



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



CAMPUS ACATLÁN

INGENIERÍA CIVIL

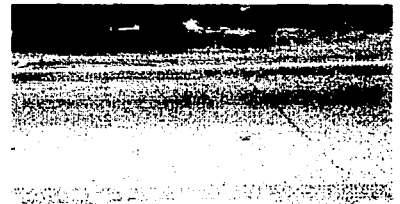
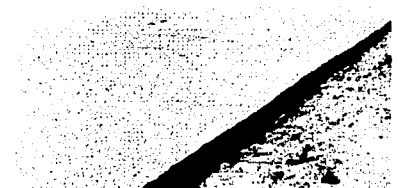
TESIS

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PASEO TOLLOCAN EN LA CIUDAD DE TOLUCA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

02 NOV 16 PM 8 34

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CAMPUS ACATLÁN

290001



ALUMNO: JOZAPHAT D' GAMERO Y BARRERA
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
PREESPECIALIDAD: CONSTRUCCIÓN
No. DE CUENTA: 9115705-2
GENERACIÓN: 1995-99
ASESOR DE TESIS: MANUEL ZARATE AQUINO
FECHA DE ELABORACIÓN: NOV-2001 A SEP-2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO
EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PASEO TOLLOCAN
EN LA CIUDAD DE TOLUCA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

- I N D I C E -

Introducción	1
Capítulo 1	7
"Generalidades"	7
1.1 Las vías terrestres	7
Las vías terrestres en México	8
La ingeniería de caminos	14
a) Carreteras	15
Clasificación de carreteras	16
Clasificación por transitabilidad	16
Clasificación administrativa	17
Clasificación técnica oficial	18
Clasificación general de carreteras en México	19
b) Ferrocarriles	20
Clasificación de los ferrocarriles	20
Constitución de la vía	21
Los ferrocarriles en México	21
c) Pisos industriales	22
Clasificación de pisos	23
d) Pavimentos urbanos	24
Tipos de instalaciones en un pavimento urbano	24
Tipos de vialidades urbanas	26
1.2 Descripción y función de un pavimento	28
a) Definición	28
b) Descripción y función de un pavimento	30
Características funcionales y estructurales de los pavimentos	30
c) Factores a considerar en el proyecto	31
d) Tipos de pavimentos	32
Pavimentos flexibles	32
Pavimentos rígidos	33
Tipos de pavimentos rígidos	33
Los pavimentos mixtos o compuestos	35
Estructura de un pavimento	35
Descripción y funciones de las capas de un pavimento	35
Carpeta	35
Valores estándar de calidad para materiales de carpeta de concreto hidráulico	36
Cemento	36
Agua	37
Materiales pétreos	37
Grava	37
Arena	38
Base, subbase, subrasante y cuerpo de terraplén	39
Base	40
Subbase	41
Subrasante	43

Cuerpo de terraplén	44
Principales materiales básicos empleados en la construcción de pavimentos	47
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas	48
Estructuras típicas de un pavimento	51
Pavimentos flexibles	51
Pavimentos rígidos	52
Secciones de rehabilitación	52
Estructuras particulares	53
1.3 Problemática de los pavimentos urbanos	54
Fallas en los pavimentos	54
Fallas funcionales	55
Falla estructurales	55
Fallas de los pavimentos flexibles	55
Fallas de un pavimento rígido	60
Fallas de un pavimento mixto	62
a) El pavimento urbano con alto tránsito del paseo Tollocan	63
El tránsito en un pavimento	63
Tránsito en las intersecciones	66
Tránsito en los puentes	66
Configuración de ejes	67
Clasificación de vehículos	68
Recopilación de datos de tránsito	77
Composición del tránsito. Fórmulas de equivalencia	79
b) La vida útil y el nivel de rechazo de un pavimento	81
Índice de calidad de servicio (Present serviceability index)	83
Ecuaciones para calcular el índice de calidad de servicio	84
Ecuaciones para pavimentos flexibles	84
Ecuaciones para pavimentos rígidos	85
c) La rehabilitación y mantenimiento de un pavimento	86
Conservación normal	86
Rehabilitación y mantenimiento para los pavimentos flexibles	87
Conservación normal o preventiva	87
Conservación mayor	88
Conservación de pavimentos rígidos	90
Conservación menor	90
Conservación mayor	90
Proyecto y programación de las vías terrestres	91
Recomendaciones francesas de conservación	92
Capítulo 2	
"La modernización y rehabilitación de las laterales del paseo Tollocan"	94
2.1 Antecedentes	94
Revisión de la estructura del pavimento existente	95
Estudio geotécnico	95
Trabajos de laboratorio	97
Características del material de cimentación	101
Análisis del espesor efectivo de la estructura actual	101
Recopilación de datos de tránsito	101
El nivel de rechazo de las laterales del paseo Tollocan	102
Determinación del <u>Índice de servicio actual -PSI-</u> (Present serviceability index)	102
Determinación del <u>Índice de servicio terminal p_t</u>	104
Propuesta de rehabilitación con pavimento flexible	106
Parámetros de diseño	107
Espesores requeridos para la nueva estructura	112

Propuesta de reconstrucción con pavimento rígido	113
Inventario general de las obras de drenaje, así como de las instalaciones que interactúan con el pavimento	113
Elaboración de los proyectos de las obras de drenaje	114
Levantamiento topográfico	114
Conclusiones	115
2.2 Las ventajas de utilizar el pavimento de concreto hidráulico	116
2.3 El método de diseño para pavimentos de concreto	121
Método de la PCA (Portland Cement Association)	121
Factores de diseño	126
Resistencia del concreto a la flexión	126
Capacidad de soporte de la subrasante o del conjunto subrasante-subbase k_c	127
El periodo de diseño	128
Tránsito (Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas)	129
Procedimiento de diseño	131
Análisis de fatiga	132
Análisis de erosión	133
Conclusiones	138
2.4 El costo de inversión inicial, el costo de mantenimiento y la vida útil de la obra	139
El costo de inversión inicial	139
El costo de mantenimiento	140
La vida útil de la obra	140
Capítulo 3	
"El proceso constructivo de la repavimentación de las laterales del paseo Tollocan"	142
3.1 Obras preliminares	142
a) Control del tránsito durante la obra	142
Logística de pavimentación	142
Dispositivos para protección de obras (señalamientos).	144
Trabajos diurnos	144
Trabajos nocturnos	145
Protección del pavimento	146
Letreros informáticos	148
b) Demolición del pavimento existente para alcanzar niveles de proyecto	149
Para los dos cuerpos laterales	149
Para los carriles de aceleración y deceleración	151
Para el tramo con capa rompedora de capilaridad	152
c) Ubicación y protección de instalaciones subterráneas	153
d) Trazo y nivelación del proyecto geométrico	156
3.2 Construcción de la estructura del nuevo pavimento	160
a) Mejoramiento y compactación de la capa subrasante	160
b) Tendido y compactación del material de subbase	163
c) Cimbra metálica para el pavimento de concreto hidráulico premezclado (fija y deslizante)	165
Cimbra fija	165
Cimbra deslizante	169
d) El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento	173
Procedimiento constructivo	173
Especificaciones generales	176
Especificaciones particulares	175
Agregados.	175

Grava	176
Arena	177
Cemento	177
Agua	179
Aditivos	179
Revenimiento del concreto	180
Mezcla de concreto hidráulico	181
Resistencia del concreto	181
Relación agua/cemento	183
Contenido de cemento	183
Aire incluido	184
Dispositivos de sujeción (barras de amarre).	184
Dispositivos de transferencia de cargas (barras pasajuntas)	185
Tolerancias de construcción	186
Alineamiento de las pasajuntas	187
Espesor de la losa de concreto	187
Espesor de la estructura del pavimento	188
Criterios de medición y pago	189
e) Texturizado de la superficie del pavimento de concreto	190
Procedimiento constructivo	191
Resistencia al derrapamiento	192
Rugosidad	193
Ajuste de precio por calidad de la superficie del pavimento	194
Trabajos de corrección a la superficie del pavimento	194
Equipos de medición de la textura superficial del pavimento	195
Perfilógrafo computarizado	197
f) El curado del concreto hidráulico premezclado	198
Procedimiento constructivo	199
Especificación para la membrana de curado	200
g) Los cortes transversales y longitudinales de las losas	201
Tipos de juntas	202
Juntas transversales de contracción	202
Juntas transversales de construcción	204
Juntas transversales de expansión/aislamiento	205
Juntas longitudinales de contracción	206
Juntas longitudinales de construcción	206
Recomendaciones para diseñar juntas en el pavimento de concreto	207
h) El sello de los cortes transversales y longitudinales	209
i) Apertura al tránsito	213
Condiciones para la apertura al tránsito de vehículos y equipos de construcción que llevaron a cabo los trabajos	213
Condiciones para la apertura al tránsito de operación normal	213
j) El mantenimiento preventivo y correctivo	215
Estrategia de mantenimiento	215
Conclusiones	217
Referencias	219
Contenido de figuras	220
Contenido de tablas	223
Agradecimientos	224

INTRODUCCIÓN

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PASEO TOLLOCAN EN LA CIUDAD DE TOLUCA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

La carretera México-Toluca constituye uno de los tramos más importantes de la carretera federal # 15, que comunica la capital de la República con la ciudad de Nogales, en la frontera con los Estados Unidos.¹

A principios de 1929, la carretera México-Toluca, pasó a depender de la Comisión Nacional de Caminos, siendo un camino provisional para automóviles. Fue la primera vía cuya construcción atendió formalmente esta dependencia. Durante este año se procedió a reconstruirla y repararla en algunos tramos y antes de finalizar el año algunos tramos fueron petrolizados. Poco tiempo después, todo el camino hasta Toluca quedó cubierto con asfalto.¹

En ese entonces, la carretera pasaba por zonas que en la actualidad pertenecen a la ciudad de México, como son Belem, Santa Fe, Cuajimalpa y Contadero. También pasa por la zona conocida como la Angostura. Más adelante se une con el camino al Desierto de los Leones. El punto más alto por el cual cruza es la zona conocida como Puerto las Cruces, a una altitud de 3,165 metros sobre el nivel del mar. Posteriormente, existen poblados cercanos, sobre los cuales tiene una influencia importante, como son: Xajalpa, San Miguel Ameyalco, Ocoyoacac, Chimaliapa, Amomulco, Lerma, Metepec, Tenango del Valle, Tenancingo. Finalmente, llega a la ciudad de Toluca, por el paseo Tollocan.¹

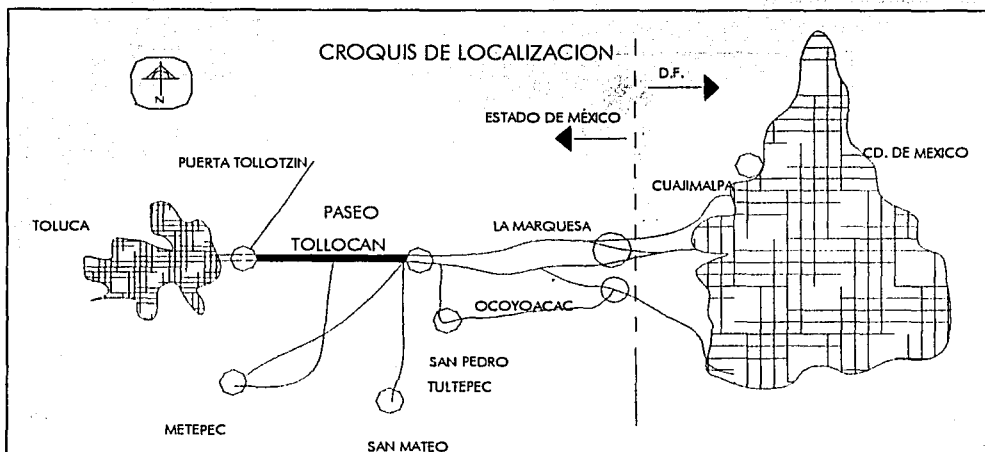


Figura 1.- Croquis de localización del paseo Tollocan.

A la fecha, no se cuenta con información detallada de todos los trabajos de conservación que se la han dado. Esta vía, si bien a principios de los años sesentas, se efectuó la modificación más importante consistente en la ampliación de la corona a 4 carriles, en un solo cuerpo (2 carriles por sentido) y la modificación de algunas curvas consideradas peligrosas, posteriormente a fines de los años setentas y a principios de los ochentas, se construyó otro cuerpo, en el sentido Toluca - México, ampliados a 3 carriles por sentido.¹

Por lo que respecta al tramo en estudio, fue el 23 de Octubre del año de 1973, cuando se inauguró el paseo Tollocan, tal como se encuentra en la actualidad, proyecto en el que participaron empresas especialistas en los diferentes trabajos que se ejecutaron, como son: estructuristas, de ingeniería de tránsito, de geotecnia, de hidrología y drenaje, especialistas en la siembra y plantación de arboles y paisajistas, todos bajo la coordinación del arquitecto Pedro Ramírez Vázquez; fue quizá una de las primeras obras viales en que la solución se dió a través de un equipo interdisciplinario.¹

Tabla 1
Localización geográfica del tramo en estudio¹

Las coordenadas X, Y y Z que corresponden al tramo son:

	Longitud	Latitud	Altitud
Origen del tramo "San Mateo"	99° 37' 43" OESTE	19° 17' 32" NORTE	2,640 m.s.n.m.
Terminación del tramo "La puerta Tolotzin"	99° 30' 56" OESTE	99° 16' 48" NORTE	2,600 m.s.n.m.



Figura 2.- Origen del tramo: El monumento a Emiliano Zapata ubicado en la intersección del paseo Tollocan y la entrada al Municipio de San Mateo Atenco (Cadenamiento 0+000).



Figura 3.- Terminación del tramo: La puerta Tolotzin, ubicada en la intersección del paseo Tolloacan y la Av. Alfredo del Mazo. (Cadenamiento 10+800)

Regionalmente el valle de Toluca constituye la meseta más alta de la República Mexicana, la cual consta con extensas planicies y se ubica a una altitud media de 2,650 m.s.n.m., la temperatura media anual es de 10.1°C con máximas y mínimas promedio de 18.4°C y 1.7°C bajo cero respectivamente. La precipitación media anual es de 821 mm y la humedad relativa media es del 40%.¹

Como se puede observar en las figuras 4, 5, 6 y 7, el Paseo Tolloacan en el tramo de estudio consta de los siguientes elementos:

- ✓ Dos cuerpos centrales (10.50 m de ancho) de dos carriles cada uno para circulación de alta velocidad.
- ✓ Dos acotamientos (2.50 m de ancho) para cada cuerpo central.
- ✓ Un camellón central jardinado de 24.00 m de ancho que divide a los cuerpos centrales de alta velocidad.
- ✓ Dos cuerpos laterales de 9.00 m de ancho para circulación de baja velocidad.
- ✓ Dos camellones laterales (20.00 m de ancho el sur y 40.00 m de ancho el norte) jardinados que dividen a los cuerpos centrales de cada una de sus laterales.
- ✓ Una ciclopista (1.20 m de ancho) para cada camellón lateral.
- ✓ Una línea de ferrocarril en la lateral norte (sentido México-Toluca) para servicio de la zona industrial.
- ✓ Agujas de incorporación y desincorporación de tránsito, colocadas estratégicamente a lo largo del paseo.
- ✓ Guarniciones y banquetas en las laterales.

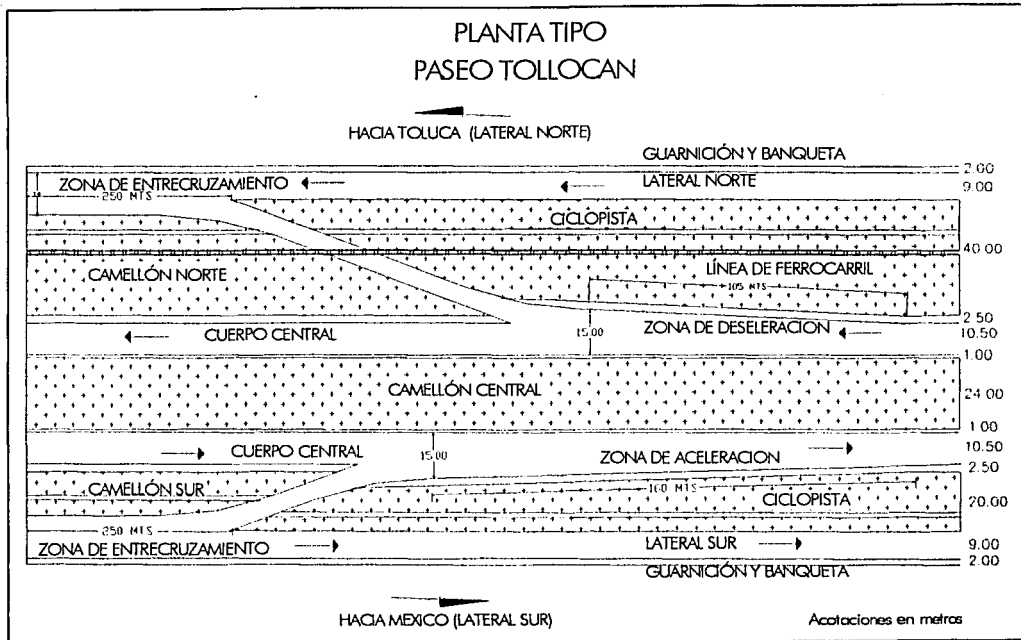


Figura 4.- Planta del paseo Toluca, donde se pueden observar los elementos que lo conforman.



Figura 5.- Panorámica de la lateral Sur, donde se aprecia el cuerpo y camellón central, los acotamientos, el camellón lateral, la ciclopiستا y el cuerpo lateral.



Figura 6.- Panorámica de la lateral Norte, donde se aprecia la vía de ferrocarril.

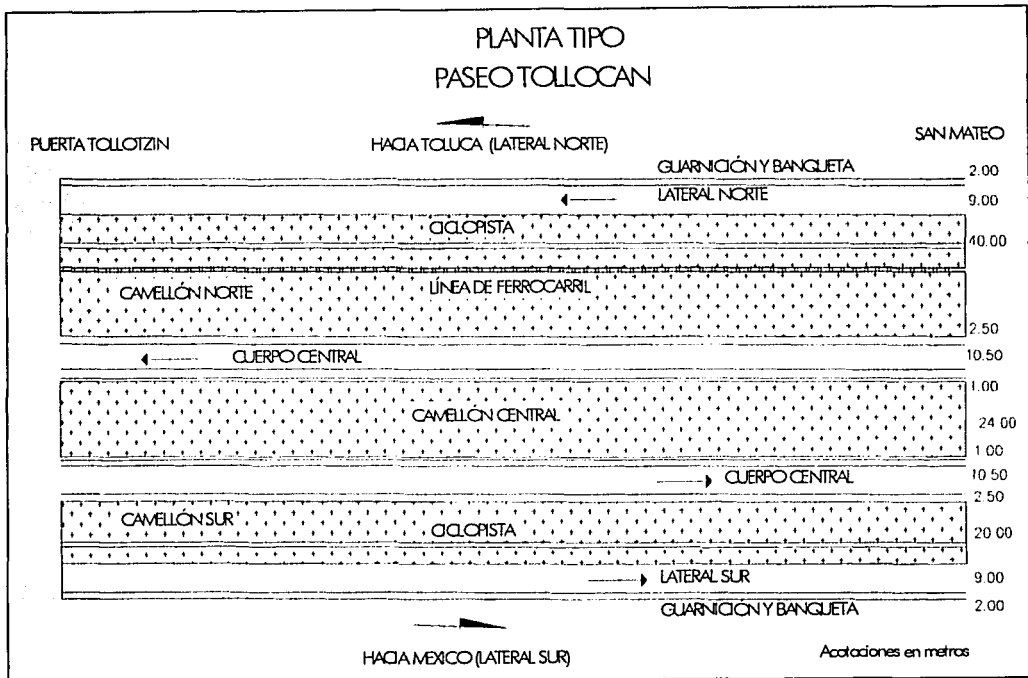


Figura 7.- Planta tipo del paseo Tollocan.

En los carriles centrales existían retornos que provocaban constantes accidentes, ya que los vehículos tenían que partir de velocidad cero para incorporarse a los carriles centrales en donde la velocidad supera los 80 km/h; por tal motivo la modernización contempla la cancelación de estos elementos y sustituirlos por retornos continuos que se colocarán en cada uno de los cinco puentes vehiculares.

A lo largo de la lateral Norte desde el municipio de Lerma hasta la Av. Alfredo del Mazo, está ubicada la zona industrial de Toluca, la cual aporta una gran cantidad de vehículos de carga (camiones y trailers con semiremolques y remolques) al tránsito de las laterales del paseo Tollocan, además de que es paso obligado de los autobuses de pasajeros que llegan y salen de la central camionera de Toluca, estas dos razones son las que pesan más en el deterioro de la superficie y cimentación de esta avenida.

De esta manera los baches de grandes dimensiones y profundidad, superficie ondulada, deformaciones transversales y longitudinales, roderas, pérdida de rugosidad, acumulación de agua, etc, fueron los problemas que estaban ocasionando grandes costos de operación y por lo tanto cada vez se acercaba más a la categoría de intransitable el pavimento de las laterales de esta avenida.

Fué así como el paseo Tollocan en sus dos laterales (Norte y Sur), alcanzó a finales del año de 1998 el nivel de rechazo de un pavimento, problema que ya no era posible solucionar con trabajos de mantenimiento parciales.

En general los múltiples accidentes en los carriles centrales, y el martirio de circular por las dos laterales, obligaron a la Junta de Caminos del Estado de México a realizar un proyecto que solucionara los problemas existentes en el tramo de 10.8 km de longitud, de esta manera empiezan los trabajos en los primeros días del mes de Marzo de 1999.

Por todo lo anterior, el objetivo de la presente tesis es recomendar ampliamente los pavimentos rígidos de concreto hidráulico para casos similares al del paseo Tollocan, donde distintos factores como los volúmenes de tránsito pesado a bajas velocidades y menor mantenimiento, aceleran el deterioro de un pavimento hasta que ninguna técnica de mantenimiento parcial sirva y sea necesaria la rehabilitación del pavimento.

CAPÍTULO 1

" GENERALIDADES "

1.1 Las vías terrestres

Por necesidad los primeros caminos fueron vías de tipo peatonal (veredas) que las tribus nómadas formaban al deambular por las regiones en busca de alimentos, posteriormente cuando esos grupos se volvieron sedentarios, los caminos peatonales tuvieron finalidades religiosas, comerciales y de conquista. En América, en México particularmente, hubo ese tipo de caminos durante el florecimiento de las civilizaciones Maya y Azteca.²

Con la invención de la rueda, apareció la carreta, y fué necesario adecuar los caminos para que la circulación resultara lo más "cómoda" y "rápida posible", así los espartanos y los fenicios hicieron los primeros caminos de que se tiene noticia.²

En épocas pasadas, y durante bastante tiempo, las comunicaciones marítimas y fluviales llegaron a ser las más importantes, ya que la construcción de caminos para vehículos de tracción animal resultaba extremadamente difícil. Mientras que las embarcaciones, con el viento como medio de locomoción, les facilitaba enormemente la tarea. Pero esta situación fué poco a poco cambiando, pues una mejor organización de los vehículos de ruedas, dio como resultado que se mejoraran también los caminos, los cuales fueron desempeñado un papel cada vez más importante en la comunidad.³

A fines del siglo XVIII sobreviene un fuerte aumento en la población y hace necesaria la comunicación con zonas internas alejadas de las vías marítimas y fluviales. Para entonces, ya se han perfeccionado bastante los procedimientos de construcción y el progreso es rápido; con la invención de las máquinas de vapor, aparece el ferrocarril como una maravilla técnica y los caminos son relegados, esta vez a segundo término y como auxiliares del ferrocarril.³

También a comienzos del siglo XIX la tecnología ayuda al perfeccionamiento de los motores de combustión interna y se inicia el uso del automóvil como transporte terrestre, ejerciendo de inmediato una influencia extraordinaria en la función de los caminos, implantándose una nueva era en la construcción y conservación de los mismos con el uso de los asfaltos.³

Una vista del rápido desenvolvimiento del transporte, por las carreteras, apuntaba que estaba próximo a su fin el ferrocarril, pero los combustibles para motores de combustión interna se han encarecido mucho y además la construcción y conservación de las carreteras implica un fuerte costo sobre el presupuesto de Obras Públicas, y los camiones no pueden competir en lo relativo a la capacidad de transporte contra el

ferrocarril. Se puede decir que el ferrocarril tiene una gran capacidad de carga pero un elevado costo del tendido de vías así como de instalaciones y conservación, los cuales le impiden llegar a todas partes, ya que en determinadas lugares para algunos recorridos es completamente antieconómico.³

Los vehículos de carga, a través de las carreteras, por el contrario pueden llegar a todas partes y comunicar los centros más importantes con los más pequeños y lejanos lugares, pero cuando se quiere que acarreen la cantidad de carga equivalente a la que transporta el ferrocarril, se percata uno de que la conservación de las carreteras es elevada, que se necesita un elevado número de camiones, que el consumo de combustibles, lubricantes y llantas es tremendo y que plantean enormes problemas de tránsito con sus constantes accidentes.³

Con este panorama se inicia la era del transporte aéreo con el primer viaje de los hermanos Wright en 1903, viaje en un avión de motor con el cual volaron unos 230 metros a 35 km/hr y a la altura de un metro. Desde entonces, la aviación se ha desarrollado en forma fantástica, siendo por ello imprescindible la construcción, conservación, mejoramiento y ampliación de muchos aeropuertos.³

Los medios de comunicación por tierra, agua y aire son conocidos como motores de la vida social, y poderosos instrumentos de la civilización. Así, en los transportes por tierra, se tienen las carreteras con sus diferentes categorías y los ferrocarriles con su diversidad de vías; en los transportes por agua, están las comunicaciones marítimas y las fluviales, y en la transportación aérea el flujo comercial y de pasajeros se incrementa día a día.³

De esta manera los diversos medios de transportes a través de su infraestructura (carreteras, puertos, aeropuertos, vías férreas, etc.) interactúan para satisfacer las demandas de transporte de carga o pasajeros del ser humano.

Las vías terrestres en México

Aunque los habitantes del México prehispánico desconocían la aplicación mecánica de la rueda y no tenían bestias de tiro y carga, disponían de una red de caminos y calzadas, además de veredas y senderos, que hacia el sur los llevaron hasta cerca del actual canal de Panamá.⁴

Cabe mencionar que el código legal mexicana alude a la construcción y conservación de los caminos. Con aguda intuición los mexicas proyectaron y localizaron caminos de acuerdo con sus necesidades y los accidentes geográficos. Los construyeron con terracerías, usando bases de piedras; la superficie se recubría con grava para rellenar

los intersticios y, finalmente, se tendía una capa de argamasa como cementante natural, la que al endurecer formaba una cubierta recia y lisa.⁴

En lo que hoy es la República Mexicana, en la época precortesiana existían, como ya se dijo numerosos caminos peatonales. Los españoles introdujeron las carretas, y Fray Sebastián de Aparicio (monje franciscano) construyó las primeras brechas o veredas, con lo que comenzó una tradición caminera muy arraigada.⁴

Durante la Conquista los españoles utilizaron fundamentalmente los caminos construidos por los indígenas; tal es el caso de los que habían construido los aztecas para comunicar a Tenochtitlán con las costas de Veracruz, que eran muy usados antes de la llegada de los conquistadores y que durante varios siglos han sido de los más importantes de México.⁴

Los caminos construidos por los aztecas se empleaban frecuentemente para el transporte de mensajes, y en los principales se colocaban torrecillas donde pernoctaban los indígenas que actuaban como correos; cada correo se trasladaba rápidamente de su torre a la inmediata y comunicaba oralmente a otro el mensaje o le entregaba los pictogramas que representaban la noticia, o la mercancía que transportaba. Según indica el autor Manuel Orozco y Berra, de este modo los mensajeros cubrían la distancia de 420 km en un día, con lo que Moctezuma podía obtener diariamente pescado fresco de las costas de Veracruz.⁴

En la época colonial la minería dio origen a numerosos centros de población, que constituían la mayor parte del ingreso del país. Al amparo de esta actividad surgieron ciudades tan importantes como Pachuca, Zacatecas, Guanajuato y otras muchas, así como también se impulsó el desarrollo de una vasta red de caminos. La introducción de animales de tiro y carga motivó las primeras transformaciones de los caminos prehispánicos.⁴

Durante la Colonia fue necesario también construir un gran número de puentes, los cuales con frecuencia se hacían de madera; pero debido a su rápida destrucción, fueron sustituidos por puentes de mampostería como el puente de Cabadas, en La Piedad, Michoacán, edificado en 1830 sobre el río Lerma, que mide 67.00 m de largo y tiene 8.40 m de anchura; el del ferrocarril mexicano sobre la barranca de Metlac, construido en 1872, que está en curva y tiene 137.00 m de longitud; y el puente de Tasquillo, Hidalgo, construido en 1883, que es de hierro vaciado, de 80.00 m de largo por 8.00 m de anchura y se apoya sobre cuatro pilares de calicanto.

En los años inmediatos posteriores a 1810, fecha en que se inició la guerra de Independencia, poco se hizo en materia de caminos, concretándose el gobierno a expedir algunas leyes relativas a estas vías terrestres y aún a elaborar proyectos para la apertura de nuevos caminos, sin que éstos se llegaran a realizar.⁴

El primer esfuerzo formal en el aspecto técnico que se hizo para emprender la construcción de caminos en la República fue la creación, en 1842, de un *Cuerpo Civil de Ingenieros de Caminos, Puentes y Calzadas*, organismo que no prosperó, por lo que en 1846 se fundó la *Dirección General de Colonización e Industria*, a cuyo cargo quedó la construcción y reparación de caminos. Esta dirección fue sustituida, en 1853, por la *Secretaría de Fomento*.⁴

En 1917 el presidente Venustiano Carranza creó la *Dirección de Caminos y Puentes* dentro de la *Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas*, que se encargó de la construcción de algunos caminos en los estados de Puebla, Hidalgo, Morelos y México.⁴

Al inicio del siglo XX se introdujeron en el país los primeros automóviles, que utilizaron principalmente los caminos de carretas. No fue sino hasta el año 1925 cuando el general Calles creó la *Comisión Nacional de Caminos*, que inició la pavimentación y la construcción de muchas de las carreteras que existen en la actualidad con técnicas avanzadas.⁴

Los primeros caminos de este tipo iban de la ciudad de México a Veracruz, a Laredo y a Guadalajara. Fueron proyectados y construidos por firmas de Estados Unidos, pero desde 1940 los ingenieros mexicanos se encargaron de los trabajos.⁴

De esta manera la *carretera de México a Cuernavaca* fué la primera autopista de la República Mexicana, que se inició el 18 de marzo de 1950 y fue terminada en septiembre de 1952. La autopista México-Cuernavaca tiene 64 Km de longitud, una anchura de 21.00 m y estaba dividida en dos carriles por medio de un camellón central de 1.80 m de anchura. La pendiente máxima de la carretera es del 4%; la máxima curvatura es de 4 grados y la sobreelevación está calculada para velocidades superiores a 100 km/h. Para su construcción se removieron aproximadamente 6 millones de metros cúbicos de material, de los cuales el 80% era rocoso.⁴

Los caminos terrestres que había en México en el año de 1970 *tenían una longitud total de 71,520 Km*; de éstos, 42,754 correspondían a carreteras pavimentadas, 20,703 a caminos revestidos y 8,063 a terracería. En 1986 la longitud de la red de caminos alcanzaba ya 214,470 Km, de los cuales 70,740, es decir el 32.9% estaban pavimentados; 89,130 (41.6 %) revestidos y 54,600 (25.5 %) en terracería. Todos ellos fueron construidos con técnicas mexicanas y demuestran el alto grado de avance a que ha llegado la ingeniería civil en México.⁴

En la actualidad se tiene una red de caminos pavimentados de 95,000 km más 229,000 km de caminos secundarios, con superficie de rodamiento revestida, para asegurar el tránsito de los vehículos en todo momento.⁵

Cabe mencionar que la construcción de algunas carreteras ha sido concesionada por parte del gobierno hacia algunas empresas privadas como Triturados Basálticos, S.A.

de C.V. (TRIBASA), que tiene a su cargo la carretera Chamapa-Lechería en los límites del Estado de México y el Distrito Federal.

La construcción de puentes en los caminos de México también se ha desarrollado de una manera notable; hay en la actualidad un gran número de ellos que son obras de ingeniería de gran importancia. Pueden citarse como ejemplos, *el puente construido sobre el río Coatzacoalcos en la carretera costera del golfo de México*, el cual tiene una longitud de 985.00 m, su subestructura fué construida de estribos y pilas de concreto reforzado sobre cilindros del mismo material; su superestructura es de concreto presforzado y tiene un tramo levadizo de armadura de acero; y *el puente localizado sobre el río Colorado en la carretera costera del Pacífico, cuya longitud es de 305.00 m*, su subestructura es de pilas y caballetes de concreto armado sobre cilindros del mismo material, y su superestructura es de traveses de acero soldado continuas en toda la longitud, y de presforzado (*puentes atirantados*).⁴

Por lo que se refiere a los ferrocarriles en México, puede considerarse que su utilización se inicia cuando en 1837 don Francisco de Arciniega obtuvo del gobierno del presidente Anastasio Bustamante la primera concesión otorgada en el país para la construcción de un camino de hierro que uniría el puerto de Veracruz con la ciudad de México. A instancias de José María Tornel, la ruta habría de pasar por las ciudades de Orizaba y Córdoba. En cambio la ciudad de Puebla no quedaba comprendida dentro del trazo, por lo que se tendería un ramal secundario de Apizaco a esa ciudad.⁴

*Fue el 16 de septiembre de 1850 cuando, después de 8 años de trabajos, se inauguró el primer tramo de vía en la ruta México-Veracruz, el que uniría al puerto con El Molino. Un año más tarde se puso en servicio su prolongación hasta Paso de San Juan. En julio de 1857 se inauguró, en el otro extremo, el tramo México-Villa de Guadalupe, con extensión de 5 Km. Los extremos quedarían unidos el 20 de diciembre de 1872 en las Cumbres de Maltrata, contando la vía con una longitud total de 423.75 Km, en el reconocimiento de la ruta, así como en la construcción de la misma, trabajaron ingenieros estadounidenses, ingleses y mexicanos; entre estos últimos, Pascual Almazán, quien hizo el reconocimiento y trazo en el tramo de Jalapa.*⁴

En toda la línea de México a Veracruz y su ramal Apizaco a Puebla, con 47Km, se construyeron 10 viaductos, 55 puentes de hierro, 93 puentes de madera y 358 alcantarillas. Algunos puentes son: el de Metlac, con 137.00 m de largo, en curva, que es una de las obras más notables y hermosas de la línea; el de La Soledad, de 228.00 m; el Atoyac, de 100.00 m; y el San Alejo, de 97.00 m de longitud.⁴

La ruta se inauguró por etapas, según se fue terminando cada uno de los tramos. Se puso en servicio el ramal Apizaco-Puebla el día 16 de septiembre de 1869, el de Veracruz-Atoyac en 1870 y el de Atoyac a Fortín en diciembre de 1871. *La ruta, en toda su longitud, fue inaugurada y puesta en servicio el día 1º de enero del año de 1873.*⁴

Durante la época de construcción del ferrocarril a Veracruz se emprendieron varios proyectos; y se entregaron concesiones como en 1857, que se autorizaba la formación de la empresa para hacer el camino de hierro entre las ciudades de *Guanajuato* y *Querétaro*, y otro entre la primera de éstas y La Piedad. En el año de 1874 se decretó igual autorización para construir una vía férrea entre *México* y *León*. Para la construcción del ferrocarril de *León a Río Bravo del Norte* se celebró un contrato con Eduardo Lee Plumb. Se tendió otro ferrocarril, de vía angosta, de *Celaya a León e Irapuato*. En 1877 se autorizó al gobierno de Guanajuato a tender y explotar una línea y su telégrafo que, partiendo de *Celaya* y pasando por *Salamanca, Irapuato* y *Silao*, terminara en *León*, ligando con un ramal a la ciudad de *Guanajuato*. Poco después, en 1878, el gobierno de Querétaro obtuvo una autorización similar para comunicar por ferrocarril la ciudad de *Celaya* con las de *San Juan del Río* o la *Puerta de Palmillas*, límite con el estado de *Hidalgo*.⁴

En 1880 se concesionó a la Compañía Limitada del Ferrocarril Central Mexicano (empresa estadounidense) la construcción de tres líneas que unirían la capital mexicana con la ciudad de Paso del Norte (hoy Ciudad Juárez) y con la costa del Pacífico, pasando por Guadalajara. A lo largo de sus rutas ofrecería comunicación a importantes ciudades del centro del país. En 1885 inició la construcción del ramal ferroviario *Chicalote-Tampico*, de 665 Km, obra que se terminó cinco años más tarde y que, al entrar en operación, acrecentó el interés que ya había en el país por la construcción de las instalaciones portuarias de Tampico. En esa misma época se construyó el ferrocarril *Monterrey-Tampico*.⁴

En el transcurso de los años de 1880 a 1902 la red ferroviaria se extendió por casi todo el territorio nacional, orientándose en su mayor parte a comunicar los más importantes centros mineros y de producción agrícola con los puertos de *Veracruz* y *Tampico*, en el *Golfo de México*, y *Mazatlán*, en el *Pacífico*, así como con la frontera norte del país. El ferrocarril transistmico se construyó en función de una ruta para el transporte de carga interoceánica en una época en que aún no se abría el canal de Panamá.⁴

En el año de 1880 se inició en *Guaymas, Sonora*, la construcción de la vía férrea del Pacífico que, bajo el nombre de Ferrocarril de Sonora, comunicó a ese puerto con Nogales. En 1905 se emprendieron los trabajos de *Guaymas*, al sur, y en 1909 se llegó a *Mazatlán*. El ferrocarril Sudpacífico de México quedó integrado en el año 1927 al extenderse las vías hasta la ciudad de *Guadalajara*, con lo que se benefició la mayor parte del noroeste cuya área es de aproximadamente 400 mil Km² y que corresponde al 20 % de la superficie total de México.⁴

No fue hasta 1937, en que se nacionalizó la empresa de los Ferrocarriles Nacionales de México, cuando se procedió a unificar la red, fundamentalmente en lo que se refiere al ancho de las vías, (*vía ancha de 1.50 m y vía angosta de 0.90 m*) para crear un solo sistema. En junio de 1940 el gobierno de la República adquirió el ferrocarril *Kansas City, México y Oriente*, con el propósito de concluir esa ruta. Los trabajos de

reconocimiento y localización del trazo por construir se iniciaron ese mismo año para integrar la línea de la ciudad de *Ojinaga, Chihuahua, a Topolobampo, Sinaloa*, ya que la compañía propietaria había construido y explotado dos tramos: el de Chihuahua, de Ojinaga a Estación Creel, y el de la costa, de Topolobampo a Hornillo, faltando el tramo más costoso, como es el del paso de la Sierra Madre Occidental, bajando de la altiplanicie a la costa.⁴

El tramo por construir, entre San Pedro y Estación Creel, que tiene una longitud de 248 Km, cruza las montañas de la Sierra Madre Occidental, en la región Tarahumara, que es un enorme nudo montañoso compuesto de picos y planicies que alcanzan bruscas elevaciones de hasta 3,700.00 m.s.n.m.⁴

Después de 1951, por descuido de la empresa concesionaria, la mayor parte del equipo y las instalaciones se encontraban muy deteriorados, por lo que fue necesario elaborar un amplio programa de reconstrucción que se inició el 23 de noviembre de 1952. Se comenzó por la total rehabilitación de las vías, de esta manera fue necesario efectuar trabajos de ingeniería como el reforzamiento de terracerías, corrección de curvas y declives, el tendido de grandes longitudes de riel (más de 1,700 km), el cambio de gran parte de los durmientes, la construcción de edificios funcionales para las estaciones y la reconstrucción de vías auxiliares.⁴

La red nacional de vías férreas tenía en 1970 una extensión aproximada de 19,800 Km, para 1985 la longitud ascendía a 25,866 Km, lo que, aún cuando significaban un aumento considerable con respecto a 1970, no era tan grande como el caso de las carreteras pavimentadas, ya que en México son estas últimas, por razones económicas y tecnológicas, las que más se han desarrollado; sin embargo, el volumen de carga transportada por vía férrea creció de 38,195 millones de toneladas en 1970 a 53,874 millones de toneladas en 1982.⁴

En la mayoría de las obras que se han efectuado para la construcción de vías férreas en México la ingeniería civil de nuestro país ha mostrado su alto grado de desarrollo y su capacidad para realizar construcciones de gran envergadura, como es el caso citado del ferrocarril *Chihuahua-Pacífico*.⁴

En este siglo también ha sido muy importante el uso del avión como medio de transporte, ya sea de pasaje o carga, por lo que en México se ha construido una cantidad impresionante de aeropuertos, al igual que en el resto del mundo.

A continuación se muestra la infraestructura con la que cuenta actualmente México:

Tabla 2.
Infraestructura actual del país. ⁵

Superficie de la República Mexicana	{	1,958,201 Km ²			
Red de caminos	{	324,000 Km	{ Pavimentados 95,000 Km Revestidos 229,000 Km	{ Federales 50,000 Km Estatales 45,000 Km	{ Autopistas 7,000 Km
Vías férreas	{	25,000 Km			
Aeropuertos	{	60			
Puertos	{	22			

La ingeniería de caminos

La ingeniería de caminos es, a la vez, arte y ciencia. Un camino bien proyectado debe poseer armonía interna; los automovilistas deben ver adelante las líneas y tener, a los lados, una visión clara del paisaje. El camino debe tener asimismo armonía externa; ya que debe estar acorde con sus alrededores. Estos requisitos demandan algo semejante a la visión y la imaginación de un artista: que puedan visualizarse los aspectos tridimensionales de las varias combinaciones de curvas horizontales y verticales, de cortes que se funden suavemente con los rellenos, de taludes que combinan con el terreno. ⁶

Sin embargo, los caminos son, en primer lugar, un medio para transporte. Deben construirse para resistir y mantener adecuadamente el paso de vehículos. Con objeto de lograrlo, el diseño debe adoptar ciertos criterios de resistencia, seguridad, y uniformidad. La mayor parte de estos criterios proceden de la dura escuela de la experiencia, mientras que algunos han evolucionado con la investigación y los ensayos. Así, se han establecido ciertas normas generales. Pero éstas se encuentran sujetas a modificaciones, ya que los caminos están asociados íntimamente con la superficie de la tierra, la cual raras veces se ajusta a conceptos matemáticos. ⁶

a) Carreteras

Algunos acostumbran denominar caminos a las *vías rurales*, mientras que el nombre de *carreteras* se lo aplican a los caminos de características modernas destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. La carretera se puede definir como:³

*La adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.*³

Por otra parte, los requerimientos actuales del transporte a nivel mundial se muestran cada vez más exigentes con respecto a las características que deben satisfacer los pavimentos de las carreteras en cuanto a su relación con los aspectos de orden económico, principalmente los que concurren para la determinación del costo del transporte. Adicionalmente, el avance tecnológico de la industria automotriz ha introducido innovaciones en los vehículos, modificando velocidades, geometrías, carrocerías, sistemas de suspensión, etc, que han afectado en alguna forma las interrelaciones entre vehículo-pavimento-usuario.¹¹

A todo ello se suman las exigencias de estos últimos, que demandan el pavimento de las carreteras con superficies capaces de desarrollar adecuadas resistencias al deslizamiento, en condiciones de pavimento mojado, alta velocidad y llantas lisas; con características adecuadas para desalojar rápidamente el agua superficial evitando peligrosas y molestas salpicaduras de agua; con superficies exentas de irregularidades que provoquen oscilaciones a altas velocidades, sin roderas y que permitan un desplazamiento silencioso dentro y fuera de los vehículos, económico y con buenas cualidades de visibilidad.¹¹

El comportamiento de un pavimento para carretera está definido por la forma en que evolucionan diferentes parámetros distintivos de la forma en que está cumpliendo con su función a través del tiempo. Los principales parámetros son:¹¹

1. **Estructurales.** Se refieren a la capacidad para transmitir adecuadamente a las capas de apoyo los esfuerzos producidos por el tránsito en el pavimento. Dependen fundamentalmente del espesor de las capas que constituyen la estructura del pavimento, tipo y características de los materiales utilizados, las condiciones de apoyo, en cuanto a la uniformidad y permanencia del soporte.
2. **Funcionales.** Dependen fundamentalmente de las características superficiales del pavimento (CSP) destacando las siguientes propiedades:
 - ✓ Resistencia al deslizamiento obtenida mediante una adecuada textura superficial.
 - ✓ Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
 - ✓ Eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento.
 - ✓ Bajo nivel de ruido tanto para usuarios como en el entorno.

- ✓ Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos.
 - ✓ Resistencia al rodamiento.
 - ✓ Condiciones adecuadas de durabilidad de los aspectos anteriores, que incide en el nivel de mantenimiento requerido.
 - ✓ Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
 - ✓ Resistencia al efecto del derrame de combustibles y aceites.
 - ✓ Posibilidad de pintar marcas viales.
 - ✓ Buena apariencia.
3. *Económicas.*- Consideran los costos generados durante el ciclo de vida del pavimento por el organismo, así como los realizados por el usuario y los asignados a la colectividad. Se distinguen los siguientes conceptos:
- ✓ Costos de construcción.
 - ✓ Costos de mantenimiento.
 - ✓ Costos de operación
 - ✓ Costos debidos a accidentes, contaminación ambiental, etc.

Clasificación de carreteras

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo.

En la práctica vial mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones, algunas de las cuales coinciden con las clasificaciones dadas en otros países. Ellas son: Clasificación por transitabilidad por su aspecto administrativo y clasificación técnica oficial.³

Clasificación por transitabilidad

La clasificación por transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se divide en:

1. Terracerías.- Cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas (figura 8).
2. Revestida.- Cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
3. Pavimentada.- Cuando sobre la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se representa así: ³

Tabla 3
Simbología para la clasificación por transitabilidad de los caminos.

Tipo de camino	Símbolo
Terracerías	
Revestido	
Pavimentado	

Clasificación administrativa

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

1. Federales.- Cuando son costeadas íntegramente por la Federación y se encuentran por lo tanto a su cargo (figura 9).
2. Estatales.- Cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el Estado donde se construye y el 50% por la Federación. Estos caminos quedan a cargo de las Juntas de Caminos del Estado.
3. Vecinales o rurales.- Cuando son construidos con la cooperación de los vecinos beneficiados y el costo de los trabajos se divide en tres partes iguales: la Federación, el Estado y los beneficiados. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las Juntas Locales de Caminos.
4. De cuota.- Las cuales quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales (CAPUFE) siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

Como sabemos, en el sexenio presidencial del Lic. Carlos Salinas de Gortari (1988-1994) y aún en la actualidad, algunas autopistas han sido concesionadas a empresas privadas para su construcción y mantenimiento por un tiempo determinado. Es decir, la obra será financiada con fondos de la empresa y se le permite recuperar su inversión más su utilidad cobrando la cuota que permite circular por dicha autopista. La empresa obtendrá los ingresos que de las cuotas se deriven, hasta que el importe de sus trabajos quede saldado. Como ejemplo tenemos a la "Autopista del Sol", que conecta la ciudad de Cuernavaca Morelos con el puerto de Acapulco Guerrero.

Clasificación técnica oficial

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del periodo económico del mismo (15 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:³

Tipo especial.- Para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (12% del T.P.D.A.).

Tipo A.- Para un tránsito promedio diario anual de 1,500 a 3,000 equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.A.).

Tipo B.- Para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% del T.P.D.A.).

Tipo C.- Para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.A.).

En la clasificación técnica anterior se ha considerado un 50% de vehículos pesados (peso igual o mayor a tres toneladas por eje). El número de vehículos es total en ambas direcciones y, sin considerar ninguna transformación de vehículos pesados a vehículos ligeros.³



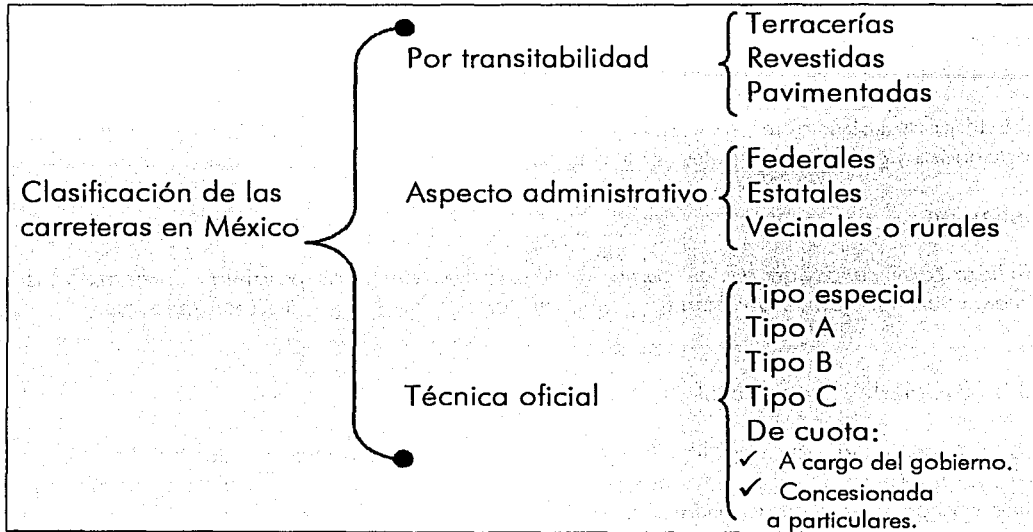
Figura 8.- Camino de terracería.



Figura 9.- Carretera federal.

Tabla 4

Clasificación general de carreteras en México



b) Ferrocarriles

El transporte sobre rieles cada vez será más importante como medio de transporte en el futuro debido al crecimiento sustancial de la población y del producto nacional bruto. Además, el transporte sobre rieles es la forma más eficaz de manejar demandas mayores con pocas exigencias de energía, escasa necesidad de terreno, contaminación reducida del aire y pocos accidentes que ocasionen muertes y heridos. ⁶

El transporte sobre rieles se considera como un sistema en el que los vehículos están soportados y guiados por rieles u otros tipos de guías. ⁶

Definición

Un ferrocarril se puede definir como la vía provista de guías paralelas, denominadas rieles, sobre las que se deslizan una serie de trenes movidos por tracción mecánica. ³

Clasificación de los ferrocarriles

No se cuenta en la actualidad con una clasificación unificada de las líneas de ferrocarril debido a que las mismas presentan una gran variedad en sus características. Sin embargo, desde ciertos puntos de vista se pueden clasificar en: ³

1. Líneas principales y líneas secundarias
2. Líneas de vía angosta y de vía ancha
3. Líneas de tránsito general, líneas suburbanas y líneas urbanas
4. Líneas de servicio particular

Constitución de la vía

Como se muestra en la figura 10, la vía de un ferrocarril se compone de dos partes principales: *las terracerías y la superestructura*. Las terracerías son el conjunto de obras formadas por cortes y terraplenes para llegar al nivel de subrasante, y la superestructura, o vía propiamente dicho, es la parte que va arriba de la terracería y la forman dos hileras de rieles sujetos a piezas transversales llamadas durmientes, que a su vez descansan sobre un lecho de material pétreo denominado balasto, a lo que hay que agregar los accesorios de la vía tales como placas, planchuelas, tornillos, etc. ³

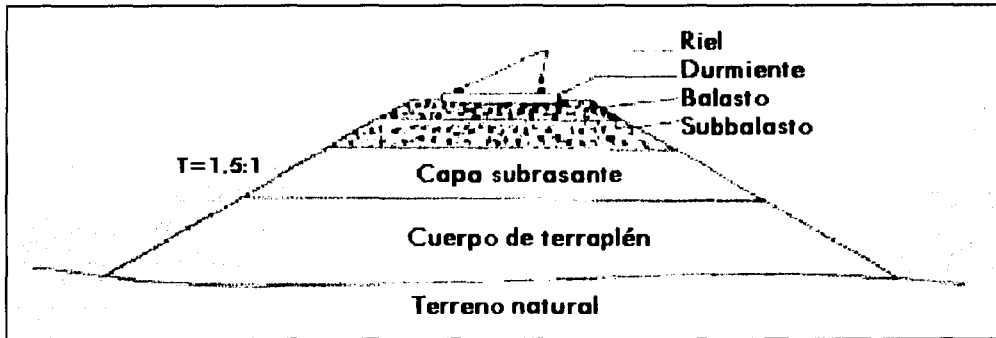


Figura 10.-Sección transversal de una vía de ferrocarril.



Figura 11.- Panorámica de un patio de maniobras de ferrocarriles.

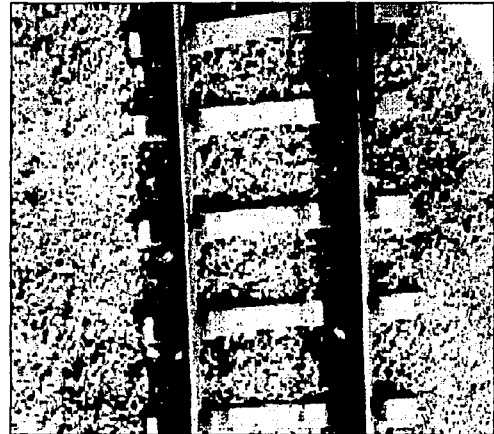


Figura 12.- Vías de ferrocarril visto en planta .

Los ferrocarriles en México

México ha venido evolucionando, desde 1821 hasta 1872, del tráfico de arriería y diligencias, hasta la aparición del ferrocarril en 1872. En sus primeros 54 años se construyeron 350 Km de vía férrea cada año, desde 1872 hasta 1926, reduciéndose ese ritmo entre 1926 y 1966 a solo una tercera parte, con lo cual se alcanza el kilometraje actual de la red férrea mexicana, con 25,000 Km aproximadamente. Se estima que son aún necesarios unos 5,000 Km más para terminar la red básica, además de modernizar el alineamiento de las vías existentes cuya edad oscila entre los 90 y 120 años en una buena parte.³

c) Pisos industriales

En los diferentes tipos de plantas industriales, es necesario contar con grandes naves o almacenes donde se lleven a cabo todas las operaciones requeridas por dicha industria. Por lo general estas operaciones requieren de una superficie confiable por donde se puedan apoyar o desplazar los diferentes tipos de montacargas que existen en el mercado (de rueda neumática o de hule duro, de ejes sencillos o tándem, etc.). También en muchos casos los pisos se someten a cargas puntuales a través de estructuras de almacenamiento de tipo "racks", o a cargas uniformemente distribuidas en áreas de almacén.⁷

Tomando en cuenta estas diferencias de aplicaciones de carga los pisos industriales tienen sus propios métodos de diseño que difieren de los usados para el cálculo de espesor en pavimentos con tránsito vehicular, sin embargo, en ambos casos se considera la resistencia a la flexión por tensión del concreto, conocida en nuestro país como módulo de ruptura (MR) en unidades de presión como kg/cm^2 o lb/pulg^2 .⁷

Los pisos industriales a pesar de también ser un pavimento de concreto hidráulico desplantado sobre el terreno natural, se diferencian de estos principalmente tanto por los requerimientos de acabado y planicidad como por las cargas que se aplican sobre ellos. Es por tal razón, que los pisos industriales son de concreto ya que deberán ofrecer una superficie resistente y durable, la cual debe ser además, plana y sin grietas.⁷

De acuerdo con el American Concrete Institute (ACI) existen 9 clases de pisos o losas de concreto, los cuales se muestran en la tabla 5. Dependiendo principalmente del tipo de tránsito esperado y su uso. Ahora bien, debido a que actualmente no existe un criterio definido para evaluar la resistencia que tiene un piso al desgaste, aún no es posible especificar su calidad en tales términos. Sin embargo, dicha resistencia está relacionada, en forma directa, con las técnicas empleadas en su construcción. También en la tabla 5, se sugieren técnicas especiales de acabado que puedan emplearse para cada clase de piso.⁷



Figura 13.- Piso pulido para un área de usos múltiples.

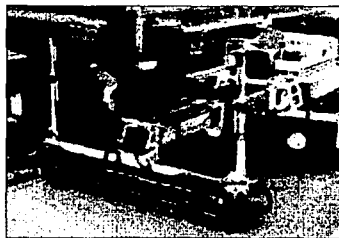


Figura 14.-En la imagen se puede observar el acero de refuerzo.



Figura 15.- Piso decorativo de concreto estampado.

Tabla 5
Clasificación de pisos

Clase	Tipo de tránsito esperado	Uso	Consideraciones especiales	Acabado final
1	Peatonal ligero	Superficies residenciales principalmente con recubrimientos de piso.	Pendiente para drenajes; niveles apropiados de losa para aplicación de recubrimientos; curado.	Allanado simple.
2	Peatonal	Oficinas o iglesias; comúnmente con recubrimiento de piso. Decorativo.	Tolerancias de superficie. Agregados antiderrapantes en determinadas áreas, agregados minerales coloreados; agregados duros ó expuestos; juntas artísticas.	Allanado simple; acabado antiderrapante cuando se requiera.
3	Peatonal y de rodada neumática.	Andadores exteriores, calzadas, pisos de garages, banquetas.	Pendiente para drenaje, contenido adecuado de aire, curado.	Aplanado allanado ó acabado con escoba.
4	Peatonal y tránsito vehicular ligero	Institucional o comercial.	Nivel de losa aceptable para aplicar recubrimiento, agregados antiderrapantes para áreas específicas y curado.	Acabado normal con llana metálica.
5	Tránsito vehicular industrial con rodada neumática.	Pisos de servicio industrial ligero para fabricación, procesado y almacenaje.	Subrasante buena y uniforme; tolerancia de superficies; tipo de juntas, resistencias a la abrasión, curado.	Acabado intenso con llana metálica.
6	Tránsito vehicular industrial, ruedas duras.	Los pisos industriales sujetos a tránsito pesado; pueden estar sujetos a cargas de impacto.	Subrasante buena y uniforme; tolerancia de superficies; tipo de juntas, transferencia de carga, resistencias a la abrasión, curado.	Agregados metálicos o minerales especiales. Acabado repetido con llana metálica.
7	Tránsito vehicular industrial, ruedas duras.	Pisos de dos capas ligadas sujetos a tránsito pesado e impactos	Losa base. Subrasante buena y uniforme. Refuerzo. Superficie uniforme. Curado. Recubrimiento compuesto en su totalidad de agregados bien graduados metálicos o minerales aplicados a una superficie superior de alta resistencia endurecida; tolerancia de superficie; curado.	Limpia y apropiada textura superficial para la adherencia de la capa subsecuente de recubrimiento. Acabado especial con allanado mecánico.
8	Tránsito vehicular industrial, ruedas duras y neumáticas.	Capa superior no ligada. Pisos de frigoríficas con aislamientos en pisos viejos o donde el programa de construcción lo exija.	Rompedores de adherencia en superficies viejas, refuerzo con mallas, espesor de 3" (7.5 cm) mínimo, resistencia a la abrasión y curado.	Acabado Intenso con llana metálica.
9	Superplano o cuando se requieran tolerancias críticas de superficie. Vehículos que manejan materiales especiales o de alta precisión que no permiten desplomes o desalineamientos.	Pasillos angostos, andenes de almacenes, estudios de televisión.	Requisitos de variación en la calidad del concreto. No se usen endurecedores por cernido a menos que se empleen procedimientos de aplicación especiales con mucho cuidado. Arreglo adecuado de juntas F ₁ 35 a F ₁ 125 (F ₁ 100 es en piso superplano).	

d) Pavimentos urbanos

Para que una ciudad adquiriera el calificativo de *urbanizada*, es porque cuenta con todos los servicios generales como: calles pavimentadas, suministro de agua potable, red de drenaje para aguas pluviales y residuales, suministro de energía eléctrica, red de teléfono, alumbrado público, guarniciones y banquetas, transporte público, seguridad, etc.

Es por eso que el pavimento de una ciudad juega uno de los papeles más importantes de la urbanización, ya que de él dependerá en gran parte la calidad de vida de los seres humanos que ahí habiten y transiten por sus vialidades urbanas.

En especial el pavimento urbano interactúa con otro tipo de instalaciones, que pueden ubicarse tanto en la superficie como en el interior de su estructura. Algunos de ellos son:

Tabla 6
Tipos de instalaciones en un pavimento urbano

Instalaciones superficiales	Instalaciones internas
✓ Reductores de velocidad (vibradores, topes, etc.).	✓ Distribuidores o colectores de la red de drenaje.
✓ Pintura para señalización en general (zonas de tránsito peatonal, sentido de las vías, áreas de estacionamiento, balizamiento, acotamientos, etc.).	✓ Tuberías de: gas, agua potable, drenaje, Luz y fuerza, etc. (figura 17).
✓ Camellones (uso peatonal, jardineras, estacionamientos, áreas restringidas, etc.).	✓ Cimentaciones de: postes, puentes, anuncios, etc.
✓ Semáforos.	✓ Ductos de PEMEX.
✓ Elementos para captación de aguas pluviales y residuales (alcantarillas, brocales, coladeras, bocas de tormenta, etc.).	✓ Cajas de fibra optica (telefonía).
✓ Guarniciones y banquetas.	✓ Sistemas completos como el metro subterráneo o el drenaje profundo que se ubican a profundidades considerables (30.00 m o más).
✓ Vías de ferrocarril (figura 16).	

