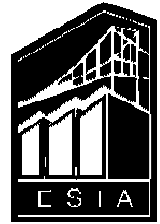


INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL



**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
“UNIDAD ZACATENCO”**

**EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO
EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA AVENIDA
ARBOLEDAS**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTAN
IVAN D. ZAGACETA GUTIERREZ
RAMIRO ROMERO ORDOÑEZ**

**ASESOR
ING. JOSÉ SANTOS ARRIAGA SOTO**

“LA TECNICA AL SERVICIO DE LA PATRIA”

MÉXICO, D.F. 2008

A mis Padres

Como un testimonio de mi gratitud
Por su amor, apoyo y estímulo
En cada uno de los pasos
Que he dado hacia esta meta
Y por compartir mis horas grises
Y mis momentos felices.

Porque en todos mis tropiezos
Ustedes me dieron la mano
Y me alentaron a continuar.

Es por eso que al alcanzar
Por fin mi meta, no tengo
Palabras para decirles.....

“Gracias”

Con respecto y admiración
RAMIRO

"EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRÁULICO PREMEZCLADO EN LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA AVENIDA ARBOLEDAS

- I N D I C E -

Introducción	4
Capítulo 1	
"Generalidades"	5
1.1 Las vías de comunicación terrestres	6
a) Carreteras	6
b) Ferrocarriles	8
c) Pavimentos urbanos	9
1.2 Descripción y función de un pavimento	16
a) Definición	16
b) Descripción y función de un pavimento	17
c) Tipos de pavimentos	33
1.3 Problemática de los pavimentos urbanos	41
a) Fallas en los pavimentos	41
b) La vida útil y el nivel de rechazo de un pavimento	49
c) La rehabilitación y mantenimiento de un pavimento	54
Capítulo 2	
"La modernización y rehabilitación de la avenida arboledas"	62
2.1 Antecedentes	62
2.2 Las ventajas de utilizar el pavimento de concreto hidráulico	84
2.3 El método de diseño para pavimentos de concreto	88
2.4 El costo de inversión inicial, el costo de mantenimiento y la vida útil de la obra	106
Capítulo 3	
"El proceso constructivo de la repavimentación de la avenida Arboledas"	109
3.1 Obras preliminares	109
a) Control del tránsito durante la obra	109
b) Demolición del pavimento existente para alcanzar niveles de proyecto	115
c) Ubicación y protección de instalaciones subterráneas	119
d) Trazo y nivelación del proyecto geométrico	119
3.2 Construcción de la estructura del nuevo pavimento	122
a) Mejoramiento y compactación de la capa subrasante	122
b) Tendido y compactación del material de subbase	124
c) Cimbra metálica para el pavimento de concreto hidráulico premezclado (fija y deslizante)	126
d) El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento	130
e) Texturizado de la superficie del pavimento de concreto	144
f) El curado del concreto hidráulico premezclado	151
g) Los cortes transversales y longitudinales de las losas	153
h) El sello de los cortes transversales y longitudinales	160
i) Apertura al tránsito	164
j) El mantenimiento preventivo y correctivo	166
CONCLUSIÓN	167
BIBLIOGRAFÍA	168

INTRODUCCIÓN

Esta tesis va dirigida al público en general, no únicamente a los que estén interesados en las vías terrestres, esto con el fin de dar a conocer a todos una mejor visión acerca de las diferentes formas de construir un camino que sea cómodo, seguro y transitable en toda las épocas del año.

Los autores de esta tesis dan a conocer dos sistemas para la construcción de un camino, uno denominado pavimento flexible y el otro pavimento rígido, de los cuales se generan una serie de funciones y descripciones de ambos, teniendo como objetivo conocer sus ventajas y desventajas respectivamente, también se hace hincapié en el costo de la ejecución de dichos pavimentos, donde se involucran varios factores como el tiempo de vida útil, el costo de mantenimiento entre otros.

Otro tema muy importante; la problemática de los pavimentos, en el se habla de los factores que pueden afectar al pavimento durante su proyecto, ejecución y mantenimiento después de estar en funcionamiento, el porque se generan fallas mas comunes como son: la piel de cocodrilo, baches, etc. los cuales se explican de manera particular y concreta, para que se tenga una mejor idea acerca de el funcionamiento de los pavimentos.

Los autores se inclinan mas al pavimento rígido realizado con concreto hidráulico ya que hoy en día es la opción mas óptima gracias al avance científico y tecnológico obtenido, que abarca desde los estudios que se realizan en los materiales pétreos que intervienen en la elaboración del concreto, hasta la maquinaria empleada en la elaboración y construcción del pavimento, también se opta por hacer un estudio mas detallado, el cual abarca temas como el diseño, cálculo por medio de dos métodos diferentes los cuales son de la ASSHTO y el de la PCA.

Por ultimo presentan el procedimiento constructivo en la avenida arboledas la cual anteriormente tenia pavimento flexible y se cambio por pavimento rígido, esto con el fin de darle un periodo de vida mas prolongado, abatiendo el costo del mantenimiento.

GENERALIDADES

Al tratar de tan importante materia, se puede decir, lo que sigue: El obstáculo que al desarrollo y progreso de la humanidad presentaba el espacio, ha procurado la misma atenuarlo buscando maneras de ponerse en comunicación, que han sido más o menos perfectas según el estado de su adelanto y cultura.

