
CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS PARA LAS CARRETERAS DE LA REPÚBLICA MEXICANA

**Secretaría de
Comunicaciones y
Transportes**

**Dirección General de Servicios
Técnicos**



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	Pág. 2
OBJETIVOS	3
ÁMBITO DE APLICACIÓN	4
METODOLOGÍA PARA EL USO DEL CATÁLOGO	5
A. Rango de tránsito vehicular	
B. Regionalización de la República Mexicana	
C. Caracterización de materiales	
SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	13
REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS	16
DEFINICIONES	18
BIBLIOGRAFÍA	20
ANEXOS	
CAPAS DE RODADURA	
A. Tipos de capas de rodadura	
B. Selección de capa de rodadura	
CAPAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO	
A. Carpeta de concreto asfáltico	
B. Carpeta de concreto hidráulico	
BASES ESTABILIZADAS	
EJEMPLO	

INTRODUCCIÓN

En este documento se presenta el “Catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana”. En primer lugar se destacan los objetivos, el ámbito de aplicación, la metodología para su uso, las secciones estructurales de pavimentos, rehabilitación de estructuras de pavimentos, definiciones y bibliografía. Finalmente se incluyen anexos referentes a capas de rodadura, capas superficiales del pavimento, bases estabilizadas y un ejemplo.

El catálogo fue desarrollado gracias a la iniciativa de la Dirección General de Servicios Técnicos, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Con este catálogo se pretende cubrir de manera práctica la necesidad de una guía útil para recomendar y verificar que se proponga una estructura de pavimento mínima en los estudios y proyectos de pavimentos nuevos y rehabilitación de los existentes.

Para realizar este catálogo fue necesario regionalizar la República Mexicana en cuanto a tipos de materiales que componen el terreno natural, las temperaturas mínimas y máximas, y la precipitación pluvial. Esta información es importante ya que sirvió de partida para los diseños de las secciones estructurales de pavimentos que se presentan en este catálogo, incluso los datos de regionalización pueden utilizarse como información de carácter general para otro tipo de estudios o proyectos.

Se efectuó el análisis de los datos de tránsito, contenido en los libros de “Datos Viales” que publica la Dirección General de Servicios Técnicos, con el objeto de caracterizar este factor. El resultado obtenido permitió establecer rangos de tránsito en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 t, bajo los cuales podrán ser seleccionadas las secciones estructurales para un proyecto en particular.

Las secciones propuestas en este catálogo corresponden a las que se utilizan con más frecuencia en México, incluyen pavimentos flexibles, semirrígidos y de concreto hidráulico.

Las secciones estructurales de pavimentos fueron diseñadas utilizando el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM para pavimentos flexibles en la versión más reciente (1999) y el método AASHTO 1993 para pavimentos rígidos y semirrígidos (con base estabilizada con cemento Portland).

Los parámetros de cálculo como el módulo resiliente de mezclas asfálticas y suelos, fueron obtenidos en ensayos de laboratorio realizados a los materiales extraídos de un muestreo efectuado tanto en bancos de materiales, como en los pavimentos existentes en las carreteras de la República Mexicana.

OBJETIVOS

El catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana tiene como finalidad ser una guía rápida de consulta para todos los involucrados en la realización de estudios y proyectos de pavimentos nuevos y rehabilitación de los existentes.

Con esta guía se pretende que en los estudios y proyectos de pavimentos se proponga una estructura mínima, según las condiciones regionales y de tránsito de cada proyecto en particular.

NOTA: Este catálogo no debe considerarse como mandatorio sobre un diseño realizado adecuadamente para un proyecto en particular.

ÁMBITO DE APLICACIÓN

El catálogo tiene un ámbito de aplicación general como guía. Es aplicable tanto a carreteras normales como a carreteras de altas especificaciones. Se debe entender cómo se seleccionan las estructuras de pavimentos de este catálogo y asegurarse, que tanto el clima como las características de los materiales que se utilizarán durante la construcción y las del terreno natural donde se construirá o donde existe el pavimento analizado, sean bien conocidas y se encuentren dentro de los rangos indicados en este documento.

Este catálogo ha sido elaborado para los climas, tránsito vehicular y materiales más comunes existentes en la República Mexicana. Las secciones de pavimentos presentadas en este catálogo no son aplicables en los sitios que tengan condiciones particulares como islas, desiertos, zonas lacustres o regiones pantanosas. Tampoco se han considerado soluciones de aplicación particular como las arenas-emulsión, el uso de geosintéticos, etc.

METODOLOGÍA PARA EL USO DEL CATÁLOGO

Los datos requeridos para el uso del catálogo son los siguientes:

1. Rango de tránsito vehicular

El procedimiento para determinar el tránsito de diseño se presenta en el tema "Tránsito vehicular de diseño" de este catálogo; se parte de los aforos de tránsito vehicular para pavimentos existentes o del estudio de tránsito estimado para pavimentos nuevos.

2. Región donde se localiza el pavimento

Para determinar la región donde se encuentra o donde se construirá el pavimento se requiere conocer la temperatura máxima y mínima, la precipitación pluvial máxima y el tipo de terreno natural del sitio. El procedimiento se indica en el tema "Determinación de la región donde se ubica el pavimento".

3. Caracterización de materiales

Es necesario verificar que los materiales que se utilizarán para construir las capas del pavimento cumplan con las características mecánicas establecidas en este catálogo.

En el inciso C "Caracterización de materiales", se indican las características mecánicas de los materiales que se utilizan en este documento. Si los materiales disponibles no cumplen con los valores mínimos, las secciones presentadas en este catálogo no serán aplicables.

Conocidos los datos anteriores para el estudio o proyecto que se esté realizando, se podrán seleccionar de este catálogo, aquellas estructuras de pavimento que correspondan a los valores obtenidos para dichos datos.

A. Rango del tránsito vehicular

En este catálogo se define el tránsito de proyecto en términos de la suma de ejes sencillos equivalentes de 8.2 t (ΣEE), considerando que un eje sencillo es aquel cuya carga "estándar" es 8.2 t y está formado por cuatro llantas con presión de contacto de 5.8 kg/cm².

Para pavimentos existentes, el cálculo de la ΣEE se obtiene a partir de los aforos de tránsito registrados y para pavimentos nuevos se calcula a partir de la estimación del tránsito vehicular futuro (previsto), a partir de un estudio de asignación de tránsito.

Tránsito vehicular de diseño

El tránsito vehicular de diseño se refiere al tránsito proyectado a futuro, se calcula a partir del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) último registrado o previsto, para carreteras existentes o nuevas, respectivamente. El horizonte de proyecto considerado en este catálogo para todos los tipos de pavimentos es de 20 años.

Para el cálculo del tránsito de diseño se requiere conocer la tasa de crecimiento del tránsito, la cual se obtendrá mediante la técnica de mínimos cuadrados. Dicha tasa se determina a partir de un TDPA inicial y un TDPA final. Se considera como TDPA inicial el del primer aforo disponible; en el caso de tener aforos vehiculares de más de cinco años, utilizar como TDPA inicial el dato de cinco años atrás y como TDPA final el aforo más reciente. El resultado obtenido se analizará de acuerdo al comportamiento del tránsito de la carretera, respecto al tiempo, tomando en cuenta que en México las tasas de crecimiento vehicular fluctúan, en general, entre 1 y 5 %.

El cálculo del tránsito de diseño proyectado a futuro, se efectúa utilizando la ecuación siguiente:

$$TD = TDPA_{actual} \times CT = TDPA_{actual} \times 365 \left[\frac{(1 + TC)^n - 1}{TC} \right]$$

Donde:

- TD = Tránsito de diseño
- TC = Tasa de crecimiento, en decimales
- n = Número de años de servicio (horizonte de proyecto)
- TDPA_{actual} = Último dato registrado del Tránsito Diario Promedio Anual
- CT = Coeficiente de acumulación del tránsito = $365 \left[\frac{(1+TC)^n - 1}{TC} \right]$

Ecuación 1. Obtención del tránsito de diseño para el horizonte de proyecto deseado

Ejes sencillos equivalentes de 8.2 t (ΣEE)

La suma de ejes sencillos equivalentes de 8.2 t (ΣEE) esperados en el horizonte de proyecto, se calcula utilizando el criterio indicado en la publicación 444 "Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras" del Instituto de Ingeniería de la UNAM, que considera coeficientes de daño en función de la profundidad (Z), los cuales se obtienen a partir del daño que causa el eje analizado respecto al eje sencillo equivalente de 8.2 t. El cálculo se realiza con la ecuación siguiente:

$$\Sigma EE = (TD) \times (Cd) \times (CD) \times (Ci)$$

Donde:

- ΣEE = Suma de ejes sencillos equivalentes de 8.2 t, esperados en el horizonte de proyecto

- TD = Tránsito de diseño
 Cd = Coeficiente de daño (en función del tipo de vehículo)
 CD = Coeficiente de distribución por carril (en decimales)
 Ci = Coeficiente de distribución direccional

Ecuación 2. Cálculo de sumatoria de ejes sencillos equivalentes

El CD varía de acuerdo a lo indicado en la tabla 1. El Ci se refiere al sentido de circulación del tránsito en el que va el mayor porcentaje de vehículos, se recomienda un valor de 0.5, pero puede variar de 0.30 a 0.70.