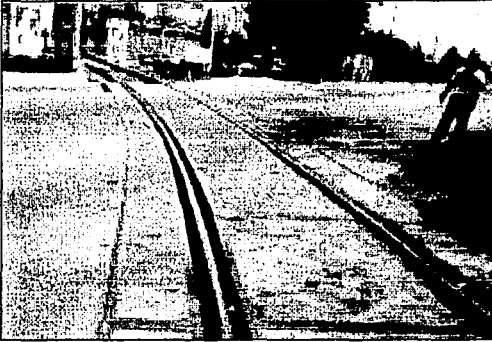


Figura 16.- Se observa una vía de ferrocarril en la superficie del pavimento.

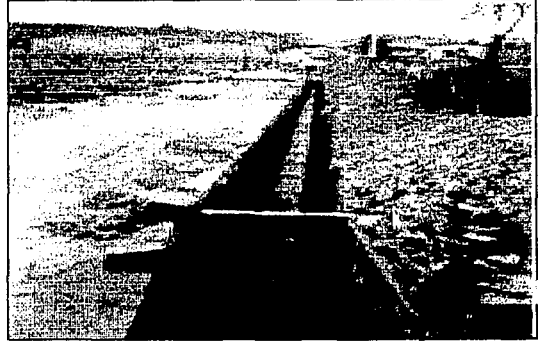


Figura 17.- Se aprecia una línea de tubería de drenaje inmersa en el pavimento.

El aspecto del proyecto de estos tipos de pavimentos deja mucho que desear ya que no siempre ha estado en manos de especialistas. Se han encontrados deficiencias importantes en el conocimiento de los principios básicos de diseño, lo que ha ocasionado fallas prematuras en los pavimentos. El proyecto se maneja en muchas ocasiones mediante la aplicación de recetas o recomendaciones prácticas, utilizando concretos convencionales como en la figura 18. En algunos casos se ha contado con la participación de especialistas; así se ha hecho en las ciudades importantes, donde incluso se ha tratado de utilizar una tecnología propia.⁵

En las figuras 18 y 19, se muestra un pavimento urbano de concreto de un eje vial con tránsito elevado constante, el cual ha perdido por completo su textura superficial y presenta un cierto desnivel entre las losas. Las fallas anteriores pueden ser provocadas por deficiencias en el proyecto como se ha mencionado. Por ejemplo: la pérdida de textura, puede ser ocasionada por una resistencia a la compresión insuficiente del concreto o por un curado tardío del concreto, así como también deficiencias en el proceso constructivo. El desnivel entre losas es debido a la falta de barras de transferencia de carga (pasajuntas).



Figura 18.- Se observa una superficie del pavimento completamente lisa.



Figura 19.- Se aprecia un cierto desnivel entre losas, lo cual termina con despostillamientos.

El pavimento urbano constantemente es sometido a volúmenes de tránsito altos, que aunados con las bajas velocidades provoca deformaciones muy importantes sobre todo en áreas de frenado y arranque, como son las intersecciones de las calles y avenidas.

Por ejemplo, en las figuras 20 y 21 se observan ondulaciones transversales y longitudinales, que pueden ser provocadas por los esfuerzos de las llantas bajo la acción de frenar o acelerar.



Figura 20.- Las roderas son fallas comunes de un pavimento flexible. provocadas por altos volúmenes de tránsito a bajas velocidades.

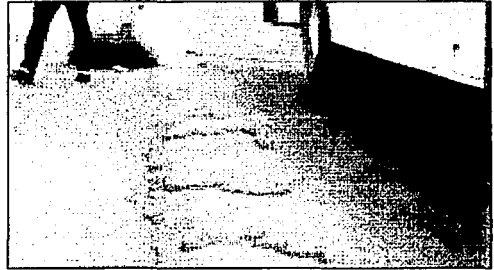


Figura 21.- Deformaciones transversales provocadas por vehículos pesados al frenar o acelerar en zonas obligadas como un semáforo.

Dentro del tránsito urbano existen algunos tipos de vialidades y son las siguientes:

Tabla 7
Tipos de vialidades urbanas

• Ejes viales con circulación muy activa regida por semáforos. (Figura 22)
• Calles donde pueden circular todo tipo de vehículos. (Figura 23)
• Viaductos, circuitos ó periféricos donde la circulación es constante y se le prohíbe el acceso a los vehículos de carga. (Figura 24 y 25)



Figura 22.- Un típico eje vial de una ciudad.

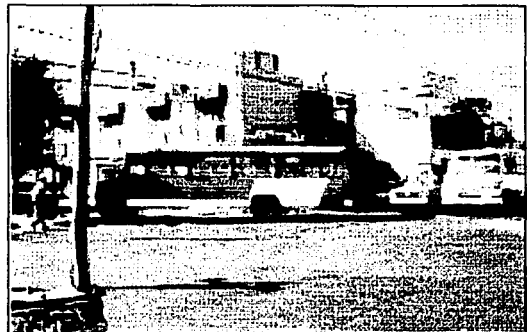


Figura 23.- La intersección de dos calles normales.

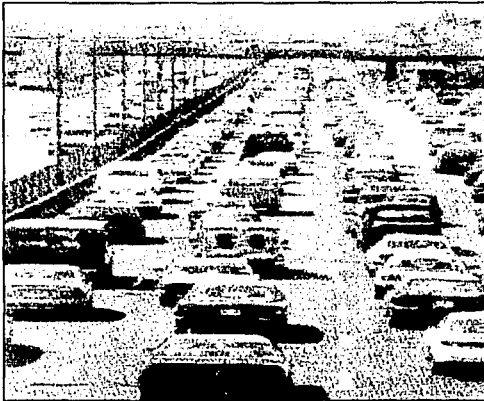


Figura 24.-El periférico de la ciudad de México.



Figura 25.- El viaducto de la ciudad de México.

Con referencia a nuestro caso, que es el del paseo Tollocan de la ciudad de Toluca (figuras 26 y 27), tenemos que separar las vialidades, ya que cuenta con los cuerpos centrales de circulación ininterrumpida que solo permite el tránsito a vehículos pequeños como carros camionetas y motocicletas, y también las dos laterales, en donde circulan todo tipo de vehículos y además cuenta con semáforos.

También se sabe que los vehículos de carga que tienen actividades en la zona industrial de la lateral Norte y el paso obligado de autobuses de pasajeros de la central camionera de Toluca, son dos indicativos que aseguran un gran volumen de tránsito en cualquier parte del día, por lo tanto es obvio considerar que el pavimento de las dos laterales del paseo siempre serán muy solicitadas para la circulación de todo tipo de vehículos.



Figura 26.- Lateral Norte del paseo Tollocan.



Figura 27.- Lateral Sur del paseo Tollocan.

1.2 Descripción y función de un pavimento

a) Definición de pavimento

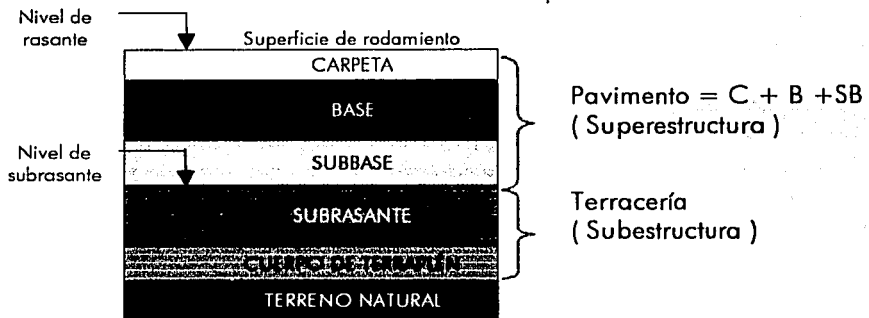
De acuerdo con la concepción actual de un pavimento, puede definirse como:

*Un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas, reaccionando en forma de respuestas cuando es activado por funciones de excitación. Las leyes físicas consideradas indicarán la forma en que se relacionen los esfuerzos, deformaciones unitarias, tiempo y temperatura.*⁵

Otra definición puede ser:

*Se conoce como pavimento al conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe tener una operación rápida y cómoda (figura 28).*²

Figura 28
Estructura de un pavimento



De acuerdo con las teorías de esfuerzos y las medidas de campo que se realizan, los materiales con que se construyen los pavimentos deben tener la calidad suficiente para resistir las cargas que transitan sobre él. Por lo mismo, las capas localizadas a mayor profundidad pueden ser de menor calidad, en relación con el nivel de esfuerzos que recibirán, aunque la carpeta también transmite los esfuerzos a las capas inferiores y los distribuye de manera conveniente, con el fin de que éstas los resistan.²

Los materiales que forman las terracerías también deben cumplir normas, por lo general no muy rigurosas, esto permite que los terraplenes se construyan con economía, al utilizar los materiales extraídos de los cortes adyacentes. La calidad y los espesores de las capas del pavimento deben estar íntimamente relacionados con los materiales de las capas inferiores; es decir, tanto los esfuerzos debidos al tránsito como la calidad de las terracerías influyen en la estructuración del pavimento. Así, con estos

dos parámetros, el ingeniero debe estructurar el pavimento; para hacer esto, usará los materiales regionales y con ellos resolverá los diferentes problemas que se le presenten, en la forma más económica posible. ²

El pavimento como sistema está caracterizado por las propiedades, espesores y disposición de los materiales, así como por la calidad de la construcción, en la cual tiene gran importancia las especificaciones, la supervisión de la obra y el control de calidad ejercido. ⁵

Con relación a la función que deben desempeñar los pavimentos, debe mencionarse que ésta consiste fundamentalmente en hacer posible el tránsito de los vehículos con seguridad, comodidad, eficiencia y economía, en el plazo establecido en el proyecto, para lo cual, los pavimentos deben satisfacer los siguientes atributos: ⁵

- ✓ Regularidad superficial longitudinal y transversal
- ✓ Resistencia adecuada al derrapamiento en todo tiempo
- ✓ Rápida eliminación del agua superficial
- ✓ Capacidad para soportar las cargas
- ✓ Bajo nivel de ruido
- ✓ Bajo nivel de desgaste de las llantas
- ✓ Adecuadas propiedades de reflexión luminosa
- ✓ Apariencia agradable

Es importante tomar en cuenta que los atributos antes citados deben ser considerados en el proyecto, debiendo establecerse en los planos, especificaciones y lineamientos constructivos, las recomendaciones y acciones que deban ejercerse para satisfacer dichos atributos. Por otra parte, durante la construcción de los pavimentos, la supervisión y el grupo de control de calidad deberán vigilar el cumplimiento de las acciones y recomendaciones prescritas antes citadas. ⁵

De esta manera, el proyecto, las especificaciones, la supervisión y el control de calidad, deben actuar conjuntamente y en la misma dirección para alcanzar un objetivo común, que es el cumplimiento de los atributos antes mencionados. ⁵

Como se ha indicado, el pavimento proporciona la superficie de rodamiento para que los vehículos transiten con "rapidez" y "comodidad". Estas dos últimas cualidades se colocan entre comillas porque son relativas y dependen principalmente del tipo de camino. Por ejemplo, en una autopista de cuota los usuarios exigen velocidades altas, quizá mayores que los 80 km/h con un alineamiento vertical y horizontal que les brinde seguridad y comodidad; sin embargo, en caminos de segundo orden se maneja en ocasiones a velocidades de 20 km/h debido a que tanto en el alineamiento horizontal como en el vertical se utilizaron especificaciones máximas. En ambos casos, estas condiciones son las adecuadas y los usuarios se adaptan a ellas. ²

b) Descripción y función de un pavimento

Como se mencionó anteriormente, los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la capa subrasante, constituida por el terreno natural o por material seleccionado y han de soportar las cargas del tránsito durante un periodo de varios años, sin deterioros que afecten a la seguridad o a la comodidad de los usuarios o a la propia integridad del pavimento. Por lo tanto, el pavimento tiene las funciones siguientes:⁵

1. Proporcionar una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo las cargas repetidas del tránsito a lo largo de un periodo de tiempo, denominado vida de diseño o ciclo de vida, durante el cual sólo deben ser necesarias algunas actuaciones esporádicas de conservación, locales o de poca magnitud en importancia y costo.⁵
2. Resistir las solicitaciones del tránsito previsto durante la vida de diseño y distribuir las presiones verticales ejercidas por las cargas, de forma que a la capa subrasante solo llegue una pequeña fracción de aquellas, compatible con su capacidad de soporte. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la capa subrasante como en las diferentes capas del pavimento deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.⁵
3. Constituir una estructura resistente a los factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua, por sus efectos adversos en el comportamiento de los materiales del pavimento y de los suelos de cimentación.⁵

Características funcionales y estructurales de los pavimentos

Los pavimentos deben poseer unas determinadas características funcionales, que corresponden prácticamente a las condiciones superficiales del pavimento y que afectan especialmente a los usuarios. Por otra parte, han de tener también unas características estructurales que interesan más específicamente a los técnicos encargados de la conservación y operación de los pavimentos. Entre las características superficiales o funcionales pueden citarse:⁵

- ✓ La resistencia al derrapamiento obtenida a través de una adecuada textura superficial, adaptada a las velocidades previstas de circulación y cuya influencia en la seguridad vial es decisiva.⁵

- ✓ La regularidad superficial del pavimento, tanto transversal como longitudinal, que afecta a la comodidad de los usuarios en mayor o menor medida en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad de circulación. Esta característica está ligada igualmente a la facilidad para eliminar el agua superficial, que también afecta a la seguridad del usuario.⁵
- ✓ El ruido generado al circular tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).⁵
- ✓ Las propiedades de reflexión luminosa, tan importantes para la vista y para el diseño de las instalaciones de iluminación. Es igualmente importante el color para efectos de contraste con el señalamiento de piso.⁵
- ✓ El desagüe superficial rápido para limitar el espesor de la película de agua, salpicaduras, etc, mediante pendientes adecuadas que conduzcan el agua hacia los dispositivos de drenaje.⁵

Por su parte, las características estructurales están relacionadas con las de los materiales empleados en las diferentes capas del pavimento en particular las mecánicas, y con los espesores de estas capas. Un análisis mecánico da una idea de los efectos de las cargas del tránsito, en cuanto a estados de esfuerzo, deformaciones unitarias y deflexiones. Si se conocen las leyes de fatiga de los materiales por otra parte, es posible estimar el número de aplicaciones de cargas que pueden soportar las distintas capas o su durabilidad y, por tanto, la del pavimento en su conjunto.⁵

c) Factores a considerar en el proyecto

El proyecto del pavimento debe perseguir una optimización desde el punto de vista de la resistencia y funcionalidad de la estructura, con un costo mínimo, que incluye los costos de construcción, conservación, rehabilitación y operación en un período de 30 a 40 años, generalmente.⁵

Además de las características funcionales y estructurales, el proyecto de los pavimentos requiere la consideración de aspectos constructivos. El análisis de los costos debe completarse con una previsión del comportamiento del pavimento durante el período de diseño, la conservación necesaria y su costo actualizado y, finalmente una estimación de futuros refuerzos estructurales, renovaciones superficiales o reconstrucciones. Además de los costos actualizados, deben tenerse en cuenta los costos del usuario, relacionados con su seguridad, comodidad y con las demoras que se originan en vialidades relativamente congestionadas por los trabajos de conservación y repavimentación. Es importante además que cada tipo de pavimento se asocie a los requerimientos de conservación necesarios, con el objeto de poder evaluar económicamente cada una de las opciones consideradas.⁵

d) Tipos de pavimentos

La tecnología actual cuenta con una gran variedad de pavimentos que, siguiendo criterios tradicionales, suele clasificarse en dos grandes grupos: Flexibles y Rígidos.

En México, de los 95,000Km de la red de caminos pavimentados, solo un 5% (4,750Km) son pavimentos rígidos y el restante 95% (90,250 Km) son pavimentos flexibles.¹¹

Pavimentos flexibles

Una carpeta constituida por mezcla asfáltica proporciona la superficie de rodamiento; que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, la carpeta absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que las cargas de los vehículos se distribuyen hacia las capas inferiores por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa. Las capas que forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y subbase, las cuales se construyen sobre la capa subrasante.²

Estas capas se constituyen por materiales con una resistencia a la deformación que inicialmente era inversamente proporcional a la profundidad que se encontraba. De modo análogo, es preciso aumentar su espesor o resistencia para fomentar la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie y reducir el valor máximo sobre el eje de carga. Estas consideraciones son la base de todos los sistemas de cálculo de pavimentos flexibles que relacionan el espesor requerido con la presión máxima admisible sobre el suelo para una carga dada.¹¹

Se construyen con mezclas asfálticas en frío o en caliente, denominándose en este último caso concretos asfálticos, que pueden tener algún agente modificador para mejorar algunas de sus características. Cuando el espesor total de la carpeta es superior a 8 cm se construye por capas. Para mejorar sus características superficiales o con fines de conservación. Se pueden aplicar a la carpeta tratamientos superficiales, como capas delgadas de mortero y lechadas asfálticas, carpetas drenantes de granulometría abierta, etc.¹¹

El aumento de las intensidades y número de aplicaciones de cargas llevó en un momento a los denominados pavimentos rígidos, con capas tratadas o estabilizadas con cemento o con un espesor muy importante de mezclas asfálticas como las denominadas "full-depth" (espesor completo), con espesores del orden de 30 cm (figura 4.1). Estos pavimentos suelen incluirse también formalmente en el grupo de los flexibles, debido a que tienen un pavimento asfáltico análogo, pero su comportamiento estructural es muy diferente, con capas inferiores de igual o mayor rigidez que las superiores, como en el caso de los pavimentos de sección invertida (figura 43).¹¹

Pavimentos rígidos

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones muy reducidas. Salvo en bordes de losas y juntas sin pasajuntas, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables.⁵

Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Este punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculo de pavimentos rígidos, sistemas que combinan el espesor y la resistencia del concreto de las losas, para una carga y suelos dados.⁹

Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la subbase, que se construye sobre la capa subrasante.²

Tipos de pavimentos rígidos

Existen 5 tipos de pavimentos rígidos:

1. De concreto simple.
2. De concreto simple con barras de transferencia de carga (pasajuntas).
3. De concreto reforzado y con refuerzo continuo.
4. De concreto presforzado.
5. De concreto fibroso.

1. Los pavimentos de concreto simple se construyen sin acero de refuerzo y sin barras (pasajuntas) de transferencia de carga en las juntas. Dicha transferencia se logra a través de la trabazón entre los agregados de las dos caras agrietadas de las losas contiguas, formadas por el aserrado o corte de la junta. Para que la transferencia de carga sea efectiva, es preciso tener losas cortas. Este tipo de pavimento se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo (menos de 120 vehículos de carga por día).¹⁰
2. Los pavimentos de concreto simple con barras de transferencia de carga (pasajuntas), se construyen sin acero de refuerzo; sin embargo en ellos se disponen barras lisas en cada junta de contracción, las cuales actúan como dispositivos de transferencia de carga, requiriéndose también que las losas sean cortas para controlar el agrietamiento.¹⁰

3. Los pavimentos reforzados contienen acero de refuerzo y pasajuntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales, las cuales se mantienen prácticamente cerradas a causa del acero de refuerzo, lográndose una excelente transferencia de cargas a través de ellas.¹⁰

Los pavimentos con refuerzo continuo, por su parte, se construyen sin juntas de contracción. Debido a su continuo contenido de acero en dirección longitudinal, estos pavimentos desarrollan fisuras transversales a intervalos muy cortos. Sin embargo, por la presencia del refuerzo, se desarrolla un alto grado de transferencia de carga en las caras de las fisuras.¹⁰

Normalmente, un espaciamiento entre juntas que no exceda los 4.50 m tienen un buen comportamiento en pavimentos de concreto simple; así como uno no mayor a 6.00 m en pavimentos con pasajuntas, ni superior a los 12.00 m en pavimentos reforzados. Espaciamientos mayores a estos, han sido empleados con alguna frecuencia, pero han generado deterioros, tanto en las juntas, como en las fisuras transversales intermedias.¹⁰

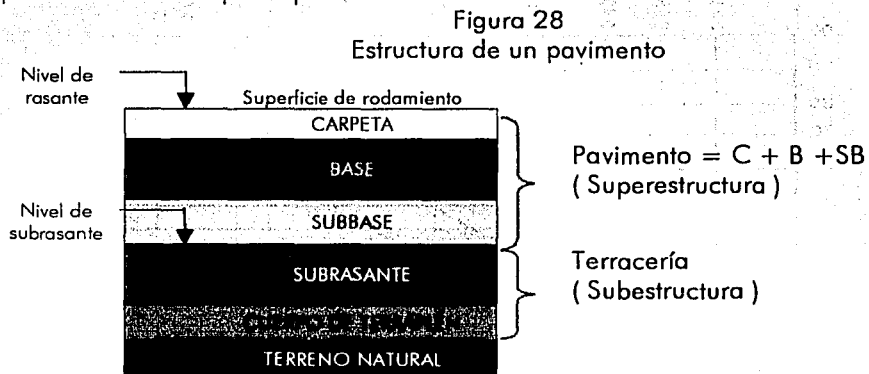
4. Los pavimentos de concreto presforzado, como su nombre lo indica, están contruidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte, y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120.00 m de longitud, con una reducción de un 50% del espesor de la losa. Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados para desarrollar esta técnica, en carreteras se han presentados más dificultades que ventajas. Ha tenido en cambio más aplicación en aeropuertos en los cuales ha habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.⁵
5. Los pavimentos de concreto fibroso, en este tipo de losas, el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de resistencia a la tensión y a la fatiga, fisuración controlada, resistencia al impacto, durabilidad, etc. Con una dosificación de unos 40 kg/m³ de concreto, es posible reducir el espesor de las losas en 30% y aumentar el espaciamiento entre juntas por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos a pesar de su costo.⁵

Los pavimentos mixtos o compuestos

Estos pavimentos están constituidos por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica. Se emplean generalmente en calles o para rehabilitación de pavimentos antiguos, y su justificación se basa entre otras razones en la presencia de redes y servicios bajo la vialidad, que han de protegerse de la acción del tránsito o que su posición impide efectuar excavaciones de mayor profundidad para alojar una estructura de pavimento flexible convencional. De esta manera, pueden tener una mayor capacidad estructural y por lo tanto, un mejor desempeño.¹¹

Estructura de un pavimento

Como observamos en la figura 28 se muestra las capas que en general, conforman un pavimento de cualquier tipo:



Descripción y funciones de las capas de un pavimento

Carpeta

Ya sea de cualquier tipo de pavimento, la carpeta es la parte que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales. Estructuralmente, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, ya que resiste la aplicación directa de las cargas (llantas de: aviones, automóviles, montacargas, etc.). Debe resistir también la fricción que generen las llantas al realizar acciones de aceleración y frenado, asimismo tendrá que resistir las acciones del intemperismo. En condiciones de alta intensidad de tránsito puede llegar a alcanzar espesores importantes.¹¹

Se construyen con mezclas asfálticas en frío o en caliente (concretos asfálticos), o con cemento Portland (concreto hidráulico). También para los pavimentos flexibles, se

pueden aplicar a la carpeta tratamientos superficiales para mejorar las condiciones de rodamiento o con fines de conservación, como por ejemplo: ¹¹

- ✓ El *slurry-seal* (capa de sello) que es una capa delgada de mortero o lechada asfáltica, la cual proporcionará una superficie impermeable y silenciosa. ¹¹
- ✓ El *open-graded* (granulometría abierta), la cual proporcionará una superficie permeable (drenante) y silenciosa. ¹¹

De acuerdo a pruebas realizadas y la experiencia de muchos años, se han logrado estandarizar los límites de granulometría de acuerdo a la figura 29 para fabricación de carpetas de **pavimento flexible**. Se tiene conocimiento, que en la actualidad, las especificaciones de la SCT consideran curvas y zonas granulométricas adicionales. ¹¹

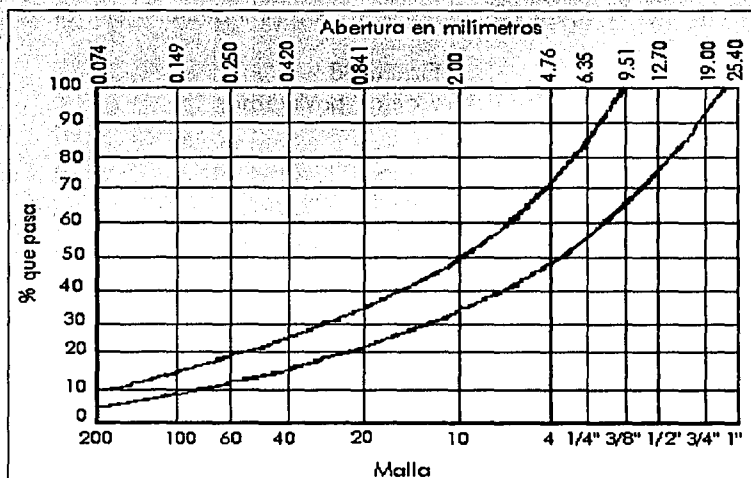


Figura 29.- Zona de especificación granulométrica para fabricación de carpeta asfáltica (pavimento flexible).

Valores estándar de calidad para materiales de Carpeta de concreto hidráulico (pavimento rígido)

Para la elaboración de un pavimento de concreto hidráulico es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento. ⁷

1. Cemento.

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Portland de marca aprobada oficialmente. Si los documentos del proyecto o una especificación

particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Portland ordinario) y CPP (Cemento Portland puzolánico), dependiendo del caso y con subclasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo 1 y Tipo 1P.⁷

2. Agua.

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasas, materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano.⁷

3. Materiales pétreos.

✓ Grava

- El agregado grueso será grava triturada totalmente, con tamaño máximo de 38 mm o mayor, resistencia superior a la resistencia del concreto, señalada en el proyecto, y podrá presentar una secuencia granulométrica como la de la tabla 8, ya que el diseñador de la mezcla puede determinar otras secuencias.⁷

Tabla 8
Granulometría de la grava

Malla		% que pasa
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95 - 100
3/4"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
#4	4.75 mm	0 - 5

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la tabla 9:⁷

Tabla 9
Sustancias perjudiciales permisibles en la grava

Sustancia perjudicial	%
Partículas deleznables	0.25
Partículas suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/ó lignito	1.00

El agregado grueso, además, deberá cumplir con los requisitos de calidad de la tabla 10:⁷

Tabla 10
Requisitos de calidad para la grava

Desgaste de los angeles	Intemperismo acelerado
40% máximo	12% máximo (utilizando sulfato de sodio)

✓ Arena

El agregado fino, o arena, deberá tener un tamaño máximo de 9.51 mm con la secuencia granulométrica que se indica a continuación: ⁷

Tabla 11 ⁷
Granulometría de la arena

Malla		% que pasa
3/8"	9.52 mm	100
#4	4.76 mm	95 - 100
#8	2.38 mm	80 - 100
#16	1.19 mm	50 - 85
#30	0.590 mm	25 - 60
#50	0.297 mm	10 - 30
#100	0.149 mm	2 - 10
#200	0.074 mm	4 máximo

La arena deberá estar dentro de la zona que establece la tabla 11, excepto en los siguientes casos: ⁷

Cuando se tengan antecedentes de comportamientos aceptables en el concreto elaborado con ellas, o bien, que los resultados de las pruebas realizados a estos concretos sean satisfactorios; en este caso, los agregados se pueden usar siempre que se haga el ajuste apropiado al proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias en la granulometría. ⁷

La arena no deberá tener un retenido mayor de 45% entre dos mallas consecutivas, además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad de la tabla 12: ⁷

Tabla 12 ⁷
Requisitos de calidad de la arena

Equivalente de arena	Módulo de finura	Intemperismo acelerado
80 % mínimo	2.30 mínimo y 3.10 máximo	10% máximo (utilizando sulfato de sodio)

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la tabla 13: ⁷

Tabla 13 ⁷
Sustancias perjudiciales permisibles en la arena

Sustancia perjudicial	%
Partículas deleznable	1.00
Carbón mineral y/ó lignito	1.00

Base, subbase, subrasante y cuerpo de terraplén

En un pavimento existen esfuerzos a que están sometidos los materiales de las capas inferiores a las carpetas. Estos esfuerzos, ampliamente difundidos por los gruesos pavimentos modernos, son soportados y transmitidos al suelo, gracias, tanto al rozamiento entre los granos como a la cohesión de origen químico (bases estabilizadas) o capilar y, a veces, a ambos factores. ⁹

Según la importancia y la calidad de las capas superiores (pavimento, capa de base), estos esfuerzos serán más o menos peligrosos. A este respecto, es indispensable separar netamente los caminos revestidos cuya capa de base está recubierta de un tratamiento superficial simplemente (carreteras secundarias), y los que la capa de base se recubre de otras capas de espesor apreciable (carreteras importantes, autopistas). ⁹

En el primer caso, el esfuerzo, bajo la llanta de un camión, puede poner en peligro la estabilidad de la capa de base. Se ve que en el primer caso se debe ser tan estricto y aún más que en el segundo. Es frecuente que ciertos materiales mal graduados o ligeramente plásticos, constituyan una capa de apoyo suficiente para caminos importantes, y sin embargo no podrían constituir la capa de base de un camino cuando se recubren simplemente con un tratamiento superficial. ⁹

Las cualidades requeridas por los materiales destinados a constituir cualquiera de las capas de base, subbase, subrasante o cuerpo de terraplén son los siguientes: ²

- 1) Presentar una granulometría conveniente, de tal manera que los materiales no se segreguen en las manipulaciones de carga, acarreo, tendido y compactación; y presentar por rozamiento interno una buena resistencia a los esfuerzos con un módulo de elasticidad elevado. ⁹
- 2) Estar constituidos por un material tanto más duro y resistente cuanto más elevados sean los esfuerzos en la capa considerada, y también cuanto más repetidos sean. No tiene que fragmentarse en la capa de base, por ejemplo, el material de manera indefinida, llegando a producir finos que transforman poco a poco una grava en arena, que es mucho menos estable. ⁹

- 3) No contener finos arcillosos o de contenerlos, que no sean peligrosos y siempre en porcentajes pequeños. Los finos arcillosos constituyen un peligro porque, situados entre los granos gruesos, y, seguramente humidificados, algún día harán bajar el rozamiento interno hasta anularlo casi por completo. Entonces la capa en cuestión se deformará como un líquido viscoso y dará origen a baches.⁹
- 4) De manera general, la estabilidad mecánica definida por cualquier ensayo (CBR, Triaxial, ensayo de placa de carga, etc.) debe ser tan independiente como sea posible de las condiciones climáticas y, fundamentalmente, del contenido de agua.⁹

Si el material con que se cuenta no responde a las exigencias anteriores, se puede proceder a estabilizar el material de que se disponga. Se distingue entonces:⁹

- ✓ La estabilización mecánica, que consiste en modificar la granulometría, mediante trituración del material para conseguir los tamaños deseados o, por medio del cribado, que consiste en la eliminación de los tamaños no deseados.⁹
- ✓ La estabilización química, que consiste en según sea el caso en:⁹
 1. Conferir cohesión a un material cuyo rozamiento interno es insuficiente (gravas tratadas con cemento portland o asfalto)
 2. Volver hidrófobos los materiales sensibles al agua (tratamientos con asfalto o agentes químicos más complejos)
 3. Neutralizar por cambio iónico, finos arcillosos nocivos (con cal o cemento portland)
 4. Aumentar la facilidad de compactación de los finos por medio de agentes dispersantes.

Las observaciones anteriores son en general para las capas de base, subbase y subrasante, ahora mencionaremos algunas características particulares de cada capa:

- Base

La base es la capa situada debajo de la carpeta (pavimentos flexibles). Su función es eminentemente ser resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las sollicitaciones repetidas del tránsito suele corresponder a la intensidad del tránsito pesado. Así, para tránsito medio y ligero se emplean las tradicionales bases granulares, pero para tránsito pesado se emplean ya materiales granulares tratados con un cementante, normalmente bases de mezcla asfáltica o bases de gravacemento. En la tabla 14 se mencionan los valores estándar para esta capa propuestos por el Instituto Mexicano del Transporte.¹¹

Tabla 14
Valores estándar de calidad para materiales de:
base.¹¹

Característica	Calidad	
	Deseable	Adecuada
Granulometría (zona granulométrica de la figuras 30)	1-2	1-3
Tamaño máximo del agregado TMA (mm)	38	51
Porcentaje de finos (material < 0.074 mm)	10% máximo	15% máximo
Límite líquido (LL %)	25% máximo	30% máximo
Índice plástico (IP %)	6% máximo	6% máximo
Equivalente de arena (%)	50% mínimo	40% mínimo
Compactación (prueba Proctor modificada AASHTO T-180)	100% mínimo	100% mínimo
CBR (Valor relativo de soporte) (compactación dinámica) (*)	100% mínimo	100% mínimo
Desgaste de los angeles (%)	40% máximo	40% máximo

(*) Al porcentaje de compactación indicado

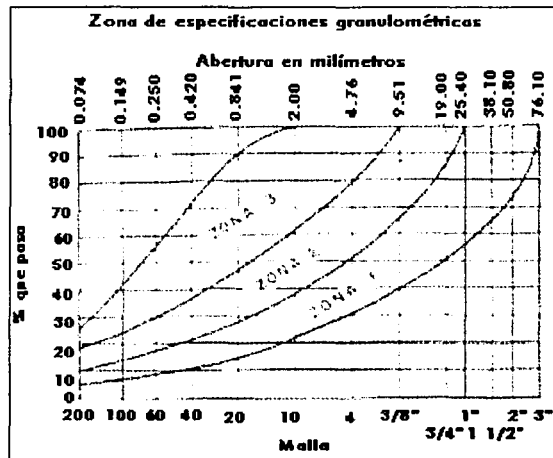


Figura 30.- Zonas de especificaciones granulométricas para material de base (pavimento flexible).

- Subbase

En los pavimentos flexibles, la subbase es la capa situada debajo de la base y sobre la capa subrasante, debe ser un elemento que brinde un apoyo uniforme y permanente al pavimento.¹¹

Cuando se trate de un pavimento rígido, esta capa se ubica inmediatamente abajo de las losas de concreto, y puede no ser necesaria cuando la capa subrasante es de elevada capacidad de soporte. Su función es proporcionar a la base un cimiento uniforme y constituir una adecuada plataforma de trabajo para su colocación y compactación. Debe ser un elemento permeable para que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos y en todo caso suele ser una capa de transición necesaria.¹¹

Esta capa no debe ser sujeta al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las máquinas pavimentadoras. En los casos en que el tránsito es ligero, principalmente en vehículos pesados, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa subrasante. Se emplean normalmente subbases granulares constituidas por materiales cribados o de trituración parcial, suelos estabilizados con cemento, etc.¹¹

En general se recomiendan materiales que contengan materiales finos en una proporción no mayor de 15%, no plásticos ($LL \leq 25\%$, $IP \leq 6\%$) y con un CBR de 20% como mínimo, si bien, como se ha mencionado, en casos de pavimentos sujetos a tránsito pesado e intenso, se recomiendan subbases estabilizadas, e inclusive de concreto pobre. En la tabla 15 se mencionan los valores límites de materiales que se podrán utilizar en la construcción de subbases y revestimientos según el Instituto Mexicano del Transporte.¹¹

Tabla 15
Valores estándar de calidad para materiales de:
subbase y revestimiento¹¹

Característica	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Granulometría (zona granulométrica de la figura 30)	1-2	1-3	1-3
Tamaño máximo del agregado TMA (mm)	51	51	76
Porcentaje de finos (material < 0.074mm)	15% máximo	25% máximo	10% mínimo 20% máximo
Límite líquido (LL %)	25% máximo	30% máximo	40% máximo
Índice plástico (IP %)	6% máximo	10% máximo	15% máximo
Compactación (Prueba Proctor modificada AASHTO T-180)	100% mínimo	100% mínimo	95% mínimo AASHTO T-99
Equivalente de arena (%)	40% mínimo	30% mínimo	-
CBR (Valor relativo de soporte) (Compactación dinámica) (*)	40% mínimo	30% mínimo	30% mínimo
Desgaste de los angeles (%)	40% máximo	-	-

(*) Al porcentaje de compactación indicado

- Subrasante

Esta capa sirve de transición entre el cuerpo de terraplén y el pavimento, por lo tanto debe ser capaz de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por este último. Interviene en el diseño del espesor de las capas del pavimento e influye en el comportamiento del pavimento. Proporciona el nivel necesario para la subrasante y protege al pavimento conservando su integridad en todo momento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniformes y permanentes.¹¹

Con respecto a los materiales que constituyen la capa subrasante, necesariamente deben utilizarse suelos compactables y obtener por lo menos el 95% de su grado de compactación.¹¹

Puede estar constituida por el propio terreno natural, o bien por materiales seleccionados provenientes de banco con los valores de la tabla 16 aceptados por el Instituto Mexicano del Transporte, e inclusive, en condiciones especiales puede estar constituida por materiales estabilizados con cemento, cal, productos asfálticos o algún otro producto que modifiquen favorablemente alguna característica no deseable. Asimismo, en la figura 31 se presentan las zonas de especificaciones granulométricas para esta capa. Por lo que respecta al espesor de esta capa, generalmente se recomienda entre 30 y 50 cm, dependiendo del material del terraplén o terreno natural, importancia de la carretera, etc. Se hace hincapié en resolver adecuadamente los problemas de subdrenaje, dotando al pavimento de elementos que impidan la presencia de agua.¹¹

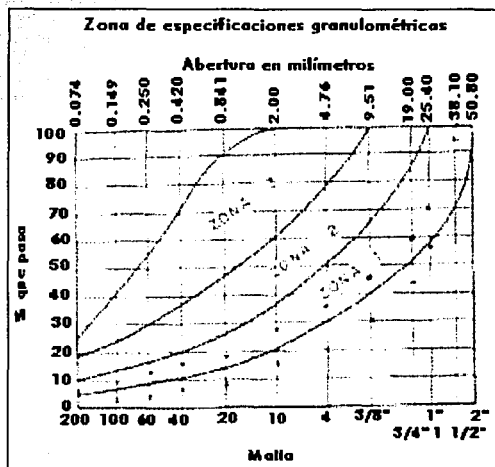


Figura 31.- Zonas de especificaciones granulométricas para material de subrasante.

Tabla 16
Valores estándar de calidad para materiales de:
subrasante.¹¹

Característica	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Tamaño máximo del agregado TMA (mm)	76	76	76
Porcentaje de finos (material <0.074mm)	25% máximo	35% máximo	40% máximo
Límite líquido (LL %)	30% máximo	40% máximo	50% máximo
Índice plástico (IP %)	10% máximo	20% máximo	25% máximo
Compactación (Prueba Proctor estándar AASHTO T-99) (1)	100% mínimo	100% ± 2	100% ± 2
CBR (Valor relativo de soporte) (Compactación dinámica) (2)	30% mínimo	20% mínimo	15% mínimo

(1) Con humedad de compactación hasta 3 % mayor a la óptima

(2) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable (la del material en el banco a 1.5 m de profundidad).

- Cuerpo de terraplén

Esta capa puede construirse con materiales procedentes de préstamos laterales o de bancos tales como limos, arcillas, mezclas de ellos, rocas, etc.¹¹

Debe evitarse el empleo de arcillas expansivas, así como suelos orgánicos, ya que un cambio de volumen en el cuerpo de terraplén, se reflejará inmediatamente en la superficie de rodamiento.¹¹

Los valores recomendados por el Instituto Mexicano del Transporte para esta capa se muestran en la tabla 17.

Según el Instituto Mexicano del Transporte, en la tabla 18 se muestran los tipos de obra vial en función del tránsito que por ellas circulan, y en la tabla 19 la estructuración del terraplén de acuerdo al tipo de obra vial.¹¹

Tabla 17
Valores estándar de calidad para materiales del:
cuerpo de terraplén.¹¹

Característica	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Tolerable
Granulometría	80% mínimo < 76mm y 95% mínimo < malla #200	80% mínimo < 750 mm	-
Tamaño máximo del agregado TMA (mm)	-	1,000mm o 1/2 esp. del cuerpo	1,500mm o 1/2 espesor del cuerpo
Porcentaje de finos (material < 0.074mm) (1)	30% máximo	40% máximo	40% máximo
Límite líquido (LL %)	40% máximo	50% máximo	60% máximo
Índice plástico (IP %)	15% máximo	20% máximo	25% máximo
Compactación (prueba Proctor estándar AASHTO T-99) (2)	95% mínimo	95% ± 2	95% ± 2
CBR (Valor relativo de soporte) (compactación dinámica) (3)	10% mínimo	10% mínimo	5% mínimo
Expansión (%) (1)	3% máximo	3% máximo	3% máximo

(1) Porcentaje en volumen.

(2) Con humedad de compactación igual o ligeramente mayor a la óptima de la prueba.

(3) Al porcentaje de compactación indicado y con contenido de agua recomendable (la del material en el banco a 1.5 m de profundidad).

Tabla 18
Tipos de obras viales

Obra vial	TDPA
Especial	Mayor a 20,000 (Autopistas y carreteras suburbanas)
I	2,500 - 10,000 (Autopistas y carreteras federales)
II	500 - 2,500 (Carreteras federal y estatal)
III	Caminos estatales
IV	Caminos rurales

Tabla 19
Estructuración del Cuerpo de terraplén según el tipo de obra vial. ¹¹

Obras viales especiales
(Quedan fuera de especificaciones generales)

Tipo 1 Cuerpo del terraplén			
Terraplén		Cortes	
Espesor	Calidad	Cama del corte	Calidad
100 cm o mayor	Deseable en el metro superior. Adecuada como mínimo en el resto del terraplén.	Con calidad deseable. Cama con calidad adecuada	Ningún tratamiento. Remove 30 cm y subsistir con material de calidad deseable.
Menor que 100 cm	Si el terreno de cimentación posee la calidad adecuada, colocar 60 cm de material de calidad deseable. En caso contrario, remover y colocar 100 cm de material de calidad deseable.	Con calidad tolerable o inferior	Remove 100 cm y colocar material de calidad deseable.
Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas	Rellenar 1/3 del espesor total con material de calidad tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios arriba señalados en esta columna		

Tipo 2 Cuerpo del terraplén			
Terraplén		Cortes	
Espesor	Calidad	Cama del corte	Calidad
70 cm o mayor	Adecuada en los 70 cm superiores. Tolerable como mínimo, en el resto del terraplén.	Con calidad adecuada Con calidad Adecuada	Ningún tratamiento. Remove 30 cm y subsistir con material de calidad adecuada.
Menor que 70 cm	Si el terreno de cimentación posee calidad tolerable, colocar 50 cm de material de calidad adecuada. En caso contrario, remover y colocar 70 cm de material de calidad adecuada.	Con calidad inferior a la tolerable	Remove 60 cm y substituir con material de calidad adecuada
Depresiones profundas o laderas muy pronunciadas	Rellenar 1/3 del espesor total con material de calidad tolerable. Los 2/3 restantes deberán construirse con los criterios arriba señalados en esta columna		

Continuación tabla 19

Tipo 3 Cuerpo del terraplén			
Terraplén		Cortes	
Espesor	Calidad	Cama del corte	Calidad
40 cm o mayor	Tolerable en todo el espesor del terraplén como mínimo.	Con calidad tolerable	Ningún tratamiento.
Menor de 40 cm	Si el terreno de cimentación es de calidad inferior a la tolerable, remover y colocar 40 cm de terraplén de calidad tolerable.	Con calidad inferior a la tolerable	Remover 30 cm y subsistir con el mismo espesor de material de la calidad tolerable.

Principales materiales básicos empleados en la construcción de los pavimentos

Como materiales básicos utilizados en la construcción de las diversas capas del pavimento, se encuentran los siguientes: ¹¹

- ✓ Suelos granulares seleccionados.
- ✓ Agregados naturales, cribados y/o triturados parcialmente.
- ✓ Agregados producto de trituración total y cribados.
- ✓ Agregados procedentes de procesos de reciclado.
- ✓ Productos asfálticos, como cementos y emulsiones, con o sin agentes modificadores.
- ✓ Productos cementantes y estabilizadores como: cemento Portland, cal, etc.
- ✓ Agua.
- ✓ Productos geosintéticos como: geotextiles, geomallas, geodrenes, etc.
- ✓ Materiales varios, como varillas de acero, aditivos para concreto, productos especiales para sellado de juntas y grietas, fibras, etc.

Los suelos y agregados, incluyendo la utilización de productos cementantes, estabilizadores y modificadores, se utilizan para construir los siguientes elementos: ¹¹

- ✓ Capas de agregados granulares como subbase, base, capa subrasante.
- ✓ Materiales granulares estabilizados o tratados, como suelos estabilizados con cemento, cal o productos asfálticos, mezclados en el sitio o en planta, gravacemento, gravaemulsión, etc.
- ✓ Tratamientos superficiales y riegos asfálticos, que comprenden los riegos de impregnación, liga y sellado, las lechadas asfálticas, morteros asfálticos, carpetas delgadas de granulometría abierta, etc.
- ✓ Mezclas asfálticas, como mezclas en caliente o en frío: mezclas cerradas o abiertas, etc.
- ✓ Concretos hidráulicos vibrados para pavimentos rígidos, concretos pobres para bases, concreto compactados con rodillo, etc.

La tabla 20 es un resumen de materiales para la construcción de estructuras de pavimentos de carreteras y aeropistas aceptado por el Laboratorio Central de Puentes y Carreteras de Francia.⁹

Tabla 20
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas

Divisiones principales (1)	(2)	Símbolo (3)	Nombre (4)	Valor como			
				Subrasante (5)	Subbase (6)	Base (7)	
Suelos de partículas gruesas (más del 50% es mayor que la malla No.200)	Gravas (más del 50% es mayor que la malla No. 4)	GW	Gravas bien graduadas o mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	Excelente	Excelente	Bueno	
		GP	Gravas mal graduadas o mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno	
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	d	Bueno a excelente	Bueno	Regular a bueno
				u	Bueno	Regular	Malo o inaceptable
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	Bueno	Regular	Malo o inaceptable		
	Arenas (más del 50% es menor que la malla No.4)	SW	Arenas bien graduadas o arenas con grava, con poco o nada de finos	Bueno	Regular a bueno	Malo	
		SP	Arenas mal graduadas o arenas con grava, con poco o nada de finos	Regular a bueno	Regular	Malo a inaceptable	
		SM	Arenas limosas mezclas de arena y limo	d	Regular a bueno	Regular a bueno	Malo
				u	Regular	Malo a regular	Inaceptable
	SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla	Malo a regular	Malo	Inaceptable		
Suelos de partículas finas (más del 50% es menor que la malla No.200)	Limos y arcillas (límite líquido menor de 50%)	ML	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, arenas finas limosas o arcillosas o limos arcillosos, ligeramente plásticos	Malo a regular	Inaceptable	Inaceptable	
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras	Malo a regular	Inaceptable	Inaceptable	
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Malo	Inaceptable	Inaceptable	
	Limos y arcillas (límite líquido mayor de 50%)	MH	Limos inorgánicos, suelos con arenas finas micáceos o diatomáceos o suelos limosos, limos elásticos	Malo	Inaceptable	Inaceptable	
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas	Malo a regular	Inaceptable	Inaceptable	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media o alta, limos orgánicos	Malo a muy malo	Inaceptable	Inaceptable	
Suelos altamente orgánicos	Pt	Turba y otros suelos altamente orgánicos	Inaceptable	Inaceptable	Inaceptable		

Continuación tabla 20
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas

Acción potencial de las heladas	Compresibilidad y expansión	Características de drenaje	Equipo de compactación	Peso volumétrico seco (kg/m ³)	Valores típicos de diseño	
					CBR	Módulo de reacción de la subrasante k (kg/cm ² /cm)
(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Ninguna a muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de orugas, rodillo neumático, rodillo liso, compactador vibratorio	2,000 - 2,250	40 - 80	8 - 13.5
Ninguna a muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de orugas rodillo neumático, rodillo liso, compactador vibratorio	1,750 - 2,250	30 - 60	8 - 13.5
Ligera a media	Muy ligera	Regular a mala	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra. (control estricto de la humedad)	2,000 - 2,350	40 - 60	8 - 13.5
Ligera a media	Ligera	Mala a prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,850 - 2,150	20 - 30	5.5 - 13.5
Ligera a media	Ligera	Mala a prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	2,100 - 2,350	20 - 40	5.5 - 13.5
Ninguna a muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de orugas, rodillo neumático	1,750 - 2,100	20 - 40	5.5 - 11.0
Ninguna a muy ligera	Casi nula	Excelente	Tractor de orugas, rodillo neumático	1,700 - 2,150	10 - 40	4.0 - 11.0
Ligera a alta	Muy ligera	Regular a mala	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra, control estricto de la humedad	1,900 - 2,150	15 - 40	4.0 - 11.0
Ligera a alta	Ligera a media	Mala a prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,600 - 2,100	10 - 20	2.7 - 8.0
Ligera a alta	Ligera a media	Mala a prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,600 - 2,150	5 - 20	2.7 - 8.0
Media a muy alta	Ligera a media	Regular a mala	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra, control estricto de la humedad	1,450 - 2,100	≤ 15	2.7 - 5.5
Media a alta	Media	Prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,450 - 2,100	≤ 15	1.4 - 4.0
Media a alta	Media a alta	Mala	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,450 - 1,700	≤ 5	1.4 - 2.7
Media a muy alta	Alta	Regular a mala	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,300 - 1,700	≤ 10	1.4 - 2.7
Media	Alta	Prácticamente impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,450 - 1,850	≤ 15	1.4 - 4.0
Media	Alta	Prácticamente Impermeable	Rodillo neumático, rodillo pata de cabra	1,300 - 1,750	≤ 5	0.7 - 2.7
Ligera	Muy alta	Regular a mala	La compactación no es práctica	-	-	-

Continuación tabla 20
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas

NOTAS:

1. En la columna 3, la división de los grupos GM y SM en las subdivisiones d y u, es únicamente para carreteras y aeropistas. La subdivisión se basa en los límites de Atterberg; el sufijo d (por ejemplo: GMd) deberá usarse cuando el límite líquido sea igual o menor que 25 y el índice de plasticidad sea igual o menor que 5. En caso contrario deberá usarse el sufijo u.
2. El equipo indicado en la columna 11 producirá usualmente los pesos volumétricos requeridos con un número razonable de pasadas, siempre y cuando las condiciones de humedad y el espesor de la capa se controlen apropiadamente. En algunos casos se anotan varios tipos de equipo, debido a que las distintas características de los suelos, dentro de un grupo dado, pueden requerir equipo diferente. En otros casos puede ser necesaria la combinación de dos de ellos.
 - a. *Materiales triturados para base y otros materiales angulosos.* Los rodillos lisos y los neumáticos se recomiendan para materiales duros y angulosos con cantidad limitada de finos o cribados. El equipo neumático se recomienda para materiales más blandos, propensos a degradación.
 - b. *Acabado.* El equipo neumático se recomienda durante las operaciones finales de acabado, para la mayoría de los suelos y materiales triturados.
 - c. *Tamaño del equipo.* Los siguientes tamaños del equipo son necesarios para alcanzar los altos pesos volumétricos requeridos en la construcción de aeropistas:
 - ✓ *Tractor de orugas.*- Peso total superior a 15 t.
 - ✓ *Equipo neumático.*- Carga por rueda superior a 7 t. Cargas por rueda del orden de 20 t pueden ser necesarias para obtener los pesos volumétricos requeridos en algunos materiales (basándose en una presión de contacto de aproximadamente 5 a 10 kg/cm²).
 - ✓ *Rodillo pata de cabra.*- La presión unitaria (en patas de 40 a 80 cm²) deberá ser mayor de 18 kg/cm² , pudiendo ser necesarias presiones del orden de 45 kg/cm² para obtener los pesos volumétricos requeridos en algunos materiales. El área de las patas no deberá ser menor de 5% del área periférica del tambor, usando como diámetro el medido hasta las caras exteriores de las patas.
3. En la columna 12, los pesos volumétricos secos son para el suelo compactado a la humedad óptima obtenida con la energía específica de la prueba AASHTO T-180 (Proctor modificada).
4. En la columna 13, el valor máximo que puede ser usado en el diseño de aeropistas está, en algunos casos, limitado por los requisitos de granulometría y plasticidad.

Estructuras típicas de un pavimento

A continuación se muestran las estructuras típicas de los pavimentos en la actualidad.

Pavimentos flexibles

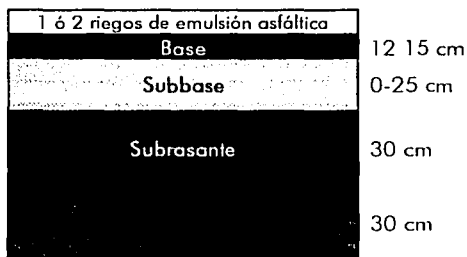


Figura 32

Tipo I
"Revestido"

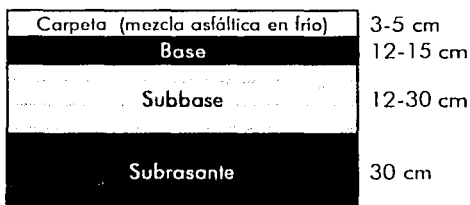


Figura 33

Tipo II
"Carpeta asfáltica en frío"

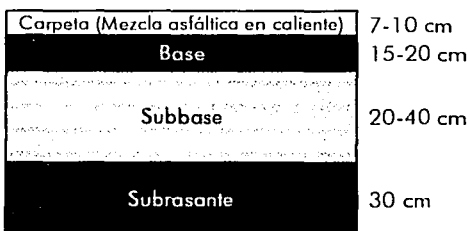


Figura 34

Tipo III
"Carpeta asfáltica en caliente"

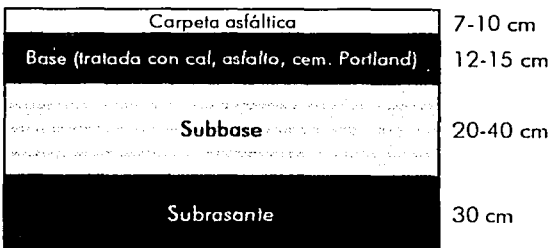


Figura 35

Tipo IV
"Carpeta asfáltica con base mejorada"

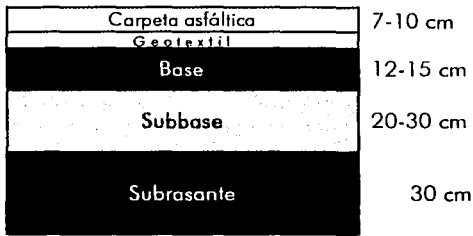


Figura 36
Tipo V
"Carpeta asfáltica
con capa de refuerzo (malla geotextil)"

Pavimentos rígidos

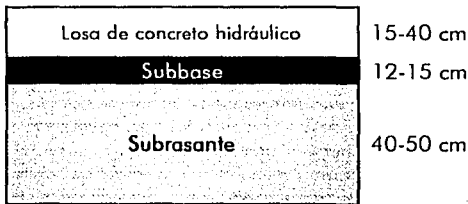


Figura 37

- La losa puede ser de cualquier tipo de concreto.
- 15-30 cm de espesor para carreteras y pavimento urbano
- 25 a 40 cm de espesor en aeropistas

Secciones de rehabilitación

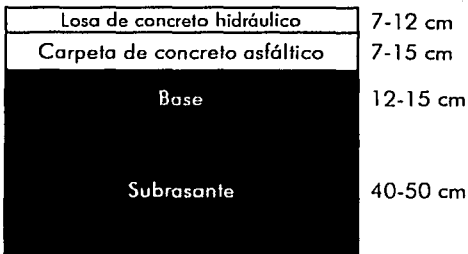


Figura 38

Pavimento ultradelgado (Whitetopping)
apoyado sobre carpeta asfáltica

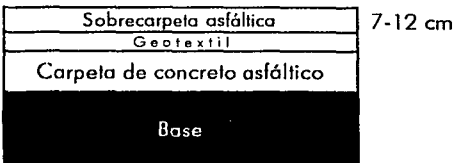


Figura 39

Colocación de capa de refuerzo y
nueva carpeta asfáltica

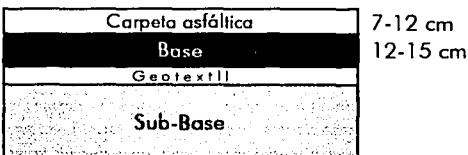


Figura 40

Colocación de capa rompedora de
capilaridad, base nueva y carpeta
asfáltica

Estructuras particulares

Carpeta de concreto asfáltico	5-10 cm
Base negra o estabilizada con cemento asfáltico	5-50 cm

Figura 41

"Full-depth"- (Espesor completo)

Carpeta de concreto asfáltico	5 cm
Capa rompedora de agrietamiento (Asfalto)	7.5 cm
Losa de concreto hidráulico	28-45 cm
Base estabilizada con cemento asfáltico	0-25 cm
Subbase drenante	10 cm

Figura 42

"Zero maintenance"
(Mantenimiento nulo)

Carpeta de concreto asfáltico	4-10 cm
Base densa de agregados	10-20 cm
	10-20 cm
Losa de concreto hidráulico	5-15 cm

Figura 43

"Sección invertida"

Carpeta de concreto asfáltico	4-10 cm
Base de agregados con granulometría abierta	10-20 cm
Losa de concreto hidráulico	5-15 cm
Subbase granular	10-20 cm

Figura 44

"Pavimento compuesto"

Adoquín	7-15 cm
	10-12 cm
Base densa de agregados	12-20 cm

Figura 45

"Adoquín"

1.3 Problemática de los pavimentos urbanos

Es muy probable el hecho de que vialidades donde se espere solo un tipo de tránsito, con el tiempo sean sometidas a intensos flujos vehiculares de otro tipo, esto puede ser provocado porque industrias, empresas, terminales de autobuses o gasolineras sean reubicadas con otro domicilio en algún momento.

De esta manera, para nuestro caso particular, el paseo Tollocan es una calzada que recibe vehículos de todo tipo, ya que debido a los puntos que une dentro de la ciudad de Toluca, es requerida por todo tipo de usuarios, que pueden pertenecer a las industrias, al sistema de transporte urbano o ser simplemente residentes de los municipios que comunica.

Por lo tanto se tiene que los problemas de los pavimentos urbanos son más agudos y constantes que el caso de una carretera, ya que diversos factores lo ponen en desventaja al prestar su servicio. Algunos factores pueden ser los siguientes:

- ✓ Los constantes esfuerzos que provocan las acciones de acelerar y frenar en puntos críticos (semáforos, topes, retornos, etc).
- ✓ Las alteraciones que sufre cuando se avería alguna tubería que conduzca agua y dañe la estructura del pavimento.
- ✓ Las alteraciones que sufre cuando se integra o repara una instalación que interactúe con el pavimento.
- ✓ Los trabajos de reparación y mantenimiento mal ejecutados por la premura de reanudar la circulación de las avenidas.

Fallas en los pavimentos

Al actuar sobre el sistema (estructura del pavimento) las funciones de excitación, como las cargas aplicadas por los vehículos, por ejemplo, el sistema genera respuestas mecánicas inmediatas, derivadas de las leyes físicas involucrados y que se identifican como estados de esfuerzos, de deformaciones unitarias y de deflexiones (σ , ϵ , δ), a los cuales están asociados determinados efectos, conocidos como deterioros, que son funciones del tiempo y que se caracterizan por ser acumulativos, progresivos, permanentes e interactuantes, identificados como agrietamientos, deformaciones, desintegración y reducción de la resistencia al derrapamiento, además del fenómeno de bombeo y escalonamiento entre juntas, en el caso de pavimentos rígidos.¹¹

La presencia repetida de los estados de respuesta tiene un efecto progresivo en los deterioros, produciéndose la degradación gradual del pavimento hasta alcanzar determinados valores críticos, límite o terminales que constituyen un estado de falla del pavimento, momento en el cual se considera que el pavimento ya no es capaz de cumplir con su función y ha llegado al final de su vida útil.¹¹

La primera etapa en el estudio de una falla será el observar cuidadosamente la misma para que permita emitir una hipótesis preliminar que deberá ser verificada posteriormente con análisis y mediciones más exactas.³

Es necesario tener muy presente que la sola inspección visual no es suficiente para conocer a fondo la causa o las causas de una falla en un pavimento. Se precisa un cuidadoso estudio de laboratorio para poder concluir acerca del caso particular.

En la actualidad se definen dos tipos de fallas:³

a) Fallas funcionales.

