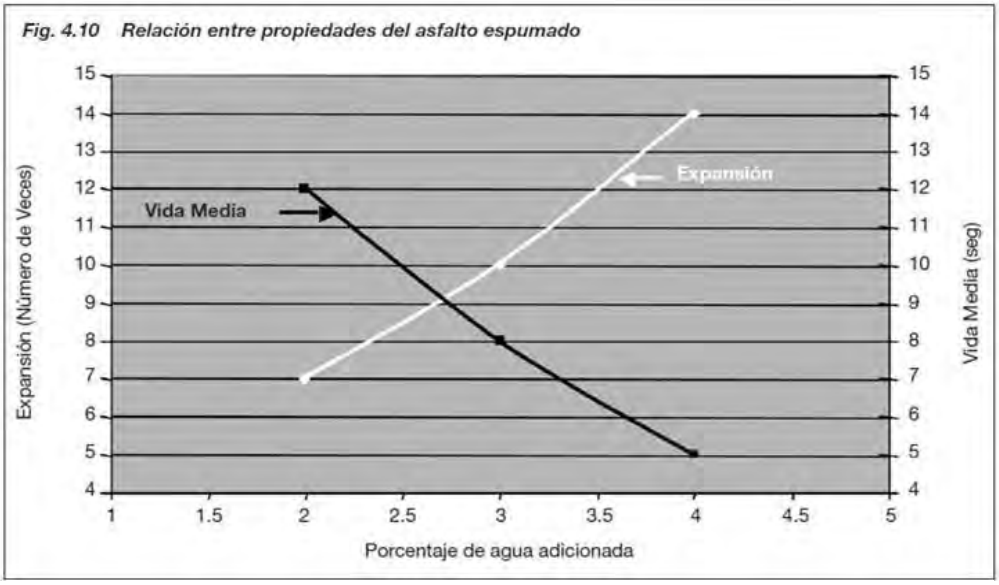


Figura A 6.9.1.2. Relación entre propiedades del asfalto espumado

- **Tipo de asfalto.** Generalmente se utilizan asfaltos con valores de penetración entre 80 y 150 para espumar, pese a que asfaltos más rígidos que cumplen con los requisitos mínimos de espumado (explicados más adelante) se han utilizado en el pasado. Por razones prácticas, los asfaltos más duros son generalmente inadecuados ya que producen una espuma de peor calidad, generando una dispersión más pobre.

- **Fuente del Asfalto.** Algunos asfaltos espuman mejor que otros debido a su composición. Por ejemplo, las propiedades espumantes de los asfaltos en Venezuela exceden enormemente a aquellos de otras fuentes.

- **Temperatura del Asfalto.** La viscosidad del asfalto tiene una relación inversa con la temperatura; a medida que la temperatura aumenta, la viscosidad se reduce. Lógicamente, mientras más baja es la viscosidad, mayor es el tamaño de la burbuja que se formará cuando el agua cambie de estado en el proceso de espumado. Debido a que este proceso saca energía del asfalto, la temperatura antes del espumar debe exceder los 160° C para obtener un producto satisfactorio.

- **Presión del asfalto y del agua.** El asfalto y el agua son inyectados en la cámara de expansión a través de pequeñas aberturas. El aumentar la presión en las tuberías de suministro causa que el flujo que pasa a través de estas aberturas se disperse (atomice). Mientras más pequeñas son las partículas individuales, mayor es el área de contacto disponible, mejorando así la uniformidad de la espuma.

- **Aditivos.** Existen muchos productos en el mercado que afectan las propiedades espumantes del asfalto, tanto negativa (agentes anti-espumantes) como positivamente (espumantes). Usualmente, los espumantes sólo son requeridos cuando el asfalto ha sido tratado con un agente anti-espumante (normalmente durante el proceso de refinado).

  La mayoría de los espumantes son añadidos al asfalto antes de calentar a las temperaturas de aplicación y tienden a ser sensibles a la temperatura, siendo su vida efectiva bastante corta. Para obtener los beneficios de añadir un espumante, el asfalto debe ser utilizado dentro de pocas horas.

  No obstante, estos productos son generalmente caros y se consideran sólo como un último recurso para mejorar las propiedades de un asfalto difícil de espumar (el cortar el asfalto con petróleo diesel ha probado

ser exitoso, tanto para reducir suficientemente su viscosidad como para alcanzar una espuma aceptable. Sin embargo, esto no se recomienda, a menos que sea llevado a cabo por un proveedor de asfalto).

Características Recomendables del Espumado

Utilizando los equipos de laboratorio descritos en el **Apéndice 6.9.2**, los asfaltos que se pretenden usar para espumar deben ser ensayados en el laboratorio para determinar sus propiedades espumantes. El objetivo de este ejercicio es encontrar la combinación de temperatura de asfalto y adición de agua a la que se consigue un espumado óptimo (la mayor razón de expansión y vida media).

Como se describió en párrafos anteriores, cada asfalto es distinto e incluso diferentes lotes de asfalto de una misma fuente presentan variación. Sin embargo, siguiendo un simple procedimiento de laboratorio se puede determinar el porcentaje de agua y la temperatura, para cada tipo de asfalto que se desee espumar. Los parámetros determinados en laboratorio serán utilizados en el campo, a escala real.

No hay límites superiores para las propiedades del espumado y el objetivo siempre debiera apuntar a producir la mejor calidad de espuma requerida para la estabilización. Solamente se encuentran problemas cuando un asfalto no produce una "buena" espuma, generando la necesidad de definir límites inferiores. Los mínimos valores aceptados de razón de expansión y vida media para estabilizar un material a 25° C son:

- Razón de Expansión: 10 veces
- Vida Media: 8 segundos

La experiencia ha demostrado que la dispersión adecuada de la espuma y la estabilización efectiva son posibles cuando las razones de expansión son tan bajas como 8 y la vida media de sólo 6 segundos. Sin embargo, otros factores también influyen, como son las temperaturas elevadas del material.

Índice de Espumación

Durante su investigación en asfalto espumado a fines de los '90, el profesor Kim Jenkins desarrolló el concepto de "Índice de Espumación" para medir la combinación de razón de expansión y vida media. Definió el Índice de Espumación como el área bajo la curva obtenida de graficar la razón de expansión contra la vida media, concluyendo que a mejores propiedades de espumado, sería mejor el Índice de Espumación y también mejor el producto estabilizado alcanzado.

Su investigación comparó el efecto del Índice de Espumación con la temperatura del material al tiempo de mezclado, concluyendo que a medida que la temperatura aumenta, un menor Índice de Espumación puede ser usado para alcanzar una estabilización efectiva.

Dispersión del Asfalto Espumado

A diferencia de las mezclas asfálticas en caliente, un material pétreo estabilizado con asfalto espumado no se ve negro. Esto se debe a que las partículas más gruesas del agregado no se cubren con asfalto. Cuando el asfalto espumado entra en contacto con el agregado, las burbujas de asfalto revientan en millones de pequeñas gotitas de asfalto que se adhieren a las partículas finas, específicamente a la fracción menor a 0,075 mm.

Las gotitas de asfalto pueden intercambiar calor sólo con la fracción de "filler" y todavía tener viscosidad suficientemente baja como para cubrir las partículas. La mezcla espumada resulta en un "filler" ligado con asfalto, que actúa cual mortero entre las partículas gruesas; por ende, hay un ligero oscurecimiento del color del material después del tratamiento.

La adición de cemento Portland, cal o algún material fino similar (100% que pasa el tamiz de 0,075 mm) ayuda a dispersar el asfalto, particularmente donde el material reciclado es deficiente en finos (por ejemplo, menos del 5% pasando el tamiz 0,075 mm). Las investigaciones han mostrado que "fillers" activos (y en particular cemento Portland) no solamente reemplazan al "filler" natural, sino que además proveen irregularidades en la superficie de las partículas debido a la acción puzolánica, a las cuales las partículas de asfalto tienden a adherirse.

A 6.9.2. DISEÑO DE LA ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO ESPUMADO

Objetivo

La estabilización con asfalto espumado es una técnica para construir una base estabilizada de alta calidad, reciclando los materiales del pavimento existente y/o utilizando nuevo material de aporte. El resultado es una base granular unida no continuamente, mediante la dispersión del asfalto espumado en los finos del material, lo cual mejora la cohesión sin alterar el ángulo de fricción interna, además de disminuir considerablemente la susceptibilidad a la humedad. Las bases con asfalto espumado son consideradas perpetuas debido a que su estructura no es susceptible a la fatiga; los criterios de falla y vida útil están determinados en función de la deformación permanente producida por la densificación del material.

Equipos de Laboratorio para Diseño

Para realizar el diseño de una estabilización de materiales con asfalto espumado, el laboratorio requiere de dos equipos para producir, a nivel de estudio, el asfalto espumado y para realizar el mezclado de materiales, los cuales se describen a continuación:

Equipo de Laboratorio de Espumado

Equipo utilizado para optimizar las propiedades del asfalto espumado, así como para inyectar distintos contenidos de asfalto espumado en una mezcla que sea utilizada en los ensayos de diseño de estabilizaciones espumadas, Figura A 6.9.2.1. La mezcla del asfalto espumado y los agregados a estabilizar se lleva a cabo en un mezclador de circulación forzada de doble eje.



Figura A 6.9.2.1. Laboratorio de espumado

El asfalto espumado producido con el equipo de laboratorio es similar al generado por las plantas de estabilización con asfalto espumado.

El objetivo de la optimización del asfalto espumado es determinar el contenido de agua (peso %), con el cual la espuma muestra las mejores propiedades.

Para producir asfalto espumado, se inyecta un volumen definido de agua en cemento asfáltico caliente, a través de una cámara de expansión. La calidad del asfalto espumado es definida por las propiedades de “vida media” e “índice de expansión”. El objetivo es obtener el mayor índice de expansión posible junto con la vida media.

El proceso de generación de asfalto espumado depende de varios factores, los cuales pueden ser determinados a través del equipo de laboratorio de espumado, fijándose en:

- Tipo de asfalto
- Temperatura del asfalto (140 – 200° C)
- Contenido de agua (1 – 5%)
- Presión del aire (0 – 10 bar)

El asfalto espumado producido puede ser usado principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Determinar las susceptibilidades de espumado del asfalto.
- Determinar y optimizar las características del espumado.
- Inyectar porciones exactas de asfalto espumado dentro del equipo de laboratorio de mezclado, para producir muestras de material estabilizado.

Equipo de Laboratorio de Mezclado

Es una máquina móvil que se utiliza para producir mezclas de materiales granulares bajo adición de asfalto espumado, a nivel de estudio de laboratorio. Está compuesto por una cámara con un sistema de mezclado de dos ejes, con paletas de circulación forzada y un sistema electrónico con el cual se puede controlar el tiempo de mezclado. El espacio de la cámara y forma de los mezcladores reproduce el mezclado de un pugmill en porciones de 20 kg. El diseño permite que el equipo de laboratorio de asfalto espumado pueda inyectar directamente el aglutinante en la cámara durante el mezclado. Es posible utilizarlo también para realizar mezclas de capas estabilizadas con aglomeración hidráulica. Figura A 6.9.2.2,



Figura A 6.9.2.2. Laboratorio de mezclado

Requisitos de Calidad que se Proponen para una Estabilización con Asfalto Espumado

Los materiales pétreos recuperados, deben cumplir con los requisitos de calidad que se indican en las Tablas A 6.9.2.1 y A 6.9.2.2, de acuerdo a la intensidad del tránsito acumulado en ejes de 8.2 ton (∑L), para un periodo de 10 años.

Parámetro	ΣL>6x10^6	ΣL<6x10^6	ΣL<10^6	N/A
Índice de Plasticidad	<10			>10
CBR (%)	>80	25 a 80	10 a 25	<10
Porcentaje que pasa en la malla 0.075mm (%)	>4 [a]			<4
Granulometría	Según Tabla x			
(a) En el caso de utilizar 100 % de RAP, el mínimo es 1 % pasando la malla de 0.075 mm				

Tabla 6.9.2.1.

Malla (mm)	*Porcentaje que pasa*	
	ΣL>10⁶ [1]	*ΣL<10⁶ [1]*
50	*100*	*100*
37.5	*87-100*	*100*
26.5	*76-100*	*100*
19	*65-100*	*100*
13.2	*55-90*	*90-100*
9.5	*48-80*	*80-100*
6.7	*41-70*	*70-100*
4.75	*35-62*	*62-88*
2.36	*25-47*	*47-68*
1.18	*18-36*	*36-53*
0.6	*13-28*	*28-42*
0.425	*11-25*	*25-38*
0.3	*9-22*	*22-34*
0.15	*6-17*	*17-27*
0.075	*4-12*	*12-20*

Tabla A 6.9.2.2. Requisitos de granulometría

Las mezclas estabilizadas con asfalto espumado deberán cumplir con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla A 6.9.2.3, de acuerdo a la intensidad del tránsito acumulado en ejes de 8.2 ton (∑L), para un periodo de 10 años.

INDICADOR	Clase de mezcla		
	Clase 1 ΣL>6x10^6 [1]	Clase 2 ΣL<6x10^6 [1]	Clase 3 ΣL<10^6 [1]
Cohesión (Kpa)	>250	100 a 250	50 a 100
Angulo de fricción(°)	>40	30 a 40	<30
ITS $_{seco}$ ($_{Especímenes\ 100\ mm}$) (Kpa)	>225	175 a 225	125 a 175
ITS $_{saturado}$($_{Especímenes\ 100\ mm}$) (Kpa)	>100	75 a 100	50 a 75
ITS $_{equilibrio\ (Especímenes\ 150\ mm)}$ (Kpa)	>175	135 a 175	95 a 135

Tabla A 6.9.2.3. Requisitos de calidad de la mezcla estabilizada con asfalto espumado

Procedimientos de Diseño de la Estabilización

Los procedimientos de diseño de mezcla para estabilización con asfalto espumado se deben llevar a cabo sobre muestras de material representativo del pavimento, para obtener los objetivos básicos siguientes:

- Determinar si el material es adecuado para la estabilización con asfalto espumado.
- Determinar si es necesaria la adición de un "filler" activo en conjunto con el asfalto espumado.
- Determinar las cantidades de asfalto espumado y "filler" activo que necesitan ser aplicados para una estabilización efectiva.
- Obtener una indicación del comportamiento (parámetros de comportamiento) del material estabilizado.

1. Procedimiento de Muestreo, Preparación y Pruebas de Calidad

Muestreo en Campo

Se toman muestras del material a granel de *pozos a cielo abierto* (o de bancos de préstamo y canteras de donde el material de aporte será extraído para estabilizarlo). Cada capa de la parte superior del pavimento debe ser muestreada por separado y como mínimo se deberán obtener 200 kg del material de cada capa, que pueda ser considerada en el proceso de estabilización y por lo tanto requiera un diseño de mezcla.

En el caso de muestras que se tomen en capas asfálticas que vayan a ser estabilizadas con asfalto espumado, resulta conveniente que realice previamente un pulverizado usando una fresadora pequeña (o una recicladora) para simular la granulometría lograda cuando el pavimento sea reciclado.

Pruebas de Calidad en el Material Muestreado

Se debe llevar a cabo las siguientes pruebas de calidad en el material muestreado de cada capa individual o fuente de suministro:

- Análisis de mallas para obtener la distribución granulométrica (ASTM D 422)
- Límites de Atterberg para determinar el Índice de Plasticidad (ASTM D 4218)
- Relación Humedad/Densidad (AASHTO T-180)

Determinación de la mezcla de materiales

Cuando el proyecto lo requiera, es posible mezclar los materiales muestreados de diferentes capas (y/o material de aporte) para obtener una muestra combinada que represente el material que se utilice en la construcción de la base espumada. Las proporciones de los materiales deben definirlos el laboratorio considerando la necesidad de cada proyecto en específico.

A la nuestra combinada de materiales realizada, se le efectúan las pruebas de calidad mencionadas en el punto anterior, de granulometría, índice de plasticidad y la relación humedad/densidad.

La granulometría de la muestra combinada debe cumplir con lo especificado en la Tabla A 6.9.2.4. Es posible variar las proporciones del material a utilizar o el aporte de nuevo material, para adaptar la granulometría a los parámetros establecidos en dicha sección.

Un material con una granulometría irregular es difícil de compactar y por consecuencia se obtiene una baja densidad, lo cual afectará significativamente la resistencia del material, especialmente bajo condiciones de saturación.

Separación del Material Representativo por Fracciones

Se realiza una separación de las muestras de materiales, en las cuatro clasificaciones siguientes:

1. Retenido en la malla 19.0 mm
2. Pasando la malla 19.0 y retenido en la malla 13.2 mm
3. Pasando la malla 13.2 y retenido en la malla 4.75 mm
4. Pasando la malla 4.75 mm

Se reconstituyen las muestras representativas con las clasificaciones determinadas anteriormente (para la muestra a granel) para la porción que pasa la malla de 19.0 mm. Se sustituye la parte retenida en el tamiz de 19.0 mm con el material que pasa la malla de 19.0 m y retiene en la malla de 13.2 mm. Un ejemplo de este procedimiento se muestra en la Tabla A 6.9.2.4.

Si no hubiera suficiente material pasando la malla 19.0 mm y retenido en la malla 13.2 mm para sustituir el retenido en la malla 19.0 mm entonces se tritura ligeramente el material retenido en la malla 19.0 mm para proveer más material de esta fracción.

Análisis granulométrico		Cantidad de material incluido en una muestra de 10 kg		
Tamaño de malla (mm)	Porcentaje pasando (Análisis granulométrico de la muestra compuesta)	Pasando 4.75mm	Pasando 13.2mm y retenido en 4.75 mm	Pasando 19.0 mm y retenido en 13.2 mm
19.0	90.5	(53.6/100 x 10000) = 5,360 g	((72.3-53.6)/100 x 10000) = 1,870 g	((100-72.3)/100 x 10000) = 2,770 g
13.2	72.3			
4.75	53.6			

Tabla A 6.9.2.4. Ejemplo de cálculo de las proporciones para integrar la granulometría para el diseño

Contenido de humedad

Dos muestras representativas secadas al aire, cada una de aproximadamente 1 kg, se utilizan para determinar el contenido de humedad del material. (**Nota.** Para materiales con graduación más gruesa debe incrementarse el tamaño de la muestra). Se pesan las muestras secadas al aire, con una aproximación de 0.1 g; después se colocan en un horno a una temperatura entre 105° C y 110° C hasta que se tenga masa constante. El contenido de humedad ($W_{sec\text{-}air}$) es la pérdida de masa expresada en porcentaje, con respecto a la masa seca de la muestra. Se determina la humedad usando la ecuación 1:

$$W_{sec-air} = \frac{M_{sec-air} - M_{seca}}{M_{seca}} 100 \qquad \text{(Ecuación 1)}$$

Donde

Wsec-air = Contenido de humeada (%por masa)
Msec-air = Masa del material secado al aire (en gramos)
Mseca = Masa del material secada en el horno (en gramos)

Cantidades de muestreo

En la Tabla A 6.9.2.5 se muestra una guía de las cantidades de material requerido de las muestras representativas.

Prueba	Masa requerida de la muestra (kg)
Relación Humedad/Densidad (AASHTO modificado T180)	40
Determinación de la necesidad de "filler" activo (especímenes de 100 mm de Φ)	60
Indicación del óptimo de asfalto (especímenes 100 mmΦ)	80
Determinación del óptimo de asfalto (especímenes 150 mmΦ)	120
Pruebas de calidad (granulometrías, límites de Atterberg, etcétera)	20

Tabla A 6.9. 2.5. Cantidades de material de muestreo, requeridas para el diseño

2. **Adición de "filler" Activo**

Efecto de la Plasticidad

La estabilización con asfalto espumado se lleva a cabo normalmente en combinación con una pequeña cantidad (1% en masa) de "filler" activo (cemento Portland o cal hidratada), para mejorar la dispersión del asfalto y reducir la susceptibilidad a la humedad. El Índice de Plasticidad del material se utiliza normalmente como una guía para el uso de la cal hidratada o cemento en la mezcla, de acuerdo con el criterio que se indica en la Tabla A 6.9.2.6.

Índice de plasticidad: <10	Índice de plasticidad: >10
Se lleva a cabo la prueba del ITS en especímenes de 100mm Φ para determinar la necesidad de agregar ya sea cemento portland o cal hidratada	Pre-tratar el material con cal hidratada

Tabla A 6.9.2.6. Criterio para definir la utilización de un "filler" activo

Un Pre-tratamiento del material con un IP>10 requiere que la cal hidratada y el agua sean agregadas por lo menos 2 hora antes de la adición de asfalto espumado. El material pre-tratado se coloca en un recipiente hermético para mantener la humedad. El contenido de humedad es revisado y de ser necesario, es ajustado antes de agregar el asfalto espumado.

Se aclara que cuando el material es pre-tratado con cal hidratada, no es necesaria la siguiente prueba para la "Determinación de requerimientos de filler activo".

Determinación de Requerimiento de "Filler" Activo

Cuando el índice de plasticidad IP<10, la necesidad de filler activo y el tipo de filler activo (cemento o cal hidratada) que es apropiado para el material por estabilizar, se determina mediante la realización de la prueba

ITS en especímenes de 100 mm de diámetro para tres mezclas diferentes, elaboradas de la misma muestra. Se añade la misma cantidad de asfalto a cada una de estas tres mezclas. Dicha cantidad se define usando como guía las fracciones que pasan las mallas de 4,75 mm y 0,075 mm, como se muestra en la Tabla A 6.9.2.7.

Fracción pasando malla 0.075mm (%)	Adición de asfalto espumado (% en masa del agregado seco)		Tipo de Material típico
	Fracción pasando malla 4.75 mm		
	<50%	>50%	
<4	2.0	2.0	Asfalto recuperado (RAP)
4-7	2.2	2.4	RAP/ Piedra triturada graduada/grava natural
7-10	2.4	2.8	
>10	2.6	3.2	Gravas y arenas

Tabla A 6.9.2.7. Guía para la estimación de la adición óptima de asfalto espumado

La primera de las tres mezclas no contiene "filler" activo; a la segunda mezcla se le añade 1 % de cemento Portland y a la tercera mezcla 1% de cal hidratada. Las tres se tratan con la misma cantidad de asfalto espumado (descrito en la siguiente sección). Se fabrican especímenes de 100 mm de diámetro, se curan y son probados para determinar los valores de ITS_{seco} e $ITS_{saturado}$ (cuyas determinaciones se indican más adelante). El valor del TSR se utiliza entonces como el principal indicador para definir si se requiere un "filler" activo.

Cuando el valor del TSR para la mezcla sin "filler" activo es mayor de 60 %, la mezcla debe llevarse a cabo sin relleno activo. Esta situación se limita generalmente a un material compuesto de piedra triturada de buena calidad, a menudo incluyendo una proporción significativa de material de asfalto recuperado, (RAP).

Cuando el valor del TSR de la mezcla sin "filler" activo es menor de 60 %, la mezcla con el tipo de "filler" activo que produce un valor TSR significativamente mayor (> 5 %) indica una preferencia ya sea de cemento Portland o de cal hidratada y debe ser utilizada en los siguientes diseños de mezcla. Si los valores de TSR para ambas cargas activas son del mismo orden (diferencia <5 %) entonces cualquier "filler" activo es adecuado.

Nota. Para determinar la sensibilidad del "filler" activo, se pueden realizar pruebas adicionales en especímenes de 100 mm de diámetro, utilizando el "filler" activo seleccionado a una tasa de aplicación más baja (digamos 0.75 %). Sin embargo, para evitar comprometer la flexibilidad de la mezcla, la tasa de aplicación máxima permitida para "filler" activo es de 1.0 % y solo podrá ser superada cuando se aplica cal hidratada como un pretratamiento para eliminar la plasticidad.

3. Determinación de las Propiedades del Espumado del Asfalto

Calidad del Asfalto Espumado

Las propiedades de espumado del asfalto son:

- Relación de expansión. Es una medida de la viscosidad del asfalto espumado, calculado como la relación del máximo volumen de la espuma en relación con el volumen original del asfalto.

- Vida media. Medida de la estabilidad del asfalto espumado, calculado como el tiempo en segundos que el máximo volumen de espuma colapsa a la mitad del volumen máximo.

Los valores mínimos de calidad que debe cumplir el asfalto espumado, de acuerdo con el procedimiento que se describe en seguida, se indican en la Tabla A 6.9.2.8.

Temperatura de los agregados	10 a 25 °C	mayor a 25°C
Relación de expansión (veces)	10	8
Vida media (segundos)	6	6

Tabla A 6.9.2.8. Valores mínimos de calidad del asfalto espumado

Procedimiento para Determinar las Propiedades del Asfalto Espumado

El objetivo de llevar a cabo el siguiente procedimiento es determinar la temperatura del asfalto y el porcentaje de adición de agua que es necesario para producir las mejores propiedades de espumado (máxima relación de expansión y vida media), para un tipo de asfalto específico. Estas propiedades son medidas a tres diferentes temperaturas del asfalto, en el rango de 160 a 190° C; los siguientes pasos describen el procedimiento, usando los equipos de laboratorio Wirtgen WLB10S y WLM30, comentados anteriormente:

Paso 1. Calentar el asfalto en el contenedor del equipo de laboratorio Wirtgen WLB 10S con la bomba circulando el asfalto a través del sistema, hasta que la temperatura del asfalto sea la requerida (normalmente comenzando con 160° C). Mantener la temperatura requerida por lo menos durante 5 minutos antes de iniciar la prueba.

Paso 2. Siguiendo los procedimientos estándar descritos en el "Manual del Usuario del Wirtgen WLB10S", calibrar el rango de inyección del asfalto (Qasf) y ajustar el WLB10S para inyectar 500 gramos de asfalto.

Paso 3. Ajustar el flujómetro de agua para lograr el rango de inyección requerido.

Paso 4. Inyectar 500 gramos de asfalto en la probeta de acero para ensayo del laboratorio WLB10S precalentada a 75° C. Arrancar el cronómetro simultáneamente al inicio de la inyección.

Paso 5. Usando la escala para la medida de la expansión máxima del laboratorio WLB10S (la cual está calibrada para la probeta de ensayo de 275 mm de diámetro y 500 gr de asfalto) medir la máxima altura de espumado lograda en la probeta. Este valor es registrado como el volumen de expansión máximo

Paso 6. Usando un cronómetro se mide el tiempo en segundos que le toma a la espuma disiparse a la mitad del valor de expansión máxima. Esto es registrado como la vida media.

