



CAPÍTULO 14. CONTROL DE CALIDAD



DIRECCIÓN GENERAL DE
SERVICIOS TÉCNICOS

CAPÍTULO 14. CONTROL DE CALIDAD



Túnel Chimalpa I, Carretera Naucalpan - Toluca

14.1. INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad considera el desarrollo de un túnel como un sistema formado por diferentes fases enlazadas, desde la planeación hasta el fin de la vida útil del túnel.

El objetivo de la calidad global de la obra se extiende a la calidad del sistema en su conjunto; proyecto y construcción (materiales y supervisión).

El logro de la calidad de manera global exige la colaboración de todo el personal que interviene en la realización del túnel, como son: personal de la Dependencia y de las diversas ingenierías involucradas; supervisores, empresas constructoras y personal de control de calidad de materiales.

La calidad global considera, en las distintas fases y etapas, todos los aspectos relacionados con el túnel durante su vida útil como: el medioambiente, la seguridad y la salud, la durabilidad de la estructura, las incertidumbres, los riesgos y los costos de construcción.

La calidad de manera general se fundamenta en las siguientes condiciones:

- La intervención de personal capacitado con los conocimientos técnicos y la experiencia específica necesaria para desarrollar cada fase de la obra.
- Las diferentes fases de la obra: proyecto, construcción, supervisión, mantenimiento y reparaciones, son inter-dependientes.
- El proyecto tiene que desarrollar adecuadamente todos los aspectos técnicos de las diferentes fases.
- Cada fase tiene sus objetivos específicos que deben cumplirse, siguiendo una secuencia temporal y metodología específica en varias etapas interdependientes, establecidas según un orden lógico: estudios previos, anteproyecto, proyecto, etc.
- Las diferentes fases y etapas de cada fase, se desarrollarán de acuerdo a las metodologías, recomendaciones y normas específicas de cada materia desarrolladas en la fase de proyecto.
- Aplicar en todas las fases y etapas de desarrollo de la obra, las recomendaciones de calidad vigentes para el aseguramiento de la calidad requerida, estableciendo un plan de control de calidad en el proyecto y teniendo en cuenta los aspectos relevantes que deben ser considerados para establecer el necesario control de calidad en la fase de construcción.

Para alcanzar el objetivo de la calidad en la construcción de túneles, es necesario mejorar y considerar todos los recursos, medios y capacidades técnicas en las áreas específicas que intervienen en la obra. Los principales elementos que influyen en la mejora de la calidad en los túneles son:

- Nuevos métodos de construcción más seguros, más eficaces y más confiables.
- Criterios de diseño más precisos.
- Desarrollo de modelos de comportamiento de suelos y rocas más refinados.
- Desarrollo de modelos numéricos combinados mejor adaptados a los comportamientos reales de los terrenos.
- Desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías de construcción.
- Desarrollo y utilización de revestimientos.
- Desarrollo y utilización de sistemas inteligentes, aparatos y sensores que permitan el control en tiempo real, de los trabajos de construcción y supervisión.

La utilización adecuada de todos estos medios permitirá obtener la calidad de obra con los siguientes objetivos:

- Túneles más seguros durante su construcción y puesta en operación posterior.
- Reducción del costo total del túnel durante su vida útil.
- Prolongación de la vida útil en servicio de los túneles.
- Reducción de los impactos medioambientales originados por la construcción del túnel.

El objetivo final de la calidad en los túneles, es reducir las incertidumbres en su construcción y operación, reducir los costos, el plazo de construcción y ampliar su vida útil en servicio.

Específicamente las tareas de control de calidad en túneles carreteros van encaminados a garantizar que los elementos de sostenimiento seleccionados y empleados en la obra cumplan lo especificado o previsto en el proyecto, ayudando a garantizar la buena ejecución de la misma.

El control de calidad comienza una vez seleccionados los materiales a utilizar en la obra y continúa durante su recepción, colocación y evolución con el tiempo de los mismos.

Se analizarán en este capítulo los controles de calidad habituales de los elementos principales de sostenimiento y revestimiento que se colocan en este tipo de obras: anclas, concreto, concreto lanzado, fibras, marcos metálicos, enfilajes, morteros inyectados, etc.

14.2. GENERALIDADES

El control de calidad durante la construcción de un túnel implica un conjunto de actividades orientadas al cumplimiento de los requisitos de la calidad establecidos en el proyecto.

Dichas actividades comprenden principalmente el examen de los resultados obtenidos de un proceso de producción, mediante mediciones, muestreo y pruebas, tanto de campo como de laboratorio, que permiten evaluar las propiedades inherentes a un concepto de obra, de sus acabados, de los materiales y de los equipos de instalación permanente que se utilicen en su ejecución, comparándolas con las especificadas en el proyecto, así como los análisis estadísticos de esos resultados, para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto y determinar oportunamente si el proceso de producción se está ejecutando correctamente, conforme al procedimiento de construcción o éste debe ser corregido.

Se tendrán que realizar una serie de actividades por parte del área responsable de calidad de obra para llevar un control interno, orientado a corroborar que el control de calidad se haya ejecutado correctamente y que se cumplan los requisitos y especificaciones de calidad establecidos en el proyecto, mediante mediciones, pruebas de campo o laboratorio.

Durante la construcción se debe verificar la calidad mediante actividades que permitan comprobar los trabajos en obra realizados, dichas actividades comprenden principalmente el muestreo, las pruebas y los análisis estadísticos de sus resultados. Esta verificación de la calidad la realizará la Unidad General de Servicios Técnicos del Centro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) que corresponda, ya sea con recursos propios o mediante una empresa especializada y certificada en calidad de obra que se contrate con tal propósito, quien estará obligada a instalar, equipar y mantener en el campo, bajo su responsabilidad y costo, los laboratorios que se requieran, con el adecuado y suficiente personal profesional y técnico, conforme a lo que se establezca en el contrato respectivo.

La empresa constructora no podrá iniciar los trabajos de construcción si no cuenta en campo con el programa detallado de control de calidad, que sea técnicamente factible y aceptable desde el punto de vista de su realización física, así como comprobable en todas y cada una de las actividades programadas; que incluya la forma y los medios a utilizar para evaluar la calidad de los materiales correspondientes.

La empresa constructora contará con personal profesional, técnico y de apoyo; las instalaciones, equipo y materiales de laboratorio, así como el equipo de transporte, que sean adecuados y suficientes de acuerdo con el programa detallado de control de calidad.

Para la ejecución del control de calidad se tomará en cuenta que el personal (jefes de control y verificación de calidad y laboratoristas) que realicen dichas actividades, tengan la capacitación y experiencia suficientes para el desarrollo de los trabajos, los laboratorios para el control de calidad tendrán instalaciones certificadas con áreas para el almacenamiento, preparación y prueba de las muestras.

El equipo que se utilice para el control de calidad o para la verificación de la calidad, estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado y limpio, completo en todas sus partes y que no tenga un desgaste excesivo que pueda alterar significativamente los resultados de las pruebas. Todos los materiales por emplear serán de calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

Las muestras serán del tipo que se establece en los Manuales del libro “Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, de la S.C.T.” y se obtendrán con la frecuencia indicada en las especificaciones del proyecto, todas las muestras se seleccionarán al azar, las muestras se transportarán del sitio de su obtención al laboratorio y se almacenarán de tal modo que no se alteren, golpeen o dañen.

Las pruebas de campo y laboratorio, que se realicen a los materiales y a los conceptos de obra se ejecutarán conforme a lo establecido en los Manuales del libro “Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales de la Normativa para la Infraestructura del Transporte, de la S.C.T.”. Se elaborarán informes en los que se presenten, mediante tablas, gráficas, croquis y fotografías, los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas, incluyendo la información necesaria para su interpretación, las cartas de control y los análisis estadísticos realizados.

14.3. CONTROL DE CALIDAD

A continuación se describen los requisitos y condiciones que se deberán cumplir en la construcción de los túneles, las cuales se relacionan únicamente con los aspectos técnicos necesarios para garantizar la calidad de los trabajos y la seguridad adecuada de las obras.

La Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT) utilizada en el presente capítulo, esta presentada, según su propósito, en tres tipos de publicaciones denominadas: Normas (N), Manuales (M) y Prácticas Recomendables (R).

Las Normas (N): proponen valores específicos para diseño, las características y calidad, de los materiales y equipos de instalación permanente, así como las tolerancias en los acabados; los métodos generales de ejecución, medición y base de pago de los diversos conceptos de obra y en general, todos aquellos aspectos que se puedan convertir en especificaciones al incluirse en el proyecto.

Los Manuales (M): contienen el compendio de los métodos y procedimientos para la realización de todas la actividades relacionadas con la infraestructura del transporte.

Las Prácticas Recomendables (R): proponen y explican el establecimiento de criterios y la aplicabilidad de teorías a casos específicos, de manera que el usuario tenga elementos para seleccionar los métodos o procedimientos de entre los contenidos en los Manuales.

Además de las especificaciones enlistadas en esta sección, también serán aplicables las Normas de Construcción editadas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, correspondientes a los siguientes capítulos:

TOMO III	Capítulos 2, 3, 6, 8, 10, 14, y 29
TOMO VIII	Capítulos 3, 4, 5, 8, 9, y 11
TOMO X	Capítulos 3, 4, 6, 7, 10, 12, 13, y 14

Así mismo se emplearán las normas vigentes que expiden las siguientes organizaciones:

DGN	(Dirección General de Normas; mediante Normas Oficiales Mexicanas NOM)
ACI	(American Concrete Institute)
ASTM	(American Society for Testing and Materials)
AASHTO	(American Association of State Highway and Transportation Officials)
AISC	(American Institute of Steel Construction)

La empresa constructora deberá disponer de una unidad de control de calidad que cumpla con los requisitos indicados en la Norma N.CAL.1.01/05 de la NIT-SCT, *Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción o Conservación*, considerando que debe contar con el personal profesional y técnico, el equipo de pruebas y de campo, las instalaciones de laboratorio y vehículos de transporte, en número y capacidad suficientes, para controlar la calidad de los conceptos de obra y sus acabados; mediante el muestreo, las pruebas de campo y laboratorio, los análisis estadísticos de sus resultados y los informes periódicos requeridos.

El volumen de muestreo por obtener para el control de calidad de los diversos conceptos de obra, es el estipulado en la cláusula denominada *Criterios para Aceptación o Rechazo* de las normas correspondientes a las características de cada uno de los materiales empleados.

En todos los casos las muestras que serán sometidas a mediciones, pruebas de campo o pruebas de laboratorio, para determinar sus propiedades y verificar el cumplimiento de la calidad especificada en el proyecto se seleccionarán al azar, mediante un procedimiento objetivo basado en tablas de números aleatorios, conforme lo indicado en el Manual M.CAL.1.02/01 de la NIT-SCT, *Criterios Estadísticos de Muestreo*.