Las fallas funcionales corresponden a un defecto que se refleja en la superficie de rodamiento del pavimento y que afectan al cómodo movimiento de los vehículos, sin imposibilitar su uso. Afectan principalmente la seguridad, comodidad y economía del usuario. No necesariamente están relacionadas con fallas estructurales. Puede o no ser generada por el tránsito, e incluso puede ser originada durante la construcción del pavimento.³

b) Fallas estructurales.

Las fallas estructurales corresponden a una deficiencia del pavimento que provoca, de inmediato, o a corto plazo posteriormente, una reducción en la capacidad de carga del mismo, y como consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto, la falla estructural se manifiesta, en su etapa más avanzada, en una destrucción generalizada del pavimento. Estas fallas pueden catalogarse como graves e imposibilitan al pavimento en su uso correcto. Pueden estas fallas presentarse tanto en la superficie de rodamiento como en la base, en la subbase o en la subrasante. Aún más, a estas fallas estructurales se les puede localizar en el cuerpo mismo de las terracerías (subestructura) o en el cuerpo de terraplén de la estructura del camino, calle o aeropuerto. Este tipo de fallas son responsabilidad del proyectista principalmente.³

Fallas de los pavimentos flexibles

Las fallas de un pavimento flexible hace intervenir tres factores:⁹

1. El tránsito.

Se entiende por tránsito un factor complejo que comprende: la carga por rueda, la presión de inflado de los neumáticos, el modo de unión de las ruedas, el número y frecuencia del paso de cargas.

2. El suelo.

Este factor, en el caso de pavimentos flexibles, está caracterizado por las constantes geotécnicas del lugar considerado, y por las variaciones estacionales en su comportamiento.

3. Materiales

Este factor engloba a la vez espesores y características físicas de las diversas capas de la calzada.

A continuación se describen las fallas de un pavimento flexible:

- ✓ Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo o mapeo (figura 46).- Es el nombre dado a la red de fisuras que aparecen a veces en revestimientos de carpeta asfáltica. Se trata de una ruptura del revestimiento por fatiga (*flexión repetida*) que afecta el espesor del revestimiento, teniendo en cuenta las cargas circulantes, su frecuencia y la calidad de la calzada. Se debe a una carpeta de mala calidad o colocada sobre una base con rebote (muy deformable); en caso de que la carpeta se haya elaborado con concreto asfáltico, esta falla resulta de que la base no se rigidizó bien. Asimismo, aparece en carpetas con asfalto oxidado (viejo).³

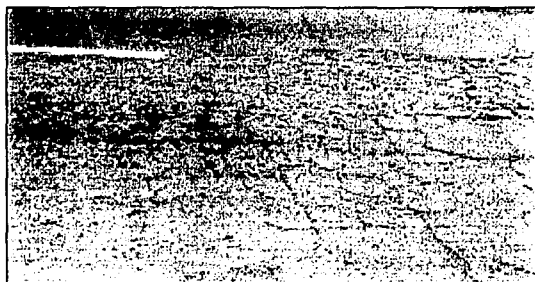


Figura 46.- Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo.

- ✓ Las roderas longitudinales.- Son deformaciones longitudinales que se presentan en la superficie de rodamiento, en la zona de mayor incidencia de las ruedas de los vehículos. Si son menores a 1 cm, se deben a una deformación de la carpeta asfáltica cuando tienen una estabilidad insuficiente; pero si son mayores, se deben a una insuficiencia en la base o a que ésta no es de la calidad adecuada. Pueden tener además su origen incluso en el suelo natural cuando el pavimento es delgado y está desprovisto de un revestimiento de cierto espesor. Datos estadísticos de muestreo de la institución especializada AASHTO (American Association of State

Highway and Transportation Officials) resumen la falla de roderas longitudinales de la siguiente manera: ³

- El 32% es imputable a la capa de rodadura
 - El 14% es imputable a la capa de base
 - El 45% es imputable a la cimentación (subrasante)
 - El 9% es imputable al suelo (terreno natural).
- ✓ Grietas longitudinales.- Acompaña la mayor parte de veces a las roderas en su comienzo; cuando éstas son debidas a una cimentación muy mediocre (capa profunda), y las capas superficiales se rompen sin fluencia. ³
- ✓ Grietas longitudinales a la orilla de la carpeta. Este problema se presenta en las terracerías, ya sea por contracciones que ocurran en ellas o por estar construidas sobre terrenos blandos; también puede deberse a que el tránsito se acerca mucho a las orillas cuando la carpeta cubre toda la corona de la vía, en cuyo caso no hay suficiente confinamiento lateral. De igual manera, estas grietas aparecen cuando las ampliaciones no se realizan en forma adecuada, pues se utilizan materiales sin compactación o sin anclaje adecuado a la parte antigua; con el tiempo a veces corto, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan en el centro. ²
- ✓ Los baches (figura 47).- Consisten en agujeros de dimensiones distintas que generalmente aparecen en pavimentos viejos. Se deben a la desintegración de la carpeta y de la base por la mala calidad de los materiales inferiores, incluidas las terracerías con alto contenido de agua. Ocurren también por la presencia de grietas y calaveras que no se repararon en forma adecuada y oportuna. En lugares de temperaturas bajas, aparecen en época del deshielo en una carretera levantada anteriormente por la helada. ³

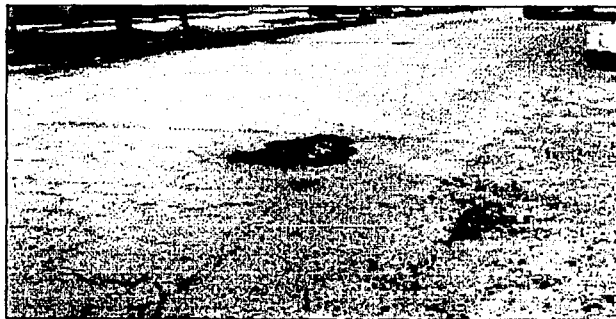


Figura 47.- Un bache en la superficie del pavimento.

- ✓ Superficie de rodamiento lisa.- Este defecto se debe a un exceso de asfalto en el riego de liga, en la mezcla asfáltica o en el riego de sello. El exceso de asfalto por acción del tránsito se bombea hacia la superficie de rodamiento, provocando así su alisamiento pero aún de esta manera se puede tener una capa de asfalto de 1 o 2 mm en forma de nata; esto es muy peligroso, pues los vehículos derrapan con facilidad. Los vehículos también derrapan por la presencia de una capa de polvo sobre la superficie de rodamiento, la cual se forma a menudo en las zonas donde los caminos de terracería o mal revestidos entroncan con la carretera; sin embargo, pueden haber longitudes grandes de camino con este defecto cuando las carpetas sin sello, o los sellos, se elaboren con suelos suaves como las calizas, que se desgastan con el tránsito y dejan el polvo en la superficie de rodamiento. En ambos casos, en tiempo de lluvias (sobre todo ligeras) se produce una pequeña capa de lodo sumamente peligrosa. Cuando los riegos de sello se dan en forma inadecuada por exceso de asfalto, escasez de materiales pétreos o mala adherencia de éstos con el asfalto, se alisa la superficie de rodamiento, lo que debe evitarse por su alta peligrosidad.²
- ✓ Los deslizamientos del revestimiento (carpeta asfáltica).- Son movimientos muy importantes de la capa de superficie imputables a una adherencia insuficiente con la capa de base, y a una estabilidad deficiente del revestimiento ya sea por exceso de asfalto o por usarse un asfalto blando en zonas de alta temperatura. Se anuncian con una fisura diagonal ceñida al lugar de paso de las ruedas, y por fisuras parabólicas amplias. Se presenta también en el carril de subida en tramos de pendiente marcada y en curvas, donde los esfuerzos de tracción de los vehículos son muy grandes.²
- ✓ Desintegración de la carpeta. Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación del asfalto, o en carpetas relativamente recientes con contenido de asfalto insuficiente; se da también en carpetas elaboradas con material pétreo deleznable.²
- ✓ Descarnado de la carpeta (figura 48).- Resulta de usar aditivos inadecuados en las mezclas y se presenta en zonas de grandes esfuerzos horizontales provocados por el tránsito, como en la zona de arranque y frenado, en avenidas o calles de ciudades.²

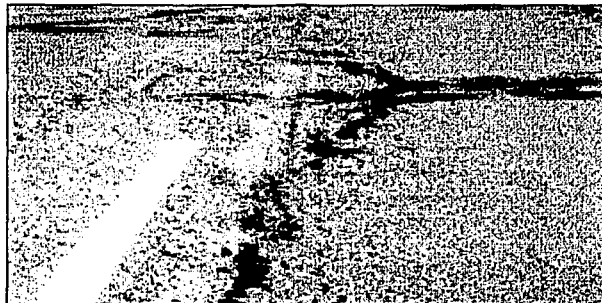


Figura 48.- Descarnado de la carpeta.

- ✓ Presencia de calaveras. Las calaveras son huecos que se forman en la superficie de rodamiento e incluso llegan a ser muy numerosos; su tamaño no es mayor que 15 cm. Se deben a una calidad insuficiente en la base, a carpetas con contenido de asfalto menor que el óptimo o por colocar una carpeta sobre otra agrietada y que se refleja en la nueva.²
- ✓ La carpeta ondulada o desgaste ondulatorio.- Se puede dar en ciertos revestimientos gruesos muy solicitados (intersecciones de calles y avenidas con semaforización y paradas de autobús), y es en este caso imputable a un defecto de estabilidad de la carpeta.³
- ✓ Pequeñas deformaciones rítmicas.- Esta falla, que es muy molesta al tránsito, se presenta cuando la base no está bien cementada o cuando se construyó en definitiva con materiales inertes. Se debe a las deformaciones de esta capa, producidas por la vibración y los esfuerzos tangenciales que provocan los vehículos y que se reflejan hacia la superficie de rodamiento; en caso de que ésta sea de concreto asfáltico, se agrieta en forma rápida.²
- ✓ Deformaciones de la superficie de rodamientos del orden de 5 cm. Son ocasionadas por la mala calidad de la base o por la insuficiencia en el espesor del pavimento.²
- ✓ Deformaciones fuertes de la superficie de pavimento. Se deben a un espesor insuficiente o a la mala calidad de los materiales del pavimento y de las terracerías, a menudo con una notable falta de compactación desde la construcción. Casi siempre hay una gran cantidad de agua en la superficie o en la estructura interna del pavimento por falta de cunetas, subdrenaje u otras obras para controlar el líquido. Cuando el tránsito aumenta en forma considerable, las obras diseñadas para un volumen determinado de tránsito y que no se rehabilitan en forma oportuna y adecuada, presentan también este problema.²
- ✓ Deformaciones de la corona junto a las cunetas. Las provoca un exceso de humedad en el terreno natural cuando no existen cunetas revestidas y a falta o al mal funcionamiento del drenaje.²
- ✓ El punzonamiento.- Es un fenómeno bastante menos frecuente, pero que se da alguna vez. Hay una ruptura brutal de la calzada que se hunde en parte en el suelo subyacente y en parte se levanta a un lado y a otro de la carga, se trata en este caso de una insuficiencia de espesor y de calidad de los materiales que constituyen el pavimento.³

Fallas de un pavimento rígido

Un pavimento rígido está cortado en losas, y apoya por lo general en una cimentación (*capa de subbase*). Las uniones de las losas pueden estar provistas de un dispositivo de transferencias de cargas (pasadores, ranuras y lenguetas).³

El espesor de losas y la resistencia del concreto, deben ser suficientes para que no haya rotura por cargas. Aquí también aparecen los tres factores: tránsito, suelo y materiales. No juegan siempre estos factores papeles iguales en los pavimentos rígidos que en los flexibles. En particular, en este tipo de pavimentos, la calidad de cimentación no interviene de forma tan directa.³

Las formas de falla de un pavimento rígido, sin ser tan numerosas como las de los pavimentos flexibles, son muy variadas.³

- ✓ La fisuración o agrietamiento (figura 49).- Es decir, la aparición de grietas amplias en las losas tiene orígenes diferentes. Puede aparecer a las pocas horas de colar el concreto y es debido a fenómenos de retracción. Pueden manifestarse por efecto de la aplicación de cargas repetidas, en este caso se debe a tensiones excesivas de tracción por flexión. También pueden aparecer después del serrado (corte) de las juntas, y se traduce por un verdadero desgarrón como efecto de las tracciones de retracción y de gradientes térmicos. Esta fisuración evoluciona con el tiempo, el número de fisuras aumenta, los bordes se degradan y el último estado al que llega es un conjunto de bloques de concreto inestables.³



Figura 49.- Grieta en el pavimento de concreto.

- ✓ Grietas transversales.- Las provocan las losas demasiado largas sin pasajuntas o sin armado continuo, pueden ser fallas estructurales incipientes.²
- ✓ Grietas longitudinales o transversales cercanas a las orillas o en las esquinas de las losas.- Se debe a que las losas se construyeron sobre material fino, lo que ocasionó el fenómeno de bombeo porque se carece de subbase, a raíz de la mala compactación de las capas inferiores, incluidas esta última.²

- ✓ Falla estructural.- Ocurre cuando concluye la vida útil del pavimento, si la falla se presenta después de 25 años de construido. También se puede ocasionar por un mal proyecto, si se trata de un pavimento reciente. Se presenta muy a menudo en calles o en avenidas donde, sin haberlo tomado en cuenta en el proyecto, se permite el paso de numerosos vehículos pesados. Se presenta en forma prematura en zonas con fuerte pendiente longitudinal y con subbases naturales, que se tubifican fácilmente con el agua que escurra bajo la losa. ²
- ✓ Despostillado de las juntas (figura 50).- Se debe a la presencia de partículas duras introducidas en las juntas por sellado insuficiente y que producen esfuerzos concentrados muy grandes en el momento que por la temperatura cambia de volumen el concreto. También puede ser a consecuencia y por mala confección de las juntas de dilatación que están inclinadas con respecto a la vertical o están sucias en el momento del llenado; o por una amplitud insuficiente de las juntas de retracción que lleva a un contacto puntual peligroso de los labios de las juntas en periodo cálido (arqueado de las losas); o debido al hinchamiento en alguna capa de la cimentación de algunos suelos heladizos en periodo frío; o por ejecutar los cortes de las losas cuando el concreto tiene muy poco tiempo de fraguado. ³

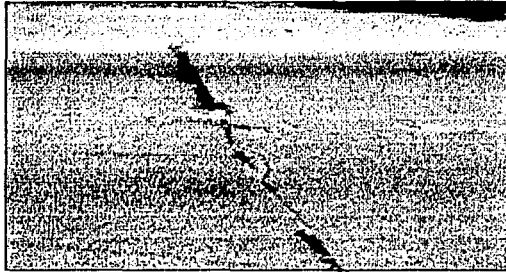


Figura 50.- Despostillado de las juntas.

- ✓ El pumping.- Es la inyección brusca de materiales de la subcapa en el borde o en las juntas del pavimento. Este fenómeno precede a la fisuración, pero puede aparecer después, depende del espesor de las losas. Es debido también a una mala confección de la subcapa (roce, exceso de arena), y a un drenaje insuficiente que permite estancar el agua infiltrada en la cimentación. Evidentemente, el hecho es progresivo y está en función creciente del tránsito. ³
- ✓ Descarnado de la superficie de rodamiento. Se debe a que durante la construcción de las losas, se proporcionó un fuerte vibrado al concreto fresco, lo cual provocó un ascenso de la lechada de la mezcla, formando así una película que más tarde se agrietó y se desgastó con el tránsito, dejando los agregados sin protección superficial, también se presenta cuando la resistencia de la arena es baja o se agrega agua a la superficie para ejecutar el acabado. ²

Fallas de un pavimento mixto

Los pavimentos mixtos, es decir, los pavimentos cuya capa de base es rígida, se comportan en general como pavimentos rígidos, es decir, que las fallas son en su mayor parte fisuras. De todas formas es preciso distinguir los pavimentos mixtos cuyas capas de base son de cementantes asfálticos y aquellas cuyas capas de base están tratadas, con cemento Portland. Estas últimas tienen un comportamiento análogo al de los pavimentos rígidos. Las primeras pueden presentar rodadas bajo tránsito pesado, previas a la aparición de fisuras. Su comportamiento depende en gran parte del clima y de la deformabilidad de las capas inferiores. Es preciso ser precavido, sobre todo en regiones muy cálidas y secas, cuando se proyectan calzadas mixtas, con capas estabilizadas con cemento Portland. La retracción puede ser importante entrañando una fisuración peligrosa, incluso bajo un revestimiento grueso.³

1.3 Problemática de los pavimentos urbanos

a) El pavimento urbano con alto tránsito del paseo Tolloccan

Al observar el tránsito del paseo Tolloccan, inmediatamente se pone en evidencia la gran variedad de vehículos que circulan por él. Desde autos familiares con una capacidad de carga de unos 500 o 600 kg, hasta tractocamiones con remolques y semiremolques capaces de transportar cerca de 80,000 kg (80 ton). Esto es debido a que en Toluca, se encuentran integradas las zonas industriales con las comerciales y residenciales. De esta forma, se tiene que el pavimento del paseo Tolloccan es sometido diariamente a soportar un tránsito intenso de todo tipo.

El hecho de que por un pavimento fluya un gran número de vehículos ligeros y pesados, provoca que el pavimento se encuentre sometido a repeticiones de esfuerzos que provocan gradualmente su fatiga.

Tomando en cuenta el tiempo de operación que tiene la vía, los parámetros y procedimientos de diseño así como los controles de calidad con los que se construyó el paseo Tolloccan, es muy factible que esta vialidad; en la actualidad no presente las características propias para soportar los intensos volúmenes de tránsito que por él circulan.

El tránsito en un pavimento.

Los métodos de cálculo de espesor de pavimentos introducen el factor tránsito, es decir, la distribución del número de repeticiones de pasos de eje según las cargas soportadas por estos ejes. Esto lleva a la necesidad de conocer la posible composición del tránsito de un pavimento que se piensa construir. Hay casos en que esta composición es conocida (camino para una mina, carretera con camiones de un tipo fijo con una cadencia anual conocida). Pero no es esto lo normal y es preciso definir el tránsito. En el caso de la red de carreteras y tránsito urbano, la composición del tránsito no es homogénea y es preciso cuidar con detalle cada caso particular.⁹

Los esfuerzos en las calzadas son tanto más importantes cuanto mayor es el tránsito que soportan. Pero dos vehículos sucesivos no tienen nunca la misma trayectoria, y esto influye en que sólo después del paso de numerosos vehículos se pueda decir que la vía está toda ella afectada o, lo que es lo mismo, tiene un cubrimiento. Cuanto mayor número de vehículos esté canalizado, mayor será el número de cubrimientos. Cuanto más ancha sea la banda de rodadura de los neumáticos, más frecuentes serán estos cubrimientos. Ya que la anchura de la vía está tan relacionada con los cubrimientos, es preciso saber que si un carril es de 3.50 m (anchura normal), se verá mucho menos afectada que si tiene 3.00 m o menos. Por otro lado, cuanto mayor sea el tránsito más vehículos pasan por el mismo trazo. Se puede decir que el número de cubrimientos no

está en relación constante con el número de pasadas, pero que depende esta relación del tránsito.⁹

Se han efectuado estudios sobre el comportamiento estadísticamente considerado de vehículos en un perfil transversal a la vía. Además de la anchura del carril intervienen otros factores, tales como tránsito (canalización), anchura de acotamientos, existencia de una señalización horizontal (bandas amarillas). En dichos estudios, se ve que los vehículos se reparten alrededor de una posición media y con una dispersión que depende de distintos factores exteriores.⁹

Como en la práctica es imposible tener en cuenta la complejidad de las diversas situaciones posibles y se busca simplemente un orden de magnitud del número de cubrimientos en función del número de pasadas, se tiende a valores medios. Se ve que es preciso una decena de pasadas de coche para producir un cubrimiento, mientras que con un par de ruedas gemelas de camión, son precisas 3 o 4 pasadas. Si se trata de ejes tándem, la relación disminuye.⁹

El propósito del camino es soportar el tránsito a lo largo de su vida útil; su capacidad es una medida de cómo realiza ese objetivo. Para el diseño de un camino, el ingeniero debe determinar si tendrá la capacidad para adaptarse al volumen de tránsito predicho. Pero, en general, una respuesta matemática todavía no se obtiene. Hay tantos aspectos que los diseñadores todavía confían en datos empíricos y en el buen juicio.⁶

Para el análisis de la capacidad de tránsito, es necesario definir algunos terminos como:⁶

- ✓ La capacidad.- Es el máximo número de vehículos que pueden pasar razonablemente por una sección de un carril o un lado del camino en un sentido, o en ambos sentidos si así se indica, durante un tiempo determinado, en las condiciones prevalecientes de ese lado del camino y del tránsito. El periodo normal es una hora.⁶
- ✓ Las condiciones que prevalecen.- Incluyen los factores físicos del camino, la naturaleza del tránsito, el clima y la visibilidad.⁶
- ✓ El nivel de servicio.- Para cualquier camino es una función del volumen y composición del tránsito y de las velocidades alcanzadas. Un camino puede proyectarse para cierto nivel de servicio a un volumen especificado, pero operará a diferentes niveles según varía el flujo. Todos los componentes de la carretera, como rampas, intersecciones, vías de tránsito entrelazadas, se diseñan para proveer el mismo nivel de servicio que la carretera principal. Desde el punto de vista del conductor, el nivel de servicio más alto ocurre cuando hay flujo libre. Pero esto se obtiene sólo cuando el camino está en operación con capacidad mucho más baja.⁶

- ✓ El volumen de servicio.- Es el máximo número de vehículos que pueden pasar por la sección dada de un carril o lado de camino, durante un periodo especificado (comúnmente una hora), mientras las condiciones de operación hacen posible ese nivel de servicio. En caminos de múltiples carriles, dicha cifra sólo es para un sentido; en otros caminos, para ambos. ⁶
- ✓ La velocidad de diseño.- Se utiliza en la decisión de las proporciones geométricas de un camino propuesto, es la velocidad continua más alta para la conducción segura cuando ésta es gobernada únicamente por los trazos de diseño del camino. ⁶
- ✓ La velocidad de operación.- Es la velocidad total más alta a la que puede viajar un conductor bajo las condiciones prevaecientes, sin sobrepasar la velocidad segura de diseño. ⁶
- ✓ El espaciamiento.- Es la distancia entre vehículos sucesivos, medido de frente a frente. ⁶
- ✓ El volumen.- Es el número de vehículos que pasan por la sección dada de un carril o lado del camino en un tiempo determinado, que puede ser una hora o más. Para que un camino proporcione un aceptable servicio, el volumen de éste debe ser inferior a la capacidad del camino. ⁶
- ✓ La densidad.- Es el número de vehículos en una unidad de longitud (generalmente un kilómetro) de los carriles con tránsito directo en un instante especificado. ⁶
- ✓ La densidad crítica.- Ocurre cuando el volumen iguala la capacidad. Cuando la densidad es mayor o menor que ésta, el volumen es menor que la capacidad. ⁶
- ✓ El adelanto.- Es el intervalo de tiempo entre un vehículo y el siguiente, medido de frente a frente. ⁶

Por estudios se ha demostrado que el adelanto promedio es de $1 \frac{1}{2}$ seg. (El adelanto de $1 \frac{1}{2}$ seg equivale a un espaciamiento de 132 pies = 40.24 m a 60 millas/h = 100 km/h y de 66 pies = 20.12 m a 30 millas/h = 50 km/h) Si el adelanto se mantuviera uniforme para todos los vehículos, daría como resultado un volumen por vía de tránsito de 2,400 vehículos por hora. Esto se ha observado durante periodos cortos en ciertas vías libres, bajo condiciones ideales. Sin embargo, los vehículos no se mueven con un espaciamiento uniforme, sino que tienden a formar grupos. La observación ha demostrado que como dos tercios de los vehículos se espera que estén espaciados al adelanto promedio, o a menos que eso. También, en general, a más elevado el tipo de camino (mejor nivel de servicio), más corto es el adelanto. ⁶

Dada una opción de varios niveles de servicio, abajo de la capacidad, cada uno relacionado con una velocidad de operación, el ingeniero debe seleccionar el tipo de

operación más adecuada para las condiciones locales. Al tomar la opción, el ingeniero debe considerar la localización (rural o urbana); condiciones de hora pico; hasta qué grado debe restringirse la libertad de los conductores; las restricciones intrínsecas o interrupciones al flujo libre; la seguridad, y otros factores importantes. ⁶

Tránsito en las intersecciones

Para las intersecciones se dificulta tomar el flujo del tránsito. Hay tantos factores, que no es posible determinar las condiciones ideales para un flujo ininterrumpido. Para cada intersección, se estudian y evalúan las condiciones sobre las porciones adyacentes de los accesos a los caminos. En la tabla 21 se enumeran algunos factores que afectan la capacidad y niveles de servicio para las intersecciones: ⁶

Tabla 21
Factores que afectan la capacidad y niveles de servicio para las intersecciones

Condiciones físicas y de operación	Características del tránsito	Medidas para control
✓ Ancho del acceso	✓ Movimientos de dar vuelta	✓ Señalizaciones para tránsito
✓ Operación de uno o dos sentidos	✓ Camiones y autobuses directos	✓ Marcado de carriles para acceso
✓ Condiciones para estacionamiento	✓ Autobuses	
✓ Condiciones ambientales		
✓ Factor de carga		
✓ Factor de hora pico		
✓ Población de área metropolitana		
✓ Localización dentro del área metropolitana		

Tránsito en los puentes

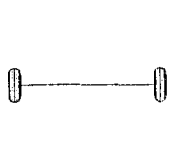
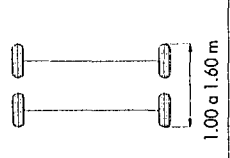
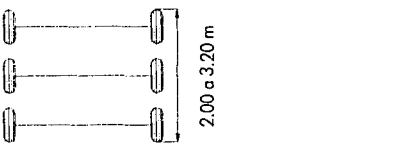
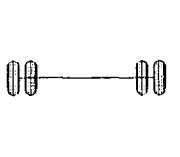
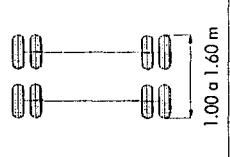
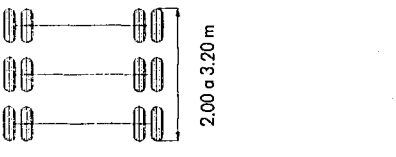
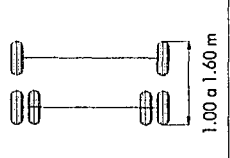
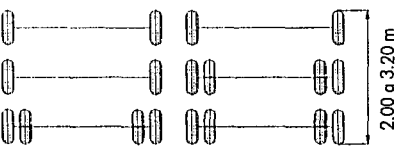
El flujo de tránsito en un puente también depende de muchas variables. Cada puente requiere un estudio individual. Sin embargo, para una rampa bien diseñada con amplias agujas de entrada y salida, la capacidad del carril es como de 1,200 vehículos de tipo "A" por hora. Esta cifra debe reducirse si hay una proporción importante de vehículos tipo "B" y "C". ⁶

Configuración de ejes

Las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento a través de llantas, dispuestas en grupos de líneas de rotación llamados "ejes", éstos se muestran en la tabla 22 y se clasifican de la siguiente manera. ¹⁰

<p>Eje simple o sencillo Con una sola línea de rotación. ¹⁰</p>	<p>De llanta sencilla: Cuando es de dos llantas.</p> <p>De llanta doble: Cuando es de cuatro llantas.</p>
<p>Eje tándem o doble Conformado por dos líneas de rotación, separadas entre 1.00 y 1.60 m y dotado de un dispositivo de distribución de cargas entre sus dos líneas de rotación. ¹⁰</p>	<p>De llanta sencilla: Cuando el conjunto es de cuatro llantas, dos por línea de rotación.</p> <p>De llanta doble: Cuando el conjunto es de ocho llantas, cuatro por línea de rotación.</p> <p>Mixto: Cuando el conjunto tiene una línea de rotación de llanta sencilla y otra de llanta doble (seis llantas en el conjunto).</p>
<p>Eje trídem o triple Conformado por tres líneas de rotación, igualmente separadas en un espacio entre 2.00 y 3.20 m y con un dispositivo de distribución de cargas entre las mismas. ¹⁰</p>	<p>De llanta sencilla: Cuando el conjunto es de seis llantas.</p> <p>De llanta doble: Cuando el conjunto es de doce llantas.</p> <p>Mixto: Cuando tiene una combinación de líneas de rotación con llanta sencilla y llanta doble y el conjunto tiene ocho o diez llantas.</p>

Tabla 22

Configuración de los diferentes tipos de ejes			
Eje	Simple o sencillo	Tándem o doble	Trídem o triple
De llanta sencilla			
De llanta doble			
Mixto			

Clasificación de vehículos

En México, con el objeto de clasificar los vehículos en un número razonable de categorías, se dividen en tres grandes grupos según la Secretaría de Comunicaciones y Transportes: ¹⁰

Tipo A

En este grupo se clasifican los automóviles, camionetas pick-up, camionetas con capacidad de hasta 3 ton de carga y jeeps. Se designan con la letra A. ¹⁰

Tipo B

En este grupo se clasifican los autobuses de pasajeros. Se designan con la letra B. ¹⁰

Tipo C

En este grupo se clasifican los camiones, que son aquellos vehículos destinados al transporte con más de dos toneladas de carga. pueden cargar sobre sus ejes únicamente el peso transportado por sí mismos o estar compuesto por dos unidades, una de ellas tractora y la otra un semirremolque o un remolque. Se designan con la letra C. ¹⁰

La diferencia entre el semirremolque y el remolque radica en que el primero le transmite parte de la carga a la unidad tractora mientras que el remolque no.¹⁰

Se nombra en su orden el tractocamión con la letra I, el semirremolque con la letra S y el remolque con la letra R; a continuación de cada letra el número de ejes de la unidad vehicular correspondiente.

A continuación se muestra en las figuras 51 a la 71 los valores de carga por eje autorizados por la SCT y los caminos que pueden recorrer de acuerdo a la clasificación técnica oficial (ver inciso 1.1 a) carreteras, pág. 15).¹²

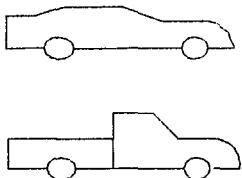
A2		Eje	Peso en ton	
Automóvil, pick-up, jeep.			Carga máx	Vacío
	Camino A, B y C	Sencillo	1	0.8
		Sencillo	1	0.8
		(Σ) Suma	2	1.6

Figura 51.- Vehículos A2.

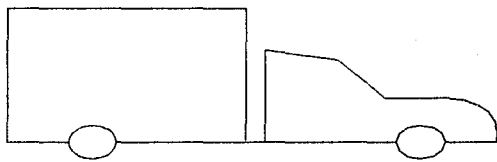
A'2		Eje	Peso en ton	
Camión ligero con capacidad de carga hasta 3 ton			Carga máx	Vacío
	Camino A, B y C	Sencillo	1.7	1.3
		Sencillo	3.8	1.2
		(Σ) Suma	5.5	2.5

Figura 52.- Vehículos A'2.

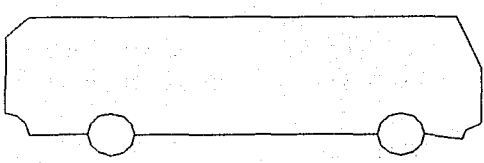
B2		Eje	Peso en ton	
Autobús de 2 ejes			Carga máx	Vació
	Camino A	Sencillo	5.5	3.5
		Sencillo	10	7.0
		(Σ)Suma	15.5	10.5
	Camino B	Sencillo	5	3.5
		Sencillo	9	6.5
		(Σ)Suma	14	10
	Camino C	Sencillo	4	3
		Sencillo	8	6
		(Σ)Suma	12	9

Figura 53.- Vehículos B2.

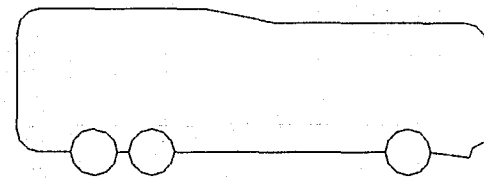
B3		Eje	Peso en ton	
Autobús de 3 ejes			Carga máx	Vació
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	14	8
		(Σ)Suma	19.5	12
	Camino B	Sencillo	5	4
		Tándem	14	7.5
		(Σ)Suma	19	11.5
	Camino C	Sencillo	4	3.5
		Tándem	14	7.5
		(Σ)Suma	18	11

Figura 54.- Vehículos B3.

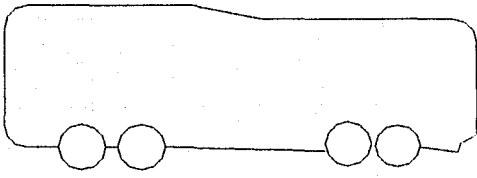
B4		Eje	Peso en ton	
Autobús de 4 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Tándem	7	5
		Tándem	14	8
		(Σ)Suma	21	13
	Camino B	Tándem	7	5
		Tándem	14	8
		(Σ)Suma	21	13
	Camino C	Tándem	7	5
		Tándem	14	8
		(Σ)Suma	21	13

Figura 55.- Vehículos B4.

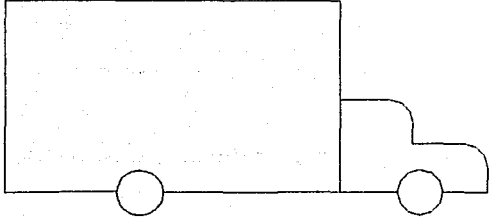
C2		Eje	Peso en ton	
Camión de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	3.5
		Sencillo	10	3
		(Σ)Suma	15.5	6.5
	Camino B	Sencillo	5	3
		Sencillo	9	3
		(Σ)Suma	14	6
	Camino C	Sencillo	4	2.5
		Sencillo	8	2.5
		(Σ)Suma	12	5

Figura 56.- Vehículos C2.

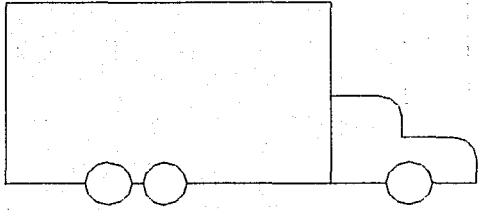
C3		Eje	Peso en ton	
Camión de 3 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4.5
		(Σ)Suma	23.5	8.5
	Camino B	Sencillo	5	3.8
		Tándem	15	4.2
		(Σ)Suma	20	8
	Camino C	Sencillo	4	3.5
		Tándem	14	4
		(Σ)Suma	18	7.5

Figura 57.- Vehículos C3.

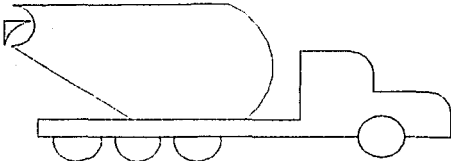
C4		Eje	Peso en ton	
Camión de 4 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4.5
		Tándem	22.5	8
		(Σ)Suma	28	12.5

Figura 58.- Vehículos C4.

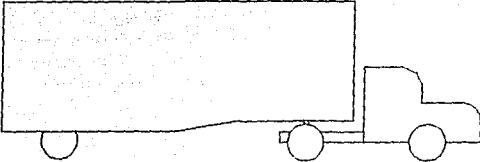
T2-S1		Eje	Peso en ton	
Tractor de 2 ejes con semiremolque de 1 eje			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	3.2
		Sencillo	10	3.4
		Sencillo	10	3.4
		(Σ) Suma	25.5	10
	Camino B	Sencillo	5	3
		Sencillo	9	3
		Sencillo	9	3
		(Σ) Suma	23	9

Figura 59.- Vehículos T2-S1.

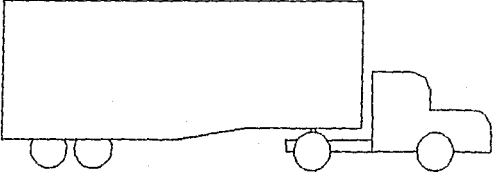
T2-S2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 2 ejes con semiremolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Sencillo	10	3.5
		Tándem	18	4
		(Σ) Suma	33.5	11.5
	Camino B	Sencillo	5	3.4
		Sencillo	9	3.4
		Tándem	15	3.7
		(Σ) Suma	29	10.5

Figura 60.- Vehículos T2-S2.

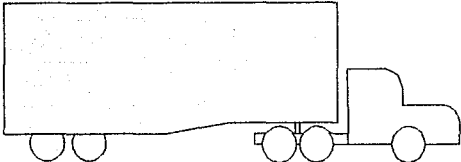
T3-S2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Tándem	18	4
		(Σ)Suma	41.5	12
	Camino B	Sencillo	5	3.5
		Tándem	15	4
		Tándem	15	4
		(Σ)Suma	35	11.5

Figura 61.- Vehículos T3-S2

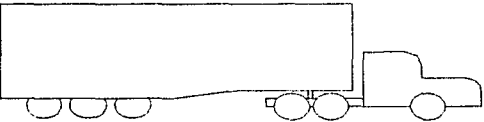
T3-S3		Eje	Peso en ton	
Tractor de 3 ejes con semiremolque de 3 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Trídem	22.5	5
		(Σ)Suma	46	13

Figura 62.- Vehículos T3-S3.

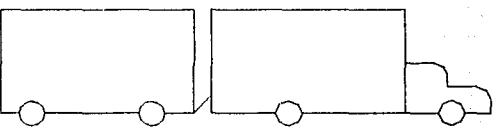
C2-R2		Eje	Peso en ton	
Camión de 2 ejes con remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	3.5
		Sencillo	10	3
		Sencillo	10	2
		Sencillo	10	2
	(Σ)Suma	35.5	10.5	

Figura 63.- Vehículos C2-R2

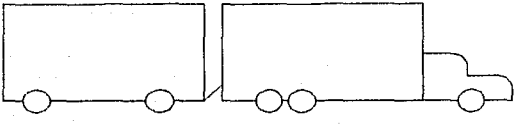
C3-R2		Eje	Peso en ton	
Camión de 3 ejes con remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4.5
		Sencillo	10	2
		Sencillo	10	2
		(Σ)Suma	43.5	12.5

Figura 64.- Vehículos C3-R2

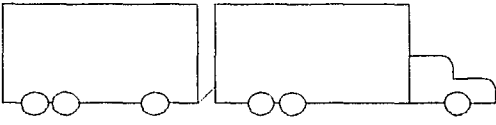
C3-R3		Eje	Peso en ton	
Camión de 3 ejes con remolque de 3 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4.5
		Sencillo	10	2
		Tándem	18	3
		(Σ)Suma	51.5	13.5

Figura 65.- Vehículos C3-R3

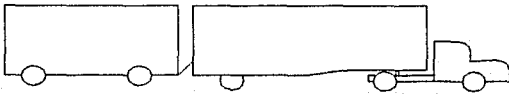
T2-S1-R2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 2 ejes con semiremolque de 1 eje y remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	3.2
		Sencillo	10	3.4
		Sencillo	10	2.4
		Sencillo	10	2.3
		Sencillo	10	2.2
		(Σ)Suma	45.5	13.5

Figura 66.- Vehículos T2-S1-R2

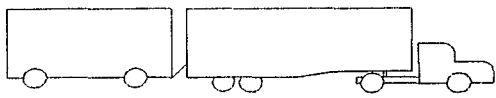
T2-S2-R2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 2 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Sencillo	10	4
		Tándem	18	3.5
		Sencillo	10	2.3
		Sencillo	10	2.2
		(Σ) Suma	53.5	16

Figura 67.- Vehículos T2-S2-R2

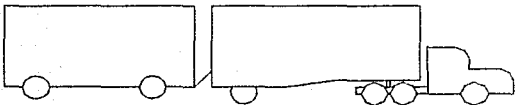
T3-S1-R2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 3 ejes con semiremolque de 1 eje y remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Sencillo	10	2.5
		Sencillo	10	2.3
		Sencillo	10	2.2
		(Σ) Suma	53.5	15

Figura 68.- Vehículos T3-S1-R2

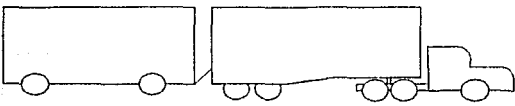
T3-S2-R2		Eje	Peso en ton	
Tractor de 2 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 2 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Tándem	18	3.5
		Sencillo	10	2.3
		Sencillo	10	2.2
		(Σ) Suma	61.5	16

Figura 69.- Vehículos T3-S2-R2


T3-S2-R3		Eje	Peso en ton	
Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 3 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Tándem	18	3.5
		Sencillo	10	2.3
		Tándem	18	3.2
		(Σ) Suma	69.5	17

Figura 70.- Vehículos T3-S2-R3

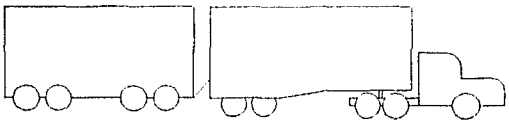
T3-S2-R4		Eje	Peso en ton	
Tractor de 3 ejes con semiremolque de 2 ejes y remolque de 4 ejes			Carga máx	Vacío
	Camino A	Sencillo	5.5	4
		Tándem	18	4
		Tándem	18	3.5
		Tándem	18	3.3
		Tándem	18	3.2
		(Σ) Suma	77.5	18

Figura 71.- Vehículos T3-S2-R4

Recopilación de datos de tránsito

La recopilación de datos de tránsito y, especialmente, su evaluación pertenecen a un especialista, el ingeniero de tránsito. Este debe predecir los volúmenes, con objeto de diseñar un nuevo medio de transportación o mejorar el existente. Las cifras de volumen requeridas son, por regla general, para 20 años después de terminada la construcción del proyecto. ⁶

Por lo que respecta a los datos, el ingeniero debe utilizar las cifras de tránsito en los caminos existentes, entrevistas a la vera del camino y encuestas con los usuarios en potencia. Las cifras de tránsito se hacen mediante dispositivos automáticos, en los

caminos que dan servicio a las zonas contiguas al alineamiento propuesto. Para las entrevistas, se detiene a los conductores en puntos predeterminados y se les pregunta acerca de aspectos como el origen y destino, propósito y frecuencia de su viaje. Cuando este método se usa para una ciudad, los puntos de estudio se localizan sobre caminos que entran a la ciudad (un cordón externo) y algunas veces se suplementan mediante un cordón interno que abarca el distrito central de negocios. En las encuestas, se hace una muestra de los dueños de vehículos en las zonas de las cuales es más probable que vengan los usuarios de los nuevos medios. Las encuestas se hacen por correo o por entrevistas en los hogares. Las preguntas se enmarcan para revelar información como las rutas que la gente preferiría si estuvieran disponibles (líneas deseadas), orígenes, destinos, la frecuencia y distancia de los viajes. Las respuestas se resumen y se analizan, comúnmente con una computadora electrónica. Pueden trazarse gráficas que muestren las líneas deseadas o de mayor servicio. Tal gráfica es útil para determinar el corredor de alineamiento más lógico para una nueva vía rápida, particularmente en una zona urbana.⁶

Los volúmenes de tránsito derivados de las diversas inspecciones, se expresan en general como los volúmenes de tránsito diario promedio anual (TDPA). De día a día, los volúmenes varían ampliamente. Por esto, ese promedio no se usa solo para calcular la capacidad requerida de un camino.⁶

El paso final al hacer una predicción del tránsito futuro es aumentar los volúmenes de diseño por el crecimiento esperado en más de 20 años u otro periodo.⁶

En general, no es posible pronosticar precisamente todos los factores de conducta de gran escala y locales, tecnológicos, económicos y sociales que afectan los movimientos de tránsito día a día y hora tras hora. Aún así, son necesarias las mejores estimaciones posibles del uso probable en el año de diseño, para determinar si el proyecto es racional con respecto al promedio probable o las necesidades típicas, y proveer una base para la comparación sistemática de los efectos sobre el tránsito de las variantes de diseño del proyecto. Una vez establecido el tránsito probable del año de diseño, pueden elaborarse los diagramas de flujo de tránsito y usarse como una base para determinar el número de carriles, la localización de intercambios y otros rasgos de diseño que dependen de los modelos de tránsito y los pronósticos.⁶

Para el caso de los pavimentos rígidos, en la actualidad para calcular el volumen de tránsito en el horizonte de proyecto, se afecta el valor del tránsito diario promedio anual (TDPA) por un factor de proyección según la tasa de crecimiento anual que corresponda a ese proyecto.

Composición del tránsito

Fórmulas de equivalencia

Una de las mayores dificultades que se presentan para el empleo de los modernos métodos de cálculo de pavimentos, es la apreciación del tránsito, es decir, la distribución estadística de cargas por eje. Se desconoce la cantidad de cargas que actualmente circulan por las calzadas, salvo en contadas ocasiones. 9

Los registros ahora corrientes en las carreteras no dan más que el reparto entre vehículos ligeros y pesados, sin que se pueda precisar la proporción de ejes de diferentes tonelajes. Todos los camiones no transportan siempre idéntica carga (viajes de sobrecarga, vueltas de vacío, cargas voluminosas y poco densas, etc.). 9

No es posible dar cifras exactas. Siempre será peligroso ponderar un caudal de vehículos observados con ayuda del reparto del parque móvil nacional, puesto que los tipos de camión difieren según que el viaje sea de larga, corta o media distancia. 9

Al proponer una fórmula que ponga en relación el espesor de un pavimento, con el número de pasadas, fórmula del tipo: 9

$$H = f(P, N)$$

Se establece a la vez una relación de equivalencia entre ejes de pesos diferentes. En efecto, dos ejes de pesos P_1 y P_2 pasan respectivamente N_1 y N_2 veces, pueden ser considerados como equivalentes, si: 9

$$f(P_1, N_1) = f(P_2, N_2)$$

Para que esta fórmula tenga una aplicación general, debe satisfacer ciertas condiciones. Si N_1 y N_2 son multiplicados por una constante λ se debe dar: 9

$$f(P_1, \lambda N_1) = f(P_2, \lambda N_2)$$

Dicho de otra forma, si dos ejes son equivalentes para dos valores del número de aplicaciones de carga, esta equivalencia debe ser independiente del número de pasadas de cada eje, cuando estos números están en relación constante. Las líneas de nivel de superficie $H = f(P, N)$ en los planos paralelos al plano de P, N deben ser afines paralelamente al eje de N o curvas de traslación si el eje de N está graduado en escala logarítmica. 9

En caso contrario, la relación de equivalencia dependerá de las circunstancias y, sobre todo, del espesor del pavimento. Se podrá decir que si N_1 aplicaciones de la carga P_1

son equivalentes a N_2 aplicaciones de la carga P_2 , una aplicación de la carga P_1 será equivalente a $\frac{N_2}{N_1}$ aplicaciones de la carga P_2 .⁹

Las curvas traductoras de los resultados de la A.A.S.H.O. Road Test son efectivamente curvas de traslación en diagrama semilogarítmico. Es preciso excluir los ejes poco cargados (los inferiores a 3 ton), que parece se separan de la regla general. La mayoría de conclusiones matemáticas producto de pruebas experimentales presentan una variación lineal del espesor del pavimento en función del logaritmo del número de cargas, siendo las rectas paralelas entre sí, con la excepción de las rectas representativas de, ejes ligeros que son mucho menos inclinadas.⁹

El problema del comportamiento de un pavimento bajo el paso de los ejes simples o tándem soportando el mismo peso conserva la equivalencia de estos dos tipos de ejes. Las curvas de la A.A.S.H.O. sugieren un resultado bastante paradójico que es el siguiente: un eje simple soportando una carga P es equivalente a un eje tándem que soporta una carga $\frac{P}{k}$.⁹

El coeficiente k vale: 0.57 para pavimentos flexibles ó 0.62 para pavimentos rígidos, dicho de otra forma, a carga igual, el eje tándem es casi dos veces menos nocivo que el eje simple.⁹

La separación de ejes tándem es casi siempre del orden de 1.20 m, mientras que la anchura de banda de rodadura de los neumáticos o del diámetro del área ficticia de contacto es del orden de 0.25 m.⁹

La experiencia prueba que el reparto de una carga sobre dos ejes en lugar de sobre uno solo, es interesante desde el punto de vista de la conservación del pavimento. Pero lo que no es evidente es que desde el punto de vista de la economía global de transporte se puedan sacar las mismas conclusiones.⁹

b) La vida útil y el nivel de rechazo de un pavimento

Las vías terrestres al igual que otras obras civiles, se proyectan y construyen para que estén en servicio por un determinado número de años (como mínimo) llamado horizonte de proyecto o *vida útil* de la obra. Al concluir este tiempo, los caminos se abandonan, se rescatan o se reconstruyen con objeto de aumentar su servicio por más tiempo, que es en general lo que sucede. ²

Una obra, al estar en operación se deteriora poco a poco y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio, pero más adelante probablemente sean más serios y aceleren la falla de la vía; por esto una obra requiere mantenimiento o conservación, para cuando menos asegurar su vida de proyecto y proporcionar un servicio adecuado. ²

El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5 en la escala del llamado índice de servicio (present serviceability index), cuando una obra comienza a funcionar recién construida, puede tener una calificación de 4.0 a 4.5 la cual disminuye conforme pasa el tiempo. ²

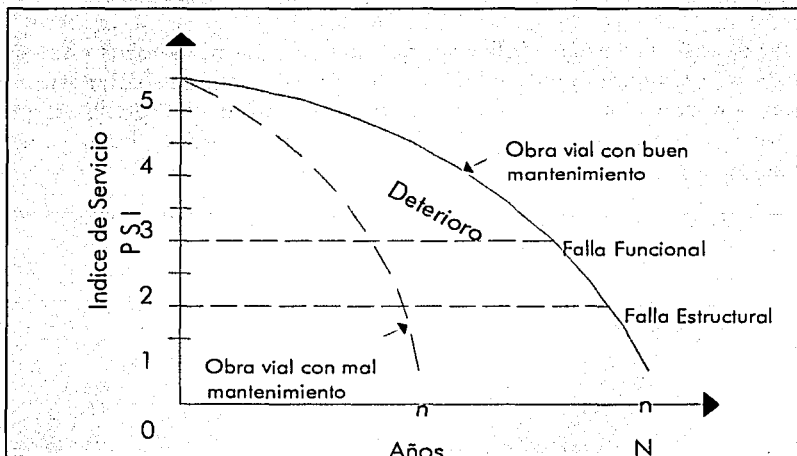


Figura 72.- La curva muestra los niveles de servicio de una obra vial a través del tiempo y los efectos de una conservación buena y otra deficiente.

Como se observa en la figura 72, cuando un camino de primer orden o autopista llega a un valor de 2.5 o de 2 uno de segundo orden, el tránsito tiene bastantes problemas para circular y la *comodidad* del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su *falla funcional*. Si el camino sigue en servicio, alcanza la *falla estructural* y prácticamente ya no se puede realizar el tránsito. ²

Debido a un mal diseño de la estructura en cuanto a los materiales o sus espesores, o a que no se pronosticó el tránsito en forma adecuada, una obra vial puede llegar a la falla estructural al estar casi destruida antes de terminar la vida útil del proyecto, pues el deterioro habría sido rápido.²

Para que una obra deteriorada con el tiempo no alcance la falla estructural, es necesario rehabilitar la vía cuando alcance la falla funcional y su calificación sea de 2 para los caminos secundarios o de 3 para los de primer orden y especiales.²

Cuando se registra la historia de un camino y se obtienen año con año los índices de servicios, se traza una curva como la mostrada en la figura 72, con la cual se conoce aproximadamente el tiempo en que la vía llegará a su falla estructural. Pero se pueden hacer diferentes rehabilitaciones, que según la calidad de los trabajos, podrá reducir o aumentar el lapso de tiempo para que sea necesaria otra rehabilitación.²

Lo anterior se muestra en la figura 73, donde se indica que después de entrar en servicio, una obra se va deteriorando hasta llegar en "n" años a su nivel de rechazo; sin embargo, si cuando se tiene una calificación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil en "n" años más. Este ciclo se puede repetir en varias ocasiones.²

Este podría ser el caso del paseo Tollocan, que después de numerosas rehabilitaciones con trabajos de mantenimiento mayor (siempre con pavimento flexible), después de esta reconstrucción con pavimento de concreto hidráulico, se ha elevado la vida útil a 20 años con solo aplicar trabajos de mantenimiento menor cada cinco años aproximadamente.

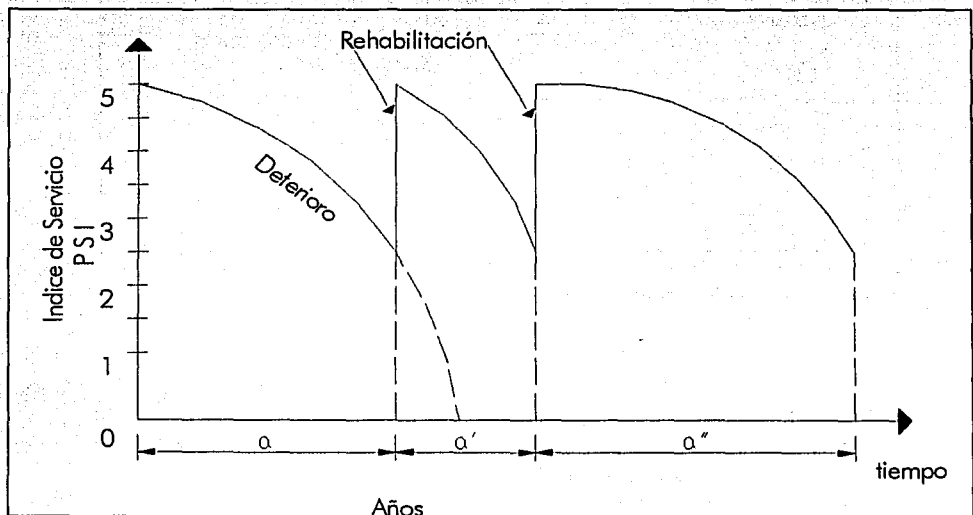


Figura 73.- Trabajos de rehabilitación que pueden igualar, aumentar ó disminuir el periodo de servicio de un pavimento.

Para calificar un camino se utiliza el método visual, donde se toman en cuenta la cantidad de grietas que hay en la superficie de rodamiento; el número de baches o calaveras. Otros métodos de evaluación pueden llevarse a cabo con equipos sofisticados como perfilómetros, los cuales indican las deformaciones que presente la vía, o los rugómetros, que indican la pérdida de rugosidad de la superficie.

Índice de calidad de servicio (Present Serviceability Index-PSI)

La falla de un pavimento es pocas veces brusca. Los pavimentos flexibles como los rígidos evolucionan por efecto del tránsito y de agentes atmosféricos. Se deterioran y una de las mayores dificultades es la de predecir con exactitud el estado de conservación al que llegará un pavimento después de haber soportado el tránsito para el que ha sido previsto. 9

Esta evolución hacia el nivel de rechazo puede tener motivos muy variados según la naturaleza del pavimento, y el primer punto débil que hace patente es la aparición de trastornos tanto en la estructura interna como en la superficie del pavimento. 9

Evidentemente, un pavimento bien construido debe evolucionar lentamente. En caso de pavimentos flexibles se apreciará una formación de baches progresivos con fisuras. En el caso de pavimentos rígidos, una fisuración lenta. 9

En todo caso esta evolución se traducirá por una parte en una disminución de comodidad para el usuario y por otra en un aumento en gastos de conservación. 9

Una prueba muy importante y trascendente llevada a cabo en Ottawa Illinois, EE.UU. en el año de 1958 con motivo de los ensayos de la A.A.S.H.O. (hoy AASHTO) ha puesto de manifiesto que es posible manejar una escala que sitúe a los pavimentos con respecto a sus diferentes calidades, y que esta escala es casi independiente del usuario y función única del estado del pavimento.

Se define el índice de calidad de servicio (Present Serviceability Index-PSI) por la escala que se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 23
La escala del índice de calidad de servicio (PSI)

PSI	Servicio
4 - 5	muy buena
3 - 4	buena
2 - 3	media
1 - 2	mediocre
0 - 1	muy mala.

Esta notación carecerá de interés si no puede estar referida a características mensurables del pavimento, características en cuanto a comodidad y a conservación. ⁹

La obtención del índice de servicio actual (PSI) se usa con ventaja en México para llevar a cabo la evaluación de la superficie de rodamiento de los pavimentos. El índice de servicio actual (PSI), se puede definir como la apreciación de un observador de la "capacidad de servicio" de un pavimento en un determinado momento, comparándola con aquélla para la cual fué construido éste. ²

Cuando se determina el índice de servicio actual (PSI), se debe tomar en cuenta exclusivamente el estado de la superficie de rodamiento en el momento de la inspección, sin que influya para nada el conocimiento que tenga el observador sobre futuras condiciones del pavimento, ni deben influir las características geométricas, ni estado de los acotamientos, taludes, etc. La determinación se hará tomando en cuenta el grado de comodidad que el usuario sentiría al llevar a cabo un recorrido de 500 km por una carretera con unas condiciones de la superficie de rodamiento semejante a la que está juzgando, y así el que califica podrá ponderar si las condiciones del pavimento son excelentes, regulares o intransitables, funcionalmente. ³

Ecuaciones para calcular el índice de calidad de servicio (PSI)

Estudios estadísticos han demostrado que el índice de servicio actual (PSI), apreciado por un observador de paso por el pavimento, podía calcularse de la forma siguiente: ⁹

Para pavimentos flexibles

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log (1 + \overline{SV}) - 0.01 \sqrt{C + P} - 1.38 \overline{RD}^2$$

- ✓ \overline{SV} = La varianza de la pendiente del perfil longitudinal medida sobre el eje de las rodadas de los vehículos.
- ✓ C = La proporción 1/1,000 de la superficie sobre la que existen fisuras en piel de cocodrilo y con descarnado de la superficie.
- ✓ P = La proporción de 1/1,000 de las superficies reparadas (mantenimiento menor).
- ✓ \overline{RD}^2 = Es el cuadrado de la profundidad media, medido en pulgadas, de las roderas de los vehículos.

\overline{SV} Ha sido medida en pistas de prueba de la A.A.S.H.O., con un perfilómetro especial (CHLOE) constituido por un chasis de largo considerable soportando un chasis pequeño articulado con dos ruedas pequeñas. Se mide la inclinación del ángulo formado por el eje del chasis pequeño (tangente al perfil del punto estudiado) y el eje de chasis grande (perfil medio del pavimento). La varianza de esta pendiente por definición es \overline{SV} .

\overline{RD}^2 Se mide sacando la media de las lecturas de flechas con una regla de 1.20 m colocada cada 7.50 m del pavimento, transversalmente a las rodadas de los vehículos.

Para pavimentos rígidos

$$PSI = 5.41 - 1.80 \log \left(1 + \overline{SV} \right) - 0.09 \sqrt{C + P}$$

- ✓ \overline{SV} = Definición idéntica a la anterior.
- ✓ C = representa la longitud en pies de las fisuras con despostillado por 1,000 pies cuadrados de superficie de pavimento.
- ✓ P = Representa la superficie de las zonas reparadas en la proporción de 1/1,000 de la superficie del pavimento.

Este concepto de índice de calidad de servicio (PSI), evidentemente debe utilizarse con prudencia, por ejemplo sería peligroso considerar la profundidad de las roderas de una vía que no presentase más que este defecto con exclusión de baches y fisuras, cuyo (PSI) sería débil. Así una profundidad media de las roderas de una pulgada daría un (PSI) de 3.65, valor que no reflejaría el bajo nivel de servicio de la vía. °

En el caso de los ensayos de la A.A.S.H.O., se ha encontrado que la ley de evolución del índice de calidad de servicio de un pavimento es función del tránsito de la forma siguiente: °

$$p = 4.2 - 2.7 \left[\frac{W}{\rho} \right]^\beta \quad \text{Para pavimentos flexibles}$$

$$p = 4.5 - 3 \left[\frac{W}{\rho} \right]^\beta \quad \text{Para pavimentos rígidos}$$

ρ y β son parámetros que dependen de la carga por eje y de la estructura del pavimento. W es el número de pasadas del eje considerado.