Paso 7. Se repite el procedimiento mínimo 3 veces o hasta que lecturas similares sean obtenidas.

Paso 8. Se repiten los pasos 3 a 7 en por lo menos 3 rangos de inyección de agua (típicamente valores de 2%, 3% y 4%, con respecto a la masa de asfalto).

Paso 9. Se traza una gráfica de la relación de expansión versus la vida media, en los diferentes rangos de inyección de agua en el mismo conjunto de ejes. La adición óptima de agua es escogida como un promedio de los dos contenidos de agua necesarios para cumplir los criterios mínimos de espumado. En la Figura A 6.9.2.3 se muestra un ejemplo para determinar las propiedades del asfalto espumado.

Se repiten los pasos 1 al 9, para dos temperaturas más del asfalto (normalmente de 170° C y 180° C).

La temperatura y la cantidad óptima de agua agregada que produzca las mejores características de espumado será seleccionada y utilizada en el proceso de diseño de mezcla.

Si no se cumplen con los requerimientos mínimos establecidos, el asfalto debe ser calificado como no apto para su utilización como asfalto espumado.

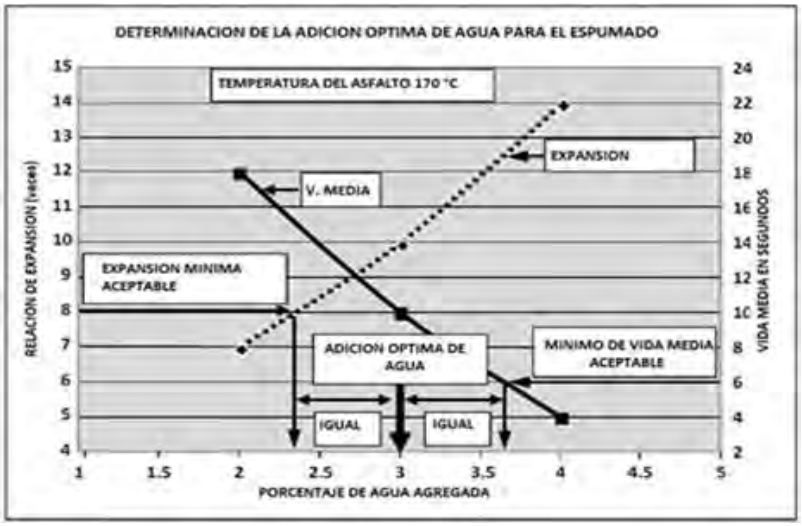


Figura A 6.9.2.3. Ejemplo para determinar las propiedades del asfalto espumado

4. Tratamiento de las Muestras con Asfalto Espumado

El siguiente procedimiento describe los pasos para el tratamiento de las muestras con asfalto espumado:

Paso 1. Se coloca la masa requerida de la muestra (20 a 30 kg, preparadas como se señaló anteriormente) dentro del equipo de laboratorio de mezclado de doble flecha Wirtgen WLM30.

Paso 2. Se determina la masa seca de la muestra, usando la Ecuación 2.

$$Ms = \frac{M}{1+(\frac{W}{100})} \qquad \textbf{[Ecuación 2]}$$

Donde:

Ms = masa seca de la muestra [en gramos]
M = masa seca al aire de la muestra [en gramos]
W = humedad contenida de la muestra seca al aire [% de la masa]

Paso 3. Se determina el porcentaje requerido de "filler" activo (cal o cemento Portland), usando la Ecuación 3.

$$Mactiva = \frac{C}{100}\ Mmuestra \qquad \textbf{[Ecuación 3]}$$

Donde
M_{activa} = Masa de la cal o cemento que se añaden [en gramos]
C = Porcentaje de cal o cemento requerido [% de la masa]
$M_{muestra}$ = Masa seca de la muestra [en gramos]

Paso 4. Se determina el porcentaje de agua por añadir, para lograr el contenido de humedad de la mezcla (75% de la humedad óptima del material), calculado con la Ecuación 4.

$$Wadd = 0.75\ \text{Wóptima} - \text{W} \qquad \textbf{[Ecuación 4]}$$

Donde:

W_{add}	= humedad que se añade a la muestra	[% de la masa]
W_{optima}	= humedad optima	[% de la masa]
W	= humedad de la muestra seca al aire	[% de la masa]

La cantidad de agua por añadir a la muestra se determina usando la Ecuación 5.

$$M_{agua} = \frac{Wadd}{100}(Mmuestra \pm Mactiva) \qquad \textbf{[Ecuación 5]}$$

Donde:

M_{agua}	= masa de la humedad que se añade	[en gramos]
W_{add}	= humedad para ser agregada a la muestra (Ecuación 4)	[% de masa]
$M_{muestra}$	= masa seca de la muestra	[en gramos]
M_{activa}	= masa de la cal o cemento para ser añadida	[en gramos]

Paso 5. Se mezcla el material, (el "filler" activo y el agua) en el equipo mezclador, hasta lograr una mezcla homogénea. Después se inspecciona la muestra para asegurarse que el material esté en un estado abundado:

- Si algún fino es observado, se añaden cantidades pequeñas de agua (nominalmente 0.25% cada vez) y se remezcla hasta que un estado abundado sea alcanzado sin ningún fino visible.

- Si el material esta "pegajoso" con una tendencia a aglomerarse en los bordes del mezclador, entonces el contenido de humedad es demasiado alto para mezclarse con asfalto espumado. Se rechaza la muestra y se comienza nuevamente con una muestra fresca, utilizando un contenido de humedad menor.

Paso 6. Se determina la cantidad de asfalto espumado para ser añadido, usando la Ecuación 6:

$$M_{asfalto} = \frac{Badd}{100} \times (M_{muestra} + M_{activa}) \qquad \textbf{[Ecuación 6]}$$

Donde:

$M_{Asfalto}$	= masa del asfalto espumado por añadir	[en gramos]
B_{add}	= contenido de asfalto espumado	[% de la masa]
$M_{muestra}$	= masa seca de la muestra	[en gramos]
M_{activa}	= masa de cal o cemento añadido	[en gramos]

Paso 7. Se ajusta la cantidad de asfalto para ser añadido en el equipo Wirtgen WLB10S.

Paso 8. Se acopla el equipo de laboratorio Wirtgen WLB10 S con el equipo mezclador WLM 30, de modo que el asfalto espumado pueda ser descargado directamente en la cámara de mezclado.

Paso 9. Se acciona el mezclador WLM 30 y se mezcla el material por estabilizar, por lo menos 10 segundos antes de descargar la masa requerida de asfalto espumado dentro del mezclador. Después de que el asfalto espumado ha sido descargado, se continúa mezclando por un tiempo adicional de treinta segundos o hasta obtener una mezcla homogénea.

Paso 10. Se determina la cantidad de humedad adicional requerida para dar la humedad óptima en la muestra, utilizando la ecuación 7.

$$M_{plus} = \frac{0.25\ W\ óptima}{100}(Mmuestra + Mactiva) \qquad \textbf{[Ecuación 7]}$$

Donde:

M_{plus}	= masa de la humedad por ser añadida	[en gramos]
$W_{óptima}$	= contenido de humedad optima	[% de la masa]
$M_{muestra}$	= masa seca de la muestra	[en gramos]
M_{activa}	= masa del cal o cemento añadida	[en gramos]

Paso 11. Se añade la humedad adicional y se mezcla hasta tener una mezcla uniforme.

Paso 12. Se transfiere el material tratado con asfalto espumado a un contenedor hermético y se sella inmediatamente. Para minimizar pérdidas de humedad, se elaboran los especímenes de prueba tan pronto sea posible, siguiendo el procedimiento descrito más adelante, ya sea para 100 mm o 150 mm de diámetro, respectivamente.

Se repiten los pasos de este procedimiento por lo menos para cuatro mezclas con diferentes contenidos de asfalto espumado, en intervalos de incremento de 0.2%.

La "Guía Para la Estimación de la Adición Óptima de Asfalto Espumado", indicada en la Tabla A 6.2.2.9, debe ser usada buscando determinar el punto medio del rango de asfalto espumado por añadir, para las cuatro muestras.

Por ejemplo, si el material consiste de una mezcla de RAP y material triturado con 39 % y 8 % pasando las mallas 4.75 mm y 0.075 mm respectivamente, el punto medio de la Tabla A 6.9.2.9 indica un óptimo de asfalto añadido del 2.4 %. Entonces la cantidad de asfalto espumado por añadir para cada muestra (todo con la misma cantidad de "filler" activo y el mismo contenido de humedad) es:

Muestra	Porcentaje
1	2.1
2	2.3
3	2.5
4	2.7

5. Elaboración de los Especímenes de Prueba

En la Tabla A 6.9.2.9 se indican los dos procedimientos y diámetros de especímenes que pueden ser utilizados para el diseño de la estabilización con asfalto espumado.

Diámetro de Espécimen	Altura de Espécimen	Esfuerzo de Compactación
100 mm	63.5 mm	Marshall Estándar
150 mm	95.0 mm	AASHTO Modificado

Tabla A 6.9.2.9. Tamaño del espécimen y esfuerzo de compactación por aplicar en el proceso de elaboración

Se indican a continuación los criterios de selección para definir el diámetro de los especímenes y la prueba de compactación:

¿Con qué Tamaño deben ser elaborados los Especímenes?

Como se describe a continuación, los valores ITS seco y ITS saturado son normalmente determinados en especímenes de 100 mm de diámetro. Especímenes de 150 mm de diámetro pueden sustituir a los especímenes de 100 mm de diámetro para obtener los mismos valores.

Cuando tratamos con materiales gruesos (por ejemplo cuando la curva granulométrica tiende a la parte gruesa de la curva) es muy recomendable que especímenes de 150 mm de diámetro sean elaborados y probados, en lugar de los especímenes más pequeños de 100 mm de diámetro.

Normalmente los especímenes de 150 mm de diámetro son usados para determinar los valores de ITS equilibrio.

¿Pueden otros Métodos de Compactación ser usados?

Los procesos de compactación descritos a continuación son bien entendidos como procesos estándar que pueden ser realizados en la mayoría de los laboratorios. Otros procesos pueden ser usados (por ejemplo compactación giratoria, martillo vibratorio, mesa vibratoria, etcétera) siempre que éstos aseguren la misma densidad objetivo del 100% de compactación Marshall, para los especímenes de 100 mm de diámetro o la misma densidad del 100% con AASHTO Modificada (T-180) para los especímenes de 150 mm de diámetro.

- **Elaboración de los Especímenes de 100 mm de Diámetro**

Se deben elaborar un mínimo de seis (6) especímenes con 100 mm de diámetro y 63.5 mm de altura; se fabrican a partir de cada muestra de material tratado, mediante la aplicación de un esfuerzo de compactación estándar Marshall, como se describe en los siguientes pasos:

Paso 1. Se prepara el molde Marshall y el martillo, y se limpian el molde, el collarín, la placa base y la cara del martillo de compactación. Se aclara que el equipo de compactación no debe ser calentado, manteniendolo a temperatura ambiente.

Paso 2. Se pesa material suficiente para alcanzar una altura compacta de 63.5 mm ±1.5 mm (aproximadamente 1100 gramos se requieren para la mayoría de los materiales). Se empuja la mezcla con una espátula 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en la superficie, dejando la superficie ligeramente redondeada.

Paso 3. Se compacta la mezcla mediante la aplicación de 75 golpes, con el martillo de compactación. Se debe tener cuidado para asegurar la continua caída libre del martillo.

Paso 4. Se quita el molde y el collarín del pedestal, e invierte la muestra. Se reemplaza y presiona firmemente hacia abajo para asegurarse de que la muestra esté apoyada sobre la placa base. Se compacta la otra cara de la muestra con otros 75 golpes.

Paso 5. Después de la compactación, se retira el molde de la placa de base y se extrae el espécimen del molde. Se mide la altura de la muestra y se ajusta la cantidad de material si la altura no está dentro de los límites de tolerancia (±1.5 mm).

Se repiten los pasos 1 a 5 para la fabricación de por lo menos seis (6) especímenes.

Paso 6. Se toman muestras representativas de aproximadamente 1 kg, después de la compactación de la segunda y la quinta muestra y se seca a masa constante (de 105° C a 110° C). Se determina la humedad de moldeo, utilizando la Ecuación 8.

$$W_{moldeo} = \frac{M_{húmeda} - M_{seca}}{M_{seca}} 100 \qquad \textbf{[Ecuación 8]}$$

Donde

W_{moldeo}	= contenido de humedad de moldeo	[% en masa]
$M_{húmeda}$	= masa húmeda de material	[en gramos]
M_{seca}	= masa seca del material	[en gramos]

- **Elaboración de los especímenes de 150 mm de diámetro**

Se debe elaborar un mínimo de seis (6) especímenes con 150 mm de diámetro y 95 mm de altura, los cuales se elaboran a partir de cada muestra de material tratado, mediante la aplicación del esfuerzo de compactación AASHTO modificado (T-180), como se describe en los siguientes pasos:

Paso 1. Se realiza la limpieza del molde, el collarín, la placa base y la cara del pisón de compactación. Se pueden utilizar ya sea moldes partidos o los estándar "AASHTO", equipados cada uno con un espaciador de 32 mm, colocado sobre la placa base, para lograr una altura de 95 mm (± 1,5 mm) en los especímenes.

Se aclara que el pisón de compactación AASHTO modificado, debe tener las siguientes especificaciones:

- Diámetro del pisón 50 mm
- Masa 4.536kg
- Distancia de caída 457 mm

Paso 2. Se compacta cada muestra aplicando el esfuerzo de compactación AASHTO modificado T-180. Cuatro capas aproximadamente de 25 mm de espesor cada una, recibiendo 55 golpes del pisón en caída libre.

Paso 3. Con cuidado, se recorta el exceso de material de las muestras, como se especifica en el método de ensayo AASHTO T-180.

Paso 4. Después de la compactación, se retira el molde de la placa base y se extrae el espécimen. Cuando se utilizan moldes partidos, se separan los gajos y se saca el espécimen.

Se aclara que con ciertos materiales que carecen de cohesión, puede ser necesario dejar la muestra en el molde durante 24 horas, permitiendo obtener al espécimen suficiente consolidación para no destruirlo durante la extracción. Preferentemente se deben utilizar moldes partidos.

Se repiten los pasos 1 a 4 para la fabricación de por lo menos seis (6) especímenes.

Paso 5. Se toma aproximadamente 1 kg de muestras representativas después de la compactación de la segunda y la quinta muestras y se secan a masa constante (entre 105 y 110° C). Se determina el contenido de humedad de moldeo utilizando la Ecuación 8 (antes descrita).

Curado de los especímenes

Dos regímenes de curado se describen a continuación. El primero es un procedimiento estándar para secar las muestras a masa constante. El segundo procedimiento está dirigido a la simulación de condiciones de campo, donde el "contenido de humedad de equilibrio" es aproximadamente 50 % del contenido óptimo de humedad. Ambos especímenes de 100 mm y 150 mm de diámetro, pueden ser curados en seco (hasta masa constante), mientras que sólo especímenes de 150 mm de diámetro se curan con el contenido de humedad de equilibrio.

Curado en seco

Se colocan las muestras (ya sea de 100 mm ó 150 mm de diámetro) en un horno de circulación forzada, a 40° C y se curan a masa constante (normalmente 72 horas).

Para determinar si una masa constante se ha logrado, se pesan las muestras y se colocan de vuelta en el horno. Se retiran después de 4 horas y se pesan de nuevo. Si la masa es constante, se continúa con las pruebas.

Si la masa no es constante, se vuelve a colocar en el horno y se pesa de nuevo en repetidos intervalos de 4 horas, hasta que se alcance una masa constante.

Cuando se alcanza una masa constante, se retiran los especímenes del horno y se dejan enfriar a 25° C (± 2.0° C).

Curado para simular condiciones de campo (equilibrio)

Se colocan los especímenes de 150 mm de diámetro en un horno de circulación forzada a 40° C durante 24 horas (o hasta que el contenido de humedad sea aproximadamente el 50 % de su contenido óptimo).

Se retiran los especímenes del horno; se coloca cada uno en una bolsa de plástico sellada (al menos dos veces el volumen de la muestra) y se colocan de nuevo en el horno a 40° C durante otras 48 horas.

Se retiran las muestras del horno después de 48 horas y se sacan de sus respectivas bolsas de plástico, asegurando que cualquier humedad en las bolsas no entre en contacto con la muestra. Se dejan enfriar a 25° C (± 2.0° C).

6. Caracterización de la Muestras para Ensayo

Después de haberse enfriado los especímenes a 25° C, se determina la densidad aparente de cada muestra utilizando el siguiente procedimiento:

Paso 1. Se determina la masa del espécimen.

Paso 2. Se mide la altura de la muestra en cuatro lugares espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia y se calcula la altura promedio de la muestra.

Paso 3. Se mide el diámetro de la probeta.

Paso 4. Se calcula la densidad aparente de la muestra, utilizando la Ecuación 9.

$$BD = \frac{4\,M_{espec}}{\pi\, d^2\, h\, 10^6} \qquad \textbf{[Ecuación 9]}$$

Donde:

BD	= densidad aparente	[kg/m³]
M_{espec}	= masa del espécimen	[en gramos]
h	= altura promedio espécimen	[mm]
d	= diámetro del espécimen	[mm]

Se excluye cualquier espécimen cuya densidad aparente difiera, en más de un 2,5% de la densidad aparente promedio, determinada con las seis (6) muestras.

Paso 5. Se coloca la mitad de las muestras (normalmente 3) a saturación por inmersión en agua, durante 24 horas a 25° C (± 2° C). Después de 24 horas, se retiran los especímenes del agua, se seca su superficie y se ensayan inmediatamente.

7. Determinación de la Resistencia a la Tensión Indirecta (ITS) de los Especímenes

El ITS de un espécimen se determina mediante la medición de la carga última aplicada para la falla en el eje diametral, a una velocidad de deformación constante de 50,8 mm/minuto. Para obtener este valor se debe seguir el procedimiento que se describe a continuación:

Se debe asegurar que antes de comenzar los ensayos, la temperatura de los especímenes sea de 25° C (± 2° C).

Paso 1. Se coloca el espécimen en la mordaza ITS (Lottamn de 4" o 6", dependiendo el diámetro del espécimen a ensayar). Se coloca el espécimen de tal manera que las líneas de carga sean paralelas y centradas en el plano diametral vertical.

Paso 2. Se coloca la placa de transferencia en la parte superior de la línea de apoyo y se posiciona el ensamblaje de la mordaza bajo el vástago de la prensa.

Paso 3. Se aplica carga al espécimen, sin choque, a una velocidad de avance de 50.8 mm por minuto, hasta que sea alcanzada la carga máxima.

Paso 4. Se registra la carga máxima P (en kN), con una precisión de 0.1kN.

Paso 5. Se registra el desplazamiento de rotura, con una precisión de 0.1 mm.

Paso 6. Se rompe el espécimen por la mitad y se determina y registra la temperatura de su núcleo.

Paso 7. Se rompe un espécimen de los secos y uno de los saturados y se determina el contenido de humedad, mediante el procedimiento estándar de secado en horno.

Paso 8. Se calcula el valor de ITS para cada espécimen, con una precisión de 1 kPa, utilizando la ecuación 10:

$$ITS = \frac{2\,P}{\pi\, h\, d\, 10^6} \qquad \textbf{[Ecuación 10]}$$

Donde:

ITS	= resistencia a la tensión indirecta	[kPa]
P	= carga máxima aplicada	[kN]
h	= altura promedio del espécimen	[mm]
d	= diámetro del espécimen	[mm]

Paso 9. Se utiliza el formato 1 que se adjunta, para registrar los datos de los ensayos y el formato 2 para el reporte de los resultados.

Paso 10. Se calcula el valor de la Resistencia a la Tensión Retenida (TSR) para las muestras, utilizando la Ecuación 11.

$$TSR = \frac{\text{Prom.}\, ITS_{satu}}{\text{Prom.}\, ITS_{seco} \times 100} \qquad \textbf{[Ecuación 11]}$$

Donde:

TSR	= resistencia a la tensión retenida	[%]
Prom. ITS $_{satu}$	= ITS$_{satu}$ promedio	[kPa]
Prom. ITS $_{seco}$	= ITS$_{seco}$ promedio	[kPa]

Para diferenciar los resultados obtenidos de los diversos regímenes de curado, se debe utilizar la terminología mostrada en la Tabla A 6.2.2.10, a fin de evitar cualquier confusión:

TÉRMINO	DIÁMETRO DEL ESPÉCIMEN	RÉGIMEN DE CURADO	CONTENIDO DE HUMEDAD
ITS $_{seco}$	100 mm ó 150 mm	72 hr sin sellar	<1%
ITS $_{saturado}$		24 hr húmedo	Saturado
ITS $_{equilibrio}$	Sólo 150 mm	24 hr sin sellar, 48 hr en bolsa sellada	± 50% de OMC

Tabla A 6.2.2.10. Terminología para regímenes de curado

8. Selección del Contenido Óptimo de Asfalto Espumado

Se grafican los resultados de las pruebas de ITS (saturado y seco) contra la adición relevante de asfalto espumado, como se muestra en el ejemplo de la Figura A 6.9.2.4. Si se obtuvieron resultados para dos regímenes de curado, se realizan gráficas separadas.

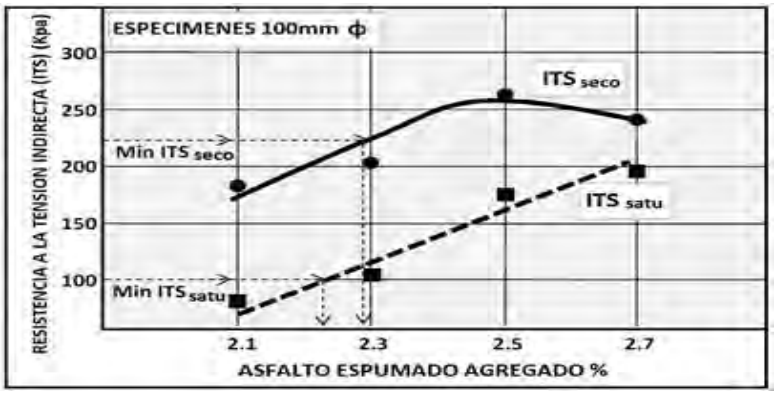


Figura A 6.9.2.4. Gráfica para ejemplificar la selección del contenido óptimo de asfalto espumado

La cantidad de asfalto espumado que cumpla con los valores mínimos de ITS señalados en la sección de requisitos de calidad, es seleccionada como el indicador primario para la cantidad de asfalto espumado mínima que se debe agregar a la mezcla. Entonces queda a criterio del diseñador determinar la cantidad de asfalto espumado que necesita ser agregado a la mezcla para lograr la confianza suficiente en el diseño, basado en la variabilidad de los resultados; ("bondad de ajuste" de la curva de regresión o línea a través de los resultados de la prueba graficada).

A continuación se explica el proceso de ajuste para el ejemplo incluido:

La gráfica de la Figura A 6.9.2.4 es un ejemplo típico de valores de ITS logrados en un diseño de mezcla, utilizando especímenes de 100 mm de diámetro, para un nuevo material triturado. La curva a través de los 4 puntos de ITS$_{seco}$ aproxima la relación entre el ITS$_{seco}$ y el asfalto espumado agregado. La línea a través de los cuatro puntos de ITS$_{saturado}$ aproxima la relación entre el ITS$_{saturado}$ y el asfalto espumado agregado. Las líneas finas

punteadas indican que con una adición de asfalto espumado entre 2.2 % y 2.3 % se logran los requerimiento para un material estabilizado con asfalto espumado de Clase 1 (ITS_{seco}>225kpa y ITS_{satu}<100kpa).

El criterio de ingeniería es entonces aplicado, basado en el entendimiento de que los valores de ITS no son absolutos, junto con una apreciación de la variabilidad que debe ser esperada cuando se trabaja con materiales de un pavimento existente.

A la luz de los resultados obtenidos de la mezcla con 2.3 % de asfalto espumado (el resultado de la prueba ITS_{seco} para una mezcla con 2.3 % de asfalto espumado añadido, no cumple con los requerimientos de un material estabilizado con asfalto espumado de Clase 1), mientras que el valor para una mezcla con 2.5 % está muy excedida para los requerimientos mínimos de la Clase 1, por lo que una adición de 2.4 % es la indicada.

Para mejorar el nivel de confianza en los resultados obtenidos de los especímenes de 100 mm de diámetro, se deben elaborar especímenes de 150 mm de diámetro con intervalos de 0.1 % de adición de asfalto espumado, en un rango de 2.2 % a 2.5 % de adición de asfalto espumado y curados al contenido de humedad de equilibrio. La grafica de la Figura A 6.9.2.5 muestra resultados típicos que pueden ser obtenidos, superpuesto con el límite mínimo para $ITS_{equilibrio}$ requerido para un material estabilizado con asfalto espumado de Clase 1. Este ejemplo resalta un mejorado nivel de confianza que es requerido para tomar la decisión de agregar 2.4 % de asfalto espumado, para satisfacer dichos requerimientos.

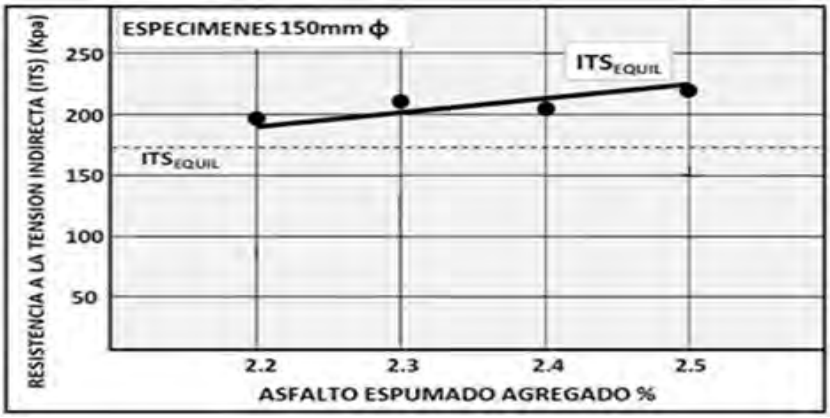


Figura A 6.9.2.5. Gráfica para ejemplificar la confirmación del contenido de asfalto espumado seleccionado

A 9.1.1 RECOMENDACIONES TÉCNICAS GENERALES

Socavación

Para fines de Ingeniería de Vías Terrestres, la socavación en cauces naturales cruzados por puentes puede clasificarse en dos tipos principales:

1. **Socavación General.** Es la que ocurre en condiciones normales, al presentarse una creciente y aumentar la capacidad de la corriente para arrastrar material del fondo; a lo largo de todo el cauce se produce una cierta profundidad de socavación. Durante el período de recesión de la creciente del río o arroyo, el material es depositado nuevamente.