Coeficiente de distribución por carril (CD)	
Número de carriles en cada sentido	Porcentaje en el carril de proyecto
1	100
2	80-100
3	60-80
4 ó más	50-75

Tabla 1. Distribución del tránsito en el carril de diseño

Una vez calculada la ΣEE (en la superficie, $Z=0$), el valor obtenido se ubicará en alguno de los rangos de la tabla 2, esto con la finalidad de saber en qué rango de tránsito se encuentra la carretera que se esté estudiando. Los datos contenidos en la tabla 2 se establecieron en función del TDPA típico que circula por las carreteras de México.

Rangos de tránsito en función de ejes sencillos equivalentes (ΣEE)				
$\Sigma EE1$	$\Sigma EE2$	$\Sigma EE3$	$\Sigma EE4$	$\Sigma EE5$
$\leq 10,000,000$	$>10,000,000 - \leq 20,000,000$	$>20,000,000 - \leq 40,000,000$	$>40,000,000 - \leq 80,000,000$	$> 80,000,000$

Tabla 2. Rangos de tránsito en función de la suma de ejes sencillos equivalentes

B. Regionalización de la República Mexicana

La República Mexicana se regionalizó de acuerdo a tres parámetros:

- 1) tipo de terreno natural
- 2) precipitación pluvial máxima (PPm)
- 3) temperatura máxima y mínima ($T_{m\acute{a}x}$ y $T_{m\acute{i}n}$)

El tipo de terreno se obtuvo a partir de la información recabada en campo por las diferentes Unidades Generales de Servicios Técnicos de cada uno de los Centros

SCT de la República Mexicana. Los datos de la precipitación pluvial y la temperatura máxima y mínima fueron proporcionados por personal del "Sistema Meteorológico Nacional", cuyos datos corresponden al período del año 2007 al año 2011.

En función de los tres parámetros antes referidos se elaboró un mapa de la República Mexicana, en el cual se definieron cinco Regiones (R), que para fines de este catálogo, se denominan R1, R2, R3, R4 y R5.

R1 se refiere a las condiciones de clima y terreno natural más favorables para el comportamiento de los pavimentos (color verde en el mapa); R5 (color rojo) corresponde a las condiciones más adversas; y R2, R3 y R4 son para condiciones intermedias.

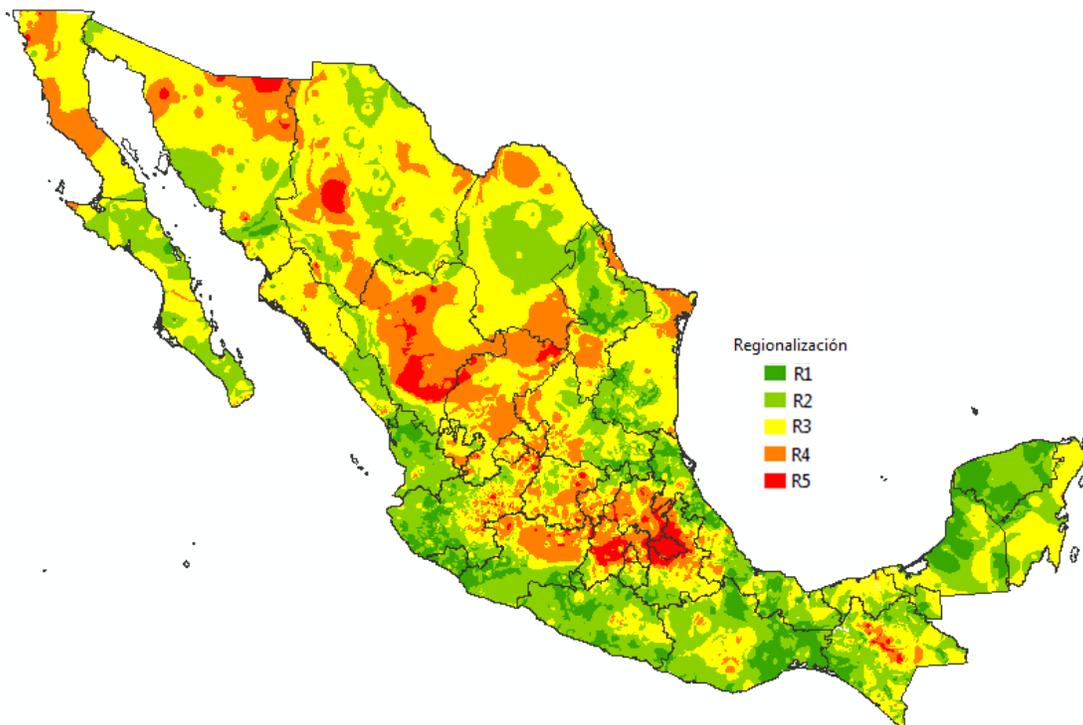


Figura 1. Regionalización de la República Mexicana según la temperatura, precipitación pluvial y terreno natural

Determinación de la región donde existe o donde se construirá el pavimento

Para determinar la región donde se ubica o donde se construirá el pavimento, se requiere obtener la denominada "Calificación global" (C_g), la cual es función de la "Calificación particular" (C_p) que se asigna a la temperatura (máxima y mínima), a la precipitación pluvial y al tipo de terreno del área donde se localiza o donde se construirá el pavimento, considerando en cada caso lo siguiente:

- Temperatura máxima del día más caluroso, $T_{m\acute{a}x}$
- Temperatura mínima del día más frío, $T_{m\acute{i}n}$
- Precipitación pluvial máxima del día más lluvioso (PPm)

- Clasificación del terreno natural en rocas y suelos, para estos últimos se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)

Se sugiere que los datos de las temperaturas y precipitación pluvial sean tomados de la estación climatológica más cercana al sitio donde existe o donde se construirá el pavimento, contactando al personal de dicha estación o a través de la página de Internet de la Comisión Nacional del Agua (www.smn.cna.gob.mx).

Conociendo los valores de $T_{máx}$, $T_{mín}$, PPM y clasificación del terreno natural del sitio donde se encuentra o donde se construirá el pavimento se procede a obtener C_p , para cada parámetro, conforme a la tabla "Calificación según condiciones del sitio". Los valores de $T_{máx}$, $T_{mín}$, y PPM indicados en la tabla fueron obtenidos de los registros de las estaciones climatológicas de la República Mexicana; la diferencia (rango) entre el valor máximo y mínimo se definió considerando que en cada rango el número de estaciones (de donde se tomaron los datos) fuera el mismo.

La Calificación particular (C_p) se estableció en una escala de 0 a 100, donde cero y cien representan respectivamente, la condición más desfavorable y favorable para el comportamiento del pavimento.

Parámetro	Valor máximo	Valor mínimo	Calificación particular (C_p)
Temperatura máxima, °C	50.0	36.2	0
	36.1	34.0	25
	33.9	32.0	50
	31.9	29.3	75
	29.2	10.0	100
Temperatura mínima, °C	2.2	-14.0	0
	6.7	2.3	25
	11.3	6.8	50
	15.8	11.4	75
	27	15.9	100
Precipitación pluvial máxima, mm	550.0	213.7	0
	213.6	158.1	25
	158.0	111.1	50
	111.0	66.3	75
	66.2	0.0	100
Clasificación de suelos y rocas (ver tabla 4)	Aptitud Muy baja		0
	Aptitud Baja		25
	Aptitud Media		50
	Aptitud Alta		75
	Aptitud Muy alta		100

Tabla 3. Calificación según condiciones del sitio

La Calificación particular del terreno natural se asignó en función del concepto "Aptitud", que para fines de este catálogo, se considera como la capacidad que tienen los materiales para soportar las cargas que actuarán sobre ellos, sin sufrir deformaciones excesivas y sin colapsarse por resistencia al esfuerzo cortante.