Las ecuaciones anteriores para determinar el PSI han sido desplazadas hoy en día por equipos que utilizan una gran tecnología y son de gran rendimiento, los cuales definen con mayor precisión las condiciones que presenta una vía con respecto a su servicio.

c) La rehabilitación y mantenimiento de un pavimento

La conservación de los caminos viene siendo preservación de la mejor inversión posible, ya que una conservación adecuada no solo garantiza la inversión inicial de construcción, sino que disminuye el costo de operación y alarga la vida tanto del camino como de los vehículos que lo usan.³

Es necesario entender claramente que la conservación más que un problema de economía, es un problema de técnica de ingeniería y por lo tanto los trabajos deben ejecutarse oportunamente ya que de ello depende el que los gastos que se hagan sean mínimos. Sin embargo, para ello es necesario contar con personal experimentado, sistemas, materiales y equipos requeridos.³

Conservación normal

Se denomina conservación normal al conjunto de trabajos, constantes o periódicos que se ejecutan para evitar el deterioro o destrucción prematuros de una obra y que la mantienen en su calidad y valor.³

El programa de trabajos de conservación normal es generalmente rutinario y debe tender a ejecutarse en forma de ciclos, estudiando para formularlo los intervalos de periodicidad adecuados a la intensidad del tránsito para algunas obras, como rastreos y bacheos, y de acuerdo con las estaciones meteorológicas del año si se trata de efectos atmosféricos, como las limpieas y desazolves de cunetas y los desyerbes de acotamientos y taludes.³

La ejecución de los trabajos de conservación normal en forma de ciclos oportunos necesita de la formación previa de un calendario de operaciones. En dicho calendario deben aparecer los siguientes tópicos:³

- ✓ Programas y presupuestos anuales de conservación y mejoramiento.
- ✓ Limpia de drenajes.
- ✓ Limpia de derrumbes.
- ✓ Desyerbes y podas.
- ✓ Arreglo de taludes y acotamientos.
- ✓ Rastreos y reconfomaciones.
- ✓ Inspección y reparación de estructuras.
- ✓ Bacheos, riegos asfálticos y renivelaciones de superficies de rodamiento.
- ✓ Pintura de rayas y señales de tránsito.
- ✓ Reparación de defensas.
- ✓ Reparación de equipo.
- ✓ Explotación de canteras y bancos.
- ✓ Informe de costos.

Rehabilitación y mantenimiento para los pavimentos flexibles

Si al principio de la operación de la obra aparecen baches muy aislados, debidos a pequeños problemas durante la construcción, deberán tratarse de manera adecuada, al abrir una caja hasta donde sea necesario y rellenarla con materiales de buena calidad, compactándolos hasta el grado conveniente. La carpeta asfáltica que se reponga, debe ser del mismo tipo que la que se colocó en el resto del tramo.²

Si la carpeta presentó agrietamientos por algún motivo; pero la superficie está firme, no se debe colocar otra capa asfáltica sobre ella, pues las grietas se reflejan en poco tiempo. En este caso, se levanta la carpeta y se desecha o incorpora a la base, previa escarificación, para colocar la nueva carpeta después de compactarla e impregnarla.²

Un sistema que se está utilizando mucho para sobreencarpetar un tramo con la superficie de rodamientos con grietas ligeras o medianas, es colocar un producto geotextil impregnado y construir sobre él la nueva carpeta; estas telas trabajan a la tensión, por lo que no permiten que las grietas se reflejen hacia la superficie de rodamiento.²

Para los casos en que se coloque carpeta de concreto asfáltico, la base se debe estabilizar con cal o cemento Portland; si la superficie de rodamiento está en buenas condiciones, se colocan las sobrecarpetas necesarias.²

Sin embargo, por diversos motivos, principalmente por escasez de fondos monetarios, la conservación que se da a estos pavimentos es bastante deficiente de esa manera, al paso del tiempo se dañan las vías en forma considerable y se necesitan diferentes trabajos para mantenerlo en servicio como mantenimiento normal preventivo, reconstrucciones aisladas, rehabilitación y reconstrucción.²

Conservación normal o preventiva

El mantenimiento normal se proporciona en los tramos que no presentan deformaciones ni agrietamientos fuertes; se lleva a cabo por medio de riegos de sello, los cuales deben durar si se utilizan materiales pétreos adecuados.²

Si la superficie de rodamientos está lisa, sobre todo si existe una capa de asfalto considerable (2 o 3 mm) se debe raspar con motoconformadora y, si es posible, la superficie se calienta con anticipación, por medio de sopletes acoplados a un camión especial.²

Dentro de este tipo de conservación rutinaria o normal se encuentran todos los trabajos de bacheo y renivelaciones ligeras, que se requieren en un tramo que no ha contado con trabajos de mayor envergadura por algún motivo. Otro trabajo que cae en este tipo de conservación es el señalamiento, sobre todo el de las rayas que se pintan en la

superficie de rodamiento para marcar los carriles (balizamiento) e indicar las zonas donde se permite el rebase de vehículos. ²

Conservación mayor

Dentro de este rubro se encuentran los trabajos que consisten en reparaciones más serias y costosas, y se pueden mencionar las siguientes:

✓ Reconstrucciones aisladas

Las reconstrucciones aisladas se realizan en los tramos dañados, pero que están relativamente distantes unos de otros; es decir, no hay una falla generalizada del camino. Estos tramos pueden tener longitudes de 50 a 300 m y se pueden rehabilitar mediante reencarpetamientos con mezcla asfáltica (figura 74), sobreencarpetamientos, trabajos en las capas de terracerías u otras labores de las capas superiores. ²

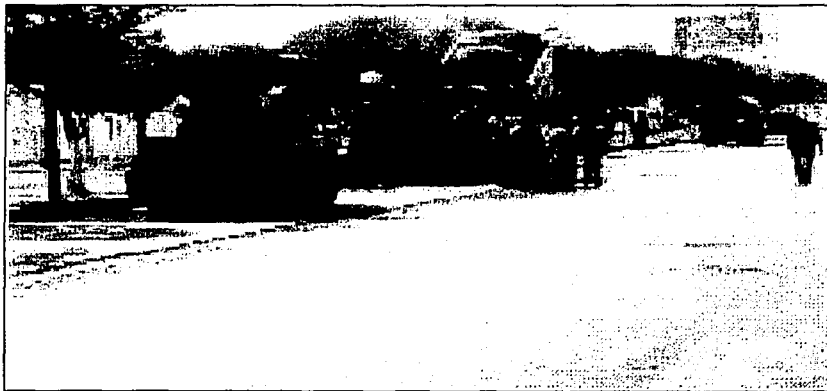


Figura 74.- Reencarpetamiento de un pavimento con carpeta asfáltica.

✓ Rehabilitación o reconstrucción

Cuando en un tramo importante de 5, 10 o más kilómetros hay fallas generalizadas donde predominan graves deformaciones y agrietamientos, se requiere rehabilitar el camino. Para hacerlo, conviene realizar los siguientes trabajos: ²

1. Calificar los tramos con pruebas NDT (Non destructive test -- prueba no destructiva) para conocer el índice de servicio actual (PSI) que presentan; con este valor se

clasifican los tramos y si se requiere rehabilitarlos por tener calificaciones entre 3 y 2.5 (para autopistas y otros caminos), se ordena un estudio de los materiales localizados en la estructura de la obra. Se realizan sondeos a cielo abierto en todos los estratos, si es posible hasta terracerías, tomando muestras en forma estratificada; es decir se toma una muestra de los materiales que forman las capas y se obtienen previamente los datos necesarios para calcular la humedad y la compactación de cada capa. Los espesores son datos indispensables.²

2. Realizar las siguientes pruebas de laboratorio:²

Capa	Prueba de laboratorio
Carpeta	Contenido de asfalto y granulometría del material pétreo.
Bases y subbases	Equivalente de arena, humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría, límites de Atterberg, contracción lineal, prueba Porter estándar (VRS y expansión)
Terracerías	En la capa subrasante y 30 cm abajo, en forma separada, humedad, peso volumétrico máximo, grado de compactación, granulometría simplificada, límites de Atterberg, prueba Porter estándar (VRS y expansión) y Porter modificada con la combinación de pesos volumétricos secos (PVS) y las humedades que requiera el proyectista.

Los resultados de las pruebas anteriores se estudian a la perfección para restaurar la sección transversal de la obra. En general, se debe retirar la carpeta asfáltica que se puede incorporar al material de base al disgregarla de modo conveniente una vez escarificada. Esta capa se compacta y queda como subbase, y sobre ella se coloca una base hidráulica, una base negra o una base estabilizada, según se requiera; a continuación, se coloca la nueva carpeta asfáltica. Los espesores y otras características de las capas se calculan con los métodos de diseño tradicionales de estructuración; los espesores reales de las capas que no se rehabiliten, serán afectados por un factor de daño menor a 1 en la nueva estructura para considerarlos como espesores efectivos debido a que las capas ya están fatigadas y usadas.²

Cuando el camino está en muy malas condiciones y el tránsito ha aumentado de un modo considerable, es conveniente reconstruir la vía, que a menudo requiere un nuevo trazo topográfico para corregir el proyecto geométrico y adecuarlo a las nuevas condiciones. En terrenos planos, el camino actual pasa a formar parte de la mediana o camellón central de un camino de cuatro a seis carriles o, si no, se rehabilita lo necesario para utilizarse como uno de los cuerpos con que contará la nueva vía y cuyo tránsito será de un solo sentido. Los estudios acerca del cuerpo antiguo se harán como se indicó antes o serán los que correspondan a un camino nuevo.²

Conservación de pavimentos rígidos

Mantener pavimentos rígidos es bastante simple, si están bien proyectados; es decir, si se han relacionado en forma conveniente los elementos correspondientes como el tránsito y las resistencias del concreto y de la capa subrasante; de otra manera, lo más probable es que se presente la falla estructural y haya que desechar este pavimento.²

Conservación menor

Dentro de estos trabajos se encuentran los siguientes:

- ✓ Limpieza de juntas.- Debido a que los productos utilizados para sellar las juntas longitudinales y transversales se endurecen y se agrietan con el tiempo, es necesario limpiarlas cuando menos cada tres años y extraerles tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre, en seguida, la junta se vuelve a sellar con material fresco.²
- ✓ Calefatear los agrietamientos.- Es necesario rellenar e impermeabilizar las grietas que se hayan presentado por el fenómeno anterior o de cualquier otro, para evitar la introducción de materias extrañas o de agua.²
- ✓ Fresado de la superficie.- Cuando se ha perdido el texturizado superficial en las losas de concreto, será necesario remarcar la macrotextura transversal con una fresadora con discos de corte con diamante. Por lo general este tipo de trabajo se requiere en periodos de tiempo mayores a los cinco años.

Conservación mayor

Este tipo de trabajos involucra actividades más complicadas y costosas para reparar las fallas que presente el pavimento. Algunos trabajos son los siguientes:

- ✓ Rebajar las orillas de la losa.- Cuando por efecto del gradiente de la losa, esta se alabea con la concavidad hacia arriba, es necesario rebajar las orillas de las losas para nivelarlas y evitar un tránsito defectuoso a través de ellas, sobre todo en aeropuertos, para ello existen máquinas desbastadoras especiales. Cuando la concavidad es hacia abajo, el rebaje se hace hacia el centro de las losas si es necesario, pues esta deformación es casi siempre menor que la anterior.²
- ✓ Inyecciones de mortero fluido para llenar los huecos.- Cuando haya indicios de que se está presentando el fenómeno de bombeo o de plano, debido a una fractura de la losa que quedó sin apoyo al salir el material que la sustentaba, es necesario efectuar estas inyecciones, si la losa está fracturada, es conveniente renivelar la

zona antes de la inyección. Cabe mencionar que este trabajo es muy costoso y no se utiliza para reparar áreas muy significativas de un camino. ²

- ✓ Sustitución de losas.- Cuando en un tramo específico la capa de soporte presente cambios de volumen muy fuertes que provoque el agrietamiento de las losas, se procederá a demolerlas y sustituirlas por una nueva. También pueden existir losas que debido a su mala construcción, presenten grietas, desniveles o rugosidad inapropiada, y por lo tanto se procedera a sustituirlas.
- ✓ Construir una sobrelosa.- Por último, si un pavimento rígido se ha comportado de manera adecuada, pero se prevé un tránsito más intenso en los años siguientes o se quiere aumentar la vida útil del camino, es posible construir una sobrelosa para ello es necesario asegurar la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que se corruga primero la superficie de rodamiento actual y, antes del colado, se esparce un aditivo especial que una el concreto de las losas. ²

Proyecto y programación de la conservación de las vías terrestres

Los organismos encargados de administrar las vías terrestres de un país, cuentan con oficinas centrales, regionales y subregionales para conservar estas obras. ²

En las oficinas centrales se revisan los proyectos y los trabajos en todo el país que pueden ser de conservación rutinaria o normal, rehabilitación o reconstrucción aislada y general, los cuales se programan en forma adecuada. ²

Después se gestionan ante las autoridades hacendarias, las asignaciones monetarias que requiere cada región; en las oficinas centrales, también se revisan mecanismos para controlar las finanzas y el avance de las obras. ²

En las oficinas regionales que están a cargo de un residente general, se realizan las mismas funciones de proyecto y control que se explican en el párrafo anterior, y se controlan los gastos realizados en las subregiones; asimismo, se realizan actividades de supervisión a las obras. ²

Las oficinas subregionales, a cuyo frente se encuentra un residente de conservación, se encargan de realizar los trabajos por administración o de vigilar que éstos se efectúen de acuerdo con la calidad y el programa, cuando se dan por contrato a compañías especializadas; además, en las oficinas subregionales, se estiman los costos de las obras realizadas para que, previa revisión en las oficinas de más jerarquía, se efectúen los pagos en su oportunidad. ²

En todas las oficinas, existe una organización tal que es posible proyectar las obras con la anticipación debida para que, después de transmitir la suficiencia presupuestal, ésta se ejerza con toda oportunidad. En todas esas oficinas, según el volumen de obras, se

cuenta con una organización para controlar la calidad (laboratorios), el avance y las finanzas. Los planes de las obras de conservación pueden ser de aplicación inmediata o a largo plazo.²

Las actividades incluidas automáticamente en esos planes son las de conservación normal y las de reconstrucciones aisladas, a las que es posible dar un costo anual más o menos constante (hay que tomar en cuenta la inflación). En los planes a largo plazo, se considera reconstruir y rehabilitar tramos importantes de la red.²

En nuestro país, toma gran importancia la planeación a largo plazo, pues una gran parte de la red debe ser rehabilitada y reconstruida, a causa del gran incremento de tránsito en los últimos años.²

Estos planes de conservación a largo plazo deben tender a que toda la red sólo requiera la conservación normal o la rehabilitación cuando las condiciones del tránsito lo exigen.²

Recomendaciones francesas de conservación

La organización francesa *Laboratoire des Ponts et Chaussées* (Laboratorio de puentes caminos), recomienda dividir los caminos en cuatro categorías, de la 1 a la 4, para conservarlos.²

- ✓ Estado 1.- Caminos en buen estado, con características adaptadas al tránsito y buen alineamiento geométrico, que ofrezca seguridad y comodidad a los usuarios.²
- ✓ Estado 2.- Caminos con pequeños problemas superficiales y muy pocos problemas de drenaje y zonas laterales.²
- ✓ Estado 3.- Caminos con problemas de deterioro en la calzada, caracterizados principalmente por agrietamientos y pequeñas deformaciones superficiales, debidas sobre todo al agua filtrada de la superficie a las capas inferiores, que hace que éstas disminuyan su capacidad de soporte. Defectos medianos en el drenaje y zonas laterales.²
- ✓ Estado 4.- Caminos con fuertes problemas de deterioro superficial, caracterizados por fallas de todo tipo que incomodan al usuario hasta presentar riesgos para su seguridad; zonas laterales de drenaje con problemas. Este estado del camino provoca grandes pérdidas de tiempo y altos costos de operación a los usuarios.²

La conservación normal se realizará en los caminos en estados 1 y 2

La rehabilitación, en los que estén en estado 3

La reconstrucción, en los que se encuentren en estado 4

Claro, las características para que una obra esté en alguno de los estados indicados, son diferentes para los distintos tipos de caminos (especiales, A, B, y C) por lo que se deben enlistar aparte, para planear la conservación.²

También es necesario tener un informe anual del residente de conservación (sub-región), donde indique las condiciones y el estado (1 a 4) en que se encuentre cada tramo, así como los procedimientos que se requieran para colocarlo en el nivel 1 y el antepresupuesto correspondiente.²

También, de cada tramo se debe contar con un documento denominado "Esquema de seguimiento", en donde se incluya la historia de su construcción y conservación, con perfiles de espesores, bancos utilizados, procedimientos de construcción seguidos y las fechas probables en las que, por el incremento del tránsito, requiera rehabilitación. En este documento, se deben registrar también todas las actividades de conservación a que ha estado sujeto. Para caminos antiguos, el primer informe anual necesita contener todos estos datos; en los siguientes informes, se actualizará este Esquema de seguimiento, que puede almacenarse en computadora (historia de las obras). Para facilitar la redacción de los informes anuales de los residentes, es conveniente que haya proyectos de conservación con actualización anual, por regiones, y con costos.²

CAPÍTULO 2

" LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LAS LATERALES DEL PASEO TOLLOCCAN "

2.1 Antecedentes

De acuerdo con el problema que se presentó en las laterales del paseo Tolloccan, se procede a recopilar información que sirva para determinar la magnitud del problema y así encontrar la solución óptima.

De esta manera se definieron los siguientes puntos para su análisis: ¹

1. Revisión de la estructura del pavimento existente.
 - a. Estudio geotécnico.
 - b. Trabajos de laboratorio.
 - c. Características del material de cimentación.
 - d. Análisis del espesor efectivo de la estructura actual.
2. Recopilación de datos de tránsito.
3. El nivel de rechazo de las laterales del paseo Tolloccan
 - a. Determinación del Índice de servicio actual -PSI- ("Present serviceability index")
 - b. Determinación del Índice de servicio terminal p_t
4. Propuesta de rehabilitación con pavimento flexible.
 - a. Parámetros de diseño.
 - b. Espesores requeridos para la nueva estructura.
5. Propuesta de reconstrucción con pavimento rígido.
6. Inventario general de las obras de drenaje, así como de las instalaciones que interactúan con el pavimento.
7. Elaboración de los proyectos de las obras de drenaje.
8. Levantamiento topográfico.
9. Conclusiones generales.

1. Revisión de la estructura del pavimento existente

a. Estudio geotécnico

Para realizar éste estudio fué necesario hacer 18 (dieciocho) sondeos en distintos puntos a todo lo largo de las laterales. A continuación se presenta en la tabla 24 un reporte de todos los sondeos, que se llevaron a cabo mediante el método de exploración "Pozo a cielo abierto" (P.C.A.).¹

Tabla 24
Informe de estudio geotécnico¹

Km Desde Hasta	Estrato		Clasificación de suelos según la S.C.T.
	No.	Espesor (m)	
0+000 a 1+500	1	0.20	Carpeta asfáltica elaborada con grava, arena y emulsión asfáltica.
	2	0.18	Grava y arena limosa color gris húmeda y compacta GM-SM.
	3	0.22	Arena limosa con grava húmeda y compacta SM.
	4	indef.	Arena arcillosa limosa color gris húmeda y medianamente compacta, SM-SC.
1+500 a 3+500	1	0.24	Carpeta asfáltica elaborada con grava, arena y emulsión asfáltica.
	2	0.21	Grava y arena limosa color gris húmeda y compacta GM-SM.
	3	indef.	Arena arcillosa limosa color gris húmeda y medianamente compacta, SM-SC.
3+500 a 6+500	1	0.21	Carpeta asfáltica elaborada con grava, arena y emulsión asfáltica.
	2	0.20	Grava y arena limosa color gris húmeda y compacta GM-SM.
	3	0.28	Arena limosa con grava húmeda y compacta SM.
	4	indef.	Arena arcillosa limosa color gris húmeda y medianamente compacta, SM-SC.
6+500 A 7+500	1	0.24	Carpeta asfáltica elaborada con grava, arena y emulsión asfáltica.
	2	0.27	Grava y arena limosa color gris húmeda y compacta GM-SM.
	3	indef.	Arena arcillosa limosa color gris húmeda y medianamente compacta, SM-SC.
7+500 a 10+800	1	0.19	Carpeta asfáltica elaborada con grava, arena y emulsión asfáltica.
	2	0.19	Grava y arena limosa color gris húmeda y compacta GM-SM.
	3	0.26	Arena limosa con grava húmeda y compacta SM.
	4	indef	Arena arcillosa limosa color gris húmeda y medianamente compacta, SM-SC.

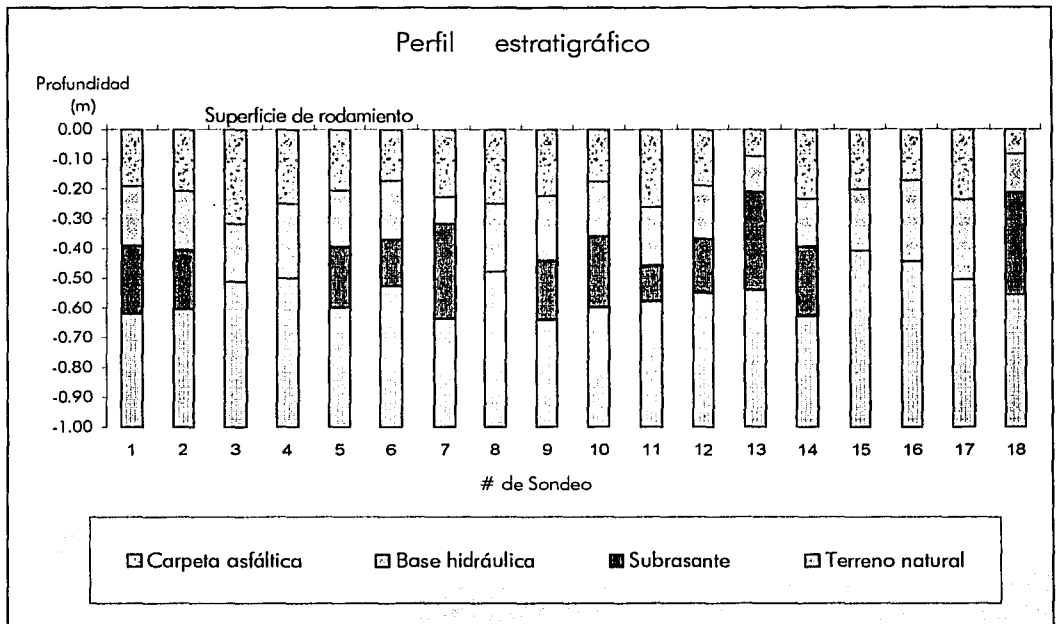


Figura 75.- Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento según el reporte de sondeos realizados.

Los valores promedio de las capas que presenta actualmente la estructura se presentan en la tabla 25.¹

Tabla 25
Espesores promedio de las capas que forman la estructura del pavimento existente.

Capa	Espesor (cm)	Nombre
1	21	Carpeta de concreto asfáltico
2	19	Base hidráulica
3	26	Capa subrasante
4	indef.	Terreno natural

De esta manera los datos de mayor importancia que arroja el estudio geotécnico son entre otros el hecho de que en algunos tramos de la vía no se cuenta con capa subrasante y los valores promedio de los espesores de las capas, así como los materiales que constituyen dichas capas según la clasificación de suelos de la SCT.

b. Trabajos de laboratorio

En el laboratorio se efectuaron las pruebas para las diferentes capas, que conforman la estructura actual del pavimento, incluido el terreno natural, en el cual los sondeos se efectuaron a profundidades comprendidas entre 35 y 66 cm. ¹

✓ Terreno natural

En algunos tramos que se indican en el perfil estratigráfico, se reporta que no se encontró capa subrasante. ¹

En la tabla 26 se anexan los resultados de las pruebas básicas que se realizaron al terreno natural, en las cuales se reportan las características físicas del material y el estudio de espesores. ¹

El material que constituye la capa de terreno natural cumple con las Normas de Calidad establecidas por la SCT para su empleo como superficie de desplante. ¹

✓ Subrasante

Para las calidades de la capa subrasante, se reporta que el material existente, cumple cabalmente con las normas de calidad establecidas por la SCT para ser empleado como material de subrasante, por lo que en la estructura del nuevo pavimento esta capa seguirá como subrasante. ¹

En la tabla 27 se anexan los resultados de las pruebas básicas que se realizaron a la capa subrasante. ¹

✓ Base hidráulica

Las muestras de material analizadas están formadas por suelos tipo SM-SC (arenas limosas, arenas arcillosas, mezclas de arena, limo y arcilla), y **NO** cumplen con las características de calidad que requiere la base hidráulica en lo relativo a VRS=81% (mínimo 100%) y equivalente de arena=23.7% (mínimo de 50%) e índice plástico=7% (mínimo 6%). ¹

Para que este material pueda utilizarse como base, se propone que una vez recortado a una profundidad de 20 cm, se le adicione cemento Portland en una proporción del 5% de su P.V.S.M. para estabilizado y reutilizarlo en la conformación de la nueva base estabilizada con un espesor de 20 cm y una compactación al 95% ó utilizarlo en forma natural como subbase. ¹

Tabla 26
Resumen de datos de los ensayos de laboratorio del Terreno natural

Número de sondeo	1	3	5	7	9	11	15	16	17	18	19
Ubicación	0 + 1 0 0	2 + 0 0 0	4 + 0 4 8	6 + 0 0 0	8 + 0 0 0	10 + 0 0 0	1 + 0 0 0	3 + 0 0 0	5 + 0 0 0	7 + 0 0 0	9 + 0 0 0
Numero de ensaye	1807	1809	1810	1797	1796	1798	1806	1805	1812	1801	1808
Profundidad (m)	1.05	0.82	1.07	1.10	1.11	1.07	0.94	1.08	0.81	1.01	1.17
Tamaño máximo (mm)	50	37	37	19	63	9.5	50	50	37	12.5	37
% que pasa la malla #4	73	86	98	99	96	94	84	88	90	91	89
% que pasa la malla #40	45	51	62	44	52	49	54	64	58	36	56
% que pasa la malla #200	28	35	36	55	44	45	30	24	32	55	33
Límite líquido (%)	22.7	24.1	33.5	37.4	25.3	35.5	17.3	25	25.7	35.1	36.7
Índice plástico (%)	3.3	6.5	12.2	8.4	8.1	9	3.8	inap.	6	5.7	10.2
Contracción lineal (%)	2.6	3.4	5.2	7.7	3.9	6.5	1.2	0	3.1	7.6	2.6
Clasificación S.U.C.S.	SM	SM-SC	SC	ML	SC	SC	SM	SM	SM-SC	ML-CL	SC
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m ³)	1370	1242	1020	1010	1125	1051	1434	1487	1178	1040	1030
Peso volumétrico seco máximo Porter (Kg/m ³)	1920	1700	1590	1490	1670	1570	1912	1690	1844	1540	1530
Humedad óptima Porter (%)	14	17.4	19.6	24.6	18.6	23.4	12.8	12.6	19.6	21.8	24.8
Valor relativo de soporte estándar (%)	38.7	26.8	19.8	12.9	13.5	4.6	46.3	65.5	24.8	6.6	29.1
% de Expansión	0.21	0.15	0.47	0.23	0.15	0.7	0.10	0.18	0.51	0.4	0.47
Humedad natural	16	21.1	28.8	38.3	21	25	20.3	16.6	18.8	20.6	20
% de Compactación	89	90	87	88	90	88	90	91	88	90	91
V.R.S. modificado	90%	5.6	12.4	20.5	6.9	5.3	2.3	4.6	7.2	10.2	2.3
	95%	31.1	30.0	43.3	15.2	10.5	8.9	30.1	21.8	28	4.9
	100%	46.4	56.1	82.1	28.9	20.7	15.7	48.9	39.7	52.4	8.6

Tabla 27
Resumen de datos de los ensayos de laboratorio de la Subrasante

Número de sondeo	1	5	7	9	11	15	14	19	
Ubicación	0+100	4+048	6+000	8+000	10+000	1+000	0+500	9+000	
Numero de ensaye	1841	1811	1844	1843	1845	1847	1804	1842	
Profundidad (m)	1.05	1.07	1.10	1.11	1.07	0.94	1.6	1.17	
Tamaño máximo (mm)	50	50	37	37	50	37	37	37	
% que pasa la malla #4	0	0	0	0	0	0	0	0	
% que pasa la malla #40	61	75	63	59	48	53	84	51	
% que pasa la malla #200	38	52	33	29	24	28	59	28	
% que pasa la malla #400	15	28	10	9	8	11	31	11	
Límite líquido (%)	22.9	25.3	19.5	19.5	21.1	22.4	22.6	20.2	
Índice plástico (%)	6.1	6.2	inap.	inap.	inap.	4.9	7.2	inap.	
Contracción lineal (%)	1.4	2.0	0	0	0	2.1	2.4	0	
Clasificación S.U.C.S.	SM-SC	SM-SC	SW-SM	SW-SM	GW-GM	SW-SM	SC	SW-SM	
Peso volumétrico seco suelto (Kg/m ³)	1551	1274	1604	1583	1657	1551	1253	1639	
Peso volumétrico seco máximo Porter (Kg/m ³)	2000	1930	1960	1940	1955	1978	1911	2014	
Humedad óptima Porter (%)	10.7	12.5	8.8	11.2	10.3	8.3	13.2	9	
Valor relativo de soporte estándar (%)	62.8	54.6	74.7	94.3	66.2	86.7	17.8	77.7	
% de expansión	0.11	0.10	0	0	0	0.10	0.10	0	
Humedad natural	8.4	14.8	8.2	9.7	9.1	10	21.2	10.0	
% de compactación	97	96	95	97	94	93	86	91	
V.R.S. modificado	90 %	12.9	28.7	15.2	4.6	4.6	21.8	26.8	26.1
	95 %	26.7	48.3	36.1	12.9	10.5	38	42	39.7
	100 %	66.5	94.7	60.6	24.1	19.1	76.4	80.6	80.1

✓ Carpeta asfáltica

El material de la carpeta asfáltica existente, se fresará en frío y no se utilizará en la reconstrucción del nuevo pavimento, por lo que se recomienda utilizarlo en la formación de terraplenes de los cuerpos centrales ó desperdiciarlo en su totalidad. ¹

c. Características del material de cimentación

Los materiales, que constituyen el terreno natural, la capa subrasante y la base hidráulica, presentan las características promedio que se enumeran en la tabla 28: ¹

Tabla 28
Características del material de las capas granulares

	Terreno natural	Capa subrasante	Base hidráulica
Tamaño máximo	5.0 cm	5.0 cm	5.0 cm
Grava %	9	36	43
Arena %	53	47	43
Finos %	38	17	14
V.R.S. estándar	27	62	81
% de expansión	0.3	0.05	0.0
V.R.S. al 90 % variante II	9	-	-
V.R.S. al 95 % variante II	-	31	-

El terreno natural sobre el que se desplanta el pavimento esta formada por arenas finas que contienen en promedio 38% de finos de mediana a alta plasticidad y han recibido la incrustación de arena y grava de los materiales de préstamo con que se construyó la capa subrasante, por lo cual presenta características físicas y mecánicas adecuadas como material de desplante. ¹

Por lo que se refiere al material para capa subrasante este también presenta características que lo clasifican como adecuado para formar esta capa. ¹

En cuanto al valor medio de V.R.S. obtenido de 81% de la base hidráulica, este la clasifica como material para camino de bajo volumen de tránsito. ¹

d. Análisis del espesor efectivo de la estructura actual

De acuerdo con los resultados de los sondeos, se procede a determinar los espesores efectivos. Para determinar estos espesores, el proyectista se basó en el método del Instituto del Asfalto de E.E. U.U.; el cual implica afectar los espesores promedio por un

coeficiente de deterioro. De esta manera, los espesores efectivos para fines de revisión de la estructura se muestran en la figura 76. ¹³

Espesor promedio (cm) (1)	Coefficiente de deterioro según el Instituto del asfalto de E.E.U.U. ¹³ (2)		Espesor efectivo para fines de revisión (cm) (1) X (2)
21	0.7	Carpeta	14.7
19	0.2	Base	3.8
		Capa subrasante	
$\Sigma = 40$			$\Sigma = 18.5$

Figura 76.- Espesores efectivos para fines de revisión de la nueva estructura.

Por lo anterior, se concluye que es necesario un refuerzo importante del orden de 21 cm, lo cual no es posible proporcionar con una sobrecarpeta, ya que el nivel de rasante del pavimento actual interactúa con instalaciones complementarias como guarniciones y banquetas, las cuales, de llevarse a cabo el refuerzo, quedarían superadas por el nuevo nivel de rasante, o bien deben elevarse, ocasionando problemas de acceso a las edificaciones, así como reducción de galibos de las estructuras.

Además de que otras calles y avenidas que rematan su nivel de rasante con la de este pavimento, también tendrían que ser modificadas para homologar el nuevo nivel de la superficie de rodamiento.

De esta manera se recomienda buscar otra opción que involucre modificar la estructura hacia abajo del nivel actual, ya que como vemos, tendría consecuencias negativas.

2. Recopilación de datos de tránsito

La Junta de Caminos del Estado de México, proporcionó los siguientes datos de tránsito que circulan por cada lateral del paseo Tollocan:

Tabla 29
Relación del tránsito diario promedio anual

T.D.P.A.	8,790 vehículos
50% tipo A	4,395 vehículos
38% tipo B	3,340 vehículos
12% tipo C	1,055 vehículos

3. El nivel de rechazo de las laterales del paseo Tollocan

De acuerdo con la AASHTO, la calidad de servicio o serviciabilidad de un pavimento es "su habilidad para proporcionar un servicio adecuado al tipo de tránsito (automóviles y camiones) que lo usan".⁵

Para determinar el nivel de servicio que proporciona la vía en la actualidad, se procedió a determinar los dos indicadores siguientes:

- a. Determinación del Índice de servicio actual -PSI- ("Present serviceability index")
- b. Determinación del Índice de servicio terminal p

a. Determinación del Índice de servicio actual -PSI- ("Present serviceability index")

Se procedió a la inspección visual por parte de 5 especialistas de pavimentos para determinar el índice de servicio actual de la vía de acuerdo con la tabla 30 y la figura 77 correspondientes a la escala PSI

Tabla 30
La escala PSI

PSI	Servicio del pavimento
4 - 5	Muy buena a excelente
3 - 4	Buena a muy buena
2 - 3	Mediocre a medio
1 - 2	Muy malo a mediocre
0 - 1	Intransitable a muy malo

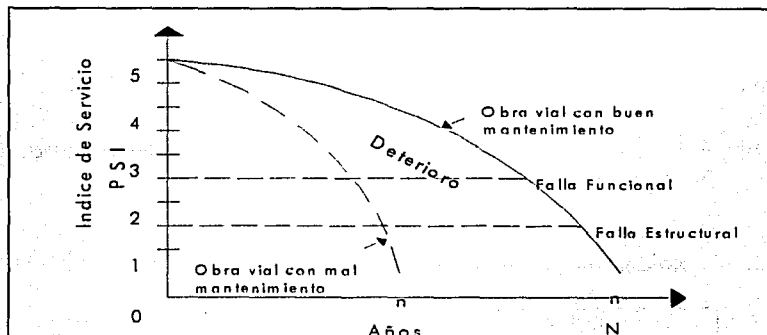


Figura 77.- La escala del PSI.

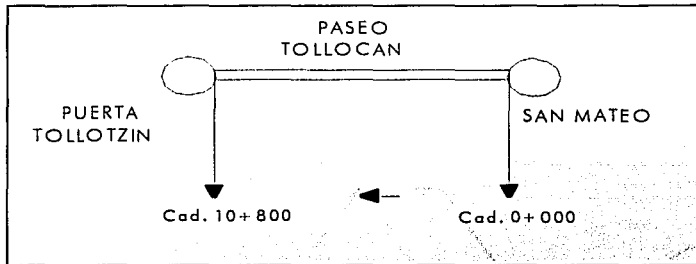


Figura 78.-Sentido del cadenamiento de referencia del paseo Tollocan.

Las figuras 79 y 80 muestran el resumen de la información obtenida por los 5 observadores que hicieron el recorrido del tramo para determinar el índice de servicio actual para cada lateral.

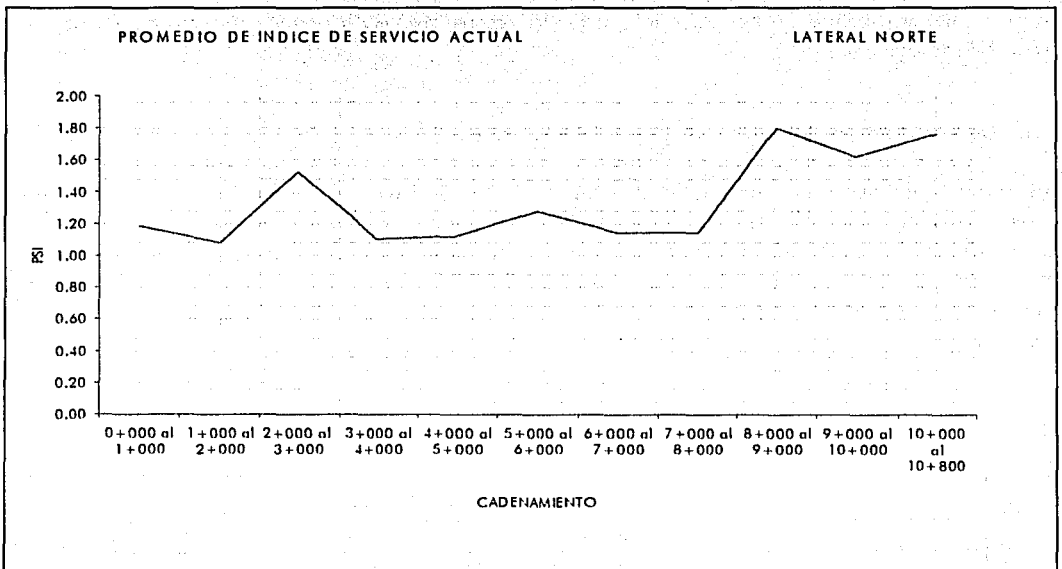


Figura 79.- El índice de servicio actual de la lateral Norte del paseo Tollocan antes de la rehabilitación.

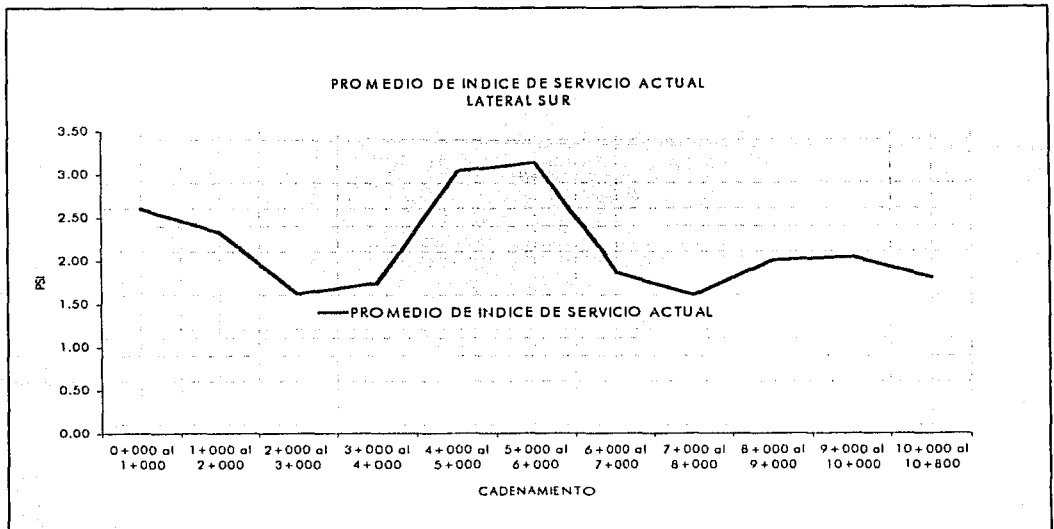


Figura 80.- El índice de servicio actual de la lateral Sur del paseo Tollocan antes de la rehabilitación.

b. Determinación del Índice de servicio terminal

El índice de servicio terminal (p_t) corresponde al nivel de servicio en el cual el pavimento requiere algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida. El valor del índice de servicio terminal está relacionado con la importancia de la carretera o elemento; en la tabla 31 se muestran los valores típicos recomendados para diferentes tipos de utilización, si bien el proyectista podrá adoptar el que considere más conveniente para cada caso particular.⁵

Tabla 31
Valores típicos para el índice de servicio terminal (p_t)

p_t	Clasificación
3.00	✓ Autopistas.
2.50	✓ Carreteras principales.
	✓ Arterias urbanas.
2.25	✓ Carreteras secundarias importantes.
	✓ Calles comerciales e industriales.
2.00	✓ Carreteras secundarias.
	✓ Calles residenciales y estacionamientos.

Análogamente, se procedió a la inspección visual por parte de 5 especialistas de pavimentos para elaborar un levantamiento de daños. Este análisis de deterioros de la vía significa un fundamento de apoyo para determinar el índice de servicio terminal de la vía de acuerdo con la tabla 31. En la tabla 32 se presenta la clasificación del grado de severidad de los daños.

Tabla 32
Valores típicos para el grado de severidad de los daños

Calificación	Grado de severidad
1	Muy ligera
2	Ligera
3	Moderada
4	Severa
5	Muy severa

Tabla 33
Levantamiento de daños para las dos laterales

Deterioro	Grado de severidad											Promedio
	0+000 al 1+000	1+000 al 2+000	2+000 al 3+000	3+000 al 4+000	4+000 al 5+000	5+000 al 6+000	6+000 al 7+000	7+000 al 8+000	8+000 al 9+000	9+000 al 10+000	10+000 al 10+800	
Pérdida de agregado grueso	2.30	2.80	3.30	2.00	3.00	2.50	2.30	2.00	2.30	1.90	2.00	2.40
Pérdida de agregado fino	3.20	2.70	2.40	2.10	2.00	2.30	3.20	2.50	2.70	1.90	2.00	2.45
Pulimento de agregados	2.40	2.50	2.60	2.40	3.10	2.70	3.30	2.60	2.30	2.40	2.20	2.59
Deformaciones transversales	2.20	2.20	2.30	2.20	2.20	2.40	2.90	2.80	2.40	2.20	2.00	2.35
Deformaciones longitudinales	2.40	2.30	2.40	2.40	2.00	2.30	2.60	2.50	2.30	2.20	2.00	2.31
Roderos	2.00	3.00	2.50	2.50	2.50	2.00	3.00	2.50	2.40	2.50	3.00	2.54
Agrietamientos longitudinales	3.00	2.10	2.50	2.70	2.50	2.00	2.50	2.60	2.10	1.80	1.60	2.31
Agrietamientos transversales	2.20	2.00	2.60	2.70	2.50	2.80	2.70	2.89	2.00	2.50	2.60	2.50
Agrietamientos piel de cocodrilo	2.40	2.50	2.40	2.50	2.30	2.50	2.80	2.90	2.50	2.70	2.60	2.55
Baches reparados	2.50	3.30	3.10	2.50	2.90	3.30	3.20	2.80	2.60	2.50	2.40	2.83
Baches sin reparar	2.80	3.10	2.60	2.80	3.00	3.00	2.20	2.70	2.70	2.10	2.00	2.64

Lateral Sur

Grado de severidad

2.50

Pérdida de agregado grueso	3.80	3.50	3.30	3.20	4.40	4.00	3.20	4.00	2.90	3.10	3.40	3.53
Pérdida de agregado fino	3.80	3.00	3.70	3.00	3.40	3.50	3.80	3.60	3.80	3.40	2.80	3.44
Calavereo	3.50	4.75	3.63	4.00	3.63	4.13	4.63	3.75	4.25	4.13	3.25	3.97
Superficie ondulada	3.80	3.50	3.00	3.50	5.00	4.50	3.50	4.50	3.50	3.50	4.00	3.85
Inestabilidad	4.00	4.00	3.50	3.00	3.50	4.50	5.00	4.50	4.00	3.00	3.00	3.82
Deformaciones transversales	3.90	3.70	3.70	3.60	3.60	4.10	4.60	2.90	3.30	4.00	3.60	3.73
Deformaciones longitudinales	3.10	2.90	3.50	3.90	3.90	3.20	3.80	3.80	3.70	4.20	4.40	3.67
Roderos	3.20	3.30	3.40	3.30	3.50	3.10	3.80	3.70	4.40	3.60	3.40	3.52
Agrietamientos longitudinales	3.50	3.00	3.60	3.30	3.50	3.40	3.50	3.70	4.10	3.60	3.00	3.47
Agrietamientos transversales	4.30	3.60	3.10	3.30	3.80	3.90	4.10	3.10	4.20	3.40	3.60	3.67
Agrietamientos de mapa	4.10	3.25	3.38	3.13	4.00	4.63	3.38	3.38	4.13	3.88	3.25	3.68
Agrietamientos piel de cocodrilo	3.80	3.30	3.00	3.30	4.30	4.10	3.30	3.90	3.40	3.40	3.60	3.58
Baches reparados	3.80	3.20	3.90	3.90	4.00	3.20	3.80	3.70	3.90	4.20	4.20	3.80
Baches sin reparar	3.50	3.80	3.70	3.70	3.00	3.00	4.40	4.70	3.70	4.00	3.60	3.74

Lateral Norte

Grado de severidad

3.684

4. Propuesta de rehabilitación con pavimento flexible

Debido a la magnitud del proyecto y al espesor de refuerzo requerido para rehabilitar el pavimento, la Junta de Caminos del Estado de México, solicitó a la empresa encargada del proyecto que tuviera a bien presentar dos propuestas para la rehabilitación del paseo, una a base de pavimento flexible y otra propuesta con pavimento rígido.

Para analizar detenidamente las dos propuestas, empezaremos por la propuesta de rehabilitación de la vía con pavimento flexible.

Es necesario mencionar que el método de diseño seleccionado para esta propuesta es el del Instituto de Ingeniería de la UNAM, el cual es un método mecanístico-empírico, para la estructuración de carreteras, en base a las teorías de distribución de esfuerzos en los suelos, con el cual se obtiene una estructura homogénea en todas sus capas. Las gráficas de proyecto del reporte 444 de dicho Instituto están con base al volumen de tránsito acumulado en la vida útil de la obra y un valor relativo de soporte de campo.²

Actualmente, el método está siendo revisado y se tiene conocimiento de que próximamente saldrá una nueva versión actualizada.

El método del Instituto de Ingeniería propone gráficas para diferentes niveles de confianza; la que aquí se presenta es la que corresponde al 90% (figura 81).²

El método del Instituto de Ingeniería requiere, para calcular la media y el coeficiente de variabilidad, de los valores relativos de soporte en cada una de las capas; con ello, se obtiene el VRS medio para luego obtener el VRS que será el de proyecto. El dato de tránsito es indispensable, utilizando los coeficientes de daño propuestos por el propio Instituto para cada tipo de vehículo y para diferentes profundidades. Estos factores aparecen en las columnas 4 y 5 de las tablas 34 y 35, y corresponden a los pesos de los vehículos aprobados para 1994 en México. La tabla muestra el cálculo para obtener el tránsito acumulado.²

Esta suma de ejes equivalentes, multiplicada por el factor "C" de crecimiento a futuro, proporciona el tránsito equivalente acumulado en el horizonte de proyecto.²

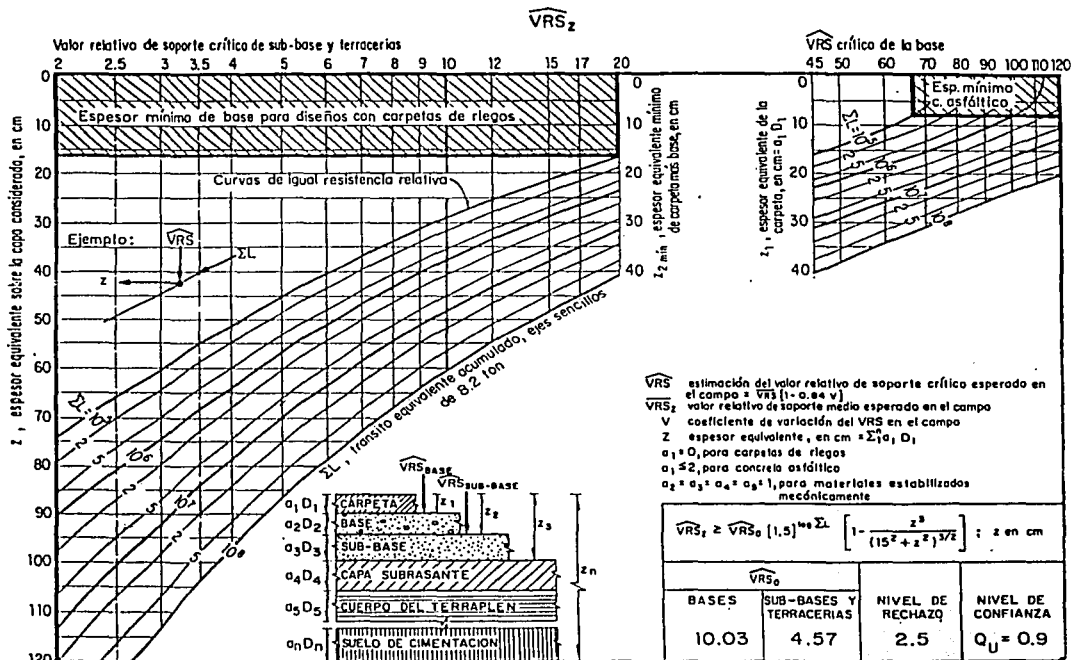


Figura 81.- Gráfica de proyecto del reporte 444 del Instituto de Ingeniería. Gráfica correspondiente a un nivel de confianza del 90%.¹²

a. Parámetros de diseño

El V.R.S. que se usó para revisar el espesor de pavimento que requiere colocarse sobre el terreno natural y la superficie de la capa subrasante, se obtuvo de los resultados reportados de la prueba Porter. Para el terreno natural se consideró el 80 percentil de los valores obtenidos, que resultó de 4.0%. De acuerdo al criterio de diseño del Instituto de Ingeniería, el valor máximo para la capa subrasante que considera es de 20% (se puede apreciar el límite en la gráfica de la figura 81), por lo que se usará este valor en lugar del valor medio de 3.1%.¹

- ✓ De esta manera, los valores de V.R.S que se utilizarán para determinar los nuevos espesores de la estructura son los siguientes:

	V.R.S. (diseño) (%)
Carpeta	
Base	80
Capa subrasante	20
	4

Figura 82.- Valores de V.R.S para determinar los nuevos espesores de la estructura.

- ✓ Condiciones de mantenimiento: Normales
- ✓ Nivel de confianza: $Q = 0.90$

Para V.R.S. de 4.0% y suma de ejes equivalentes a 8.2 ton a 1.00 m de profundidad de 38.7×10^6 (según el resultado de la columna 6 de la tabla 34), el índice de espesor que requiere el material es de 90 cm.¹

NOTA: El espesor de 90 cm se requiere a partir de la capa de terreno natural. (figura 83)

90 cm (a partir del terreno natural)	Carpeta
	Base
	Capa subrasante
indefinido.	

Figura 83.- Espesor requerido a partir del terreno natural según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.

Es claro observar la magnitud del espesor de refuerzo requerido a partir del terreno natural por el pavimento para soportar el tránsito estimado en el horizonte de proyecto, el cual es de 90 cm, cuando solo se cuenta en la estructura con 66.00 cm en total; de los cuales 26 cm son de la capa subrasante, 19.00 cm de la base y 21.00 cm de la carpeta asfáltica. Por lo tanto, se vuelve a puntualizar en el hecho de que esta rehabilitación provocaría reacondicionar todos los niveles de instalaciones y vialidades que interactúan con las laterales del paseo Tollocan.

Volviendo a la secuencia de diseño, para V.R.S. de 20%, y suma de ejes equivalentes a 8.2 Ton a 60 cm de profundidad de 35.6×10^6 (según el resultado de la columna 7 de la tabla 35) resulta un índice de espesor de pavimento de 37 cm.¹

NOTA: El espesor de 37 cm se requiere a partir de la capa de subrasante. (figura 84)

37 cm (a partir de la subrasante)	Carpeta
	Base
	Capa subrasante

Figura 84.- Espesor requerido a partir de la subrasante según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.

Para determinar el espesor de la carpeta de concreto asfáltico se uso un V.R.S. de 80% y suma de ejes equivalentes a 8.2 ton de 26.3×10^6 (según el resultado de la columna 6 de la tabla 35) obteniéndose un espesor de $23.5 \text{ cm}/2 = 11.75 \text{ cm}$.¹

NOTA: El espesor que se requiere para la carpeta es de $23.5 \text{ cm}/2 = 11.75 \text{ cm}$. (figura 85)

$23.5 \text{ cm}/2 = 11.75 \text{ cm}$	Carpeta
	Base
	Capa subrasante

Figura 85.- Espesor requerido para la carpeta asfáltica según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.

Tabla 34
Determinación del ESAL (Equivalent single axle load)
Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton a una profundidad de 1.00 m. ¹

Tipo de vehículo	Composición del tránsito (1)	Coeficiente de distribución de vehículos cargados o vacíos (2)		Composición del tránsito cargado o vacío (3) 3 = 1 x 2	Coeficientes de daño Subbase y terracerías Z= 1.00 (5)	Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton
		Cargados	Vacíos			Subbase y terracerías Z= 1.00 (7) 7 = (3) x (5)
A - A2	0.498	Cargados	1	0.498	0	0
		Vacíos				
B2	0.38	Cargados	1	0.38	3.2	1.216
		Vacíos				
C2	0.08	Cargados	1	0.08	3.2	0.256
		Vacíos				
C3	0.016	Cargados	1	0.016	3.2	0.0512
		Vacíos				
T3-S2	0.006	Cargados	1	0.006	6.3	0.0378
		Vacíos				
T3-S3	0.01	Cargados	1	0.01	6.3	0.063
		Vacíos				
T3-S1-R2	0.01	Cargados	1	0.01	12.5	0.125
		Vacíos				
SUMAS	1.00			1.00	Ejes equivalentes para tránsito unitario (8)	1.749000
					TPDA inicial en el carril de proyecto (9)	5,274.00
Coef. de acumulación del tránsito					Ct (10)	4,200.00
$Ct = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] (365)$						
n= Años de servicio = 10					L (11) = (8) x (9) x (10)	38,741,749
T= Tasa de crecimiento anual de tránsito = 3.0 %						
CD. Carril de proyecto = 0.6						
TDDPA (tránsito diario promedio anual) = 8,790						

Tabla 35
Determinación del ESAL (Equivalent single axle load)
Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton a una profundidad de 0.60 m. ¹

Tipo de vehículo	Composición del tránsito (1)	Coeficiente de distribución de vehículos cargados o vacíos (2)		Composición del tránsito cargado o vacío (3) 3 = 1 x 2	Coeficientes de daño		Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton	
					Carpeta y base Z = 0.00 (4)	Subbase y terracerías Z = 0.60 (5)	Carpeta y base Z = 0.00 (6) 6 = 3 x 4	Subbase y terracerías Z = 0.60 (7) 7 = (3) x (5)
A	0.398	Cargados	1	0.398	0.004	0	0.001592	0.000000
		Vacíos						
A2	0.1	Cargados	1	0.1	0.536	0.015	0.0536	0.001500
		Vacíos						
B2	0.38	Cargados	1	0.38	2	2.939	0.76	1.116820
		Vacíos						
C2	0.08	Cargados	1	0.08	2	2.939	0.16	0.235120
		Vacíos						
C3	0.016	Cargados	1	0.016	3	2.94	0.048	0.047040
		Vacíos						
T3-S2	0.006	Cargados	1	0.006	5	5.761	0.03	0.034566
		Vacíos						
T3-S3	0.01	Cargados	1	0.01	6	5.758	0.06	0.057580
		Vacíos						
T3-S1-R2	0.01	Cargados	1	0.01	7.44	11.4	0.0744	0.114000
		Vacíos						
SUMAS	1.00			1.00	Ejes equivalentes para tránsito unitario (8)		1.187592	1.606626
Coef. de acumulación del tránsito					TPDA inicial en el carril de proyecto (9)		5,274.00	5,274.00
$C_t = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] (365)$					Ct (10)		4,200.00	4,200.00
n = Años de servicio = 10					L (11) = (8) x (9) x (10)		26,306,113	35,588,051
T = Tasa de crecimiento anual de tránsito = 3.0 %								
CD. Carril de proyecto = 0.6								
TDPA (tránsito diario promedio anual = 8,790								

b. Espesores requeridos para la nueva estructura

Por los valores obtenidos anteriormente, se obtiene la estructura mostrada en la figura 86.

Espesor (cm)	
23.5 cm/2=11.75 cm	Carpeta
13.50 cm	Base
53	Capa subrasante
Σ = 90	

Figura 86.- Estructura requerida.

Sin embargo, las características climatológicas y económicas de la zona, los requerimientos de mantenimiento, así como al tránsito en el horizonte de proyecto, se propone modificar la estructura como se indica en la figura 87, la cual cumple con los requisitos de 90 cm de espesor a partir del terreno natural, 37 cm de espesor a partir de la subrasante y 23.5 cm/2 = 11.75 cm de espesor para la carpeta asfáltica.¹

3 cm	Carpeta de textura abierta (Open graded)	Mezclada en planta y colocada en caliente, compactada al 95% de su PVSM
9 cm	Carpeta de concreto asfáltico	
30 cm	Base hidráulica	Compactada al 95% de su PVSM
36.5 cm	Capa subrasante	Compactada por capas de 15 cm al 95% de su PVSM
66 cm		Se afinará la superficie existente y se recompactará al 90% de su PVSM

Figura 87.- Estructura propuesta para la carpeta de concreto asfáltico (pavimento flexible).

Es pertinente mencionar que esta estructura requerirá como mantenimiento normal, la reposición de la carpeta superficial en un periodo comprendido entre 3 y 5 años; y una rehabilitación de la carpeta entre 8 y 10 años.

5. Propuesta de reconstrucción con pavimento rígido.

Esta propuesta, por ser motivo fundamental de la tesis, la analizaremos detalladamente en los siguientes incisos del capítulo 2 y 3, así como también comentaremos las ventajas que proporciona el pavimento rígido en comparación con el flexible, y en especial para las condiciones particulares del paseo Tollocan; ventajas que convencieron a los responsables de la Junta de Caminos del Estado de México a optar por la propuesta de referencia como la mejor decisión.

De esta manera en los incisos siguientes del capítulo 2, mencionaremos temas como el método de diseño utilizado para determinar la estructura y el espesor del pavimento de concreto hidráulico premezclado, las ventajas que proporciona este tipo de pavimento para los problemas específicos del paseo Tollocan, así como los costos que involucra la construcción y mantenimiento de una obra de este tipo.

En el capítulo 3 se desarrollarán los temas relacionados con la construcción propia del pavimento.

6. Inventario general de las obras de drenaje, así como de las instalaciones que interactúan con el pavimento.

Por tratarse de una zona urbana, el drenaje de la lateral Sur, que desaloja el agua de lluvia que cae directamente sobre la superficie de rodamiento, se resuelve por medio de una pendiente transversal de la sección, del 1.0%, que conduce el agua hacia un canal que corre paralelo a la calle.¹

Actualmente se presentan encharcamientos, que se deben a baches y pequeños asentamientos que se localizan a lo largo del tramo y una zona de inundación localizada entre el Km. 10+120 y el Km. 10+520.¹

No se detectan obras de subdrenaje, pero está previsto en la remodelación diseñar en la zona de inundación, una estructura del pavimento con una capa rompedora de capilaridad, que libere el agua en la cimentación que pueda afectar la estructura del pavimento en este tramo.¹

Como información complementaria, se menciona que al lado izquierdo de la lateral pasa una línea subterránea de drenaje, que desaloja las aguas negras de la zona urbana, las tapas metálicas de los pozos de visita se localizan a 1.70 m. de la guarnición izquierda y aproximadamente a 100.00 m de distancia entre tapas.¹

La lateral Norte, que se encuentra ubicada en una zona industrial, presenta serios encharcamientos debido a los bados que forman las deformaciones transversales y longitudinales, así como los numerosos baches sin reparar del pavimento.

No se detectan obras de subdrenaje, ya que las industrias ubicadas a todo lo largo de esta lateral, tienen conexiones particulares al colector.

7. Elaboración de los proyectos de las obras de drenaje.

Básicamente, el proyecto para la solución del drenaje superficial consiste en proporcionar a la sección una pendiente transversal del 1.0%, para desalojar el agua de lluvia que cae sobre la superficie de rodamiento y conducirla por medio de alcantarillas hacia el sistema de drenaje general de la vía, cuyo proyecto está a cargo de otra empresa, que resolverá el drenaje, pluvial de todo el paseo Tolloccan. ¹

8. Levantamiento topográfico.

Para la obtención de los datos que permitan conocer las condiciones geométricas del camino, se procedió de la forma siguiente:

- ✓ Se llevaron a cabo reconocimientos del tramo en estudio, para conocer las condiciones geométricas del camino, con respecto a los alineamientos vertical y horizontal, las condiciones de la sección transversal, los detalles que deban considerarse en el proyecto y drenaje existente. ¹
- ✓ Se efectuaron reuniones periódicas con las empresas participantes en el estudio y proyecto para la reconstrucción y ampliación del paseo Tolloccan, coordinadas por personal de la Junta de Caminos del Estado de México y personal designado por el Gobierno del Estado de México con la finalidad de normar los criterios de trabajo, de apoyarse en los mismos datos para la ejecución de los estudios y de establecer las ligas de trazos y chequeo de las nivelaciones con bancos de nivel comunes. ¹
- ✓ Con base en los reconocimientos físicos del camino y de la información proporcionada a través de las reuniones descritas, se ejecutaron los trabajos de topografía que consistieron en:
 1. Levantamiento topográfico del pavimento actual.
 2. Nivelación.
 3. Secciones de construcción.
 4. Levantamiento de detalles tales como posiciones de registros de drenaje telefónica o alta tensión, ubicación de bocas de tormenta, puntos obligados como niveles de rasante de las intersecciones o guarniciones y banquetas.