2. **Socavación Local.** Es la que ocurre cuando existe un obstáculo en la trayectoria del flujo, el cual induce la formación de vórtices que provocan la disminución de la elevación del fondo alrededor del obstáculo. Para los fines de esta nota, este obstáculo está representado por los apoyos de los puentes.

Para el cálculo de la socavación general puede utilizarse el método de Lischtvan-Lebediev, que considera como parámetros el gasto de la corriente, el tirante, el área hidráulica, las características de los materiales del fondo y la separación y dimensiones de los apoyos, entre otros.

Para calcular la socavación local existen más de veinte métodos, de los cuales se recomienda en esta nota utilizar el de Maza, el de Laursen, el de la Universidad Tecnológica de Dinamarca y el de Neill, para que, con base en los diferentes resultados, se elija un valor de diseño por parte del proyectista. Los diferentes parámetros considerados por los métodos anteriores son: el ancho de la pila, el tirante, la velocidad y el ángulo de esviajamiento.

En cuanto a las obras de protección contra la socavación, han demostrado ser más efectivas aquellas constituidas por pedraplenes colocados a volteo, sin ningún junteo, por presentar muchas ventajas, mencionamos las principales:

a) Restan intensidad a los vórtices.

b) La estructura es flexible y sus elementos se reacomodan solos cuando se forma alguna depresión en su vecindad.

c) Evitan la expulsión de material fino a través del mismo.

d) Su diseño es sencillo.

Puesto que el esviaje de una pila respecto a la dirección de la corriente es un parámetro muy importante que puede aumentar la socavación del ángulo de ataque, debe tenerse muy especial cuidado en observar si éste es importante (más de 10°) durante las inspecciones de las estructuras, a fin de tomar medidas preventivas.

Para el detalle de los métodos de cálculo de la socavación, pueden consultarse las siguientes publicaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes:

- Socavación en Cauces Naturales.
- Socavación Local en Pilas.

Estrategias Propuestas para la Construcción de Puentes y Obras Menores de Drenaje

Las experiencias obtenidas por la observación del comportamiento hidráulico de los puentes y obras menores de drenaje ante avenidas extraordinarias, así como por las situaciones de emergencia que han sufrido tales estructuras de la red federal libre de peaje a causa de la ocurrencia de crecientes extremas de ríos y arroyos, permiten plantear las siguientes situaciones y recomendaciones desde el punto de vista de drenaje para puentes y alcantarillas.

1. Las estructuras que drenan corrientes con cauces de avenidas muy amplias generalmente estrechan la sección de dichos cauces, por lo que durante las crecientes importantes trabajan forzadamente, lo que propicia en gran número de casos el colapso de la estructura debido al fenómeno de la socavación.

   Considerando lo anterior, conviene que los puentes existentes que produzcan tal estrechamiento del escurrimiento en cauces amplios, cuenten con terraplenes "fusibles" que puedan ser cortados fácilmente por la corriente, cuando ésta alcance un tirante 50 cm menor que el de diseño y evitar así que el puente trabaje forzadamente desde el punto de vista hidráulico, con la posible consecuencia de su colapso. Dichos terraplenes "fusibles" consisten en terracerías con altura igual a dicho tirante de diseño, para que el agua sobrepase el nivel de rasante de la carretera y la erosione, con su consecuente corte; además, los terraplenes fusibles se construyen con material puramente friccionante, sin protección contra tal erosión.

2. Los puentes que drenan corrientes con cauces encajonados (bien definidos) llegan a fallar por socavación cuando este fenómeno no fue debidamente analizado en los estudios básicos para el proyecto de las estructuras, o cuando el caudal de las avenidas máximas fue subestimado. En otras ocasiones, cuando existe estrechamiento y los apoyos extremos están ubicados dentro del cauce, éstos pueden ser flanqueados por la corriente y ser afectados por la socavación, a tal grado que pudiera colapsarse la estructura.

Se deberá tener especial cuidado en proyectar de forma adecuada la estructura, considerando un gasto de diseño debidamente analizado y una profundidad de desplante suficiente de su cimentación, para evitar la falla por socavación. De esta forma también se minimizará la probabilidad de que el puente sea flanqueado por la corriente al sufrir la erosión y corte de los terraplenes de acceso.

Es frecuente encontrar en la actualidad, sobre todo en cortes en balcón, obras menores de drenaje consistentes en uno o más tubos con diámetros muy pequeños, entre 60 y 90 cm, obras que si bien pudieran ser suficientes desde el punto de vista hidráulico, no lo son para los caudales sólidos consistentes en troncos de árboles, ramazón, palotada, sedimentos desde arenas hasta boleos grandes y basura. Ello provoca que el agua pase por encima de la rasante y erosione los taludes de aguas abajo, causando deslaves que finalmente destruyen carretera y alcantarilla.

Así, es necesario que las obras menores de drenaje se proyecten con dimensiones suficientes que puedan dar paso no sólo al caudal líquido sino también a los cuerpos que pueda arrastrar la corriente, aun cuando se duplique, triplique o multiplique por un factor mayor el área que requiera la obra para drenar exclusivamente el gasto líquido. En cualquier caso, es recomendable que la dimensión mínima de una obra menor de drenaje sea de 1.2 m, a fin de que sea posible efectuar su limpieza sin dificultad.

Finalmente, se recomienda eliminar el uso de tubos metálicos para construir o reconstruir alcantarillas, en todas las regiones costeras o en aquéllas en que exista la posibilidad de que ocurra el fenómeno de corrosión.

Recomendaciones

I. Si en una sección de terraplenes se presenta el colapso de una alcantarilla y el corte en la carretera es de una longitud de 5 a 12 m (Figura A 9.1.1.1), se recomienda:

   a. Resolver a base de un pedraplén, si se cuenta con piedra de gran tamaño en la zona.

   b. Colocar una batería de tubos para alcantarilla de concreto, con diámetro de 1.50 m

   c. Colocar una rampa a base de tubería, rieles, madera, etcétera.



Figura A 9.1.1.1 Colapso de Alcantarilla

II. Cuando en una sección en balcón se pierde parte o toda la superficie de rodamiento, se recomienda:

a. Ampliar la sección del camino hacia el corte, siempre que la clasificación de los materiales sea factible de atacar con la maquinaria disponible.

b. Colocar un muro seco o utilizar gaviones del lado donde se pierde la sección y proceder al relleno con material de buena calidad.

III. Si se colapsa el puente y se tiene un cauce divagante en una gran extensión y se tiene material a base de arenas o cantos rodados de gran tamaño y el tirante es considerable con alta velocidad, se recomienda:

a. Construir un vado natural en el ancho total del cruce, lo que permitirá restar velocidad y reducir el tirante del agua el cual no debe exceder de 20 cm.

b. Distribuir el cauce en 2 ó 3 sitios que permitan colocar rampas en claros de 10 a 12 m. Esto nos dará un paso provisional sin tirante de agua en la superficie de rodamiento.

c. Implementar lo necesario para colocar estructuras Bailey.

IV. Cuando se colapse un puente y se tenga un cruce con un tirante de agua permanente no menor de 50 cm y longitud menor a 50 m y el terreno del lecho del cruce sea a base de arena, limos, etcétera, se recomienda:

a. Implementar lo necesario para colocar un puente provisional a base de pontones. Ver Capitulo 9 de esta Guía par, la atención de emergencias.

b. Implementar lo necesario para colocar estructura Bailey. Figura A 9.1.1.2.



Figura A 9.1.1.2. Estructura Bailey

V. Cuando en una sección de balcón, localizada sobre una cañada cercana al cruce de un río, se pierdan la superficie del camino y la obra de drenaje, se recomienda:

   a. Considerar un nuevo trazo del camino, cuidando la pendiente para cruzar el cauce con un vado natural, buscando alojar la sección sobre el lado del corte, no importando la clasificación del material, por lo que deberá proveerse el uso de explosivos.

   b. Se verá la posibilidad de recuperar la sección cortando sobre la cama del camino, lo que implicará incrementar la pendiente; sin embargo, se logrará dar paso en el menor tiempo posible.

A 9.1.2 PROCEDIMIENTO PARA LA INSTALACIÓN DE PUENTES TIPO BAILEY

Las estructuras “Bailey” son estructuras modulares de acero de alta resistencia galvanizado, proyectadas para formar un puente simple de tablero inferior, donde la superficie de rodamiento de la calzada está soportada por dos vigas principales.

Las vigas principales están compuestas de un cierto número de paneles unidos con pernos, extremo a extremo y conectados lateralmente, cuando sea necesario, para formar vigas rígidas de una orilla a otra.

Los travesaños que soportan la calzada se colocan sobre los cordones inferiores de los paneles, conectando y distanciando correctamente las vigas principales, al mismo tiempo que soportan las armazones de acero de la calzada.

En todos los tipos de estructuras, el panel es el componente básico. La manera mediante la cual se agrupan unos paneles con otros determina la carga que puede soportar la estructura.

Dentro de las características principales del concepto de puente modular se tiene:

- Puentes de claro y capacidad variable que pueden ser construidos con calidad y rapidez, ya que es posible intercambiar sus elementos sin mayor problema.
- Existen tablas preestablecidas que determinan las características del puente, según el claro y la capacidad de carga requerida.
- Los puentes se construyen fácilmente, con mano de obra no calificada bajo la supervisión de un Ingeniero.
- Las partes que lo conforman se transportan con relativa facilidad, teniendo una cimentación simple. En un mínimo de tiempo las estructuras pueden ser puestas en servicio.
- Todas las piezas son galvanizadas, lo que implica un mantenimiento mínimo y el sistema piso de acero es capaz de llevar asfalto si lo requiere. El sistema es apropiado también para su aplicación permanente.

El panel es la parte más importante de la estructura y es un armazón soldado, integrado por dos cordones unidos por montantes verticales y diagonales; en un extremo del panel, ambos cordones terminan en un muñón perforado y en el otro extremo en dos cartelas perforadas. Los paneles se ensamblan unos con otros por el extremo mediante el acoplamiento de los muñones con las cartelas, insertando el perno a través de los agujeros correspondientes y posteriormente estos llevan unos seguros (ver Figura A 9.1.2.1).

A los dos cordones del panel se les denomina “cordón superior” y “cordón inferior”, siendo este último identificable por las cuatro placas de apoyo de los travesaños adyacentes a los montantes.

También en el cordón inferior, cerca de cada extremo, hay un agujero ovalado horizontal que recibe las diagonales de arriostramiento. Tanto el cordón superior como el inferior tienen cada uno un par de placas taladradas para alojamiento de pernos de cordón o tornillos; éstos son para ensamblar un panel encima del otro o, como en el caso de las estructuras colocadas en Chiapas, para los cordones de refuerzo. Figura A 9.1.2.2.

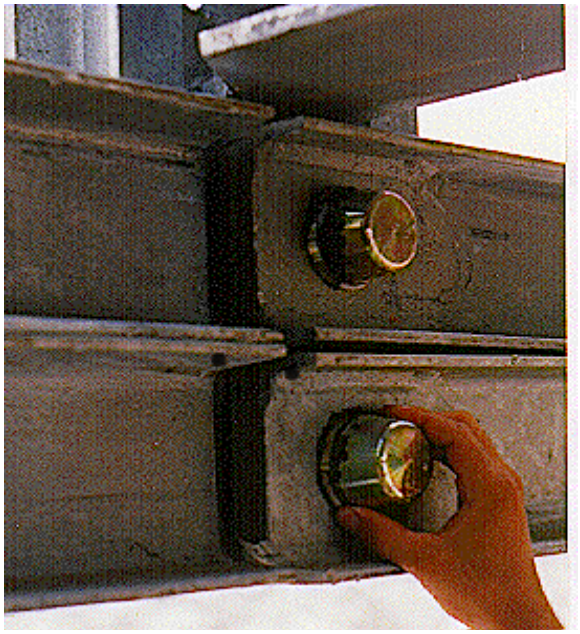


Figura A 9.1.2.1. Pernos colocados ya con su

Además en ambos cordones hay un par de agujeros en los que se coloca el bastidor de arriostramiento; el agujero más cercano al cordón superior se emplea también para fijar el tornapuntas y la placa de unión. Figura A 9.1.2.2.

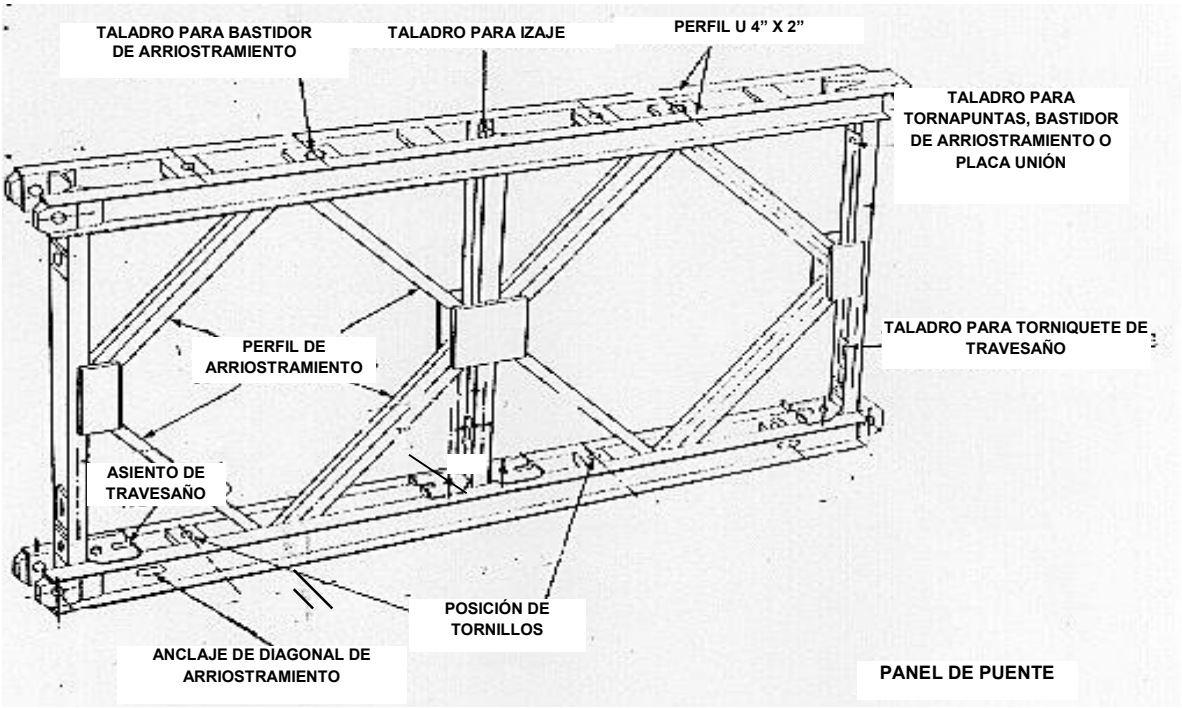


Figura 9.1.2.2. Panel del sistema modular

El puente "Mabey" más simple es aquel en el que una sola fila o viga de paneles a lo largo de cada lado de la estructura forman la viga maestra. A este tipo de estructura se le llama **Simple Simple.**

Una fila adicional de paneles a cada lado convierte este puente en **Doble Simple.**

Si en este puente Doble Simple se colocan dos filas adicionales de paneles sobre los existentes, el puente de doble piso se llama **Doble Doble.**

Con esto se puede definir cualquier tipo de puente de viga compuesta por medio de dos palabras; la primera indica el número de paneles situados uno al lado de otro y la segunda indica el número de paneles que van uno encima de otro.

Normalmente se emplean siete tipos de construcción para armar la gama completa de puentes de tablero inferior y son los siguientes, junto con las abreviaturas por las que se les reconoce:

1. Simple Simple..... (SS)
2. Doble Simple..... (DS)
3. Triple Simple..... (TS)
4. Doble Doble..... (DD)
5. Triple Doble..... (TD)
6. Doble Triple..... (DT)
7. Triple Triple..... (TT)

Con excepción de la Doble Triple y la Triple Triple, las diversas estructuras indicadas anteriormente pueden ser reforzadas acoplando cordones de refuerzo en la parte superior e inferior de cada viga. La estructura reforzada se identifica por adición de la letra “R”. Figura A 9.1.2.3.

La construcción Simple Doble (una viga de dos pisos de altura) no se emplea porque este tipo de estructuras no es estable cuando se usa en puentes de tablero inferior.

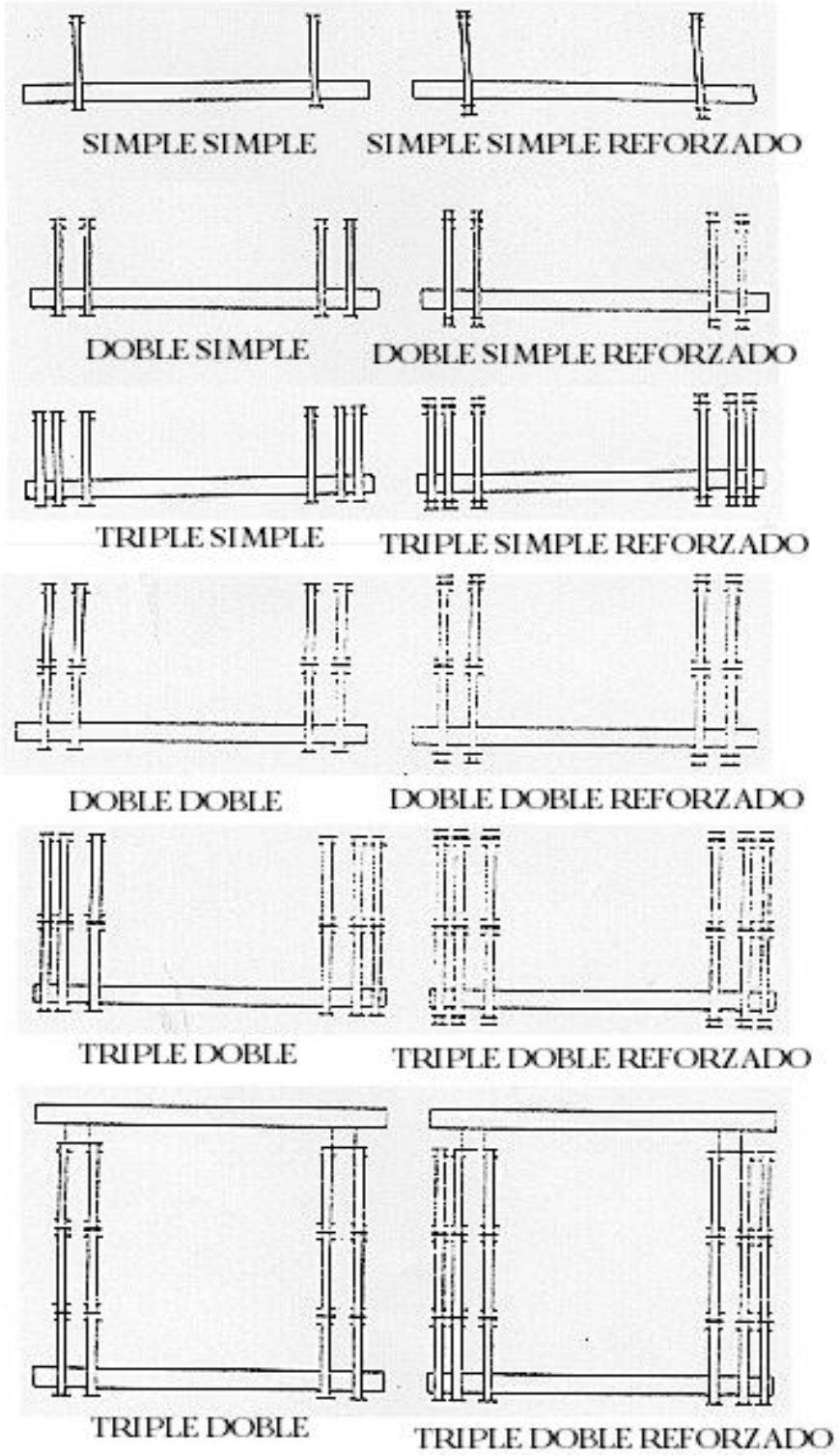


Figura A 9.1.2.3. Tipos de arreglos

El sistema normal para armar los puentes "Mabey", consiste en ensamblar el puente completo sobre rodillos en una orilla, con una estructura ligera (llamada morro de lanzamiento o nariz, hecha de paneles normales, es decir no reforzados) acoplada al extremo delantero del puente. La estructura completa se desliza sobre los rodillos y

es lanzada a través del cauce del río o de la barranca. La nariz se construye con los mismos elementos normales, usados en el puente y los componentes de una nariz desmontada (que pueden devolverse al almacén o ser usados en el puente).

La versatilidad del sistema se ve reflejada en que no se necesitan equipos sofisticados. Incluso el lanzamiento, si el claro no es muy grande, se puede realizar con esfuerzo humano solamente.

Ésta es una vista del sistema en su forma más simple:

- **Travesaños.** Cruzan las vigas principales conectándolas unas con otras y soportan la superficie de rodamiento
- **Bastidor.** Éstos conectan los paneles y travesaños completando la estructura y estabilizando la cuerda superior e inferior del panel de comprensión
- **Atiesadores.** Se conectan diagonalmente entre los travesaños y forman con éstos y las cuerdas inferiores de los paneles un contraventeo horizontal para resistir el viento y equilibrar las fuerzas entre los paneles
- **Atiesador Vertical.** Se conectan diagonalmente entre la parte superior e inferior del travesaño para actuar en conjunto; estos tirantes verticales actúan en tensión para estabilizar los travesaños. Figura A 9.1.2.4.

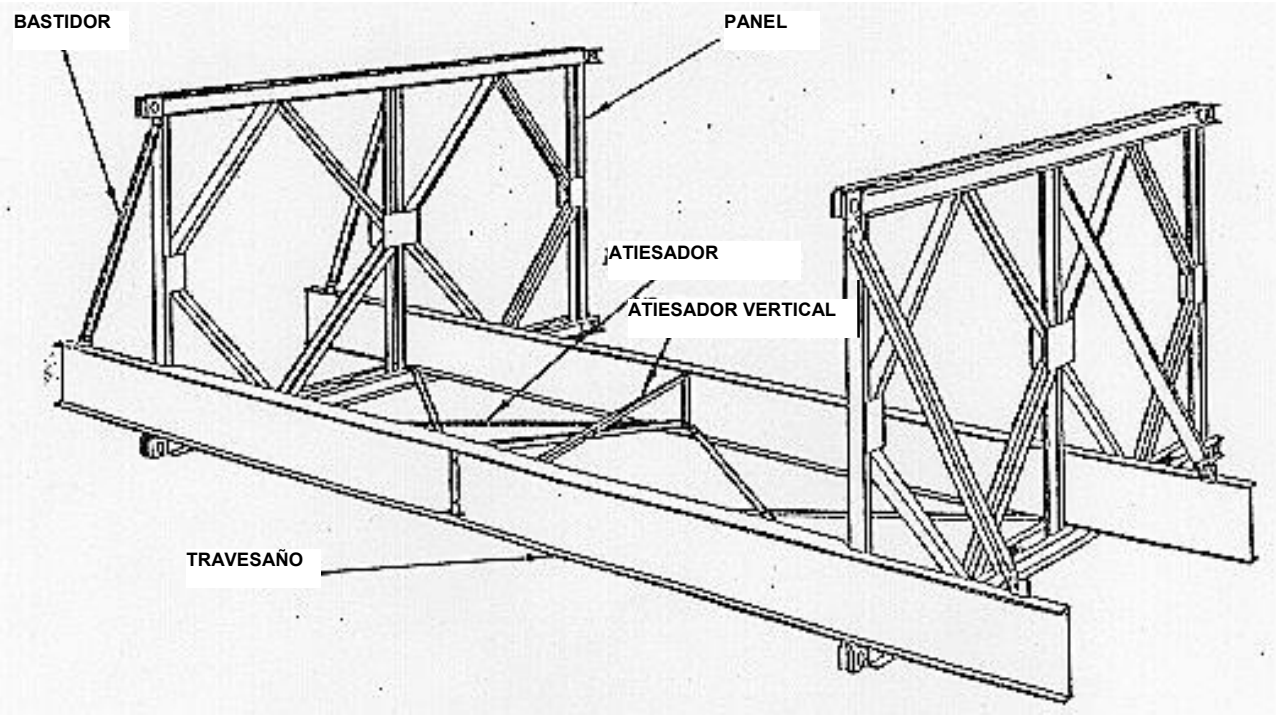


Figura A 9.1.2.4. Vista del Sistema

Para el armado de la estructura “Mabey”, una vez definidos el ancho de calzada y la longitud de la estructura, en primer lugar se procede a la construcción de los terraplenes, que deben incluir un ancho mínimo de 8.00 m y espacio suficiente para poder armar la longitud total del puente para su posterior lanzado.

Es importante que durante la construcción de los terraplenes a nivel donde se arma el puente, se vigile la adecuada calidad de los materiales y su compactación así como la protección necesaria para soportar las avenidas, ya que sobre éstos se apoyará la zapata de la estructura y en una cierta etapa del lanzamiento todo el peso del puente recae sobre la zapata y el dispositivo basculante que incluye los rodillos, lo cual puede provocar fallas de

talud y en el menor de los casos asentamientos que al desnivelar la estructura provoquen deformaciones y esfuerzos no deseables, éstos principalmente de torsión. Figura A 9.1.2.5.



Figura A 9.1.2.5. Apréciese el rodillo basculante, que es recomendable colocar en la parte más cercana al borde lanzamiento del terraplén

Para reducir el programa de trabajo los terraplenes deben construirse de ser posible mientras se llevan a cabo las maniobras de transportación de piezas, debido a que es recomendable contar con el área donde se ensamblará el puente y otra adyacente para estibar todos los componentes; la estiba deberá realizarse con mucho cuidado para no dañar las partes galvanizadas y se hará sobre madera, a fin de evitar el contacto con el suelo.