No.	SUCS	Descripción	Aptitud
1	OH	Limos o arcillas orgánicas de alta plasticidad	Muy Baja
2	OL	Limos o arcillas orgánicas de baja plasticidad	Muy Baja
3	CH	Arcilla de alta plasticidad	Baja
4	CL	Arcilla de baja plasticidad	Media
5	MH	Limo de alta plasticidad	Baja
6	ML	Limo de baja plasticidad	Media
7	SC	Arena arcillosa	Alta
8	SM	Arena limosa	Muy Alta
9	SP	Arena mal graduada	Alta
10	GC	Grava arcillosa	Muy Alta
11	GM	Grava limosa	Muy Alta
12	GP	Grava mal graduada	Muy Alta
13	-	Rocas	Muy Alta

Tabla 4. Aptitud de suelos y rocas

Una vez que se ha determinado la calificación particular para cada parámetro (temperatura, precipitación y tipo de terreno natural), se requiere determinar la Calificación por Influencia (C_i), la cual representa el impacto que cada parámetro tiene en el comportamiento del pavimento. C_i se obtiene con la ecuación siguiente:

$$C_i = C_p \times F_i$$

Donde:

C_i = Calificación por influencia

C_p = Calificación particular

F_i = Factor de influencia, en decimales (tabla 5)

F_i se asignó en forma empírica, considerando que cada parámetro ($T_{máx}$, $T_{mín}$, PPM y terreno natural) tienen un cierto grado de influencia en el comportamiento del pavimento.

Parámetro	Factor de Influencia (F_i)
Temperatura mínima	15%
Temperatura máxima	30%
Precipitación pluvial máxima	20%
Terreno natural	35%

Tabla 5. Factores de influencia (F_i)

La Calificación global (C_g) se obtiene como la sumatoria de cada una de las calificaciones por influencia.

$$C_g = \sum C_i$$

Ecuación 3. Cálculo de la calificación global

Finalmente la calificación global se divide en 5 intervalos de 20 hasta llegar a 100 y cada intervalo se asocia con cada una de las cinco regiones (R) antes referidas, como se indica en la tabla siguiente.

Calificación Global	Clasificación de la región
80 a 100	R1
60 a 79.9	R2
40 a 59.9	R3
20 a 39.9	R4
0 a 19.9	R5

Tabla 6. Clasificación de la región en función de la Calificación global

C. Caracterización de materiales

Pavimentos flexibles

La caracterización de los materiales se realizó mediante el módulo resiliente (M_r), el cual se define como la relación del esfuerzo desviador entre la deformación resiliente ($M_r = \sigma_d / \epsilon_r$).

Los módulos resilientes se determinaron en el laboratorio. En el caso de las mezclas asfálticas, el M_r , se determinó con el ensayo de tensión indirecta descrito en la norma ASTM D 4123 con una frecuencia de aplicación de carga de 1Hz, magnitud de carga de $2 \text{ kN} \pm 0.2$ ($204 \text{ kgf} \pm 20$) a una temperatura de 20° C . Para las capas granulares el módulo resiliente se obtuvo con pruebas triaxiales de compresión aplicando cargas cíclicas, siguiendo el procedimiento indicado en la Guía AASHTO 1993.

Para fines de este catálogo se considera que la carpeta asfáltica debe tener un M_r mínimo = $35,000 \text{ kg/cm}^2$.

Para las capas de base, subbase y subrasante se considera que los valores mínimos de M_r son los que se indican en la tabla siguiente:

Módulos Resilientes, kg/cm^2			
BH	BEA	SB	SR
$\geq 3,000$	$\geq 30,000$	$\geq 2,000$	$\geq 1,200$
<i>BH = Base Hidráulica, BEA = Base con Asfalto, SB = Subbase, SR = Subrasante</i>			

Tabla 7. Módulos Resilientes de bases, subbases y subrasantes

Pavimento rígido

El parámetro que define la resistencia del concreto es el módulo de ruptura (MR) obtenido a los 28 días de edad, en vigas con cargas en los tercios medios. Como opción puede determinarse la resistencia a compresión simple ($f'c$) también a los 28 días de edad y correlacionar $f'c$ con MR. En este catálogo se consideró MR de 48 kg/cm^2 , al cual le corresponde un $f'c$ del orden de 350 kg/cm^2 .

Para las capas subyacentes al concreto hidráulico se determinó el módulo de reacción (k) definido como el esfuerzo necesario para producir una deformación previamente establecida. El valor de k se obtiene de una prueba de placa realizada en campo. Para fines prácticos el valor de k se determina mediante correlaciones con valores índice de resistencia como el Valor de Estabilidad (R), CBR, etc.

En este catálogo se consideró que el valor k de la capa subrasante es 17 kg/cm^3 .

Las secciones estructurales para pavimentos rígidos que se presentan en este catálogo, sólo son aplicables para losas de concreto simple, con pasajuntas y con acotamientos de concreto hidráulico.

Las características de las juntas, pasajuntas, barras de amarre, sellado de juntas, así como la calidad de materiales y procedimientos de construcción se apegarán a lo indicado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT vigente.

SECCIONES DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

Las secciones estructurales de pavimentos que se presentan a continuación son aplicables a carreteras nuevas tanto normales como de altas especificaciones. Se aplican los niveles de deterioro establecidos en el método de diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM (deformación permanente y agrietamiento por fatiga), con nivel de confianza 85% para carreteras normales y 95% para carreteras de altas especificaciones.

Para seleccionar las secciones estructurales de pavimentos es necesario definir el tránsito de proyecto (para un horizonte de proyecto de 20 años), la región donde se ubica el pavimento y el tipo de carretera que se pretende construir. Con estos datos de entrada se debe seleccionar el grupo de secciones estructurales de pavimentos que son adecuadas para la carretera en estudio. De las secciones propuestas, el diseñador debe seleccionar la más conveniente de acuerdo a la disponibilidad de materiales y costo de los mismos.

Es necesario aclarar que en el caso de las bases estabilizadas con cemento hidráulico, se considera 25 cm como espesor mínimo recomendable, ya que la experiencia de otros países ha demostrado que no es conveniente colocar espesores inferiores.

En las siguientes páginas se muestran las secciones estructurales ordenadas por tipo de región y suma de ejes sencillos equivalentes, esperados en el horizonte de proyecto.

CARRETERAS NORMALES

ΣEE	SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS				
	REGIÓN (R)				
	R1	R2	R3	R4	R5
$\leq 10'000,000$					
$> 10'000,000$ a $\leq 20'000,000$					
$> 20'000,000$ a $\leq 40'000,000$					
$> 40'000,000$ a $\leq 80'000,000$					
$> 80'000,000$					

Nota: Los espesores están en cm y las secciones no están a escala.

- Carpeta asfáltica
- Concreto hidráulico
- Subbase
- Base hidráulica
- Base estabilizada con asfalto
- Base estabilizada con cemento hidráulico
- Base modificada con cemento hidráulico

ΣEE = Sumatoria de ejes equivalentes R_n = Tipo de región

CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES

ΣEE	SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS				
	REGIÓN (R)				
	R1	R2	R3	R4	R5
$\leq 10'000,000$					
$> 10'000,000$ $\leq 20'000,000$ a					
$> 20'000,000$ $\leq 40'000,000$ a					
$> 40'000,000$ $\leq 80'000,000$ a					
$> 80'000,000$					

Nota: Los espesores están en cm y las secciones no están a escala.

- Carpeta asfáltica
- Concreto hidráulico
- Subbase
- Base hidráulica
- Base estabilizada con asfalto
- Base estabilizada con cemento hidráulico
- Base modificada con cemento hidráulico

ΣEE = Sumatoria de ejes equivalentes R_n = Tipo de región

REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS

En esta sección se presentan propuestas para rehabilitar estructuras de pavimentos flexibles, en función del refuerzo requerido obtenido por deflexiones. El refuerzo será mediante sobrecarpetas de concreto asfáltico. En los siguientes párrafos se define bajo qué condiciones se establece la necesidad de rehabilitar los pavimentos flexibles.

Un pavimento requiere ser rehabilitado cuando tiene deficiencia estructural. En este catálogo se considera deficiencia estructural cuando las deflexiones, en un tramo homogéneo, son superiores a 0.50 mm (20×10^{-3} pulgadas).

El tramo homogéneo se define de acuerdo al criterio indicado en los anexos de la guía de diseño de pavimentos de la AASHTO 1993. También puede utilizarse cualquier otro criterio que el proyectista considere apropiado.