9. Conclusiones

De acuerdo con los estudios realizados para definir el *índice de servicio actual*, se determinaron las siguientes calificaciones, que son en promedio de 2.16 para la lateral Sur y de 1.34 para la lateral Norte, lo cual corresponde a una calificación de mediocre y malo respectivamente. ¹

Con respecto a los datos obtenidos en el recorrido para determinar la calificación del grado de severidad de los daños, se determinó que corresponde a una valor de 2.5 (ligera a moderada) para la lateral Sur y de 3.68 (moderada a severa) para la lateral Norte; por lo tanto se considera que el índice de servicio terminal p_i corresponde a un valor de 2, cuando este debería ser 2.5 a 2.8 como mínimo. ¹

Por lo anterior se recomienda la reconstrucción de la vía, la cual deberá cumplir con un valor comprendido entre 4.5 y 5 para el índice de servicio actual; ya que con esta calidad se asegura cumplir con el ciclo de vida en el horizonte de proyecto. ¹

Es preciso mencionar el hecho de que el estricto control de calidad a través del desarrollo de la obra será fundamental para alcanzar las condiciones iniciales de servicio mencionadas.

Tomando en consideración, el tiempo que tiene en operación la vialidad, que se puso en servicio en el año de 1973, las tasas de incremento anual en el tránsito, que pueden considerarse en promedio en un 3%, el estado actual del deterioro, así como la estructura actual del pavimento, se concluye que es necesario que se reconstruya la estructura del pavimento, para elevar el Índice de servicio actual. ¹

El estudio de los espesores del pavimento, indican que la capa subrasante no tiene un espesor uniforme y que existen tramos que no tienen esta capa, y además se denotan ondulaciones en la base y la carpeta en el sentido longitudinal; la reconstrucción del pavimento le dará la uniformidad al espesor de las capas y se diseñará para una vida útil de 20 años, para las condiciones del tránsito en el horizonte de proyecto. De acuerdo al análisis de ésta información, se concluye que la reconstrucción está justificada, sobre todo por la importancia de la vía en aspectos del tránsito, de las repercusiones de índole político y de carácter socioeconómico, por el número de usuarios y las mercancías que por ahí se transportan, debido a que es la vía de comunicación con la capital de la República Mexicana además de que la ciudad de Toluca es una ciudad muy importante en la actualidad y sus residentes requieren de una infraestructura propia para sus actividades. ¹

Las conclusiones de los estudios de laboratorio, indican que, la capa subrasante cumple con las normas de calidad y por lo tanto no se requiere modificarla, en cuanto a la base, los estudios de laboratorio reportan que NO cumple con las Normas de Calidad de la SCT en lo relativo al V.R.S. por lo tanto el proyecto considera el tratamiento del material existente para su rehabilitación. ¹

2.2 Las ventajas de utilizar el pavimento de concreto hidráulico premezclado como solución a los problemas existentes.

En México, este tema ya ha sido analizado para distintas vías que en su momento han necesitado de una profunda rehabilitación, y que análogamente han presentado dos ó más opciones para su solución.

Las ventajas que proporcionaría rehabilitar la vía con pavimento de concreto hidráulico pueden ser muy importantes, sobre todo en el aspecto económico.

A continuación se transcriben segmentos de artículos y ponencias de especialistas en vías terrestres en nuestro país, los cuales nos dan una panorámica general en cuanto a las ventajas de utilizar el pavimento de concreto hidráulico. Las ventajas que ha continuación se presentan son derivadas de la experiencia particular de sus autores a través de los años.

El Ing. Humberto Romero y Navarro menciona en su artículo "El concreto sustituye con ventaja a los pavimentos de asfalto": ¹⁴

"En la ciudad de México cada día se intensifica más la construcción de pavimentos de concreto hidráulico, principalmente en calles y avenidas. Esto se debe a que este material es el más indicado para tales usos, por las razones que expongo a continuación: ¹⁴

✓ Larga duración.- Se ha comprobado que los pavimentos de concreto hidráulico tienen una duración de por lo menos 20 años. En Estados Unidos e Inglaterra, se presentan casos, cuya construcción data de setenta a cien años y aún se hallan en excelente estado exentos de gastos de mantenimiento. Por ejemplo los pavimentos de concreto hidráulico son resistentes al derrame de combustible y aceite de los vehículos, que tanto afecta a los pavimentos flexibles. Otra causa es que no se encuentran sujetos a deformaciones continuas durante su uso, como el caso del material asfáltico. En los pavimentos flexibles, los arrugamientos, tanto transversales como longitudinales se deben a la presión ejercida por las ruedas de los vehículos. Los pavimentos de concreto ofrecen mejor resistencia a las presiones de arranque, frenado y circulación producidas por el tránsito. ¹⁴

✓ Mantenimiento mínimo.- Los pavimentos de concreto requieren de un mantenimiento mínimo, que consiste en el oportuno calafateo (sellado) de grietas que llegaran a aparecer y a la reposición del material bituminoso en aquellas juntas de expansión ó construcción que, por algún motivo lo han perdido. En cambio, los

pavimentos asfálticos requieren de riegos de sello, por lo menos cada tres años. Necesitan un continuo y cuidadoso "bacheo", o sea reposición de la carpeta en las zonas, que por razón natural se ha deteriorado. Se calcula empíricamente que cada año hay que reponer no menos del 10 % de la superficie pavimentada con materiales asfálticos y que en un periodo que varía del sexto al décimo año habrá que agregar otra capa de carpeta y reconstruir la base de aquellas zonas que presenten mayores daños. ¹⁴

Para los organismos municipales, estatales o federales y también para los efectos que resiente el público resulta más sencillo efectuar reparaciones en pavimentos de concreto hidráulico que en los asfálticos. En el caso del concreto bastará con disponer de cemento, agregados y una pequeña revolvedora para alguna zona dañada por sustitución o nueva instalación de tuberías. En cambio, para reparar un pavimento de asfalto se requiere tener en el lugar un equipo de bacheo y uno de compactación. En el sitio donde se elabora la mezcla se necesita una petrolizadora y una motoconformadora, equipos que no todos disponen en forma fácil, económica y oportuna. Además de que se requiere de una planta de asfalto que no siempre está a la mano. ¹⁴

✓ No hay consumo de energéticos.- Este argumento en favor de los pavimentos de concreto no ha sido -que sepamos- utilizado hasta la fecha. Sin embargo, en la actualidad hay que tomarlo en cuenta, los pavimentos que utilizan como materia prima el asfalto, presuponen un alto consumo de este material y de solvente que seguramente tendrían una mejor aplicación en otras ramas industriales. El concreto por lo contrario, al tener como primordial aglutinante el "cemento", fabricado con calizas, arcillas y otros elementos abundantes en la naturaleza no ocasiona con su creciente empleo ningún efecto negativo para el futuro de la raza humana. ¹⁴

✓ Pavimentos de menor espesor.- Los pavimentos de concreto hidráulico -debido a las cualidades del material- requieren de menor espesor, para asegurar que las terracerías queden en condiciones de recibir las cargas a que estarán sujetas por efectos del tránsito. ¹⁴

Algunos problemas de los pavimentos flexibles o asfálticos que no presentan los pavimentos rígidos. ¹⁵

✓ El problema de los baches.- Los primeros síntomas de molestia al manejar empiezan en las temporadas de lluvias, en esta temporada son casi frecuentes los baches que ocasionan accidentes y congestionamientos. Un bache además de ser molesto, paulatinamente puede ir dañando nuestro vehículo. ¹⁵

Cuando los baches se rellenan con mezclas asfálticas frías, es muy fácil que a los pocos días se destapen (debido a los malos materiales y mala técnica). Desafortunadamente, las buenas reparaciones deben ser con mezcla asfáltica en caliente producida por una planta de concreto asfáltico y en este caso el volumen de bacheo debe ser alto para evitar los desperdicios y bajos rendimientos.¹⁵

✓ El problema de la limpieza.- Existen varias razones para determinar que el pavimento de concreto asfáltico no es limpio. Por ejemplo, es muy común que a una temperatura de entre 10 y 38° c, el pavimento presente lo que se conoce como llorado del pavimento. Este fenómeno no es otra cosa mas que la ascensión del asfalto a la superficie, debido al exceso de asfalto en la mezcla y a los efectos combinados de carga vehicular y temperatura.¹⁵

Como se sabe, el asfalto con el que se prepara el concreto asfáltico así como las emulsiones empleadas en la pavimentación, son derivados del petróleo, y por lo tanto contienen ingredientes volátiles. Para procesar estas emulsiones son necesarias altas temperaturas, y por lo tanto, un gran consumo de energía.¹⁵

✓ El problema de la seguridad.- Uno de los problemas más graves de los pavimentos flexibles, es su susceptibilidad a deformarse bajo grandes cargas y a velocidades bajas de circulación.¹⁵

Por ejemplo, en las cuestas (parte ascendente de las curvas verticales) o en las zonas inmediatas a éstas, donde el vehículo no desarrolla velocidad, así como en las curvas horizontales donde el vehículo disminuye su velocidad para poder circular. En estas zonas, se puede observar que las llantas de los vehículos forman depresiones en la superficie del pavimento, en el caso de las curvas horizontales, el peso del vehículo por medio de las llantas, deforma el pavimento hacia afuera de la curva (efecto de las fuerzas centrífugas) produciendo deformaciones o acanalamientos como si el asfalto se barrera hacia fuera de la curva.¹⁵

Algunos de los accidentes que se producen en las zonas deformadas son originadas por el acuaplano o el derrapamiento. El acuaplano se produce cuando las llantas establecen contacto primero con el agua que con el pavimento, y se puede producir en curvas horizontales como en rectas en donde el pavimento esté lo suficientemente deformado para que se creen charcos de agua. El derrapamiento se puede producir cuando existe en la superficie del pavimento algún líquido (por lo general es agua de lluvia), o incluso tierra; el pavimento puede o no estar deformado, pero si existe alguno de estos elementos en la superficie cuando el vehículo frene, acelere o gire, se presentará el fenómeno citado.¹⁵

✓ El problema de la durabilidad.- Estructuralmente los pavimentos flexibles se conocen como sistemas multicapa, por estar integrados por varias capas de diversos materiales. Cada capa cumple una función específica y todas ellas en conjunto deben cumplir con el objetivo de soportar las cargas del tránsito y proteger, al mismo tiempo, la subrasante o terreno natural. Quizá la vulnerabilidad de los pavimentos flexibles reside en que si alguna de estas capas falla, esto repercute en el comportamiento de toda la estructura. Así tenemos que una falla estructural en la subbase, con el paso del tiempo se convertirá en una falla funcional que se refleje directamente en la superficie.¹⁵

Algunas ventajas de un pavimento de concreto hidráulico con respecto a un pavimento de concreto asfáltico.¹⁵

✓ Costos totales inferiores.- Hay que considerar que los costos iniciales de construcción son moderadamente más altos cuando los diseños son equivalentes, pero los costos de mantenimiento son mucho menores durante la vida útil del pavimento, además el pavimento de concreto tiene una vida útil más larga que la del pavimento asfáltico.¹⁵

✓ Tecnología de punta.- Ahora es más fácil construir pavimentos de concreto debido a que se cuenta con la tecnología, los especialistas y la infraestructura requerida para obras de este tipo, además ya existen plantas de concreto premezclado en casi toda la república mexicana, así como equipos básicos para construir los pavimentos.¹⁵

✓ Reducción de costos de operación.- La superficie del concreto no afecta severamente a los vehículos, de esta manera se reducen los costos de mantenimiento.¹⁵

✓ Durabilidad.- Las superficies de concreto duran más y resisten los derrames de gasolina, diesel y aceite de los vehículos, así como también presenta mayor resistencia a los efectos del intemperismo. El calor tampoco lo afecta, no se vuelve pegajoso ni sus ingredientes se volatilizan (no contaminan).¹⁵

✓ Capacidad estructural.- El pavimento de concreto resiste mejor las cargas transmitidas por vehículos pesados y protege mejor el terreno de apoyo. Tampoco se deforma en zonas de frenado y arranque de vehículos pesados. También el concreto gana resistencia con el paso del tiempo.¹⁵

-
- ✓ Buen drenaje.- Las superficies de concreto proporcionan un buen drenaje superficial para el agua de lluvia al no deformarse ni encharcarse, de esta manera hay menos posibilidades que se presente el fenómeno de acuaplaneo. Cabe mencionar que el bombeo requerido para expulsar el agua es menor, por lo que brinda mayor comodidad al usuario. ¹⁵
 - ✓ Obras preliminares mínimas.- No se requieren grandes trabajos de excavación para construir las losa de concreto. Generalmente para apoyar el pavimento de concreto se utiliza la superficie existente, inclusive una puede ser una carpeta de asfalto sin importar que tenga deformaciones. ¹⁵
 - ✓ Ahorro de energía eléctrica.- La superficie de concreto es altamente reflejante y ahorra energía en iluminación nocturna. ¹⁵
 - ✓ Obras rápidas.- Con concreto hidráulico se pueden alcanzar muy altas resistencias en cuestión de horas, de esta manera se puede disponer de los tramos de colado en poco tiempo. ¹⁵
 - ✓ Seguridad.- La superficie del concreto hidráulico se pueden hacer tan segura (antiderrapante) como se desee, debido a las variadas técnicas de texturizado. También se tiene que los elementos como: pinturas, señalamientos, marcas, etc, duran más en superficies de concreto hidráulico. ¹⁵

2.3 El método de diseño para pavimentos de concreto

El rendimiento de una estructura de pavimento está relacionado directamente con las propiedades físicas y la condición de los suelos que existan en el camino. Los procedimientos de diseño se basan en la suposición de que la mayor parte de los suelos pueden representarse adecuadamente para propósitos del diseño de pavimento, mediante un valor S de módulo de resiliencia, para pavimentos flexibles, o un módulo de reacción de subrasante k para pavimentos rígidos. Sin embargo, ciertos suelos, como los excesivamente expansivos, resilientes, susceptibles a la congelación o altamente orgánicos, requieren que se sigan los pasos adicionales para proporcionar el adecuado rendimiento del pavimento. Otro factor relacionado con el suelo, es la adicional densificación de suelos por el tránsito, cuando no se han compactado durante la construcción.⁶

Los métodos actuales de diseño de pavimentos rígidos se inclinan hacia el concepto mecanístico-empírico, que comprende la aplicación de modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales. Los esquemas de predicción de comportamiento son posteriormente calibrados sobre la base de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos en servicio.⁵

Los métodos de diseño han simplificado notablemente los procedimientos de aplicación y presentan al usuario tablas, nomogramas y elementos de cálculo relativamente sencillos, además de programas de computadora mediante los cuales se pueden efectuar rápidamente estudios de alternativas y análisis de sensibilidad, incluyendo sus costos, lo cual permite obtener un panorama completo del problema que proporciona la información necesaria para la toma correcta de decisiones.⁵

Existen diferentes métodos para el diseño de los pavimentos rígidos, tales como el de la AASHTO (American Association of State of Highway and Transportation Officials), o el de la PCA (Portland Cement Association). Para nuestro caso particular, utilizaremos el segundo.

Método de la PCA (Portland Cement Association)

El método de diseño de la PCA esta basado en la teoría de pavimentos, en el análisis del comportamiento de estructuras en funcionamiento y en tramos experimentales según las siguientes fuentes:¹⁰

- ✓ Estudios teóricos.- Los de Westergaard, Pickett y Ray y más recientes, los desarrollos de análisis por elementos finitos de Tayabji y Colley.¹⁰
- ✓ Modelos a escala.- Como el ensayo de Arlington, más algunos desarrollados por la PCA y otras entidades para estudiar las subbases, las juntas y los acotamientos de un pavimento de concreto.¹⁰
- ✓ Ensayos viales.- En los cuales se controlan los parámetros que influyen en el comportamiento del pavimento como el Bates Road Test y el AASHO además de los estudios sobre pavimentos en funcionamiento.¹⁰
- ✓ Observaciones diversas.- Realizado sobre pavimentos en funcionamiento sujetos a tránsitos normales.¹⁰

Los problemas de diseño se pueden resolver a partir de ecuaciones, por medio de programas de computadora disponibles en la PCA o de manera manual por medio de tablas y gráficos de fácil manejo.¹⁰

Los procedimientos de diseño que brinda la PCA, incluyen condiciones que nunca antes habían sido cubiertas por algún método, por ejemplo:¹⁰

- ✓ El grado de transferencia de cargas según el pavimento considerado (de refuerzo continuo, juntas con pasajuntas o sin refuerzo, por medio de trabazón de agregados).¹⁰
- ✓ El efecto de usar acotamientos de concreto, ligados al pavimento, los cuales reducen los esfuerzos de flexión y deflexiones producidos por las cargas de los vehículos.¹⁰
- ✓ El efecto de usar una subbase de concreto pobre (relleno fluido), la cual reduce los esfuerzos y deflexiones proporciona un soporte considerable cuando los vehículos pesados pasan por las juntas, y además suministra resistencia a la erosión que se produce en la subbase a causa de las deflexiones repetidas del pavimento.¹⁰

- ✓ Dos criterios de diseño:

a) Fatiga.

Para mantener los esfuerzos del pavimento producidos por la acción repetida de las cargas, dentro de límites de seguridad, y con ello prevenir la fatiga por agrietamiento.¹⁰

La acumulación de daños por fatiga puede expresarse como la sumatoria de las relaciones de daños, definidos éstos como la relación entre el número de repeticiones de cargas pronosticadas y el número de repeticiones de carga admisibles. En el método PCA, en lugar de considerar para el análisis la deformación unitaria a la tensión, se relaciona el número de cargas admisible con la relación entre el esfuerzo a la flexión y el módulo de ruptura. En el caso de pavimentos rígidos sin refuerzo, con juntas transversales de contracción, la fatiga del concreto puede producir agrietamientos transversales y longitudinales en las losas; los primeros se inician en las orillas de las losas aproximadamente a la mitad de la distancia entre las juntas transversales, en tanto que los segundos se inician en las juntas transversales coincidiendo con la trayectoria de las ruedas, con marcada tendencia a coincidir con la trayectoria más cercana al eje longitudinal de la losa, de manera que puede considerarse que los agrietamientos transversales son producto de la aplicación de cargas entre juntas transversales; y los agrietamientos longitudinales son producto de la aplicación de cargas próximas a las juntas transversales, que son los sitios en que se producen los mayores esfuerzos críticos. De esta forma, cuando se integran a las losas un acotamiento y se suministran pasajuntas en las juntas transversales, se reduce considerablemente la magnitud de dichos esfuerzos críticos.⁵

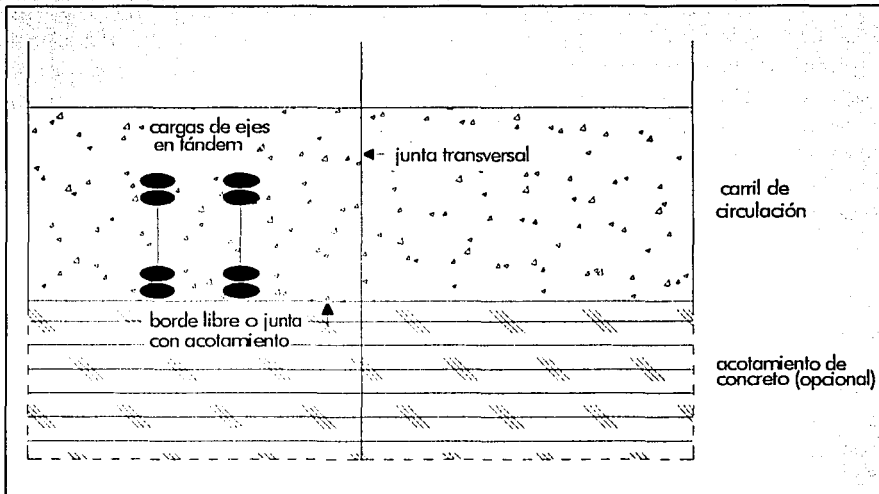


Figura 88.- Posición de las cargas para análisis por fatiga.

En general el análisis por fatiga está basado en los esfuerzos desarrollados en el borde de la losa, a la mitad de la distancia entre dos juntas transversales (figura 88); las que se encuentran tan alejadas de ese punto que prácticamente no producen efectos adicionales. Por lo tanto la ecuación de daño por fatiga toma la siguiente forma:⁵

$$D_r = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i}$$

Donde:

- D_i = Relación del daño acumulado en el periodo de diseño debido a todos los grupos de cargas.
- m = Número total de grupos de cargas.
- n_i = Número de cargas pronosticadas, para el grupo i de cargas
- N_i = Número admisible de cargas, para el grupo i de cargas

El daño acumulado calculado por medio de la ecuación anterior debe ser menor o igual a la unidad final del periodo de diseño.⁵

Al considerar las cargas aplicadas en la proximidad del borde de la losa, se está tomando en cuenta la posición que produce los mayores esfuerzos críticos. A medida que las cargas se desplazan hacia el interior de la losa, los esfuerzos disminuyen significativamente y, a pesar de que la frecuencia de aplicaciones de carga aumenta hacia posiciones alejadas del borde, la magnitud de los esfuerzos producidos disminuye.⁵

En teoría, podría conocerse la distribución de las cargas transversalmente, los esfuerzos producidos por dichas cargas y su daño por fatiga; sin embargo, al tratar de encontrar un procedimiento de análisis más ágil, las investigaciones llevadas a cabo por la PCA demostraron que el mismo daño por fatiga puede obtenerse considerando únicamente el 6 por ciento del número total de repeticiones, aplicadas en el borde del pavimento. Si se utiliza el número total de aplicaciones de carga, el esfuerzo en la orilla, para efectos del análisis por fatiga, debe reducirse al multiplicarlo por un factor de 0.894, lo cual fue tomado en cuenta en la preparación de las tablas de diseño.⁵

b) Erosión.

Para limitar los efectos de la deflexión del pavimento en los bordes de las losas, juntas y esquinas. Este criterio es necesario, ya que algunas fallas de pavimento de concreto como: bombeo, desnivel entre losas y deterioro de las juntas, son independientes de la fatiga.¹⁰

Los deterioros a este fenómeno están relacionados fundamentalmente con la magnitud de las deflexiones producidas por el paso de los vehículos sobre el pavimento, produciéndose las deflexiones críticas cuando se aplica una carga en una esquina, formada por el borde de la losa y una junta transversal (figura 89).⁵

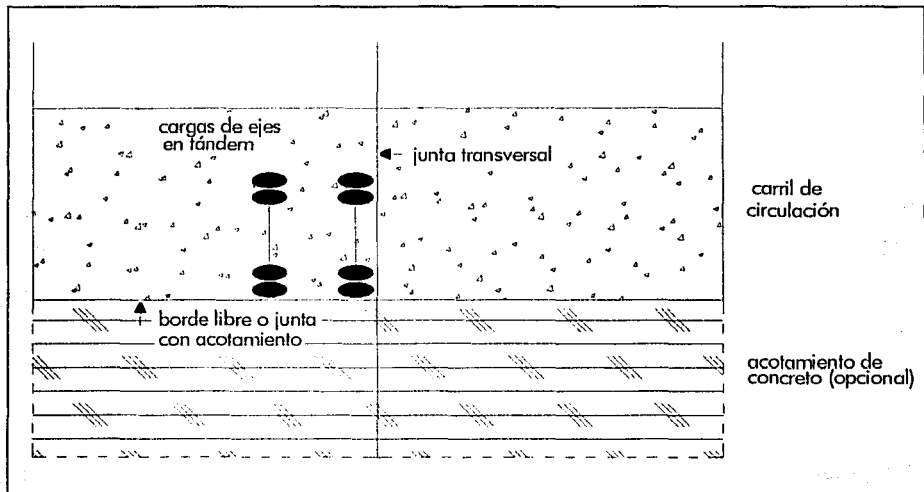


Figura 89.- Posición de las cargas para análisis por erosión.

La determinación del número permisible de repeticiones puede efectuarse utilizando la siguiente fórmula:

$$\log N = 14.524 - 6.777 (C_1 P - 9.0)^{0.103}$$

Donde:

N = Número de repeticiones admisibles, para un índice de servicio de 3.0

C_1 = Factor de ajuste;

$C_1 = 1$, para subbases no tratadas;

$C_1 = 0.9$, para subbases estabilizadas;

$$P = \text{Proporción de trabajo} = \frac{268.7 p^2}{hk^{0.73}}$$

p = Carga en lb

h = Espesor de la losa en pulg

k = módulo de reacción, lb/pulg³

De esta manera, la ecuación para determinar el daño por erosión es la siguiente:

$$D_e = 100 \sum_{i=1}^m \frac{C_2 n_i}{N_i}$$

Donde:

D_e = Daño por erosión, en porcentaje

m = Número total de grupo de cargas

n_i = Número de cargas pronosticadas, para el grupo i de cargas

N_i = Número admisible de cargas, para el grupo i de cargas

C_2 = Constante igual a 0.06 para pavimentos sin acotamientos de concreto y a 0.94 para pavimentos con acotamientos integrados de concreto.

Al efectuar el análisis por erosión, el daño no deberá ser mayor de 100 por ciento.

✓ Los ejes triples pueden ser considerados en el diseño. A pesar de que los ejes sencillos y dobles constituyen aún las cargas predominantes en las carreteras, el número de vehículos con ejes triples se ha incrementado. Esta consideración resulta muy favorable, ya que este tipo de ejes es muy dañino para el pavimento desde el punto de vista de la fatiga.¹⁰

Entonces la selección de un espesor adecuado de diseño por este método depende, de la elección de más factores que los utilizados tradicionalmente.¹⁰

Factores de diseño

Luego de elegir el tipo de concreto para el pavimento por construir (de refuerzo continuo, juntas con pasajuntas o sin refuerzo, por medio de trabazón de agregados), el de la subbase (tratada/sin tratar) y el tipo de acotamiento (integrado/sin integrar), el diseño se realiza teniendo en cuenta los factores siguientes:¹⁰

- ✓ Resistencia a la flexión del concreto (Módulo de ruptura, MR).
- ✓ Capacidad de soporte de la subrasante o del conjunto subrasante-subbase k o k_c .
- ✓ El periodo de diseño.
- ✓ Tránsito. (Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas.)
- ✓ Resistencia del concreto a la flexión

Esta resistencia se considera en el procedimiento de diseño por el criterio de fatiga, el cual controla el agrietamiento del pavimento bajo la acción repetida de las cargas de los vehículos pesados.⁵

La deformación que sufre un pavimento de concreto bajo las cargas produce esfuerzos de compresión y de tensión. Sin embargo la relación entre los primeros y la resistencia a la compresión del concreto es demasiado baja, como para afectar el diseño del espesor de la losa. La relación entre los segundos y la resistencia a la flexión es mucho mayor, llegando frecuentemente a valores mayores que 0.5. Como resultado de ello, los esfuerzos y la resistencia a la flexión son los factores que se deberá considerar en el diseño del pavimento, de esta manera el diseñador usa como dato de entrada, la resistencia promedio a los 28 días.⁵

Para el caso de las laterales del paseo Tollocan, se considerará un valor de:

$$M_r = 45 \text{ kg/cm}^2$$

✓ Capacidad de soporte de la subrasante o del conjunto subrasante-subbase k o k_c .

La capacidad de soporte se mide en términos del módulo de reacción k determinados por pruebas de placa directa (AASHTO T-222) y se expresa como el cociente entre la presión aplicada a la placa y la deflexión producida en ésta. Así la subrasante puede ser modelada como un conjunto de resortes ligados a una placa (cimentación de Winkler).⁵

Debido a que estas pruebas son muy costosas, el valor de k se estima generalmente por correlación con pruebas más sencillas como el CBR o el ensayo del estabilómetro de Hveem. En la figura 90 se muestran las correlaciones para determinar el módulo de reacción de la subrasante k .¹⁰

Es importante señalar que alguna imprecisión en la determinación del valor de k tiene relativamente poca importancia en el cálculo del espesor de la losa aplicando la ecuación de diseño del método AASHTO, puesto que, por ejemplo, un error de 100 por ciento en el valor de k únicamente significa una diferencia de alrededor de un centímetro en el rango de espesores típicos de losas de pavimentos.⁵

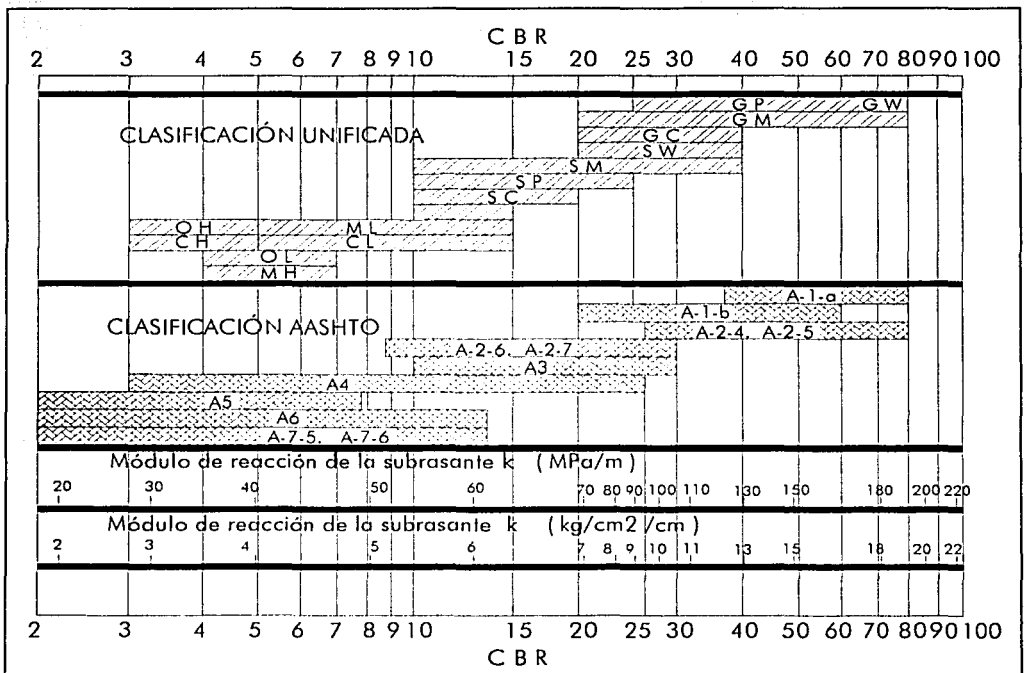


Figura 90.- Correlaciones aproximadas entre clasificaciones de suelos y valores de resistencia.

Para el caso de las laterales del paseo Tollocan, se consideró lo siguiente:

Se tiene por especificación de construcción que la capa subrasante que se construirá en la estructura del pavimento deberá cumplir con un valor mínimo de CBR=50 %; por lo tanto y de acuerdo a la figura 90, se obtiene un valor k de:

$$\text{Módulo de reacción } k = 15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} / \text{cm} = 540 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2} / \text{pulg} = 556 \text{ pci}$$

Cuando la capa subrasante no es lo suficientemente resistente, o cuando se desea proteger el pavimento de los efectos de bombeo y erosión, sobre todo para condiciones de tránsito pesado intenso, se requiere la construcción de una capa de subbase de materiales seleccionados o estabilizados con cal, asfalto o cemento Portland, e incluso de concreto pobre (econocreto o relleno fluido). La presencia de esta capa modifica el valor del módulo de reacción incrementando su valor, debiendo en este caso determinar un módulo de reacción combinado k_c que considere el efecto de la presencia de esta capa.⁵

El módulo de reacción combinado k_c se determina en base a la tabla 36⁵ en la cual se entra con el valor de k , y si sabemos que para el caso del paseo Tollocan la subbase propuesta tendrá un espesor de 8"=20 cm y se tratará con cemento. Por lo tanto, determinamos que:

$$\text{Módulo de reacción combinado } k_c = 700 \text{ lb/pulg}^3$$

Tabla 36
Valor típico del módulo de reacción combinado k_c
para diferentes tipos y espesor de subbase.⁵

Módulo de reacción de la subrasante k (lb/pulg ³)	Subbase de grava y arenas redondeadas				Subbase de grava triturada bien graduada				Subbase tratada con asfalto				Subbase tratada con cemento				Relleno fluido (Econocreto)			
									Espesor en pulgadas											
	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10	4	6	8	10
50	60	70	80	90	65	75	90	100	84	112	141	170	101	145	193	245	104	156	205	262
100	120	130	160	180	130	150	170	190	144	198	243	288	185	258	334	414	192	271	364	443
150	160	190	220	230	180	200	230	250	221	277	334	392	265	360	460	563	274	378	488	603
200	230	250	265	275	240	260	275	300	284	351	419	487	341	457	577	700	353	480	612	750

✓ El periodo de diseño

Puesto que es difícil predecir el tránsito con suficiente aproximación para un tiempo largo, comúnmente se toma un lapso de 20 años como periodo para el diseño de un pavimento rígido sin olvidar que en determinados casos, puede resultar económicamente justificado el empleo de periodos menores o mayores.¹⁰

El periodo de diseño que se elija afecta el diseño de espesores, puesto que determina cuántos años y consecuentemente, cuántos vehículos podrán circular sobre el pavimento, en ese tiempo. La selección definitiva del periodo de diseño para un proyecto específico, debe basarse tanto en el juicio ingenieril como en un análisis económico de los costos del pavimento y el servicio que éste proporcione a lo largo de todo el periodo.¹⁰

El periodo de diseño se determinará de acuerdo a la tabla 37⁵, la cual muestra los valores del periodo de diseño en función del tipo de vialidad.

Tabla 37
Periodos de diseño según el tipo de vialidad

Tipo de vialidad	Periodo de diseño (años)
Urbana, con elevado nivel de tránsito	30-50
Principal, con elevado nivel de tránsito	20-50
Secundaria, con bajo nivel de tránsito	15-25

Según nuestro caso el periodo de diseño será de 20 años.

✓ Tránsito. (Los tipos, frecuencias y magnitudes de las cargas por eje esperadas.)

Los principales factores de tránsito que inciden en el diseño de un pavimento rígido, son el número y la magnitud de las cargas por eje más pesadas, que se esperan durante el periodo de diseño. Estos valores se obtienen a partir de estimativos de: TPDA (tránsito promedio diario anual) y cargas por eje de los vehículos.¹⁰

Proyección del tránsito

Un método para obtener el dato necesario de tránsito para el diseño, consiste en el empleo de tasas de crecimiento anual y factores de proyección. La tabla 38 muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyecciones para periodos de 20 y 40 años, de acuerdo con las recomendaciones de la PCA.¹⁰

Tabla 38
Tasas anuales de crecimiento de tránsito
y sus correspondientes valores de proyección.

Tasa de crecimiento anual de tránsito (%)	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1.5	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2.5	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3.5	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4.5	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5.5	1.7	2.9
6	1.8	3.2

En un caso de diseño, el factor de proyección se multiplica por el TPDA presente para obtener el TPDA de diseño, representativo del valor promedio para el periodo de diseño.¹⁰

Distribución de las cargas por eje

Su conocimiento es necesario para calcular el número de ejes simples (ESAL Equivalent single axle load), dobles y triples de diferentes magnitud de carga, esperados durante el periodo de diseño (tabla 40). Para obtener dicha información, el mejor procedimiento consiste en realizar un estudio específico sobre la distribución de cargas para el proyecto en análisis. De no ser posible lo anterior, puede utilizarse el procedimiento de diseño simplificado de la PCA, donde se describen algunos métodos basados en categorías establecidas a partir de datos representativos para diferentes tipos de vías.¹⁰

Factores de seguridad de carga

El método de diseño exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por unos factores de seguridad de carga LSF, recomendándose los siguientes:¹⁰

Tabla 39
Factores de seguridad de carga LSF

Factor de seguridad	Condición
1.2	Para vías de carriles múltiples en las cuales se espera un flujo de tránsito ininterrumpido con un elevado volumen de tránsito pesado.
1.1	Para carreteras y vías urbanas en las que se espere un volumen moderado de tránsito pesado.
1.0	Para calles residenciales y otras vías que soportarán bajos volúmenes de tránsito pesado.

Además de los factores de seguridad de carga, el método incluye cierto grado de conservatismo para compensar situaciones tales como un tránsito impredecible de camiones muy pesados, las variaciones de calidad normales de los materiales, el proceso constructivo y el espesor variable de las capas.¹⁰

En casos muy especiales, podría justificarse un factor de seguridad tan alto como 1.3, como para mantener un nivel de serviciabilidad mayor que el normal a través del periodo de diseño.¹⁰

Para nuestro caso el factor de seguridad será de 1.2

Procedimiento de diseño

La tabla 45 es una hoja de cálculo que muestra el formato utilizado para la ejecución del diseño.

La hoja de cálculo presenta los dos tipos de análisis requeridos:

1. El de fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga). Generalmente, el análisis de fatiga controlará el diseño de pavimentos para bajos volúmenes de tránsito (calles residenciales y vías secundarias) independientemente de si las juntas tienen o no pasajuntas.¹⁰
2. El de erosión (para controlar la erosión de la cimentación y los acotamientos, el bombeo y el desnivel entre losas). Por su parte, el análisis de erosión suele controlar el diseño de pavimentos para vías de tránsito medio y pesado en el caso de juntas sin pasajuntas, (del tipo de trabazón de agregados) y en pavimentos para tránsito pesado que tengan pasajuntas.

En pavimentos que reciben una mezcla normal de cargas por eje, los simples suelen ser los más severos en el análisis de fatiga, mientras que los tándem, lo son en el análisis de la erosión.¹⁰

El procedimiento de diseño es el siguiente:

Se establecen los datos básicos de entrada y se colocan en la parte superior de la Hoja de cálculo (tabla 45). También deberá disponerse de los datos de tránsito que fueron calculados en la tabla 40, con los cuales se llenarán las columnas 1, 2 y 3. Las cargas por eje deberán multiplicarse por el factor de seguridad de carga elegido para llenar la columna 2. Luego se efectuarán los análisis de fatiga y erosión, tal como se describe a continuación:

Tabla 40
Cálculo de los datos de tránsito según las cargas por eje en el horizonte de proyecto.

MÉTODO DE LA PORTLAND CEMENT ASSOCIATION									
Tipo de Vehículo	Composición del Tránsito %	Número de Vehículos				Número de ejes por vehículo			
		Anuales				20 años			
		Diarios	Anuales	X Fc.	en 20 Años	Sencillos		Dobles 18 t 39.7 kips	Triples 22.5 t 49.6 kips
5.5 t 12 kips	10 t 22 kips								
B	38.00	2,271	828,915	1,077,590	21,551,800	21,551,800	21,551,800		
C2	8.00	478	174,470	226,811	4,536,220	4,536,220	4,536,220		
C3	1.60	96	35,040	45,552	911,040	911,040		911,040	
T3-S2	0.60	36	13,140	17,082	341,640	341,640		683,280	
T3-S3	1.00	60	21,900	28,470	569,400	569,400		569,400	569,400
T3-S2-R2	1.00	60	21,900	28,470	569,400	569,400	1,138,800	1,138,800	
SUMAS	50.20	3,001	1,095,365	1,423,975	28,479,500	28,479,500	27,226,820	3,302,520	569,400
Tránsito diario promedio anual = 8790					Tasa de crecimiento = 3%				
Tránsito en carril de proyecto = 0.68					Factor de crecimiento = 1.3				
Años de servicio = 20									

Análisis de fatiga

Las tablas y gráficas empleadas son las mismas, tanto para pavimentos de concreto simple con pasajuntas, sin ellos, como para pavimentos con refuerzo continuo. La única diferencia la establece el tipo de acotamiento que tenga el pavimento. Sin acotamiento de concreto (nuestro caso) y sin acotamiento de concreto, usar las tablas 41 y 42. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. En la tabla 41 y 42, hallar los esfuerzos equivalentes en función del espesor de losa supuesto, el tipo de eje y del valor k. Anotar dichos valores frente a los numerales 8, 11 y 14 de la hoja de cálculo.
2. Dividir estos valores por el módulo de ruptura del concreto y anotar los valores frente a los numerales 9, 12 y 15 (factores de relación de esfuerzos).
3. Con la magnitud de las cargas (columna 2) y los factores de relación de esfuerzos, determinar en la figura 91, el número admisible de repeticiones de carga y anotarlo en la columna 4.
4. Calcular los valores con que se llena la columna 5, dividiendo cada valor de la columna 3 por el correspondiente de la 4 y multiplicarlo por 100. La suma de todos ellos es el consumo total de fatiga.

Análisis de erosión

En caso de que el pavimento de concreto no tenga acotamiento (nuestro caso), el procedimiento es el siguiente:

1. De la tabla 43 y 44 se toman los factores de erosión para pavimentos con pasajuntas o con refuerzo continuo y se anotan frente a los numerales 10, 13 y 16 de la hoja de cálculo.
2. Llenar la columna 6 con las repeticiones admisibles halladas en la figura 92.
3. Dividir cada valor de la columna 3 por el correspondiente de la 6 y multiplicar por 100. Anotar los valores calculados en la columna 7.
4. La suma total de ellos es el daño por erosión.

El espesor de losas escogidos por tanteo, se considerará inadecuado si los totales de fatiga o erosión superan el 100%. en este caso se hará otro tanteo con un espesor mayor. Si los totales son muy inferiores al 100%, se hará un nuevo tanteo con un espesor menor.

Tabla 41
Esfuerzo equivalente para pavimentos sin acotamiento de concreto.
(Eje sencillo/eje doble)

Espesor de losa (pulg)	k del conjunto Subrasante/subbase (lb/pulg ³)						
	50	100	150	200	300	500	700
4	825/679	726/585	671/542	634/516	584/486	523/457	484/443
5	602/516	531/436	493/399	467/376	432/349	390/321	363/307
6	465/416	411/348	382/316	362/296	336/271	304/246	285/232
7	375/349	331/290	307/262	292/244	271/222	246/199	231/186
8	311/300	274/249	255/223	242/208	225/188	205/167	192/155
9	264/264	232/218	216/195	205/181	190/163	174/144	163/133
10	228/235	200/193	186/173	177/160	164/144	150/126	141/117
11	200/211	175/174	163/155	154/143	144/129	131/113	123/104
12	177/192	155/158	144/141	137/130	127/116	116/102	109/93
13	159/176	139/144	129/129	122/119	113/106	103/93	97/85
14	144/162	125/133	116/118	110/109	102/98	93/85	88/78

Tabla 42
Esfuerzo equivalente para pavimentos. Ejes triples.
(sin acotamiento de concreto/con acotamiento de concreto)

Espesor de losa (pulg)	k del conjunto Subrasante/subbase (lb/pulg ³)						
	50	100	150	200	300	500	700
4	510/431	456/392	437/377	428/369	419/362	414/360	412/359
5	387/317	328/281	305/266	293/258	282/250	272/244	269/242
6	315/249	261/218	237/204	223/196	209/187	198/180	193/178
7	267/204	219/178	196/165	183/158	167/149	154/142	148/138
8	230/172	189/149	168/138	156/131	141/123	126/116	120/112
9	200/147	166/128	148/119	136/112	122/105	108/98	101/94
10	174/127	148/112	132/104	122/98	108/91	95/84	87/81
11	153/111	132/99	119/92	110/87	98/81	85/74	78/71
12	133/97	119/88	108/82	100/78	89/72	77/66	70/63
13	114/85	107/79	98/74	91/70	81/65	70/60	64/57
14	97/75	96/71	89/67	83/63	75/59	65/54	59/51

Tabla 43
Factor de erosión. Juntas con pasajuntas sin acotamiento de concreto.
(Eje sencillo/eje doble)

Espesor de losa (pulg)	k del conjunto Subrasante/subbase (lb/pulg ³)					
	50	100	200	300	500	700
4	3.74/3.83	3.73/3.79	3.72/3.75	3.71/3.73	3.70/3.70	3.68/3.67
5	3.45/3.58	3.43/3.52	3.42/3.48	3.41/3.45	3.40/3.42	3.38/3.40
6	3.22/3.38	3.19/3.31	3.18/3.26	3.17/3.23	3.15/3.20	3.14/3.17
7	3.01/3.21	2.99/3.14	2.97/3.08	2.96/3.05	2.95/3.01	2.94/2.98
8	2.58/3.07	2.82/2.99	2.80/2.93	2.79/2.89	2.77/2.85	2.76/2.82
9	2.70/2.96	2.67/2.87	2.65/2.80	2.63/2.76	2.62/2.71	2.61/2.68
10	2.56/2.85	2.54/2.76	2.51/5.68	2.50/2.64	2.48/2.59	2.47/2.56
11	2.44/2.76	2.42/2.67	2.39/2.58	2.38/2.54	2.36/2.49	2.35/2.45
12	2.33/2.68	2.30/2.58	2.28/2.49	2.26/2.44	2.25/2.39	2.23/2.36
13	2.23/2.61	2.20/2.50	2.18/2.41	2.16/2.36	2.14/2.30	2.13/2.27
14	2.13/2.54	2.11/2.43	2.08/2.34	2.07/2.29	2.05/2.23	2.03/2.19

Tabla 44
Factor de erosión. Ejes triples, juntas con pasajuntas.
(sin acotamiento de concreto/con acotamiento de concreto)

Espesor de losa (pulg)	k del conjunto Subrasante/subbase (lb/pulg ³)					
	50	100	200	300	500	700
4	3.89/3.33	3.82/3.20	3.75/3.13	3.70/3.10	3.61/3.05	3.53/3.00
5	3.68/3.16	3.58/3.01	3.50/2.89	3.46/2.83	3.40/2.79	3.34/2.75
6	3.51/3.03	3.40/2.87	3.31/2.73	3.26/2.66	3.21/2.58	3.16/2.54
7	3.37/2.92	3.26/2.76	3.16/2.61	3.10/2.53	3.04/2.43	3.00/2.37
8	3.26/2.83	3.14/2.67	3.03/2.51	2.97/2.42	2.90/2.32	2.86/2.25
9	3.15/2.75	3.04/2.59	2.92/2.43	2.86/2.34	2.78/2.23	2.73/2.15
10	3.06/2.67	2.94/2.51	2.83/2.35	2.76/2.26	2.68/2.15	2.63/2.07
11	2.98/2.60	2.86/2.45	2.74/2.29	2.68/2.20	2.59/2.08	2.54/2.00
12	2.91/2.54	2.79/2.39	2.67/2.23	2.60/2.13	2.51/2.02	2.46/1.94
13	2.84/2.48	2.72/2.33	2.60/2.17	2.53/2.08	2.44/1.96	2.44/1.88
14	2.78/2.43	2.65/2.28	2.53/2.12	2.46/2.03	2.38/1.91	2.32/1.83

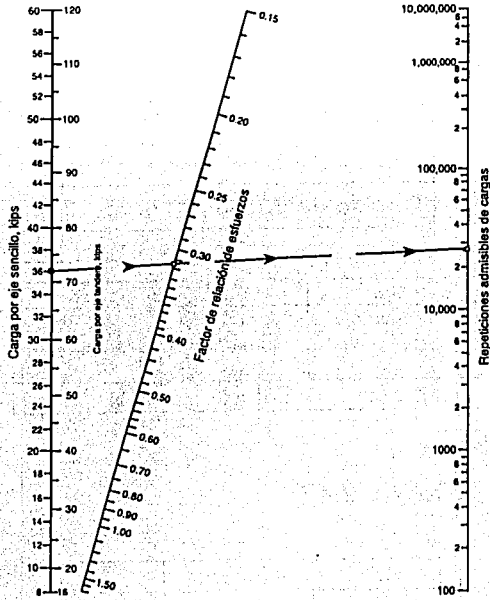


Figura 91.- Análisis por fatiga. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin acotamiento de concreto).

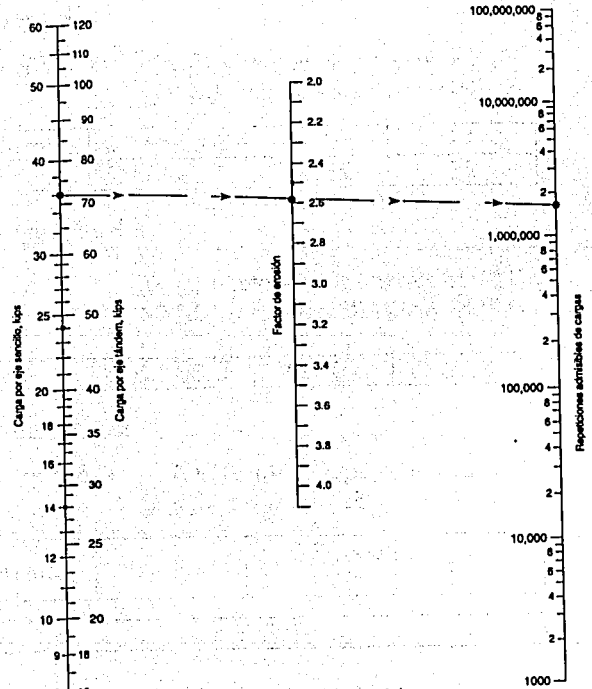


Figura 92.- Análisis por erosión. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de erosión (sin acotamiento de concreto).

Tabla 45
Primer tanteo

Hoja de cálculo para el método de la Portland Cement Association PCA

Proyecto: "Modernización y rehabilitación del <u>paseo Tollocan</u> (Laterales Norte y Sur)	
Espesor de tanteo: 10"=25.4 cm	Factor de seguridad: 1.2
Valor k_c conjunto subbase-subrasante: 700 lb/pulg ³ = 700 pci	Pasajuntas: Sí
Módulo de ruptura MR: 45kg/cm ² = 638.71lb/pulg ²	Acotamientos de concreto: No
	Periodo de diseño: 20 años.

Carga por eje (kips)	Por LSF (kips)	Repeticiones esperadas $\times 10^3$	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles $\times 10^3$	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles $\times 10^3$	Porcentaje de daño
Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)

Ejes sencillos(8) Esfuerzo equivalente: 143.70 (10) Factor de erosión: 2.47(9) Relación de esfuerzos: 0.221

12	14.40	28,479.50	Ilimitado	0.00	Ilimitado	0
22	26.40	27,226.82	Ilimitado	0.00	35,000	77.79

Ejes tándem (dobles)(11) Esfuerzo equivalente: 119.70 (13) Factor de erosión: 2.55(12) Relación de esfuerzos: 0.184

39.6	47.52	3,302.52	Ilimitado	0.00	50,000	6.60
------	-------	----------	-----------	------	--------	------

Ejes trídem (triples)(14) Esfuerzo equivalente: 89.4 (16) Factor de erosión: 2.65(15) Relación de esfuerzos: 0.138

49.6	$\frac{59.52}{3} = 19.84$	569.40	Ilimitado	0.00	Ilimitado	0.00
------	---------------------------	--------	-----------	------	-----------	------

TOTAL				0.00		84.39
-------	--	--	--	------	--	-------

Tabla 45

Segundo tanteo

Hoja de cálculo para el método de la Portland Cement Association PCA

Proyecto: "Modernización y rehabilitación del <u>paseo Tolloacan</u> (Laterales Norte y Sur)	
Espesor de tanteo: 9"=22.86 cm	Factor de seguridad: 1.2
Valor k_c conjunto subbase-subrasante: 700 lb/pulg ³ = 700 pci	Pasajuntas: Sí
	Acotamientos de concreto: No
Módulo de ruptura MR: 45kg/cm ² =638.71lb/pulg ²	Periodo de diseño: 20 años.

Carga por eje (kips)	Por LSF (kips)	Repeticiones esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
Col. (1)	Col. (2)	Col. (3)	Col. (4)	Col. (5)	Col. (6)	Col. (7)

Ejes sencillos

- (8) Esfuerzo equivalente: 1.63 (10) Factor de erosión: 2.61
 (9) Relación de esfuerzos: 0.255

12	14.40	28,479.50	Ilimitado	0.00	Ilimitado	0.00
22	26.40	27,226.82	Ilimitado	0.00	10,400.00	261.80

Ejes tándem (dobles)

- (11) Esfuerzo equivalente: 1.33 (13) Factor de erosión: 2.68
 (12) Relación de esfuerzos: 0.208

39.6	47.52	3,302.52	Ilimitado	0.00	10,200.00	32.38
------	-------	----------	-----------	------	-----------	-------

Ejes trídem (triples)

- (14) Esfuerzo equivalente: 1.01.94 (16) Factor de erosión: 2.73
 (15) Relación de esfuerzos: 0.160

49.6	59.52/3= 19.84	569.40	Ilimitado	0.00	30,000	1.898
------	-------------------	--------	-----------	------	--------	-------

TOTAL				0.00		296.07
-------	--	--	--	------	--	--------

Conclusiones

Como se había mencionado anteriormente, el análisis por erosión suele controlar el diseño en pavimentos para tránsito pesado que tengan pasajuntas, es por esta razón que el análisis por fatiga dió como resultado cero.

El resultado del primer tanteo (para el espesor de $10''=25.4$ cm) fué de 84.39% de daño por erosión, lo cual indica que, las repeticiones admisibles superan a las repeticiones esperadas en el horizonte de proyecto.

En el segundo tanteo, se propuso un espesor de $9''=22.86$ cm, y se observa que el daño por erosión es de 296.07%, lo cual indica que las repeticiones admisibles son menores que las repeticiones esperadas en el horizonte de proyecto, por lo tanto el espesor no es indicado.

Por lo tanto en teoría se puede decir que el espesor de $10''=25.4$ cm esta sobrediseñado, sin embargo realizando varios tanteos de la misma forma, se llegó a un resultado de espesor óptimo de $9.9''=25.15$ cm, el cual arrojó un valor de 98.98% para el daño por erosión.

Tomando en cuenta la importancia de la vía, los factores de crecimiento anual y los resultados del análisis por el método de diseño de la PCA, se considera adecuado un espesor de 25cm para las losas de concreto del pavimento.

De esta manera se determina proceder la construcción de la estructura del pavimento con los siguientes espesores:

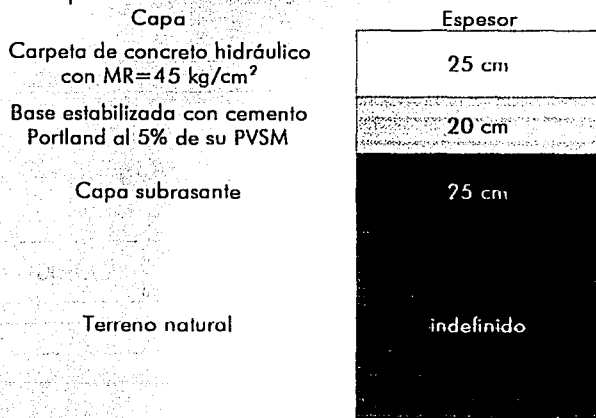


Figura 93.- Sección de proyecto a construir según el método de la PCA.

El proceso constructivo para llevar a cabo la construcción de la nueva estructura del pavimento, se describirá en el capítulo siguiente.

2.4 El costo de inversión inicial, el costo de mantenimiento y la vida útil de la obra.

El costo de inversión inicial

El desembolso para la construcción del pavimento de concreto es superior con respecto al del pavimento de concreto asfáltico, pero esto es solo en el principio, ya que el pavimento rígido deja ver sus ventajas económicas con el paso de los años, y esto es posible dado que los costos de mantenimiento son muy inferiores comparados con los del pavimento flexible.

Por ejemplo, en alguna ocasión al transitar por la ciudad o carretera, se ha sido testigo de los trabajos de reparación para las carpetas asfálticas, que por lo general presentan problemas en las épocas de lluvia y después de ellas.

De esta manera tenemos que, trabajos como bacheo, reencarpetados y riegos de impregnación, son algunos trabajos de mantenimiento a los que están sometidos constantemente los pavimentos flexibles (por lo general cada 2 o 3 años) e incluso la reconstrucción parcial o total.

Adicionalmente a los costos de mantenimiento, se presentan los costos de operación, de los cuales formamos parte integral los vehículos y usuarios que transitamos por las calzadas y carreteras que tienen pavimento flexible, ya que también por lo menos en alguna ocasión se ha sufrido la voladura de una llanta o incluso daños mayores a la suspensión de nuestro vehículo.

Comparando los costos de construcción de las estructuras con pavimento flexible y rígido del paseo Tollocan, en la actualidad se tienen los siguientes importes de la tabla 46:

Tabla 46
Comparativa de costos para pavimentos rígido y flexible.

Esp. cm	Capa	Precio unitario por m ³	Precio unitario por m ²		Precio unitario por m ³	Capa	Esp. cm
				\$			
25	Concreto hidráulico premezclado con Mr= 45 kg/cm ² (incluye cimbra, acero de refuerzo, colocación, curado, cortes y sello).	1,000.00	250.00	114.00	950.00	Concreto asfáltico	12
20	Subbase tratada con cemento	250.00	50.00	66.00	220.00	Base granular	30
				43.80		Subbase	36.5
60			300.00	223.80			78.5

Debido a lo anterior, resulta ser que el costo de inversión inicial representa un gasto mayor al momento de tomar una decisión con respecto a la pavimentación de una calzada o carretera, pero si se distribuye esta inversión a lo largo de la vida útil del pavimento y sobre todo la mínima inversión en los trabajos de mantenimiento, resulta ser mas factible. Si además se consideran los costos de operación por parte del usuario, la ventaja del pavimento rígido es aún mayor.

El costo de mantenimiento

Los pavimentos de concreto hidráulico se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es, sin duda, una de las ventajas mayores que ofrecen. La significativa reducción en los costos de mantenimiento de una vía permiten que el concreto sea una opción muy económica.⁷

En términos generales podemos afirmar, por informes recabados en diversas fuentes, que el costo de mantenimiento de un pavimento asfáltico es cuatro veces mayor que el de uno de concreto, que el costo por metro cúbico de concreto hidráulico es dos veces mayor que el de la mezcla asfáltica tomando en cuenta ambos materiales colocados y acabados; y que la duración del pavimento de concreto en nuestro país, es el doble de la del asfáltico.¹⁴

Por último, si un pavimento rígido se ha comportado de manera adecuada, pero se vislumbra un tránsito más intenso en los años siguientes o se quiere aumentar la vida útil del camino, es posible construir una sobrelosa también de concreto hidráulico.¹⁴

La vida útil de la obra

Este parámetro es sin duda el más importante para cualquier tipo de proyecto, ya que involucra el factor tiempo y por lo tanto la incertidumbre se hace presente ya que predecir con exactitud el futuro es todavía imposible para el ser humano.

Es por esta razón que los proyectos de pavimentos se encuentran diseñados con factores de seguridad que de alguna manera protegen los incrementos que se presenten en el futuro.¹⁴

Por ejemplo el primero caso de un pavimento de concreto se remonta al año de 1891, en Bellfountain Ohio, EEUU, donde se construyó una franja de 80.00 m de largo y 2.40 m de ancho que aún subsiste. El primer pavimento con ancho de una vía se construyó dos años después, siendo la primera muestra de un pavimento contemporáneo de cemento Portland en el continente americano que también subsiste.¹⁰

El periodo de diseño para los pavimentos se fija con base en los factores económicos del área de incidencia del proyecto y en las políticas generales de desarrollo de la dependencia encargada de administrar los pavimentos, especialmente en lo referente a los criterios sobre mantenimiento y explotación de la red vial. ¹⁰

El término de periodo de diseño es algunas veces considerado sinónimo de periodo de análisis de tránsito. Dado que el tránsito muy probablemente no puede ser supuesto con precisión por un periodo muy largo, el periodo de diseño de 20 años es el comúnmente empleado en el procedimiento de diseño de pavimentos. El periodo de diseño seleccionado afecta el espesor de diseño ya que determina por cuántos años y por ende para cuántos vehículos deberá servir el pavimento. ⁷

Para el caso del paseo Tollocan, el periodo de diseño que se tomó en cuenta en el diseño del espesor del pavimento de concreto fué de 20 años (2000-2020). ¹

Al aumentar la duración del pavimento, disminuir sus gastos de mantenimiento, facilitar los trabajos de reparación y requerir menores espesores, los pavimentos de concreto hidráulico resultan, a la larga, más económicos que los de asfalto. Hemos intentado establecer una fórmula general para determinar a partir de qué espesor de base es preferible la utilización del concreto. Sin embargo se presentan tantos factores en el cálculo, que optamos por limitarnos a recomendar en cada caso se haga el estudio comparativo de costos de uno y otro tipo de pavimento. Debe tomarse en cuenta no sólo el costo inmediato, sino también el mantenimiento de ambos, a lo largo de 20 años. Salvo el caso de pavimentos en zonas muy secas y con terracerías de calidad, los pavimentos de concreto resultarán más económicos que los de asfalto, dentro de su periodo de vida útil. ¹⁴

Día a día los pavimentos de concreto son más utilizados en nuestro país, esto no es un hecho fortuito, sino el resultado de profundas investigaciones y análisis económicos y sociales que sirvieron para que las autoridades aceptasen que era preferible realizar una inversión inicial mayor en las superficies por pavimentar, que gastar recursos disponibles en el continuo mantenimiento de calles pavimentadas con asfalto. ¹⁴

CAPÍTULO 3

" EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA REPAVIMENTACIÓN DE LAS LATERALES DEL PASEO TOLLOCAN "

3.1 Obras preliminares.

a) Control del tránsito durante la obra.