Paralelamente y de acuerdo a las circunstancias de la obra, se debe establecer un esquema general de trabajo para que se dé paso a los vehículos, por medio de vados o sobre baterías de tubos que permitan el paso del agua como se aprecia en la Figura A 9.1.2.6.

Es necesario crear, en su caso, un terraplén fusible a fin de que las avenidas rompan a través de éste, sin dañar los terraplenes que soportan la estructura.

Sobre los terraplenes de acceso ya terminados se debe prever la colocación de señalamientos verticales preventivos y restrictivos, donde se indique la capacidad de carga que para el caso del puente “Cintalapa” en Chiapas fue de 40 toneladas de carga máxima y velocidad de 10 km/h.



Figura A 9.1.2.6. Paso provisional

En función de los materiales de que se disponga de acuerdo a la emergencia, las zapatas se pueden construir de troncos o durmientes, o bien si se dispone de tiempo, de concreto armado. Su ubicación será 1.5 veces el ancho de la zapata dentro del talud, aproximadamente de 2.50 a 3 m, procurando ganar área hidráulica.

El procedimiento consiste en realizar una excavación de aproximadamente 1.50 X 1.50 m y 0.60 m de profundidad. Se compacta firmemente el fondo de la excavación y se tiende en posición lateral la primer cama de 4 troncos o durmientes de 1.20 m de longitud y aproximadamente 0.25 m de peralte. Se confinan con material grava-arena y se vuelven a nivelar en ambas direcciones, en sentido del lanzamiento. Se colocan otras 4 piezas y se vuelven a confinar con material grava-arena. En caso de contar con placa de acero de 1.00 x 1.00 m y 1/2" de espesor, se le colocará y sobre ella se apoyará la pieza trapecial que tiene un sistema de rodilla que permite movimientos basculantes y sobre ésta, la pieza rectangular metálica que contiene un par de rodillos y el sistema de frenado.

La primera actividad propia del ensamblaje de la estructura, consiste en poner el cordón de reforzamiento a los paneles. Éstos se fijan por medio de unos tornillos con tuerca y cada módulo lleva cuatro tornillos en el cordón inferior y cuatro en el cordón superior. Dicha actividad se puede apreciar en la Figura A 9.1.2.7, también se puede observar el acoplador (con pintura) donde descansa el travesaño.



Figura A 9.1.2.7. Ensamblaje de estructura

Una vez construidas las dos zapatas (una por cada viga principal) en el mismo eje transversal al eje de proyecto, se procede a colocar (desde bancos provisionales) el primer travesaño de 6.85 x 0.41 m y posteriormente se coloca el primer pánel; se atornilla y luego se coloca el primer panel del lado contrario, como se ve en la Figura A 9.1.2.8.



Figura A 9.1.2.8. Colocación de páneles

El paso siguiente es colocar el travesaño inmediato que irá a la mitad del módulo, en el acoplador que se mencionó antes, para después continuar con el que va en el extremo y posteriormente iniciar el proceso en la segunda etapa de módulos.

Conforme se va avanzando con el armado de los páneles, se van colocando rodillos auxiliares de lanzamiento a cada 8.5 m aproximadamente, para permitir la nivelación de la estructura.

Una vez que se ha avanzado el 30% de la longitud total, se procede a la colocación de los atiesadores y contraventeos o bastidores, para rigidizar la estructura. Figura A 9.1.2.9.



Figura A 9.1.2.9. Obsérvense los atiesadores horizontales y verticales

Durante el armado, una vez que se ha alcanzado un 40% de la longitud total, de requerirse es posible pivotear o alinear el puente, para mejorar su alineamiento.

Adicionalmente, a los 4.20 m efectivos de calzada (que puede variar a 3.15, 7.35 y 10.5 m para alojar varios carriles) se puede colocar en cantiliver una pasarela peatonal de 1.20 m con pasamanos, aunque hay que mencionar que a veces el pasamanos del fabricante apenas alcanza 80 cm de altura por lo que es recomendable ponerle una tela de gallinero o algo que sirva como barrera para evitar accidentes.

Es importante que, durante el lanzado de cada sección, se vigile la nivelación transversal al eje para evitar torsiones; cumpliendo lo anterior se observa que los distintos componentes ensamblan casi perfectamente, por lo que no deberán abocardarse las piezas, evitando además dañar el galvanizado que está garantizado por 30 años. En contados casos será necesario aplicar palancas o bien auxiliarse con una grúa, para lograr los ensambles.

En caso de no contar con espacio suficiente en los terraplenes para el armado de todos los módulos, se pueden realizar lanzamientos parciales, para despejar el área y continuar con el armado.

Para claros relativamente grandes, como la estructura 2 del puente “Cintalapa” que es una estructura Doble Simple Reforzada de cerca de 58 m de longitud, se utilizó un terraplén auxiliar a la mitad del claro para facilitar el empujado; una vez terminado este terraplén se retira (ver Figuras A 9.1.2.10 y A 9.1.2.14); es evidente que este puente tuvo como mínimo dos etapas de empujado, la primera hasta el terraplén provisional y la segunda al terraplén definitivo.



Figura A 9.1.2.10. Construcción del terraplén auxiliar, aproximadamente al centro del claro

Es de vital importancia distinguir los paneles reforzados, que son los colocados en las partes extremas. Estos páneles se pueden identificar en campo, porque en las piezas verticales del panel llevan soldada una solera adicional, en los postes extremos en la parte inferior del módulo; tales piezas son las que transmitirán las cargas directamente a los apoyos, inicialmente a los provisionales y posteriormente a los definitivos (ver Figura A 9.1.2.11).

A pesar de que a todo lo largo del puente se coloca el cordón de refuerzo, estos páneles de los extremos no se refuerzan para la transmisión de cargas, por lo que se recomienda que durante el estibaje estas piezas se identifiquen y aíslen de los demás páneles estándar, y así se tengan a la mano cuando se vayan a ocupar o para tener cuidado de que no vayan a ensamblarse en la parte central del puente.



Figura A 9.1.2.11. Panel de extremo reforzado con una solera en la

En esta etapa el terraplén que recibirá la estructura estará ya terminado y los rodillos que servirán de apoyo ya estarán colocados y alineados, para realizar el empujado final o único, si no se realizó de manera parcial. Figura A 9.1.2.12.



Figura A 9.1.2.12. Empujado final

Al terminar el empujado, lo siguiente es retirar los módulos que sirven de nariz a la estructura. Para el puente "Cintalapa" (estructura 1) que consta de 9 módulos, la nariz estaba formada por 2 módulos rectos y para la estructura 2, que tiene 13 módulos, se utilizaron dos módulos; pero el primero estaba girado respecto a los otros, lo cual se logra corregir por medio de un acoplador que se coloca en la parte inferior entre los módulos, para así lograr la posición deseada (Figura A 9.1.2.13). Este acoplador, al igual que los módulos, tiene de un lado un muñón perforado y del otro un par de cartelas también perforadas; en estas perforaciones es donde entran los pernos que asegurarán esta pieza que da la posición al módulo para realizar la maniobra.



Figura A 9.1.2.13. Retiro del acoplador de la parte inferior de los módulos; luego se quita el perno del cordón superior, a fin de retirar la nariz

Una vez terminado el empujado y el retiro de la nariz, se procede a demoler el terraplén provisional, si es que lo hubo (Figura 9.1.2.14), previo retiro de los rodillos que se colocan en el mismo.



Figura A 9.1.2.14. Demolición del terraplén provisional

Simultáneamente se trabaja en: el cambio de apoyos provisionales por los apoyos definitivos (Figura A 9.1.2.15), la colocación del sistema de piso y el montaje en cantiliver del paso peatonal (si es que estuviera contemplado).

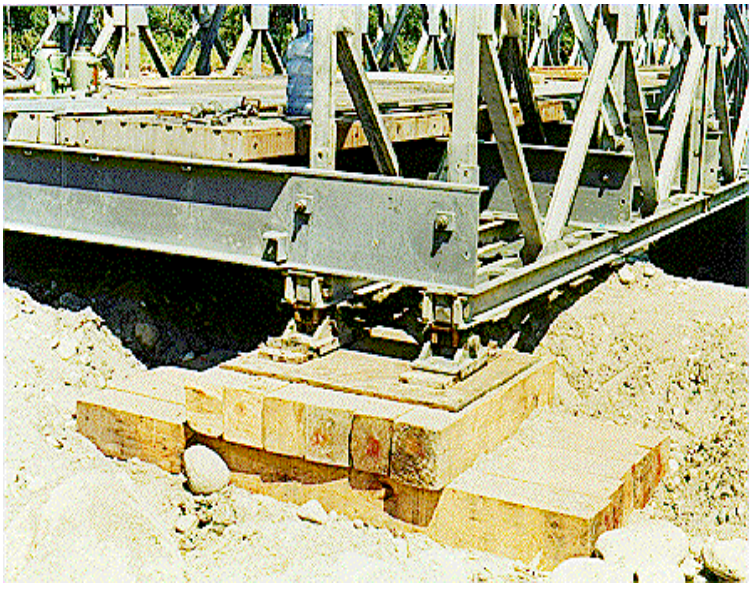


Figura 9.2.1.15. Vista de los apoyos definitivos

El sistema de piso está formado por piezas metálicas rectangulares de 2.25 X 1.05 m y 10 cm de peralte, con un peso de 130 kg aproximadamente, integrados por perfiles de sección canal conformando una pieza ortotrópica sobre la cual se solda una placa de acero tipo industrial, la cual se apoya sobre las vigas transversales sujeta con cuatro tornillos, que se aprietan con llaves hexagonales tipo Allen.

En caso de disponer del equipo, se puede emplear una grúa pequeña de 20 toneladas para acelerar la colocación de los elementos principales del puente.

Es recomendable que el sistema de piso se coloque al final, ya que para las maniobras de empujado el peso de éste las haría más difíciles. En la Figura A 9.1.2.16 se puede observar cómo se coloca el sistema de piso y también se muestra la placa que sirve de guarnición y que se fija con cuatro tornillos.



Figura A 9.1.2.16. Sistema de piso

Puede notarse que la mayoría de las actividades es posible realizar las de manera simultánea, con lo cual el tiempo de ensamblaje se ve reducido de manera considerable y como consecuencia el paso se restituye más pronto.

Posteriormente, en los extremos del puente se colocan unos perfiles tubulares cuadrados que van atornillados al travesaño, para que sirvan como cerramiento y así evitar el golpeteo en las placas o cajones que sirven como sistema de piso (Figura A 9.1.2.17).



Figura A 9.1.2.17. Se aprecia el perfil tubular cuadrado que sirve como

Finalmente, se realiza el armado de los gaviones que irán a la entrada del puente y posteriormente la nivelación del terreno en los terraplenes de acceso (Figura A 9.1.2.18).



Figura A 9.1.2.18. Armado de gaviones

El equipo necesario con que se sugiere contar, dependiendo de las características de los accesos al sitio de la obra, es:

- 2 Tractores D-8
- 2 Cargadores 966
- Retroexcavadora 235
- Tractocompactador 815
- Grúa hidráulica telescópica de 30 ton
- 8 Camiones de volteo
- Equipos de iluminación, para el turno nocturno
- Motosierra
- Gatos hidráulicos de 55 ton
- Gatos hidráulicos de 35 ton
- Lote de herramientas de mano que incluye:
    - Picos, 5 palas, 4 manerales y dados (de 3/4”, 1”, 2”, 2 1/2”), 2 cuñas, 2 barretas, 1 niveleta, 2 tirfos
- Equipo de topografía

Los tiempos de ensamblaje van a depender de la accesibilidad del sitio, el equipo con que se cuente y obviamente, la experiencia de los maniobristas.

Una vez que se cuenta con todos los componentes de la estructura metálica prefabricada en el sitio de la obra, así como los terraplenes de acceso debidamente protegidos para evitar deslaves, es factible considerar que una estructura de 40.5 m de 9 módulos, "Simple Simple Reforzada" se puede armar completamente para dar paso en 96 horas (o sean 4 días) y en el caso de una estructura "Doble Simple Reforzada" de 58.5 m de 13 módulos dobles se arma en 144 horas (6 días), tiempos que se pueden abatir incrementando el personal y los turnos, incluyendo la superación de la curva de aprendizaje de los maniobristas.

El beneficio social es alto ya que con estas estructuras se permite el paso de vehículos y personas de manera rápida en un caso de contingencia, resolviendo en forma casi inmediata las emergencias provocadas por fenómenos naturales; por lo que estas estructuras constituyen ahora una herramienta muy importante de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Se anexan tablas de información técnica para el diseño de este tipo de estructuras modulares.

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
DIRECCIÓN GENERAL ADJUNTA DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
SUBDIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN
DEPARTAMENTO DE SUPERVISIÓN DE MAQUINARIA

RELACIÓN DE HERRAMIENTAS NECESARIAS PARA

EL ARMADO DE UN PUENTE BAILEY

CANTIDAD	UNIDAD	CONCEPTO
4	Pieza	Llaves estrías de 36 mm
4	Pieza	Llaves españolas de 36 mm
4	Pieza	Llaves allen de 17 mm
4	Pieza	Dado entrada ¾ de 36 mm con maneral y matraca
2	Pieza	Dado entrada 1" de 55 mm con maneral
2	Pieza	Barreta
250	Pieza	Polines de 0.15x0.15x1.30 m
4	Pieza	Placas de ½" de 0.70x1.30 m
10	Pieza	Placas de ½" de 0.10x1.40 m con barrenos a 1.29 m de separación
4	Pieza	Ganchos para piso
2	Pieza	Llave cola de rata de 36 mm
1	Pieza	Motosierra
8	Juego	Guantes de piel
8	Pieza	Casco metálicos
8	Pieza	Cinturones de seguridad para escalar postes
2	Pieza	Pinza para seguros
2	Pieza	Desarmador plano de 30 cm de largo
2	Pieza	Estrobo de ½ de grueso 2 m largo
2	Pieza	Estrobo de ½ de grueso 3 m largo
2	Pieza	Estrobo de ½ de grueso 4 m largo
4	Pieza	Perros de ½
4	Pieza	Perros de ¾
1	Pieza	Marro de 12 lb
1	Pieza	Marro de 18 lb
4	Pieza	Cadenas
2	Pieza	Tirfords

NOTA: Esta herramienta debe estar en cada centro SCT antes de que lleguen las estructuras

A 9.1.3 REGLAS GENERALES DE OPERACIÓN DEL FONDO DE DESASTRES NATURALES FONDEN

INTRODUCCIÓN

Por lo espacioso de su Territorio, México es un país grande. Su orografía es accidentada, destacando sus 3 Sierras Madre: Occidental, Oriental y del Sur, y el Eje Neovolcánico, quien sensiblemente corre a lo largo del Paralelo 19º Norte. Los 2 principales océanos del Mundo bañan sus costas: el Pacífico y el Atlántico, teniendo además un mar territorial (el de Cortés) y del Golfos (el de México y el de Tehuantepec). Parte de la República Mexicana, especialmente hacia el sur, corresponde a Zona Sísmica, con frecuentes temblores y son terremotos, varios de ellos originados por los movimientos Tectónicos de la Palca de Cocos. Los climas van desde el tropical hasta el Alpino y el Desértico.

Tan diversos elementos geográficos hacen que nuestro país se vea sometido a severos fenómenos meteorológicos, como huracanes, sequias, temperaturas extremas y sismos, provocándose inundaciones, derrumbes, danos y desastres.

Tratando de aliviar y atenuar penosas condiciones naturales, el Gobierno Mexicano creó un fondo económico, al cual acudir en busca de auxilio. Llamándole Fondo de Desastres Naturales (FONDEN), cuyas incidencias sobre las carreteras en México se citan en este Subtema 9.1.3 para que sirvan de guía y consulta.

MATERIAL DEL FONDEN

Dentro de las numerosas disposiciones y mecanismos del FONDEN, aquí mencionaremos los Artículos vigentes de mayor relación con la Red Carretera Mexicana, agrupados en:

- Capítulos I, III y V, con algunas Secciones.
- Lineamientos de operación. Capítulos del I al VI, VIII y IX con algunas Secciones.
- Tres anexos (I, III y V, yendo sus encabezados en letras “negrillas”, de tamaño parecido al usado en el texto).
- Otras tres Anexos (XVII al XIX, encabezados en “negritas” y tamaño mayor al del texto).
- Formatos, Reportes y Tarjeta.
- Aplicación.
- Informe Fotográfico.
- Avances del programa de Emergencias y Avances Físicos y Financieros.

Veamos

ACUERDO por el que se Emiten las Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales

(Diario Oficial de la Federación 3 de diciembre de 2010)

Capítulo I

Disposiciones Generales

Artículo 1°. El Fondo de Desastres Naturales es un instrumento interinstitucional que tiene por objeto ejecutar acciones, autorizar y aplicar recursos para mitigar los efectos que produzca un fenómeno natural perturbador, en el marco del Sistema Nacional de Protección Civil.

Artículo 4°. Son fines del Fondo de Desastres Naturales:

I. Canalizar recursos para la reconstrucción de los daños sufridos por un fenómeno natural perturbador en los sectores de competencia federal, estatal o municipal, en términos de los Lineamientos de Operación específicos que regulan cada uno de los procedimientos a que hacen referencia las presentes Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales.

En los trabajos de reconstrucción o restitución de los bienes se deberán incluir, en lo posible y por separado, medidas de mitigación para daños futuros, a través de normas de diseño o construcción que reduzcan su vulnerabilidad ante futuras amenazas, en el entendido de que la dependencia o entidad de la Administración Pública Federal responsable del sector deberá evaluar y, en su caso, validar los argumentos técnicos y los documentos de las mejoras y adiciones en las acciones incluidas en el programa de restauración de los daños, de tal manera que garanticen que los bienes operarán dentro de márgenes de seguridad recomendables;

III. Otorgar recursos a las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal para la adquisición de equipo especializado destinado a la atención de emergencias y desastres naturales;

VI. Canalizar recursos para llevar a cabo las contrataciones de terceros independientes especializados que requiera el Gobierno Federal para las evaluaciones de daños, cuya finalidad sea la valoración de los montos requeridos para la reconstrucción de la infraestructura afectada por la ocurrencia de un fenómeno natural perturbador, de conformidad con las disposiciones aplicables.

Capítulo III

Sobre la Declaratoria de Desastre Natural y el Acceso a los Recursos del FONDEN

Sección I

Procedimiento para Solicitar la Corroboración de la Ocurrencia de un Desastre Natural

Artículo 7°. Cuando una Entidad Federativa se encuentre en Desastre Natural deberá solicitar, dentro de los tres días hábiles siguientes a la ocurrencia de éste, a las Instancias Técnicas Facultadas señaladas en el Artículo 5°, fracción XX, de las Reglas, que corroboren la ocurrencia del Fenómeno Natural Perturbador, debiendo marcar copia de la misma a la Dirección General del FONDEN.

La solicitud deberá estar suscrita por el titular del Ejecutivo de la Entidad Federativa de que se trate o, en su defecto, por el servidor público facultado para tal fin, y deberá contener:

I. La descripción del Fenómeno Natural Perturbador, así como la fecha de su ocurrencia;

II. Las denominaciones de los municipios o Delegaciones Políticas involucradas. En este rubro se deberán incluir todos aquellos municipios o Delegaciones Políticas que se considera sufrieron o pudieron haber sufrido afectaciones a causa del Fenómeno Natural Perturbador de que se trate y que se encuentren ubicados dentro del área de influencia del fenómeno en cuestión. Dichas denominaciones deberán coincidir con el registro del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, y

III. Nombre, localización, número telefónico y correo electrónico de un servidor público con quien la Instancia Técnica Facultada pueda establecer comunicación para atender cualquier duda o requerimiento específico.

Artículo 8°. La Instancia Técnica Facultada tendrá hasta tres días hábiles contados a partir del día siguiente a la recepción de la solicitud señalada en el Artículo anterior, para notificar a la Entidad Federativa solicitante respecto del dictamen de corroboración del Fenómeno Natural Perturbador en los municipios o Delegaciones Políticas solicitadas, marcando copia del mismo a la Coordinación y a la Dirección General del FONDEN.

Sección II

Procedimiento para Emitir una Declaratoria de Desastre Natural

Artículo 9°. Para acceder a los recursos del FONDEN, en la sesión de instalación del comité de evaluación de daños a que se refiere la sección siguiente, la Entidad Federativa deberá entregar al representante de la SEGOB la solicitud de emisión de una Declaratoria de Desastre Natural firmada por el titular del Ejecutivo de dicha Entidad Federativa, en la que se deberá manifestar lo siguiente:

I. Los municipios o Delegaciones Políticas afectados que han sido corroborados por la Instancia Técnica Facultada, incluyendo la descripción del Fenómeno Natural Perturbador y la fecha de su ocurrencia;

II. Que ha sido rebasada su capacidad financiera y operativa, para atender, por sí misma, la totalidad de los efectos del Fenómeno Natural Perturbador;

III. Su compromiso para incorporar en sus respectivos programas y presupuestos anuales subsecuentes, los recursos necesarios para asegurar la infraestructura pública;

IV. Que ha regularizado los recursos recibidos por concepto de Apoyos Parciales Inmediatos, y

V. El nombre del servidor público designado para dar seguimiento a la solicitud.

Artículo 10. Cumplido lo previsto en el Artículo anterior, a más tardar a los cuatro días hábiles siguientes, la SEGOB, por conducto de la Coordinación, deberá emitir y publicar en el Diario, sin perjuicio de que se difundan a través de otros medios de información, la Declaratoria de Desastre Natural respectiva.

Sección III

De los Comités de Evaluación de Daños

Artículo 11. Una vez recibida de la Instancia Técnica Facultada la corroboración de la ocurrencia de un Fenómeno Natural Perturbador, el titular del Ejecutivo de la Entidad Federativa o el servidor público competente para tal efecto, deberá convocar, a más tardar al día hábil siguiente, a todas las instancias competentes, tanto federales como locales, para la instalación del comité de evaluación de daños.

La evaluación de los daños por cada sector afectado, deberá contar con soporte fotográfico que incluya la georeferenciación satelital de cada una de las acciones de reconstrucción a realizar.

Desde la instalación del comité de evaluación de daños correspondiente, las Dependencias y Entidades Federales, así como las Entidades Federativas, podrán solicitar Apoyos Parciales Inmediatos con cargo al FONDEN a cuenta del costo total de reconstrucción de la infraestructura federal y estatal financiada y contra el cincuenta por ciento de los recursos públicos federales a que se refiere el Artículo 22 de las Reglas. Dichos apoyos no podrán cubrir acciones y obras cuyo período de ejecución sea mayor a treinta días naturales. En casos excepcionales y debidamente justificados, la Unidad de Política podrá ampliar el plazo de ejecución de los Apoyos Parciales Inmediatos.

Los recursos autorizados mediante los Apoyos Parciales Inmediatos, deberán incluirse en los diagnósticos preliminares presentados en la sesión de entrega de resultados del comité de evaluación de daños y en los diagnósticos definitivos que se presenten ante la SEGOB, a fin de que sean regularizados por parte de las Dependencias y Entidades Federales responsables de cada sector. Dichos recursos serán contabilizados como parte del porcentaje que corresponde aportar al Gobierno Federal en los términos del Artículo 22 de las Reglas.

Sección V

De la Autorización de Recursos con Cargo al Programa FONDEN o al Fideicomiso FONDEN

Artículo 15. A partir de la sesión de entrega de resultados del comité de evaluación de daños, la Dependencia o Entidad Federal en un plazo máximo de siete días hábiles, deberá presentar la solicitud de recursos y el diagnóstico definitivo de obras y acciones a la SEGOB, incorporando lo procedente respecto a los diagnósticos preliminares presentados en dicha sesión.

Las Dependencias y Entidades Federales, previo a la presentación de la solicitud de recursos, verificarán que cada una de las obras y acciones presentadas cumplan con lo dispuesto en el Artículo 12, Fracción I, último párrafo de las Reglas.

Es responsabilidad de la Dependencia o Entidad Federal el cumplimiento estricto de los términos, plazos y formalidades establecidas en las Reglas, vigilando que en todo momento cada una de las obras y acciones cuenten con la debida calendarización y sustento técnico.

Capítulo V

Del Procedimiento para Atender Infraestructura Federal

Artículo 26. Inmediatamente después de ocurrido un Fenómeno Natural Perturbador, la Dependencia o Entidad Federal que requiera acceder a los recursos del FONDEN, por considerar que la infraestructura del ámbito federal a su cargo fue afectada, deberá en coordinación con las autoridades competentes de la Entidad Federativa, verificar que el o los municipios o las Delegaciones Políticas en los cuales se encuentre dicha infraestructura, hayan sido incluidos en la solicitud de corroboración del Fenómeno Natural Perturbador; en caso contrario, deberá solicitar a la Instancia Técnica Facultada que incluya los municipios o Delegaciones Políticas.

En los casos en que una Dependencia o Entidad Federal detecte que la Entidad Federativa no ha solicitado la corroboración del Fenómeno Natural Perturbador que ocurrió en su territorio, podrá solicitarla directamente a la Instancia Técnica Facultada.

Desde la ocurrencia del Desastre Natural, las Dependencias y Entidades Federales podrán solicitar a la Unidad de Política Apoyos Parciales Inmediatos para acciones que deberán realizarse con base en evaluaciones preliminares, parciales, aproximadas y acumulativas, de acuerdo a las circunstancias y la dinámica de evolución de los efectos causados a la infraestructura a su cargo.

Capítulo VI

Del Control y la Verificación del Ejercicio del Gasto

Artículo 27. La aplicación, erogación, regularización, justificación, comprobación, rendición de cuentas y transparencia de los recursos autorizados del FONDEN, se sujetará a las Reglas, los Lineamientos de Operación y demás disposiciones aplicables.

Las Dependencias y Entidades Federales facilitarán que la Función Pública directamente o, en su caso, a través de los órganos internos de control en las Dependencias y Entidades Federales puedan realizar, en cualquier momento, de acuerdo a su ámbito de competencia, la inspección, fiscalización y vigilancia de los recursos del FONDEN y del Fideicomiso FONDEN, incluyendo la revisión programática-presupuestaria y la inspección física de las obras y acciones apoyadas con recursos federales, así como recibir, turnar y dar seguimiento a las quejas y denuncias que se presenten sobre su manejo.