Una vez que se determina que el pavimento presenta deficiencia estructural, la propuesta para la rehabilitación se puede hacer formando capas nuevas de pavimento, ya sea con materiales de banco o aprovechando parte de los materiales que integran al pavimento existente; también se puede colocar sobre el pavimento actual una sobrecarpeta asfáltica o de concreto hidráulico.

En este catálogo sólo se tratará lo referente a la colocación de una sobrecarpeta de concreto asfáltico, el espesor de la sobrecarpeta puede obtenerse de la tabla 8 de este catálogo, el cual fue calculado con el método del Instituto Norteamericano del Asfalto, empleando el valor de la deflexión máxima del rango que se indica en la misma tabla 8. La colocación de la sobrecarpeta está limitada a las condiciones que se establecen más adelante.

En el caso de efectuar el cálculo del refuerzo de sobrecarpeta asfáltica, se recomienda que la deflexión utilizada en el análisis sea la máxima obtenida en campo o la que se determine de un análisis estadístico (deflexión característica, 80 percentil, etc.) de las mediciones efectuadas en cada tramo homogéneo, la selección del criterio para determinar dicha deflexión será responsabilidad del proyectista.

La solución con sobrecarpeta asfáltica se recomienda siempre y cuando la carpeta existente tenga buenas características superficiales, sin rebasar las siguientes condiciones:

1. Agrietamiento por fatiga (piel de cocodrilo) en forma ligera en no más del 10% del área total del tramo homogéneo.
2. Roderas con profundidad no mayor de 2.5 cm en carreteras normales y 1.2 cm en carreteras de altas especificaciones; en ambos casos, las roderas no deben aparecer en más del 5% del área total del tramo homogéneo.

ESPEORES DE SOBRECARPETA EN CM DE CONCRETO ASFALTICO					
Deflexión mm	Rangos de tránsito				
	ΣEE1	ΣEE2	ΣEE3	ΣEE4	ΣEE5
0.50 a 0.70 (20 a 30 x 10 ⁻³ plg)	8	11	13	15	17
0.71 a 1.02 (31 a 40 x 10 ⁻³ plg)	11	14	16	20	22
Mayor 1.02 (40 x 10 ⁻³ plg)	13	16	20	22	24

Tabla 8. Espesor de sobrecarpeta para rehabilitar pavimentos flexibles

Se considera que la sobrecarpeta asfáltica, debe tener un módulo resiliente mínimo de 35,000 kg/cm².

DEFINICIONES

Regionalización: División del territorio de la República Mexicana en cinco regiones de acuerdo a temperatura, precipitación pluvial y terreno natural.

Sección estructural: Corte transversal de una estructura de pavimento que muestra las capas que lo integran y los espesores de cada capa.

Pavimento: Capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, que se construyen sobre las terracerías. Cada capa tiene la finalidad de soportar y transmitir a la capa inferior, las cargas del tránsito vehicular sin que cada una o todo el pavimento se deforme excesivamente para que no afecte el drenaje superficial, de manera que se garantice una superficie sin agrietamientos, cómoda y segura para el usuario.

Pavimento flexible: Tiene como superficie de rodadura una capa de mezcla asfáltica apoyada en capas de materiales formadas por suelos con características de resistencia y calidad establecidas por ciertas normas.

Pavimento semirrígido: La carpeta asfáltica se apoya en una base asfáltica o en una base estabilizada con cemento Portland.

Pavimento rígido: Tiene como superficie de rodadura una losa del concreto hidráulico apoyada en capas de materiales con características de resistencia y calidad estipuladas por ciertas Normas.

Materiales estabilizados: Suelos que han sido modificados en su comportamiento mecánico, mediante la aplicación de un producto químico.

Módulo resiliente: Relación entre el esfuerzo desviador y la deformación resiliente.

Tránsito vehicular: Flujo de vehículos en una vialidad.

Ejes estándar o equivalentes (ΣEE): Cantidad de ejes sencillos equivalentes de 18,000 lb (8.2 t = 80 kN y llantas con presión de contacto de 5.8 kg/cm²).

Tránsito diario promedio anual (TDPA): Promedio aritmético del número de vehículos que circulan por un punto de una vialidad, durante un año.

Tasa de crecimiento: Valor numérico que representa la variación de algún fenómeno, durante el tiempo.

Coefficiente de daño: Relación que existe entre los esfuerzos generados por el eje analizado, respecto a los esfuerzos generados por un eje estándar de 8.2 t.

Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS): Sistema de clasificación de suelos basado en la granulometría y en las características de plasticidad de los suelos.

Caminos de altas especificaciones: Caminos en los que se desea conservar un nivel de servicio alto al final de la vida de proyecto (1.2 cm de deformación permanente en la rodada y agrietamiento ligero a medio)

Caminos normales: Caminos en los que se permiten deformaciones permanentes del orden de 2.5 cm en la rodada y agrietamiento medio a fuerte, al final de la vida de proyecto.

Tramo homogéneo: Segmento de carretera que tiene características semejantes en cuanto a tipo de pavimento, deterioros, deflexiones, topografía, geología y tránsito vehicular.

BIBLIOGRAFÍA

(2003). 01. Muestreo de Materiales para Terracerías. Normativa Técnica, Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México D.F.

(2002). 04 Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. Secretaria de Comunicaciones y Transportes, México.

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2001). Design for Pavement Structures. Washington D.C., U.S.A.: AASHTO.

American Society for Testing Materials. (2002). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM, West Conshohocken.

American Society for Testing Materials. (2009). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM, West Conshohocken.

American Society for Testing Materials. (2009). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). ASTM, West Conshohocken.

American Society for Testing Materials. (1995). Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures. ASTM, West Conshohocken.

(1992). Análisis de los Coeficientes de Daño Unitarios Correspondientes a los Vehículos Autorizados en la Red Nacional de Carreteras Mexicanas. Secretaria de Comunicaciones y Transporte, México D.F.

Angus, P. G. Espectros de Carga y Daño para Diseño de Pavimentos. Quinta Conferencia Magistral "Alfonso Rico Rodriguez". México D.F.

Cal y Mayor, R., & Cárdenas Grisales, J. (2008). Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones. México: Alfaomega.

Corro C., S., Magallanes N., R., & Prado O., G. (1981). Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras. México: UNAM, Instituto de Ingeniería.

(1999). DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS, INCLUYENDO CARRETERAS DE ALTAS ESPECIFICACIONES. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.: Instituto de Ingeniería de la UNAM.

(2010). Industria de la Construcción -Concreto- Extracción de Especímenes cilíndricos o prismáticos de Concreto Hidráulico Endurecido. Norma Organismo

Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C., México D.F.

(1981). INSTRUCTIVO PARA DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. UNAM. México D.F.: Instituto de Ingeniería de la UNAM.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2011). Mecánica de suelos : fundamentos de la mecánica de suelos. México: Limusa.

Lambe, William T.; Whitman, Robert V. (1981). Mecánica de Suelos. Mexico: Limusa.

National Cooperative Highway Research Program. (2004). Laboratory Determination of Resilient Modulus for Flexible Pavement Design. Washington D.C.

(2008). NOM-012-SCT-2-2008. Normativa, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Autotransporte Federal, México.

(2003). Norma 6.1 IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras. Normativa Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid.

(2009). Obtención y Pruebas de Corazones y vigas Extraídos de Concreto Endurecido. Norma Técnica, IMCYC, México D.F.

Olivera Bustamante, F. (2004). Estructuración de vías terrestres. México: CECSA.

Salazar Rodríguez, A. (1998). Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

(2008). SOBRE EL PESO Y DIMENSIONES MÁXIMAS CON LOS QUE PUEDEN CIRCULAR LOS VEHÍCULOS DE AUTOTRANSPORTE QUE TRANSITAN EN LAS VÍAS GENERALES DE COMUNICACIÓN DE JURISDICCIÓN FEDERAL. IMT, SCT, México D.F.

Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (2011). Mecánica de suelos: fundamentos de la mecánica de suelos. México: Limusa.

Lambe, William T.; Whitman, Robert V. (1981). Mecánica de Suelos. México: Limusa.

(2008). NOM-012-SCT-2-2008. Normativa, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Dirección General de Autotransporte Federal, México.

(2003). Norma 6.1 IC Secciones de firme de la Instrucción de Carreteras. Normativa Técnica, Ministerio de Fomento, Madrid.

Olivera Bustamante, F. (2004). Estructuración de vías terrestres. México: CECSA.

Salazar Rodríguez, A. (1998). Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Huang, Y. H. (2004). Pavement Analysis and Design. Upper Saddle River: Pearson.

(Lukanen, 1999).