Los resultados de las pruebas que se realicen a materiales y conceptos de obra, siempre tendrán variaciones debidas a la heterogeneidad del material, desviaciones durante el proceso constructivo, así como problemas derivados de los procedimientos de muestreo y prueba. Estos factores son variables aleatorias y, por lo tanto, los resultados lo son también, de forma que, para que indiquen la verdadera calidad de lo probado, es necesario que el muestreo siga un proceso estadístico que garantice la selección de las muestras realmente al azar, de acuerdo con las reglas que la estadística ha desarrollado para el caso.

Se tendrá siempre en cuenta que las muestras “buenas”, “malas” o “indicativas de la situación promedio”, según el criterio personal del inspector, no pueden ser consideradas como muestras al azar, y los resultados que se obtengan a partir de ellas, no corresponderán a la calidad real del lote o volumen de obra que representa. Por ello, el plan de muestreo estadístico debe tener un procedimiento objetivo para la selección de la muestra, basado principalmente en el uso de tablas de números aleatorios, que garantice que todos y cada uno de los elementos de la población por muestrear, tengan la misma probabilidad de ser seleccionados.

Las pruebas de laboratorio que se realicen para determinar las características de calidad de los materiales se ejecutarán conforme lo indicado en los manuales del *Libro Métodos de Muestreo y Prueba de Materiales (MMP, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte)*. En caso de que dicha normativa no contenga alguna prueba, ésta se ejecutará conforme lo indicado en el *Libro 6, Normas para Muestreo y Prueba de Materiales, Equipos y Sistemas, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte*.

Los análisis estadísticos de los resultados de las pruebas de campo y laboratorio se realizarán de acuerdo a lo indicado en el Manual M. CAL.1.03/03 de la NIT-SCT, *Análisis Estadísticos de Control de Calidad*.

Los procedimientos utilizados para analizar mediante cartas de control u otros métodos estadísticos, los resultados de las mediciones, pruebas de campo o pruebas de laboratorio que se realicen a muestras seleccionadas servirán para verificar la conformidad con los requisitos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, detectar las deficiencias y desviaciones significativas en los procesos de construcción, y aplicar, en forma oportuna y económica, las medidas correctivas que sean necesarias.

Los requisitos de calidad se establecen en el proyecto, principalmente en sus especificaciones, mediante los siguientes tipos de características a controlar:

- **Características medibles:** cuando es posible comparar los requisitos especificados con patrones de medida, utilizando los instrumentos y procedimientos de medición apropiados, para determinar el valor de una magnitud, como longitud, superficie, volumen, masa, elevación, resistencia y temperatura, o de otros parámetros susceptibles de ser cuantificados, como granulometría, contenido de agua, contenido de cemento asfáltico, grado de compactación y estabilidad Marshall, entre otros.
- **Características contables:** cuando es posible contar los requisitos especificados, como el número de elementos defectuosos de un lote producido o el número de defectos por unidad producida, que pueden ser aceptados como máximo.

Los análisis estadísticos de los resultados que se obtengan de las mediciones y pruebas en todas las etapas de un proceso de producción específico, que permiten inferir si el proceso está bajo control estadístico o detectar oportunamente la ocurrencia de causas asignables que lo pongan fuera de control estadístico, se pueden realizar a través de cartas de control o mediante pruebas de hipótesis, como se describe en las Cláusulas D. y E. del Manual M. CAL.1.03/03 de la NIT-SCT, *Análisis Estadísticos de Control de Calidad*, respectivamente.

Las cartas de control, son gráficas en las que en uno de sus ejes se indica el número de muestra y en el otro los valores del parámetro estadístico según el tipo de carta que se utilice, asociado a la característica medible o contable bajo control, en la Figura 14.1 se muestra ejemplo de gráfica de una carta de control típica.

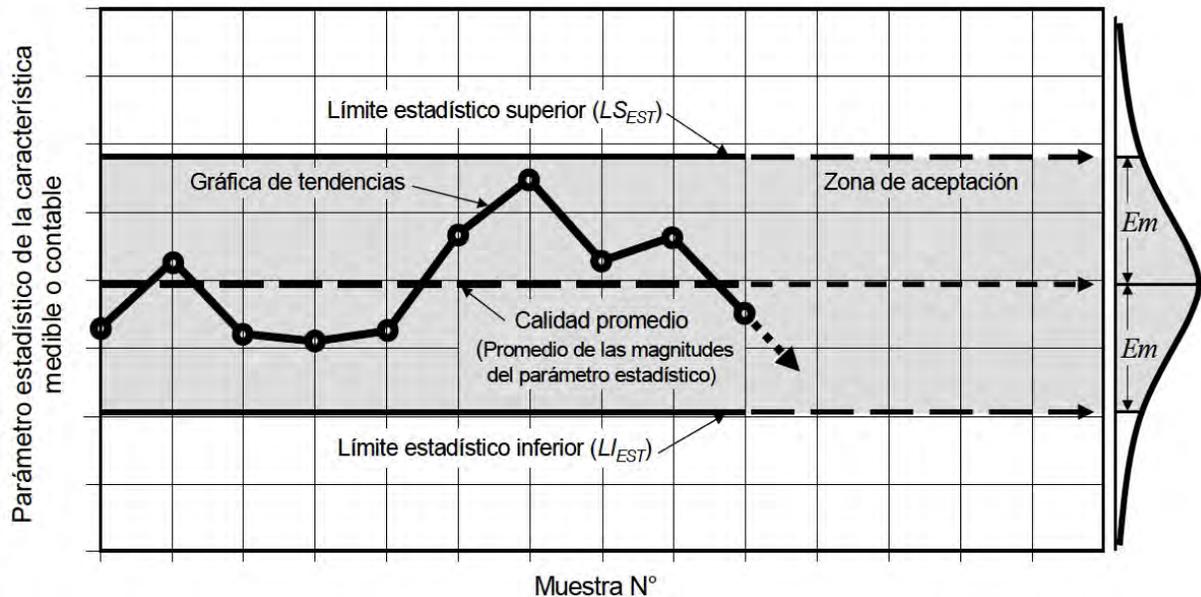


Figura 14.1. Gráfico de carta de control típica.

En las cartas de control se grafican los valores de dicho parámetro obtenidos de cada muestra; uniendo con líneas los puntos dibujados se obtiene una poligonal abierta denominada gráfica de tendencias; en el valor correspondiente al promedio de las magnitudes del parámetro estadístico, se traza una paralela al eje de los números de las muestras, denominada calidad promedio, de la que depende la posición de los límites estadísticos entre los que se considera que las variaciones se deben a causas aleatorias, definiéndose así la zona de aceptación.

Esos límites estadísticos, que corresponden exclusivamente al proceso de producción que se controla, se proyectan hacia delante, de forma que, si los valores del parámetro estadístico de las siguientes muestras que se obtengan están en la zona de aceptación, existe una gran probabilidad de que sus variaciones se deban a causas aleatorias, pero si algún valor se ubica fuera de los límites estadísticos, existe la misma probabilidad de que se deba a una o varias causas asignables, momento en que se han de identificar esas causas para eliminarlas y mantener el proceso bajo control estadístico.

Los informes diarios (reportes de campo y laboratorio), quincenales (en estimaciones) y final (o de finiquito), se elaborarán de acuerdo a lo indicado en la Norma N. CAL.1.01/05 de la NIT-SCT, *Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción o Conservación*.

La evaluación de los laboratorios de control de calidad de la empresa constructora se efectuará por la Unidad General de Servicios Técnicos, conforme lo estipulado en la Norma N.CAL.2.05.001/05 de la NIT-SCT, *Aprobación de Laboratorios* y de los lineamientos que determine la Dirección General de Servicios Técnicos.

El laboratorio (entidad acreditada) tendrá la capacidad para operar y llevar a cabo las pruebas, ensayos o calibraciones que se requieran en forma correcta y confiable. Los instrumentos a utilizar en laboratorio tendrán condiciones específicas (estarán calibrados) para la medición de valores correspondientes.

Los resultados de cada prueba, ensayo o calibración que ejecute el laboratorio, serán registrados en forma objetiva, exacta, clara y sin ambigüedad, de acuerdo con las instrucciones documentadas correspondientes, mediante formatos diseñados cuidadosa y especialmente para cada tipo de prueba, ensayo o calibración, que incluyan toda la información requerida por el método utilizado y la necesaria para la interpretación de los resultados.

El laboratorio contará con un sistema de registros, en los que se asiente cronológicamente cada muestra que se obtenga y cada prueba, ensayo o calibración que se ejecute, identificada mediante número progresivo según su tipo.

La verificación del control de calidad que realice la empresa constructora se efectuará por la Unidad General de Servicios Técnicos, para corroborar que los conceptos de obra cumplan con las especificaciones de proyecto, ratificar la aceptación, rechazo o corrección de cada uno de ellos, y comprobar el cumplimiento del programa detallado de control de calidad.

Al término de cada visita de verificación del laboratorio, se levantará un acta en la que se hará constar la calificación del laboratorio; de ser ésta aprobatoria, se confirmará la autorización para su operación, de lo contrario, se asentarán las causas que la motivaron y se establecerá el plazo para subsanarlas. El acta será firmada por la persona que haya efectuado la visita y por el jefe del laboratorio. Los atrasos en el programa de ejecución del estudio, de la obra o de los trabajos de supervisión, que por este motivo se ocasionen, serán imputables al laboratorio encargado de los estudios, a la empresa constructora o a la empresa de supervisión, según corresponda.

Cuando lo considere necesario; la misma Secretaria de Comunicaciones y Transportes por conducto de la Residencia de Obra, podrá estar presente en el laboratorio de la empresa constructora para constatar que el manejo de la muestra y procedimiento de la prueba sea la correcta, a fin de verificar el resultado de las mismas.

14.4. JEFE DE LA UNIDAD DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DE OBRA

Generalmente esta tarea se encomienda a un ingeniero profesional y certificado para los trabajos contratados, que es el responsable de la elaboración de un Programa Detallado de Control de Calidad (P.D.C.C.), de su implantación y de su seguimiento, así como de las revisiones que tengan lugar.

En las hojas de los controles de los programas de calidad, figuran las operaciones sujetas a control, las intensidades y frecuencias de cada operación a controlar, así como la clasificación de los mismos en tres categorías: puntos de espera, puntos de parada y puntos críticos.

A su vez, las inspecciones en obra se clasifican en rutinarias (realizadas diariamente sin ningún tipo de programación previa) y formales (programadas en los planes de control de calidad).