Lineamientos de Operación Específicos del Fondo de Desastres Naturales

Capítulo I

Disposiciones Generales

1. Los Lineamientos de Operación específicos del Fondo de Desastres Naturales tienen por objeto definir los parámetros y procesos a que hacen referencia las Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales.

Capítulo II

Sobre el Desastre Natural

5. Con el propósito de fortalecer y asegurar en todo momento el principio de transparencia y optimizar la eficacia en la atención de los daños ocasionados por un Desastre Natural, de forma paralela a los procesos de corroboración y evaluación de daños, y cuando así lo considere, la Coordinación podrá solicitar recursos a la Unidad de Política para obtener información por medio de tecnologías de geoposicionamiento global o herramientas de percepción remota, cuando las características del Fenómeno Natural Perturbador así lo requieran.

   La Unidad de Política, realizará la revisión de la solicitud considerando la necesidad de la misma y los argumentos técnicos que la sustentan, así como las disponibilidades financieras existentes, informando de ello a la Dirección General del FONDEN.

   Una vez autorizados los recursos, la obtención de la información necesaria será coordinada por el CENAPRED, poniendo éste a disposición de las Dependencias y Entidades Federales los resultados de la misma a través de la página Web que para tal efecto designe la Dirección General del FONDEN, a fin de facilitar las tareas de evaluación de los daños de todos los sectores que resulten afectados.

Capítulo III

De los Comités de Evaluación de Daños

Sección I

Conformación e Instalación

7. Sin excepción alguna, y de acuerdo a lo establecido por el Artículo 11 de las Reglas, la evaluación de los daños por cada sector afectado, deberá contar con soporte fotográfico que incluya la georreferenciación satelital de cada una de las acciones de reconstrucción a realizar, mismas que deberán ser capturadas por los funcionarios designados para tal fin en cada subcomité en la página Web establecida para tales efectos por la SEGOB, antes de la sesión de entrega de resultados.

   En caso de ser necesario, la Unidad de Política solicitará a un tercero independiente especializado previamente contratado, el análisis y opinión de los resultados de la evaluación de daños, con la finalidad de coadyuvar a la distribución de las obras y acciones a ejecutar por cada una de las partes involucradas.

9. Los diagnósticos de obras y acciones presentados por los subcomités al comité de evaluación de daños, deberán contener lo siguiente:

   I. La denominación del Fenómeno Natural Perturbador que originó el daño, incluyendo la fecha de su ocurrencia;

   II. El listado de los municipios o Delegaciones Políticas afectadas;

   III. La relación y cuantificación de los daños en el sector que corresponda, así como las acciones propuestas para su reparación con el tiempo estimado para su realización, debiendo quedar plenamente identificado el monto que corresponda a mejoras y adiciones de los recursos solicitados.

   Se deberá señalar si se trata de acciones con cargo a los Apoyos Parciales Inmediatos, o directamente al monto total solicitado, con la finalidad de tener claramente identificada la naturaleza de las mismas y la fuente de financiamiento;

   IV. La situación jurídica del aseguramiento de los bienes sujetos de apoyo. En caso de no estar asegurados, se deberá señalar expresamente que no se hayan recibido con anterioridad recursos del FONDEN para reparar los bienes dañados objeto de la solicitud.

   Se deberá incluir el compromiso formal y manifiesto de la instancia responsable del sector afectado, de incorporar en sus respectivos programas y presupuestos anuales subsecuentes, los recursos necesarios para asegurar la infraestructura pública que, en su caso, sea objeto de apoyo con cargo al FONDEN, con apego a la normativa aplicable en materia de aseguramiento, y

   V. La declaración bajo protesta de decir verdad que los efectos del Desastre Natural rebasan la capacidad financiera de la Entidad Federativa y que carece de recursos para solventar por sí misma la reparación y reconstrucción de los daños. Asimismo, que no hay duplicidad de acciones con otros programas o con acciones de reconstrucción previstas en otras solicitudes de recursos pendientes o en trámite, y que los recursos del FONDEN no son solicitados para la reparación de daños ajenos al desastre en cuestión.

10. Dentro del costo integral de las obras a ejecutar previsto en los diagnósticos de obras y acciones podrán estar considerados los recursos para los estudios, evaluaciones de costo beneficio y de impacto ambiental, proyectos ejecutivos, arquitectónicos y de ingeniería civil.

Así mismo, se podrán considerar recursos indispensables hasta por un dos por ciento del costo total de las obras de reconstrucción para los servicios de supervisión externa relacionados con obras públicas.

Adicionalmente, se podrán considerar Gastos de Operación y Supervisión, los cuales en ningún caso podrán ser superiores al dos por ciento del costo total de las acciones y obras de reparación de daños. Sólo en casos extraordinarios y debidamente justificados, la Unidad de Política podrá autorizar una erogación superior que en ningún caso podrá ser mayor al tres por ciento del costo total de las obras y acciones.

Los recursos a que se refiere el párrafo anterior, deberán utilizarse en los términos a que se refiere el anexo III de los Lineamientos de Operación, bajo la responsabilidad de las instancias ejecutoras y normativas correspondientes.

Los servicios de supervisión externa y los Gastos de Operación y Supervisión se integrarán para cada uno de los sectores sujetos de apoyo, y se deberán incorporar en el diagnóstico de obras y acciones identificándolos por separado.

Están excluidas de los Gastos de Operación y Supervisión las cuotas de administración, comisiones por consumo de combustibles, lubricantes y comisiones o servicios por la expedición de boletos de avión y el mantenimiento preventivo del parque vehicular que las Dependencias o Entidades Federales asignen durante la ejecución del programa de obras y acciones autorizado.

En caso de que los programas de obras y acciones se modifiquen durante su ejecución, se deberán realizar los ajustes necesarios en los montos que se hayan autorizado para los Gastos de Operación y Supervisión, de tal forma que siempre representen como máximo el dos por ciento de lo ejercido en los citados programas.

Capítulo IV

Del Acceso Inmediato a los Recursos del FONDEN

Sección I

Apoyos Parciales Inmediatos

12. En la sesión de instalación del comité de evaluación de daños la Entidad Federativa podrá solicitar se le autoricen recursos con carácter de Apoyos Parciales Inmediatos, bajo las premisas que se establecen en el Artículo 11 de las Reglas, lo cual se deberá manifestar en el acta respectiva.

El listado de obras y acciones a realizarse deberá presentarse dentro de los siete días hábiles siguientes a la instalación del comité de evaluación de daños.

La Entidad Federativa, a través del secretario técnico del comité de evaluación de daños, solicitará que se autorice el listado de acciones, trabajos y obras que las instancias normativas responsables de cada sector consideren como prioritarias y necesarias realizar a través de Apoyos Parciales Inmediatos, las cuales no podrán tener un plazo de ejecución mayor a treinta días naturales. Dichos listados deberán estar debidamente suscritos por las Dependencias y Entidades Federales, así como las dependencias y entidades estatales que correspondan por cada sector.

La estimación y cuantificación de los daños a solventar se podrá realizar a través de las Dependencias o Entidades Federales normativas competentes, las cuales coordinarán dichas estimaciones y validarán los resultados de las mismas, considerando la participación de las Entidades Federativas.

En caso de que el plazo de ejecución sea mayor a los treinta días naturales, la Entidad Federativa deberá incluir en la solicitud una justificación de la ampliación del plazo, la cual será analizada por la Secretaría, quien determinará la procedencia de la solicitud y de los recursos que en su caso se aprueben para dicha solicitud.

El incumplimiento de los plazos señalados en el presente numeral generará la cancelación de dichos Apoyos Parciales Inmediatos, y el Fiduciario deberá realizar los ajustes correspondientes.

Sección II

Procedimiento para Atender Infraestructura Federal

16. Inmediatamente después de la ocurrencia de un Fenómeno Natural Perturbador, la Dependencia o Entidad Federal que requiera acceder a los recursos del FONDEN, por considerar que la infraestructura del ámbito federal a su cargo fue afectada, deberá coordinarse con las autoridades competentes de la Entidad Federativa, con el objeto de verificar que el o los municipios o las Delegaciones Políticas en los cuales se encuentre dicha infraestructura, hayan sido incluidos en la solicitud de corroboración del Fenómeno Natural Perturbador; en caso contrario, deberá solicitar a la Instancia Técnica Facultada que incluya los municipios o Delegaciones Políticas.

En los casos en que una Dependencia o Entidad Federal detecte que la Entidad Federativa no ha solicitado la corroboración del Fenómeno Natural Perturbador que ocurrió en su territorio, podrá solicitarla directamente a la Instancia Técnica Facultada.

Las solicitudes de corroboración de Desastre Natural y de recursos señaladas en los párrafos anteriores, deberán estar suscritas por el titular de la Dependencia o Entidad Federal.

17. Una vez emitida la corroboración del Fenómeno Natural Perturbador, la Dependencia o Entidad Federal deberá presentar de inmediato a la Dirección General del FONDEN la solicitud de Declaratoria de Desastre Natural para los municipios o Delegaciones Políticas corroborados y, en paralelo, iniciar los trabajos de cuantificación y evaluación de los daños, a fin de que a más tardar a los diez días hábiles siguientes de recibida la mencionada corroboración, entreguen los diagnósticos de obras y acciones preliminares a la Dirección General del FONDEN, debiendo observar en lo conducente lo dispuesto en el Artículo 9° de las Reglas.

De acuerdo con lo señalado en los párrafos anteriores, a los siete días hábiles siguientes de haber presentado a la Dirección General del FONDEN sus diagnósticos de obras y acciones preliminares de la infraestructura federal, la Dependencia o Entidad Federal deberá presentar su solicitud de recursos y diagnóstico de obras y acciones definitivo, con el objeto de que se incluya en la solicitud global de recursos que analiza e integra la Dirección General del FONDEN.

La evaluación y cuantificación de los daños previstas en el presente numeral será realizada exclusivamente por la Dependencia o Entidad Federal responsable del sector de que se trate, por lo que no resulta aplicable lo relativo a los comités de evaluación de daños.

Desde la solicitud de Declaratoria de Desastre Natural, las Dependencias y Entidades Federales afectadas deberán manifestar su compromiso de incorporar en sus respectivos programas y presupuestos subsecuentes, los recursos necesarios para asegurar los bienes que, en su caso, se identifiquen como afectados en la evaluación y cuantificación de daños correspondientes.

En caso de daños a la infraestructura federal que se encuentre asegurada, la Dependencia o Entidad Federal sólo podrá solicitar acceso a los recursos del FONDEN por la diferencia entre la suma asegurada y el monto total de los daños una vez que la primera haya sido agotada.

Sección III

Procedimiento para la Obtención de Anticipos

19. A partir de la sesión de entrega de resultados del comité de evaluación de daños, las Dependencias y Entidades Federales, mediante solicitud formal del servidor público facultado para tal efecto, podrá solicitar anticipos respecto de un determinado sector afectado por un Desastre Natural, ante la Unidad de Política, para realizar acciones de competencia cien por ciento federal y local, únicamente tratándose de aquellas obras y acciones que conforme a lo establecido en el Artículo 22 de las Reglas, se haya acordado su ejecución por las Dependencias y Entidades Federales.

Una vez notificadas las Dependencias y Entidades Federales de la autorización del anticipo, a más tardar a los tres días hábiles siguientes, los sectores involucrados deberán enviar a la Dirección General del FONDEN, los programas de obras y acciones para la aplicación de los anticipos.

En el caso en que habiéndose autorizado anticipos, se determine la improcedencia de la solicitud de esos recursos, la Dirección General del FONDEN lo hará del conocimiento de las Dependencias y Entidades Federales, y solicitará que se convoque al Comité Técnico a efecto de que se acuerde la cancelación inmediata del anticipo autorizado.

Capítulo V

De la Autorización de Recursos con Cargo al FONDEN

Sección I

Diagnósticos Definitivos

20. A partir del día en que se celebre la sesión de entrega de resultados del comité de evaluación de daños, la Dependencia o Entidad Federal en un plazo máximo de siete días hábiles, deberá presentar la solicitud de recursos y el diagnóstico definitivo de obras y acciones a la Dirección General del FONDEN, acompañado del respectivo anexo del Convenio, que en términos del Artículo 22 de las Reglas suscribieron con la Entidad Federativa.

Las solicitudes de recursos que incorporen los diagnósticos de obras y acciones elaborados por las Dependencias y Entidades Federales y presentados a la Dirección General del FONDEN deberán contener, además de lo señalado en el numeral 9 de los Lineamientos de Operación, lo siguiente:

I. Los programas de obras y acciones con sus respectivos calendarios de ejecución, desagregados de forma mensual;

III. Identificar de manera clara las medidas de mitigación para daños futuros, así como la validación de los argumentos técnicos que las justifican.

Sección II

Presentación ante la Unidad de Política

21. Una vez recibida la solicitud de recursos, el diagnóstico de obras y acciones y demás información que señalan los Lineamientos de Operación, la Dirección General del FONDEN, con base en la información recibida deberá, dentro del plazo establecido a que se refiere el Artículo 16 de las Reglas, realizar lo siguiente:

III. Verificar, con base en la información proporcionada tanto por las Dependencias y Entidades Federales normativas, como ejecutoras, que los recursos del FONDEN no sean solicitados para la reparación de daños ajenos al Desastre Natural en cuestión;

IV. Verificar, con base en la información proporcionada tanto por las Dependencias y Entidades Federales normativas, como ejecutoras, que la infraestructura objeto de apoyo con cargo al FONDEN no haya sido materia de apoyos anteriores; en caso contrario, deberá solicitar e incorporar al expediente las constancias que acrediten el aseguramiento de la misma o que, se encuentre en el supuesto del numeral 25, último párrafo de la fracción I, de los Lineamientos de Operación, y

23. La Unidad de Política determinará si dichos recursos se erogarán con cargo al Programa FONDEN o al patrimonio del Fideicomiso FONDEN, en los términos de lo establecido por los Artículos 18 a 20 de las Reglas.

En la misma sesión en que se autoricen los recursos por el Comité Técnico, se deberán levantar las constancias de acuerdos respectivas, a fin de que el Fiduciario lleve a cabo las acciones necesarias para tal efecto y notifique a las Entidades Federativas y a las Dependencias y Entidades Federales en un plazo no mayor a dos días hábiles, a partir de la fecha de la sesión.

Sección III

Apoyos para la Reconstrucción y Restitución

24. La reconstrucción o restitución de los daños tendrá como propósito dejar a los bienes afectados en condiciones operativas similares a las que prevalecían antes del Desastre Natural.

La reconstrucción de la infraestructura federal estará a cargo de la Dependencia o Entidad Federal correspondiente y los recursos para atender la misma serán otorgados en su totalidad por el FONDEN, tomando en cuenta en todo momento lo señalado por el numeral 25 de los Lineamientos de Operación.

25. Para la entrega de los recursos asignados para la ejecución de obras y acciones para la reconstrucción de infraestructura con cargo al FONDEN de bienes no asegurados, se sujetará a lo siguiente:

II. En el caso de la infraestructura federal,

a) Se podrá otorgar a las Dependencias y Entidades Federales hasta el cien por ciento del monto total de las obras y acciones, en la primera ocasión que se soliciten dichos apoyos.

b) En la segunda ocasión que se soliciten apoyos para bienes que hayan recibido recursos del FONDEN con anterioridad, se otorgará el cincuenta por ciento del monto total de las obras y acciones, y

No procederá el otorgamiento de apoyos en ocasiones posteriores a lo previsto en el inciso “b” anterior que se soliciten para bienes no asegurados.

El monto máximo acumulado anualmente, que cada Dependencia o Entidad Federal que no tenga sus bienes asegurados pueda recibir, no excederá del equivalente a una tercera parte del monto promedio real anual de los apoyos autorizados por el FONDEN en los últimos cinco años para el sector que representa.

Capítulo VI

De la Ejecución de las Obras y Acciones

Sección II

Infraestructura Federal

31. Cuando se autoricen recursos con cargo al Programa FONDEN para obras y acciones de competencia federal, las Dependencias y Entidades Federales informarán trimestralmente, de acuerdo a lo previsto en las disposiciones aplicables, sobre los avances físicos y financieros por obra o acción, relacionados con su ejecución y ejercicio, respectivamente.

    Además de lo anterior, la ejecución de las obras y acciones a su cargo, serán reportados por éstas en la Cuenta Pública, debiendo informar el avance físico y financiero a la Unidad de Política y a la Dirección General del FONDEN dentro de los diez días hábiles siguientes al término de cada trimestre.

    Para el caso de las obras y acciones autorizadas con cargo al patrimonio del Fideicomiso FONDEN, las Dependencias y Entidades Federales ejecutoras deberán enviar a la Dirección General del FONDEN, con copia a la Unidad de Política, y al Fiduciario, a más tardar a los siete días hábiles posteriores a la recepción de la notificación de la autorización de los recursos de este último, su correspondiente programa de obras y acciones debidamente calendarizado, en el que se detalle el período en que se ejercerán los recursos, debiendo éste iniciar a más tardar a los tres meses posteriores a la fecha de notificación de la autorización.

    Transcurrido dicho plazo, no se podrá iniciar el ejercicio de los recursos y el Fiduciario lo informará a la Unidad de Política para que lo haga del conocimiento del Comité Técnico, quien decidirá lo conducente.

    El Fiduciario transferirá las cantidades correspondientes por cuenta y orden de la Dependencia o Entidad Federal ejecutora de que se trate, de conformidad con las Reglas, Lineamientos de Operación, conforme se describe en el anexo XVII de los Lineamientos de Operación.

32. Las Dependencias y Entidades Federales deberán presentar sus avances físicos y financieros en cada sesión ordinaria del Comité Técnico y, en su caso, los demás asuntos que tengan relación con dichos programas, para lo cual la secretaría técnica del citado comité deberá girarles las correspondientes invitaciones a las instancias ejecutoras para participar en dichas sesiones. Asimismo, las Dependencias y Entidades Federales, estarán obligadas a informar a sus respectivos órganos internos de control, a la Unidad de Política, a la Dirección General del FONDEN y al Fiduciario, al cierre de cada trimestre, sobre los avances físicos y financieros por obra y acción, relacionados con su ejecución y el ejercicio de los montos autorizados.

    En dichos informes se indicará:

    I. El ejercicio fiscal;

    II. La Dependencia o Entidad Federal ejecutora;

    III. El monto autorizado y pagado;

    IV. La descripción y ubicación de cada obra y acción;

    V. El avance físico y financiero de cada trimestre que se reporta y su acumulación progresiva, y

    VI. Las variaciones e incumplimientos financieros y físicos detectados con relación a lo programado, y las explicaciones correspondientes.

Sección III

Modificaciones a los Programas

33. En caso de que en la ejecución de las obras y acciones los recursos autorizados sean insuficientes, en primera instancia se procurará cubrirlos con transferencias de Ahorros de otras acciones y obras del mismo sector, sin modificar metas ni rebasar el techo total autorizado.

    No serán procedentes aquellas solicitudes de recursos adicionales para la realización de acciones y obras para la atención de un Desastre Natural en particular, que no hayan sido presentadas en la evaluación de daños y que no estén previstas en las solicitudes de recursos definitivas presentadas por las Dependencias y Entidades Federales.

    En el caso de que las Dependencias y Entidades Federales ejecutoras requieran modificar su programa de obras y acciones autorizado, deberán hacerlo del conocimiento de sus respectivos órganos internos de control, así como enviar su propuesta a la Dirección General del FONDEN, con los argumentos y razonamientos que justifiquen y motiven la necesidad de la modificación, acompañando la información que sustente dicha petición; en el entendido de que las modificaciones propuestas deberán estar claramente vinculadas con la atención de los daños ocasionados en los municipios o Delegaciones Políticas declarados en Desastre Natural y no rebasar el monto de recursos autorizados.

    Una vez revisado que la propuesta cumple con los requisitos previstos en las Reglas, la Dirección General del FONDEN lo enviará al Comité Técnico, para que se determine lo conducente. En caso de que se requiera, el Comité Técnico previo análisis podrá autorizar:

    I. Las modificaciones que requieran los programas de obras y acciones integradas en las solicitudes de recursos que se presenten a la SEGOB originalmente y que fueron autorizados, siempre y cuando las modificaciones a las mismas se efectúen en los municipios y Delegaciones Políticas en los que se haya propuesto apoyar, de conformidad con la Declaratoria de Desastre Natural, que estén claramente vinculadas con la reparación de los daños ocasionados por el Desastre Natural en cuestión, y que no rebasen el monto de recursos autorizados, y

    II. La utilización de los Ahorros en términos de los Lineamientos de Operación.

34. Las Dependencias y Entidades Federales ejecutoras deberán informar a la Dirección General del FONDEN, y con copia a la Unidad de Política y al Fiduciario sobre la renuncia a los recursos autorizados parcial o totalmente, indicando las causas que originaron su cancelación, a efecto de que con toda oportunidad la citada Unidad informe al Comité Técnico sobre tales cancelaciones, se liberen los recursos comprometidos respectivos y se cuente con la disponibilidad para nuevas autorizaciones.

Capítulo VIII

De la Adquisición de Equipo Especializado

46. Las Dependencias y Entidades Federales podrán solicitar a la SEGOB, a través de la Dirección General del FONDEN, durante el mes de noviembre de cada año, recursos con cargo al FONDEN para la adquisición de equipo especializado para la atención de emergencias y Desastres Naturales Una vez recibida la solicitud, la Dirección General del FONDEN deberá analizar y dictaminar la viabilidad de las solicitudes de equipo especializado que se sometan a su consideración, para que en un plazo no mayor a cinco días hábiles, posteriores a la recepción de la solicitud, las remita a la Unidad de Política, y ésta a su vez determine si existen disponibilidades de recursos en el Programa FONDEN o en el Fideicomiso FONDEN que permitan financiar la adquisición de dicho equipo y, en su caso, se realicen los trámites que correspondan en términos de lo establecido por los Artículos 18 a 20 de las Reglas. En la autorización de los recursos correspondientes, se podrá incluir el monto para cubrir el aseguramiento y

mantenimiento de dicho equipo durante su primer año de operación. Para ello, la Dependencia o Entidad Federal deberá incluir en su solicitud la cotización de los recursos necesarios para tal efecto.

47. Las solicitudes de las Dependencias y Entidades Federales deberán contener los siguientes requisitos:

I. La manifestación de que el equipo especializado solicitado tiene relación con las funciones sustantivas de la Dependencia o Entidad Federal que requiere el equipo, así como la justificación de que dicho equipo contribuirá a la atención de las emergencias y Desastres Naturales;

II. El compromiso del Oficial Mayor o su equivalente de la Dependencia o Entidad Federal o del servidor público competente, para programar dentro de su presupuesto normal recursos en los ejercicios fiscales posteriores al primer año de operación de dicho equipo, para el aseguramiento y mantenimiento del mismo, y

III. El compromiso por escrito para observar lo dispuesto en las Reglas y los Lineamientos de Operación. (Tercera Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 31 de enero de 2011

48. La Dirección General del FONDEN Llevará el Registro del Equipo Especializado que se Autorice de Conformidad con la Presente Sección. Para Tal Efecto, la Dependencia o Entidad Federal a Quien se le Haya Autorizado el Equipo Especializado Deberá:

I. Proporcionar en los formatos autorizados por la Dirección General del FONDEN, una relación del equipo especializado, adjuntando copia certificada de las facturas o de la documentación comprobatoria que acredite la propiedad de los bienes. Dicha información deberá entregarse dentro de los diez días hábiles siguientes a la recepción del equipo adquirido;

II. Informar de la ubicación física en la que se encuentren alojados los bienes que integran el equipo especializado, salvo que se trate de vehículos cuya localización pueda realizarse bajo tecnologías de georreferenciación satelital, y

III. Informar a la Dirección General del FONDEN en un plazo no mayor a diez días hábiles, de cualquier cambio que sean objeto los bienes que integran el equipo especializado, tales como modificaciones en la utilidad funcional, características, en su ubicación, entre otras.

De igual forma, la Dependencia o Entidad Federal que haya sido apoyada con recursos del FONDEN para la adquisición de equipo especializado, deberá observar el cumplimiento estricto de los requisitos establecidos para tal efecto en el anexo XVIII de los Lineamientos de Operación.

Capítulo IX

Del Control y Verificación del Ejercicio del Gasto

Sección I

Control del Ejercicio del Gasto

49. La aplicación, erogación, regularización, justificación, comprobación, rendición de cuentas y transparencia de los recursos autorizados del FONDEN, se sujetará a las Reglas y demás disposiciones aplicables.

Las Dependencias y Entidades Federales facilitarán que la Función Pública directamente o, en su caso, a través de los órganos internos de control de las mismas puedan realizar, en cualquier momento, de acuerdo a su ámbito de competencia, la inspección, fiscalización y vigilancia de los recursos del FONDEN, incluyendo la revisión programática-presupuestaria y la inspección física de las obras y

acciones apoyadas con recursos federales, así como recibir, turnar y dar seguimiento a las quejas y denuncias que se presenten sobre su manejo.

Así mismo, para las obras y acciones ejecutadas por instancias locales, éstas facilitarán que la Función Pública, a través de la Unidad de Operación Regional y Contraloría Social, actúe por sí o en coordinación con los órganos estatales de control. Para tal efecto, los ejecutores del gasto conservarán en forma ordenada y sistemática toda la documentación comprobatoria de los actos y contratos que realicen conforme a las disposiciones de la legislación aplicable, así como a su seguimiento físico y financiero, de las obras de reconstrucción que le correspondió atender.

En el caso de que se detecten manejos inadecuados de recursos e incumplimiento al marco normativo aplicable, los sujetos obligados a su cumplimiento se harán acreedores a las sanciones procedentes en los términos de la legislación aplicable.

Lo anterior, sin menoscabo de las acciones que en el ámbito de su competencia le correspondan a la Auditoria Superior de la Federación.

Sección II

Integración de Libros Blancos

50. Con el propósito de conformar la evidencia documental de los trámites y operaciones que se realizan con motivo de la autorización, transferencia y aplicación de recursos federales del FONDEN, las dependencias y entidades ejecutoras que sean responsables del ejercicio directo de estos recursos, integrarán un libro blanco para cada uno de los programas de obras y acciones que se encontrarán dentro de las solicitudes de recursos dictaminadas favorablemente por la Dirección General del FONDEN, autorizadas por la Unidad de Política y, en su caso, por el Comité Técnico debiendo además notificar al Fiduciario el cierre de las acciones para la atención del Desastre Natural y conciliar con el Fiduciario los recursos solicitados y transferidos. Dicha conciliación formará parte de los documentales del libro blanco.