ANEXOS

ANEXOS

CAPAS DE RODADURA

Las capas de rodadura son tratamientos superficiales de espesor delgado (menor de 4 cm), están formadas por agregados pétreos y asfalto, algunas se fabrican en frío y otras en caliente; se colocan en la parte superior del pavimento con la finalidad de proteger la superficie de los agentes del intemperismo y proporcionar mejores características funcionales y de seguridad a las que poseen las carpetas convencionales. Se considera que no aportan capacidad estructural debido a su espesor delgado.

Contribuyen a mejorar la textura, la fricción, la visibilidad, disminuir el ruido, desalojar rápidamente el agua de lluvia; además son durables, resisten las deformaciones, son menos susceptibles al agrietamiento y distribuyen en forma uniforme las cargas del tránsito.

Las más usuales en México, elaboradas en frío, son las de un riego y el mortero asfáltico; las mezclas asfálticas que se fabrican en caliente con granulometría discontinua son el Stone Mastic Asphalt (SMA), la Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida (CASAA) y la de mezcla abierta (Open Graded). Estas tres últimas capas se recomienda colocarlas en caminos que tengan más de 1×10^6 ejes sencillos equivalentes de 8.2 t, esperados en un periodo de 10 años, calculados con el criterio del Instituto de Ingeniería de la UNAM a profundidad $Z = 0$.

A. Tipos de capas de rodadura

Capa de un riego (riego de sello)

Se construye con la finalidad de restablecer o mejorar las características de resistencia al derrapamiento y la seguridad de la superficie de rodadura. En carreteras donde los materiales tengan alto rebote elástico es recomendable construir este tipo de tratamiento superficial sobre la base hidráulica, ya que una carpeta asfáltica estructural se agrietará antes de alcanzar el horizonte de proyecto. No se deben colocar sobre carpetas nuevas. En carpetas muy agrietadas pueden construirse como tratamientos de espera y reponerse por lo menos cada dos años.

Se fabrica en forma premezclada y se coloca con equipo autopropulsado de aplicación sincronizada y dosificación computarizada, cuidando que la calidad de los materiales cumpla con lo indicado en la normativa SCT.

Mortero asfáltico

Se elabora con materiales pétreos de granulometría fina y cemento asfáltico modificado o no, en emulsión o rebajado con solventes. En general su espesor es de 1 a 2 cm, se coloca sobre carpetas asfálticas y sus funciones principales son restablecer o mejorar las características resistentes al derrapamiento y la seguridad, así como corregir desprendimientos menores de la carpeta asfáltica.

ANEXOS

El procedimiento constructivo y la calidad de los materiales se realizarán conforme lo indica la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Stone Mastic Asphalt (SMA)

Está integrada por agregados pétreos, asfalto modificado o no y por fibra de celulosa. Se coloca sobre capas de mezcla asfáltica o de concreto hidráulico, con el objetivo de proporcionar una superficie de rodadura uniforme, bien drenada (reduce el acuaplaneo), resistente al derrapamiento, cómoda y segura. El contenido de asfalto es mayor al de las mezclas asfálticas convencionales, lo que contribuye a reducir su envejecimiento. Es resistente a la formación de roderas gracias a que tiene gran cantidad de gruesos cuyo tamaño máximo nominal es de 9.5 a 19 mm, poco tamaño medio y elevada cantidad de finos.

Esta capa se construye en forma rápida y su apertura al tránsito también es rápida. El procedimiento de construcción y la calidad de materiales se realiza conforme lo indicado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Carpeta Asfáltica Superficial Altamente Adherida (CASAA)

Está formada por agregados pétreos y cemento asfáltico modificado, su permeabilidad se encuentra entre la de un SMA y la de Open Graded, por lo que se considera semipermeable, contribuyendo a eliminar en forma relativamente rápida el agua de lluvia. Sus funciones principales son proporcionar una superficie de rodadura uniforme, bien drenada (reduce el acuaplaneo), resistente al derrapamiento, cómoda y segura.

Previo a la construcción de esta capa, se aplica sobre la superficie a tratar un riego con emulsión polimerizada con la finalidad de garantizar la impermeabilidad de la superficie y una alta adherencia con la carpeta. Se construye con gran celeridad y su apertura al tránsito es rápida. El procedimiento de construcción y la calidad de materiales se realizará conforme lo indicado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Textura abierta (Open Graded)

Está constituida por agregados pétreos, asfalto modificado o no; es de granulometría abierta, con bajo contenido de finos, tamaños nominal de agregados pétreos entre 6.3 y 12.5 mm. Sus funciones son proporcionar una superficie de rodadura uniforme, bien drenada, resistente al derrapamiento, cómoda y segura. Se recomienda colocarla en caminos donde la precipitación pluvial promedio anual sea superior a 800 mm.

Se construyen sobre carpetas asfálticas impermeables, que no tengan agrietamientos, ni roderas y que el bombeo transversal sea el adecuado para que el agua que pasa a través de este tipo de capa se elimine en forma rápida. Su construcción y la calidad de materiales se realizan conforme lo indica la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

ANEXOS

B. Selección de capa de rodadura

Debido a que las capas de rodadura no tienen un aporte estructural, la selección del tipo de capa se realiza desde el punto de vista económico y funcional, en este último caso se debe considerar el rango del tránsito, velocidad de proyecto de la carretera, precipitación pluvial y vida útil, como se indica a continuación:

1. Rango de tránsito del camino donde se construirá la capa. Se obtendrá conforme a la tabla siguiente.

Rangos de tránsito en función de ejes sencillos equivalentes (ΣEE)				
$\Sigma EE1$	$\Sigma EE2$	$\Sigma EE3$	$\Sigma EE4$	$\Sigma EE5$
$\leq 10,000,000$	$>10,000,000 - \leq 20,000,000$	$>20,000,000 - \leq 40,000,000$	$>40,000,000 - \leq 80,000,000$	$> 80,000,000$

Tabla 9. Categorías de tránsito en función a los ejes equivalentes durante la vida de proyecto

2. Clasificación de la carretera en función de la velocidad de proyecto. En la tabla siguiente se presentan los valores típicos que se usan a nivel mundial.

Clasificación de la velocidad del camino	Velocidad de proyecto, km/h
Alta	Mayor o igual a 95
Media	mayor o igual a 75 y menor de 95
Baja	menor de 75

Tabla 10. Clasificación de la velocidad del camino

3. Precipitación pluvial

La clasificación del tipo de precipitación pluvial se realiza considerando el valor promedio de la intensidad de lluvia que cae en la zona donde existe o donde se construirá el pavimento. Los datos de la precipitación pluvial se obtuvieron de los registros reportados durante los últimos 10 años o más, si se cuenta con la información (tabla 11) o considerar otro criterio más adecuado de acuerdo a la experiencia del proyectista.

Tipo de precipitación	Intensidad de lluvia, mm/h
Débil	menor o igual a 2
Moderada	mayor que 2 y menor o igual a 15
Fuerte	mayor que 15 y menor o igual a 30
Muy fuerte	mayor que 30

Fuente: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, accesible en Internet: <http://www.imta.gob.mx/enciclopedia/precipitaciones-pluviales.html>

Tabla 11. Clasificación de la precipitación pluvial por intensidad de la lluvia

ANEXOS

4. En la tabla siguiente se presenta una estimación de la vida útil de las capas de rodadura en función del comportamiento que han tenido, en forma general, en las carreteras de México.

Tipo de mezcla para capa de rodadura	Vida estimada en años
Mezcla Abierta	3
CASAA	4
SMA	7

Tabla 12. Vida estimada de las capas de rodadura en México

5. Recomendaciones para la selección de la capa de rodadura.
- Asegurarse que la estructura del pavimento es capaz de soportar al menos el tránsito esperado durante la vida esperada de la capa de rodadura.
 - La capa de rodadura seleccionada debe proveer las características de confort y seguridad mínimas requeridas en el proyecto (IRI e índice de fricción).
 - De acuerdo a la experiencia mundial el SMA es adecuado para cualquier nivel de tránsito, las mezclas abiertas y CASAA no son convenientes para tránsitos $\Sigma EE4$ y $\Sigma EE5$. Para las zonas donde el tipo de precipitación sea fuerte y muy fuerte (ver tabla 11) se recomienda utilizar mezclas abiertas o CASAA. Para la clasificación de velocidad alta (ver tabla 10) se recomienda utilizar SMA por su resistencia a la tracción.
 - Considerar el costo menor a través del tiempo, determinado a partir del análisis del costo anual uniforme equivalente de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$EUAC_i = \frac{(P * r)}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

Donde:

$EUAC$ = Costo anual uniforme equivalente, \$/año

P = Costo inicial, \$

r = tasa de descuento, % (normalmente igual a 4%)

n = vida estimada, años

Ecuación 4. Determinación del costo en el tiempo

La capa de rodadura que se utilizará será aquella que técnicamente sea viable y que tenga el EUAC menor.