De la facilidad de las comunicaciones se derivan como inmediatas consecuencias la grandeza comercial de los pueblos y su influencia en el destino de la humanidad ; en todas las edades, los pueblos que han tenido mayor número de medios para sus relaciones y tráfico, han sido los más ricos y los que han ofrecido mayor interés a la historia; sin vías de comunicación fácilmente se comprende el dominio del despotismo y la miseria, esto es, la ignorancia en sus fases política, religiosa, económica y rentística

Las condiciones y cualidades todas del hombre y del mundo en que se mueve, demuestran que no puede vivir aislado, que tiene precisión de ponerse en contacto con los demás.

Desde tiempos remotos el hombre se ha enfrentado con el problema de vencer las distancias y para resolver este problema empezó a utilizar sus propios medios de comunicación.

Cuando en su camino encontró obstáculos como montañas, ríos, lagos, mares y océanos, puso en juego todas sus energías para dominar estos hechos del medio geográfico y logro vencerlos a base de grandes penalidades surgido siempre por gran necesidad. Tras muchos siglos de lucha contra el medio geográfico ha logrado actuar las distancias empleando modernas vías de comunicación.

El hombre ha clasificado a las vías de comunicación en: terrestres, fluviales, marítimos, aéreos. También atendiendo a la construcción, al origen o naturaleza constitutiva de las vías de comunicación, se pueden dividir en dos grandes grupos, denominadas naturales y artificiales, comprendiendo en el primero el mar y los ríos, y en el segundo todas las que el hombre ha creado.

Todas las vías de comunicación son importantes para el desarrollo de la humanidad, de todas ellas las que mas nos interesan son las vías terrestres, las cuales están comprendidas en carreteras y ferrocarriles.

Las vías terrestres fueron inauguradas por el hombre primitivo y comenzaron a ser veredas señaladas por las huellas de los recolectores, cazadores pescadores y pastores que deambularon en muchas porciones reducidas de los continentes. Mas tarde las caravanas y los grupos emigrantes señalaron caminos de herraduras con la maravillosa invención de la rueda montadas sobre ejes, el hombre trazo las primeras rutas en valles y llanuras.

Durante muchos siglos las vías terrestres estuvieron constituida por simple caminos transitados por peatones, jinetes y conductores de recuas y caravanas; la causa de este fenómeno es que mientras el mundo estuvo habitado escasamente y la subsistencia satisfacían las necesidades de cada región, no hubo problemas de abastecimiento y el comercio se realizo entre pueblos situados a corta distancias unos de otros.

No fue sino hasta el siglo XIX cuando las vías terrestres mejoraron notablemente debido al incremento del comercio.

1.1 LAS VÍAS DE COMUNICACIÓN TERRESTRES

CARRETERAS

Las primeras fueron construidas por los romanos en Europa con fines militares. Durante varios siglos constituyeron las mejores vías terrestres en cuanto que permitieron el tránsito menos penoso que el de los caminos de herradura.

Algunos acostumbra 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 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.

Originalmente las carreteras fueron trazadas para comunicar o unir ciudades; hoy día su construcción se identifica para aproximar con mayor rapidez los centros de producción y de consumo además las carreteras cuentan con importante circulación de transporte de pasajeros. La comunicación modifica poderosamente las regiones que atraviesan, influyendo notablemente en el aumento de la producción, población y del comercio.

CLASIFICACION DE LAS CARRETERAS.

Las carreteras se han clasificado de diferentes maneras en diferentes lugares del mundo, ya sea con arreglo al fin que con ellas se persiguen o por su transitabilidad.

Se pueden distinguir varias clasificaciones las cuales son:

- **POR SU TRANSITABILIDAD:** Corresponden a las etapas de construcción y se divide en:
 1. *Terracerías:* cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante transitable en tiempo de secas.
 2. *Revestidas:* 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.

- **POR SU 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.
 2. *Estatales:* cuando son construidas 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 antes llamadas Juntas Locales de Caminos.

3. *Vecinales o Rurales*: cuando son construidas con la cooperación de los vecinos beneficiados pagando éstos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la Federación y el tercio restante el Estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las antes llamadas Juntas Locales de Caminos y ahora Sistema de Caminos.
 4. *De Cuota*: las cuales quedan unas a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios y Conexos y otras como las autopistas o carreteras concesionadas a la iniciativa privada por tiempo determinado, siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.
- **TECNICA OFICIAL:** Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes del tránsito sobre el camino al *final del periodo económico del mismo (20 años)* y las especificaciones geométricas aplicadas (S.T.C.) clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:
1. *Tipo Especial*: para tránsito promedio diario anual superior a 3,000 vehículos, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos o más (o sea un 12% del T.P.D.). estos caminos requieren de un estudio especial, pudiendo tener corona de dos o de cuatro carriles en un solo cuerpo, designándoles A2 y A4, respectivamente, o empleando 4 carriles en dos cuerpos diferentes designándoles como A4,S.
 2. *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.).
 3. *Tipo B*: para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1,500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% del T.P.D.).
 4. *Tipo C*: para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.).