Este técnico, con total independencia del Jefe de Obra, tiene las siguientes funciones:

- Identificar los problemas de Calidad, verificando el cumplimiento del programa de control de calidad implantado en la obra.
- Iniciar, sugerir o aportar las soluciones según se deriven de los procedimientos definidos.
- Verificar el adecuado desarrollo de la ejecución de la obra de acuerdo con los procedimientos definidos, supervisando la ejecución.

- Encargarse del tratamiento de los resultados de las pruebas no favorables, hasta la obtención de resultados satisfactorios.
- Coordinar las misiones de verificación y control.
- Aplicar y verificar que se cumple el contenido del Programa Detallado de Control de Calidad de los trabajos ejecutados en la obra.
- Informar periódicamente al mando superior de los resultados obtenidos en la ejecución del P.D.C.C. de la obra.
- Efectuar las comprobaciones e inspecciones que se asignen en los programas de puntos de inspección.
- Mantener en todo momento la disciplina y el debido orden en todo el desarrollo de la obra.
- Respetar y hacer respetar los Procedimientos, Normas, Manuales de funcionamiento que rijan la obra.
- Cumplir y hacer cumplir con rigor los programas de actuación de cada una de las divisiones del esquema de trabajo que conforma la obra.
- Atender en todo momento al Director de la Obra, suministrándole la información prescrita en tiempo y forma, además de facilitar cuantas consultas precise sobre los registros de calidad generados.

14.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

La Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT) que deberá aplicarse durante la construcción de los túneles y sus obras complementarias, son las que se enuncian a continuación, sin dejar de lado las especificaciones generales y complementarias contenidas en cada uno de los Proyectos Ejecutivos de los túneles.

14.5.1. Terracerías

Para las siguientes actividades a ejecutar durante la construcción del túnel, se deben de considerar los requisitos de calidad establecidos en sus respectivas Normas, dichas actividades son:

- **Desmante:** será considerado en la excavación de los portales, la Norma a considerar es la N-CTR-CAR-1-01-001/00 de la NIT-SCT.
- **Despalme:** será considerado en la excavación de los portales, la Norma a considerar es la N-CTR-CAR-1-01-002/00 de la NIT-SCT.
- **Cortes:** incluirá el acarreo al banco de desperdicios elegido por la constructora, la Norma a considerar es la N-CTR-CAR-1-01-003/00 de la NIT-SCT.
- **Terraplenes:** Los materiales para terraplén son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar el cuerpo de un terraplén hasta el nivel de desplante de la capa subyacente. La Norma que contiene los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de terraplenes es la N-CMT-1-01/02 de la NIT-SCT.

Los materiales que se utilicen para la formación de terraplenes cumplirán con los requisitos de calidad que se establecen en la siguiente tabla.

CARACTERÍSTICA	VALOR
Límite líquido; % máximo	50
Valor Soporte de California (CBR) ⁽¹⁾ , % mínimo	5
Expansión; %, máxima	5
Grado de compactación ⁽²⁾ , %	90 ± 2

Tabla 14.1. Requisitos de calidad de materiales para terraplén.

- (1) En especímenes compactados dinámicamente la porcentaje de compactación indicado en esta Tabla, con un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad.
- (2) Respecto a la masa volumétrica seca máxima obtenida mediante la prueba AASHTO Estándar, del material compactado con el contenido de agua óptimo de la prueba, salvo que el proyecto o la Secretaría indiquen otra cosa. Cuando el material sea no compactable, de acuerdo con lo indicado en el Manual M.MMP.1.02 de la NIT-SCT; *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*, se colocará en capas del espesor mínimo que permita el tamaño máximo del material y se bandeará, previa aplicación de un riego de agua a razón de 150 L/m³, dando como mínimo tres pasadas en toda la superficie en cada capa, con un tractor de 36.7 toneladas con orugas.

En cualquier momento, la Secretaría puede verificar que el material suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma (N-CMT-1-01/02 de la NIT-SCT), siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

Así mismo la Norma que contienen los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subyacente de las terracerías es la N-CMT-1-02/02 de la NIT-SCT.

- Los materiales para la capa subyacente son suelos y fragmentos de roca, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima del cuerpo de un terraplén.
- La Norma N-CMT-1-03/02 de la NIT-SCT; contiene los requisitos de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción de la capa subrasante de las terracerías. Los materiales para la capa subrasante son los suelos naturales, seleccionados o cribados, producto de los cortes o de la extracción en bancos, que se utilizan para formar dicha capa inmediatamente encima de la cama de los cortes, de la capa subyacente o del cuerpo de un terraplén cuando ésta última no se construya, para servir de desplante a un pavimento.

14.5.2. Estructuras

14.5.2.1. Control de calidad de concreto lanzado

Se entiende por concreto lanzado aquel cuyo tamaño del agregado es mayor que 8mm. Asimismo, se entiende por mortero inyectado, aquel cuyo tamaño de agregado es menor que 8mm.

El concreto lanzado es una mezcla de cemento Portland, agregados pétreos, agua, aditivos y fibras 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 una excavación, proteger zonas con alto fracturamiento o alteración y preparar superficies de roca sobre las que se apoyarán otros elementos de soporte en la construcción de túneles.

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.

La Norma que contiene los aspectos a considerar en la elaboración y colocación de concreto lanzado, como soporte y revestimiento de excavaciones para túneles es la N-CTR-CAR-1-05-006/0 de la NIT-SCT, la cual establece las características de los materiales para la elaboración del concreto lanzado, los cuales cumplirán con las Normas aplicables del Título 02. Materiales para Concreto Hidráulico, de la Parte 2. Materiales para Estructuras, del Libro Características de los Materiales (CMT) de la NIT-SCT.

Si dado los requerimientos de la obra, se considera necesaria la utilización de aditivos o fibras, éstos estarán establecidos en las especificaciones de proyecto o serán aprobados por la Secretaría. Las definiciones, características, etc., del concreto lanzado se tratan ampliamente en los capítulos 8 y 9 de este Manual.

De la misma forma la Norma N-CTR-CAR-1-05-006/0 de la NIT-SCT; establece los requerimientos del equipo para la fabricación y colocación del concreto lanzado, transporte y almacenamiento del mismo, sistemas de seguridad durante la ejecución del lanzado.

El procedimiento que se utilice para la elaboración del concreto lanzado es responsabilidad de la empresa constructora, quien tendrá los cuidados necesarios para el manejo de los materiales a lo largo de todo el proceso, para que el concreto cumpla con los requerimientos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría atenderá lo indicado en la las Normas aplicables del Título 02. Materiales para Concreto Hidráulico, de la Parte 2. Materiales para Estructuras, del Libro Características de los Materiales (CMT) de la NIT-SCT.

Si durante la ejecución del trabajo y a juicio de la Secretaría, la calidad del concreto, difiere de la establecida en el proyecto o aprobada por la Secretaría, se suspenderá inmediatamente la producción en tanto que la empresa constructora la corrija por su cuenta y costo. Los atrasos en el programa de ejecución detallado por concepto y ubicación, que por este motivo se ocasionen, serán imputables a la misma empresa constructora. En la Figura 14.2 se muestra la forma en que son llenadas de concreto lanzado las artesas para su análisis en laboratorio.



Figura 14.2 Obtención de muestras de concreto lanzado para ensayos en laboratorio.

Independientemente de que manera previa se hagan ensayos en laboratorio con las diferentes composiciones y elementos, los ensayos encaminados a obtener la fórmula definitiva deberán llevarse a cabo a pie de obra, previamente al comienzo de ésta y empleando las instalaciones, la maquinaria y los componentes previstos para la ejecución de la misma.

Debido a la inevitable dispersión de los resultados obtenidos en los ensayos, el diseño de la mezcla debe ser tal que se intente producir un material de resistencia superior a la especificada. Como valor aproximado se puede tomar del 15% al 20% del valor mínimo del tipo de resistencia correspondiente.

14.5.2.2. Control de calidad de concreto hidráulico.

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente.

La Norma que contiene las características de calidad del concreto hidráulico que se utilice en la construcción de túneles en cualquiera de sus clases y formas de elaboración es la N·CMT·2·02·005/04 de la NIT-SCT. En la Figura 14.3 se observa el momento en que se realiza el colado de una zapata con concreto hidráulico.



Figura 14.3. Colado de zapatas de concreto hidráulico al interior del túnel.

El concreto y los componentes que lo constituyen, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

- **Cemento Portland**

El cemento Portland cumplirá con lo indicado en la Norma N·CMT·2·02·001 de la NIT-SCT, *Calidad del Cemento Portland*. Cuando el proyecto no especifique el tipo de cemento por usar en cada caso, se debe entender que se trata de cemento Portland ordinario (CPO).

- **Agregados**

Los agregados cumplirán con lo indicado en la Norma N·CMT·2·02·002 de la NIT-SCT, *Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico*. El tamaño máximo del agregado se seleccionará de acuerdo con las características del elemento estructural y con lo indicado por el proyecto o aprobado por la Secretaría.

- **Agua**

El agua de mezclado cumplirá con lo estipulado en la Norma N·CMT·2·02·003 de la NIT-SCT, *Calidad del Agua para concreto hidráulico*.

- **Aditivos**

Cuando se haga uso de aditivos, éstos cumplirán con lo indicado en la Norma N·CMT·2·02·004 de la NIT-SCT, *Calidad de aditivos Químicos para Concreto Hidráulico*, así como con las especificaciones establecidas por el fabricante para su uso, según sea el caso.

• **Revenimiento**

El revenimiento es la primera prueba que se le práctica a un concreto en estado fresco, de acuerdo con lo establecido en el Manual M.MMP.2.02.056 de la NIT-SCT, *Revenimiento del concreto fresco*, esta actividad se puede observar en la Figura 14.4.



Figura 14.4. Procedimiento de medición de revenimiento en obra.

• **Resistencia**

El concreto alcanzará la resistencia a la compresión ($f'c$) o a la tensión (T), a los veintiocho días de edad, que se haya establecido en el proyecto, con las tolerancias allí indicadas.

Para verificar la resistencia a la compresión o a la tensión, se elaborarán especímenes de acuerdo con lo indicado en el Manual M.MMP.2.02.055 de la NIT-SCT, *Muestreo de Concreto Hidráulico* y serán aprobados conforme a los procedimientos indicados en los Manuales M·MMP·2·02·058 de la NIT-SCT, *Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto* y M·MMP·2·02·059 de la NIT-SCT, *Resistencia a la Tensión de Cilindros de Concreto*, según corresponda.

Para que un concreto hidráulico sea aceptado, la empresa constructora entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote o suministro, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/04 de la NIT-SCT, en el proyecto y en las Normas de los Libros de Construcción (CTR) o Conservación (CTR) de la NIT-SCT que procedan, según el tipo de concreto indicado en el proyecto; dicho certificado será expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobado por la Secretaría.