ANEXOS

CAPAS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO

De acuerdo al tipo de carpeta estructural que integra a un pavimento, éstos se clasifican generalmente, en flexibles (tienen superficialmente una carpeta asfáltica) y rígidos (tienen superficialmente concreto hidráulico).

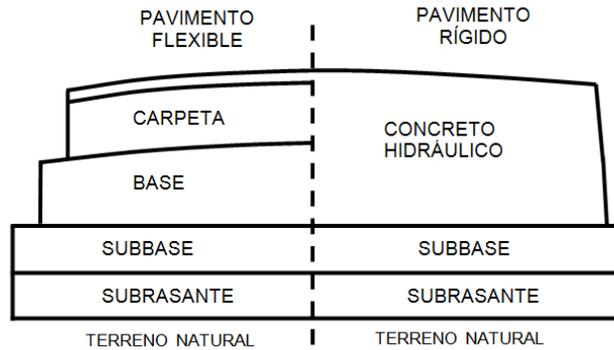


Figura 2. Estructuración típica de pavimentos flexibles y rígidos

A. Carpeta de concreto asfáltico

La carpeta asfáltica es aquella que está formada por suelos con características especiales y cemento asfáltico, sobre ella actúan directamente las cargas del tránsito vehicular y en muchos casos se encarga de proporcionar las características funcionales al pavimento. Estructuralmente, absorbe y transmite los esfuerzos horizontales y verticales a las capas que yacen bajo ella.

El desempeño del pavimento flexible incluye tanto el comportamiento estructural como el funcional. El estructural se refiere a la capacidad del pavimento para soportar las cargas del tránsito sin deformaciones permanentes excesivas y sin agrietamiento. El funcional se refiere a la capacidad del pavimento para que la superficie sea cómoda y segura para los usuarios de la carretera.

Las mezclas asfálticas cumplirán con los requisitos de calidad indicados en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, N·CMT·4·05·003, *Calidad de mezclas asfálticas para carreteras*, así mismo el Módulo Resiliente para la mezcla se indica en el apartado de secciones estructurales de este catálogo.

B. Carpeta de concreto hidráulico

Un pavimento rígido es aquel cuya capa superior de tipo estructural, está constituida por una losa de concreto hidráulico.

La losa puede ser de concreto hidráulico simple o con acero de refuerzo continuo. Si son de concreto simple, éstas se construirán con o sin dispositivos de transferencia de carga.

ANEXOS

La losa de concreto hidráulico es muy susceptible a los efectos de la expansión y contracción generados por los cambios de temperatura. Suele requerirse de extrema precaución y control de conservación en el sellado de juntas para evitar problemas posteriores.

Los materiales que se utilicen para elaborar concreto hidráulico cumplirán con la calidad indicada en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, adicionalmente deben cumplir con las características mecánicas (MR) establecidas en el apartado de "Secciones de estructuras de pavimentos" de este catálogo, página 13 de este catálogo.

ANEXOS

BASES ESTABILIZADAS

Se le llama base a la capa de materiales integrada por suelos seleccionados que se construye previo a la capa de rodadura o a la carpeta estructural. Su construcción depende del aspecto económico; algunas de las funciones de la base son transmitir las cargas de tránsito vehicular a la capa donde se apoya, drenar el agua, evitar la ascensión capilar.

Cuando se agrega agua al material de base para su compactación entonces a esta capa se le llama base hidráulica.

Si la calidad no cumple con los requisitos indicados en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT o si la resistencia del material no es suficiente para soportar las cargas del tránsito vehicular, entonces se construyen las denominadas bases modificadas o estabilizadas, las cuales se elaborarán agregando al suelo algún producto químico para modificar la calidad o resistencia del material, según corresponda. En todos los casos es necesario efectuar las pruebas de laboratorio para determinar las características de calidad y resistencia.

Las bases más usadas en México, según el producto químico que se agregue al material, son las siguientes:

- Modificadas con cemento hidráulico (BMC)
- Estabilizados con cemento hidráulico (BEC)
- Estabilizadas con asfalto (BEA)
- Asfáltica o base negra (BMA)
- De concreto hidráulico magro (concreto pobre) o de baja resistencia (BCP)

En la tabla siguiente se indican las características más importantes de las bases modificadas y estabilizadas.

Tipo de base	Características
Modificadas con cemento hidráulico	Se incorpora al suelo que formará la base, de 3 a 4 por ciento en masa de cemento hidráulico para modificar su plasticidad.
Estabilizadas con cemento hidráulico	Se le incorpora al suelo que formará la base, de 6 a 10 por ciento en masa de cemento hidráulico para aumentar la resistencia a la compresión simple determinada a los 7 días de edad.
Estabilizadas con asfalto	Se agrega al suelo que integra la base, de 3 a 4 por ciento en masa de cemento asfáltico para mejorar su comportamiento mecánico y disminuir la plasticidad. El asfalto se agrega en forma de emulsión.
Asfáltica (<i>Base negra</i>)	Se añade al suelo que integra la base, de 4 a 5 por ciento en masa de cemento asfáltico para formar una capa de concreto asfáltico magro. El asfalto se añade en caliente o en frío.

ANEXOS

Concreto hidráulico magro o de baja resistencia	Se agrega al suelo que formará la capa, cemento hidráulico necesario para obtener una resistencia a la compresión simple a los 28 días de edad de 150 kg/cm^2 a 200 kg/cm^2 .
---	---

Tabla 13. Características de las bases estabilizadas

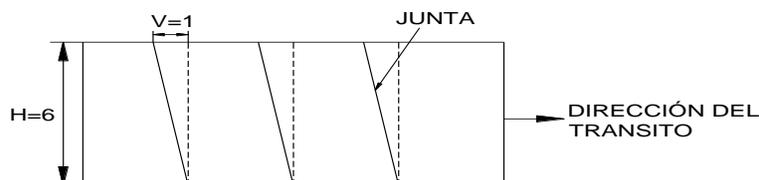
Cuando se trate de rehabilitación de pavimentos y se elaboren bases modificadas o estabilizadas con cemento hidráulico, aprovechando el material del pavimento existente, se recomienda que el cemento hidráulico se agregue en forma de lechada.

En esos casos se sugiere que la elaboración de la base estabilizada con cemento Portland se realice conforme al procedimiento siguiente:

Con el equipo apropiado y conforme lo indica la Norma N.CSV.CAR.4.001/03 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, recuperar el pavimento existente en el espesor que indique el proyecto. Al material producto del corte agregarle en caso necesario material de banco con calidad de base hidráulica, adicionar en forma de lechada el porcentaje en peso de cemento Portland que indique el proyecto, para obtener la resistencia a compresión simple ($f'c$) especificada en dicho proyecto, la resistencia obtenida se evalúa a los 7 días de edad.

Hecho lo anterior homogeneizar, humedecer, tender y compactar el material al 100% de la Masa Volumétrica Seca Máxima AASHTO Modificada en cinco capas, cuidando que entre la aplicación del agua y el compactado del material no transcurra más de una hora. La compactación se debe hacer primero con rodillo pata de cabra, posteriormente afinar y dar el acabado con rodillo liso. Esta capa cumplirá con lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.04.003/00, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Previo a la compactación hacer las juntas transversales con cuchilla (quilla) que deje una membrana de asfalto en casi todo el espesor de la capa, las juntas hacerlas hasta una profundidad de $1/3$ del espesor de la capa, esviadas 6:1 (H:V) respecto al eje longitudinal de la carretera como se indica en la figura siguiente, con separación entre juntas no mayor de 3 m.



Antes de iniciar la obra el porcentaje de cemento que se agregará al material recuperado deberá obtenerse en pruebas de compresión simple, elaboradas con el material recuperado, compactándolo al 100% de la Masa Volumétrica Seca Máxima

ANEXOS

AASHTO Modificada en cinco capas. La resistencia que deberá obtenerse será como mínimo la indicada en el proyecto, a los 7 días de edad.

Deberá efectuarse un tramo de prueba, de 200 metros de longitud como mínimo en donde lo ordene el ORGANISMO antes de iniciar los trabajos para ajustar el porcentaje de cemento Portland, así como el número de pasadas de los equipos compactadores y su velocidad de recorrido, además de la amplitud y la frecuencia de oscilación de dichos equipos.