Dentro del control de tránsito durante el periodo de ejecución de los trabajos, registrarán los siguientes reglamentos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes:

- Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras.
- Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras.

Además deberá apegarse a las especificaciones tanto generales como particulares que la Junta de Caminos del Estado de México marque.¹

A continuación se enlistan una serie de actividades necesarias para el control del tránsito durante la obra en donde se incluye los trabajos nocturnos:

1. Logística de pavimentación.
2. Dispositivos para protección de obras (señalamientos).
 - a) Trabajos diurnos.
 - b) Trabajos nocturnos.
3. Protección del pavimento.
4. Letreros informativos.

1. Logística de pavimentación.

La carpeta asfáltica se fresará en dos franjas de 4.50 m de ancho cada una. Se deberá iniciar únicamente con la franja izquierda (opuesto a la banquetta), en una longitud de 1.5 km, dejando libre a la circulación los 8.5 km restantes de esta franja y el total de la franja derecha (figura 94). Cuando se llegue a los carriles de aceleración y desaceleración se les dará preferencia en la pavimentación, estos carriles tendrán un ancho de 5.00 m. La pavimentadora cubrirá 4.50 m dejando 0.50 m antes de llegar a la guarnición los cuales se construirán manualmente.¹

La distancia de 1.5 km cerrada al tránsito (figura 95), se deberá ir moviendo de acuerdo al avance de pavimentación a lo largo de la franja izquierda, teniendo un

promedio de avance en la pavimentación de 500.00 m lineales diarios. El movimiento de la pavimentadora será en el sentido de la circulación. El tiempo de apertura al tránsito dependerá de que el concreto colocado haya obtenido como mínimo el 75% de su resistencia a la flexión (7 días). Esto se verificará mediante la obtención del módulo de ruptura (MR), en laboratorio de las vigas de prueba elaboradas durante los colados.¹

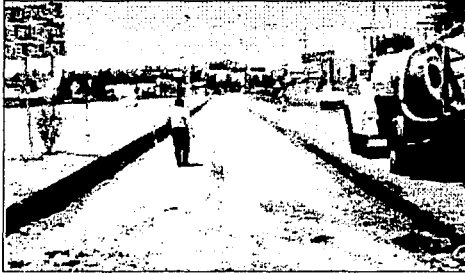


Figura 94.- Un tramo de 4.50 m de ancho después de retirar la carpeta existente (fresado).

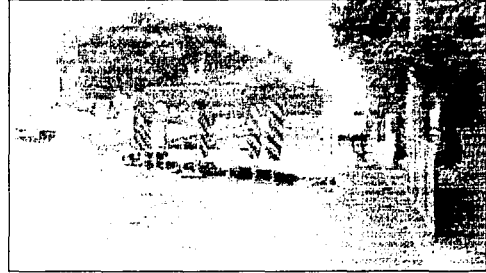


Figura 95.- Tramo de 1.5 km cerrado al tránsito.

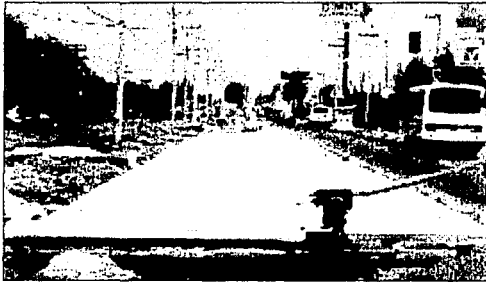


Figura 96.- Una franja de 4.5 m terminada y los demás carriles disponibles a la circulación.



Figura 97.- Tramo pendiente de colar en la proximidad de una intersección vial.

Una vez terminada la franja izquierda (Figura 96) se deberá iniciar el fresado de la franja derecha en sentido opuesto a la pavimentación, manteniendo cerrados a la circulación los mismos 1.5 km. Antes de iniciar este fresado, se deberá esperar a que la franja izquierda esté disponible a la circulación, para no bloquear toda la lateral. Al pavimentar esta franja, se dejarán sin pavimentar (pero ya fresados) los accesos a las industrias, intersecciones con calles y avenidas interrumpiendo la pavimentación (figura 97) y creando una junta de construcción (con cimbra y barras pasajuntas). Se colocarán rampas con el material fresado en los accesos a las industrias, intersecciones con calles y avenidas para no interrumpir la circulación. En dichos lugares se tenderá en forma manual el concreto hidráulico con acelerante de resistencia, con lo cual el concreto

alcanza más del 80% de su resistencia en 24 hrs, utilizando para ello rodillos compactadores de concreto o reglas vibratorias; una vez que el concreto colocado en el resto de la franja permita el acceso de las unidades revolventoras.¹

Antes de abrir a la circulación los tramos de pavimentación, deberán estar terminadas las labores de corte y sello de juntas, así como la limpieza general de la obra. Los trabajos de pavimentación se llevarán a cabo después de:

- ✓ Retirar cualquier material de desperdicio que interfiera en la calidad de la ejecución de los trabajos.
- ✓ Localizar y renivelar todo tipo de instalaciones subterráneas o superficiales de acuerdo con el proyecto.
- ✓ Tender los materiales de las capas que indican las estructuras de pavimento y alcanzar todas las especificaciones particulares de cada capa como nivel de compactación y espesor que fije el proyecto.
- ✓ Localizar y respetar los puntos obligados que determine el proyecto geométrico tales como: curvas verticales y horizontales, ampliaciones, modificaciones, agujas de incorporación y desincorporación, ubicación de instalaciones del pavimento, pendiente transversal y longitudinal de la vía, anchos de vía y detalles de construcción de la calzada conforme al proyecto o los que indique la dependencia.

2. Dispositivos para protección de obras (señalamientos).

a) Trabajos diurnos.

El señalamiento provisional (figura 98) durante la ejecución de las obras, se sujetará a las disposiciones de protección contenidas en el capítulo VI del "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito en Calles y Carreteras de la SCT", edición 1986, en la inteligencia de que no se autorizará la iniciación de ninguna clase de trabajo hasta que se haya colocado, a satisfacción de la dependencia, las señales y dispositivos de protección respectivos, así como los bandereros, sujetándose como mínimo a la forma y distribución establecidas en el proyecto según la figura 104.¹

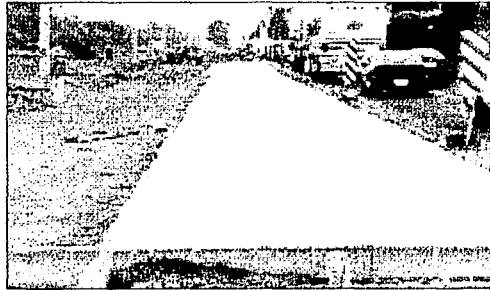


Figura 98.- Dispositivos de señalamiento provisional.

b) Trabajos nocturnos

Para llevar a cabo los trabajos en la noche, adicional a las señales reflejantes del señalamiento diurno, el contratista deberá colocar señalamiento nocturno luminoso durante la realización de las obras y el fraguado del concreto.¹

Para el señalamiento nocturno se deberá contar con dos generadores de energía eléctrica que mantengan en operación una flecha luminosa intermitente de 86.00 cm de ancho y 178.00 cm de largo como dimensiones mínimas y una serie de focos de 40 watts, cubiertos con pantallas protectoras de plástico traslúcido de color rojo, a cada 10.00 m y de la longitud necesaria para cubrir las áreas de trabajo, bandereros provistos de lámparas manuales, además de colocar las señales reflejantes del señalamiento diurno. Queda estrictamente prohibido el empleo de mecheros o lámparas que empleen combustibles como energéticos. El contratista deberá reponer de inmediato cualquier elemento del señalamiento que resulte dañado. Además el contratista estará obligado a tomar todas las providencias que sean necesarias para mantener la continuidad y fluidez del tránsito y disponer los trabajos en tal forma que reduzcan al mínimo las molestias que ocasionen a los usuarios por la ejecución de las obras y a extremar las precauciones para prevenir y evitar al tránsito accidentes de cualquier naturaleza, ya sea con motivo de las obras o por movimientos de su maquinaria, equipo o abastecimiento de materiales.¹

El contratista deberá contar con una brigada debidamente adiestrada para el manejo y conservación del señalamientos compuesta de un cabo y cuatro peones, y un vehículo, que realice el traslado de las señales. El personal que forme dicha brigada será independiente del personal que sea empleado como bandereros.¹

El pago por unidad de obra terminada para la colocación de dispositivos para protección de obras, se hará al precio unitario fijado en el contrato para la pieza. Este precio unitario incluye lo que corresponda por: la adquisición de todos los dispositivos que se señalan en la (figura 104) y deberán ser nuevos, colocación en el lugar indicado, combustibles y aceites empleados en los generadores de energía eléctrica, los

cargos por la utilización del equipo, herramienta y el personal necesario para la correcta ejecución de los trabajos a satisfacción de la dependencia.¹

3. Protección del pavimento

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o pisadas de equipo o seres vivos que puedan dañar la superficie del pavimento durante su fraguado (figuras 99, 100 y 101). Se deberá tener personal para controlar el tránsito y se deberá instalar y mantener señales de precaución y alumbrado.¹



Figura 99

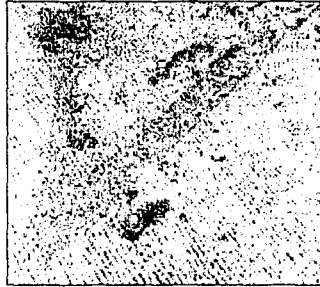


Figura 100



Figura 101

Daños en la superficie del pavimento provocados durante su fraguado por no protegerlo.

Cuando se presente lluvia, se deberán parar todas las operaciones de pavimentación y todo el personal disponible deberá comenzar a cubrir la superficie del concreto en estado plástico con las cubiertas protectoras (figura 102 y 103).¹



Figura 102

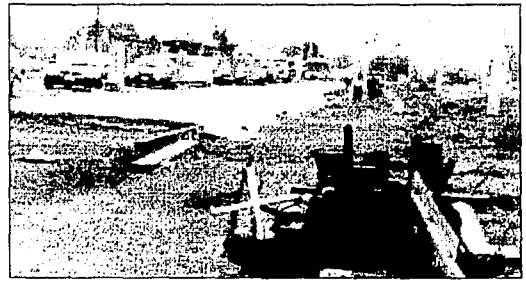


Figura 103

Colocación de cubiertas protectoras en caso de presentarse lluvia.

En el caso de la formación de capas de la estructura del pavimento tales como base y subbase, también deberán interrumpirse en caso de lluvia.

Dispositivos de señalamiento

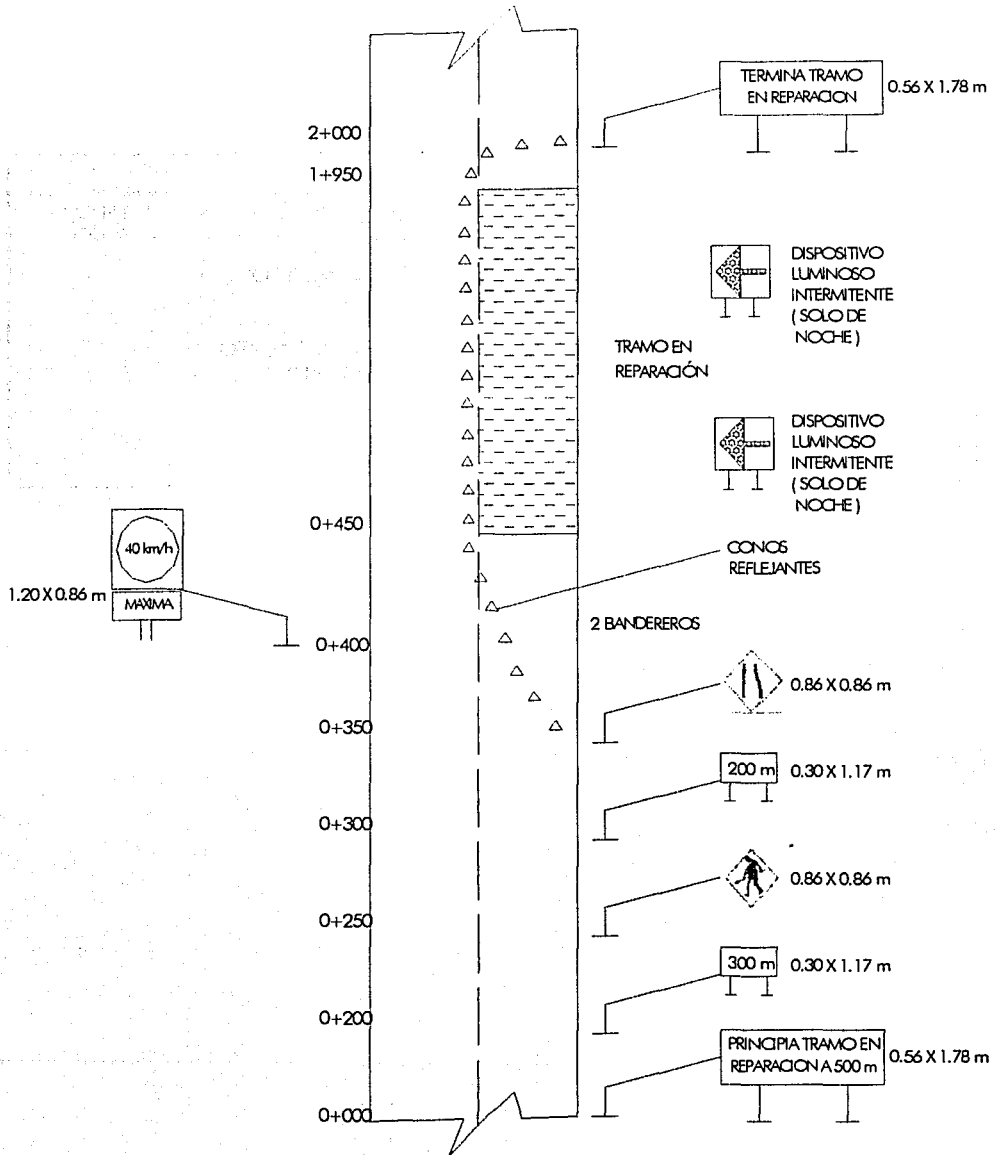


Figura 104.- Croquis de dispositivos de señalización.

4. Letreros informativos

El contratista queda obligado a colocar en cada uno de los dos lugares que indique la dependencia un letrero informativo de la obra de 4.00 x 6.00 m con bastidor de madera y lamina cal. 18 y con la leyenda que se muestra en la figura 105.¹

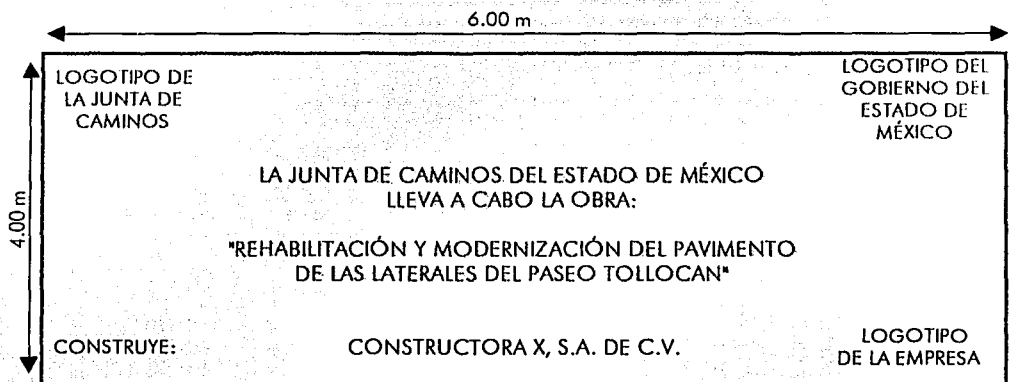


Figura 105.- Letrero informativo de la obra.

b) Demolición del pavimento existente para alcanzar niveles de proyecto.

Después de los trabajos de exploración y muestreo, sabemos que se cuenta con la siguiente sección transversal del pavimento:

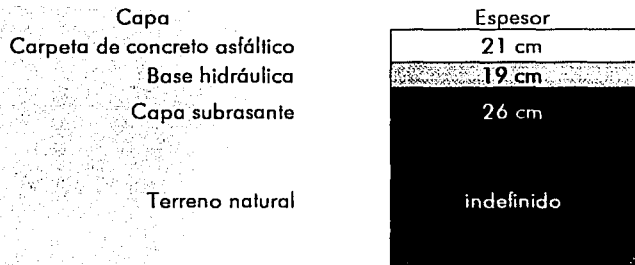


Figura 106.- Espesores promedio de la sección transversal del pavimento.

Asimismo sabemos que el pavimento nuevo determinado por el diseño para la reconstrucción debe contar con la siguiente sección transversal:

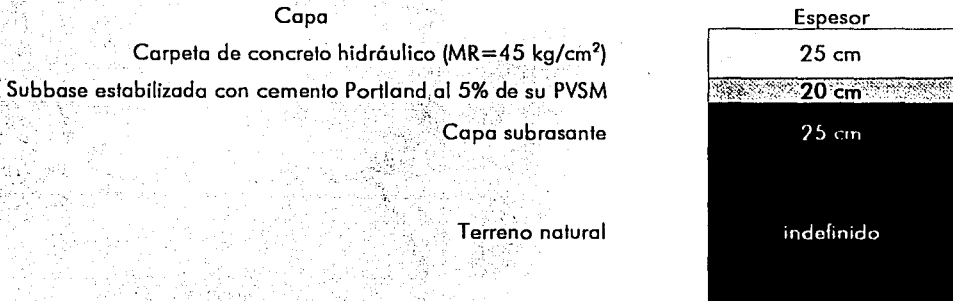
✓ Para los dos cuerpos laterales

Figura 107.- Sección de proyecto a construir para los dos cuerpos laterales.

Por lo tanto es obvio que para fabricar la nueva sección mencionada, será necesario demoler parte de la sección transversal del pavimento actual. Los trabajos de fresado (demolición) se deberán llevar a cabo con el equipo Rotomill PR-750 ROADTEC RX68 (figuras 108, 109 y 110).

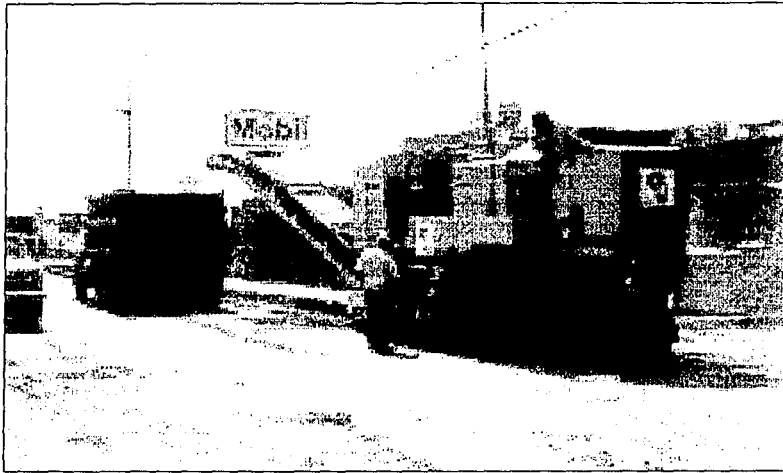


Figura 108



Figura 109

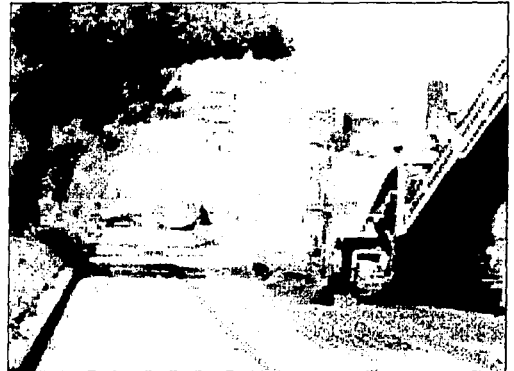


Figura 110

Equipo para fresado Rotomill PR-750 ROADTEC RX68.

Recopilando información en la carpeta de proyecto elaborada por la empresa *Caminos y Obras Urbanas, S.A. de C.V. para la Junta de Caminos del Estado de México, en el segundo semestre del año 1998* del subtítulo "Trabajos por ejecutar" tenemos lo siguiente para los dos cuerpos laterales:

1. Se recortará la carpeta existente, mediante fresado en frío, con el equipo adecuado en un espesor de 25 cm, el material resultante del recorte se podrá utilizar en trabajos que indique la dependencia, como pueden ser en los terraplenes de los cuerpos centrales.

- Se recortará la base existente, en un espesor de 20 cm, el material producto del corte, se reutilizará estabilizándolo con cemento Portland en una proporción del 5% de su peso, en todo lo ancho de la calle lateral, compactándose esta capa al 95%, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 3.01.03.074 de las Normas para Construcción e Instalación a de la S. C. T.

✓ Para los carriles de aceleración y deceleración

De la misma carpeta de proyecto mencionada tenemos la siguiente información para construir la sección de los carriles de aceleración y deceleración (figura 111):

- Se recortará la carpeta existente, mediante fresado en frío, con el equipo adecuado en un espesor de 25 cm, el material resultante del recorte se podrá utilizar en trabajos que indique la dependencia, como pueden ser en los terraplenes de los cuerpos centrales.
- Se recortará la base existente, en un espesor de 20 cm, el material producto del corte, se reutilizará estabilizándolo con cemento Portland en una proporción del 5% de su peso, en todo lo ancho de la calle lateral, compactándose esta capa al 95%, de acuerdo con lo establecido en el capítulo 3.01.03.074 de las Normas para Construcción e Instalación a de la S. C. T.
- Con respecto a la subrasante, se cortará en un espesor de 20 cm y el material producto de corte se reutilizará, además de que se agregará material propio del banco de préstamo para alcanzar un espesor de 30 cm. Esta capa se compactará al 95% de su P.V.S.M.

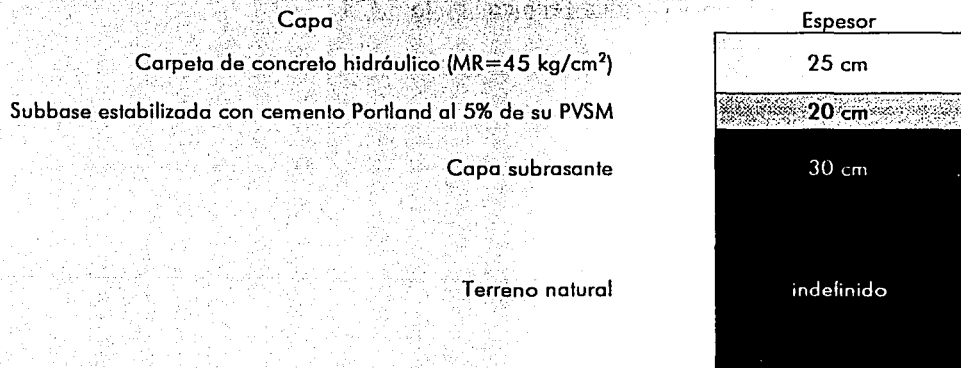


Figura 111.- Sección de proyecto a construir para los carriles de aceleración y deceleración.

✓ Para el tramo con capa rompedora de capilaridad

De la misma carpeta de proyecto mencionada tenemos la siguiente información para el tramo con capa rompedora de capilaridad (figura 112):

Del Km. 10+120 al Km. 10+530, se proyecta una estructura de pavimento con capa rompedora de capilaridad, para evitar acumulaciones de agua en la cimentación que puedan dañar las capas de la estructura en ese tramo, las capas que conforman el pavimento se describen a continuación:

- ✓ Una compactación del terreno natural del 90% a una profundidad de 15 cm.
- ✓ Sobre el terreno natural compactado, se coloca una malla geotextil para que sirva de apoyo a la capa rompedora de capilaridad.
- ✓ Capa rompedora de capilaridad. Deberá tener 50 cm de espesor y estar formada con material pétreo con tamaño máximo de agregado de 3".
- ✓ Sobre la capa rompedora de capilaridad se coloca una capa subyacente de 15 cm de espesor, compactada al 95% de su peso volumétrico seco máximo.
- ✓ Sobre esta capa, se coloca la capa subrasante que tiene 30 cm de espesor y está compactada al 100% de su peso volumétrico seco máximo.
- ✓ Luego se conforma la capa de subbase que tiene un espesor de 20 cm de espesor, estabilizada con cemento Portland al 5% de su P.V.S.M. y compactada al 100% de su P.V.S.M.
- ✓ Finalmente como superficie de rodamiento se construye una carpeta de concreto hidráulico con $MR=45 \text{ kg/cm}^2$ y 25 cm de espesor.

Los trabajos de pavimentación se deben ejecutar con base en lo que se establece en el Libro No. 4, de las Especificaciones Técnicas de la S.C.T.

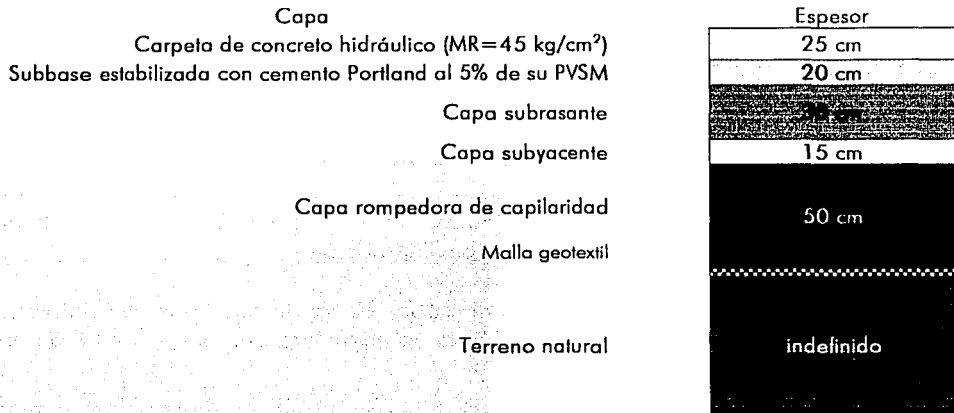


Figura 1.12.- Sección de proyecto a construir para el tramo con capa rompedora de capilaridad.

c) Ubicación y protección de instalaciones subterráneas.

Para que se cumplan todas las actividades que involucra una ciudad urbanizada, es necesario que tanto las instalaciones internas como las superficiales operen con efectividad.

Como ya sabemos, existen dos tipos de instalaciones en un pavimento urbano, las superficiales y las internas. Con respecto al papel que juegan en el momento de la construcción de la estructura del pavimento, cabe mencionar que es preciso ubicarlas horizontal y verticalmente para después protegerlas hasta el final del proceso constructivo.

Es por eso que la empresa que realice el proyecto ejecutivo de un pavimento urbano, deberá trabajar en conjunto con las empresas que lleven a cabo los proyectos de semaforización, telefonía, red de drenaje, etc. con el objeto de integrar a la estructura del pavimento, los elementos que formarán parte de la infraestructura de las instalaciones. Estos elementos pueden ser entre otros:

- ✓ Tubos para conducción de aguas negras.
- ✓ Tubos para protección de cableado de alta tensión.
- ✓ Tubos para protección de cableados para telefonía y semaforización.
- ✓ Registros, rejillas, cajones de concreto o metálicos para mantenimiento de las líneas de tubería o cableado.
- ✓ Rieles para vías de ferrocarril.
- ✓ Guarniciones y banquetas.
- ✓ Cimentaciones especiales de otros elementos como postes, puentes, etc.

La colocación de estos elementos deberán ser explicada rigurosamente en planos de detalles que se encuentren dentro del proyecto ejecutivo, y deberán ser elaborados de común acuerdo con las empresas responsables. También su construcción está regida por normas y especificaciones para su control de calidad.

Con respecto a los trabajos de construcción y colocación de instalaciones dentro de la estructura del pavimento, es recomendable que se ajusten al programa de trabajos de pavimentación, ya que todas sus actividades deberán estar terminadas para poder llevar a cabo las actividades propias de la pavimentación.

En el caso del paseo Tolloca, que como sabemos las instalaciones ya existían, fué necesario protegerlas durante la demolición de la estructura anterior, y también durante la construcción del nuevo pavimento.

Cabe mencionar que algunas instalaciones tuvieron algunas modificaciones con el fin de mejorar las condiciones de operación y los resultados de las mismas.

A continuación, de la figura 113 a la figura 122, se muestran algunas instalaciones que interactúan con el pavimento de concreto hidráulico de las laterales del paseo Tolloca.

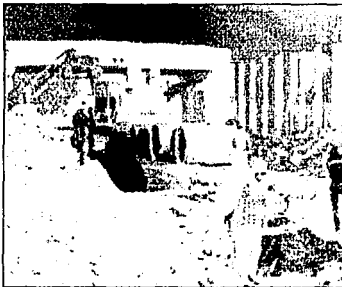


Figura 113



Figura 114



Figura 115

Colocación de tubería para el drenaje de la ciudad.

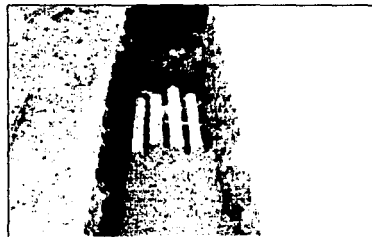


Figura 116.- Colocación de tubería para cableado de telefonía.

3.1 Obras preliminares

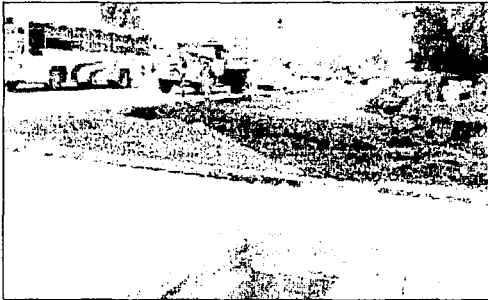
c) Ubicación y protección de instalaciones
subterráneas

Figura 117.- Caja de concreto para mantenimiento del drenaje.



Figura 118.- Construcción de boca de tormenta.



Figura 119.- Alcantarilla para recolección de aguas pluviales.

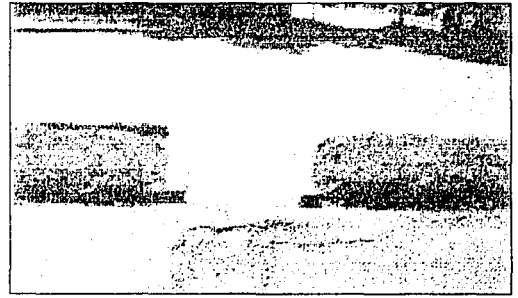


Figura 120.- Lavadero de concreto.



Figura 121.- Protección de una caja de registro durante el colado.



Figura 122.- Formación de un pozo de visita para el drenaje.

d) Trazo y nivelación del proyecto geométrico

Debido a que la nueva estructura del pavimento del paseo Tolloacan reemplazará al pavimento existente, los límites horizontales del trazo como son acotamientos, guarniciones y banquetas, se respetarán, facilitando así la construcción de la nueva sección. En el caso de alguna modificación de los trazos existentes, como los retornos continuos, será necesario entregar el pliego de planos que comprendan el proyecto ejecutivo. Asimismo y después de determinar los espesores que tendrán las nuevas secciones del pavimento, se procede a trazar y nivelar el terreno, en base a los siguientes planos:

1. Plano general de localización.- Este plano permitirá ubicar con exactitud el lugar donde se llevará a cabo la obra, donde podemos contar con: orientación del tramo, inicio y terminación del cadenamamiento, elevaciones con respecto al mar, intersecciones con calles avenidas, anchos de vía, etc.
2. Perfil topográfico longitudinal.- Este plano permitirá conocer (en cualquier punto de la vía) la pendiente longitudinal, elevaciones con respecto al nivel del mar, cambios de pendiente, la localización de las instalaciones, intersecciones, etc.
3. Secciones transversales de la vía.- Este plano contendrá las secciones de proyecto a cada 20.00 m con elevaciones determinadas que delimitarán verticalmente los espesores del nuevo pavimento.
4. Plano de instalaciones.- De este tipo de planos, existirán tantos como instalaciones existan en la vía, y deberán contener los datos de localización (en tres dimensiones) de los elementos a los que se refiera. Pueden ser instalaciones de: alta tensión, drenaje pluvial, drenaje de aguas residuales, instalaciones de telefonía, instalaciones de semaforización, fibra óptica, vías del ferrocarril, etc.
5. Planos de especificaciones y detalles.- Estos planos contienen de manera clara la información específica de algunos elementos que interactúan con el pavimento, como pueden ser: cimentaciones especiales, juntas de unión entre concreto y asfalto, ampliaciones, agujas de incorporación y desincorporación, guarniciones y banquetas, secciones típicas y especiales, etc.

A continuación se mostrarán algunos detalles típicos para la construcción de algunos elementos.

✓ Sección transversal para el pavimento de los dos cuerpos laterales

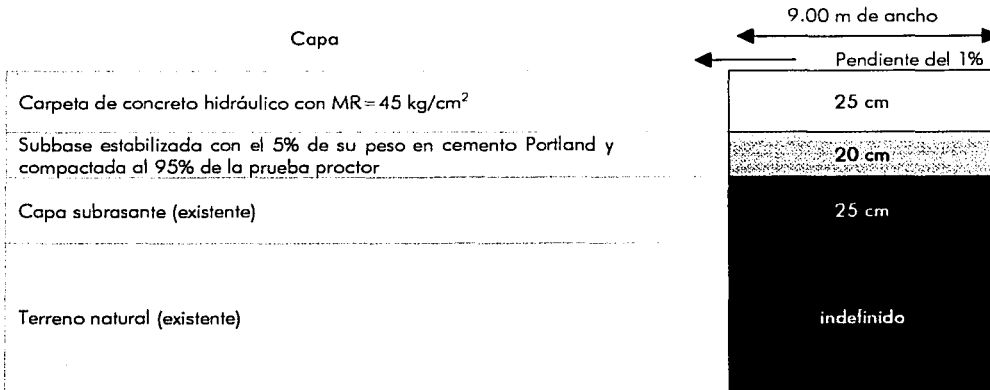


Figura 123.- Sección transversal para el pavimento de los dos cuerpos laterales.

✓ Sección transversal para el pavimento de los carriles de aceleración y deceleración (aguas de incorporación y desincorporación)

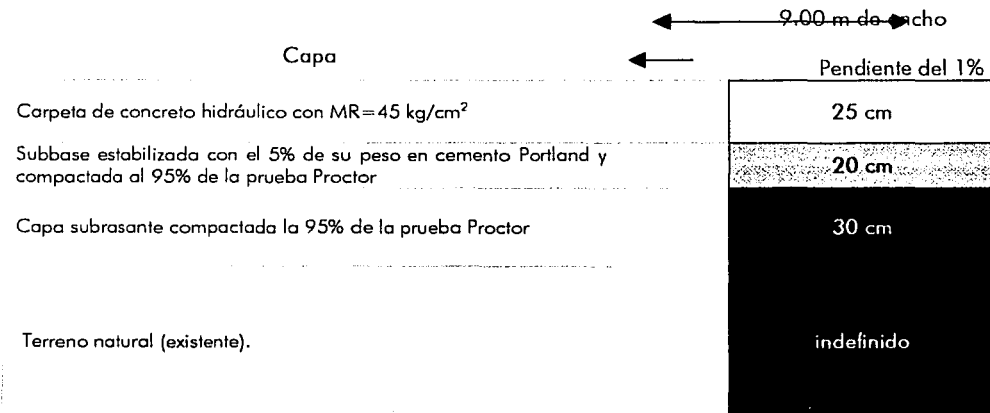


Figura 124.- Sección transversal para el pavimento de los carriles de aceleración y deceleración (aguas de incorporación y desincorporación)

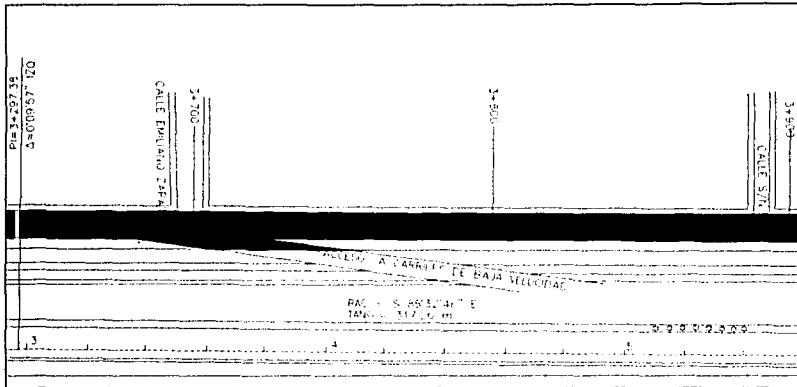


Figura 125.- Detalle del plano general de una aguja de desincorporación.



Figura 126.- Panorámica de una aguja de desincorporación.



Figura 127.- Al fondo se distingue el acceso a los carriles de alta velocidad (aguja de incorporación).

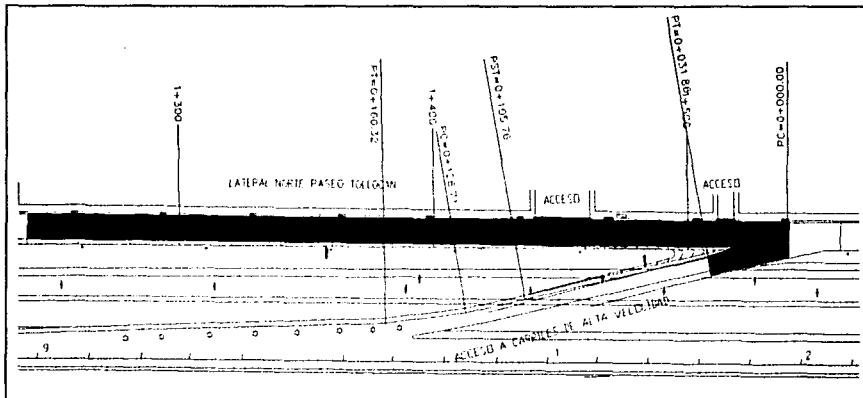


Figura 128.- Detalle del plano general de una aguja de incorporación.



Figura 129.- Junta entre pavimentos rígido y flexible de una aguja de desincorporación.

✓ Sección transversal para el pavimento del tramo con capa rompedora de capilaridad

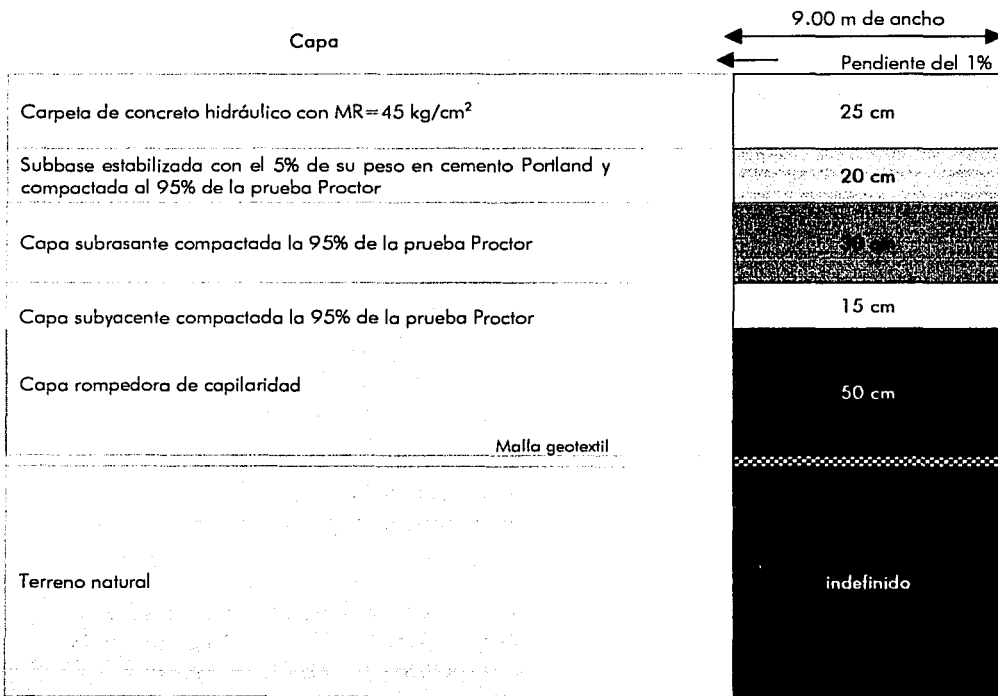


Figura 130.- Sección transversal para el pavimento del tramo con capa rompedora de capilaridad.

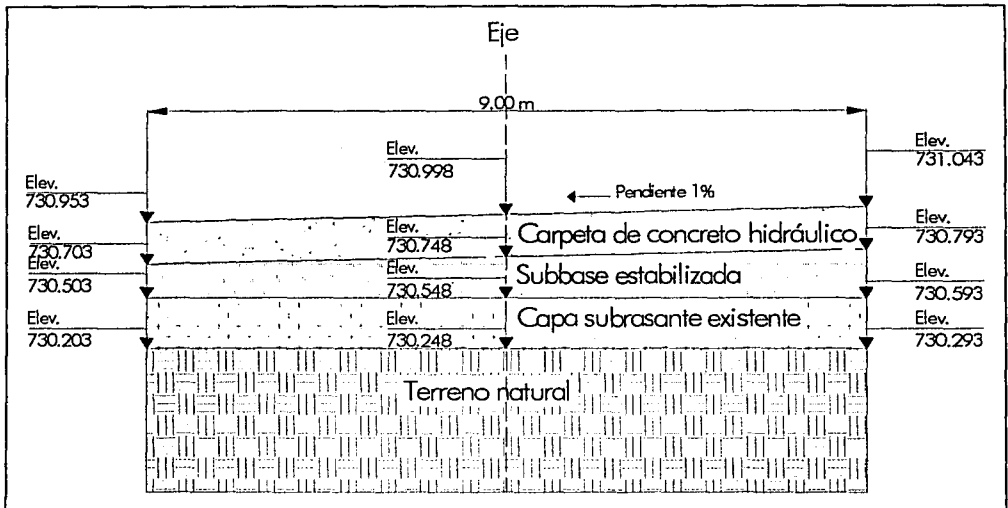


Figura 131.- La figura muestra una sección transversal típica del pavimento de concreto con sus respectivas elevaciones de cada una de las capas.

III.2 Construcción de la estructura del nuevo pavimento

a) Mejoramiento y compactación de la capa subrasante

Con respecto a esta capa de la estructura del pavimento existente, sabemos que se encontraba ubicada sobre el terreno natural y esta a su vez soportaba las capas de base y carpeta asfáltica. También recordaremos que según los sondeos de exploración, esta capa no existía en algunos tramos de la vía.

Si la carpeta de concreto asfáltico tenía un espesor promedio de 21 cm y la de base hidráulica uno de 19 cm, entonces la capa subrasante se encontraba a una profundidad de 40 cm promedio (figura 132).

Sabemos que su espesor promedio es de 26 cm y que con respecto a la calidad de la capa, cumple cabalmente con las normas establecidas por la SCT, por lo que seguirá participando como capa subrasante dentro de la estructura del nuevo pavimento.

Con respecto al mejoramiento de la capa, tenemos las siguientes instrucciones de la tabla 47 para los tres casos especiales de la rehabilitación de la vía:

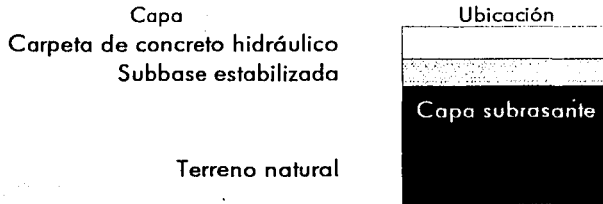


Figura 132.- Ubicación de la capa subrasante dentro de la estructura del nuevo pavimento.

Tabla 47
Mejoramiento de la capa subrasante según el proyecto

Caso especial	Espesor de proyecto	Mejoramiento
Para los dos cuerpos laterales	25 cm	Por contar la capa actual con 26 cm, solo se afinará y se recompactará al 95% de su P.V.S.M. Arriba de esta capa se tenderá la subbase estabilizada.
Para los carriles de aceleración y deceleración	30 cm	Se cortará en un espesor de 20 cm y el material producto de corte se reutilizará, además de que se agregará material propio del banco de préstamo para alcanzar un espesor de 30 cm y se compactará al 95% de su P.V.S.M. Arriba de esta capa se tenderá la subbase estabilizada.
Para el tramo con capa rompedora de capilaridad	30 cm	La construcción de la estructura para este caso es un poco más compleja por involucrar una malla geotextil. Empieza con una compactación al terreno natural del 90% a una profundidad de 15 cm. Sobre el terreno natural compactado, se coloca una malla geotextil para que sirva de apoyo a la capa rompedora de capilaridad, la cuál deberá tener 50 cm de espesor y estar formada con material pétreo de 3" TMA (figura 133), sobre la capa rompedora de capilaridad se coloca una capa subyacente de 15 cm de espesor, compactada al 95% de P.V.S.M. Sobre esta capa, se coloca la capa subrasante que tiene 30 cm de espesor y está compactada al 100% de su P.V.S.M. Sobre la subrasante se construirá la capa de subbase, la cuál soportará una carpeta de concreto hidráulico.



Figura 133.- Material con TMA de 3" para la formación de la capa rompedora de capilaridad.



Figura 134.- Material para la formación del cuerpo de terraplén con TMA de 8".



Figura 135.- Nivel de desplante sin mejorar ni compactar para la capa subrasante.

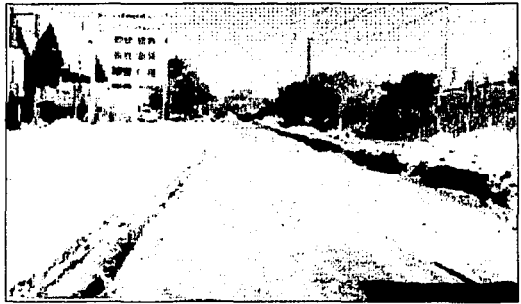


Figura 136.- Nivel superior compactado y mejorado de la capa subrasante.



Figura 137.- Trabajos de mejoramiento para la capa subrasante.

b) Tendido y compactación del material de subbase.

La construcción de esta capa es muy importante, ya que es el soporte de la carpeta de concreto hidráulico. Según el proyecto, la subbase será tratada y deberá contar con los espesores de la tabla 48 para cada caso especial:

Como sabemos, los resultados de los sondeos nos informaron que el material que operaba como base para la carpeta de concreto asfáltico existente no cumple con los requisitos de calidad especificados por la SCT para formar la capa de subbase, por lo tanto se retirará por completo y se sustituirá por material de banco.

Tabla 48
Mejoramiento de la capa de subbase según el proyecto

Caso especial	Espesor de proyecto	Mejoramiento
Para los dos cuerpos laterales	20 cm	Se construirá con material de banco que será estabilizado con cemento Portland al 5% de su peso y se compactará al 95% de su PVSM. Al final se le aplicará una emulsión asfáltica para impermeabilizar la superficie.
Para los carriles de aceleración y deceleración	20 cm	Igual al anterior.
Para el tramo con capa rompedora de capilaridad	20 cm	Se construirá con material de banco que será estabilizado con cemento Portland al 5% de su peso y se compactará al 100% de su PVSM. Al final se le aplicará una emulsión asfáltica para impermeabilizar la superficie.



Figura 138.- Nivel de desplante sin compactar para la subbase.



Figura 139.- Tendido de material de banco para formar la subbase .



Figura 140
Trabajos de extendido y compactación de material para subbase.



Figura 141



Figura 142
Estabilización de la subbase mediante la integración del cemento al material de banco.



Figura 143



Figura 144
Tramo compactado y estabilizado listo para recibir
el riego de sello con emulsión asfáltica.



Figura 145

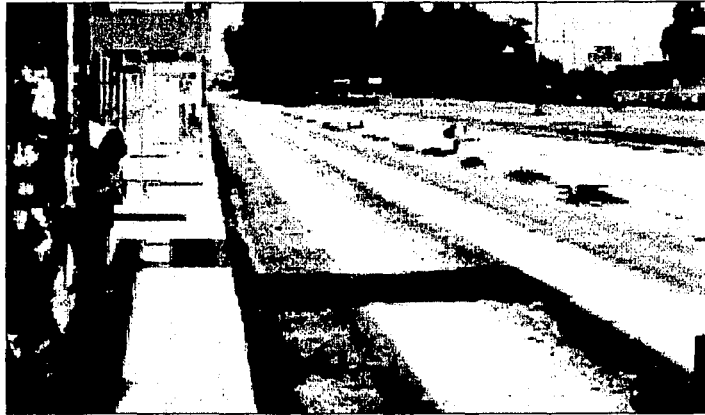


Figura 146.- Tramo de subbase listo para recibir el concreto hidráulico premezclado.

c) Cimbra metálica para el pavimento de concreto hidráulico premezclado.

1. Cimbra fija.

En proyectos de tamaños menores, como los proyectos denominados urbanos, en donde la producción del concreto se realiza en las plantas dosificadoras que se tienen instaladas en las ciudades, el procedimiento de construcción de pavimentos que comúnmente se utiliza es el de cimbra fija. Para este tipo de cimbra se utilizan equipos tales como: ⁷

- Rodillos compactadores para concreto (figura 147 y 148)
- Reglas vibratorias (figura 149)

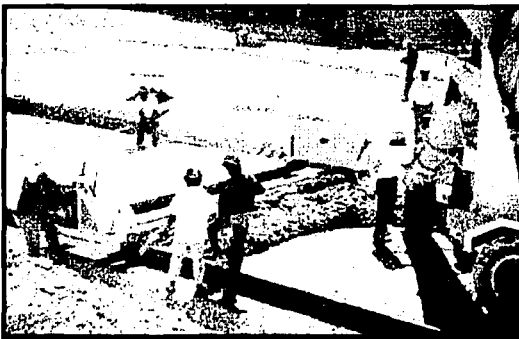


Figura 147

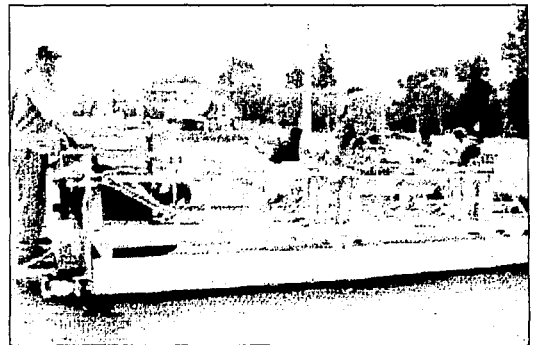


Figura 148

Rodillos compactadores para concreto.

Como en el paseo Tollocan, estos equipos también pueden ser auxiliares en tramos donde se estén llevando a cabo colados con cimbra deslizante, debido a que son muy versátiles para atacar tramos que contengan áreas irregulares, detalles de construcción muy rebuscados, o gran cantidad de instalaciones superficiales que impidan el paso constante de la pavimentadora con cimbra deslizante (figura 150, 151 y 152).

No es recomendable la utilización de reglas vibratorias para colados de espesores superiores a 20 cm. ¹⁰



Figura 149.-Regla vibratoria.

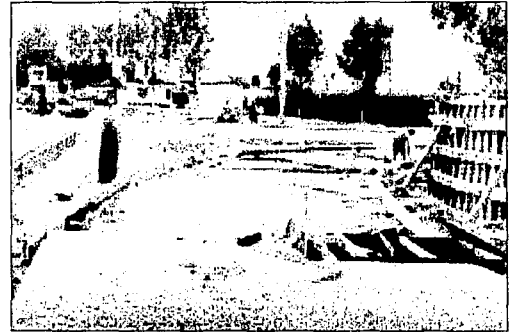


Figura 150.- Detalle de construcción de un retorno continuo.



Figura 151

Detalles de construcción en el colado de una vía.

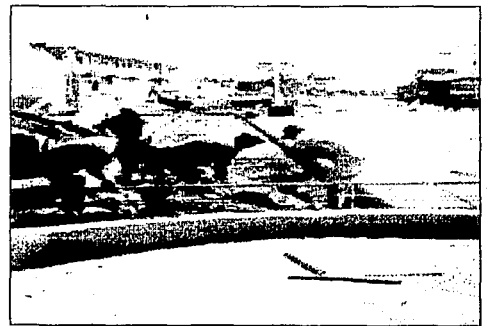


Figura 152

Los rendimientos con este tipo de cimbra y equipo son relativamente más bajos, pero sobre todo involucran un aumento en la mano de obra para realizar actividades previas y posteriores al colado tales como: colocación y nivelación de los módulos metálicos de cimbra, chequeo topográfico del alineamiento vertical y horizontal de los mismos, descimbra y acarreo de los módulos.

Generalmente los módulos metálicos de cimbra se fabrican en acero y sirven al mismo tiempo de molde para la losa y de rieles de circulación para los equipos de distribución (figura 153), de colocación en la obra y de acabado del concreto. Se fabrican en diferentes secciones, para los distintos espesores y tipos de pavimentos (figura 154).¹⁰

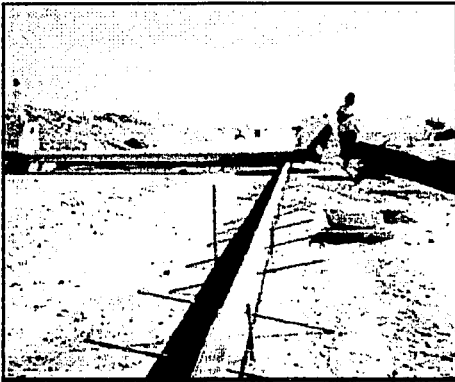


Figura 153.- Los módulos metálicos de cimbra regirán el alineamiento horizontal y vertical de las losas.

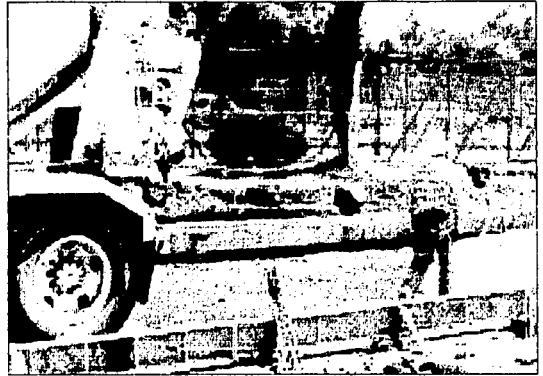


Figura 154.- El módulo metálico de cimbra sirve para enrasar la superficie del pavimento.

Cada módulo metálico de cimbra tiene una longitud de por lo menos 3.00 m y la zona de circulación no debe presentar defectos de más de 3 mm bajo la regla de 3.00 m.¹⁰

La rigidez vertical y transversal debe ser suficiente para que, bajo el peso de los equipos cargados, no se produzca ninguna deflexión perjudicial, que dañe a su vez al concreto fresco.¹⁰

La base de los módulos metálicos de cimbra, tendrá al menos 20 cm de ancho y cada elemento de estos se debe poder fijar al piso mediante estacas separadas entre sí a menos de 1.00 m.¹⁰

La rigidez de los módulos metálicos, la de las piezas de ensamblaje y la continuidad de los apoyos de los módulos en la subrasante, son las condiciones principales para obtener un buen perfil del pavimento.¹⁰

Los módulos se apoyan en la subbase del pavimento. Después de colocados, acoplados y fijados se les da una nivelación rigurosa y una fijación perfecta.¹⁰

El alineamiento de los módulos metálicos de cimbra, tanto en planta como en perfil, debe ser como lo indica el proyecto. No se deben observar diferencias en la altura, ni desviación en planta superior a 10 mm con relación al alineamiento teórico. Además,

en ningún punto se debe observar una flecha superior a 3 mm bajo una regla de 3.00m puesta sobre el riel de los módulos metálicos de cimbra. ¹⁰

Es conveniente revisar los niveles de la cimbra con equipo de topografía después de colocada la misma para garantizar un buen perfil longitudinal del pavimento. Se deberá de contar con una cantidad suficiente de tramos o módulos de cimbra para alcanzar avances significativos de colado continuo durante varias jornadas de trabajo. La cimbra deberá colocarse en franjas previamente establecidas para mantener las condiciones de igualdad superficial entre losa y losa. ⁷

El revenimiento apropiado para colocación del concreto con cimbra fija es para superficies planas con pendientes ligeras de 4 a 7 cm y para superficies con pendientes mayores al 8% de 8 cm. ⁷

Antes de descargar el concreto debe estar disponible una longitud mínima y alineada de módulos metálicos de cimbra. Esta longitud debe ser al menos la equivalente al avance de una hora de trabajo. Los módulos metálicos se deben aceitar en su parte interior, antes de iniciar el vaciado del concreto para que se puedan desprender fácilmente después del fraguado. ¹⁰

Si fuera necesario, la superficie de la capa de soporte se debe limpiar de todos los materiales excedentes, y si es necesario, realizar una compactación complementaria después de retirar los excedentes (figura 155). ¹⁰

En el instante previo al inicio de la descarga del concreto, la parte superior de la subbase se riega con agua, en cantidad suficiente para evitar que pueda absorber agua del concreto, pero evitando la formación de charcos (figura 156). ¹⁰

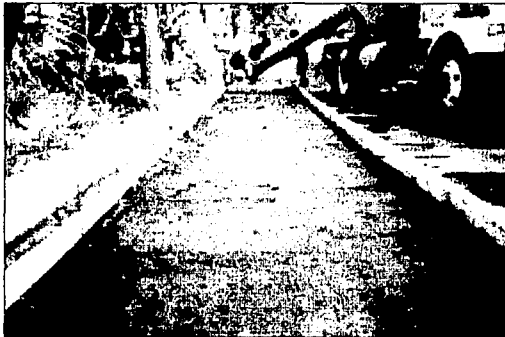


Figura 155



Figura 156

Tramos por colar con cimbra fija metálica. Se observa también una superficie limpia y ligeramente humedecida para recibir la descarga de concreto.

Cualquiera que sea la longitud de los módulos metálicos de cimbra y de la losa, el concreto se debe vibrar con la ayuda de vibradores internos para evitar la formación de huecos, pero su acción en un mismo sitio se debe limitar a máximo 30 seg para no permitir la segregación del concreto. ¹⁰

Al concreto compactado se le nivela la superficie conforme a los niveles que marca la cimbra, y se procede a darle acabado mecánicamente o a mano. ¹⁰

El retiro de los módulos metálicos de cimbra se puede realizar cuando el concreto tenga la dureza suficiente y los riesgos de daños como despostillamientos o marcas estén descartados (figuras 157 y 158). ¹⁰

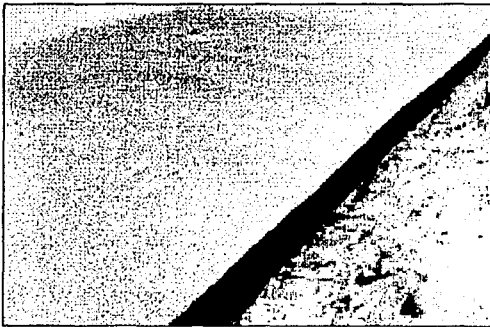


Figura 157



Figura 158

Tramo de pavimento de concreto hidráulico colado con cimbra metálica fija y rodillos compactadores de concreto.

2. Cimbra deslizante

Los colados de concreto para pavimento bajo este método son el resultado de alta tecnología, debido a que se llevan a cabo con maquinaria que trabaja con sensores de nivel electrónicos y además pueden realizar prácticamente todas las funciones que involucra un colado de concreto hidráulico para pavimento. De esta manera, los equipos con cimbra deslizante arrojan grandes rendimientos con poca utilización de mano de obra.

Este tipo de equipos también incluye dentro de sus funciones básicas las de extender, vibrar, nivelar y alinear el concreto de acuerdo a las especificaciones de cada obra. También pueden contar opcionalmente con las funciones de pulido, curado y texturizado.

A diferencia de los colados con el método de cimbra fija, los equipos que cuentan con cimbra deslizante se utilizan en colados masivos para calzadas o carreteras de gran longitud (figura 159).

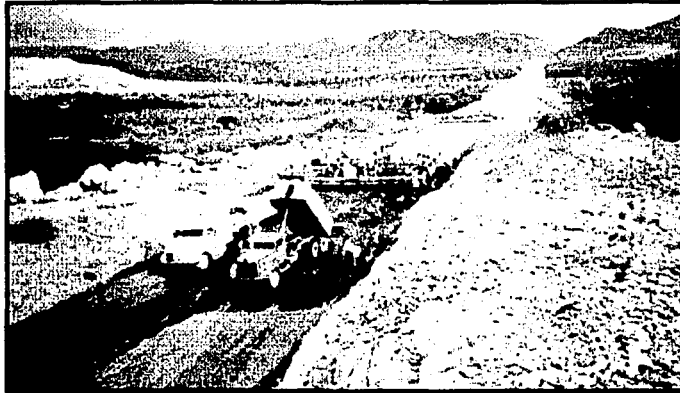


Figura 159.- Pavimentación de una carretera con equipo de cimbra deslizante.