En cualquier momento la Secretaría puede verificar la calidad del concreto suministrado, de las muestras obtenidas como se establece en el Manual M·MMP·2·02·055 de la NIT-SCT, *Muestreo de Concreto Hidráulico* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de esta Norma. Será motivo de rechazo por parte de la Secretaría, el incumplimiento de cualquiera de los requisitos establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/04 de la NIT-SCT.

14.5.2.3. Control de calidad de acero de refuerzo

El acero de refuerzo para concreto hidráulico es el conjunto de varillas de acero que se utilizan para tomar los esfuerzos internos de tensión que se generan por la aplicación de cargas, contracción por fraguado y cambios de temperatura, en una estructura de concreto hidráulico.

La Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT; contiene los requisitos de calidad del acero de refuerzo proveniente de lingote o palanquilla, que se utilice en estructuras de concreto hidráulico.

El acero de refuerzo para concreto hidráulico cumplirá con los requisitos de calidad que se indican a continuación:

- **Requisitos químicos:** la composición química del acero empleado en la fabricación de varillas provenientes de lingotes o palanquillas, determinada de acuerdo con los procedimientos contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de la Norma N·CMT-2-02-005/07 de la NIT-SCT, según corresponda, cumplirá con los contenidos máximos de elementos químicos indicados en la siguiente tabla.

Elemento	Acero (unidades en % en masa, máximo)			
	Grados 30, 42 y 52		Grado 42 baja aleación	
	Análisis de cada colada	Análisis del producto	Análisis de cada colada	Análisis del producto
Fósforo	0.050	0.062	0.035	0.043
Carbono	-----	-----	0.30	0.33
Manganeso	-----	-----	1.50	1.56
Azufre	-----	-----	0.045	0.053
Silicio	-----	-----	0.50	0.55

Tabla 14.2. Composición química del acero de refuerzo.

Cuando se especifique en la orden de compra, el fabricante proporcionará por cada colada el contenido de carbono, manganeso, fosforo, azufre y carbono equivalente.

- **Requisitos físicos:** las varillas de acero tendrán buena apariencia, sin defectos exteriores perjudiciales tales como grietas, traslapes, quemaduras y oxidación excesiva. Mediante limpieza manual con un cepillo de alambre o chorro de arena se deberán retirar las irregularidades u óxido que presenten las varillas.

La masa de las varillas de acero y el área de su sección transversal tendrán los valores nominales estipulados en la Cláusula D.2.2 de la Norma N·CMT-2-02-005/07 de la NIT-SCT.

Las corrugaciones estarán distribuidas uniformemente a lo largo de la varilla y el espaciamiento o distancia promedio entre corrugaciones a cada lado de la varilla, no excederá de cero punto siete (0.7) veces su diámetro nominal.

La resistencia a la tensión de las varillas de acero, determinada según se indica en el Manual M.MMP.2.03.002 de la NIT-SCT, *Resistencia a la tensión de Productos Metálicos*, cumplirá con los valores indicados en la siguiente tabla, según el tipo de acero utilizado en su fabricación.

Características	Grado 30	Grado 42	Grado 52	Grado 42 baja aleación
Límite de fluencia mínimo	294 (300)	412 (4200)	510 (5200)	412 (4200)
Carbono	-----	-----	-----	540 (5500)
Manganeso	490 (5000)	618 (6300)	706 (7200)	550 (5600)

Tabla 14.3. Resistencia a la tensión de las varillas de acero. Unidades en MPa (kg/cm²).

Si la resistencia a la tensión o el límite de fluencia de cualquier espécimen probado resultan menores que los valores indicados en la Tabla 14.3 y la fractura ocurre fuera del tercio medio de la longitud calibrada, indicada por las marcas grabadas sobre el espécimen antes de la prueba, esos resultados no serán representativos y se repetirá la prueba.

El alargamiento de las varillas de acero, determinado según se indica en el Manual M·MMP·2·03·002 de la NIT-SCT, *Resistencia a la Tensión de Productos Metálicos*, cumplirá con los valores mínimos indicados en la Cláusula D.2.5 de la Norma N·CMT-2-02-005/07 de la NIT-SCT.

La aceptación del acero de refuerzo por parte de la Secretaría antes de su utilización por parte de la empresa constructora depende de que ésta, presente y entregue a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT o los especificados en forma especial en el proyecto, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría. En la Figura 14.5 se muestra el habilitado de acero de refuerzo para el armado de zapatas, muros guía y bóveda del túnel.



Figura 14.5. Armado de acero de refuerzo al interior del túnel.

Con objeto de controlar la calidad de las varillas de acero, durante la ejecución de la obra, la empresa constructora realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el Manual M.MMP.2.03.001 de la NIT-SCT, *Muestreo de Materiales y Productos de Acero* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C de la Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT, en número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la Secretaría, que verifiquen que los requisitos químicos y físicos cumplan con los valores establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT o los especificados especialmente en el proyecto, entregando a la Secretaría los resultados de dichas pruebas.

Si por fallas en el equipo de prueba o preparación incorrecta de los especímenes de prueba, cualquier espécimen probado no cumple con los requisitos de calidad establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT, se repetirán las pruebas en dos (2) especímenes adicionales tomados al azar del mismo lote, por cada espécimen original que haya salido mal. Si los resultados de los especímenes adicionales probados cumplen con los requisitos establecidos, el lote será aceptado.

En cualquier momento la Secretaría puede verificar que las varillas de acero de refuerzo suministradas, cumplan con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en la Norma N·CMT·2·02·005/07 de la NIT-SCT o los especificados especialmente en el proyecto, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

14.5.2.4. Control de calidad de acero estructural

El acero estructural es el producto de la aleación de hierro, carbono y pequeñas cantidades de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le aportan características específicas. El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de doscientos cincuenta (250) Mega Pascales (2,549 kg/cm²). El acero estructural, según su forma, se clasifica en: perfiles estructurales, barras y placas.

La Norma que contiene los requisitos de calidad que deben cumplir los perfiles, las barras de acero y las placas, utilizados con fines estructurales en general es la N-CMT-2-03-003/04 de la NIT-SCT.

El acero para la fabricación del acero estructural cumplirá con los requisitos de calidad que se indican a continuación.

- **Requisitos químicos;** la composición química del acero estructural, determinada de acuerdo con los procedimientos contenidos en los Manuales que se señalan en la Cláusula C. de la Norma N-CMT-2-03-003/04 de la NIT-SCT, según corresponda, cumplirá con los requisitos indicados en la Cláusula D de la Norma mencionada.
- **Requisitos físicos;** los productos de acero estructural cumplirán, además de lo indicado en la Norma N-CMT-2-03-003/04 de la NIT-SCT; con los requisitos aplicables de la norma NMX B-252-1988, Requisitos Generales para Planchas, Perfiles, tabla estacas y Barras, de Acero Laminado, para uso Estructural.

El marcado de los elementos de acero estructural será realizado por el fabricante en lugar visible, de acuerdo con lo indicado a continuación:

- **Perfiles;** cada uno de los perfiles, se marcará con el número de colada, tamaño de la sección, longitud y marcas de identificación de la laminación y el nombre o marca del fabricante con letras realizadas a intervalos a lo largo de toda la longitud del perfil.
- **Barras;** las barras en atados perfectamente asegurados se identificarán mediante una etiqueta resistente, en la que se indicarán los siguientes datos: número de la orden de compra, grado o número de norma, dimensiones, masa del atado y número de colada.
- **Placas;** cada una de las placas se marcará por estampado, troquelado o pintado, con el número de colada, el nombre o marca del fabricante, tamaño y espesor.

En la Figura 14.6 se muestran los marcos metálicos de perfil IPR, antes de armar el marco para colocarlo en la sección de excavación, se realiza la aplicación de pintura anticorrosiva.



Figura 14.6 Marcos metálicos IPR para utilización en obra

14.5.3. Materiales para obras de Drenaje y Subdrenaje

Las siguientes Normas contienen las características de calidad referente a los materiales utilizados en obras de drenaje y subdrenaje.

- **N·CMT·3·01/01:** para tubos concreto hidráulico sin refuerzo.
- **N·CMT·3·02/04:** para tubos concreto hidráulico con refuerzo.
- **N·CMT·3·03/04:** para tubos y arcos de lámina corrugada de acero.
- **N·CMT·3·001/05:** requisitos de calidad de los materiales que se utilicen como filtros en los sistemas de subdrenaje.
- **N·CMT·3·002/05:** requisitos de calidad para tubos de concreto sin refuerzo en los sistemas de subdrenaje.
- **N·CMT·3·003/05:** requisitos de calidad para tubos, coples y accesorios de policloruro de vinilo (PVC) que se utilicen en los sistemas de subdrenaje.
- **N·CMT·3·06/10:** requisitos de calidad para tubos corrugados de polietileno de alta densidad que se utilicen en los sistemas de subdrenaje.

Nota: todas las Normas mencionadas corresponden a la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT).



Figura 14.7. Tubería corrugada de polietileno con interior liso para obras de drenaje en túneles.

14.5.4. Materiales para obras de pavimentos

En el capítulo 11 de este Manual, se ha establecido que para todos los túneles que se proyecten en México, se debe diseñar en cada caso en particular, un pavimento de concreto hidráulico o pavimento rígido, que consiste en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una capa tipo base o subbase modificada o no modificada con cemento Portland.

Las Normas que describen las características de calidad de los materiales que se utilicen en la construcción del pavimento de un túnel se mencionan a continuación:

- **Pavimento rígido:** la Norma que describe las características de calidad del concreto hidráulico a emplearse en el pavimento de los túneles en cualquiera de sus clases y formas de elaboración es la N·CMT·2·02·005/04 de la NIT-SCT.
- **Base hidráulicas de pavimentos:** en la Norma N·CMT·4·02.002/11 de la NIT-SCT se presentan los requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de bases hidráulicas de pavimentos de concreto hidráulico.

Se colocan materiales granulares, que normalmente sobre la subbase o la subrasante, para formar una capa de apoyo para una losa de concreto hidráulico.

- **Base hidráulicas de pavimentos modificados químicamente:** en la Norma N·CMT-4·02.003/04 de la NIT-SCT se describen los requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de bases de pavimentos de concreto hidráulico, tratadas químicamente para modificar su comportamiento mecánico e hidráulico.