Se deberá integrar un libro blanco por sector, para cada uno de los programas de obras y acciones; en caso de que un mismo programa cuente con dos o más ejecutores del gasto, éstos deberán llevar a cabo las acciones necesarias para integrar un solo libro blanco, mismo que deberá contar con el visto bueno de la Dependencia o Entidad Federal normativa correspondiente.

En ambos casos, su integración no deberá exceder de treinta días hábiles, contados a partir de que se hayan concluido las obras y acciones de los programas, conforme a lo dispuesto en el numeral siguiente.

Los libros blancos se integrarán en forma impresa, en disco compacto o en cualquier otro medio magnético, el cual deberá permitir que los documentos sean plenamente identificables, insustituibles, inviolables y validados por el responsable de su elaboración o expedición, debiendo quedar sustentados mediante el acopio, en lo procedente, de la documentación señalada en el anexo XIX de los Lineamientos de Operación.

Las dependencias y entidades ejecutoras enviarán tanto el libro blanco como sus relaciones correspondientes, para el visto bueno del órgano interno de control, respecto de la forma en que deben integrarse.

El original del libro blanco integrado se mantendrá bajo el resguardo de la unidad administrativa responsable de la dependencia o entidad ejecutora de los programas con cargo al FONDEN.

Quedará bajo la responsabilidad de los titulares de las áreas o unidades administrativas responsables del gasto, la custodia y resguardo de la documentación original comprobatoria y los informes relativos a las actividades realizadas.

La custodia y resguardo de la documentación original comprobatoria y justificativa del ingreso y del gasto público, se deberá ajustar a las disposiciones relativas a la guarda, custodia y plazo de conservación del archivo contable gubernamental, vigentes a la fecha, así como lo que prevea la Ley Federal de Transparencia y Acceso a la Información Pública Gubernamental y su reglamento.

A más tardar cinco días hábiles después de concluido el libro blanco, el área responsable de su integración deberá enviar en archivo electrónico al Fiduciario, al órgano interno de control en la Dependencia o Entidad Federal a efecto de que este último verifique, en su ámbito de competencia y en términos de la normativa aplicable, que las acciones realizadas estén debidamente clasificadas, resguardadas y que tanto el libro blanco como la información sustento son verificables y auditables y que se cumple con los puntos señalados en el presente numeral.

El órgano de control correspondiente, de resultar procedente, enviará un oficio a la dependencia o entidad ejecutora en el que indique que el libro blanco cumple con los puntos señalados en el presente numeral, debiendo turnar copia del mismo al Fiduciario, a la Función Pública a través de la Unidad de Operación Regional y Contraloría Social, y a la Unidad de Política.

De ser el caso, de conformidad con la Ley Federal de Responsabilidades Administrativas de los Servidores Públicos, así como las leyes estatales en la materia, incurrirán en responsabilidad administrativa los servidores públicos que no cumplan con la obligación de custodiar y proteger la documentación e información que por razón de su empleo, cargo o comisión, conserven bajo su cuidado, impidiendo o evitando su uso, sustracción, destrucción, ocultamiento o su inutilización.

Transitorios

Primero. Los presentes Lineamientos de Operación entrarán en vigor al día siguiente al de su publicación en el Diario.

Anexos de los Lineamientos de Operación Específicos del Fondo de Desastres Naturales

(Diario Oficial de la Federación 31 de enero de 2011)

Anexo I

Fenómenos Naturales Perturbadores

Sección I

Geológicos

Cuando una Entidad Federativa se encuentre en Desastre Natural deberá solicitar, dentro de los tres días hábiles siguientes a la ocurrencia de éste, a las Instancias Técnicas Facultadas señaladas en el Artículo 5, Fracción XX, de las Reglas, que corroboren la ocurrencia del Fenómeno Natural Perturbador, debiendo marcar copia de la misma a la Dirección General del FONDEN.

La descripción detallada del Fenómeno Natural Perturbador, así como la fecha de su ocurrencia. En caso de no poderse definir esta última con precisión, indicar el intervalo de tiempo, el cual no podrá ser mayor de tres días.

Será necesario anexar a la solicitud toda aquella información que constituya evidencia fehaciente de lo que se pide corroborar. Específicamente se requerirá información documental (estudios, valoraciones o dictámenes por instancias técnicas locales, recortes periodísticos con fecha, declaraciones presenciales de personas bien identificadas, etcétera) así como material gráfico y fotográfico del fenómeno y también de sus consecuencias.

Criterios y Procedimiento Para la Corroboración

En el caso de solicitarse la corroboración de desastre para fenómenos reincidentes, es decir, que hayan ya ocurrido con anticipación de semanas, meses o años en el mismo sitio y que en esta ocasión nuevamente hayan provocado daños similares, se rechazará la solicitud en virtud de que la Entidad Federativa tuvo la oportunidad de conocer con antelación sobre esta situación de riesgo y preventivamente tomar las medidas de prevención y mitigación correspondientes.

Anexo III

Gastos de Operación y Supervisión

Los gastos de Operación a que refiere el numeral 10, párrafo tercero de los Lineamientos de Operación, sólo podrán aplicarse a las partidas del Clasificador por Objeto del Gasto para la Administración Pública Federal vigente, que a continuación se enlistan.

12101	Honorarios
21101	Materiales y útiles de oficina
21401	Materiales y útiles para el procesamiento en equipos y bienes informáticos
22103	Productos alimenticios para el personal que realiza labores en campo o de supervisión
26102	Combustibles, lubricantes y aditivos para vehículos terrestres, aéreos, marítimos, lacustres y fluviales destinados a servicios públicos y la operación de programas públicos
29101	Herramientas menores
29201	Refacciones y accesorios menores de edificios
29401	Refacciones y accesorios para equipo de cómputo
35301	Mantenimiento y conservación de bienes informáticos
35701	Mantenimiento y conservación de maquinaria y equipo
37103	Pasajes aéreos nacionales asociados a desastres naturales
37201	Pasajes terrestres nacionales para labores en campo y de supervisión
37203	Pasajes terrestres nacionales asociados a desastres naturales
37501	Viáticos nacionales para labores en campo y de supervisión
37503	Viáticos nacionales asociados a desastres naturales
39202	Otros impuestos y derechos (sólo en caso de casetas de peaje con motivo de una comisión para supervisión de obra)

La descripción detallada de lo que comprende cada una de las partidas aquí anunciadas se encuentran en el “Clasificador por Objeto del Gasto para la Administración Pública Federal”. La versión actualizada del mismo podrá consultarse en la siguiente dirección electrónica: www.shcp.gob.mx en las ligas: Marco Jurídico, Disposiciones Administrativas, Acuerdos.

Anexo V

Sobre la Infraestructura de Comunicaciones y Transportes

1. La infraestructura de comunicaciones y transportes a la que será aplicable el apoyo del FONDEN comprende: Las carreteras y puentes federales libres de peaje a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2. Los caminos y puentes rurales del estado de Chiapas, los cuales permanecen a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en tanto no sean transferidos a dicha entidad federativa.

3. Las carreteras y puentes alimentadores a cargo de los estados y municipios.

4. Todos los caminos rurales del país.

5. Todos los elementos que integran la infraestructura portuaria como son: edificios, obras de atraque (muelles, canales, dársenas, etc.), obras de protección en los puertos (espigones, rompeolas, corazas o protección marginal, escolleras, deflectores, etc.) patios, vialidades del recinto portuario y vías férreas, y señalamiento marítimo.

No se apoyarán con recursos del FONDEN los siguientes tipos de infraestructura:

1. Las autopistas de cuota concesionadas, trátese de concesiones federales, estatales, a instituciones financieras o cualquier otro tipo de esquema con el que se hayan financiado o se estén operando. En estos casos será responsabilidad del concesionario prever los apoyos y esquema de aseguramiento necesarios.

2. Los caminos municipales y vialidades urbanas que han sido construidos con recursos del municipio o que han sido transferidos por la federación o el estado al mismo, para su operación y mantenimiento.

   En estas vialidades será responsabilidad de los municipios prever los apoyos y esquema de aseguramiento necesarios.

   Para efectos de evaluación de daños en la infraestructura carretera derivados de la ocurrencia de un fenómeno natural serán considerados entre otros los siguientes tipos de daños:

Diagnóstico de Daños

- Bacheo intenso (hoyos en la superficie de rodamiento)
- Desprendimiento total o parcial de la carpeta asfáltica
- Agrietamiento de la carpeta asfáltica y expulsión de material fino en capas subyacentes
- Ondulaciones, roderas y deflexiones ocasionadas por asentamientos en la superficie de rodamiento
- Fallas rotacionales identificadas como asentamientos en la superficie de rodamiento con agrietamiento en los límites
- Erosión de taludes de la carretera por escurrimiento de agua sobre la superficie de rodamiento y en los propios taludes, con afectación parcial o total en carriles de circulación
- Invasión de azolves compuestos de materiales térreos o pétreos acarreados y depositados por el agua en la superficie de rodamiento y obras de drenaje
- Derrumbes
- Erosión de la estructura de la carretera por el paso de corrientes de agua o permanencia de tirantes de agua por tiempo prolongado en zonas inundables
- Colapso o caída de puentes por cualquier causa incluida la socavación de sus apoyos (estribos y pilas) y el agrietamiento de losas o trabes de la superestructura
- Daños en señalamiento vertical y horizontal, así como en dispositivos de seguridad como defensas metálicas o parapetos

- Daños en alcantarillas, destrucción de aleros de mampostería o destrucción de taludes revestidos en obras de drenaje (lavaderos)
- Fractura de losas de concreto en pavimento hidráulico
- Asentamientos, baches y ondulaciones de la superficie de rodamiento en secciones en corte en zonas húmedas
- Erosión de accesos (aproches) en puentes y socavación de conos de derrame.
- Erosión de taludes en carreteras por acción de oleaje.
- Destrucción de dispositivos de protección y encausamiento (muros, diques, espigones de enrocamiento o gaviones) en cauces naturales
- Cortes carreteros en el cruce de cauces naturales

Este Catálogo de Daños es Enunciativo más no Limitativo

Las acciones de reconstrucción se especifican de acuerdo al tipo y magnitud del daño, por lo que no se incluyen en este listado.

En todos los casos, la restauración de estos daños comprenderá las acciones que se requieran para restituir la carretera, puente o camino a las condiciones que tenía antes de la ocurrencia del fenómeno natural, exceptuando aquellos casos en los que resulten indispensables mejoras mínimas para asegurar la viabilidad de la acción de restauración.

Anexo XVII

Procedimiento para el Ejercicio de Recursos del Fideicomiso FONDEN, por Obras y Acciones Tendientes a la Reconstrucción de la Infraestructura que se Derivan de la Atención de los Daños Ocasionados por la Ocurrencia de Desastres Naturales en la República Mexicana

Lineamientos Básicos

El ejercicio de los recursos autorizados lo realizarán directamente las instancias ejecutoras, ante el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C., en su carácter de Fiduciario del Fideicomiso FONDEN, en adelante “BANOBRAS”.

El Fiduciario, transferirá recursos directamente a los contratistas de obra pública, prestadores de bienes y servicios y proveedores por cuenta y orden de las instancias ejecutoras, con excepción de las retenciones por concepto de impuestos y cuotas, Gastos de Operación y Supervisión y los recursos que la Unidad de Política instruya al Fiduciario se entreguen para solventar los gastos derivados exclusivamente de los trabajos de evaluación de daños que realicen desde la ocurrencia del Desastre Natural hasta la fecha de la sesión de entrega de los resultados y para la ejecución de las acciones, trabajos y obras prioritarias y urgentes contemplados en las Reglas, en cuyos casos los recursos les serán entregados a las Dependencias y Entidades Federales.

Las instancias ejecutoras deberán iniciar el ejercicio de los recursos en un plazo que no exceda de 3 meses contados a partir del día siguiente en que reciban la notificación del Fiduciario de los recursos autorizados.

La sustentación de obra pública, prestación de servicios relacionados con la misma, adquisiciones y otros conceptos, así como su cabal administración, las llevarán a cabo las instancias ejecutoras. Las contrataciones que formalicen deberán observar lo establecido en la Ley de Obras Públicas y Servicios Relacionados con las Mismas, así como en la Ley de Adquisiciones, Arrendamientos y Servicios del Sector Público, sus respectivos Reglamentos y demás normativa aplicable.

Las instancias ejecutoras serán las responsables de que los contratos que celebren se apeguen al programa de obras y acciones autorizado y no rebasen los importes asignados, en su caso, el excedente no podrá ser cubierto con recursos del FONDEN.

En los contratos que celebren las instancias ejecutoras, se deberá señalar que el monto del contrato será cubierto con recursos del Fideicomiso FONDEN, debiéndose hacer referencia al Desastre Natural y número de acuerdo del Comité Técnico que sustenta la autorización de los recursos.

Las instancias ejecutoras son las únicas responsables del cumplimiento de las obligaciones contractuales y fiscales que genere el ejercicio de los recursos, así como del cumplimiento del programa de obras y acciones.

La documentación original relacionada con el ejercicio de los recursos, deberá ser emitida a nombre de las instancias ejecutoras, quienes serán responsables de conservarla bajo su custodia y realizar los registros contables que correspondan, asimismo deberán contener en todas sus hojas un sello con la leyenda "Operado con recursos del FONDEN".

Es responsabilidad de las instancias ejecutoras el oportuno entero de las retenciones de impuestos y derechos en apego a la normatividad que aplique, y que se deriven de los contratos que celebren con contratistas y prestadores de bienes y servicios, para lo cual deberán solicitar al Fiduciario los recursos correspondientes en tiempo y forma.

En caso de que se generen multas o recargos por enteros extemporáneos, en ningún caso podrán ser cubiertos con cargo al FONDEN.

Es responsabilidad de las instancias ejecutoras el realizar los trámites de reclamación de las fianzas que se deriven de los contratos que celebran para la atención de los daños motivo de la autorización de recursos y proceder a la devolución de los recursos al Fideicomiso FONDEN.

II. Notificación de autorización de recursos a las Dependencias y Entidades Federales con cargo al Fideicomiso FONDEN

El Fiduciario, contando con el acuerdo favorable del Comité Técnico, emitirá comunicado a la instancia ejecutora que corresponda, informándole lo siguiente:

1. Nombre y fecha del Desastre Natural, así como la Entidad Federativa que corresponda y que motiva la autorización de los recursos financieros con cargo al Fideicomiso FONDEN;

2. Sesión de Comité Técnico, número de acuerdo y fecha en la que se autorizaron los recursos financieros; (Tercera Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 31 de enero de 2011

3. Términos y condiciones del acuerdo adoptado por el Comité Técnico ;

4. Importe autorizado de recursos del Fideicomiso FONDEN;

5. La responsabilidad de las instancias ejecutoras en el cumplimiento de las obligaciones contractuales y fiscales que genere el ejercicio de los recursos;

6. La responsabilidad de las instancias ejecutoras del cumplimiento del programa de obras y acciones, y

7. El plazo máximo para que se inicie el ejercicio de los recursos.

III. Ejercicio de Recursos

1. Inicio del procedimiento

Previo al ejercicio de los recursos autorizados, la(s) Dependencia(s) o Entidad(es) Federal(es) deberán entregar mediante comunicado al Fiduciario la siguiente información o documentación:

- Designación de las instancias ejecutoras responsables del ejercicio de los recursos, junto con copia del Anexo al Convenio que corresponda.

La designación deberá constar por escrito dirigido al Fiduciario sobre la designación de la(s) instancia(s) ejecutora(s), y en caso de ser más de una, indicando el monto que cada uno de ellos ejercerá.

- Designación de funcionarios autorizados para ejercer recursos
  Las instancias ejecutoras informarán al Fiduciario, los nombres, cargos, firmas y rúbricas del o los funcionario(s) facultados para instruir el ejercicio de recursos, acompañando a dicha notificación copia de la identificación oficial de dicho(s) funcionario(s).

2. Documentación que deberán presentar las instancias ejecutoras al Fiduciario para el ejercicio de recursos Original de oficio solicitud de transferencia de recursos, suscrito por funcionario facultado, en el que se cite: el número del acuerdo del Comité Técnico, nombre del Desastre Natural para el que se autorizaron dichos recursos y la Entidad Federativa respectiva, indicando una cuenta de correo electrónico a la cual se le notificará cualquier situación que se detecte en la documentación entregada.

2.1. Al mencionado oficio se integrarán como anexos copia simple legible de la siguiente documentación:

a. Contrato celebrado por las instancias ejecutoras con los contratistas o prestadores de bienes y servicios (sin anexos);

b. Carta expedida por institución bancaria al contratista o prestador de bienes y servicios o comunicado de éstos a la instancia ejecutora con información de Banco, número de cuenta, CLABE Interbancaria a 18 dígitos, sucursal y plaza a la cual se transferirán los recursos;

c. Factura emitida a nombre de la instancia ejecutora, con requisitos fiscales y firmas autógrafas en original, preferentemente en tinta azul, de los funcionarios autorizados.

   Asimismo, deberá precisarse el número de contrato, el concepto (tipo de obra, prestación de servicio, adquisición u otro concepto de que se trate), el número y monto de la estimación que ampara, detalle de las retenciones e importe neto a pagar;

d. Carátula de la estimación, sin incluir los números generadores y anexos;

e. En su caso, acuse de recibo del almacén tratándose de bienes muebles y materiales, y

f. Recibo original emitido por la instancia ejecutora en papel membretado, que ampare el importe de las retenciones de cuotas, derechos e impuestos realizadas a los contratistas y prestadores de servicios, indicando la cuenta de cheques del ejecutor, CLABE Interbancaria a 18 dígitos, sucursal y plaza en la que deberá realizarse el depósito por dicho concepto.

Anexo al recibo deberán presentar un cuadro en el que se detallen las retenciones efectuadas por concepto, contratista o prestador de servicios y número de factura.

Toda la documentación anexa al oficio deberá entregarse con rúbrica original preferentemente en tinta azul, de la persona o personas facultadas para el ejercicio de los recursos.

La documentación descrita en el inciso a) deberá anexarse únicamente en el oficio de solicitud de la primera transferencia de recursos.

2.2. Tratándose del ejercicio de recursos para Gastos de Operación y Supervisión, las instancias ejecutoras a paso y medida de que lo vayan requiriendo, lo solicitarán al Fiduciario conforme a lo siguiente: Lunes 31 de enero de 2011 DIARIO OFICIAL (Tercera Sección)

a) Presentar oficio firmado por el o las personas facultadas, indicando que se trata de Gastos de Operación y Supervisión, el acuerdo del Comité Técnico que lo sustenta, el nombre del evento y de la Entidad Federativa a la que corresponda el importe que solicitan.

En dicho comunicado se deberá asentar lo siguiente:

"Declaramos bajo protesta de decir verdad, que los Gastos de Operación y Supervisión que estamos solicitando, están estrictamente apegados a lo establecido en la normatividad aplicable a esta Dependencia o Entidad Federal y a las Reglas, y que cumplen con los criterios de racionalidad y austeridad establecidos en materia federal para este tipo de erogaciones."

b) Relación en la que se muestre el importe y concepto genérico de la aplicación de los Gastos de Operación y Supervisión solicitados (sin anexos).

c) Recibo en papel membretado del ejecutor, por el monto solicitado e indicando el número de cuenta, CLABE Interbancaria a 18 dígitos, sucursal y plaza en la que deberá realizarse el depósito.

El ejercicio de los Gastos de Operación y Supervisión lo realizarán las instancias ejecutoras de conformidad a lo establecido en los numerales 29 y 31 de los Lineamientos de Operación Específicos del Fondo de Desastres Naturales.

Tratándose del ejercicio de recursos para las Dependencias y Entidades Federales normativas responsables de cada sector afectado para solventar los gastos derivados exclusivamente de los trabajos de evaluación de daños que realicen desde la ocurrencia del Desastre Natural hasta la fecha de la sesión de entrega de los resultados y para la ejecución de las acciones, trabajos y obras prioritarias y urgentes, las Dependencias y Entidades Federales, lo solicitarán al Fiduciario conforme a lo siguiente:

Original de oficio solicitud de transferencia de recursos, suscrito por funcionario facultado, en el que se cite el oficio de autorización de la Unidad de Política para la entrega de los recursos, la información del Banco, número de cuenta, CLABE Interbancaria a 18 dígitos, sucursal y plaza a la cual se transferirán los recursos; una cuenta de correo electrónico a la cual se le notificará cualquier situación que se detecte en la documentación entregada.

Recibo original emitido por las Dependencias y Entidades Federales en papel membretado, que ampare el importe de los recursos entregados.

3. Entrega a BANOBRAS de la documentación sujeta a pago.

Las instancias ejecutoras deberán entregar la documentación antes descrita en la Avenida Javier Barros Sierra No. 515, Colonia Lomas de Santa Fe, Delegación Álvaro Obregón, Distrito Federal, Código Postal 01219, de lunes a viernes en el horario de 9:00 a 15:30 horas.

En el interior de la República, el trámite de envío de la documentación a oficinas centrales podrá realizarse a través de la delegación estatal de BANOBRAS respectiva.

Es responsabilidad de las instancias ejecutoras el envío correcto y completo de la documentación, la cual en caso de estar incompleta o que presente errores, será devuelta para su corrección.

4. Disposición de recursos

Se realizará mediante transferencia electrónica a las cuentas bancarias (cheques) de las personas físicas o morales conforme a los contratos vigentes e indicaciones de las instancias ejecutoras. No se transferirán recursos a persona distinta a las consignadas en los contratos, salvo indicación por escrito y debidamente

justificada por las instancias ejecutoras, quedando bajo su responsabilidad la instrucción de transferencia en ese sentido.

Tratándose de recursos para las Dependencias y Entidades Federales normativas responsables de cada sector afectado para solventar los gastos derivados exclusivamente de los trabajos de evaluación de daños que realicen desde la ocurrencia del Desastre Natural hasta la fecha de la sesión de entrega de los resultados y para la ejecución de las acciones, trabajos y obras prioritarias y urgentes, se realizará mediante transferencia electrónica a la cuenta bancaria (cheques) de las Dependencias y Entidades Federales que indiquen en su oficio solicitud de transferencia.

IV. Cierre Financiero

Las instancias ejecutoras deberán notificar con toda oportunidad al Fiduciario el cierre del ejercicio financiero de los recursos y coordinarse con el mismo a efecto de obtener la confirmación de pagos efectuados por su cuenta en ejercicio de los recursos autorizados, a efecto de que den cumplimiento al plazo establecido en las Reglas, para la entrega del libro blanco.

El cierre financiero se realizará bajo la estricta responsabilidad de las instancias ejecutoras.

Anexo XVIII

Equipo Especializado

La Dependencia o Entidad Federal que haya sido apoyada con recursos del FONDEN para la adquisición de equipo especializado, deberá observar lo siguiente:

I. Destinará el equipo especializado para el objeto que fue autorizado en términos de lo dispuesto en las Reglas, pudiendo de manera extraordinaria y bajo su responsabilidad, utilizarlo en actividades propias de su competencia, con el propósito de evitar su subutilización o deterioro;

II. Establecerá los mecanismos y controles necesarios para la adecuada guarda y custodia del equipo especializado, así como de su documentación, observando las disposiciones jurídicas que resulten aplicables. El equipo especializado consistente en vehículos de cualquier tipo, materia de autorización bajo la presente sección, deberá estar localizable en cualquier momento, para lo cual deberá incluir la utilización de tecnologías de georreferenciación satelital, a la que tendrá acceso la Dirección General del FONDEN mediante un sistema que podrá consultar desde sus propias instalaciones;

III. Alojará el equipo especializado en bodegas, almacenes o en lugares que eviten su deterioro, derivado del medio ambiente o de otros factores;

IV. Tendrá en su inventario una sección de fácil identificación de los bienes que integran el equipo especializado;

V. Operará y utilizará adecuada y diligentemente el equipo especializado, así como también proporcionará el mantenimiento preventivo y correctivo que requiera, conforme a las especificaciones técnicas y de operación establecidas en los manuales de operación y mantenimiento del proveedor o fabricante;

VI. Se abstendrá de transmitir a terceros el dominio de los bienes que conforman el equipo especializado, salvo en el caso de que se requiera transmitir a la aseguradora en caso de pérdida total, debiendo informar de ello a la Dirección General del FONDEN, dentro de los cinco días hábiles contados a partir de la enajenación, para efecto de que ésta actualice el estatus de los bienes que integran el registro;

VII. Se obligará a contratar, mantener y cubrir con cargo a su presupuesto, un seguro de cobertura amplia que proteja el equipo especializado materia de autorización contra cualquier siniestro;

VIII. Adherirle a cada uno de los bienes una leyenda en lugar visible con el siguiente texto. “Este equipo se adquirió con recursos del FONDEN para la atención de emergencias y Desastres Naturales”.

IX. Responderá de los daños y perjuicios que se deriven de la utilización negligente o maliciosa de cualquiera de los bienes que integran el equipo especializado;

X. Deberá presentar, en caso de pérdida total de alguno de los bienes que integran el equipo especializado autorizado, la reclamación correspondiente ante la aseguradora y solicitar, en su caso, la reposición del bien con las características similares a las que tenía el bien siniestrado, el cual tendrá el mismo destino que tenía aquél, lo anterior deberá hacerlo del conocimiento de la Dirección General del FONDEN, en un periodo no mayor a quince días hábiles contados a partir de la fecha del siniestro, sin perjuicio de que se informe a las demás autoridades que resulten competentes de conformidad con las disposiciones aplicables;

XI. Cuando alguno de los bienes que integran el equipo especializado presente algún desperfecto o daño en su funcionamiento, se obligará a ordenar la reparación del mismo en los talleres o empresas autorizadas, de conformidad con lo dispuesto en los manuales, la garantía o demás documentación proporcionada por el proveedor o fabricante, debiendo observar que dichos trabajos de reparación no invaliden de forma alguna la póliza de seguro contratada;

XII. Informará por lo menos una vez al año a partir de la fecha en que reciba los bienes que integran el equipo especializado, el estado físico y técnico en que se encuentran los mismos;

XIII. Cuando por el uso, aprovechamiento o estado de conservación de los bienes que integran el equipo especializado, se advierta que éstos ya no son adecuados o resulta inconveniente su utilización para los fines autorizados, elaborará un dictamen de no utilidad, de conformidad con la normativa aplicable, debiendo informar lo conducente a la Dirección General del FONDEN, para efecto de actualizar el estatus de los bienes en el registro, y

XIV. Brindará las facilidades a la Dirección General del FONDEN o a la Función Pública para que puedan realizar las visitas que estimen convenientes, a fin de verificar que el equipo especializado se encuentre disponible y en condiciones óptimas para el cumplimiento de su objetivo. Dichas inspecciones podrán involucrar uno o más de los bienes que integran el equipo especializado.