La construcción de la base estabilizada con cemento Portland se efectuará de acuerdo a lo indicado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT vigente en cuanto a calidad de materiales y acabados.

ANEXOS

EJEMPLO

Determinar la sección estructural de pavimento y la capa de rodadura más convenientes para la carretera de dos carriles que se construirá en el estado de Colima. La carretera unirá el poblado El Trapiche con el Aeropuerto de Colima. Se considera que se trata de una carretera normal.

A lo largo del eje del trazo el terreno natural está formado predominantemente por arena mal graduada. El TDPA es de 15,000 vehículos en ambos sentidos, con 20% de autobuses y camiones, lo que arroja una suma de ejes sencillos equivalentes (ΣEE) de 39×10^6 en el horizonte de proyecto (20 años).

Solución

Se seguirá el procedimiento siguiente:

1. Determinar la calificación particular (C_p)
2. Obtener la calificación por influencia (C_i)
3. Calcular la calificación global (C_g)
4. Determinar la región (R) donde se construirá la carretera
5. Seleccionar las secciones estructurales de pavimento, en función de ΣEE y R
6. Definir la estructura de pavimento más convenientes desde el punto de vista económico
7. Selección de la capa de rodadura

A continuación se describen cada uno de los puntos anteriores.

1. Determinación de la calificación particular

Se requiere conocer de la región donde se construirá la carretera, la temperatura máxima y mínima, así como la precipitación pluvial máxima y el tipo de terreno natural.

En la página de Internet www.smn.cna.gob.mx de la Comisión Nacional del agua (CNA), se ingresa a la sección "Climatología", ahí se selecciona la liga "Normales Climatológicas". Enseguida se da clic en "Ver Normales en Google Earth", aparece la República Mexicana, sobre la cual están representadas las estaciones climatológicas del país. A continuación en dicha imagen se ubica el sitio del proyecto y se determina la estación climatológica más cercana al sitio donde se construirá la carretera, como se muestra en la figura 3.

ANEXOS

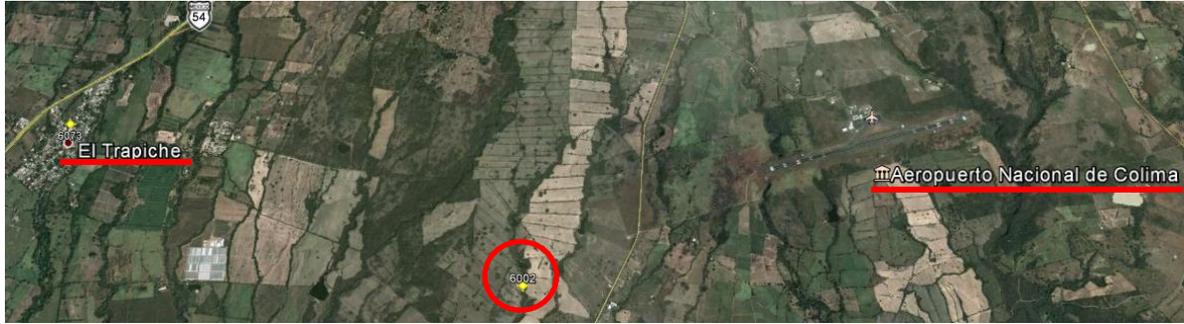


Figura 3. Localización del sitio del proyecto y de la estación climatológica más cercana

Para este ejemplo, la estación climatológica más cercana está señalada con un círculo color rojo en la figura 3. Se identifica como la 6002, Buenavista, del Municipio de Cuauhtémoc, de acuerdo a la nomenclatura establecida por la CNA.

Dentro de Google Earth, se da clic sobre la estación climatológica 6002 (en la figura 4 aparece en la parte superior izquierda 00006002) y se despliega un menú, se seleccionaron las tablas de "Valores Extremos" (figura 4). Se obtienen los datos de temperatura máxima ($T_{m\acute{a}x.}$), temperatura mínima ($T_{m\acute{i}n.}$) y precipitación máxima (PPm), indicados en rectángulos de color rojo, en figura 4, ya citada.

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL
PROYECTO BASES DE DATOS CLIMATOLÓGICOS

00006002
BUENAVISTA, CUAUHEMOC

TEMPERATURA MÁXIMA											
Mes	Año	Año Nóm.	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Desv.	
Inicio	Fin	Años	Máximo	Máxima	Repetido	Mínimo	Mínima	Repetido	Medio	Estándar	
Ene	1921	2011	51	37.0	1993-01-13	No	15.0	1980-01-25	No	30.9	2.5
Feb	1921	2011	51	38.6	1927-02-24	No	20.5	2010-02-03	No	31.9	2.2
Mar	1921	2011	50	38.5	1977-03-16	No	24.0	1981-03-21	No	33.1	2.0
Abr	1921	2010	45	39.4	1927-04-11	No	25.5	1973-04-03	No	34.2	1.9
May	1921	2010	47	39.5	1973-05-01	Si	21.0	1974-05-29	No	34.7	2.0
Jun	1921	2010	48	39.0	1971-06-26	Si	21.0	1979-06-05	No	33.4	2.6
Jul	1921	2010	49	38.0	1987-07-01	Si	21.0	2006-07-30	No	31.9	2.5
Ago	1921	2010	49	39.0	1988-08-31	No	24.0	1981-08-29	No	31.7	2.3
Sep	1921	2010	51	37.5	1976-09-26	Si	20.0	2001-09-27	No	31.0	2.2
Oct	1921	2010	50	36.5	1976-10-31	Si	22.0	2006-10-05	No	31.2	2.1
Nov	1921	2010	52	40.5	1976-11-05	No	17.0	1982-11-26	No	31.4	2.2
Dic	1921	2010	50	36.5	1976-12-12	Si	20.0	1972-12-19	No	31.0	2.3

TEMPERATURA MÍNIMA

Mes	Año	Año Nóm.	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Desv.	
Inicio	Fin	Años	Máximo	Máxima	Repetido	Mínimo	Mínima	Repetido	Medio	Estándar	
Ene	1921	2011	51	22.5	2004-01-05	No	2.0	1982-01-02	No	12.8	3.1
Feb	1921	2011	51	21.0	2006-02-10	No	1.0	1929-02-06	No	13.1	3.0
Mar	1921	2011	50	24.0	2005-03-06	Si	1.4	1929-03-22	No	13.9	3.4
Abr	1921	2010	45	23.5	2005-04-09	No	4.2	1931-04-06	Si	15.3	2.9
May	1921	2010	47	23.2	1923-05-26	Si	8.0	1931-05-06	Si	17.3	2.8
Jun	1921	2010	48	23.5	2009-06-15	No	2.0	1998-06-29	No	18.8	2.3
Jul	1921	2010	49	23.2	1924-07-18	No	7.2	1931-07-28	No	18.6	2.1
Ago	1921	2010	50	31.1	1966-08-16	No	10.0	1930-08-04	Si	18.4	2.2
Sep	1921	2010	51	22.5	1999-09-09	Si	9.0	1930-09-22	No	18.2	2.3
Oct	1921	2010	50	22.6	1924-10-08	No	2.0	1929-10-30	Si	17.4	2.6
Nov	1921	2010	52	22.5	2002-11-24	No	5.0	1928-11-29	No	15.8	2.9
Dic	1921	2010	50	20.2	1921-12-16	No	3.2	1931-12-28	No	13.7	2.9

PRECIPITACIÓN

Mes	Año	Año Nóm.	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Fecha	Se ha	Valor	Desv.	
Inicio	Fin	Años	Máximo	Máxima	Repetido	Mínimo	Mínima	Repetido	Medio	Estándar	
Ene	1921	2011	72	136.0	1992-01-25	No	0.0	1921-01-01	Si	0.7	6.0
Feb	1921	2011	72	94.0	2010-02-02	No	0.0	1921-02-01	Si	0.2	2.9
Mar	1921	2011	70	127.0	1968-03-04	No	0.0	1921-03-01	Si	0.1	2.9
Abr	1921	2010	66	26.0	1955-04-25	No	0.0	1921-04-01	Si	0.1	1.1
May	1921	2010	68	68.2	1983-05-27	No	0.0	1921-05-01	Si	0.4	3.3
Jun	1921	2010	69	120.3	1998-06-13	No	0.0	1921-06-01	Si	5.4	12.9
Jul	1921	2010	69	156.7	1954-07-28	No	0.0	1921-07-01	Si	8.5	15.2
Ago	1921	2010	68	105.9	1954-08-03	No	0.0	1921-08-03	Si	7.9	13.6
Sep	1921	2010	70	200.5	1989-09-05	No	0.0	1921-09-03	Si	7.5	13.8
Oct	1921	2010	69	248.0	1969-10-03	No	0.0	1921-10-01	Si	2.6	9.6
Nov	1921	2010	71	121.2	1982-11-26	No	0.0	1921-11-01	Si	0.7	5.5
Dic	1921	2010	70	152.5	1924-12-24	No	0.0	1921-12-01	Si	0.5	5.1

Figura 4. Valores de $T_{m\acute{a}x.}$, $T_{m\acute{i}n.}$ y PPM para la estación 6002 (Buenavista)

ANEXOS

De la tabla 3 se obtiene la C_p para cada parámetro ($T_{m\acute{a}x.}$, $T_{m\acute{i}n.}$, Ppm y "aptitud" del terreno natural). Para este ejemplo se obtiene lo siguiente.