Los materiales que deben considerarse son granulares que no cumplen con alguno de los requisitos de calidad establecidos en la Norma N·CMT-4·02·002 de la NIT-SCT, Materiales para Bases Hidráulicas o que, por razones estructurales, requieren la incorporación de un producto que modifica alguna de sus características físicas, generalmente haciéndolos más rígidos y resistentes, mejorando su comportamiento mecánico e hidráulico, para ser colocados sobre la subbase o la subrasante y formar una capa de apoyo para una carpeta asfáltica o para una carpeta de concreto hidráulico.

14.6. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

14.6.1. Suelos y materiales para terracerías

14.6.1.1. Muestreo de Materiales para Terracerías

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del material con el que se pretende construir una terracería o bien del material que ya forma parte de la misma. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras, de acuerdo al Manual M·MMP-1·01/03 de la NIT-SCT.

El Manual mencionado en el párrafo anterior describe los procedimientos para la obtención de muestras de los suelos a que se refieren las Normas N·CMT-1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT-1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT-1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*, a fin de determinar las características de esos materiales o verificar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dichas Normas o en las especificaciones particulares del proyecto.

14.6.1.2. Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos

El objetivo es clasificar los materiales para terracerías, que pueden ser fragmentos de roca o suelos, mediante prueba índice, que permiten estimar algunas de las propiedades físicas y mecánicas del material y, con base en éstas, determinar su tipo de acuerdo con un sistema de clasificación de fragmentos de roca y suelos previamente definido.

El Manual M·MMP-1·02/03 de la NIT-SCT describe el procedimiento para clasificar los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT-1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT-1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT-1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*, de acuerdo con pruebas índice realizadas en campo y en laboratorio.

14.6.1.3. Secado, Disgregado y Cuarto de Muestras

Estos procedimientos permiten la preparación de las muestras representativas de los materiales para terracerías, mediante su secado, disgregado y cuarteo, con el propósito de obtener las porciones representativas para efectuar las pruebas de laboratorio necesarias. Debe recordarse que dicha representatividad puede perderse en algunos de los suelos, especialmente los finos estructurados, al secárseles en el laboratorio, por lo que en estos casos se evitará su secado.

El Manual M·MMP-1·02/03 de la NIT-SCT describe los procedimientos para el secado, disgregado y cuarteo de las muestras integrales de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT-1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT-1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT-1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

14.6.1.4. Agua

El Manual M·MMP·1·04/03 de la NIT-SCT describe el procedimiento para determinar el contenido de agua en los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

Esta prueba permite determinar el contenido de agua en los materiales para terracerías, con el fin de obtener una idea cualitativa de su consistencia o de su probable comportamiento. La prueba consiste en secar una muestra del material en el horno y determinar el porcentaje de la masa del agua, con relación a la masa de los sólidos. La determinación del contenido de agua se efectúa siguiendo el procedimiento descrito en la Cláusula E del Manual M·MMP·1·04/03 de la NIT-SCT; sin embargo, cuando se requiera una determinación rápida con menor precisión, se podrá aplicar la prueba rápida que se describe en la Cláusula F del Manual M·MMP·1·04/03 de la NIT-SCT.

14.6.1.5. Densidades Relativas y Absorción

El Manual M·MMP·1·05/03 de la NIT-SCT describe los procedimientos para determinar las densidades relativas del material seco, del material saturado y superficialmente seco y de sólidos, así como la absorción de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

Estas pruebas permiten determinar las relaciones masa-volumen de los materiales respecto a la relación masa-volumen del agua, así como la absorción de los materiales y se utilizan para calcular los volúmenes ocupados por el material o mezcla de materiales en sus diferentes condiciones de contenidos de agua y el cambio de masa del material debido a la entrada de agua en sus poros, con respecto a su condición en estado seco; las pruebas se realizan de distinta manera en la fracción del material retenida en la malla N°4 (4.75 mm) y en la porción que pasa dicha malla.

14.6.1.6. Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías

Las pruebas para la determinación de la Granulometría permiten determinar la composición por tamaños (granulometría) de las partículas que integran los materiales empleados para terracerías, mediante su paso por una serie de mallas con aberturas determinadas. El paso del material se hace primero a través de las mallas con la abertura más grande, hasta llegar a las más cerradas, de tal forma que los tamaños mayores se van reteniendo para obtener la masa que se retiene en cada malla, calcular su porcentaje respecto al total y determinar el porcentaje de la masa que pasa.

Lo anterior se desarrolla de acuerdo al Manual M·MMP·1·06/03 de la NIT-SCT, el cual describe los procedimientos de prueba, estándar y simplificado, para obtener la granulometría de los materiales compactables para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

14.6.1.7. Límites de Consistencia

Las pruebas referentes a los límites de consistencia permiten conocer las características de plasticidad de la porción de los materiales para terracerías que pasan la malla N°40 (0.425 mm), cuyos resultados se utilizan principalmente para la identificación y clasificación de los suelos. Las pruebas consisten en determinar el límite líquido, es decir, el contenido de agua para el cual un suelo plástico adquiere una resistencia al corte de 2.45 kPa (25 g/cm²); éste se considera como la frontera entre los estados semilíquido y plástico.

El límite plástico o el contenido de agua para el cual un rollito se rompe en tres partes al alcanzar un diámetro de 3 mm; éste se considera como la frontera entre los estados plástico y semisólido.

El índice plástico se calcula como la diferencia entre los límites líquido y plástico.

Lo anterior se desarrolla de acuerdo al Manual M·MMP·1·07/03 de la NIT-SCT, el cual refiere los procedimientos de prueba para determinar los límites de consistencia de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

14.6.1.8. Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica

El Manual M·MMP·1·08/03 de la NIT-SCT puntualiza los procedimientos de prueba para determinar las masas volumétricas, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro, de los materiales a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

Estas pruebas permiten determinar las masas volumétricas de los materiales para terracerías, es decir, las relaciones masa-volumen en diferentes estados o condiciones de acomodo, ya sean naturales o artificiales, así como los coeficientes de variación volumétrica al pasar de un estado a otro.

14.6.1.9. Compactación AASHTO

Las pruebas permiten determinar la curva de compactación de los materiales para terracerías y a partir de ésta inferir su masa volumétrica seca máxima y su contenido de agua óptimo. Consisten en determinar las masas volumétricas secas de un material compactado con diferentes contenidos de agua, mediante la aplicación de una misma energía de compactación en prueba dinámica y, graficando los puntos correspondientes a cada determinación, trazar la curva de compactación del material.

El Manual M·MMP·1·09/06 de la NIT-SCT describe los procedimientos de prueba AASHTO estándar (AASHTO T 99-95) y AASHTO modificada (AASHTO T 180-95), para determinar mediante la curva de compactación, la masa volumétrica seca máxima y el contenido de agua óptimo de los materiales para terracerías a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

14.6.1.10. Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio

El Manual M·MMP·1·11/13 de la NIT-SCT refiere el procedimiento para determinar el Valor Soporte de California (CBR), así como la expansión (Exp), de los materiales para terracerías, a que se remiten las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

Esta prueba permite determinar la expansión (Exp) originada por saturación de los materiales para terraplén, subyacente y subrasante, así como el Valor Soporte de California (CBR) en especímenes compactados dinámicamente, para verificar que cumplan con lo indicado en las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*, respectivamente.

La prueba consiste en compactar dinámicamente tres especímenes del material bajo estudio, con diferentes energías de compactación y un contenido de agua igual al del material en el banco a 1.5 m de profundidad; someter a cada espécimen a un proceso de saturación para obtener su cambio volumétrico, y una vez saturado, introducir en él un pistón de penetración de acero, con el propósito de cuantificar las cargas necesarias para lograr magnitudes de penetración específicas. La expansión (Exp) de cada espécimen es la relación en porcentaje del incremento de su altura debido a la saturación, entre su altura original y la menor relación en porcentaje de las cargas aplicadas para producir penetraciones de 2.54 mm y 5.08 mm, entre las cargas de referencia de 13.34 kN (1,360 kg) y 20.01 kN (2,040 kg) respectivamente, es su correspondiente Valor Soporte de California (CBR).

Con los datos obtenidos de los tres especímenes, se estiman la expansión (Exp) y el Valor Soporte de California (CBR) que tendría el material compactado al grado de compactación especificado en la Tabla 1 de las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*, según sea el caso, con el contenido de agua mencionado.

14.6.1.11. Valor Soporte de California (CBR) en el lugar

Esta prueba permite determinar el Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, de las terracerías compactadas cuando estén constituidas por suelos finos según la clasificación establecida en el Manual M·MMP·1·02 de la NIT-SCT, Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos, que se utiliza para diseñar o verificar los espesores del pavimento. La prueba consiste en introducir un pistón de penetración de acero en la terracería compactada; la relación en porcentaje de la carga aplicada para producir una penetración de 2.54 mm entre una carga de referencia de 13.97 kN (1,425 kg), será el CBR correspondiente.

El Manual M·MMP·1·12/13 de la NIT-SCT describe el procedimiento para determinar, en el lugar, el Valor Soporte de California (CBR), de los materiales que conforman las terracerías compactadas a que se refieren las Normas N·CMT·1·01 de la NIT-SCT, *Materiales para Terraplén*, N·CMT·1·02 de la NIT-SCT, *Materiales para Subyacente* y N·CMT·1·03 de la NIT-SCT, *Materiales para Subrasante*.

14.6.2. Materiales para estructuras

14.6.2.1. Muestreo de Cemento Portland

El Manual M·MMP·2·02.001/00 de la NIT-SCT describe los procedimientos para la obtención de muestras de los cementos Portland o Portland Especial a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·001 de la NIT-SCT, Calidad del Cemento Portland, a fin de verificar que éstos cumplan con los requisitos de calidad descritos en dicha Norma.

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de cemento en estudio e incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras. Cuando el cemento se suministra en sacos, el muestreo se realiza en el vehículo de transporte o en el almacenamiento, directamente de los mismos envases cerrados en que el cemento fue expedido. Cuando el cemento se maneja a granel, el muestreo se realiza en los vehículos de transporte, en la banda transportadora que descarga el cemento en el lugar de almacenamiento, o en las tolvas, silos u otros depósitos donde éste se almacena.

14.6.2.2. Muestreo de Concreto Hidráulico

El muestreo consiste en obtener una porción representativa de una mezcla de concreto fresco tal y como es entregado en la obra, que se llevará a cabo inmediatamente después del proceso de descarga del tambor de la mezcladora o del vehículo de transportación. El muestreo incluye además las operaciones de llenado de los moldes, envasado, identificación y transporte de las muestras.

El Manual M·MMP·2·02.055/06 de la NIT-SCT detalla los procedimientos para la obtención de muestras del concreto fresco a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·005 de la NIT-SCT, Calidad del Concreto Hidráulico, a fin de comprobar que cumplan con los requisitos de calidad descritos en dicha Norma.