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

FERROCARRILES

El uso del ferrocarril fue anterior al de las carreteras modernas. Su empleo se inició en Inglaterra hacia 1830 con la invención de la máquina de vapor por Stephenson mucho antes de que se usara el ferrocarril el transporte se realizaba por carreteras transitadas por diligencias y carros de carga. Su tránsito hallaba condicionado por el estado del tiempo: las lluvias y las nevadas detenían su marcha.

Desde su aparición los ferrocarriles han influido poderosamente en la prosperidad de los pueblos, como ejemplos. En América, al paso del ferrocarril surgieron numerosas ciudades. En Europa las vías se trazaron para enlazar ciudades; logrando con ello mayor florecimiento y esplendor en la vía económica de estas.

En 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 kilómetros 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 de la red férrea mexicana, con 23,000 kilómetros aproximadamente (1993).

La reducción del ritmo de construcción de las vías férreas se debió, en parte, a la necesidad de crear la red caminera de la cual se construyeron 55,000 kilómetros de caminos entre 1926 y 1966, y a la fecha van más de 250,000 transitables en todo tiempo.

Los ferrocarriles nacionales mueven, diariamente, algo más de 500 trenes (1/3 de pasajeros y 2/3 de carga) recorriendo un promedio de 300 kilómetros los de pasajeros y de 200 kilómetros los de carga.

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.

No se cuentan en la actualidad con una clasificación 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:

- *LINEAS PRINCIPALES Y LINEAS SECUNDARIAS:* Las líneas principales son aquellas que forman las grandes líneas troncales y las líneas secundarias las que complementan la red formada por las anteriores dando así un sistema completo de vías férreas.
- *LINEAS DE VIA ANGOSTA Y DE VIA ANCHA:* Esta clasificación corresponde al aspecto económico de su construcción sin tener en cuenta si es una vía principal o secundaria, es decir que una línea principal no necesariamente debe ser de vía ancha o que una secundaria sea de vía angosta, ya que ello dependerá de los aspectos económicos relativos a la construcción.
- *LINEAS DE TRANSITO GENERAL, SUBURBANAS Y URBANAS:* Esta es una clasificación relativa al servicio público que presentan y así se tiene que las líneas de tránsito general corresponden al servicio nacional o internacional de larga distancia. Las líneas suburbanas son aquellas que ligan una población con sus zonas de influencia cercanas. Las líneas urbanas son las que presentan servicio dentro de las poblaciones, ya sea estos servicios efectuados sobre la superficie como los tranvías o subterráneos o elevados como los metropolitanos.

- **LINEAS DE SERVICIO PARTICULAR:** Corresponden a las líneas dedicadas exclusivamente al servicio de algunas empresas de carácter privado tales como las líneas mineras.

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 balastro, a lo que hay que agregar los accesorios de las vías como placas, planchuelas, tornillos, etcétera.

PAVIMENTOS URBANOS

MATERIALES

La piedra fue uno de los primeros materiales que utilizó el hombre debido a sus extraordinarias características, tales como resistencia, decoración, etc., y también como materia prima para la fabricación de otros materiales de construcción.

Es muy probable que los griegos fueran los primeros en utilizar las cales para revestimientos de muros, siendo más tarde los romanos los que perfeccionaron el proceso de fabricación, seleccionando con gran cuidado las materias primas que llegaban de Etruria, estudiando aunque rudimentariamente, las propiedades de la cal después de cocida. A la cal una vez obtenida, le añadían arena para la fabricación de morteros. Tanto en tiempos de los romanos como en los siglos siguientes, consideraron como caliza impura las que contenían arcilla para la fabricación de la cal.

El empleo del hormigón es muy antiguo. En las ciudades de Troya y Micenas se utiliza un hormigón rudimentario de piedras aglomeradas con arcilla.

A partir del siglo I, los romanos comienzan a estudiar las posibilidades nuevas que ofrecía un material que poco a poco se había ido imponiendo; el empleo del hormigón (*opus caementicium*), hecho de morrillo mezclado con durísimo cemento de arena volcánica (puzolana) y arcilla, permitiendo a la arquitectura romana, superar los límites y las formas que a la arquitectura griega le impuso el uso exclusivo de la piedra.

Durante varios siglos se utiliza el hormigón como material de relleno hasta la aparición del cemento Pórtland, que es cuando comienza un estudio más detallado del comportamiento de este material y de sus propiedades, como las de aumentar su resistencia con el tiempo, tomar la forma que en cada caso convenga al proyectista etc., siendo en la actualidad, uno de los materiales de mayor utilidad en la construcción.

Posteriormente se asocia el acero al hormigón para mejorar sus propiedades, dando lugar al hormigón armado, material de extraordinaria importancia para la construcción en la actualidad.

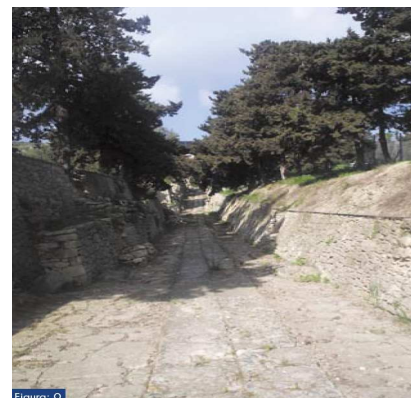


Figura: 0

PAVIMENTOS DE CALZADAS

La primera vez que se emplea el firme es en Asia, en las vías que construyó el Imperio Hitita. En Creta en el Minoico Medio (2.300 – 1.700 a. de C.), se utilizó como pavimento en la vía procesional que discurre desde las proximidades del mar hasta el palacio de Knossos, grandes losas de piedra asentadas sobre capas de arcilla, piedra y yeso. Generalmente la piedra utilizada es caliza por su abundancia en la zona y trabajabilidad aunque en contadas ocasiones se emplea la arenisca. (Fig. 0).