XV. Exclusivamente en los casos de vehículos de transporte aéreo (aviones y helicópteros), y por los altos costos que representa, las dependencias podrán solicitar recursos económicos con cargo al FONDEN, para la adquisición de los paquetes de servicio para el mantenimiento de reparación mayor. Reparación Mayor: contempla la inspección, reparación y sustitución de componentes principales como motores, transmisiones, tanques de combustible, etc. Lunes 31 de enero de 2011 DIARIO OFICIAL (Tercera Sección)

Anexo XIX

Libros Blancos

Los libros blancos a que hacen referencia los Lineamientos de Operación en su Capítulo IX, Sección II, se integrarán en forma impresa, en disco compacto o en cualquier otro medio magnético, el cual deberá permitir que los documentos sean plenamente identificables, insustituibles, inviolables y validados por el responsable de su elaboración o expedición, debiendo quedar sustentados mediante el acopio, en lo procedente, de la documentación señalada a continuación:

I. Síntesis ejecutiva del proceso, integrada con la siguiente información:

a) Breve descripción cronológica de los principales trámites y operaciones efectuados por las instancias participantes que motivaron la transferencia de los recursos;

b) Resultados obtenidos por el programa o proyecto;

c) Monto de los recursos autorizados y ejercidos;

d) Número de beneficiarios apoyados;

e) Fechas de:

1. Solicitud de la Declaratoria de Desastre Natural y su publicación en el Diario;

2. Entrega de resultados del comité de evaluación de daños;

3. Emisión del acuerdo del comité, e

4. Inicio y conclusión de las obras y acciones.

f) Nombre de las dependencias o entidades ejecutoras;

g) Conclusiones de las dependencias o entidades ejecutoras, y

h) Propuestas de mejoramiento y, en su caso, las adecuaciones autorizadas al Programa.

II. Autorización de recursos:

a) Copia del Convenio celebrado entre el Gobierno Federal y la Entidad Federativa, así como copia del anexo que corresponda, a que hace referencia el Artículo 22 de las Reglas;

b) Solicitud de recursos con cargo al FONDEN por parte de la Dependencia o Entidad y, en su caso, por el Titular del Poder Ejecutivo de la Entidad Federativa;

c) Documentos de la autorización de los recursos con cargo al FONDEN;

d) Oficio de afectación presupuestaria de la transferencia de recursos por parte de la Secretaría, tratándose de recursos cien por ciento federales provenientes del Ramo 23 “Previsiones. Salariales y Económicas” del Presupuesto de Egresos de la Federación, o el documento equivalente del Fiduciario, donde se da a conocer la disposición de los recursos;

e) Radicación de recursos a favor de la Dependencia o Entidad ejecutora, y

f) Relación de las cuentas por liquidar certificadas tratándose de recursos del Programa FONDEN.

III. Entrega-recepción y aplicación de recursos:

a) Relación de pagos realizados por el Fiduciario, por cuenta y orden de las Dependencias o Entidades ejecutoras, tratándose de recursos del Fideicomiso FONDEN, así como la relación de pólizas cheques firmadas, en caso de recursos del Programa FONDEN;

b) Cuadro-resumen del total de fondos entregados y recibidos, y

c) Relación de la documentación soporte de la aplicación de los recursos por parte de la Dependencia o Entidad ejecutora (contratos, fianzas, facturas y demás documentación soporte de los pagos efectuados por la restitución de los daños).

IV. Informes y dictámenes:

a) Informe final de la Dependencia o Entidad ejecutora, que incluya los informes presupuestarios, contables y de resultados de la aplicación de los recursos, debidamente firmados por los responsables facultados;

b) Acuerdos y resoluciones del Comité Técnico del Fideicomiso FONDEN, en el caso de que se haya modificado el programa en el cual la SEGOB dictaminó la solicitud de recursos;

c) Acuerdos y resoluciones, en su caso, de quienes fungieron como responsables de la administración y aplicación de los recursos;

d) Precisar el cumplimiento de los objetivos y metas del programa o proyecto, los resultados obtenidos y los beneficios alcanzados por la población a través de ellos, e

e) Informes y seguimiento de las intervenciones de control y auditorías practicadas y la atención de observaciones determinadas por el órgano interno de control de la dependencia o entidad ejecutora de que se trate. (Tercera Sección) DIARIO OFICIAL Lunes 31 de enero de 2011

SOLICITUD DE APOYOS PARCIALES INMEDIATOS

LISTADO DE ACCIONES Y OBRAS PRIORITARIAS Y URGENTES DEL SECTOR INFRESTRUCTURA CARRETERA PARA LA MITIGACION DE LOS DAÑOS OCASIONADOS POR LA CURRENCIA_____, DE FECHA_____EN EL ESTADO DE_____

No.	MUNICIPIO	LOCALIDAD	POBLACIÓN AFECTADA	DIAGNOSTICO DE DAÑOS UBICACIÓN Y ÁREA AFECTADA	ACCIONES A RESTAURAR	RESPONSABLE DE LA EJECUCIÓN DE LAS ACCIONES	PERIODO DE EJECUCIÓN (DÍAS)	MONTO SOLICITADO
						TOTAL DE RECURSOS		

CORROBORACIÓN POR LA OCURRENCIA DE UN DESASTRE NATURAL.

DIRECTOR GENERAL DE _____

PRESENTE

De conformidad con lo dispuesto por el Numeral 7 del Acuerdo por el que se emiten las Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales publicado en el Diario Oficial de la Federación el 3 de diciembre de 2010, me permito solicitarle en su carácter de instancia técnica facultada, corrobore la ocurrencia del fenómeno natural que acaeció en esta entidad federativa, conforme a lo siguiente:

a) Descripción y fecha de ocurrencia del fenómeno natural perturbador.

b) Nombre oficial de los municipios afectados a causa del fenómeno natural perturbador.

c) Servidor público designado para cualquier duda o requerimiento específico:

   a. Nombre

   b. Cargo

   c. Dirección

   d. Teléfono

   e. Correo electrónico

Sin más por el momento, en espera de que pueda ser contestada la presente solicitud a la brevedad posible, quedo de Usted.

Atentamente.

El Titular del Ejecutivo de la Entidad Federativa

C.c.p. C. _____ Secretario de Gobernación. Presente

C. _____ Coordinadora General de Protección Civil. Presente.

C._____ Director General del FONDEN. Presente

Diagnósticos de Obras y Acciones de Reconstrucción (Definitivo)

De conformidad con lo dispuesto por el Artículo 15 del Acuerdo por el que se emiten las Reglas Generales del Fondo de Desastres Naturales (Reglas) y el numeral 20 de los Lineamientos de Operación Específicos del Fondo de Desastres Naturales (Lineamientos), la _____(4)_____ como responsable Federal realizó su diagnóstico y propuesta de obras y acciones definitivas del sector ___(6)__ para la mitigación de los daños ocasionados por la ocurrencia de _____(1)_____, del _____(2)_____ en el estado de _____(3)_____, mismos que contienen la siguiente información:

I. La denominación del fenómeno natural perturbador que originó el daño, incluyendo la fecha de su ocurrencia;

_____(1) y (2)_____

II. El listado de los municipios o delegaciones políticas y localidades afectadas;

_____(8)_____

III. La relación y cuantificación de los daños, así como las acciones propuestas para su realización, debiendo quedar plenamente identificado el monto que corresponda a mejoras y adiciones de los recursos solicitados, con el tiempo estimado para su realización. Asimismo deberá señalarse en su caso, las acciones con cargo a los apoyos parciales inmediatos.

	APIN	RECOSNTRUCCIÓN	MEJORAS	TOTAL	CANTIDAD EN LETRA
El Costo de los Daños a la Infraestructura es:					
Los Gastos de Operación y Supervisión son:					
Los Gastos de Supervisión Externa son:					
				$	( )

Se establecen los términos generales para que ante la ocurrencia del presente desastre natural, se pueda realizar la ejecución de obras y acciones de reconstrucción de infraestructura federal a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y el Centro SCT _____(3)_____

(18)

El tiempo de ejecución de las obras será de _(14)___ días a partir de la autorización de los recursos, misma que beneficiará a ___(9)____ personas que fueron afectadas por el desastre natural.

De acuerdo al segundo párrafo, del Artículo 15 de las Reglas y al numeral 20 de los Lineamientos, se manifiesta que se ha verificado que cada una de las presentes obras y acciones de reconstrucción se encuentran debidamente capturadas en el sistema creado para tal efecto, por cuento hace al soporte fotográfico y datos de georreferenciación satelital.

IV. La situación jurídica del aseguramiento de los bienes sujetos de apoyo.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes informa que la infraestructura federal dañada _(10)___ se encuentra asegurada, manifestando que las _(7)_ acciones __(11) ó (15)__ han recibido apoyos, con recursos con cargo al FONDEN con anterioridad, para reparar _(13)__ carretera(s) del sector dañada objeto de la presente solicitud, __(14)__resulta aplicable lo dispuesto por el numeral 25, fracción II, inciso b), de los Lineamientos, según ___(12)___, del Comité Técnico del Fideicomiso 2003 FONDEN.

Asimismo manifiestan el compromiso de incorporar en los respectivos programas y presupuestos anuales subsecuentes, los recursos necesarios para asegura la infraestructura que, en su caso sea objeto de apoyo con cargo al FONDEN, en apego a la normatividad aplicable en materia de aseguramiento.

V. Manifestación de que los efectos del desastre natural rebasan su capacidad operativa financiera.

____(4)_____ y el _____(5)_____, manifiestan que los efectos del desastre natural rebasan su capacidad financiera y que carece de recursos financieros para solventar por si mismos la reparación y reconstrucción de los daños.

Asimismo, que no hay duplicidad de acciones con otros programas o con acciones de reconstrucción previstas en otras solicitudes de recursos pendientes o en trámite, y que los recursos no son solicitados para la reparación de daños ajenos al desastre en cuestión.

_____(16)_____, a __ de _____ de _____

___(17) _____
Nombre y cargo del representante de la dependencia federal.

(18)

Forma: Diagnóstico de Obras y Acciones de Reconstrucción y Solicitud de Recursos (Generado por el Sistema FONDEN en Línea)	
	Datos que deberán aparecer
1	Nombre del fenómeno natural perturbador
2	Periodo de ocurrencia del fenómeno natural perturbador y número de municipios afectados
3	Nombre del estado afectado
4	Secretaría de Comunicaciones y Transportes
5	Responsable de las acciones de restauración, en este caso es el Centro SCT.
6	Carretero Federal
7	Número de Acciones de Reparación
8	Listado de Municipios afectados
9	Descripción de población afectada
10	No ó Si
11	No
12	Número de Acuerdo de exención
13	Número de carreteras afectadas
14	Tiempo estimado de ejecución
15	Se aclara el número de veces que el tramo(s) carretero(s) ha(n) sido apoyado(s) con recursos del FONDEN o si no ha habido apoyo
16	Lugar y fecha
17	Nombre, cargo y firma del representante de la dependencia
18	Firma electrónica generada por el sistema FONDEN en línea

RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PRELIMINAR DE OBRAS Y ACCIONES DEL SECTOR CARRETERO FEDERAL PARA LA MITIGACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR _____ (1) _____ DE ____ (2) ____ EN EL ESTADO DE _____ (3) _____.

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Fonden | FONDEN

Clave de evento única (XXXXXXXXXXXXXXXXX) (27)
Fecha: XX de XXXXX de 201X

Diagnóstico Definitivo

(26)

ANEXO I

ACCIONES APOYOS INMEDIATOS (APIN)

CLAVE (4)	ESTADO (5)	MUNICIPIO (6)	POBLACIÓN AFECTADA (7)	DIAGNÓSTICO DE DAÑOS, UBICACIÓN Y ÁREA AFECTADA (8)	ACCIONES DE RESTAURACIÓN (9)	COSTO TOTAL DE OBRA (PESOS)	EJECUTOR (12)	PERIODO DE EJECUCIÓN (DÍAS) (13)	ESTATUS DE ASEGURAMIENTO (ASEGURADO, NO ASEGURADO O EN PROCESO) (14)	NÚMERO DE APOYOS RECIBIDOS ANTERIORMENTE(0, 1 ó 2) (15)
						(10)				
			(16)	SUBTOTAL		$ (11)				

ACCIONES DE RECONSTRUCCIÓN

CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	POBLACIÓN AFECTADA	DIAGNÓSTICO DE DAÑOS, UBICACIÓN Y ÁREA AFECTADA	ACCIONES DE RESTAURACIÓN	COSTO TOTAL DE OBRA (PESOS)	EJECUTOR	PERIODO DE EJECUCIÓN (DÍAS)	ESTATUS DE ASEGURAMIENTO (ASEGURADO, NO ASEGURADO O EN PROCESO)	NÚMERO DE APOYOS RECIBIDOS ANTERIORMENTE(0, 1 ó 2)
						(17)				
			(16)	SUBTOTAL		$ (18)				

ACCIONES DE MEJORAS

CLAVE	ESTADO	MUNICIPIO	POBLACIÓN AFECTADA	DIAGNÓSTICO DE DAÑOS, UBICACIÓN Y ÁREA AFECTADA	ACCIONES DE RESTAURACIÓN	COSTO TOTAL DE OBRA (PESOS)	EJECUTOR	PERIODO DE EJECUCIÓN (DÍAS)	ESTATUS DE ASEGURAMIENTO (ASEGURADO, NO ASEGURADO O EN PROCESO)	NÚMERO DE APOYOS RECIBIDOS ANTERIORMENTE(0, 1 ó 2)
						(19)				
			(16)	SUBTOTAL		$ (20)				

SUBTOTAL DE RECURSOS OBRAS Y ACCIONES	(21)	$
(+) GASTOS DE OPERACIÓN Y SUPERVISIÓN	(22)	$
(+) GASTOS DE SUPERVISIÓN EXTERNA	(23)	$
(=) TOTAL DE RECURSOS SOLICITADOS	(24)	$

NOMBRE Y CARGO

(25)

REPRESENTANTE DE LA DEPENDENCIA O ENTIDAD FEDERAL

DESCRIPCIÓN DE CADA RUBRO PARA EL LLENADO DEL ANEXO I

1	Nombre del fenómeno natural perturbador, de acuerdo a la Declaratoria de Desastre Natural
2	Fecha de ocurrencia del fenómeno natural perturbador
3	Entidad federativa donde ocurrió el fenómeno natural perturbador
4	Número Consecutivo
5	Estado afectado
6	Municipio afectado autorizado en el oficio de corroboración por la instancia técnica facultada
7	Población afectada por el evento (si el municipio se repite en varios tramos, la población solo se indica en uno de ellos)
8	Diagnóstico de daños (anexo V de las L.O.F.)
9	Acciones de restauración (anexo V de las L.O.F.)
10	Monto en pesos de las obras del apoyo parcial inmediato
11	Subtotal de la obras del apoyo parcial inmediato
12	Responsable de las acciones de restauración, en este caso es el Centro SCT de la entidad federativa.
13	Periodo de ejecución en días, por cada acción de restauración.
14	Status del aseguramiento, en este caso, no asegurado, ya que no está asegurada la red carretera federal.
15	Número de veces que el FONDEN a apoyado el tramo afectado (0, 1, 2 ó 3)
16	Sumatoria del total de la población afectada
17	Monto en pesos de las obras de reconstrucción
18	Subtotal de las obras de reconstrucción
19	Monto en pesos de las obras de Mejoras
20	Subtotal de las obras de Mejoras
21	Sumatoria de los subtotales del APIN, RECONSTRUCCIÓN Y MEJORAS
22	Aplicar el 2% para gastos de operación y supervisión al punto 19
23	Aplicar el 2% para gastos de supervisión externa al punto 19
24	Sumatoria de los puntos 19, 20 y 21 en el campo correspondiente
25	Nombre, cargo y firma del representante de la dependencia
26	Firma electrónica generada por el sistema
27	Clave del evento única generada por el sistema

RESUMEN DEL DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA PRELIMINAR DE OBRAS Y ACCIONES DEL SECTOR CARRETERO FEDERAL PARA LA MITIGACIÓN DE DAÑOS OCASIONADOS POR _____ (1) _____ DE ____ (2) ____ EN EL ESTADO DE _____ (3) _____.

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Clave de evento única (XXXXXXXXXXXXXXXXXX) (17)
Fecha: XX de XXXXX de 201X

Fonden
FONDEN

Diagnóstico Definitivo

(16)

ANEXO II

OBRAS Y ACCIONES GENERALES	No. TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR (4)			COSTO TOTAL APIN (5)		
ACCIONES APOYOS PARCIALES INMEDIATOS (APIN)	Acciones a realizar por FONDEN	Acciones a realizar por la Dependencia Federal	TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR	Costo Total Obra FONDEN (pesos)	Costo Total Obra Dependencia Federal (pesos)	COSTO TOTAL DE LA OBRA (PESOS)
SUBTOTAL	_ (4.1)	_ (4.2)	_ (4.3)	$ _____ (5.1)	$ _____ (5.2)	$ _____ (5.3)
OBRAS Y ACCIONES GENERALES	**No. TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR (6)**			**COSTO TOTAL DE RECONSTRUCCIÓN (7)**		
ACCIONES DE RECONSTRUCCIÓN	Acciones a realizar por FONDEN	Acciones a realizar por la Dependencia Federal	TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR	Costo Total Obra FONDEN (pesos)	Costo Total Obra Dependencia Federal (pesos)	COSTO TOTAL DE LA OBRA (PESOS)
SUBTOTAL	_ (6.1)	_ (6.2)	_ (6.3)	$ _____ (7.1)	$ _____ (7.2)	$ _____ (7.3)
OBRAS Y ACCIONES GENERALES	**No. TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR (8)**			**COSTO TOTAL DE MEJORAS (9)**		
ACCIONES DE MEJORA Y ADICIONES	Acciones a realizar por FONDEN	Acciones a realizar por la Dependencia Federal	TOTAL DE ACCIONES A REALIZAR	Costo Total Obra FONDEN (pesos)	Costo Total Obra Dependencia Federal (pesos)	COSTO TOTAL DE LA OBRA (PESOS)
SUBTOTAL	_ (8.1)	_ (8.2)	_ (8.3)	$ _____ (9.1)	$ _____ (9.2)	$ _____ (9.3)
TOTAL DE OBRAS Y ACCIONES (10)	_ (10.1)	_ (10.2)	_ (10.3)	$ _____ (10.4)	$ _____ (10.5)	$ _____ (10.6)
	SUBTOTAL DE RECURSOS OBRAS Y ACCIONES (11)			$ _____ (11.1)	$ _____ (11.2)	$ _____ (11.3)
	(+)GASTOS DE OPERACIÓN Y SUPERVISIÓN (12)			$ _____ (12.1)	$ _____ (12.2)	$ _____ (12.3)
	(+)GASTOS DE SUPERVISIÓN EXTERNA (13)			$ _____ (13.1)	$ _____ (13.2)	$ _____ (13.3)
	(=)GRAN TOTAL DE RECURSOS SOLICITADOS (14)			$ _____ (14.1)	$ _____ (14.2)	$ _____ (14.3)

NOMBRE Y CARGO

(15)

REPRESENTANTE DE LA DEPENDENCIA O ENTIDAD FEDERAL

DESCRIPCIÓN DE CADA RUBRO PARA EL LLENADO DEL ANEXO II

1	Nombre del fenómeno natural perturbador, de acuerdo a la Declaratoria de Desastre Natural
2	Fecha de ocurrencia del fenómeno natural perturbador
3	Entidad federativa donde ocurrió el fenómeno natural perturbador

Obras y acciones de Apoyo Parcial Inmediato (APIN)

4	Número de acciones del APIN
4.1	Número de acciones del APIN con recursos del FONDEN
4.2	Número de acciones del APIN con recursos de la Dependencia
4.3	Total de las acciones por realizar del APIN (Sumatoria de los puntos 4.1 y 4.2)
5	Costo total del APIN
5.1	Costo total de las obras del APIN, realizadas con recursos del FONDEN
5.2	Costo total de las obras del APIN, realizadas con recursos de la Dependencia
5.3	Costo total de las obras del APIN (Sumatoria de los puntos 5.1 y 5.2)

Obras y acciones de Reconstrucción

6	No. de acciones de Reconstrucción
6.1	No. de acciones de Reconstrucción con recursos del FONDEN
6.2	No. de acciones de Reconstrucción con recursos de la Dependencia
6.3	Total de acciones de Reconstrucción (Sumatoria de los puntos 6.1 y 6.2)
7	Costo total de Reconstrucción
7.1	Costo total de las obras de Reconstrucción realizadas con recursos del FONDEN
7.2	Costo total de las obras de Reconstrucción realizadas con recursos de la Dependencia
7.3	Costo total de las obras de Reconstrucción (Sumatoria de los puntos 7.1 y 7.2)

Obras y acciones de Mejora y Adiciones

8	Número de acciones de Mejora y Adiciones
8.1	Número de acciones de Mejora y Adiciones realizadas con recursos del FONDEN

8.2	Número de acciones de Mejora y Adiciones realizadas con recursos de la Dependencia
8.3	Total de acciones de Mejora y Adicionales (Sumatoria de los puntos 8.1 y 8.2)
9	Costo total de las obras de Mejora y Adicionales
9.1	Costo total de las obras de Mejora y Adicionales realizadas con recursos del FONDEN
9.2	Costo total de las obras de Mejora y Adicionales realizadas con recursos de la Dependencia
9.3	Costo total de las obras de Mejora y Adicionales (Sumatoria de los puntos 9.1 y 9.2)

10 **Total de obras y acciones**

10.1	Sumatoria de los puntos 4.1, 6.1 y 8.1
10.2	Sumatoria de los puntos 4.2, 6.2 y 8.2
10.3	Sumatoria de los puntos 4.3, 6.3 y 8.3
10.4	Sumatoria de los puntos 5.1, 7.1 y 9.1
10.5	Sumatoria de los puntos 5.2, 7.2 y 9.2
10.6	Sumatoria de los puntos 5.3, 7.3 y 9.3

11 **Subtotal de Recursos Obras y Acciones**

11.1	Costo total de las acciones del APIN, RECONSTRUCCIÓN Y OBRAS DE MEJORA, realizadas con recursos del FONDEN. (Ídem 10.4)
11.2	Costo total de las acciones del APIN, RECONSTRUCCIÓN Y OBRAS DE MEJORA, realizadas con recursos de la Dependencia. (Ídem 10.5)
11.3	Sumatoria de los puntos 11.1 y 11.2

12 **Gastos de Operación y Supervisión**

12.1	Aplicar el 2% para gastos de operación y supervisión al punto 11.1
12.2	Aplicar el 2% para gastos de operación y supervisión al punto 11.2
12.3	Sumatoria de los puntos 12.1 y 12.2.