14.6.2.3. Revenimiento de Concreto Hidráulico

El Manual M·MMP·2·02.056/06 de la NIT-SCT puntualiza el procedimiento de prueba para determinar el revenimiento del concreto hidráulico en estado fresco a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·005 de la NIT-SCT, *Calidad del Concreto Hidráulico*.

Esta prueba permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco, con tamaño nominal de agregado de hasta 37.5 mm (1.5 in) y puede aplicarse a muestras de concreto fresco que contengan agregados de mayor tamaño, siempre que estos sean removidos mediante el procedimiento de cribado en húmedo descrito en el Manual M·MMP·2·02·055 de la NIT-SCT, *Muestreo de Concreto Hidráulico*. La prueba consiste en colocar, mediante un procedimiento previamente definido, una muestra de concreto fresco en un molde cónico truncado de dimensiones específicas, midiendo la disminución en la altura del cono de concreto una vez que el molde es retirado.

14.6.2.4. Resistencias a la compresión simple de cilindros de concreto

Esta prueba permite determinar la resistencia a la compresión simple del concreto hidráulico ($f'c$), con valores esperados menores de 51 MPa (500 kg/cm²), utilizando especímenes cilíndricos moldeados, con una relación altura/diámetro de 2 a 1. Este método no es aplicable a corazones de concreto endurecido o mortero, con diámetros menores de 100 mm.

El Manual M·MMP·2·02·058/06 de la NIT-SCT describe el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión simple en especímenes cilíndricos de concreto hidráulico, a que se refiere la Norma N·CMT·2·02·005 de la NIT-SCT, Calidad del Concreto Hidráulico, en muestras tomadas conforme al Manual M·MMP·2·02·055 de la NIT-SCT, *Muestreo de Concreto Hidráulico en especímenes cilíndricos*.

14.6.2.5. Superficie de Rodamiento (Índice de Perfil)

Esta prueba permite obtener el perfilograma o perfil longitudinal de la superficie de rodamiento y determinar, a partir de él, el índice de perfil del pavimento. La prueba consiste en medir las irregularidades en la superficie de rodamiento que se obtienen al desplazar el perfilógrafo tipo California, a lo largo de una franja de pavimento por estudiar.

El Manual M·MMP·4·07·002/06 de la NIT-SCT se refiere el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un perfilógrafo tipo California, el índice de perfil (Ip) de la superficie de rodamiento de un pavimento, a que se refiere la Norma N·CTR·CAR·1·04·009, *Carpetas de Concreto Hidráulico*; N·CSV·CAR·3·02·009 de la NIT-SCT, *Fresado de la Superficie de Rodamiento en Pavimentos de Concreto Hidráulico*.

14.6.3. Materiales para señalamiento y dispositivos de seguridad

Las siguientes Normas describen los procedimientos para el uso de materiales para señalamiento y dispositivos de seguridad, que se deben llevar a cabo por parte de la empresa constructora.

- **N·CTR·CAR·1·07·001/00:** *Marcas en el Pavimento: La pintura que se aplicará será líquida y su base será solvente.*
- **N·CTR·CAR·1·07·002/00:** *Marcas en Guarniciones.*
- **N·CTR·CAR·1·07·004/02:** *Violetas y Botones.*
- **N·CTR·CAR·1·07·005/00:** *Señales Verticales Bajas.*
- **N·CTR·CAR·1·07·006/00:** *Señales Verticales Elevadas.*
- **N·CTR·CAR·1·07·016/00:** *Señalamiento y Dispositivos para Protección en Obras.*

Nota: todas las Normas mencionadas corresponden a la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT).

El material utilizado en señalamiento horizontal y verticales bajas, cumplirá con lo establecido en las siguientes Normas:

- **N·CMT·5·01·001/05:** *Pinturas para Señalamiento Horizontal.*
- **N·CMT·5·01·002/05:** *Pinturas para Señalamiento Vertical.*
- **N·CMT·5·02·002/05:** *Láminas y Estructuras para Señalamiento Vertical.*

- **N-CMT-5-03-001/05:** *Calidad de Películas Reflejantes.*
- **N-CMT-5-04/08:** *Vialetas y Botones Reflejantes.*

Nota: todas las Normas mencionadas corresponden a la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (NIT-SCT).

14.7. ENSAYOS DE LABORATORIO

Los laboratorios de pruebas y calibración juegan un papel muy importante dentro de la construcción de un túnel, ya que son elementos de apoyo para determinar o verificar las propiedades de los materiales, de acuerdo a criterios establecidos.

En México, los estándares de producción han sido desarrollados por las dependencias gubernamentales, contando con el apoyo de la iniciativa privada quienes, a final de cuentas, son los interesados directos de aplicar dichos estándares.

Para garantizar tanto la confiabilidad de los procedimientos de pruebas como de los resultados obtenidos, es necesario contar con el reconocimiento, por parte de un organismo que tenga la capacidad técnica y administrativa del personal del laboratorio para el desarrollo de las pruebas, en las cuales se declara apto.

Este reconocimiento se denomina Acreditación. Aunque en México han sido distintos los organismos responsables de otorgar este reconocimiento, actualmente es emitido por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

La Acreditación de laboratorios de prueba se basa en la evaluación de la conformidad de un Sistema de Calidad que cumpla con los requisitos administrativos y técnicos establecidos en una norma de calidad de referencia.

Los requisitos para la acreditación que debe cumplir un laboratorio de pruebas o de calibración, han sido modificados continuamente, adaptándolos secuencialmente a la normativa internacional.

Los criterios empleados en la evaluación de estos requisitos, se establecen en la norma mexicana NMX-EC-17025:2000 “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de calibración y prueba”, emitida por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación (IMNC). Esta norma tiene su fundamento en la guía ISO/IEC 17025:1999.

Dada la importancia que representa la acreditación de laboratorios, en los documentos entregados por la empresa constructora a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, se deben describir las características principales del sistema de calidad que pretende emplear y cumplir con los requisitos técnicos y administrativos necesarios para obtener la calidad requerida de los trabajos.

14.8. ANÁLISIS Y CRITERIOS ESTADÍSTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

Como se mencionó anteriormente el Manual M.CAL.1.03/03 de la NIT-SCT contiene los procedimientos para analizar, mediante cartas de control u otros métodos estadísticos, los resultados de las mediciones, pruebas de campo o pruebas de laboratorio que se realicen a muestras seleccionadas al azar con un procedimiento basado en tablas de números aleatorios, conforme lo indica el Manual M-CAL-1-02 de la NIT-SCT, *Criterios Estadísticos de Muestreo*, para examinar sus propiedades, verificar la conformidad con los requisitos de calidad establecidos en el proyecto o aprobados por la Secretaría, detectar las deficiencias y desviaciones significativas en los procesos de construcción, y aplicar, en forma oportuna y económica, las medidas correctivas que sean necesarias.

14.8.1. Causas de variación en las características por controlar

Los valores de características medibles (para determinar el valor de una magnitud, como longitud, superficie, volumen, masa, elevación, resistencia y temperatura, o de otros parámetros susceptibles de ser cuantificados, como granulometría, contenido de agua, contenido de cemento asfáltico, grado de compactación y estabilidad Marshall, entre otros) que resultan como consecuencia de un proceso de producción que se ejecute normalmente, siempre estarán sujetos a variaciones, y los resultados que se midan al examinar los productos tenderán, generalmente, a una distribución de datos del tipo Normal, donde la mitad de los resultados estarán por debajo de un valor medio y la otra mitad por arriba; ello obliga a que, siempre que se especifique el valor de un requisito en el proyecto, se defina el nivel de calidad requerido mediante el establecimiento de las tolerancias aceptables, según la importancia del requisito especificado y de acuerdo con la factibilidad real de cumplirlas.

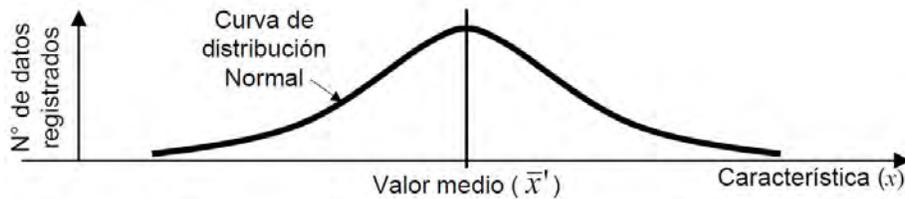


Figura 14.8. Distribución Normal de Datos.

Las causas que producen variaciones son:

- **Causas aleatorias:** son propias de un proceso de producción específico, debidas al azar, que se ignoran o son inevitables y que normalmente producen variaciones relativamente pequeñas, por ejemplo los cambios de temperatura ambiente durante la ejecución de un proceso a temperatura controlada o las variaciones propias de los insumos utilizados.
- **Causas asignables:** son ajenas al proceso mismo y debidas a sucesos que no se presentan normalmente durante su ejecución; son identificables, susceptibles de ser eliminadas y generalmente producen variaciones importantes, como el desajuste del equipo utilizado, errores en su operación y la utilización de insumos inapropiados.

14.8.2. Proceso Bajo Control Estadístico

Cuando en un proceso de producción específico sólo actúan las causas aleatorias, se dice que el proceso esté bajo control estadístico, como se muestra en la Figura 14.9.

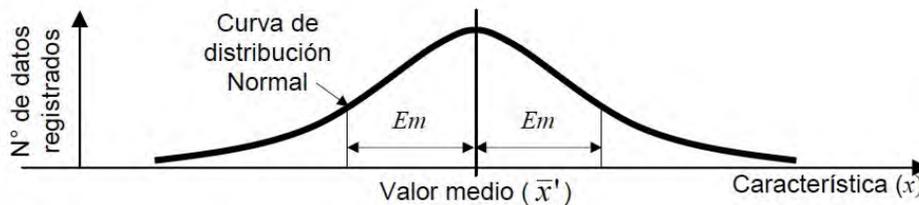


Figura 14.9. Rango de variación de los resultados del proceso por causas aleatorias de acuerdo al Manual M.CAL.1.03/03 de la NIT-SCT.

La variación de los resultados que inevitablemente se presentará por efectos debidos al azar, estará en el intervalo dado por las siguientes ecuaciones:

$$\bar{X} \pm E_m \tag{14.1}$$

Donde:

\bar{X} = Media de la población, representada por el promedio aritmético de los valores de la característica por controlar en todos los elementos que se produzcan con el mismo proceso (valor medio).

E_m = Error inherente del proceso de producción, definido por la siguiente ecuación.

$$E_m = \frac{t\sigma'}{\sqrt{n}} \quad (14.2)$$

En la que:

t = Factor que depende del nivel de confianza con el que se desea saber si el proceso está bajo control y por lo tanto define la probabilidad de que la variación de los valores medidos se deba a causas aleatorias.