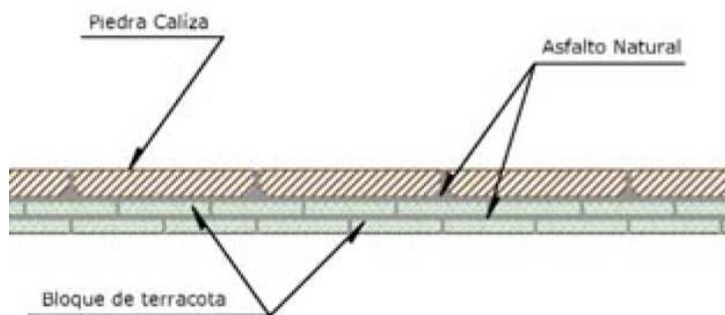


Figura: 1. Esquema del firme utilizado

En Babilonia (600 a. de C.), en la avenida procesional de Aibur-Shabu, se emplean también losas como pavimento. (Fig. 1).

La base del firme consta de varias hiladas de bloques de terracota unidos por asfalto natural y como

pavimento losas de piedra caliza achaflanadas en su parte inferior, selladas también con asfalto natural, incluso las juntas.

En Egipto, para la construcción de las pirámides, fue necesario construir caminos que además de ser resistentes tuvieran una superficie lisa e indeformable para transportar los materiales pesados, empleando para ello losas de piedra toscamente labradas asentadas sobre terreno firme.

Las vías griegas eran de carácter muy localizado, normalmente religioso y para facilitar el acceso a los templos utilizaron también losas de piedra como pavimento. Estas calzadas tenían como característica especial, el de disponer de hendiduras de unos centímetros de profundidad en las losas de piedra para que sirvieran de guía a las ruedas de los carros.

El sistema de urbanización y de comunicaciones más perfecto de la Edad Antigua corresponde al Imperio Romano por sus grandes detalles técnicos y funcionalidad de sus vías.

Los técnicos romanos construyeron vías con grandes alineaciones rectas, utilizando distintos firmes en función de la categoría de la vía y de su funcionalidad. Podemos considerar tres tipos:

- Vías urbanas (Stratis lapidibus).
- Caminos con firme (Iniecta Glarea).
- Caminos de tierra (Terrenae).

Las vías urbanas de más categoría, se construían con un gran firme. En primer lugar se efectuaba una excavación de tierras hasta encontrar una capa dura de cimentación,

sobre la que se preparaba un lecho formado por arcillas y bolos o gravas de gran tamaño (statumen); sobre esta capa se extendía otra de hormigón de cal (rudus) y en otros casos piedra machacada con materiales sueltos de grano fino (nucleus), para sobre ésta, colocar como pavimento lasas o lajas de piedra (summa crusta) colocadas con el máximo cuidado formando un extraordinario pavimento continuo, donde las juntas se cuidaban mucho.

Las vías urbanas de inferior categoría (Fig. 2), se construían con un firme (Fig. 3), algo inferior y constaba de una base formada por grandes bolos y materiales sueltos de grano fino y a veces cemento rudimentario de puzolanas, para después colocar como pavimento lasas o lajas de piedra. En otros casos, estas vías urbanas estaban formadas por dos bandas longitudinales de piedra y varias transversales para contener el empedrado concertado de los huecos centrales (Fig. 4).



Figura: 2. Calle romana en Sagunto (Valencia)

Todos los firmes urbanos disponían de un enlosado final como pavimento, para comodidad del peatón, servir al tráfico lento de animales y carros y por razones de higiene.



Figura: 3. Detalle del firme



Figura: 4. Vía Apia (Roma-Capua). Primer camino empedrado.

A las vías principales interurbanas se les daba otro tratamiento, al considerar que el tráfico era más rápido, normalmente no peatonal, suponiendo un gran peligro los enlosados. Estas vías estaban construidas sobre cimientos de piedra de gran espesor, terminados superficialmente con piedra caliza de menor tamaño.

El ancho de estas vías era de 5 a 6 m., 4,50 de calzada central para que pudieran cruzarse dos vehículos y el resto para dos paseos laterales. La mano de obra empleada en la construcción estaba formada por legionarios que eran a la vez terraplenadores y soldados y siempre lo siguieron siendo.

El material básico utilizado en la mayoría de los casos, con preferencia a otros materiales, era la zahorra natural de granulometría muy variada. Los tamaños mayores se empleaban como cimientto del firme y sobre esa capa se colocaban otras de materiales sueltos de grano fino y en otros casos se estabilizaban con cal ya que la compactación era prácticamente nula.