Parámetro	Valor	C_p
Temperatura máxima	40.5° C	0
Temperatura mínima	1.0° C	0
Precipitación	248 mm	0
Aptitud del terreno natural	Media	75

Tabla 14. Calificaciones particulares (C_p) para la carretera El Trapiche al Aeropuerto de Colima

2. Obtención de la calificación por influencia (C_i)

De la tabla 5 se determina el factor de influencia para cada parámetro, el cual se multiplica por la calificación particular de cada uno de dichos parámetros por su factor de influencia, como se muestra en la siguiente tabla.

Parámetro	C_p	F_i	$C_i = C_p \times F_i$
Temperatura máxima	0	0.30	0
Temperatura mínima	0	0.15	0
Precipitación	0	0.20	0
Aptitud del terreno natural	75	0.35	26.2

Tabla 15. Calificaciones por influencia (C_i) para la carretera El Trapiche al Aeropuerto de Colima

3. Cálculo de la calificación global

El cálculo de C_g es

$$C_g = \sum C_i = 0 + 0 + 0 + 26.2 = 26.2$$

4. Determinación de la región (R) donde se construirá la carretera

Con C_g se obtiene de la tabla 6, que la región donde se construirá la carretera es la R4, la cual corresponde a una zona intermedia para el comportamiento del pavimento.

5. Selección de las secciones estructurales de pavimento

Con R4 y $\sum EE = 39 \times 10^6$, se seleccionan de la tabla de "secciones estructurales para pavimentos de carreteras normales", de la página 14 de este catálogo, las cuatro secciones de pavimentos que se podrán construir en la carretera considerada en este ejemplo. En las figuras siguientes se marcan con una flecha dichas secciones y se muestra el detalle de las mismas.

ANEXOS

CARRETERAS NORMALES

ΣEE	SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS				
	REGION (R)				
	R1	R2	R3	R4	R5
$\leq 10'000,000$					
$> 10'000,000$ ^a $\leq 20'000,000$					
$> 20'000,000$ ^a $\leq 40'000,000$					
$> 40'000,000$ ^a $\leq 80'000,000$					
$> 80'000,000$					

Nota: Los espesores están en cm y las secciones no están a escala.

Carpeta asfáltica
 Concreto hidráulico
 Subbase
 Base hidráulica
 Base estabilizada con asfalto
 Base estabilizada con cemento hidráulico
 Base modificada con cemento hidráulico

ΣEE = Sumatoria de ejes equivalentes R_n = Tipo de región

Figura 5. Selección de las secciones estructurales para la carretera mencionada en el ejemplo

En la figura 6 se muestra el detalle de las secciones posibles para las condiciones del ejemplo.

ANEXOS

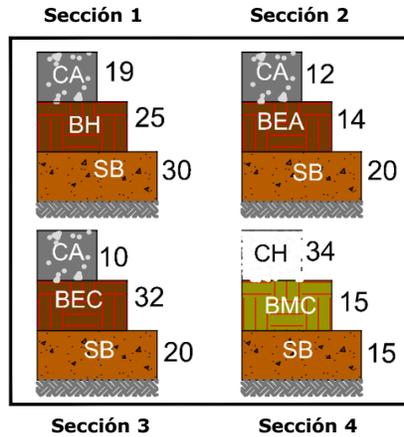


Figura 6. Detalle de las secciones aplicables a la carretera mencionada en el ejemplo

6. Definición de la estructura de pavimento más conveniente

Para seleccionar cual es la estructura de pavimento más conveniente se efectúa un análisis económico de la inversión inicial, considerando que para un proyecto real, deberán tomarse en cuenta los costos de conservación, operación, rescate, etc. Para este ejemplo los resultados se muestran en la Tabla 16.

.Sección	Material	Espesor, cm	Precio unitario, \$/m ³	Precio por m ² , \$
1	CA	19	2,500.00	\$475.00
	BH	25	250	\$62.50
	SB	30	200	\$60.00
	Total:			\$597.50
2	CA	12	2,500.00	\$300.00
	BEA	14	1,500.00	\$210.00
	SB	20	200	\$40.00
	Total:			\$550.00
3	CA	10	2,500.00	\$250.00
	BEC	32	320	\$102.40
	SB	20	200	\$40.00
	Total:			\$392.40
4	CH	34	1,900.00	\$646.00
	BMC	15	300	\$45.00
	SB	15	200	\$30.00
	Total:			\$721.00

CA = Carpeta asfáltica, CH = Concreto Hidráulico, BEA = Base estabilizada con asfalto, BEC = Base con cemento hidráulico, BMC = Base modificada con cemento hidráulico, BH = Base Hidráulica

Tabla 16. Análisis de costos de las secciones de pavimento

ANEXOS

De lo anterior se concluye que la sección estructural de pavimento más conveniente es la sección 3, mostrada en la figura 6, debido a su costo de inversión más bajo.

7. Selección de la capa de rodadura

Para la selección de la capa de rodadura se siguen los siguientes pasos.

- Determinación del nivel de tránsito (ΣEE)

Se obtiene de la tabla 9. La ΣEE para el horizonte de proyecto de 20 años, es 39 millones, lo cual arroja una categoría de tránsito **$\Sigma EE3$** .

- Definición de necesidades funcionales

En primer lugar es necesario clasificar el camino en función de la velocidad de proyecto y el tipo de precipitación pluvial de la zona donde se construirá.

Por tratarse de una carretera que unirá una población pequeña y el aeropuerto, se considera la velocidad de proyecto de 80 km/h, por lo que la clasificación de velocidad para el camino es **Media**.

La intensidad de precipitación en la zona del proyecto en época de lluvias está entre los 18 y 20 mm/h. Con esa intensidad de lluvia, la clasificación del tipo de precipitación indicada en la tabla 11 es **Fuerte**.

- Selección de la capa de rodadura

De acuerdo a las recomendaciones dadas en el procedimiento de selección de capa de rodadura, para una intensidad de lluvia fuerte se recomienda utilizar mezclas abiertas o CASAA.

Dadas las condiciones existentes para este ejemplo, se determina que la capa de rodadura por utilizar debe ser CASAA o Abierta.

- Análisis económico

Para determinar cuál mezcla es más conveniente utilizar, se efectúa el cálculo del Costo Anual Uniforme Equivalente (EUAC) para cada capa. A continuación se muestran las consideraciones para el cálculo.

- Se considera un costo por m^3 de la mezcla CASAA ya colocada de \$3,100 y para la mezcla abierta de \$2,900. El espesor de aplicación para ambos casos es de 3 cm. Así el costo por m^2 resulta de la multiplicación del costo por m^3 por el espesor en m.
- En cuanto a la tasa de descuento, se considera para ambos casos un 4% (0.04).
- Para la vida útil de cada mezcla se consideran los datos provistos en la tabla 12.

ANEXOS

A continuación se muestra el cálculo del EUAC para cada capa de rodadura por m², con los datos anteriormente mostrados.

$$EUAC_{CASAA} = \frac{(P * r)}{1 - (1 + r)^{-n}} = \frac{(3100 \text{ m}^3 \times 0.03 \text{ cm} * 0.04)}{1 - (1 + 0.04)^{-4}} = 25.62$$

$$EUAC_{ABIERTA} = \frac{(P * r)}{1 - (1 + r)^{-n}} = \frac{(2900 \text{ m}^3 \times 0.03 \text{ cm} * 0.04)}{1 - (1 + 0.04)^{-3}} = 31.35$$

Conforme a los resultados obtenidos, la capa de rodadura por utilizar será una capa tipo CASAA con espesor de 3 cm.