σ' = Desviación estándar de la población; desviación determinada considerando todos los elementos que se produzcan con el mismo proceso.

n = Tamaño de la muestra; número de elementos que integran cada muestra.

14.8.3. Proceso fuera de control estadístico

Cuando en un proceso de producción específico actúan una o más de las causas asignables, se dice que el proceso está fuera de control estadístico, en cuyo caso existirá una gran probabilidad de que las variaciones estén fuera del intervalo, siendo entonces necesario identificar las causas que produjeron la salida de control, con el propósito de eliminarlas oportunamente para evitar la no conformidad con los requisitos establecidos.

Esto hace necesario realizar el examen de los resultados obtenidos en todas las etapas del proceso, efectuando diariamente los análisis estadísticos que se requieran para controlarlo y detectar las deficiencias y desviaciones significativas que deban corregirse, tan pronto como ocurran, obteniendo así un proceso bajo control con el que se logra la conformidad de todos los requisitos, en el menor tiempo y al menor costo posible.

14.8.4. Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos de los resultados que se obtengan de las mediciones y pruebas en todas las etapas de un proceso de producción específico, que permiten inferir si el proceso está bajo control estadístico o detectar oportunamente la ocurrencia de causas asignables que lo pongan fuera de control estadístico, se pueden realizar a través de cartas de control o mediante pruebas de hipótesis.

14.9. INFORMES DE CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad entendido como un conjunto de actividades orientada al cumplimiento de los requisitos de la calidad establecidos en el proyecto, dichas actividades comprenden principalmente el examen de los resultados obtenidos en un proceso de producción, mediante mediciones, muestreos y pruebas, tanto de campo como de laboratorio, que permiten evaluar las propiedades inherentes a un concepto de obra, comparándolas con las especificadas del proyecto, así como los análisis estadísticos de esos resultados para decidir la aceptación, rechazo o corrección del concepto.

La verificación de calidad es el conjunto de actividades que permiten comprobar que los conceptos de obra, han cumplido con las especificaciones del proyecto, para ratificar la aceptación, rechazo o corrección de cada concepto y comprobar el cumplimiento del programa de control de calidad.

Los resultados de todas las pruebas realizadas a los materiales, se concentran en formatos codificados, denominados informes, que corresponde al tipo de material que se está empleando en la etapa del proceso constructivo, los cuales pueden graficarse o compararse con los valores de la normativa correspondiente o requerida para el tipo de material en análisis, y determinar si cumple con dicha norma.

El jefe de control de calidad elaborará los informes, en los que se presenten, mediante tablas, gráficas, croquis y fotografías, los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas, incluyendo la

información necesaria para su interpretación; las cartas de control y los análisis estadísticos realizados; en su caso, las acciones y los tratamientos de los elementos rechazados de cada concepto de trabajo analizado y el dictamen de calidad.

14.9.1. Requisitos que debe cumplir un informe de control de calidad

Requisitos que debe cumplir un informe:

- Nombre de la obra.
- Fecha de informe.
- Número de informe.
- Signatario responsable (Laboratorista y Jefe de Control de Calidad o Jefe de Verificación de Calidad).
- Número de muestra.
- Tipo de Informe.
- Lugar y frente de muestreo.
- Tipo de material, capa a emplear, etc.
- Análisis Estadístico.

14.9.2. Tipos de informes de control de calidad

- **Informes diarios de control de calidad:** elaborados para cada material, frente y concepto de obra al término de cada día, que presenten los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas durante el día, señalando aquellos que, en su caso, no cumplan con las especificaciones del proyecto o que muestren desviaciones en el proceso de producción que deban corregirse inmediatamente para no afectar la calidad, así como las posibles causas de falla y las recomendaciones para corregirlas.

Para cada uno de los resultados se indicarán los números de muestra y de pruebas correspondientes, así como el sitio, material, frente, concepto de obra, volumen representado y fecha en que se obtuvo la muestra o se ejecutó la prueba de campo y en su caso, la fecha en que se realizó la prueba de laboratorio. En cada informe diario se incluirán además el nombre de la obra, el número y la fecha del informe y el nombre del laboratorista que haya realizado las pruebas, así como el nombre y la firma del Jefe de Control de Calidad, quien lo entregará al Superintendente, a más tardar el día siguiente de su elaboración. El Superintendente asentará en el informe la fecha y hora en que lo reciba, así como su firma.

- **Informes mensuales de control de calidad:** elaborados al término de cada mes, que contengan como mínimo la descripción sucinta de los trabajos de control de calidad ejecutados en el periodo del que se informe, incluyendo los realizados para el control interno; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados, para cada material, frente y concepto de obra; en su caso, la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto o que mostraron desviaciones en el proceso de producción o en el procedimiento de construcción, señalando las causas de falla y las acciones emprendidas para corregirlas, así como los resultados de su corrección, mismos que anularán los resultados no satisfactorios que provocaron la corrección.

Debe elaborarse también el dictamen que certifique que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto.

Como apéndices se incluirán el informe del control interno a que se refiere el Inciso E.7.4. de la Norma N·CAL:1·01/05 de la NIT-SCT; un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes del control de calidad y las copias de todos los informes diarios, elaborados en ese periodo.

Los informes mensuales serán firmados por el Jefe de Control de Calidad y por el Superintendente, quien los entregará al Residente o, en su caso, al Supervisor, junto con sus estimaciones, como se establece en la Fracción G.3. de la Norma N-LEG-3 de la NIT-SCT, Ejecución de Obras; así mismo, entregará una copia al responsable de la verificación de la calidad.

- **Informe final de control de calidad;** elaborado al cierre de la obra, contendrá como mínimo los objetivos, alcances y descripción sucinta de los trabajos para el control de calidad ejecutados desde el inicio de la obra, incluyendo los realizados para el control interno; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados en toda la obra, para cada material, frente y concepto de obra.

Asimismo, se debe elaborar el dictamen que certifique que la obra se ejecutó de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas especificadas en el proyecto. Como apéndice se incluirán el último informe del control interno a que se refiere el inciso E.7.4 de la Norma N-CAL-1-01/05 de la NIT-SCT, así mismo se entregará un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la obra terminada.

El informe final será firmado por el Jefe de Control de Calidad y por el Superintendente, quien lo entregará al Residente o, en su caso, al Supervisor junto con su estimación de cierre, como se establece en la Fracción G.3 de la Norma N.LEG.3 de la NIT-SCT, Ejecución de Obras; así mismo, entregará una copia al responsable de la verificación de la calidad.

- **Informe del control interno;** se elaboran al término de cada mes, deben contener como mínimo la descripción sucinta de los trabajos para el control interno realizados en el periodo que se informe; las pruebas realizadas, sus resultados y los análisis estadísticos efectuados, para cada material, frente y concepto de obra; en su caso la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto, señalando las causas de falla y las acciones recomendadas para corregirlas. También se debe elaborar el dictamen que confirme que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto.

Los informes de control interno serán firmados por el responsable de esta actividad y por la dirección de la empresa constructora, y se entregarán al Jefe de Control de Calidad para su inclusión en los informes mensuales y final.

14.9.3. Informes de control de calidad

La Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT o, si la verificación de la calidad se ejecuta por contrato, el Jefe de Verificación de Calidad, elaborará los informes que se indican a continuación, en los que se presenten, mediante tablas, gráficas, croquis y fotografías, los resultados de las mediciones y pruebas ejecutadas para la verificación, incluyendo la información necesaria para su interpretación; las cartas de control y los análisis estadísticos realizados; en su caso, las acciones y los tratamientos recomendables de los elementos rechazados de cada concepto de trabajo analizado; y el dictamen de verificación de la calidad.

- **Informes mensuales de verificación de calidad;** elaborados al término de cada mes, que contengan como mínimo la descripción sucinta de los trabajos de verificación de la calidad ejecutados en el periodo del que se informe; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas, y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados, que incluyan los correspondientes a control de calidad ejecutados por la empresa constructora, así como los de la verificación de las líneas y niveles, para cada material, describiendo el frente y concepto de obra, de manera tal que se distingan cuáles son los datos de la comprobación; en su caso, la indicación de los materiales y conceptos de obra que fueron rechazados por no cumplir con las especificaciones del proyecto o que mostraron desviaciones en el proceso de producción o en el procedimiento de construcción, señalando las causas de falla y las acciones emprendidas por la empresa constructora para corregirlas, así como los resultados de su corrección, mismos que anularán los resultados no

satisfactorios que provocaron la corrección; el dictamen que certifique que el control de calidad fue ejecutado correctamente por la empresa constructora y que sus resultados garantizan que la obra ha sido ejecutada de acuerdo con las características de los materiales, de los equipos de instalación permanente, de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto.

Como apéndices se incluirán un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la verificación de la calidad y las copias de todos los informes extraordinarios a que se refiere el Inciso siguiente, elaborados en ese periodo. Los informes mensuales serán firmados por el Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente, como se establece en el Inciso D.2.26. de la Norma N-LEG-4 de la NIT-SCT, Ejecución de Supervisión de Obras.

- **Informes extraordinarios de verificación de calidad;** se elabora tan pronto como se detecten desviaciones en la calidad de un material, o inmediatamente después de que se concluya una verificación extraordinaria del control de calidad, que haya solicitado el Residente, conforme a lo indicado en el Inciso D.2.24. de la Norma N-LEG.4 de la NIT-SCT, *Ejecución de Supervisión de Obras*. En los informes extraordinarios se presentarán los resultados de las mediciones y pruebas que hayan hecho evidente las desviaciones, realizadas tanto para el control de calidad contenidas en el informe diario correspondiente elaborado por Jefe de Control de Calidad, como para la propia verificación, señalando las posibles causas de falla y las recomendaciones para corregirlas. Para cada uno de los resultados se indicarán los números de muestra y de prueba correspondiente, así como el sitio, material, frente, concepto de obra, volumen representado y fecha en que se obtuvo la muestra o se ejecutó la prueba de campo y en su caso, la fecha en que se realizó la prueba de laboratorio.

En cada informe extraordinario se incluirán además el nombre de la obra, el número y la fecha del informe y el nombre del laboratorista que haya realizado las pruebas, así como el nombre del laboratorista que haya realizado las pruebas, así como el nombre y la firma del Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará, a más tardar el día siguiente de su elaboración, al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente, como se establece en el Inciso D.2.26. de la Norma N-LEG.4 de la NIT-SCT, Ejecución de Supervisión de Obras. El Residente asentará en el informe la fecha y hora en que lo reciba, así como su firma.