La presencia del agua en el firme y los daños que ésta podía causar en el mismo, eran conocidos por los técnicos romanos, que trataron de evitarlos empleando una capa de arena entre la explanada y el resto del firme. Tanto las aguas sobrantes de las fuentes públicas como las de lluvia las canalizaban hasta las cloacas contribuyendo así a la salubridad pública (Figs. 5 y 6).



Figura: 5. Cabecera de cloaca



Figura: 6. Cloaca central

Las cloacas de sección rectangular, generalmente situadas en el eje de la calle, disponían de losas de cierre en la coronación con juntas a tope dejando un hueco entre una y otra a una distancia determinada para absorber el agua de lluvia. En otro continente, los mayas, construyen caminos (Sache) para el acceso a los templos, empleando como cimientto piedras calizas blancas, apisonadas con cilindros de piedra, y como pavimento un enlosado de la misma naturaleza, conservándose en perfecto estado al no tener que soportar estos pavimentos la acción de las cargas de carros y caballerías etc.

Otros caminos eran el Nohbe con gran ancho y las veredas (Colbe). Los aztecas construyeron calzadas locales y cortas situadas en los alrededores de México.

La caída del Imperio Romano, supone su segregación en pequeñas naciones, desapareciendo en parte la comunicación entre los pueblos. En aquellos siglos, las órdenes religiosas son las que fomentan la comunicación a través de los caminos peregrinos en España, Francia, etc., encargándose los señores feudales, de la conservación y mejora de los caminos de sus cercanías.

En la Edad Media aunque en menos escala es frecuente la pavimentación con losas de piedra más o menos concertadas y también el empleo de piedras de tamaño más reducido como pavimento (empedrados) para el tránsito de caballerías y ganados (Fig. 7 y Fig. 8).



Figura: 7. Empedrados



Figura: 8. Empedrados

A finales del siglo XVIII se inicia una nueva visión tecnológica de los pavimentos urbanos por razones de higiene, mejora del transporte, etc. La tipología de los pavimentos de piedra en las ciudades españolas es muy variada. Los más característicos son los siguientes: Pavimento de adoquín rodado de 20 x 30 cm y de 18 ó 20 cm de espesor asentando sobre lecho de arena (Fig. 9). Registro formado por bordillos de rodado (Fig. 10).

Pavimento de adoquín mosaico de 10 x 18 cm de pórfido de 6 a 8 cm de espesor, tomado con mortero de cemento sobre base de hormigón hidráulico de 20 a 30 cm de espesor (Fig. 11)



Figura: 9

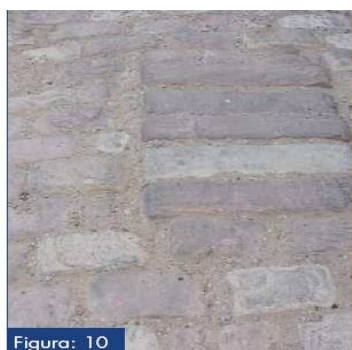


Figura: 10



Figura: 11

Pavimentos de hormigón blindado de unos 20 cm de espesor (Fig. 12). Pavimento (firme blanco) que consistía en 20 cm de piedra machada y recebo con árido de machaqueo o tierra seleccionada (Fig. 13).



A principios del siglo XIX se comienzan a pavimentar calles utilizando alquitrán en riegos. Las primeras mezclas con alquitrán in situ se extendieron en algunas calles de Londres y más tarde en zonas peatonales de la Puerta del Sol, (Madrid). Posteriormente, en Estados Unidos se emplearon mezclas fabricadas a partir de rocas asfálticas y de asfaltos naturales. Como consecuencia del desarrollo de la industria del petróleo, se comenzó a emplear los betunes asfálticos para la fabricación de mezclas asfálticas, siendo el norteamericano Richardson el que estableció las bases de la tecnología de las citadas mezclas, que en la actualidad son básicas para la pavimentación. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de estos materiales se produce durante la II Guerra Mundial por las urgentes necesidades de construcción de pistas de aeropuertos militares.

Como pavimentos más característicos de aquella época podemos citar: Pavimento de losetas de asfalto comprimido de 20 x 20 x 4 cm colocadas con mortero de cemento o con riego asfáltico en algunos casos, sobre una base de hormigón de unos 20 cm de espesor Pavimento de asfalto fundido en capa de 5 cm sobre base de hormigón de unos 20 cm de espesor (Fig. 15).

Pavimento Warren, llamado así por ser Warrenite la casa especializada en la construcción de estos pavimentos en los que se empleaban grandes dotaciones de betún. La sección de este firme era la siguiente:

- 30 cm. de zahorras naturales
- 10 cm. de piedra machacada
- Riego profundo de 7 kg /m² de betún 180/200 y extensión de árido rodado.
- Riego superficial de 3 kg /m² de betún 180/200 y extensión de árido rodado (Fig. 16).

A mediados del siglo XX, en las vías urbanas se comienzan a cubrir los antiguos pavimentos de piedra con capas de mezcla asfálticas, a pesar de su durabilidad y capacidad de soporte en algunos casos para resistir cargas pesadas, siendo entre otras causas las siguientes:

- Refuerzos necesarios por aumento de las cargas de tráfico
- Por ser su rodadura incomoda y ruidosa.
- Convertirse en un peligro al hacerse deslizantes.
- Su elevado coste de conservación tanto de materiales como de mano de obra.
- Hacer más visible la señalización horizontal, etc..