El funcionamiento básico de los equipos de cimbra deslizante se indica a continuación:¹⁰

1. El concreto suministrado por los camiones transportadores de concreto se reparte uniformemente delante del equipo por un sistema doble de tornillo sinfin, o de una carreta que se desplaza hacia los lados en vaivén. ¹⁰
2. Luego se fluidifica el concreto con la ayuda de los vibradores de inmersión en número suficiente y por medio de tubos vibratorios. Esta vibración pone en movimiento los elementos sólidos del concreto, bota las burbujas de aire y así la compactación del concreto aumenta. ¹⁰
3. El concreto fluidificado se distribuye entre los módulos metálicos laterales deslizantes que se desplazan, a medida que el equipo avanza, deslizándose contra el concreto fresco que se acaba de colocar sobre la subbase, en la cara superior hay una viga que nivela el concreto. ¹⁰
4. Por último, si lo incluye el equipo, los dispositivos de pulido, texturizado y curado del concreto fresco harán lo correspondiente. ¹⁰

Estos equipos se montan sobre un chasis soportado por dos, tres o cuatro orugas mediante gatos hidráulicos. ¹⁰

Para permitir el trabajo de estos elementos en buenas condiciones y obtener una losa uniforme, el equipo se controla horizontal y verticalmente teniendo como referencia uno o más hilos tendidos entre soportes fijados a los lados de la vía, a una distancia determinada del eje y a una cota fija por encima del nivel calculado del borde de la losa.¹⁰

Para el caso del paseo Tollocan, según la carpeta de proyecto, se utilizó la pavimentadora con cimbra deslizante siguiente:¹

- Pavimentadora autopropulsada con cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER marca CMI modelo CHALLENGER 2000,450 (CMI-SF-450) (figuras 160, 161, 162 y 163). La ficha técnica de la pavimentadora se muestra en la tabla 49.¹

Tabla 49
Ficha técnica

Pavimentadora de 4 tracks (tipo Challenger 2000)

Capacidad de apoyarse en 3 ó 4 orugas.

Posibilidad de cero libramiento para colado contra guarniciones.

Colado monolítico de guarnición y/o banqueteta (opcional).

Colado de barrera central (opcional).

Con banda de alimentación de 61 cm de ancho (opcional).

Motor de 152 HP y 113 KW a 2,500 rpm.

Transmisión hidráulica hacia adelante y atrás.

Velocidad de pavimentación hasta 8.5 m/min.

Dirigida por sensores electrónicos de nivel horizontales y verticales.

Ancho de pavimentación variable de 2.40 m hasta 5.49 m.

Espesor máximo de pavimento 25.00 cm.

Altura de pavimentadora 2.54 m.

Sistema hidráulico.

Operación manual o automática.

Gusano frontal para movilización de cargas de concreto.

Vibradores de inmersión.

Peso aproximado 13.5 Ton.

Tanque de combustible de 265 lts.

Tanque de aceite hidráulico 144 lts.

Dimensiones durante el transporte: ancho 2.44 m; largo 6.48 m; altura 2.54 m.

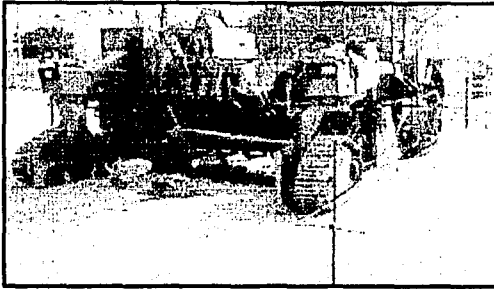


Figura 160

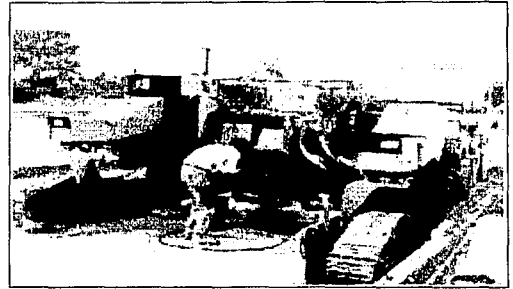
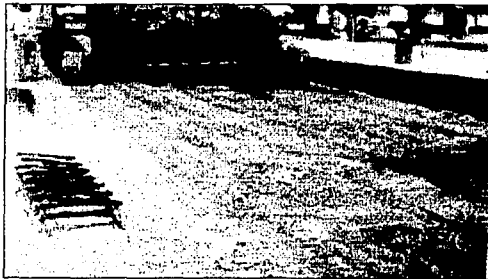


Figura 161

Pavimentadora Challenger 2000.

Figura 162.- Tramo listo para colar con la
pavimentadora de cimbra deslizante.Figura 163.- Inicio de un colado con la
pavimentadora de cimbra deslizante.

d) El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento.

Esta subinciso comprende los trabajos a realizar, para construir las losas que, en conjunto, formarán los pavimentos de concreto con cemento Portland, en las áreas y con la forma, dimensiones, resistencias, procedimientos, calidad, tolerancias y acabados indicados en el proyecto y/o ordenados por la Junta de Caminos del Estado de México.

Para explicar de manera detallada todo lo que involucra esta actividad, se ha ordenado la información de la siguiente manera:

1. Procedimiento constructivo.
2. Especificaciones generales.
3. Especificaciones particulares.
 - a. Agregados.
 - Grava (agregado grueso).
 - Arena (agregado fino).
 - b. Cemento.
 - c. Agua.
 - d. Aditivos.
 - e. Mezcla de concreto hidráulico.
 - Resistencia del concreto.
 - Revenimiento.
 - Relación agua/cemento.
 - Contenido de cemento.
 - Aire incluido.
4. Dispositivos de sujeción (barras de amarre).
5. Dispositivos de transferencia de carga (pasajuntas).
6. Tolerancias de construcción.
 - a. Alineamiento de las pasajuntas.
 - b. Espesor de la losa de concreto.
 - c. Espesor de la estructura del pavimento.
7. Criterios de medición y pago.

1. Procedimiento constructivo

La superficie sobre la que se colocará el concreto fresco deberá estar perfectamente limpia, ligeramente humedecida y libre de sustancias ajenas al concreto, terminada dentro de los niveles y tolerancias que más adelante se indican. Para el caso de los colados con cimbra deslizante, se utilizarán pavimentadoras autopropulsadas con cimbra deslizante del tipo SLIP FORM PAVER marca CMI modelo CHALLENGER

2000,450 (CMI-SF-450) (figuras 164 y 165), buscando cubrir longitudes de 500.00 m o más para evitar al máximo las juntas de construcción. La pavimentadora deberá proporcionar un pavimento denso y homogéneo con los requisitos de rasante, tolerancias y sección transversal de acuerdo a las especificaciones de proyecto. El terminado final deberá lograrse mientras el concreto está aún en estado plástico.

Debido al colado de detalles pequeños, reemplazo de losas de concreto, o colado de ventanas pendientes, también se podrán extender el concreto con rodillos compactadores de concreto (figuras 166 y 167) ó con regla vibratoria en los tramos que se requiera; de la misma manera se podran realizar colados a mano (figuras 168 y 169).

Para que sea autorizado el colado de las losas de concreto para el pavimento, se deben cumplir los requisitos solicitados de la capa de soporte (subbase), como son: grado de compactación, pendientes: transversal y longitudinal, localización de instalaciones superficiales y subterráneas, etc.

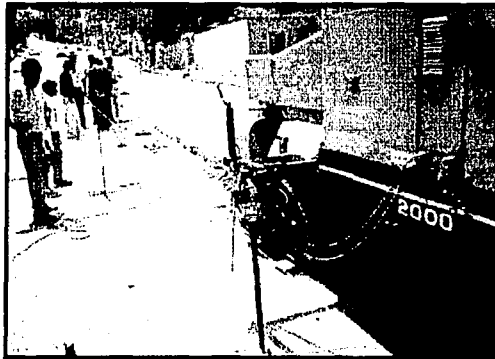


Figura 164



Figura 165

Pavimentadora Challenger 2000 con sensores de nivel electrónicos y cimbra deslizante.

2. Especificaciones generales

Regirán las "Especificaciones Generales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)", las "Normas para Construcción e Instalaciones", las "Normas de Calidad de los Materiales" y las "Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras" de la misma secretaría; para el caso particular de la construcción de las losas de concreto tenemos:

- Título 3.01.02
- Capítulo 26 Concreto hidráulico
- Título 3.01.03
- Capítulo 85 Acarreos de materiales para pavimentos
- Título 4.01.02
- Capítulo 4 Materiales para concreto hidráulico
- Título 4.01.03

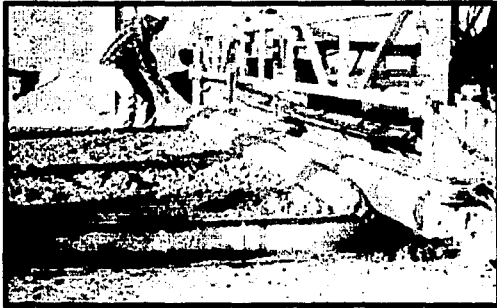


Figura 166
Rodillos compactadores de concreto sobre cimbra fija.



Figura 167



Figura 168



Figura 169

Colocación manual del concreto.

3. Especificaciones particulares

3. a. Agregados

En la elaboración de la mezcla y en la construcción de las losas de concreto hidráulico del pavimento, se emplearán materiales que en lo general cumplan con lo establecido en los Capítulos 4.01.02.004 y 4.01.02.005 de las "Normas de Calidad de los Materiales" editadas por la S.C.T. debiendo cumplir con los requisitos de calidad que a continuación se señalan:

Estos materiales se sujetarán al tratamiento o tratamientos necesarios para cumplir con los requisitos de calidad que se indica en cada caso, debiendo el contratista prever las características en el almacén y los tratamientos necesarios para su utilización. El manejo y/o almacenamiento subsecuente de los agregados, deberá hacerse de tal manera que se eviten segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y de que se mantenga una condición de humedad uniforme, antes de ser utilizados en la mezcla. ¹

Reactividad de los agregados con los álcalis del cemento.- Los agregados no deberán contener sustancias que reaccionen con los álcalis del cemento en una cantidad tal que cause la expansión excesiva del concreto. ¹

Para garantizar que los agregados no contengan sustancias deletéreas se deberá hacer un análisis petrográfico mediante la prueba ASTM C 295, si mediante esta prueba se detectan minerales potencialmente reactivos, se deberá realizar la prueba ASTM C 289. ¹

En caso de que los agregados presenten contenidos de carbonato de calcio, magnesio o hierro, usuales en calcitas dolomitas, magnesitas y sideritas o silicatos de magnesio tales como serpentina se deberá realizar la prueba ASTM C 227. ¹

- Grava (agregado grueso)

Los agregados gruesos y finos constituyen en conjunto cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto, por lo que su calidad influye directamente en la trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía de la mezcla. ⁵

Las gravas deben responder a criterios de pureza, de forma y dureza. Estas gravas no deben ser sensibles a los agentes atmosféricos, especialmente al aumento del volumen en presencia del agua, y no deben contener más del 6% de elementos alterados, blandos ó frágiles. ¹⁰

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de agregado comprendido entre 4.75 y 50 mm, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y podrá contar con una secuencia granulométrica como la que se muestra en la tabla 8 de la página 37. ¹

Con objeto de obtener concretos de alta calidad, facilitar su construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial, el tamaño máximo recomendado del agregado grueso para el concreto es de 2" (5 cm) que no debe ser mayor de la cuarta parte del espesor de la capa en que se va a utilizar. Debe también mencionarse que a mayor tamaño máximo, se requiere menor cantidad de pasta de

cemento y, por lo tanto, menor consumo de cemento para alcanzar la resistencia requerida.⁵

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la tabla 9 de la página 37.¹

El agregado grueso además, deberá cumplir con los requisitos de calidad de la tabla 10 de la página 38.¹

- Arena (agregado fino)

El agregado fino constituye cerca del 50% del volumen total de los agregados, y esta compuesto por partículas menores de 4.76 mm (malla No.4). El contenido de agregado fino tiene influencia sobre la dosificación, aspereza de la mezcla, propensión al sangrado y costo. La arena deberá contar con la secuencia granulométrica de la tabla 11 de la página 38.⁵

La arena debe ser pura, y en particular, exenta de arcilla, limo y otras sustancias peligrosas susceptibles de hidratarse en presencia de agua.¹⁰

Como casi nunca se recubre el pavimento de concreto con otro material, la parte fina, en especial la fracción menor que 1 mm, debe ser resistente al desgaste.¹⁰

Por otra parte, investigaciones recientes relativas a las condiciones adecuadas de microtextura han demostrado que es muy importante la dureza de las partículas con tamaños entre 0.1 y 1 mm, por lo que se recomienda la presencia de 30% de partículas silíceas, cumpliendo con la especificación ASTM D 3042.⁵

La arena no deberá tener un retenido mayor de 45% entre dos mallas consecutivas y además deberá cumplir con los requisitos de calidad de la tabla 12 de la página 38.¹

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los límites de la tabla 13 de la página 39.¹

3. b. Cemento

A continuación se mencionan los tipos de cemento existentes, ya que en algunos casos se requerirá de alguno de ellos:

Tipo I "Normal".- Es un cemento para empleo general. ⁵

Tipo II "Calor moderado".- Este cemento es empleado en pavimentos donde compuestos químicos tales como sulfatos están presentes en concentraciones mayores que las normales. Este tipo de cemento generará menor cantidad de calor, y su desarrollo de resistencia será más lento que el cemento tipo I. ⁵

Tipo III "Rápida resistencia".- Con este tipo de cemento se alcanzan altas resistencias en periodos cortos, generalmente una semana ó menos, y puede utilizarse en pavimentos de apertura rápida al tránsito (*fast track*) por ejemplo. ⁵

Tipo IV "Bajo calor de hidratación".- Este cemento se emplea cuando la cantidad y el ritmo de calor generados por el cemento deben ser minimizados. Se utiliza generalmente en colados masivos. ⁵

Tipo V "Resistente a los sulfatos".- Este cemento se emplea cuando el concreto va a quedar expuesto a la acción severa de sulfatos. ⁵

Cementos Portland puzolánicos y de escoria de alto horno.- Actualmente se están desarrollando técnicas para el mejor empleo de las puzolanas, tales como las cenizas volantes y los materiales cementantes producto de la escoria de alto horno, con lo cual se fabricarán cementos constituidos por mezclas de cemento portland con los materiales citados. Así se obtienen, entre otros, los dos tipos de cemento que se indican más adelante, los cuales permiten aprovechar sus propiedades cementantes, emplear menos cemento portland en el concreto y lograr resultados similares o mejores que los obtenidos con el uso de cemento normal en trabajos de pavimentación. Entre las ventajas que suelen obtenerse al emplear mezclas de cemento portland con dichas adiciones activas figuran el mantener lo más bajo posible al calor de hidratación, inhibir la reacción álcali-agregado, moderar el ataque de sulfatos y obtener una gran economía en zonas donde las puzolanas son notoriamente más baratas que el cemento, al cual llegan a sustituir hasta en 35% en peso. ⁵

Cemento Portland puzolánico, tipos IP e IPM.- Se fabrican mezclando cenizas volantes o puzolanas antes de la molienda. El sufijo M denota que el cemento desarrolla moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación. ⁵

Cemento Portland con escoria de alto horno tipos IS e ISM.- Están constituidos por una mezcla hecha a base de cemento Portland, cemento de escoria producido de la molienda de escoria de alto horno rápidamente enfriada. El sufijo M denota el efecto ya indicado. ⁵

Para el caso del paseo Tolloccan, según las especificaciones de la Junta de Caminos del Estado de México, se empleará cemento Portland tipo I, II, o bien cemento puzolánico

del tipo IP, que cumplan respectivamente, con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02,004-C de las Normas de Calidad de los Materiales de la SCT.¹

3. c. Agua

Es importante para el desarrollo de la hidratación del cemento y como lubricante, además no debe contener impurezas que puedan interferir en la hidratación del cemento, retardando el fraguado y reduciendo la resistencia del concreto, principalmente.⁵

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites grasas, materia orgánica, etc. Asimismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la tabla 50, en partes por millón:¹

Tabla 50
Sustancia perjudiciales permisibles en el agua

Sustancias perjudiciales	ppm, máximo
Sulfatos (convertidos a Na_2SO_4)	1,000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1,000
Materia orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1,500

3. d. Aditivos

Un aditivo es un producto que incorporado en pequeñas cantidades dentro del concreto o el mortero en el momento de su mezcla, o extendido sobre la superficie de los mismos, cuando están aún en estado plástico, provocan modificaciones inherentes a sus propiedades habituales o a su comportamiento. Su empleo no debe deteriorar a largo plazo las características del concreto ó mortero. Se trata en general de productos químicos muy activos. Las normas establecen por lo general un empleo del 0.5% o menos del peso del cemento. Los aditivos más frecuentemente utilizados son:¹⁰

- **Inclusores de aire.**- Introducen microburbujas de aire en la mezcla de concreto, que mejoran su trabajabilidad en estado plástico y la durabilidad. Su eficacia puede ser afectada por los siguientes factores: concentración del aditivo; presencia de otros aditivos; tiempo y velocidad de mezclado; contenido de agua; granulometría y forma de los agregados; temperatura; contenido de cemento y de finos.⁵

- Reductores de agua.- Minimizan las cargas eléctricas entre las partículas de cemento, disgregándolas y dispersándolas en la mezcla, reduciendo en consecuencia la cantidad de agua requerida y mejorando la eficacia del cemento, sin afectar la trabajabilidad e incrementando inclusive la resistencia del concreto. Hay aditivos reductores de agua que retardan o aceleran el tiempo de hidratación del cemento. ⁵
- Retardantes de fraguado.- Pueden retardar significativamente el tiempo de fraguado del concreto, y se emplean por lo regular en trabajos de clima cálido, o cuando el concreto se coloca en dos capas y se desea evitar juntas frías entre ellas. ⁵
- Acelerantes del fraguado.- Se utilizan cuando se requiere que el concreto alcance rápidamente el fraguado inicial y/o una rápida resistencia. generalmente se utiliza en climas fríos para acelerar el fraguado del concreto y minimizar el tiempo durante el cual debe ser protegido contra temperaturas de congelamiento. También se utiliza en colados que requieren una rápida apertura al tránsito. ⁵
- Reductores de agua de alto rango.- Se conocen también como superfluidificantes y se emplean en trabajos de pavimentación en los que se utilicen métodos manuales o se requieran concretos autonivelantes. Mejoran notablemente la trabajabilidad de la mezcla. ⁵
- Aditivos puzolánicos.- El aditivo más frecuente de este tipo es la ceniza volante, que reacciona químicamente para formar un compuesto cementante y se emplea en combinación con el cemento, reemplazando una determinada cantidad de éste, con un ahorro en el costo. Ayuda también a mejorar la trabajabilidad de la mezcla cuando existe una deficiencia en el contenido de agregados finos, a aumentar la resistencia, y a minimizar la reacción de los álcalis del cemento. ⁵

Para el caso de el paseo Tollocan, tenemos que:

Podrán emplearse aditivos del tipo reductores de agua y retardantes del fraguado, con la dosificación requerida para que el fraguado inicial de la mezcla a la temperatura estándar de 23° C no se produzca antes de 2 ni después de 4 horas a partir de la finalización del mezclado. Sus características deberán estar en conformidad con los requisitos de calidad indicados en la cláusula 4.01.02.004-H de las Normas de Calidad de los Materiales de la SCT. ¹

Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla también se podrá utilizar un aditivo inclusor de aire, con los requisitos que señala la cláusula 4.01.02.004-4, de las Normas de Calidad de los Materiales de la SCT. ¹

3. e. Mezcla de concreto hidráulico

El concreto deberá ser premezclado profesionalmente y deberá ser suministrado de manera continua para el tramo preparado, según el programa diario de colado para evitar al máximo las juntas frías y la detención del equipo de pavimentación, lo cual afectaría la calidad de la superficie.¹

El diseño de la mezcla quedará a cargo del contratista y será propuesto a la dependencia, cuya aprobación no liberará al contratista de la obligación de obtener en obra la resistencia y todas las demás características para el concreto fresco y endurecido así como los acabados de la obra. Durante la construcción, la dosificación de la mezcla de concreto hidráulico se hará en peso y su control durante la elaboración se hará bajo la responsabilidad exclusiva del contratista.¹

- Resistencia del concreto

La resistencia del concreto se determinará mediante ensayos de tensión por flexión realizados a especímenes de 15 x 15 x 60 cm, que serán modelados durante el colado del concreto, compactando las muestras por vibrocompresión. Una vez curados adecuadamente los especímenes, se ensayarán conforme al procedimiento establecido en la Norma ASTM C-78.¹

Se deberán obtener 4 especímenes para la prueba de tensión por flexión por cada 150 m³ o fracción del concreto colado en un día, siguiendo el procedimiento establecido en la Norma ASTM C 172. Dos especímenes serán ensayados a los 7 días de edad y los otros dos a los 28 días.¹

Cuando la resistencia del concreto a temprana edad limite la apertura del pavimento al tránsito, podrá ser necesario obtener especímenes adicionales.¹

La dependencia podrá rechazar cualquier valor individual de resistencia a la tensión por flexión en cada grupo de 10, por considerarlo no representativo cuando difiera del promedio de todo el grupo en más o menos 10 % y procederá a calcular el promedio con los valores restantes.¹

La dependencia podrá solicitar la realización de algún otro tipo de pruebas para determinar la resistencia del concreto. En el caso de requerir la determinación del módulo de elasticidad y/o la resistencia a la compresión, se obtendrán 2 especímenes por cada una de esas pruebas, simultáneamente a los especímenes para la prueba de tensión por flexión, es decir, por cada 150 m³ ó fracción del concreto colado en un día.¹

Se considera que un concreto hidráulico cumple con el requisito de resistencia fijada en el proyecto cuando se verifique lo siguiente:

- Que el promedio de la resistencia a la tensión por flexión, de cada 5 especímenes consecutivos, sea igual o mayor que la resistencia a la tensión por flexión fijada en el proyecto, a los 28 días de edad.
- Que en los mismos 5 especímenes a que se refiere el subpárrafo anterior, cuando menos cuatro tengan una resistencia igual o mayor que el 90% de la resistencia fijada en el proyecto para lo 28 días de edad.

En el caso de que el concreto no cumpla las dos solicitudes anteriores, las losas coladas con esa mezcla serán demolidas y se rediseñará la mezcla hasta alcanzar los valores establecidos de resistencia.

- Revenimiento del concreto

El concreto utilizado en pavimentación debe evitar tener agua en demasía que produzca un sangrado excesivo durante su colocación, y grietas de contracción al endurecer, aunque sin afectar la trabajabilidad y compactación del concreto. por esta razón es que, en general, se especifican revenimientos bajos para este tipo de concreto, como se indica en la tabla 51.⁵

Tabla 51
Revenimientos recomendados en el concreto

Tipo de construcción	Revenimiento recomendado (cm)
Con cimbra deslizante	1.00 a 6.00
Con cimbra fija	4.00 a 7.00
Colocación manual	10.00 máximo

Los factores que afectan el revenimiento son, entre otros: contenido de agua, granulometría y relación de agregado grueso a fino, forma y textura del agregado, uso de aditivos, y temperatura.⁵

Para el caso particular del paseo Tollocan se tiene que:

- ✓ Cuando sean colados con cimbra deslizante

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de 4 cm al momento de su colocación, nunca deberá ser menor de 2.5 cm ni mayor de 6 cm. Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como banquetas y guarniciones y no se permitirá su colocación para las losas de concreto.

- ✓ Cuando sean colados con cimbra fija, ya sea con rodillos compactadores de concreto, reglas vibratorias o manualmente

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá ser de $8\text{cm} \pm 2\text{cm}$ al momento de su colocación.

- Relación agua/cemento

Con objeto de controlar el contenido de agua, así como alcanzar las resistencias de proyecto, y la durabilidad deseada del concreto, se limita la relación agua/cemento debiendo tenerse en cuenta que, en general, la relación agua/cemento debe ser la menor posible, ubicandose entre 0.46 y 0.54.⁵

La carpeta de proyecto del paseo Tollocan dice lo siguiente:

Cuando el promedio de la resistencia a la tensión por flexión a los 7 días de edad de los espécimenes, calculado con los valores obtenidos en diez de los últimos ensayos realizados con una misma relación agua-cemento del concreto, resulte menor al valor mínimo de la resistencia a esa edad por más de 4%, deberán realizarse ajustes en la relación agua-cemento y en el diseño de la mezcla en general, incluyendo el consumo unitario de cemento si fuera necesario.¹

Si la resistencia de las muestras obtenidas durante 3 días continuos de producción presentan consistentemente una diferencia significativa con la resistencia mínima especificada a pesar de estar dentro de los límites indicados previamente, deberán realizarse ajustes en la relación agua-cemento y en el diseño de la mezcla en general, incluyendo el consumo unitario de cemento si fuera necesario.¹

La relación agua-cemento utilizada en el diseño de la mezcla para concreto premezclado del pavimento del paseo Tollocan, fué responsabilidad de la planta de concreto que elaboró la mezcla, en este caso fué CEMEX, y los valores para la relación agua cemento que utilizó fueron variando de acuerdo a los resultados de su laboratorio de resistencia de materiales, cumpliendo estrictamente con los requisitos de la mezcla de concreto señalados por la Junta de Caminos del Estado de México.

- Contenido de cemento

Para obtener concretos de gran durabilidad, resistentes a la acción de tránsito y de los factores ambientales, se recomienda que, como mínimo el contenido de cemento sea de 300kg/m^3 .⁵

- Aire incluido

Es conveniente la presencia de aire incluido en el concreto para aumentar su trabajabilidad cuando está fresco y proporcionarle mayor durabilidad y resistencia a los factores ambientales, debiendo estar presente en una proporción no mayor del 6% de la mezcla, aunque también se relaciona con el tamaño máximo del agregado según la tabla 52.⁵

Tabla 52
Contenido de aire incluido en mezclas de concreto

Tamaño máximo del agregado (cm)	Aire incluido (%)
3.8 - 5.0	5 ± 1
2.0 - 2.5	6 ± 1
0.9 - 1.3	7.5 ± 1

4. Dispositivos de sujeción (barras de amarre)

En las juntas que muestra el proyecto y/o en los sitios que indique la dependencia, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas. Las barras serán varillas corrugadas de acero estructural de 1/2" (12.7 mm) de diámetro y 75 cm de longitud, con límite de fluencia $f_y=4,200 \text{ kg/cm}^2$, debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto (figuras 170, 171 y 172).¹



Figura 170



Figura 171



Figura 172

Barras de amarre a lo largo de una junta longitudinal.

Las barras de amarre deberán colocarse en las juntas longitudinales en forma perpendicular a estas separadas a cada 75 cm a lo largo de la junta de construcción longitudinal, de tal manera que queden unidas las dos franjas de pavimentación como se muestra en las figuras 174 y 175. Las barras de amarre deberán mantenerse en posición paralela a la superficie del pavimento y a la mitad del espesor de la losa. Cuando las barras de amarre se coloquen en juntas de construcción, éstas deberán doblarse.¹

5. Dispositivos de transferencia de carga (pasajuntas)

En las juntas transversales de contracción, de construcción, y en los sitios que indique la dependencia, se colocarán pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes según la figura 173. Las barras serán de acero redondo liso de 1 1/4" (31.75 mm) de diámetro por 46 cm de longitud separadas a cada 30 cm a lo largo de las juntas transversales de contracción y de construcción y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto (figura 174 y 175). Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 grado 60 ($f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$) y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por la dependencia.¹

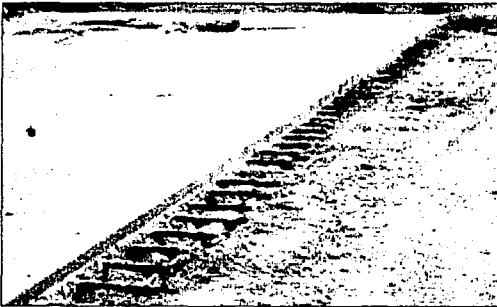


Figura 173.- Barras pasajuntas a lo largo de una junta transversal.

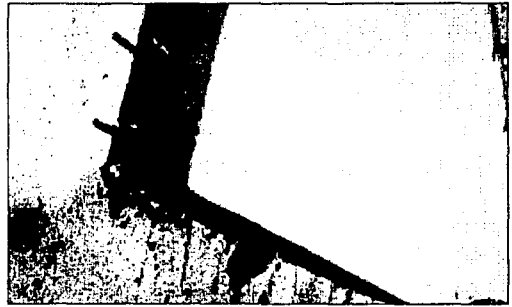


Figura 174.- En la foto se aprecian las barras de amarre y las barras pasajuntas.

Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, más no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.¹

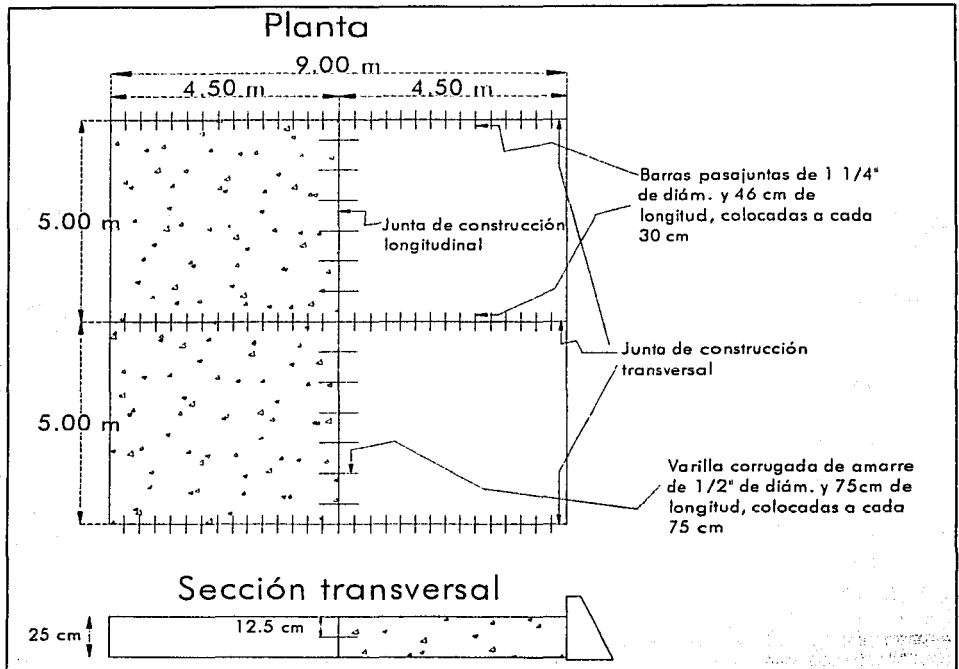


Figura 175.- Colocación de barras de amarre y barras pasajuntas.

6. Tolerancias de construcción

Para dar por terminada la construcción de las losas de concreto hidráulico se verificarán el alineamiento, la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el proyecto y/o lo ordenado por la dependencia con las tolerancias que marca la tabla 53: ¹

Con la finalidad de conocer el estado de la irregularidad de la superficie de rodamiento, se efectuarán las mediciones necesarias con equipo de alto rendimiento y precisión, que cumpla con las normas ASTM E-950. El equipo deberá recorrer todos los carriles de circulación a las velocidades de operación de la vialidad. El IRI se calculará a cada 20.00 m.

Tabla 53
Tolerancias de construcción para las losas de concreto

Pendiente transversal con respecto a la del proyecto	$\pm 0.5\%$
Anchura de la superficie, del eje a la orilla	± 1 cm
Espesor de las losas con respecto al de proyecto, para cada tramo de 500.00 m de longitud	0.5 cm
Resistencia al rozamiento	0.7 mínimo
Índice de perfil para cada tramo de 200.00 m de longitud	16 cm/km máximo
Profundidad de las depresiones observadas con regla de 3.00 m en cualquier dirección	0.5 cm máximo
IRI (índice de irregularidad superficial)	12 m/km máximo

6.a. Alineamiento de las pasajuntas

Se deberá revisar la posición y alineamiento correcto de las pasajuntas. La tolerancia máxima permisible en el alineamiento de las pasajuntas no deberá exceder del 2% o 6mm por cada 300 mm en el plano horizontal y vertical. ¹

6.b. Espesor de la losa de concreto

Se deberán extraer núcleos del pavimento de concreto en los lugares especificados por la dependencia después de que se hayan llevado a cabo todas las correcciones requeridas y antes de que se efectúe la aceptación final del pavimento. El espesor del pavimento se deberá determinar siguiendo los lineamientos de la especificación ASTM C 42 y ASTM C 174. ¹

Para el propósito de establecer un precio unitario ajustado del pavimento, se considerarán unidades de 500.00 m de longitud en cada carril de circulación. ¹

La dependencia extraerá un núcleo del pavimento por cada tramo de 500.00 m en cada carril de circulación en el lugar especificado o seleccionado aleatoriamente. Cuando el espesor del pavimento medido según los lineamientos de la especificación ASTM C 174 no sea deficiente en más de 5 mm con respecto al especificado en los documentos de construcción, se efectuará el pago completo de la unidad. Cuando el espesor del pavimento sea suficiente en más de 5 mm, pero en menos de 20 mm, se deberán obtener 2 núcleos adicionales dentro del tramo en estudio a costo del contratista. Los 2 núcleos adicionales para cualquier unidad de 500.00 m deberán ser obtenidos a intervalos no menores que 150.00 m. Si el promedio del espesor de losa obtenido de los 3 núcleos no es deficiente en más de 5 mm, se efectuará el pago completo de la unidad, En el caso de que el promedio del espesor de losas obtenido a

partir de los 3 núcleos sea deficiente en más de 5 mm, pero no menos que 20 mm, se pagará un precio ajustado de la unidad según se indica en la tabla 54 de Ajuste de precio por espesor de estas especificaciones, empleando para esto el espesor de lasas promedio obtenido a partir de los 3 núcleos de concreto. ¹

El pago de lasas de concreto para cada tramo de análisis de 500.00 m por carril se efectuará de acuerdo a la siguiente tabla de tolerancias. La diferencia en espesor determinada por núcleos será el resultado de aplicar lo procedimientos anteriormente descritos por cada tramo de análisis de 500.00 m por carril de circulación. ¹

Tabla 54
Ajuste de precio por espesor

Deficiencia en espesor de losa determinada por núcleos por cada tramo de 500 m	Factor de ajuste aplicable sobre el precio unitario contratado
De 0.0 a 5.0 mm	1.00
De 5.1 a 7.5 mm	0.85
De 7.6 a 10.0 mm	0.75
De 10.1 a 12.5 mm	0.65
De 12.6 a 20.0 mm	0.50
De 20.1 a 25.0 mm	0
Mayor que 25.0 mm o 1/8 del esp. de proyecto	Sustituir

Cualquier área del pavimento que sea deficiente por más de 20 mm, pero no por más del valor mayor entre 25 mm o un 1/8 del espesor indicado en los documentos de construcción no será sujeta de pago al contratista.

Cualquier área de pavimento que se encuentre deficiente en más de 25 mm o 1/8 del espesor indicado de la losa en los documentos de construcción lo que sea mayor, deberá ser removida y reemplazada con concreto del espesor indicado en los documentos de construcción sin que el contratista reciba pago alguno por los trabajos adicionales.

6.c. Espesor de la estructura del pavimento

Para la aceptación final de lasas de concreto, deberá verificarse que los espesores promedio realmente obtenidos en toda la estructura del pavimento, sean iguales que los correspondientes de proyecto, con las tolerancias que se indican en la tabla 55: ¹

Tabla 55
Tolerancias de espesor para la estructura del pavimento

Capas	Tolerancia
Subbase	- 1.0 cm
Estructura total del pavimento (subbase + losa)	- 1.0 cm

7. Criterios de medición y pago

Las losas de concreto hidráulico, por unidad de obra terminada, se medirán tomando como unidad el m³ de concreto, con el módulo de resistencia a la tensión por flexión fijado en el proyecto, las tolerancias de acabado, de espesor de losa, y de alineamiento. Los volúmenes construídos se cubicarán en las mismas losas por medio de seccionamiento a cada 10.00 m siguiendo el método de promedio de áreas extremas.¹

En las losas de concreto hidráulico que constituirán el pavimento, se considerará el volumen fijado por el proyecto y se pagará al precio fijado en el contrato para el m³ sujeto a los ajustes de precio correspondientes al cumplimiento de las tolerancias indicadas en estas especificaciones en cuanto a espesores de losa e índice de perfil.¹

El precio unitario incluye lo que corresponda por: cargas y descargas de los materiales, todos los acarrees y maniobras necesarias para los materiales y los desperdicios de ellos; adquisición del cemento Portland del tipo fijado en el proyecto y sus acarrees y desperdicios y de los aditivos que se requieran en el lugar de la obra; amortización del valor de fabricación o adquisición de los moldes y su transporte, preparación, colocación, materiales necesarios y remoción de los moldes; elaboración del concreto con el cemento y aditivos que se requieran, acarreo de la mezcla desde el sitio de su fabricación hasta el sitio de su colocación, agua para el humedecimiento de la base de apoyo de las losas; humedecimiento de los moldes, acabado superficial y corrección de imperfecciones mediante llana o fresado; texturizado; curado de las losas y de juntas aserradas, aserrado de juntas y corrección de reposición de sellos por defectos de sus bordes si es necesario; limpieza de las juntas y sellado, el acero para las pasajuntas y barras de amarre, incluyendo sus transportes y colocación; los tiempos de los vehículos empleados en los transportes; durante las cargas y descargas; protección a las estructuras o parte de ellas, verificación de los acabados y texturizado y en general de todo lo necesario para la correcta ejecución de los trabajos, a satisfacción de la dependencia, así como todos los inherentes a la corrección de desperfectos en el pavimento según lo indique la dependencia.¹

e) Texturizado de la superficie del pavimento de concreto.

Este proceso resulta ser muy importante, ya que el texturizado de la superficie brindará al pavimento características de rugosidad, liberación de agua superficial, eliminación de ruidos, apariencia agradable, iluminación adecuada y sobre todo seguridad al transitar por el (figuras 176, 177 y 178).

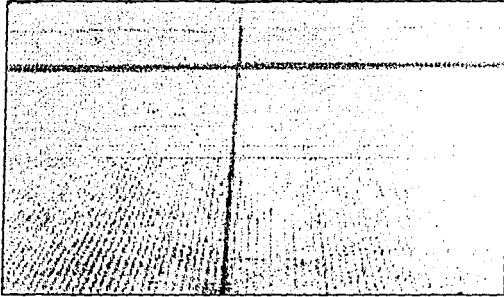


Figura 176

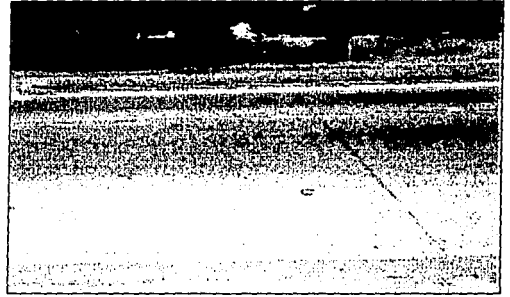


Figura 177

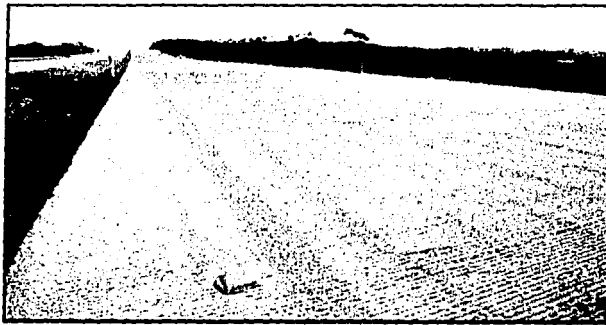


Figura 178

El texturizado de la superficie del pavimento de concreto.

El acabado final del concreto es primordial para los resultados de la pavimentación, requiere de gran cuidado durante la operación de texturizar al fraguar la superficie, ya que en comparación con el pavimento flexible o algún camino revestido, el concreto hidráulico fraguará con las marcas que se tengan en la superficie como huellas de seres vivos o cualquier objeto extraño que se coloque sobre la superficie mientras se encuentra en estado plástico.

De esta manera tenemos las siguientes características para la textura superficial del pavimento: ⁵

- La superficie del pavimento deberá presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.⁵
- La profundidad de la textura superficial, determinada de acuerdo con el método del círculo de arena descrito en la especificación- ASTM E. 965, deberá estar comprendida entre 0.7 y 1.0 mm.⁵
- La profundidad media de la textura superficial deberá estar dentro de los límites especificados y ninguno de los resultados individuales podrá ser inferior a 0.5 mm.⁵

Con respecto a la actividad de texturizado y sus estándares de calidad, se describen los siguientes puntos:

1. Procedimiento constructivo
2. Resistencia al derrapamiento
3. Rugosidad
4. Ajuste de precio por calidad de la superficie del pavimento
5. Trabajos de corrección de la superficie del pavimento
6. Equipos de medición de la textura superficial del pavimento

1. Procedimiento constructivo

Una vez tendida y conformada la losa de concreto, se espera un tiempo suficiente, hasta que desaparezca el exceso de agua de sangrado después del afinado con llana de la superficie para posteriormente dar una pasada con tela de yute (figura 179) y así efectuar un primer microtexturizado que elimine la superficie lisa que deja la llana metálica.⁵

Posteriormente se procede a realizar el macrotexturizado transversal en forma manual o mecánica mediante una rastra de alambre en forma de peine como los de las figuras 180 y 181, con las características que muestra la tabla 56:

Tabla 56
Características del peine texturizador

Separación entre dientes	20 mm
Ancho de dientes	3 mm
Profundidad de penetración máxima	6mm
Profundidad de penetración mínima	3mm

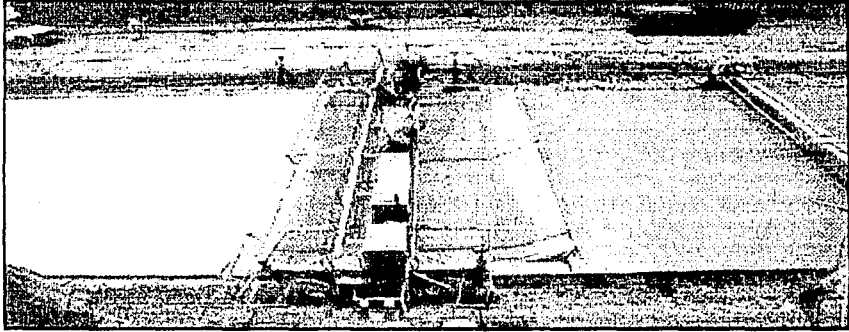


Figura 179.- Tela de yute para microtexturizado.

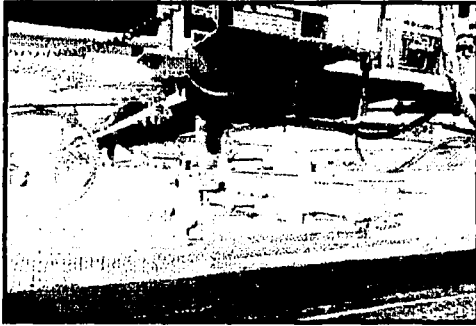


Figura 180.- Peine texturizador con dispositivos mecánicos.



Figura 181.- Peine con dientes metálicos para texturizado transversal manual.

El acabado final deberá proporcionar una superficie de rodamiento con las características mínimas de seguridad (coeficiente de fricción) y de comodidad (índice de perfil).¹

2. Resistencia al derrapamiento

La resistencia al derrapamiento se medirá con un dispositivo de medición continua y en condiciones de superficie mojada, tipo Mu-meter o similar, tal y como se establece en el procedimiento especificado en la norma ASTM E 670, debiendo cumplir con los valores de la tabla 57 como mínimo.⁵

Tabla 57
Valores de resistencia mínima al derrapamiento

Tipo de vialidad	Velocidad de prueba (Km/h)	Resistencia mínima al derrapamiento
Autopistas y carreteras de primer orden	95	0.60
	65	0.70

3. Rugosidad

Se considera que se alcanzará la rugosidad o regularidad superficial deseada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones: ⁵

- Las irregularidades del pavimento, controladas con una regla móvil de una longitud de 3 m provista de registrador gráfico (perfilómetro), no deben ser superiores a 3mm longitudinalmente ni a 6mm transversalmente. ⁵
- La uniformidad superficial de un lote, medida por el índice de perfil, según se indica en la especificación ASTM E 1274, no debe ser superior al límite fijado de 10 pulg/milla (16cm/Km). ⁵

Para el cumplimiento de estas condiciones, la carpeta de proyecto del paseo Tollocan dice lo siguiente: ¹

El contratista deberá proveer y mantener durante el tiempo que dure la obra un perfilómetro que cumpla con las especificaciones ASTM E 1274. La calibración del equipo, siguiendo los lineamientos de la misma especificación, deberá ser verificada por la dependencia antes de su uso en el proyecto, los resultados del ensaye del perfilómetro serán evaluados por la dependencia. ¹

El ensaye de la superficie del pavimento será limitado a aquellos pavimentos con más de 200.00 m de longitud de construcción. ¹

Aquellos pavimentos con curvas horizontales que tengan un radio de curvatura al eje del camino menor que 300.00 m no serán ensayados mediante éste método, al igual que las transiciones de la sobre-elevación correspondiente a dichas curvas. El pavimento comprendido dentro de los 5.00 m subsecuentes a un pavimento existente no colocado dentro de éste proyecto, o a una estructura o losa de aproximación, no será ensayado por medio del perfilómetro. Para éstos casos deberá emplearse una regla de 3.00 m de longitud, las irregularidades comprendidas en cualquier dirección (en el caso de que existan) no deberán exceder 5 mm. Para la corrección de irregularidades que no cumplan con la tolerancia aquí especificada se empleará aquel método aprobado previamente por la dependencia con cargo al contratista. ¹

Cada carril de circulación deberá ser evaluado, como a continuación se indica: ¹

La medición del perfil del pavimento comenzará a 5.00 m dentro del concreto previamente colocado, y será medido a lo largo de las líneas imaginarias que son paralelas a aquellas que delimitan cada carril de circulación, y que están ubicadas aproximadamente a 1.00 m dentro del carril que está siendo evaluado. Las mediciones efectuadas a lo largo del pavimento siendo evaluado serán divididas en tramos consecutivos de 200.00 m cada uno. El índice de perfil a considerar para evaluar cada sección de doscientos 200.00 m será el promedio de las dos mediciones tomadas dentro del ancho de cada carril de circulación evaluado. ¹

4. Ajuste de precio por calidad de la superficie del pavimento

De acuerdo a las condiciones de rugosidad que debe cumplir la superficie del pavimento, los ajustes en el precio unitario de la losa de concreto por calidad de la superficie terminada del pavimento serán de acuerdo a la tabla 58. ¹

Tabla 58
Factores de ajuste aplicables al precio unitario por calidad de superficie terminada

Índice de Perfil cm/km por cada tramo de 200.00 m	Factor de ajuste aplicable sobre el precio contratado
5.0 o menos	1.05
5.1 a 6.5	1.04
6.6 a 8	1.03
8.1 a 9.5	1.02
9.6 a 11	1.01
11.1 a 16	1.00
16.1 a 18.5	0.98
18.6 a 20	0.96
20.1 a 21.5	0.94
21.6 a 23	0.92
23.1 a 25	0.90
mayor que 25	Corregir

5. Trabajos de corrección a la superficie del pavimento.

Todos los trabajos de corrección que deberán efectuarse a la superficie terminada del pavimento serán con cargo al contratista. Todo método de corrección de la superficie del pavimento será aprobado por la dependencia. No se le permitirá al contratista efectuar trabajos de corrección por medio del empleo de equipos de impacto que puedan dañar la estructura del pavimento ni mediante resanes superficiales adheridos. ¹

Una vez que se efectúen los trabajos de corrección de la superficie del pavimento donde así se requiera, el contratista deberá restablecer a satisfacción de la dependencia, la textura de dicha superficie. ¹

Todos los trabajos de corrección de calidad de superficie del pavimento deberán ser efectuados antes de que se determinen los espesores de losa para pago. ¹

El fresado máximo permisible no deberá exceder del 1.0% del área total de la pavimentación. En caso de que se requiera corregir más del 1% del área de pavimentación, deberá corregirse mediante remoción y remplazo de las losas de concreto. ¹

No se deberá corregir mediante fresado cuando se tengan diferencias de nivel con respecto a la sección de proyecto de más de 13 mm por cada 5.00 m. En estos casos, la corrección se deberá realizar mediante remoción y remplazo de las losas de concreto. ¹

En caso de optarse por corregir las deficiencias de perfil de la losa de concreto mediante fresado con cuchillas de diamante se deberá seguir los siguientes lineamientos: ¹

- La longitud mínima por desbastar en cada zona por corregir no deberá ser menor de 50.00 m lineales. El fresado deberá ser de manera continua en toda la superficie y se deberá aplicar en todo el ancho del pavimento. ¹
- El fresado deberá comenzar y terminar en líneas perpendiculares al centro de línea del pavimento y siempre deberá realizarse en forma longitudinal. ¹
- El material producto del fresado deberá ser depositado en camiones equipados para transportar material líquido y deberá ser desechado en los lugares indicados por la dependencia. ¹

6. Equipos de medición de la textura superficial del pavimento

Medidores de fricción.

Existe una gran variedad de medidores de fricción en la actualidad. La variación en cuanto a los métodos de medición y los tipos de aparatos es sumamente grande. Existe un tipo de medidor de fricción que puede obtener un espectro de resultados que permite tener resultados correspondientes a los obtenidos con dos o más equipos diferentes, este tipo de aparato es el que vamos a describir más adelante. ⁷

Equipo Norsemeter

El equipo de Norsemeter especialmente diseñado para la medición de fricción y el análisis de las características de la superficie del pavimento en caminos es la unidad ROAR Mark II (Road Analyzer and Recorded) y se usa en las siguientes áreas: administración de pavimentos, mediciones para la operación del pavimento, aprobación de pavimentos nuevos, investigación de pavimentos, mediciones de servicio, investigación de accidentes de tránsito, aseguramiento de calidad en pavimentos, pistas de prueba de vehículos, análisis de pistas de carreras, etc. ⁷

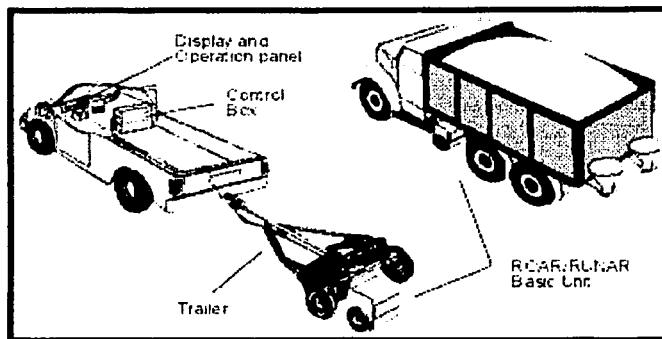


Figura 182.- Equipo para medición de calidad de la superficie del pavimento ROAR Mark II (Road Analyzer and Recorded).

Algunas de las características generales que describen al equipo son:

- ✓ Medición de fricción, textura y drenaje
- ✓ Mediciones en condiciones húmedas ó secas, en cualquier época del año
- ✓ Reporta el índice internacional de fricción (IFI) y la fricción máxima (peak friction)
- ✓ Mediciones a velocidades entre 20 y 130 km/h
- ✓ Cuenta con software de análisis para interpretar y presentar las mediciones
- ✓ Genera el espectro completo de la fricción

La unidad puede ser montada en la parte trasera de un vehículo o remolcada en un trailer con su propio sistema de humedecimiento (figura 182).

Ofrece distintos modos de operación, ya que puede hacer mediciones bajo los métodos de deslizamiento fijo (fixed slip), deslizamiento variable (variable slip) o ambos.

Al medir la fricción con el método de deslizamiento variable, se obtiene:

- ✓ Fricción máxima (Peak Friction Number).
- ✓ Velocidad de deslizamiento crítica (Critical Slip Speed).
- ✓ Índice internacional de fricción, IFI (International Friction Number).
- ✓ Factor de forma, de acuerdo al Modelo de Fricción Rado.

Al medir la fricción con el método de deslizamiento fijo, se obtiene:

- ✓ Valor promedio de fricción para la sección seleccionada.

Perfilógrafo computarizado.

Existen varios tipos de perfilógrafos en el mercado, sin embargo en este caso nos vamos a referir al perfilógrafo tipo California (figura 183). Este aparato permite medir el perfil longitudinal del pavimento.⁷



Figura 183.- Equipo para medición de calidad de la superficie del pavimento.
Perfilógrafo tipo California.

El perfilógrafo tipo California tiene las siguientes características:

- ✓ Armadura de aluminio
- ✓ Longitud 7.62 m
- ✓ Ancho 0.40 m
- ✓ Altura 1.40 m
- ✓ Computadora e impresora de uso rudo y estuche. (Incluye software para medición de perfil en el sistema métrico inglés).
- ✓ Generador de 120 VAC
- ✓ Separación no uniforme de las ruedas
- ✓ Separación máxima entre ruedas extremas 10.1 m
- ✓ Ruedas a 0.31 m. de la estructura
- ✓ Diámetro de la rueda móvil mínimo 6" (15.24 cm) colocada al centro de la estructura
- ✓ Peso aproximado 204.5 kg
- ✓ Escala vertical 1":1" y horizontal 1":25pies
- ✓ Puede ser desarmado y transportado en un remolque o camioneta.

f) El curado del concreto hidráulico premezclado.

Como se sabe, el concreto hidráulico es una mezcla de grava (agregado grueso), arena (agregado fino), cemento y agua; elementos que deben mantener su porcentaje de participación a lo largo del proceso de fraguado para que los resultados teóricos del diseño de la mezcla en cuanto a resistencia sean exitosos. De esta manera tenemos que por su estado físico (líquido), el agua es de los elementos anteriores el más propenso a apartarse de la mezcla.

Ya que el proceso de fraguado es una reacción química en la cual se genera calor, además de la temperatura que proporcionan los rayos solares, es preciso evitar que el concreto pierda una gran cantidad de agua y con ello provocar grietas del tipo plástico en la superficie.

Durante el proceso de colado de un pavimento, existen dos casos en los que se puede perder agua de la mezcla.

1. Cuando la capa de soporte absorbe agua de la mezcla.- Si la capa de soporte del tramo a colar es de material pétreo, mezcla asfáltica o incluso concreto hidráulico, debido a la temperatura ambiental y características de absorción de la capa, al depositar la mezcla de concreto sobre esta superficie, el concreto pierde agua que es absorbida por la capa en la que se va a colocar.
2. Cuando la mezcla de concreto pierde agua por evaporación.- Durante el proceso de colado del pavimento de concreto, pero especialmente cuando ya han sido terminadas las actividades de acabado y texturizado, el concreto queda a merced de la intemperie, en donde los rayos solares y las ráfagas de viento, provocan la evaporación del agua de la mezcla.

Este tipo de problema se puede solucionar humedeciendo con agua (sin crear charcos) la capa de soporte en la cual se colocará el concreto.

En el caso de las subbases de material pétreo, también se puede sellar previamente con una emulsión asfáltica que proporcione una superficie impermeable.

Para proteger la mezcla de las acciones anteriores se utiliza una membrana de curado que creará una pantalla impermeable sobre toda la superficie del concreto expuesta a la intemperie.

Proceso constructivo

La operación de curado del concreto, se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m^2), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente 1 mm, que deje una membrana impermeable y consistente, de color claro, que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. La aplicación de la membrana de curado se hace mediante la irrigación de compuestos curadores sobre la losa de concreto fresco, con ayuda de equipos especiales integrados en las pavimentadoras. Este trabajo lo hace la texturizadora-curadora (figura 184), donde hay un depósito de membrana de curado y conductos que llevan el líquido hasta los aspersores o espreas. ⁷

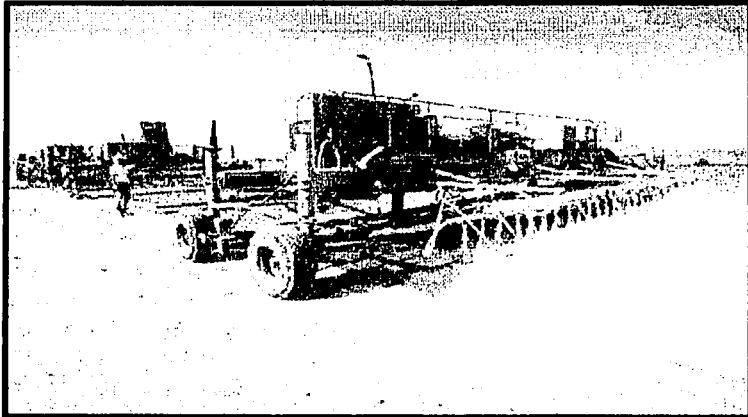


Figura 184.- La texturizadora-curadora aplicando la membrana de curado al pavimento.

Los compuestos curadores más adecuados tienen un pigmento de color blanco, esto les da la ventaja de no concentrar el calor en el concreto y permiten distinguir las zonas ya tratadas y la uniformidad de su aplicación. El compuesto curador se aplica inmediatamente después de efectuarse el texturizado transversal, aunque en ocasiones y con el fin de proteger el concreto de la acción del sol y vientos fuertes rasantes, se puede hacer en dos etapas aplicando la primera antes del microtexturizado y la segunda después de el texturizado transversal. Hay que realizar la aplicación de la membrana también sobre los bordes verticales de la losa. El espesor de la membrana podrá reducirse si, de acuerdo con las características del producto que se use, se puede garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y duración, de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la membrana de curado. ⁷

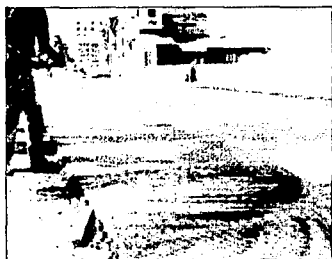


Figura 185



Figura 186



Figura 187

Aplicación de la membrana de curado mediante una bomba aspersora.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso del equipo o seres vivos.⁷

Especificación para la membrana de curado.

Para el curado de la superficie del concreto recién colado, deberá emplearse una membrana de curado de emulsión en agua y base parafina de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en la normas ASTM C171, ASTM C309, Tipo 2, Clase A, AASHTO M 148, Tipo 2, Clase A. Este tipo de membranas evitan que se tapen las espaldas de los equipos de rociado. Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención del agua de la mezcla. El pigmento blanco refleja los rayos solares ayudando a mantener la superficie más fresca y prevenir la acumulación de calor.⁷

Para el caso del Paseo Tollocan, según la carpeta de proyecto tenemos lo siguiente:

Para el curado de la superficie del concreto recién colado deberá emplearse un líquido de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en la cláusula 4.01.02.004-1 de las Normas de Calidad de los Materiales de la SCT. La membrana de curado a emplearse será de un componente cuya base sea agua y parafina de pigmentación blanca a razón de 1 lt/m².¹

Para la aplicación de la membrana de curado, podrá utilizarse equipo mecánico o en forma manual con aspersores propios para dicha actividad.¹

g) Los cortes transversales y longitudinales de las losas

Debido a que el concreto se contrae durante el proceso de fraguado y por estar apoyado sobre toda una superficie fija, se generan esfuerzos de tensión al cambiar de volumen que a su vez producen agrietamientos.

La función de realizar juntas de contracción cortadas con disco es para inducir al concreto la ruta que deben de seguir sus agrietamientos por contracción y evitar que se propaguen en cualquier dirección.⁷

El proceso de cortar las losas de concreto, se realizará después del curado de las losas. Los cortes de las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 horas aproximadamente).⁷

Las cortadoras utilizadas en este tipo de operaciones deberán ser autopropulsadas y con una potencia que esté entre los 20 y 40 HP (figuras 188, 189 y 190). Las juntas deberán ajustarse a las dimensiones y características descritas en el proyecto. Los cortes deben realizarse a una profundidad de un tercio del espesor (figura 191). No debe cortarse toda la profundidad de la losa ó todo su espesor.⁷



Figura 188



Figura 189

Cortadoras con disco de diamante para realizar el aserrado del concreto.

Al debilitar el espesor de la losa a dos tercios, se obliga a la losa de concreto a fracturarse en este punto, además de que en la parte inferior se transmitirán fuerzas cortantes por la trabazón que existe en los agregados del concreto, entre una losa y otra.