- **Informe final de la verificación de calidad;** se elabora al cierre de la obra, contendrá como mínimo los objetivos, alcances y descripción sucinta de los trabajos para la verificación de la calidad ejecutados desde el inicio de la obra; las cartas de control de las mediciones y pruebas realizadas y los resultados de otros análisis estadísticos efectuados en toda la obra, para cada material, frente y concepto de obra; el dictamen que certifique que el control de calidad fue ejecutado correctamente por la empresa constructora y que sus resultados garantizan que la obra fue ejecutada de acuerdo con las características de los conceptos de obra, de los acabados y las tolerancias geométricas, especificadas en el proyecto. Como apéndice se incluirá un informe fotográfico que muestre los aspectos más relevantes de la verificación de la calidad. El informe final será firmado por el Jefe de Verificación de Calidad, quien lo entregará al Jefe de la Unidad General de Servicios Técnicos, para su revisión, aprobación y entrega al Residente.

14.10. CARTAS DE CONTROL DE CALIDAD

Las cartas de control a que se refieren las fracciones D.4. y G.3. de la Norma N-LEG-3, Ejecución de Obras; D.2. de la Norma N-LEG-4 de la NIT-SCT, *Ejecución de Supervisión de Obras*; E.6. y E.7. de la Norma N-CAL-1-01 de la NIT-SCT, *Ejecución del Control de Calidad Durante la Construcción y/o Conservación*, son gráficas en las que en uno de sus ejes se indica el número de muestra y en el otro los valores del parámetro estadístico según el tipo de carta que se utilice, asociado a la característica medible o contable bajo control.

En ella se grafican los valores de dicho parámetro obtenidos de cada muestra; uniendo con líneas los puntos dibujados se obtiene una poligonal abierta denominada gráfica de tendencias; en el valor correspondiente al promedio de las magnitudes del parámetro estadístico, se traza una paralela al eje de los números de las muestras, denominada calidad promedio, de la que depende la posición de los límites estadísticos entre los que se considera que las variaciones se deben a causas aleatorias, definiéndose así la zona de aceptación.

Esos límites estadísticos, que corresponden exclusivamente al proceso de producción que se controla, se proyectan hacia delante, de forma que, si los valores del parámetro estadístico de las siguientes muestras que se obtengan están en la zona de aceptación, existe una gran probabilidad de que sus variaciones se deban a causas aleatorias, pero si algún valor se ubica fuera de los límites estadísticos, existe la misma probabilidad de que se deba a una o varias causas asignables, momento en que se han de identificar esas causas para eliminarlas y mantener el proceso bajo control estadístico.

Los límites de especificación que corresponden a las tolerancias especificadas y éstos resultan más amplios que los límites estadísticos, como se muestran en la siguiente figura.

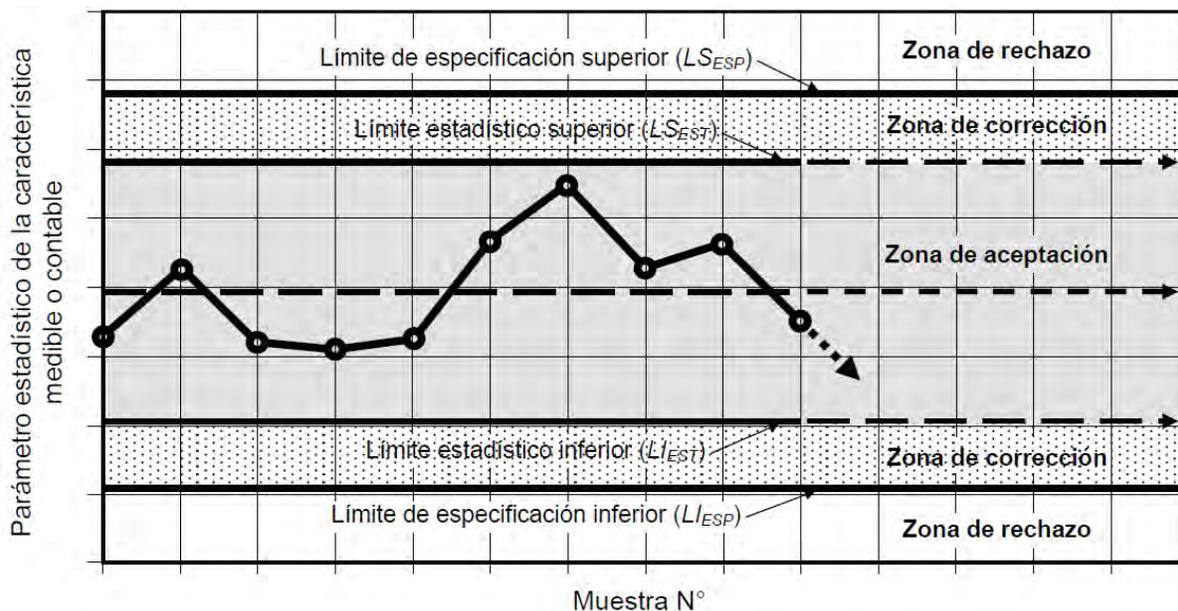


Figura 14.10. Carta de control típica con límites de especificación.

Entonces se generan zonas de corrección y zonas de rechazo, de manera que si los valores obtenidos de las muestras están dentro de los límites estadísticos significa que el proceso está bajo control, es decir, que sólo están actuando causas aleatorias, pero si algún valor se ubica en una zona de corrección, es muy probable que estén actuando una o varias causas asignables, sin que exista una no conformidad con el requisito establecido, pues aún se estará dentro de tolerancias, por lo que es momento de corregir el proceso; de lo contrario, se corre el riesgo de caer en zona de rechazo y generarse una no conformidad, teniendo que parar el proceso hasta que sea corregido.

Si los límites de especificación forman una franja más estrecha que la de los límites estadísticos, significa que, o es necesario mejorar el proceso hasta lograr el angostamiento de la zona de aceptación, o bien, que las tolerancias especificadas no son realistas, lo que ha de demostrarse técnicamente, en cuyo caso deberá revisarse la especificación correspondiente.

Generalmente, cuando la zona de aceptación no está razonablemente centrada respecto a los límites de especificación, es necesario ajustar el proceso hasta lograr que la calidad promedio se aproxime al requisito establecido.

Como los límites estadísticos de una carta de control corresponden exclusivamente al proceso de producción que se controla, ellos se determinan analizando estadísticamente las características de los productos obtenidos a través del proceso, una vez que éste se ha establecido normalmente, pero al inicio de la producción no se cuenta con datos que permitan determinar esos límites, de forma que el control se puede iniciar utilizando límites estadísticos dados por la experiencia en otros procesos de producción similares.

Una vez que el proceso ha generado información suficiente, se obtienen los límites estadísticos correspondientes, pero ha de considerarse que, durante la etapa inicial de producción, es posible que los límites determinen una zona de aceptación más amplia que la del proceso establecido normalmente, pues esa etapa se puede considerar como de entrenamiento y aprendizaje, en cuyo caso, para calcular los límites del proceso normal, han de desecharse los datos de la etapa inicial que muestren una desviación importante respecto a los datos del proceso normal.

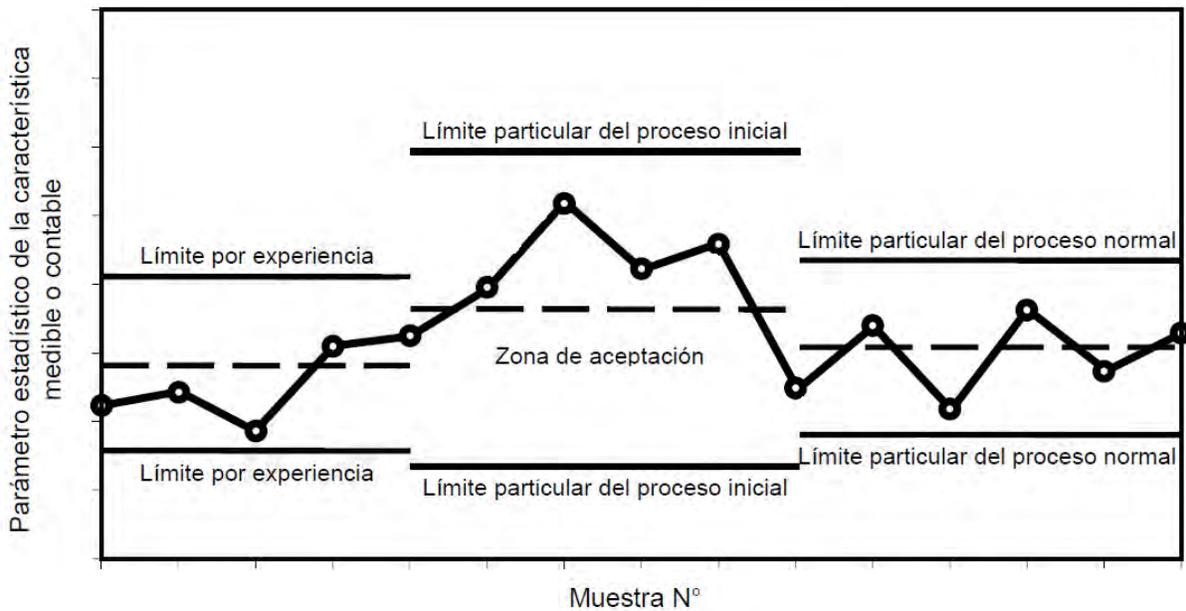


Figura 14.11. Límites estadísticos para diferentes etapas del proceso.

En teoría, los límites estadísticos calculados se mantienen constantes para un proceso establecido normalmente, lo que permite proyectarlos hacia el futuro, mientras el proceso no se altere, pues cualquier cambio en el procedimiento, en los insumos o en el equipo, lo convierte en un proceso diferente, con límites distintos.

Sin embargo, aunque dichos cambios no se presenten, es conveniente recalcular los límites periódicamente, por ejemplo, al término de cada semana de trabajo, ya que generalmente en los procesos de construcción existen muchas causas aleatorias, como las debidas a condiciones meteorológicas, que cambian con la época del año.

Las cartas de control más comúnmente utilizadas son las que se menciona a continuación, cuyas características y detalles se mencionan en la Norma M.CAL.1.03/03 de la NIT-SCT.

REFERENCIAS

- 1 Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT). Libro: CAL. Control y Aseguramiento De Calidad Parte 1 (Control de Calidad) y Parte 2 (Aseguramiento de Calidad).
- 2 Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT). Libro: CMT. Características De Los Materiales.
- 3 Secretaria de Comunicaciones y Transportes, Normativa para la Infraestructura del Transporte (NIT-SCT). Libro: MMP. Métodos de Muestreo y Pruebas de Materiales.
- 4 López J. C. Manual de Túneles y Obras Subterráneas, Tomo II, Ingeniería de Túneles, 2011.