A finales del último tercio del siglo XX, se emplean a gran escala innovaciones particularmente adaptadas a las necesidades urbanas, como son los microaglomerados, pavimentos drenantes, fonoabsorbentes, etc.

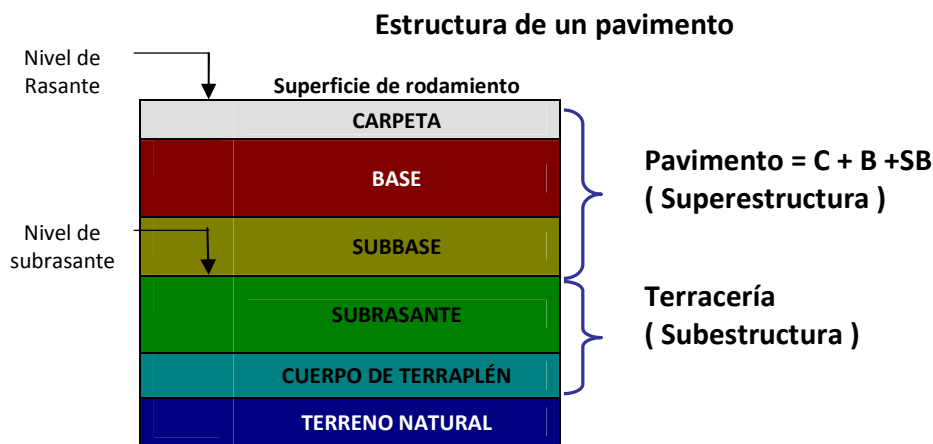


1.2 Descripción y función de un pavimento

Definición de pavimento

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

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 tener una operación rápida y cómoda.. Este conjunto de capas proporciona también la superficie de rodamiento, en donde se debe



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.

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.

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.

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:

- ✓ 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

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.

Descripción y función de un pavimento.

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 siguientes funciones:

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.

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.
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.

Descripción y funciones de las capas de un pavimento

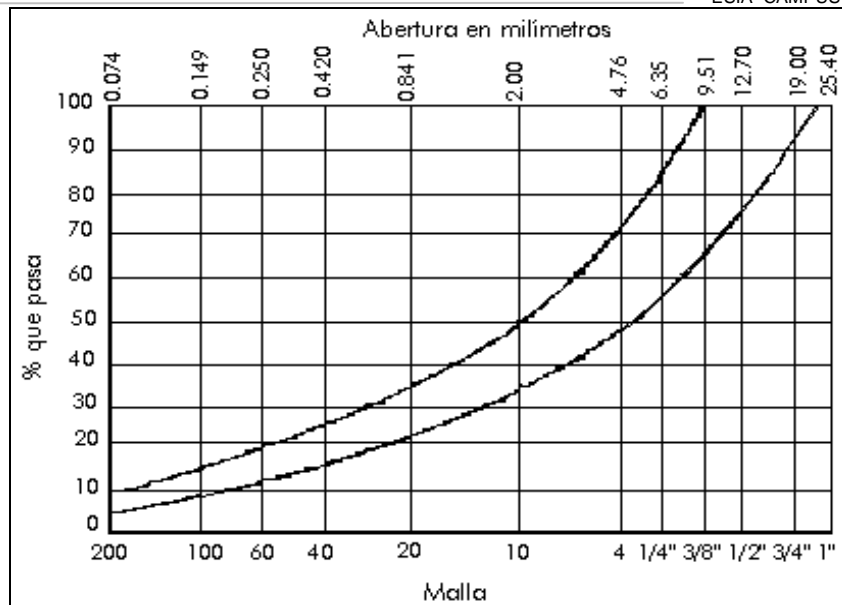
Carpeta

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.

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:

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

En la siguiente tabla se muestran los límites de granulometría 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.



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.

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 sub-clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo 1 y Tipo 1P.

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.

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 1**, ya que el diseñador de la mezcla puede determinar otras secuencias.

Tabla 1
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 2**:

Tabla 2
Sustancias perjudiciales permisibles en la grava

Sustancia perjudicial	%
Partículas deleznable	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 3**:

Tabla 3
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:

Tabla 4
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 4**, excepto en los siguientes casos:

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.

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 5**:

Tabla 5
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 6**:

Tabla 6
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.

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).

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.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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:

- ✓ **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.
- ✓ **La estabilización química**, que consiste en según sea el caso en:
 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 7** se mencionan los valores estándar para esta capa propuestos por el Instituto Mexicano del Transporte.

Tabla 7
Valores estándar de calidad para materiales de:
base.

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<0.074mm)	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

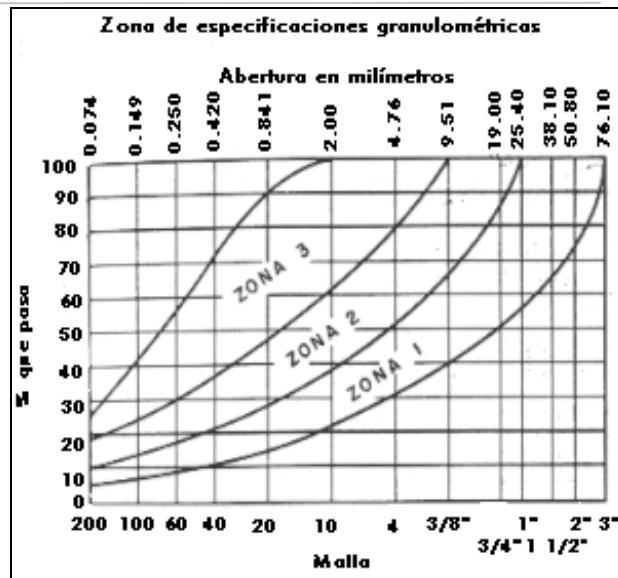


Figura 1.- Zonas de especificaciones granulométricas para material de base (pavimento flexible).