13 **Gastos de Supervisión Externa**

13.1	Aplicar el 2% para gastos de operación y supervisión al punto 11.1
13.2	Aplicar el 2% para gastos de operación y supervisión al punto 11.2
13.3	Sumatoria de los puntos 13.1 y 13.2

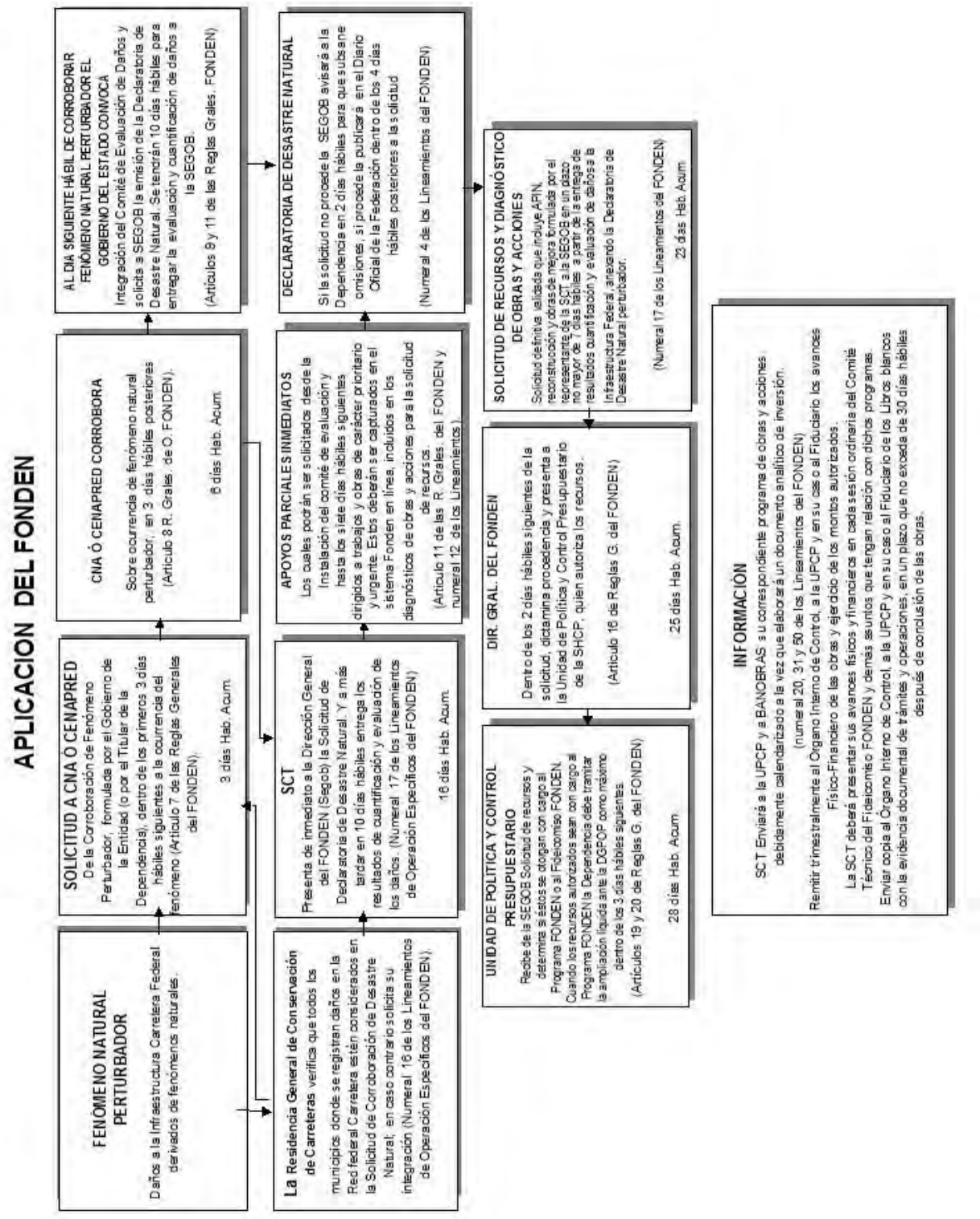
14 **Gran Total de Recursos Solicitados**

14.1	Sumatoria de los puntos 11.1, 12.1 y 13.1
14.2	Sumatoria de los puntos 11.2, 12.2 y 13.2
14.3	Sumatoria de los puntos 11.3, 12.3 y 13.3

15 Nombre, cargo y firma del representante de la dependencia

16 Firma electrónica generada por el sistema

17 Clave única del Evento


APLICACION DEL FONDEN
FENOMENO NATURAL PERTURBADOR
Daños a la Infraestructura Carretera Federal derivados de fenómenos naturales.
SOLICITUD A CNA Ó CENAPRED
De la Corroboración de Fenómeno Perturbador, formulada por el Gobierno de la Entidad (o por el Titular de la Dependencia), dentro de los primeros 3 días hábiles siguientes a la ocurrencia del fenómeno (Artículo 7 de las Reglas Generales del FONDEN).
3 días Hab. Acum.
CNA Ó CENAPRED CORROBORA
Sobre ocurrencia de fenómeno natural perturbador, en 3 días hábiles posteriores (Artículo 8 R. Grales. de O. FONDEN).
8 días Hab. Acum.
AL DIA SIGUIENTE HÁBIL DE CORROBORAR FENÓMENO NATURAL PERTURBADOR EL GOBIERNO DEL ESTADO CONVOCA
Integración del Comité de Evaluación de Daños y solicita a SEGOB la emisión de la Declaratoria de Desastre Natural. Se tendrán 10 días hábiles para entregar la evaluación y cuantificación de daños a la SEGOB.
(Artículos 9 y 11 de las Reglas Grales. FONDEN)
La Residencia General de Conservación de Carreteras verifica que todos los municipios donde se registran daños en la Red federal Carretera estén considerados en la Solicitud de Corroboración de Desastre Natural; en caso contrario solicita su integración (Numeral 16 de los Lineamientos de Operación Específicos del FONDEN).
SCT
Presenta de inmediato a la Dirección General del FONDEN (Segob) la Solicitud de Declaratoria de Desastre Natural. Y a más tardar en 10 días hábiles entrega los resultados de cuantificación y evaluación de los daños. (Numeral 17 de los Lineamientos de Operación Específicos del FONDEN)
18 días Hab. Acum.
APOYOS PARCIALES INMEDIATOS
Los cuales podrán ser solicitados desde la Instalación del comité de evaluación y hasta los siete días hábiles siguientes dirigidos a trabajos y obras de carácter prioritario y urgente. Estos deberán ser capturados en el sistema Fonden en línea, incluidos en los diagnósticos de obras y acciones para la solicitud de recursos.
(Artículo 11 de las R. Grales. del FONDEN y numeral 12 de los Lineamientos.)
DECLARATORIA DE DESASTRE NATURAL
Si la solicitud no procede la SEGOB avisará a la Dependencia en 2 días hábiles para que subsane omisiones; si procede la publicará en el Diario Oficial de la Federación dentro de los 4 días hábiles posteriores a la solicitud
(Numeral 4 de los Lineamientos del FONDEN)
UNIDAD DE POLITICA Y CONTROL PRESUPUESTARIO
Recibe de la SEGOB Solicitud de recursos y determina si estos se otorgan con cargo al Programa FONDEN o al Fideicomiso FONDEN. Cuando los recursos autorizados sean con cargo al Programa FONDEN la Dependencia debe tramitar la ampliación líquida ante la DGPOP como máximo dentro de los 3 días hábiles siguientes.
(Artículos 19 y 20 de Reglas G. del FONDEN)
28 días Hab. Acum.
DIR. GRAL. DEL FONDEN
Dentro de los 2 días hábiles siguientes de la solicitud, dictamina procedencia y presenta a la Unidad de Política y Control Presupuestario de la SHCP, quien autoriza los recursos.
(Artículo 16 de Reglas G. del FONDEN)
25 días Hab. Acum.
SOLICITUD DE RECURSOS Y DIAGNÓSTICO DE OBRAS Y ACCIONES
Solicitud definitiva validada que incluye APIN, reconstrucción y obras de mejora formulada por el representante de la SCT a la SEGOB en un plazo no mayor de 7 días hábiles a partir de la entrega de resultados cuantificación y evaluación de daños a la Infraestructura Federal, anexando la Declaratoria de Desastre Natural perturbador.
(Numeral 17 de los Lineamientos del FONDEN)
23 días Hab. Acum.
INFORMACIÓN
SCT Enviará a la UPCP y a BANOBRAS su correspondiente programa de obras y acciones debidamente calendarizado a la vez que elaborará un documento analítico de inversión.
(numeral 20, 31 y 50 de los Lineamientos del FONDEN)
Remitir trimestralmente al Órgano Interno de Control, a la UPCP y en su caso al Fiduciario los avances Físico-Financiero de las obras y ejercicio de los montos autorizados.
La SCT deberá presentar sus avances físicos y financieros en cada sesión ordinaria del Comité Técnico del Fideicomiso FONDEN y demás asuntos que tengan relación con dichos programas.
Enviar copia al Órgano Interno de Control, a la UPCP y en su caso al Fiduciario de los Libros blancos con la evidencia documental de trámites y operaciones, en un plazo que no exceda de 30 días hábiles después de conclusión de las obras.

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

ANEXOS DE LA NOTA INFORMATIVA

DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
DIRECCIÓN DE SUPERVISIÓN Y CONTROL
REPORTE DE EMERGENCIAS
EMER-01

Anexo I
A- automóviles
C- camiones y camionetas
T- todo tipo de vehículos

ESTADO:

No.	CARRETERA / TRAMO	UBICACIÓN KM	DESCRIPCION DE LA EMERGENCIA	INTERRUP. DE TRÁNSITO		FECHA	ACCIONES REALIZADAS	RUTA ALTERNA	FECHA DE APERTURA		PASO DE VEHICULOS		
				TOTAL	PARCIAL				PROVISIONAL	DEFINITIVA	A	C	T



ES CONVENIENTE AGREGAR UN PLANO PARA QUE SE INDIQUEN LAS RUTAS ALTERNAS QUE SE PUEDAN UTILIZAR, INDICÁNDOSE LONGITUD Y TIEMPOS DE TRASLADO SALVANDO LA EMERGENCIA EMER 02

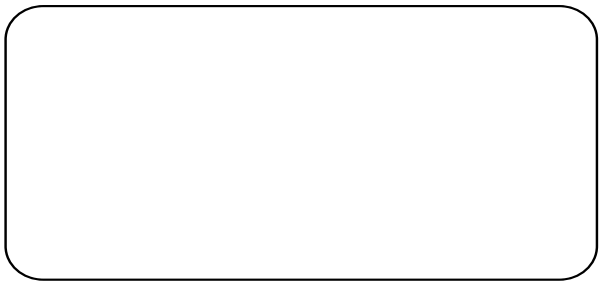
ANEXO III

INFORME FOTOGRÁFICO

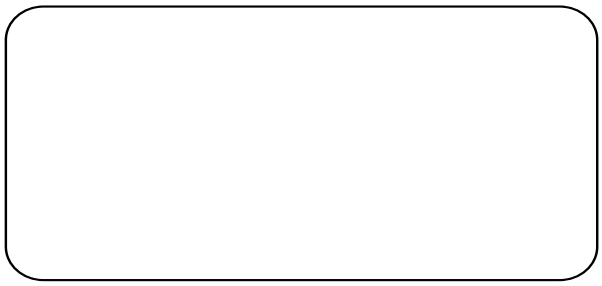
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
SUBSECRETRIA DE INFRAESTRUCTURA
DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS

DETALLE FOTOGRAFICO

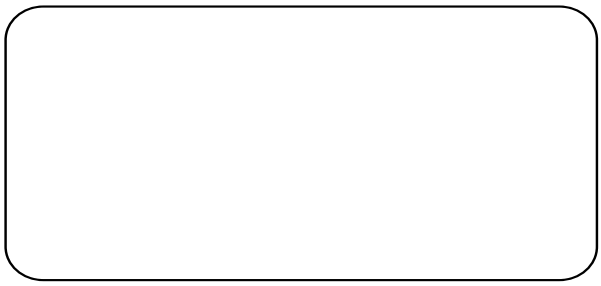
CARRETERA:	JIQUILPAN-COLIMA
TRAMO:	TECALITALAN-PIHUAMO
UBICACIÓN:	KM. 161 + 060
PERIODO:	DEL 01 AL 17 DE JULIO
DESCRIPCIÓN:	SOCAVACIÓN DE LA SUPERFICIE DE RODA-MIENTO.



PROCESO DE REPARACION DE LOS DAÑOS



SITUACIÓN DE LA EMERGENCIA



ESTADO ACTUAL DE LA ZONA AFECTADA

EMER 03
ANEXO III

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

ESTADO (1)
Programa de Atención a Zonas Emergentes
Información Básica Sectorial

CONSERVACION DE CARRETERAS (2) Mes

TARJETA EJECUTIVA

DIAGNOSTICO	ACCIONES - EMERGENTES
* **CARRETERAS AFECTADAS (3)** (4) (5) (6) (7) (8) (9)	* (10) * *

RECONSTRUCCION/PROGRAMA			AVANCE
CARRETERA	**CONSTRUCCION**	**RECONSTRUCCION**	* (18)
(11)	(12)	(13)	
TOTALES (14)	**pza**	**km**	

PROGRAMA DE OBRA

* Real (15)
* Contractual (16)

INVERSION
* (17)

NOTAS: (19)

FORMATO: TARJETA EJECUTIVA
GUIA DE LLENADO

CAMPO	DATOS GENERALES
1. Estado	Nombre del Estado donde se presenta una situación de Emergencia
2. Mes	Fecha de actualización de la tarjeta ejecutiva. Nota; Generalmente es el día último de cada mes
DIAGNOSTICO	
3. Carreteras Afectadas	Se indica el número de carretera ó carreteras afectadas
4. Con una Longitud de	Son los kilómetros (km.) de la(s) carretera(s) correspondiente(s)
5. Se Deterioraron	El número en kilómetros (km.) dañados por la emergencia correspondiente
6. Puentes Colapsados	Se indica, el número de puentes derrumbados
7. Puentes Afectados en sus Aproches:	Se indica el número de puentes afectados en sus apoyos
8. Obras de Drenaje Dañadas	Se indica, el número de alcantarillas dañadas
9. Interrupción de Transito por Cortes de Carretera	En su caso, el número de cortes carreteros.
10. Acciones-Emergentes	Breve descripción de las acciones tomadas para atender la emergencia.
RECONSTRUCCIÓN / PROGRAMA	
11. Carretera	El nombre de la(s) carretera(s), así como el tramo correspondiente y el (km.) donde sucedió el evento de emergencia.
12. Construcción	Aquellos trabajos referentes a la construcción de un elemento estructural, en (pza) ejem. un puente, una alcantarilla etc.
13. Reconstrucción	Se anota la reconstrucción de terracerías y pavimentación en (km).
14. Totales	Es la sumatoria en forma vertical de los trabajos de construcción en (pza), así como de los trabajos de reconstrucción en (km.)
CAMPO PROGRAMA DE OBRA	**DATOS GENERALES**
15. Real:	Se indican las fechas reales de inicio y terminación de obra.
16. Contractual:	Se indican las fechas de inicio de obra y terminación de acuerdo al contrato de obra en caso de varios contratos se indicarán las fechas del rango mayor considerando las obras de todos los contratos.
17. Inversión:	Es el monto total autorizado por el FONDEN para atender la (s) emergencia(s).
18. Avance:	El avance físico en (%) y financiero en (%) en el mes correspondiente. Asimismo se debe anotar la fecha probable de terminación de los trabajos de emergencia.
19. Notas:	Son aquellos eventos importantes, que nos permitan saber en que etapa se encuentra una obra de emergencia como; obra en proceso de licitación ó licitada, número de contrato(s) asignado(s), el nombre de la(s) empresa(s) y el importe del contrato. Radicación de los recursos, así como el pago del anticipo e importe.

SCT
SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS
PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERS FEDERALES (EMERGENCIAS)
AVANCES DEL PROGRAMA DE EMERGENCIAS

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
No.	NOMBRE DE LA OBRA	UBICACIÓN KM	META	TOTAL ASIGNACIÓN	AVANCE FÍSICO		EJECUTADO Y COMPROMETIDO	LIQUIDADO	TOTAL EROGADO	AVANCE FINANCIERO %
					UNIDAD	%				
	ESTADO									
	EMERGENCIAS									
	RECONSTRUCCION									
	(12)									

NOTA: (13)

GUÍA DE LLENADO DE AVANCES DEL PROGRAMA DE EMERGENCIAS

CAMPO	DESCRIPCIÓN
1. No.	Número consecutivo de la obra
2. Nombre de la Obra:	Breve descripción de la obra señalando la carretera y el tramo
3. Ubicación km:	Localización exacta el punto o tramo según cadenamiento
4. Meta:	Cantidad contratada en (km) para tramo y en (pieza) para obra de drenaje o puente
5. Total Asignación:	Cantidad asignada en pesos
6. Avance Físico Unidad:	Cantidad ejecutada
7. Avance Físico %:	Columnas 6/4*100
8. Ejecutado y Comprometido:	Monto estimación (es) en tramite
9. Liquidado:	Monto de estimación(es) pagadas
10. Total Erogado:	Suma de columnas 8 + 9
11. Avance Financiero %:	Columnas 10/5*100
12.	Gastos de Operación y Supervisión
13.	Comentarios suplementarios

INFORME DE LOS AVANCES FÍSICOS Y FINANCIEROS DE LOS RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE INFRAESTRUCTURA 100 POR CIENTO FEDERAL CON CARGO AL FONDEN

(1) (2)

NOMBRE DE LA DEPENDENCIA O ENTIDAD PARAESTATAL: SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES CENTRO SCT: VERACRUZ

EJERCICIO FISCAL: 2010 (3)

TRIMESTRE: 2° (4)

ACCIÓN (5)	EVENTO (6)	OBRA		ENTIDAD FEDERATIVA (9)	MUNICIPIO (10)	RECURSO TRANSITORIO (11)	PERIODO DE EJECUCIÓN		AVANCE FINANCIERO (PESOS)			AVANCE FÍSICO (PORCENTAJE)		
		UBICACIÓN (7)	DESCRIPCIÓN (8)				INICIO (12)	TÉRMINO (13)	ORIGINAL (14)	EJERCIDO EN EL 2DO TRIMESTRE DE 2010 (15)	ACUMULADO EJERCIDO TOTAL (16)	PROGRAMADO (17)	REAL (18)	ACUMULADO (19)
			GASTOS DE OPERACIÓN Y SUPERVISIÓN						0.00					
TOTAL									0.00	0.00	0.00			

OBSERVACIONES:

_____

_____

_____

GUÍA DE LLENADO DE INFORME TRIMESTRAL DE LOS AVANCES FÍSICO Y FINANCIERO DE LOS RECURSOS PARA LA ATENCIÓN DE INFRAESTRUCTURA 100 POR CIENTO FEDERAL CON CARGO AL FONDEN

CAMPO	DESCRIPCION
1. Nombre:	Dependencia
2. Nombre de la Entidad:	Centro SCT
3. Ejercicio Fiscal:	Ejercicio
4. Trimestre:	Trimestre correspondiente
5. Acción:	No. de acción de Reconstrucción
6. Evento:	Nombre del Fenómeno Perturbador
7. Ubicación:	Ubicación de Carreteras, Tramos y Kilometrajes
8. Descripción:	Descripción de los trabajos de reconstrucción
9. Estado:	Nombre del estado
10. Municipio:	Municipio donde se ubican los trabajos de reconstrucción
11. Recurso Transitorio:	Cuando esté asegurada la Red Federal Carretera Libre de Peaje)
12. Inicio:	Fecha de inicio de los trabajos (Contractual)
13.Termino	Fecha de conclusión de los trabajos (Contractual)
14. Original:	Asignación inicial (Solicitada)
15. Ejercido:	Cantidad ejercida en el (Trimestre reportado)
16. Acumulado:	Importe acumulado pagado al contratista
17. Programado:	Avance Físico programado en el trimestre
18. Real:	Avance Físico real en el trimestre
19. Acumulado:	Avance Físico acumulado total

Bibliografía

GUÍA DE PROCEDIMIENTOS Y TÉCNICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS EN MÉXICO

SCT

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

BIBLIOGRAFÍA

- **AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993.** Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials.
- **Análisis Reológico de Asfaltos Modificados Mediante el Protocolo NCHRP 9-10.** LANAMME, Ing. Guillermo Loria, 2004.
- **Aspectos Importantes Derivados de la Utilización del Deflectómetro de Impactos HWD Aplicados para Conservación y Rehabilitación de Pavimentos.** Ing. Manuel Zárate Aquino. Presentación PowerPoint. Septiembre de 2014.
- **Asphalt Rejuvenator "Fact, or Fable".** Robert E. Boyer, Ph. D., P.E. Asphalt Institute.
- **Boletín Técnico Coeficiente de Fricción en Pavimentos Flexibles.** SemMaterials México. Ing. Jonathan A. Hernández G. Abril de 2014.
- **Boletín Técnico Núm. 3 Evaluación Estructural y Funcional de Pavimentos Flexibles.** SemMaterials México. Carlos Adolfo Coria Gutiérrez. Mayo de 2014.
- **Calentadora HM 4500.** Calentamiento Eficiente de Capas Asfálticas. Writgen Group.2008.
- **Capa Asfáltica Superficial de Alta Adherencia.** SemMaterials México. Presentación PowerPoint. 20 de octubre de 2010.
- **Capacitación Dynatest ELMOD 6 Evaluation of Layer Moduli and Overlay Desing.** Álvaro UlloaCalderón, Ph. D. Presentación PowerPoint. 20 de agosto de 2014.
- **Capas Superficiales de Elevada Resistencia. Los Argumentos a Favor de SMA.** Asociación Europea de Pavimentos Asfálticos (EAPA). 1998.
- **Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas.** Instituto Mexicano del Transporte, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Publicación Técnica Núm. 21 (1991).
- **Catálogo de Fallas de Pavimentos.** Dirección General de Conservación de Obras Públicas, Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (1984).
- **Catálogo de Impactos Ambientales y sus Medidas de Mitigación.** América Martínez Soto y Sergio Alberto Damián Hernández. Publicación Técnica No. 133. Sanfandila, Qro. 1999.
- **CI-8 Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos, Incluyendo Carreteras de Altas Especificaciones.** DISPAV-5-Versión 2.0. Instituto de Ingeniería de la UNAM. Santiago Corro C. y Guillermo Prado O.
- **Diseño y Gestión de Proyectos Carreteros en Asociaciones Público-Privadas.** Publicación del XXIV Congreso Mundial de Carreteras. SCT. Septiembre de 2011.
- **Eficacia y/o Efectividad de Medida de Seguridad Vial Utilizadas en Diferentes Países.** Andrés Contreras, Alberto Mendoza Díaz y José Luis Gutiérrez Hernández. Instituto Mexicano del Transporte IMT. Sanfandila 2011.

- **El Mundo de las Recicladoras en Caliente.** Writgen Group.2008.
- **Equipo y Maquinaria para el Reciclado en Caliente.** Jacinto L. García Santiago. Mezclas Bituminosas Recicladas en Caliente. Barcelona Septiembre de 2001.
- **Especificación Particular para el Diseño y Construcción de una Base Estabilizada con Asfalto Espumado.** Construmac. 21 de octubre de 2014.
- **Estabilización con Asfalto Espumado.** Publicación Construmac. 21 de octubre de 2014.
- **Evaluación Estructural del Pavimento de la Autopista Durango-Mazatlán.** Cálculo Inverso para la Determinación de Módulos Elásticos. SemMaterials México. 2012.
- **Exploración de Suelos. Métodos Directos e Indirectos. Muestreo y Pruebas de Campo. Vigésima Conferencia Nabor Carrillo**. Enrique Santoyo Villa. SMIG, México, 2010.
- **Guía Práctica de Estabilización y Recuperación de Pavimentos con Cemento Portland en México.** Omar Juárez Gutiérrez y Marco A. Inzunza Ortiz. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. AMIVTAC. Septiembre 2011.
- **Ingeniería de Pavimentos Evaluación Estructural, Obras de Mejoramiento y Nuevas Tecnologías.** Alfonso Montejo Fonseca. Universidad Católica de Colombia.
- **Ingeniería de Tránsito. Fundamentos y Aplicaciones.** 8ª. Edición. Rafael Cal y Mayor R. y James Cárdenas G. Editorial Alfa Omega.
- **Ingeniería Geológica**. Luis I. González de Vallejo, Mercedes Ferrer, Luis Ortuño y Carlos Oteo. Editorial Pearson Educación, S. A. Madrid, España, 2002.
- **La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Volumen I**. Alfonso Rico Rodríguez y Hermilo del Castillo. Editorial Limusa. Noriega Editores, México, 1974.
- **Ley Federal de Derechos.**
- **M5.1. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Flexibles**. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. Volumen Núm. 11 (2002).
- **M5.2. Catálogo de Deterioros de Pavimentos Rígidos.** Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. Volumen Núm. 12 (2002).
- **Mabey Universal Super Panel Bridge Desibn Data.** Mabey Inc. Publication Reference: MBSI MU04-01
- **Manual de Construcción Geotécnica. Tomos I y II**. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C., México, D. F., 2002.
- **Manual de Diseño de Obras Civiles. Geotecnia. Mecánica de Rocas B.3.1. Estabilidad de Taludes.** Comisión Federal de Electricidad, México, 1980.
- **Manual de Procedimientos para el Aprovechamiento del Derecho de Vía en Caminos y Puentes de Cuota.** Subsecretaria de Infraestructura, Unidad de Autopistas de Cuotas. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Noviembre 2007.

- **Manual para la Inspección Visual de Pavimentos Flexibles.** Convenio Interadministrativo 0587-03 República de Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Octubre 2006.

- **Método de la Portland Cement Asociation (PCA) para Diseño de Pavimentos Rígidos.** CEMEX Concretos. Presentación PowerPoint. 5 de agosto de 2004.

- **Metodologías de Inspección no Destructiva Aplicables a Sistemas de Gestión de Puentes**. Francisco Javier Carrión Viramontes, Juan Antonio Quintana Rodríguez, José Alfredo López López, Alexander Balankin y Didier Samayoa Ochoa. Publicación Técnica No. 302, Sanfandila, Qro. 2006.

- **Métodos Tradicionales de Análisis**. Curso de Estabilidad de Taludes y Laderas Naturales. Dr. Juan Félix Rodríguez Rebolledo. SMIG. Centro Asturiano, México D.F. 2012.

- **Normas y Métodos de la Normativa Técnica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.** 2000/2013.

- **Pavimentos Flexibles. Problemática, Metodologías de Diseño y Tendencias.** Alfonso Rico Rodríguez, Rodolfo Téllez Gutiérrez y Paul Garnica Anguas. Publicación Técnica 104. Instituto Mexicano del Transporte. 1998.

- **Propuesta de Protocolo AMAAC PA-CR 04/2014. Diseño, Fabricación y Colocación de Diferentes Capas de Rodadura en Caliente.** Comité de Capas de Rodadura. 21 de octubre de 2014. (en etapa de edición)

- **Propuesta de Recomendación AMAAC para Tratamiento de Grietas con Emulsión.** Comité Técnico de Emulsiones Asfálticas. Agosto de 2014. (en etapa de edición)

- **Reciclado de Pavimentos Asfálticos**. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Fomento de España. Ficha Técnica 5.1. Diciembre de 2012.

- **Reciclado de Pavimentos en Carreteras.** Capt. de Ing. Diego López Castillo.

- **Reciclado en Frío con Emulsión Asfáltica. Propuesta de un Método para el Diseño de Mezclas Recicladas en Frío In Situ con Emulsión, para ser utilizadas como Bases Negras.** Dr. Mauricio Centeno Ortiz, Ing. Ignacio Cremades Ibáñez. Tesis Doctoral de la Universidad Politécnica de Cataluña. España, 2006

- **Reglamento para el aprovechamiento del derecho de vía de las Carreteras Federales y Zonas Aledañas.** Diario oficial de la Federación 1992 (última reforma agosto 2000)

- **Seguridad Vial en Carreteras.** Alberto Mendoza Díaz y Emilio F. Mayoral Grajeda. Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C. AMIVTAC. Septiembre 2011.

- **Sistema CASAA y Macrosello.** SemMaterials México. Presentación PowerPoint. 21 de octubre de 2009.

- **SMA Pavimentos de Alto Desempeño.** Surfax. Presentación PowerPoint. 20 de abril de 2006.

- **Socavación en Puentes y Obras Menores.** Reunión Conjunta AMIVTAC-SMMS-AMH. México, D. F., Julio de 1987.

- **Técnicas en Frío de Recuperación y Reciclado de Pavimentos.** Víctor M. Cincire Romero. SemMaterials México. Presentación PowerPoint

- **The Rule of Asphalt Rejuvenator in Pavement Preservation.** Use and Need for Asphalt Rejuvenation. Jim Brownridge/Charles Grady. Tricor Refining, LLC, Bakersfield, California. 7 de Julio 2010.

- **Tipo de Fallas en los Pavimentos.** CEMEX Concretos. Presentación PowerPoint. 28 de junio de 2004.

- **Tipo de Fallas y sus Causas.** Curso de Diseño, Construcción y Rehabilitación de Pavimentos Rígidos y Flexibles. Dr. Jorge Cepeda Aldape. Presentación PowerPoint. 2 de febrero de 2005.

- **Tipos de Fallas en los Pavimentos.** CEMEX Concretos. Presentación PowerPoint. 28 de junio de 2004.