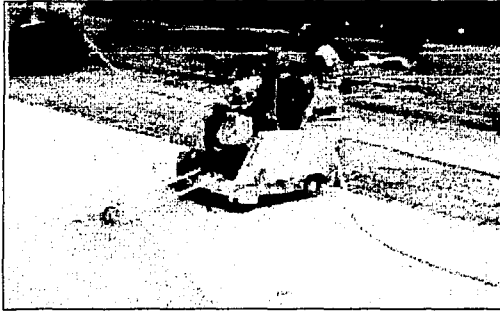
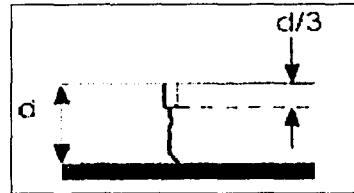


Figura 190.- Cortadora con disco de diamante para realizar el aserrado del concreto.



Si $d = 25$ cm
entonces la profundidad del corte
será de 8.5 cm

Figura 191.- Profundidad del corte en función del espesor de la losa.

Deberá realizarse un primer corte para garantizar la inducción adecuada de las grietas de contracción, con un ancho de 3 mm (1/8") utilizando un solo disco de corte y cortando a una profundidad de un tercio del espesor. Posteriormente se deberá hacer el ensanche de las juntas con otro disco de corte de 6 mm (1/4") y la profundidad de este corte será menor de un tercio del espesor y estará regida por el factor de forma que se le vaya a dar al sellador de las juntas según se indica en el subinciso h) "El sello de los cortes transversales y longitudinales de las losas" de este capítulo.⁷

En general las funciones principales de los cortes es auxiliar al concreto a que sus cambios de volumen generados por las variación de temperatura no le provoquen grietas.

Tipos de juntas

Existen varios tipos de juntas para el pavimento de concreto como se muestra en la figura 192 y a continuación se describen:⁷

✓ Juntas transversales de contracción

Son las juntas que se construyen transversalmente al eje central del pavimento y que son espaciadas para controlar el agrietamiento provocado por los efectos de las contracciones como por los cambios de temperatura y de humedad (figuras 193 y 194).⁷

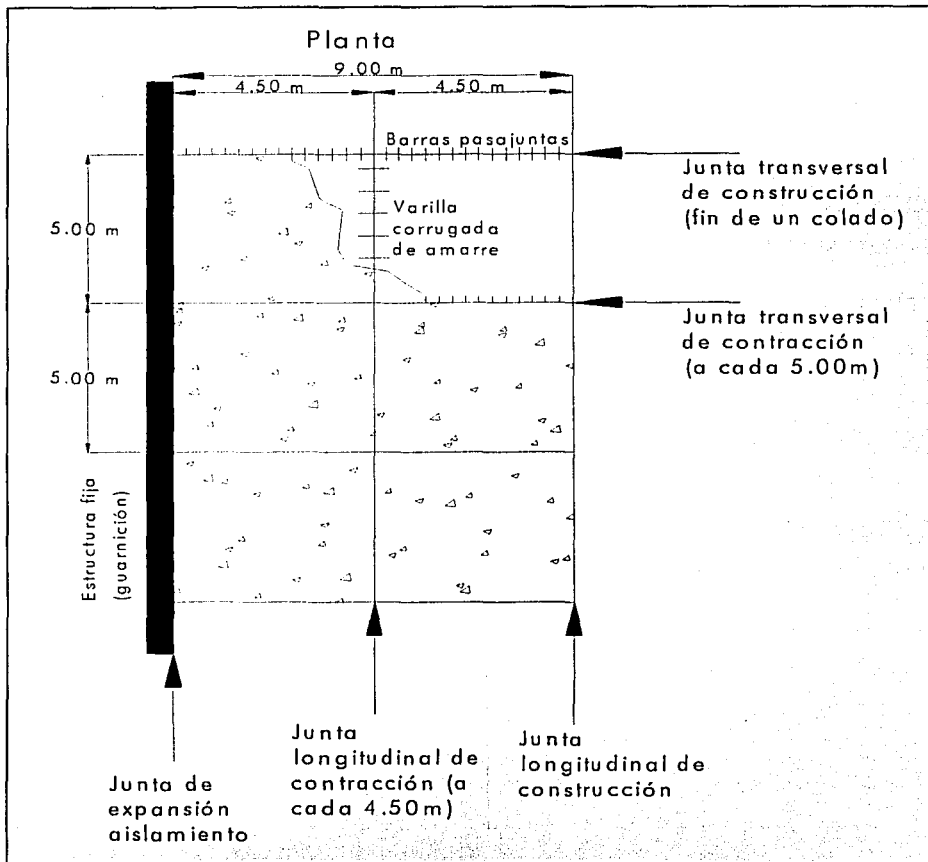


Figura 192.- Tipos de juntas que existen en un pavimento de concreto.

Para el caso del paseo Tolloacán, este tipo de cortes se realizarán a cada 5.00 m en el sentido longitudinal, y tendrán una profundidad especificada de un tercio del espesor de la losa, lo que quiere decir que son 8 cm mínimo. Además en el eje de este tipo de juntas, se colocarán las barras pasajuntas lisas con los lineamientos constructivos mencionados en el subinciso d) "El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento", las cuales tienen la función de transferir la carga entre las losas y mantener el nivel de rasante entre losas en todo momento (figuras 195 y 196).

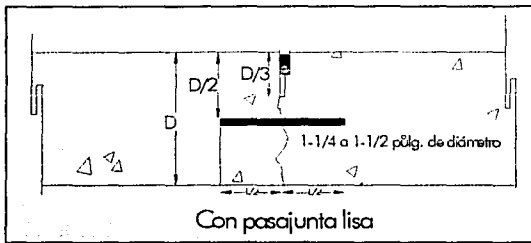


Figura 193.- Junta transversal de contracción con pasajunta lisa.

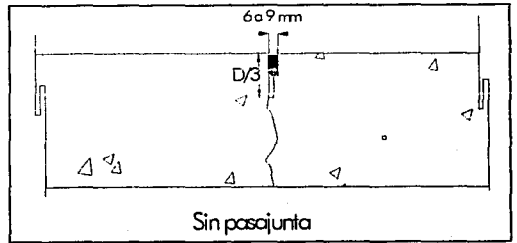


Figura 194.- Junta transversal de contracción sin pasajunta lisa.

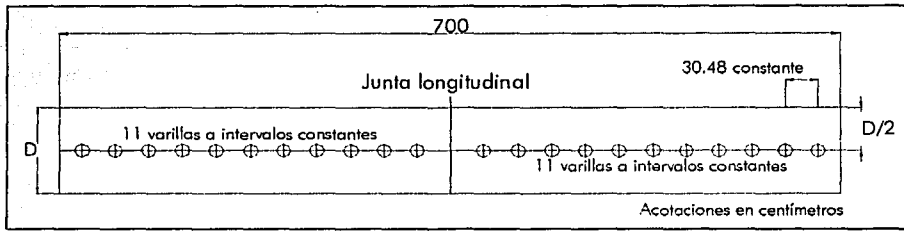


Figura 195.- Disposición de pasajuntas con separación constante en una junta transversal de contracción.

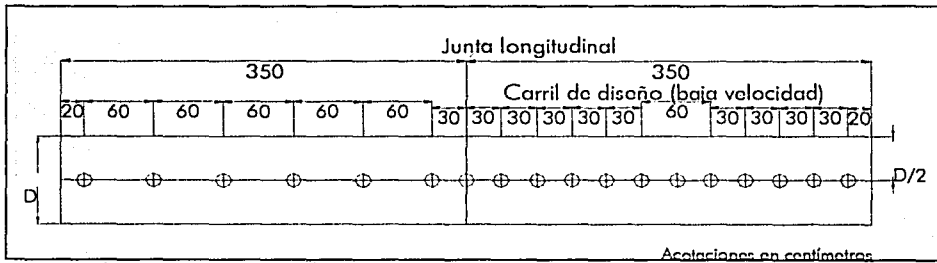


Figura 196.- Disposición de pasajuntas con separación variable en una junta transversal de contracción.

✓ **Juntas transversales de construcción**

Se colocan al final de un día de pavimentación o por cualquier otra interrupción a los trabajos (por ejemplo lluvia, o causas mayores) figura 197.⁷

Para el caso del paseo Tollocan, este tipo de juntas se colocarán al final de cada jornada de colado o en el caso de interrumpir los trabajos por causas de fuerza mayor, tanto en los colados ejecutados con la pavimentadora de cimbra deslizante o aquellos que se lleven a cabo con otro equipo alternativo o manualmente.

Se podrán colocar según lo marque el proyecto para modular las losas en el caso de los detalles de construcción, accesos a industrias, etc.

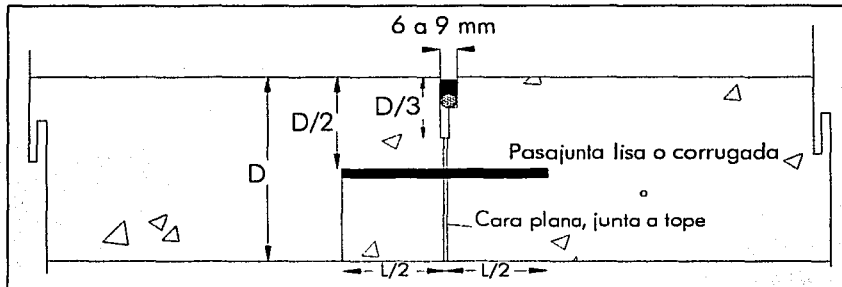


Figura 197.- Junta transversal de construcción con pasajunta lisa o corrugada.

✓ Junta transversal de expansión/aislamiento

Estas juntas son colocadas en donde se permita el movimiento de la carpeta sin dañar estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) o el mismo pavimento (figuras 198 y 199).⁷

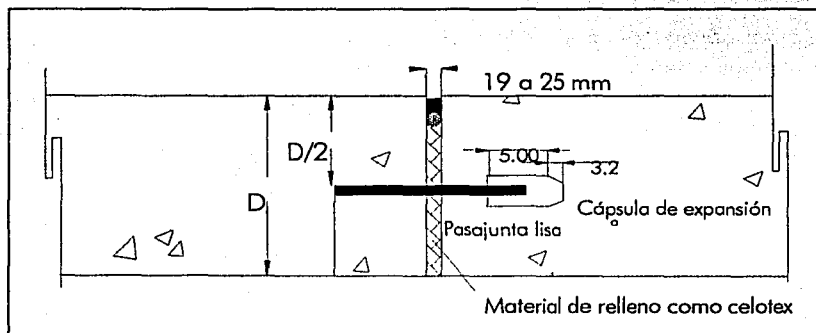


Figura 198.- Junta transversal de expansión/aislamiento con pasajunta lisa.

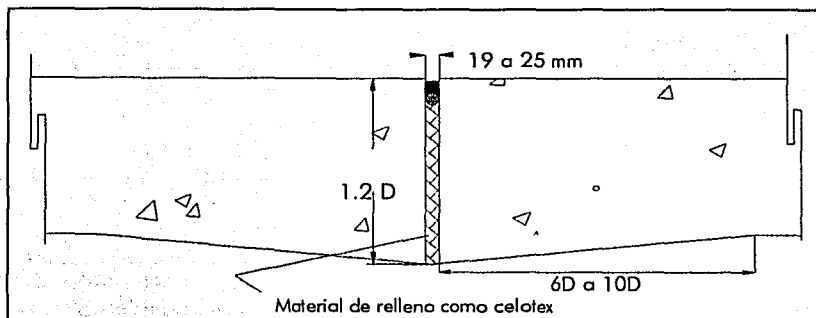


Figura 199.- Junta transversal de expansión/aislamiento sin pasajunta lisa.

Para el caso del paseo Tollocan, este tipo de juntas se ubican donde se encuentran instalaciones existentes como brocales, bocas de tormenta o cajas de registro de telefonía o luz y fuerza.

✓ Junta longitudinal de contracción

Son las juntas que dividen los carriles de tránsito y controlan el agrietamiento donde van a ser colados, en una sola franja, dos o más carriles (figuras 200 y 201).⁷

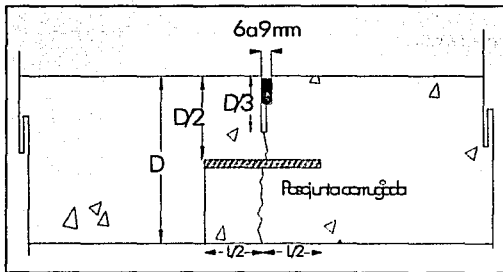


Figura 200.- Junta longitudinal de contracción con pasajunta corrugada.

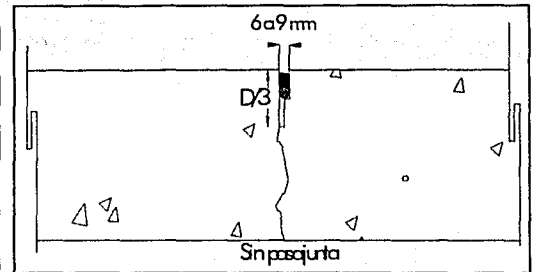


Figura 201.- Junta longitudinal de contracción sin pasajunta.

Para el caso del paseo Tollocan, este tipo de cortes se realizarán a cada 4.50 m en el sentido transversal, y tendrán una profundidad especificada de un tercio del espesor de la losa, lo que quiere decir que son 8 cm mínimo. Además en el eje de este tipo de juntas, se colocarán las varillas corrugadas de amarre con los lineamientos constructivos mencionados en el subinciso d) "El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento", las cuales tienen la función de evitar el desplazamiento transversal entre losas y mantener unidas las losas en todo momento.

✓ Junta longitudinal de construcción

Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes (figuras 202 y 203).⁷

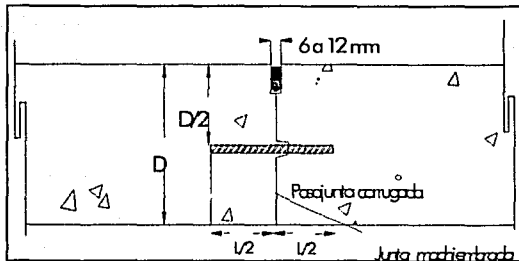


Figura 202.- Junta longitudinal de construcción con pasajunta corrugada y machimbre.

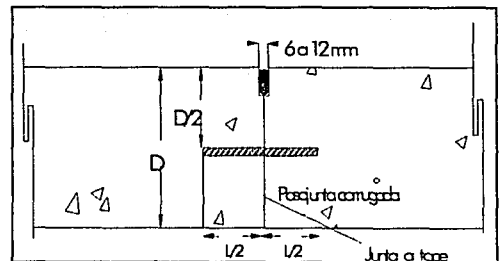


Figura 203.- Junta longitudinal de construcción con pasajunta corrugada y junta a tope.

Recomendaciones para diseñar juntas en el pavimento de concreto.

1. Evite losas de forma irregular. ⁷
2. La separación máxima entre juntas transversales deberá ser de 21 a 24 veces el espesor ó 5.0 m, la que sea menor. ⁷
3. Mantenga losas tan cuadradas como sea posible, ya que losas angostas y largas tienden a agrietarse más que las cuadradas. ^{7, 22}
4. La relación de largo/ancho de las losas debe estar entre los límites de 1.0 a 1.4, relaciones mayores originan que se generen grietas en la mitad de las losas (figura 204). ⁷

$$Y = 3.00 \text{ a } 4.50 \text{ m} \quad 1 \leq \frac{X}{Y} \leq 1.4$$

X= Longitud de la losa

Y= Ancho de la losa

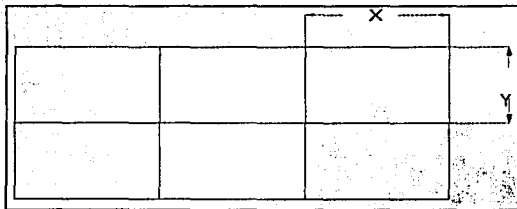


Figura 204.- Modulación de losas en función del espesor de la misma.

5. Todas las juntas de contracción transversales deberán ser continuas a través de la garnición y tener una profundidad igual a $\frac{1}{3}$ del espesor del pavimento. ⁷
6. En las juntas de aislamiento, el relleno deberá ser a toda la profundidad y extenderse por la garnición. ⁷
7. Si no se cuenta con garniciones, las juntas longitudinales deberán amarrarse con varillas corrugadas. ⁷
8. Ajustes menores en la ubicación de las juntas, desplazando o inclinando algunas juntas para que coincidan con los vértices de los pozos de visita o alcantarillas, mejoran el comportamiento del pavimento (figura 205). ⁷

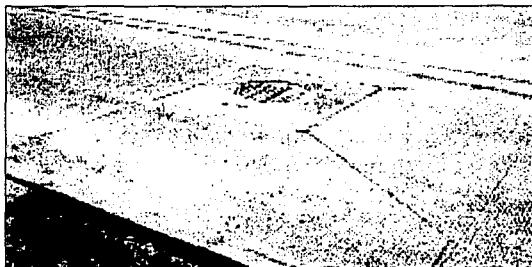


Figura 205.- Realizar cortes dirigidos desde las juntas longitudinales o transversales hacia los vértices de cualquier elemento inmerso en la losa de concreto.

9. Cuando el área pavimentada cuenta con estructuras de drenaje, coloque, si le es posible, las juntas de manera que coincidan con las estructuras.⁷
10. Cuando el área por pavimentar incluya algún cambio de material en la capa de soporte a lo largo del tramo, como por ejemplo material pétreo-mezcla asfáltica, o carpeta asfáltica-concreto hidráulico, se deberá cubrir la junta que se forma en la unión de los materiales con algún elemento impermeable como una hoja de celotex o novopan, ya que la expulsión de agua y finos por esta unión durante el proceso de endurecimiento del concreto, puede reflejarse en la superficie como una grieta.



Figura.- 206

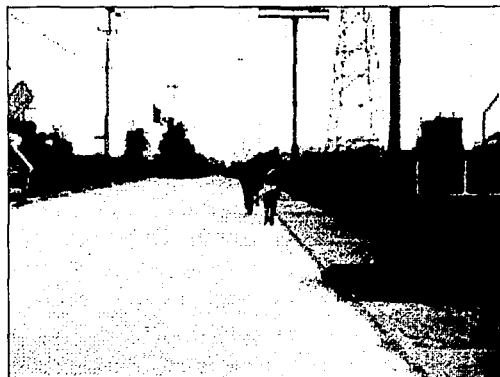


Figura.- 207

Áreas de colado con los cortes realizados, listas para la limpieza y sello de juntas.

h) El sello de los cortes transversales y longitudinales de las losas

La función del sellador es la de evitar que partículas sólidas incompresibles penetren en la junta y puedan generar despostilladuras en los bordes de las losas debido al movimiento de las mismas (figura 208). Otra función es la de impedir que el agua de la superficie pueda penetrar a la estructura de soporte y evitar problemas de expulsión de finos, pérdida de soporte y reducción de resistencia del material de subbase.⁷

El sello que sea utilizado, deberá resistir las repeticiones de contracción y expansión, por cambios de temperatura y humedad que se presenten en el medio ambiente, además del contacto con los combustibles y aceites derramados por los vehículos.⁷

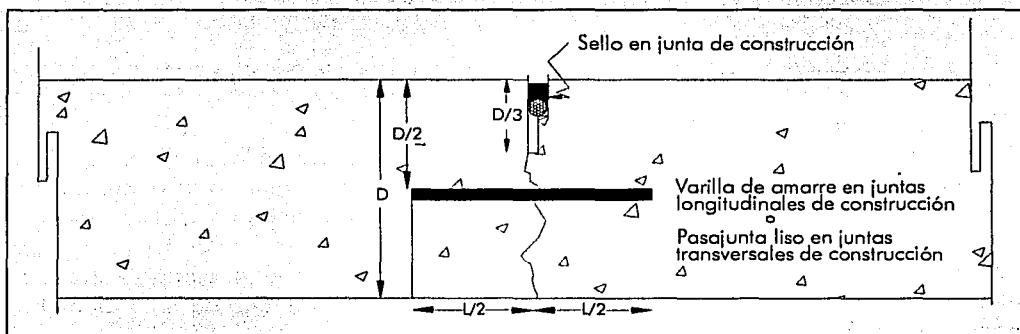


Figura 208.- Sellado para juntas del pavimento de concreto hidráulico.

Para sellar las juntas, es necesario realizar una limpieza previa, la cual se hará con agua a presión y escobillas para dejar completamente limpia la junta, posteriormente, mediante aire a presión se secará la junta en su totalidad.

Una vez secas las paredes de la junta, se coloca la tirilla de respaldo, cuyas funciones son evitar que el sello en estado líquido se desperdicie en toda la grieta y definir el factor de forma que deberá guardar el sello, inmediatamente después se coloca el sellador dentro de la junta respetando las indicaciones del fabricante en cuanto a su factor de forma y modo de aplicación.⁷

Es necesario que la superficie del sellador se aloje por debajo de la superficie de rodamiento entre 3 y 6 mm. con el fin de evitar que entre en contacto con los neumáticos de los vehículos y se pueda deteriorar.⁷

Existen muchos materiales aceptados para el sellado de juntas en los pavimentos de concreto, pero es importante que el sellador sea un material autonivelante, de un solo componente, elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes al concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas sin agrietarse, y que solidifique a temperatura ambiente.⁷

La clasificación más simple, divide a los materiales para sello en:

- ✓ **Sellos líquidos.-** Los sellantes líquidos pueden ser colocados en frío o en caliente, ambos tienen un solo componente, son autonivelables, toman la forma del depósito y dependen en gran parte de la adhesión de las caras de la junta para un sellado satisfactorio (figura 209).

Los sellos líquidos colocados en caliente requieren calentarse a temperaturas entre los 177 y 204°C para su adecuada colocación.

Los que son colocados en frío, contienen como ingrediente básico un polímero de silicón. El silicón se cura al exponerse al medio ambiente durante su aplicación.

Para la colocación de este tipo de sellos intervienen dos elementos y son: ⁷

Tirilla de respaldo.

Este es un elemento muy importante en la instalación de los sellos líquidos, ya que impide que el sello líquido fluya hasta el fondo de la junta, evitando la adhesión del sello con el fondo del depósito, además la tirilla de respaldo sirve para definir el factor de forma y optimizar la cantidad de sellador empleado. Se instalan en el depósito de la junta antes que se coloque el sello líquido, mediante una herramienta que presiona a la tirilla a la profundidad requerida para obtener el factor de forma deseado. Su diámetro deberá ser un 25% más grande que el ancho del depósito para asegurar que entre ajustado. ⁷

Depósito para el sello de la junta.

El factor de forma es crítico para el buen comportamiento a largo plazo de un sellador. Debido a que la sección del sello de las juntas cambia durante la expansión y contracción del pavimento de concreto, se desarrollarán esfuerzos en el interior del sellador y a lo largo de la línea de unión de éste con el depósito de la junta. Los esfuerzos pueden ser excesivos si el factor de forma no es el apropiado para el material de sello. La tabla 59 muestra factores de forma comunes para sellos líquidos y para sellos a compresión. Un depósito para sello de junta con factor de forma igual o menor a uno desarrolla menos esfuerzos en el sellado que si tuviera un factor de forma superior a uno. ⁷

Tabla 59
Factores de forma más comunes para los selladores

Tipo de sellador	Factor de forma	Factor de forma = $\frac{\text{Ancho}}{\text{Profundidad}}$
Líquido	2	
Premoldeado	No se basa en el factor de forma	

Nota: El factor de forma ancho/profundidad del sellador de silicón deberá ser como mínimo 1:1 y como máximo 2:1.

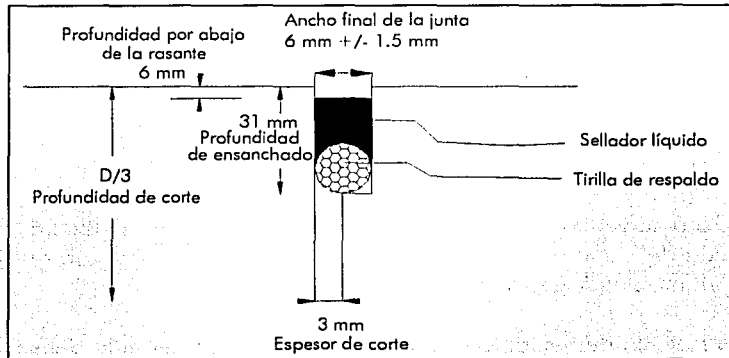


Figura 209.- El sellador líquido para las juntas del pavimento de concreto. Puede ser colocado en frío o en caliente, según su tipo.

- ✓ Sellos premoldeados. Los sellantes premoldeados son moldeados durante su fabricación y dependen en gran parte de la recuperación de la compresión para un sellado satisfactorio. El diseño del depósito y la selección del sello a compresión deberá asegurar que el sello se mantenga siempre a un nivel de compresión entre el 20 y el 50%. La profundidad del depósito debe exceder de la profundidad del sello a compresión, pero no se relaciona directamente con el ancho del depósito.⁷

A diferencia de los sellos líquidos que son sometidos a compresión y tensión, los sellos premoldeados o a compresión son diseñados para estar a tensión durante toda su vida.

Estos sellos requieren de un lubricante que, aunque cuenta con algunas propiedades adhesivas, su principal función es lubricar durante la instalación. El mejor comportamiento de sellos premoldeados es con aquellos que cuentan con al menos 5 celdas. La figura 210 muestra una sección de este tipo de selladores.⁷

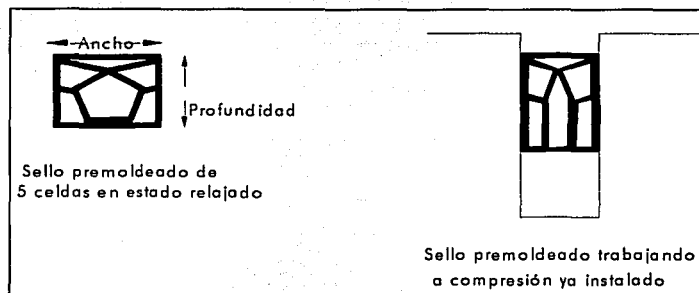


Figura 210.- Sección transversal de un sellador de 5 celdas premoldeado.

Con respecto al sello para las juntas del pavimento de concreto del paseo Tollocan, según las especificaciones del la Junta de Caminos del Estado de México, se tiene lo siguiente:

El material para el sellado de juntas, deberá cumplir con los requisitos de la tabla 60. El material se deberá adherir a las paredes de la junta en el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de partículas sólidas incompresibles. En ningún caso se podrá utilizar un sellador no autorizado por la dependencia. Para todas las juntas de las losas de concreto se deberá emplear un sellador de silicón de un solo componente con la suficiente fluidez para autonivelarse y no requerir de un moldeado adicional.¹

Con respecto a la tirilla de respaldo a emplear deberá limitar el flujo del sellador hasta la profundidad de ensanchado (1/3 del espesor de la losa). La tirilla de respaldo será de espuma de polietileno y de 1/4" (6.35 mm) de diámetro, además deberá ser compatible con el sellador de silicón a emplear.

Tabla 60
 Requisitos y especificaciones de calidad para el material
 de sellado de las juntas de las losas de concreto del pavimento.⁷

Especificación	Método de ensaye	Requisito
Esfuerzo a tensión a 150% de elongación. (7 días de curado a 25°C ± 5°C y 45 a 55% de humedad relativa).	ASTM D 412	3.2 kg/cm ²
Flujo a 25°C ± 5°C.	ASTM C 639 (15% canal A)	No deberá fluir del canal
Tasa de extrusión a 25°C ± 5°C.	ASTM C 603 (1/8" @ 50 psi)	75-250 gms/min
Gravedad específico.	ASTM D 792 (método A)	1.01 a 1.51
Dureza a -18°C. (7 días de curado a 25°C ± 5°C).	ASTM C 661	10 a 25
Resistencia al intemperismo. Después de 5,000hrs de exposición continua.	ASTM C 793	No agrietarse, ni perder adherencia, tampoco desintegrarse.
Superficie seca. (A 25°C ± 5°C y 45 a 55% de humedad relativa).	ASTM C 679	Menor de 75 minutos
Elongación. (Después de 21 días de curado a 25°C ± 5°C y 45 a 55% de humedad relativa).	ASTM D 412	1,200 %
Fraguado al tacto. (A 25°C ± 5°C y 45 a 55% de humedad relativa).	ASTM C 1640	Menos de 75 minutos
Vida en el contenedor a partir del día de embarque.	-	6 mese mínimo
Adhesión a bloques de mortero.	AASHTO T 132	3.5 kg/cm ²
Capacidad de movimiento y adhesión. (Extensión de 100% a -18°C después de 7 días de curado al aire libre a 25°C ± 5°C seguido por 7 días en agua a 25°C ± 5°C).	ASTM C 719	Ninguna falla por adhesión o cohesión después de cinco ciclos.

i) Apertura al tránsito

El paseo Tollocan, por ser una vía de gran importancia, se vió seriamente afectada con respecto a la circulación del tránsito durante la ejecución de los trabajos de la repavimentación, por lo tanto fué necesario liberar lo más pronto posible los tramos terminados a la circulación.



Figura 211.- Preparativos para la reinauguración del paseo Tollocan.

De esta manera, se cumplieron cabalmente los lineamientos siguientes:

✓ Condiciones para la apertura al tránsito de vehículos y equipos de construcción que llevaron a cabo los trabajos.

El pavimento podrá abrirse al paso de personas y de equipos para el serrado y la comprobación de la regularidad superficial cuando haya transcurrido el plazo necesario para que no se produzcan daños o desperfectos superficiales, y se hubiera secado el producto empleado para el curado mediante membrana (figuras 212, 213, 214 y 215). El tránsito de obra no podrá circular sobre el pavimento de concreto antes de siete días, contados a partir de haber sido coladas las losas; sin embargo, este lapso podrá reducirse si el concreto ya ha alcanzado una resistencia a la tensión por flexión de 80 por ciento de la exigida a 28 días (el caso de los colados con concreto de resistencia rápida). Además, todas las juntas transversales deberán haber sido selladas o al menos obturadas provisionalmente. ⁵

✓ Condiciones para la apertura al tránsito de operación normal

La apertura al tránsito vehicular no podrá realizarse antes de 14 días contados a partir de la terminación del pavimento, siempre que el concreto haya alcanzado una resistencia a la tensión por flexión del 80% como mínimo de la de proyecto (figuras 216, 217, 218 y 219). Cuando se utilicen técnicas de apertura rápida al tránsito (fast track), la resistencia mínima que permita la apertura al tránsito vehicular en pavimentos de concreto es función del espesor de la losa, de acuerdo con la tabla 61. ⁵



Figura 212



Figura 213



Figura 214



Figura 215

Vehículos y equipo de construcción circulando después de 7 días de colado el pavimento.

Tabla 61
Condiciones de apertura rápida al tránsito

Espesor de losa (cm)	Resistencia mínima a la tensión por flexión	
	Mpa	(kg/cm ²)
18	2.2	(22)
20	2.0	(20)
23	1.6	(16)
25	1.2	(12)

Nota. Los valores indicados fueron obtenidos en un estudio especial, efectuando un análisis de fatiga basado en un tránsito de mil vehículos pesados por día. Es recomendable efectuar un análisis en cada caso particular para ajustar los valores anotados.⁵

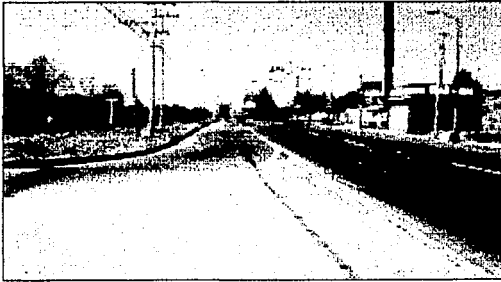


Figura 216



Figura 217

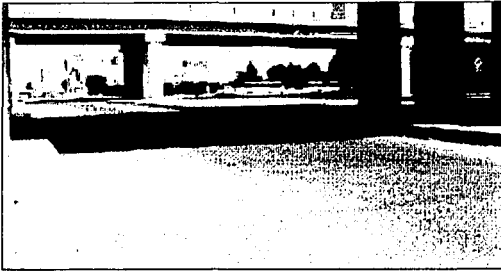


Figura 218

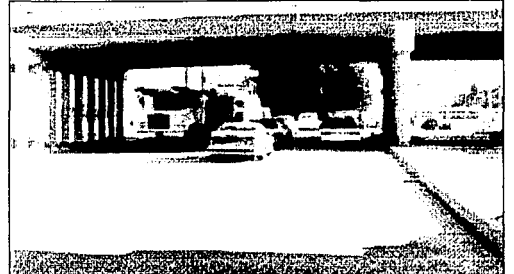


Figura 219

Los tramos de pavimento de concreto hidráulico liberados al tránsito después de haber concluido todas las actividades correspondientes.

i) El mantenimiento preventivo y correctivo

Como lo hemos mencionado antes, el pavimento de concreto se distingue por requerir muy poco de los trabajos de mantenimiento a través de su vida útil, pero sin embargo estos trabajos son muy importantes para conservarlo al paso de los años.

✓ Estrategia de mantenimiento

Para el adecuado comportamiento del pavimento dentro del ciclo de vida de proyecto, es importante llevar a cabo trabajos de mantenimiento periódicos, proporcionándose a continuación recomendaciones usualmente aplicables al respecto.⁵

- Sustitución del material de sello en las juntas cada ocho años, utilizando un material colocado en frío.

-
- Sellado de grietas, mediante cortes de ampliación y limpieza para la aplicación de un material colocado en frío, cada cinco años.
 - Reperfilado y restitución del texturizado mediante fresado, en las áreas en que las mediciones de rugosidad y de fricción muestren deficiencias superficiales, por lo menos en tres ocasiones durante el ciclo de vida.
 - Reparación de losas agrietadas en forma parcial o total, por lo menos en dos ocasiones durante el ciclo de vida.
 - Adecuación del sistema de drenaje y subdrenaje mediante la ampliación, adaptación y reconstrucción del sistema actual y construcción de obras nuevas por lo menos dos veces durante el ciclo de vida, independientemente de la conservación rutinaria del sistema.

Llevando a cabo las actividades anteriores es muy probable que el pavimento de concreto hidráulico del paseo Tollocan alcance, e incluso supere el periodo de diseño para el cual fue construido.

Todas las actividades anteriores serán ejecutadas conforme a las especificaciones correspondientes que defina la Junta de Caminos del Estado de México.

CONCLUSIONES

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DEL PASEO TOLLOCAN EN LA CIUDAD DE TOLUCA EN EL ESTADO DE MÉXICO"

Con respecto al capítulo 1, el cual tiene como objetivo principal dar a conocer la evolución del transporte y las vías terrestres como medios de comunicación, se puede resaltar el hecho fundamental de que la tecnología ha jugado un papel muy importante en la búsqueda de nuevas soluciones para mejorar la calidad y servicio con la que pueda contar una obra civil.

De esta manera, en el capítulo mencionado puede encontrarse información acerca del desarrollo de las vías terrestres en México, la infraestructura actual del país, así como de los diferentes tipos de pavimentos que existen hoy en día.

Una situación que es preciso resaltar es aquella de que en un principio se pensaba que las carreteras serían auxiliares del ferrocarril en cuanto a sistemas de transporte se refiere, sin embargo factores como: versatilidad, costos de construcción y mantenimiento han hecho que en el caso particular de nuestro país, las carreteras representen la opción más viable para transporte de carga y pasajeros.

Con respecto a los pavimentos urbanos, es preciso decir que son más susceptibles de fallar que los de carreteras, debido a diversas causas como: introducción de instalaciones subterráneas con trabajos mal ejecutados que debilitan su estructura, áreas sometidas a esfuerzos críticos generados por acciones de frenado y arranque de los vehículos, ruptura de la estructura debido a hundimientos de las estructuras aledañas que por lo general son edificios o puentes, trabajos de mantenimiento mal ejecutados, etc.

En el capítulo 2, se desarrollan los aspectos involucrados en el proyecto ejecutivo de la rehabilitación de una vía. Por lo tanto, se mencionan los antecedentes y las condiciones de servicio que ofrecía el paseo Tollocan. Este capítulo se enfoca específicamente a presentar el problema y su contexto, así como también a presentar las alternativas de solución.

Es también objeto del capítulo 2, resaltar que la rehabilitación del pavimento flexible a base de sobrecarpetas involucra modificar muchos niveles existentes que están ligados entre sí, como las guarniciones y banquetas, las calles y avenidas que derivan del paseo Tollocan, etc.; mientras que la opción de rehabilitación con pavimento de concreto requiere modificar la estructura existente del nivel de rasante hacia abajo, lo cual es más sencillo y no repercute en otros factores, sobre todo porque su estructura es de menor espesor, más durable y requiere de menor mantenimiento que la equivalente para un pavimento flexible nuevo.

También se muestra un análisis comparativo de costos, el cual es un elemento más en la actualidad a favor del pavimento de concreto hidráulico con respecto al pavimento de concreto asfáltico, ya que si el pavimento rígido es un poco más costoso en su inversión inicial, después tomará ventaja a través de los años al requerir de mantenimiento preventivo y correctivo en muy pocas ocasiones, así como en un menor costo de operación.

La razón por la cual en un principio el pavimento de concreto era muy costoso hace tres o cuatro décadas, es debido a que la tecnología ha modificado el proceso constructivo de manera radical. Hoy en día se cuentan con plantas de concreto (incluso portátiles) con capacidad de elaborar volúmenes de concreto para alcanzar altos rendimientos en jornadas de colados día a día. En el tendido y compactación del concreto las cosas también han mejorado, pudiendo mencionar las pavimentadoras con cimbra deslizante, que también ofrecen las funciones de enrasar, curar y texturizar la superficie del pavimento, las cuales arrojan rendimientos impresionantes.

En el caso del diseño, también se han dado grandes pasos, y uno que ha sido de gran trascendencia, es aquel de introducir barras de acero liso en las juntas del concreto, con lo cual se transfiere entre las losas el efecto del peso de los vehículos, además de conservar el alineamiento vertical entre ellas; estas ventajas son muy importantes en casos como el tratado del paseo Tollocan, en presencia de elevados volúmenes de tránsito y cargas pesadas.

En el capítulo 3, se divide el proceso constructivo en sus distintas actividades para su mejor explicación y comprensión. También se menciona los trabajos de mantenimiento que requerirá un pavimento de concreto hidráulico a través de su vida útil.

En general, espero que este trabajo de tesis, pueda ser un elemento que sea utilizado como apoyo para analizar distintas obras de pavimentación en ciudades de nuestro país, en aquellos que de manera análoga con el paseo Tollocan, presenten las mismas condiciones de servicio, operación y tipos de falla.

También espero que se dejen atrás las costumbres de diseñar pavimentos bajo criterios muy limitados que omiten muchos de los factores que a corto y largo plazo destruyen las estructuras construidas mediante fallas funcionales y estructurales.

Por último, me permito invitar a la gente que pertenece al gremio y participa en cualquiera de las etapas de proyecto o construcción de un pavimento de concreto a realizar siempre su trabajo con esmero y calidad, ya que en este tipo de obras civiles no hay cosas pequeñas, todas trascienden y en conjunto hacen que una obra cumpla con éxito su periodo de vida útil e incluso superarlo.

REFERENCIAS

1. Carpeta de "Estudio y proyecto ejecutivo para la rehabilitación y modernización del pavimento de la calzada lateral norte del paseo Tolloccan, Toluca, Estado de México." elaborada por la empresa Caminos y Obras Urbanas, S.A de C.V. para la Junta de Caminos del Estado de México en el mes de febrero de 1999.
2. "Estructuración de vías terrestres." -Fernando Olivera Bustamante- 2a. edición México 1996. Editorial CECSA.
3. "Vías de comunicación. Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos." Carlos Crespo Villalaz. 2a. edición México 1986. Editorial LIMUSA.
4. "La ingeniería en México." -Enrique G. León López- 2a. edición México 1989. Editorial LIMUSA.
5. "Pavimentos de concreto para carreteras." Volumen I. -Manuel Zárate Aquino, Aurelio Salazar Rodríguez y José A. Tena Colunga. 1a. edición México 2001. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
6. "Manual del ingeniero civil." Tomo III. Frederick S. Merritt 2a. edición en español 1994. Editorial McGRAW-HILL.
7. "Manual de diseño y construcción de pavimentos de concreto". Cemex Concretos, S.A de C.V. 2a. edición, México 2001.
8. "Construcción de losas y pisos de concreto ACI-302". Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1a. edición México 1992.
9. "Proyecto y construcción de carreteras." - Tomo I - Vehículos, suelos, cálculo estructural - Georges Jeuffroy - 2a. edición española traducida de la 2a. edición francesa. Barcelona, 1977. Editorial - Editores técnicos asociados, S.A.
10. "Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto" - Londoño N. Cipriano Alberto - Editorial PILOTO, S.A. 1a. Edición año 2000. Medellín, Colombia.
11. Apuntes tomados en aula durante la clase de pavimentos, impartida por el prof. Manuel Zárate Aquino, en la ENEP ACATLÁN para la licenciatura en ingeniería civil. Semestre 2001-2 (Mayo a Octubre del 2001.)
12. "Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras" - Santiago Corro, Roberto Magallanes, Guillermo Prado. -Instituto de Ingeniería de la UNAM, edición 1980.
13. "Asphalt overlays for highway and street rehabilitation" - Asphalt Institute - MS 17. - edición 1983.
14. Artículo "El concreto sustituye con ventaja a los pavimentos de asfalto" de la revista IMCYC, No.66 Enero-Febrero 1974. Ing. Humberto Romero y Navarro.
15. Artículo "Pavimentos de concreto sobre asfalto" de la revista IMCYC No. 191 Marzo-Abril 1984. Dr. Jorge Gómez Domínguez.

Contenido de figuras

Figura	Página
1. Croquis de localización del paseo Tollocan.	1
2. Origen del tramo: El monumento a Emiliano Zapata ubicado en la intersección del Paseo Tollocan y la entrada al Municipio de San Mateo Atenco (cadenamiento 0+000).	2
3. Terminación del tramo: La puerta Tolotzin, ubicada en la intersección del paseo Tollocan y la Av. Alfredo del Mazo. (cadenamiento 10+800).	3
4. Planta del paseo Tollocan, donde se pueden observar los elementos que lo conforman.	4
5. Panorámica de la lateral Sur, donde se aprecia el cuerpo y camellón central, los acatamientos, el camellón lateral, la ciclopista y el cuerpo lateral.	4
6. Panorámica de la lateral Norte, donde se aprecia la vía de ferrocarril.	5
7. Planta tipo del paseo Tollocan.	5
8. Camino de terracería.	18
9. Carretera federal.	18
10. Sección transversal de una vía de ferrocarril.	21
11. Panorámica de un patio de maniobras de ferrocarriles.	21
12. Vías de un ferrocarril visto en planta.	21
13. Piso pulido para un área de usos múltiples.	22
14. En la imagen se puede observar el acero de refuerzo.	22
15. Piso decorativo de concreto estampado.	22
16. Una vía de ferrocarril en la superficie del pavimento.	25
17. Una línea de tubería de drenaje inmersa en el pavimento.	25
18. Una superficie del pavimento completamente lisa.	25
19. Desnivel entre losas, lo cual termina con despostillamientos.	25
20. Las roderas son fallas comunes de un pavimento flexible, provocadas por altos volúmenes de tránsito.	26
21. Deformaciones transversales provocadas por vehículos pesados al frenar o acelerar en zonas obligadas como un semáforo.	26
22. Ejes viales con circulación muy activa regida por semáforos.	26
23. Calles donde pueden circular todo tipo de vehículos.	26
24. El periférico de la ciudad de México.	27
25. El viaducto de la ciudad de México.	27
26. Lateral norte del paseo Tollocan.	27
27. Lateral sur del paseo Tollocan.	27
28. Estructura de un pavimento.	28 y 35
29. Zona de especificación granulométrica para fabricación de carpeta asfáltica (pavimento flexible).	36
30. Zonas de especificaciones granulométricas para material de base (pavimento flexible).	41
31. Zonas de especificaciones granulométricas para material de subrasante (pavimento flexible).	43
32. Estructura tipo I "Revestido".	51
33. Estructura tipo II "Carpeta asfáltica en frío" (pavimento flexible).	51
34. Estructura tipo III "Carpeta asfáltica en caliente" (pavimento flexible).	51
35. Estructura tipo IV "Carpeta asfáltica con base mejorada" (pavimento flexible).	51
36. Estructura tipo V "Carpeta asfáltica con capa de refuerzo (malla geotextil)" (pavimento flexible).	52
37. Estructura para pavimento rígido. La losa puede ser de cualquier tipo de pavimento rígido. 15-30 cm de espesor para carreteras y pavimento urbano. 25 a 40 cm de espesor en aeropistas.	52
38. Pavimento ultradelgado (Whitetopping) apoyado sobre carpeta asfáltica	52
39. Estructura de rehabilitación. Colocación de capa de refuerzo y nueva carpeta asfáltica.	52
40. Estructura de rehabilitación. Colocación de capa rompedora de capilaridad, base nueva y carpeta asfáltica.	52
41. Estructura particular. "Full-depth". (Espesor completo).	53
42. Estructura particular. "Zero maintenance" (Mantenimiento nulo).	53
43. Estructura particular. "Sección invertida".	53
44. Estructura particular. "Pavimento compuesto".	53
45. Estructura particular. "Adoquín".	53
46. Agrietamiento en forma de piel de cocodrilo.	56
47. Un bache en la superficie del pavimento.	57
48. Descarnado de la carpeta.	58
49. Grieta en el pavimento de concreto.	60
50. Despostillado de las juntas.	61
51. Vehículos A2.	69
52. Vehículos A'2.	69
53. Vehículos B2.	70
54. Vehículos B3.	70
55. Vehículos B4.	71
56. Vehículos C2.	71
57. Vehículos C3.	72
58. Vehículos C4.	72
59. Vehículos T2-S1.	73
60. Vehículos T2-S2.	73
61. Vehículos T3-S2.	74

Figura	Página
62. Vehículos T3-S3.	74
63. Vehículos C2-R2.	74
64. Vehículos C3-R2.	75
65. Vehículos C3-R3.	75
66. Vehículos T2-S1-R2.	75
67. Vehículos T2-S2-R2.	76
68. Vehículos T3-S1-R2.	76
69. Vehículos T3-S2-R2.	76
70. Vehículos T3-S2-R3.	77
71. Vehículos T3-S2-R4.	77
72. La curva muestra los niveles de servicio de una obra vial a través del tiempo y los efectos de una conservación buena y otra deficiente.	81
73. Trabajos de rehabilitación que pueden igualar, aumentar ó disminuir el período de servicio de un pavimento.	82
74. Reencarpelamiento de un pavimento con carpeta asfáltica.	88
75. Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento según el reporte de sondeos realizados.	96
76. Espesores efectivos para fines de revisión de la nueva estructura.	101
77. La escala PSI.	102
78. Sentido del cadenamamiento de referencia del paseo Tollocan.	103
79. El índice de servicio actual de la lateral norte del paseo Tollocan antes de la rehabilitación.	103
80. El índice de servicio actual de la lateral sur del paseo Tollocan antes de la rehabilitación.	104
81. Gráfica de proyecto del reporte 444 del Instituto de Ingeniería. Gráfica correspondiente a un nivel de confianza del 90%.	107
82. Valores de V.R.S para determinar los nuevos espesores de la estructura.	108
83. Espesor requerido a partir del terreno natural según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.	108
84. Espesor requerido a partir de la subrasante según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.	109
85. Espesor requerido para la carpeta asfáltica según el método de diseño del Instituto de Ingeniería.	109
86. Estructura requerida.	112
87. Estructura propuesta para la carpeta de concreto asfáltico (pavimento flexible).	112
88. Posición de las cargas para análisis por fatiga.	123
89. Posición de las cargas para análisis por erosión.	125
90. Correlaciones aproximadas entre clasificaciones de suelos y valores de resistencia.	127
91. Análisis por fatiga. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin acotamiento de concreto).	135
92. Análisis por erosión. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de erosión (sin acotamiento de concreto).	135
93. Sección de proyecto a construir según el método de la PCA.	138
94. Un tramo de 4.50 m de ancho después de retirar la carpeta existente (fresado).	143
95. Tramo de 1.5 km cerrado al tránsito	143
96. Una franja de 4.5m terminada y los demás carriles disponibles a la circulación.	143
97. Tramo pendiente de colar en la proximidad de una intersección vial.	143
98. Dispositivos de señalamiento provisional.	145
99. Daños en la superficie del pavimento provocados durante su fraguado por no protegerlo.	146
100. Daños en la superficie del pavimento provocados durante su fraguado por no protegerlo.	146
101. Daños en la superficie del pavimento provocados durante su fraguado por no protegerlo.	146
102. Colocación de cubiertas protectoras en caso de presentarse lluvia.	146
103. Colocación de cubiertas protectoras en caso de presentarse lluvia.	146
104. Croquis de dispositivos de señalización.	147
105. Letrero informativo de la obra.	148
106. Espesores promedio de la sección transversal del pavimento.	149
107. Sección de proyecto a construir para los dos cuerpos laterales.	149
108. Equipo para fresado Rotomill PR-750 ROADTEC RX68.	150
109. Equipo para fresado Rotomill PR-750 ROADTEC RX68.	150
110. Equipo para fresado Rotomill PR-750 ROADTEC RX68.	150
111. Sección de proyecto a construir para los carriles de aceleración y deceleración.	151
112. Sección de proyecto a construir para el tramo con capa rompedora de capilaridad.	153
113. Colocación de tubería para el drenaje de la ciudad.	154
114. Colocación de tubería para el drenaje de la ciudad.	154
115. Colocación de tubería para el drenaje de la ciudad.	154
116. Colocación de tubería para cableado de telefonía.	154
117. Caja de concreto para mantenimiento del drenaje.	155
118. Construcción de boca de tormenta.	155
119. Alcantarilla para recolección de aguas pluviales.	155
120. Lavadero de concreto.	155
121. Protección de una caja de registro durante el colado.	155
122. Formación de un pozo de visita para el drenaje.	155
123. Sección transversal para el pavimento de los dos cuerpos laterales	157
124. Sección transversal para el pavimento de los carriles de aceleración y deceleración (agujas de incorporación y desincorporación).	157
125. Detalle del plano general de una aguja de desincorporación.	158

Figura	Página
126. Panorámica de una aguja de desincorporación.	158
127. Al fondo se distingue el acceso a los carriles de alta velocidad (aguja de incorporación).	158
128. Detalle del plano general de una aguja de incorporación.	158
129. Junta entre pavimentos rígido y flexible de una aguja de desincorporación.	159
130. Sección transversal para el pavimento del tramo con capa rompedora de capilaridad.	159
131. La figura muestra una sección transversal típica del pavimento de concreto con sus respectivas elevaciones de cada una de las capas.	160
132. Ubicación de la capa subrasante dentro de la estructura del pavimento.	161
133. Material con TMA de 3" para la formación de la capa rompedora de capilaridad	162
134. Material para la formación del cuerpo de terraplén con TMA de 8".	162
135. Nivel de desplante sin mejorar ni compactar para la capa subrasante.	162
136. Nivel superior compactado y mejorado de la capa subrasante.	162
137. Trabajos de mejoramiento para la capa subrasante.	162
138. Nivel de desplante sin compactar para la subbase.	163
139. Tendido de material de banco para formar la subbase .	163
140. Trabajos de extendido y compactación de material para subbase.	164
141. Trabajos de extendido y compactación de material para subbase.	164
142. Estabilización de la subbase mediante la integración del cemento al material de banco.	164
143. Estabilización de la subbase mediante la integración del cemento al material de banco.	164
144. Tramo compactado y estabilizado listo para recibir el riego de sello con emulsión asfáltica.	164
145. Tramo compactado y estabilizado listo para recibir el riego de sello con emulsión asfáltica.	164
146. Tramo de subbase listo para recibir el concreto hidráulico premezclado.	165
147. Rodillos compactadores de concreto.	165
148. Rodillos compactadores de concreto.	165
149. Regla vibratoria.	166
150. Detalle de construcción de un retorno continuo.	166
151. Detalles de construcción en el colado de una vía.	166
152. Detalles de construcción en el colado de una vía.	166
153. Los módulos metálicos de cimbra regirán el alineamiento horizontal y vertical de las losas.	167
154. El módulo metálico de cimbra sirve para enrasar la superficie del pavimento.	167
155. Tramos por colar con cimbra fija metálica. Se observa también una superficie limpia y ligeramente humedecida para recibir la descarga de concreto.	168
156. Tramos por colar con cimbra fija metálica. Se observa también una superficie limpia y ligeramente humedecida para recibir la descarga de concreto.	168
157. Tramos de pavimento de concreto hidráulico colado con cimbra metálica fija y rodillos compactadores de concreto.	169
158. Tramos de pavimento de concreto hidráulico colado con cimbra metálica fija y rodillos compactadores de concreto.	169
159. Pavimentación de una carretera con equipo de cimbra deslizante.	170
160. Pavimentadora Challenger 2000.	172
161. Pavimentadora Challenger 2000.	172
162. Tramo listo para colar con la pavimentadora de cimbra deslizante.	172
163. Inicio de un colado con la pavimentadora de cimbra deslizante.	172
164. Pavimentadora Challenger 2000 con sensores de nivel electrónicos y cimbra deslizante.	174
165. Pavimentadora Challenger 2000 con sensores de nivel electrónicos y cimbra deslizante.	174
166. Rodillos compactadores de concreto sobre cimbra fija.	175
167. Rodillos compactadores de concreto sobre cimbra fija.	175
168. Colocación manual del concreto.	175
169. Colocación manual del concreto.	175
170. Barras de amarre a lo largo de una junta longitudinal.	184
171. Barras de amarre a lo largo de una junta longitudinal.	184
172. Barras de amarre a lo largo de una junta longitudinal.	184
173. Barras pasajuntas a lo largo de una junta transversal.	185
174. En la foto se aprecian las barras de amarre y las barras pasajuntas.	185
175. Colocación de barras de amarre y barras pasajuntas.	186
176. Texturizado de la superficie del pavimento.	190
177. Texturizado de la superficie del pavimento.	190
178. Texturizado de la superficie del pavimento.	190
179. Tela de yute para microtexturizado.	192
180. Peine texturizador con dispositivos mecánicos.	192
181. Peine con dientes metálicos para texturizado transversal manual.	192
182. Equipo para medición de calidad de la superficie del pavimento ROAR Mark II (Road Analyzer and Recorded).	196
183. Equipo para medición de calidad de la superficie del pavimento. Perfilógrafo tipo California.	197
184. La texturizadora curadora aplicando la membrana de curado al pavimento.	199
185. Aplicación de la membrana de curado mediante una bomba aspersora.	200
186. Aplicación de la membrana de curado mediante una bomba aspersora.	200
187. Aplicación de la membrana de curado mediante una bomba aspersora.	200
188. Cortadoras con disco de diamante para realizar el aserrado del concreto.	201
189. Cortadoras con disco de diamante para realizar el aserrado del concreto.	201

Contenido de tablas

Tabla	Página
1. Localización geográfica del tramo en estudio.	2
2. Infraestructura actual del país.	14
3. Simbología para la clasificación por transitabilidad de los caminos.	17
4. Clasificación general de carreteras en México.	19
5. Clasificación de pisos.	23
6. Tipos de instalaciones en un pavimento urbano.	24
7. Tipos de vialidades urbanas.	26
8. Granulometría de la grava.	37
9. Sustancias perjudiciales permisibles en la grava.	37
10. Requisitos de calidad para la grava.	38
11. Granulometría de la arena.	38
12. Requisitos de calidad de la arena.	38
13. Sustancias perjudiciales permisibles en la arena.	39
14. Valores estándar de calidad para materiales de base.	41
15. Valores estándar de calidad para materiales de subbase y revestimiento.	42
16. Valores estándar de calidad para materiales de subrasante.	44
17. Valores estándar de calidad para materiales del cuerpo de terraplén.	45
18. Tipos de obras viales.	45
19. Estructuración del cuerpo de terraplén según el tipo de obra vial.	46 y 47
20. Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas.	48, 49 y 50
21. Factores que afectan la capacidad y niveles de servicio para las intersecciones.	66
22. Configuración de ejes para vehículos.	68
23. La escala del índice de calidad de servicio (PSI).	83
24. Informe de estudio geotécnico.	95
25. Espesores promedio de las capas que forman la estructura del pavimento existente.	96
26. Resumen de datos de los ensayos de laboratorio del Terreno natural.	98
27. Resumen de datos de los ensayos de laboratorio de la Subrasante.	99
28. Características del material de las capas granuales.	100
29. Relación del tránsito diario promedio anual.	101
30. Escala PSI.	102
31. Valores típicos para el índice de servicio terminal (p_t).	104
32. Valores típicos para el grado de severidad de los daños.	105
33. Levantamiento de daños para las dos laterales.	105
34. Determinación del ESAL (Equivalent Single Axle Load) Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton a una profundidad de 1.00m.	110
35. Determinación del ESAL (Equivalent Single Axle Load) Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton a una profundidad de 0.60m.	111
36. Valor típico del módulo de reacción combinado k_c para diferentes tipos y espesor de subbase.	128
37. Periodos de diseño según el tipo de vialidad. ⁵	129
38. Tasas anuales de crecimiento de tránsito (r) y sus correspondientes valores de proyección.	130
39. Factores de seguridad de carga LSF.	130
40. Cálculo de los datos de tránsito según las cargas por eje en el horizonte de proyecto.	132
41. Esfuerzo equivalente para pavimentos sin acotamiento de concreto. (Eje sencillo/eje doble).	133
42. Esfuerzo equivalente para pavimentos. Ejes triples. (sin acotamiento de concreto/con acotamiento de concreto).	134
43. Factor de erosión. Juntas con pasajuntas sin acotamiento de concreto. (Eje sencillo/eje doble).	134
44. Factor de erosión. Ejes triples, juntas con pasajuntas. (sin acotamiento de concreto/con acotamiento de concreto).	134
45. Hoja de cálculo para el método de diseño de la Portland Cement Association.	136 y 137
46. Comparativa de costos para pavimentos rígido y flexible.	139
47. Mejoramiento de la capa subrasante según el proyecto.	161
48. Mejoramiento de la capa de subbase según el proyecto.	163
49. Ficha técnica. Pavimentadora Challenger 2000.	171
50. Sustancias perjudiciales permisibles en el agua.	179
51. Revenimientos recomendados en el concreto.	182
52. Contenido de aire incluido en mezclas de concreto.	184
53. Tolerancias de construcción para las losas de concreto.	187
54. Ajuste de precio por espesor.	188
55. Tolerancias de espesor para la estructura del pavimento.	189
56. Características del peine texturizador.	191
57. Valores de resistencia mínima al derrapamiento.	193
58. Factores de ajuste aplicables al precio unitario por calidad de superficie terminada.	194
59. Factores de forma más comunes para los selladores.	210
60. Requisitos y especificaciones de calidad para el material de sellado de las juntas de las losas de concreto del pavimento.	212
61. Condiciones de apertura rápida al tránsito.	214

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero dedicar la culminación de esta licenciatura a mis Padres, por su valiosa presencia y cariño, ya que a través de los años me han educado, además de otorgarme todo lo que esté al alcance de su mano.

Al Sr. Francisco Castañeda Hernández, mi padrino; por todos los útiles consejos y detalles de cariño que ha tenido para conmigo durante toda la vida.

Al Ing. Román Millán García y q.e.p.d., por haber sembrado en mi persona la inquietud por esta profesión.

A mi novia Nadia por que es una gran mujer y ha tenido la paciencia de estar a mi lado mientras cumplo con esta meta.

Al Ing. Manuel Zarate Aquino por haber aceptado ser el asesor de esta Tesis y por compartir conmigo sus conocimientos y tiempo.

Al Arq. Santiago Pacheco Lapiedra, Gerente General de la empresa Tecnología y Construcciones de Concreto, S.A de C.V. y al Ing. Alfonso Reims Alpuche y q.e.p.d., Gerente General de la empresa Ingeniería y Equipos para Concreto, S.A. de C.V.; por todas las oportunidades otorgadas a mi persona, por su gran amistad y por todos los conocimientos adquiridos a través del tiempo que formé parte de sus distinguidas empresas.

Al Ing. Pablo Cruz García, por todos los consejos que me dió en las distintas obras que tuve la oportunidad de realizar a su lado, y también por colaborar con material de apoyo para la elaboración de esta Tesis.

Al Ing. Francisco Montes de Oca responsable del Departamento de Estudios y Proyectos de la Junta de Caminos del Estado de México, por haber colaborado ampliamente con material de apoyo para esta Tesis.

Al Ing. Guillermo Ramírez y al Ing. Roberto Flores de la empresa Diseño Racional Contemporáneo, S.A de C.V.; por su apoyo con material fotográfico para realizar esta Tesis.

Al personal de la empresa Caminos y Obras Urbanas, S.A. de C.V. por su colaboración con material fotográfico para esta Tesis.