- **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.

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.

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.

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 8** se mencionan los valores límites de materiales que se podrán utilizar en la construcción de subbases y revestimientos según el Instituto Mexicano del Transporte .

Tabla 8
Valores estándar de calidad para materiales de:
subbase y revestimiento

Característica	Calidad		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Granulometría (zona granulométrica de la figura 1)	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.

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.

Puede estar constituida por el propio terreno natural, o bien por materiales seleccionados provenientes de banco con los valores de la **tabla 9** 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 2 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.

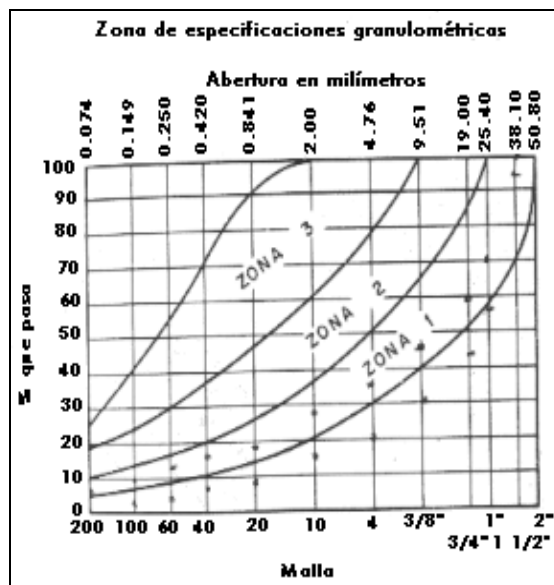


Figura 2.- Zonas de especificaciones granulométricas para material de subrasante.

Tabla 9
Valores estándar de calidad para materiales de:
subrasante.

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.

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.

Los valores recomendados por el Instituto Mexicano del Transporte para esta capa se muestran en la **tabla 10**.

Según el Instituto Mexicano del Transporte, en la **tabla 11** se muestran los tipos de obra vial en función del tránsito que por ellas circulan, y en la **tabla 12** la estructuración del terraplén de acuerdo al tipo de obra vial.

Tabla 10
Valores estándar de calidad para materiales del:
cuerpo de terraplén.

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 11
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	Camino estatales
IV	Camino rurales

Tabla 12
Estructuración del ***Cuerpo de terraplén*** según el tipo de obra vial.

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. Remover 30 cm y sustituir 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	Remover 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. Remover 30 cm y sustituir 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	Remover 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 12

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 sustituir 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:

- ✓ 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:

- ✓ 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 13** es un resumen de materiales para la construcción de estructuras de pavimentos de carreteras y aeropistas aceptados por el Laboratorio Central de Puentes y Carreteras de Francia.

Tabla 13
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas

Divisiones principales		Símbolo	Nombre	Valor como			
				Subrasante	Subbase	Base	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(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	d	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo	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	d	Arenas limosas mezclas de arena y limo	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 llimosas 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 13
Recomendaciones sobre usos de suelos en carreteras y aeropistas

Acción potencial de las heladas (8)	Compresibilidad y expansión (9)	Características de drenaje (10)	Equipo de compactación (11)	Peso volumétrico seco (kg/m ³) (12)	Valores típicos de diseño	
					CBR (13)	Módulo de reacción de la subrasante k (kg/cm ² / cm) (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	-	-	-

Características funcionales y estructurales de los pavimentos

Los pavimentos deben poseer unas determinadas características funcionales, que corresponden prácticamente a las condiciones superficiales del pavimento, han de tener también unas características estructurales. Entre las características superficiales o funcionales pueden citarse:

- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **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.

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, 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.

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.

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.

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.

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.

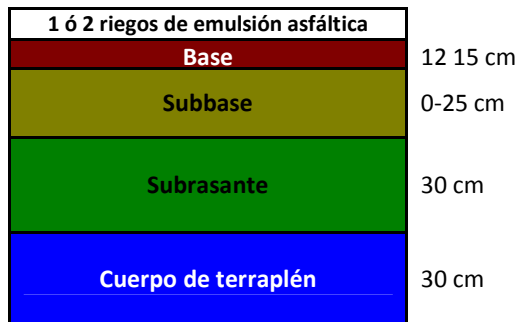
Para mejorar sus características superficiales o con fines de conservación. Se pueden aplicar a la carpeta tratamientos superficiales, como capas delgadas de mortero y lechadas asfálticas, carpetas drenantes de granulometría abierta, etc.

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.

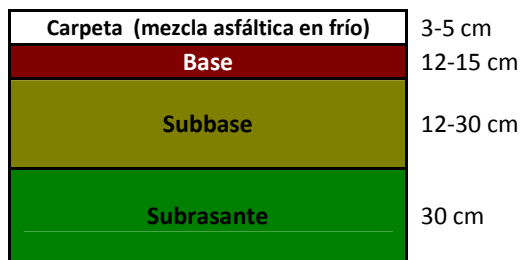
Estos pavimentos suelen incluirse también formalmente en el grupo de los flexibles, debido a que tienen un pavimento asfáltico análogo, pero su comportamiento estructural es muy diferente, con capas inferiores de igual o mayor rigidez que las superiores, como en el caso de los pavimentos de sección invertida.

Estructuras típicas de un pavimento flexible.

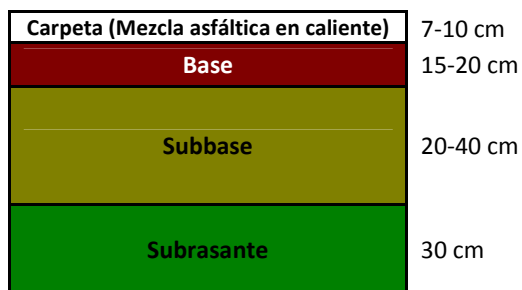
A continuación se muestran las estructuras típicas de los pavimentos en la actualidad.



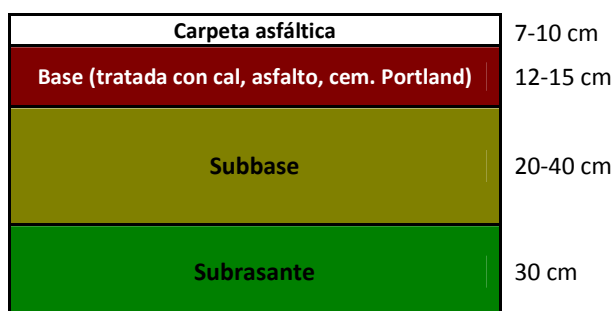
Tipo I
"Revestido"



Tipo II
"Carpeta asfáltica en frío"



Tipo III
"Carpeta asfáltica en caliente"



Tipo IV
"Carpeta asfáltica con base mejorada"

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.

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.

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.

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).
 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.

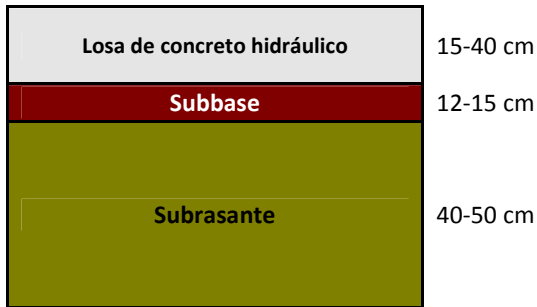
3. **Los pavimentos reforzados** contienen acero de refuerzo y pasajuntas en las juntas de contracción. Estos pavimentos se construyen con separaciones entre juntas superiores a las utilizadas en pavimentos convencionales. Debido a ello es posible que entre las juntas se produzcan una o más fisuras transversales,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

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.

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.

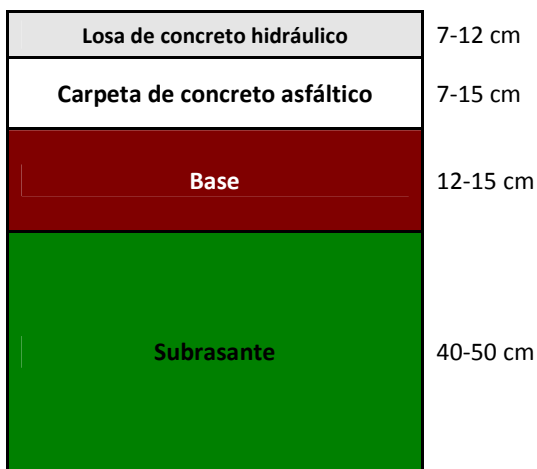
4. **Los pavimentos de concreto presforzado**, como su nombre lo indica, están contruidos a base de losas que han sido previamente esforzadas y de esta manera no contienen juntas de construcción. Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos 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. **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.

Pavimentos rígidos

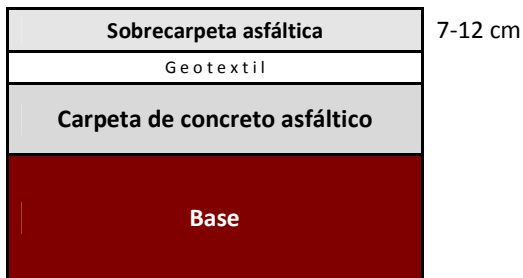


- La losa puede ser de cualquier tipo de concreto.
- 15-30 cm de espesor para carreteras y pavimento urbano
- 25 a 40 cm de espesor en aeropistas

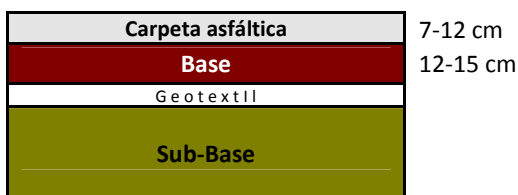
Secciones de rehabilitación



Pavimento ultradelgado (Whitetopping)
apoyado sobre carpeta asfáltica

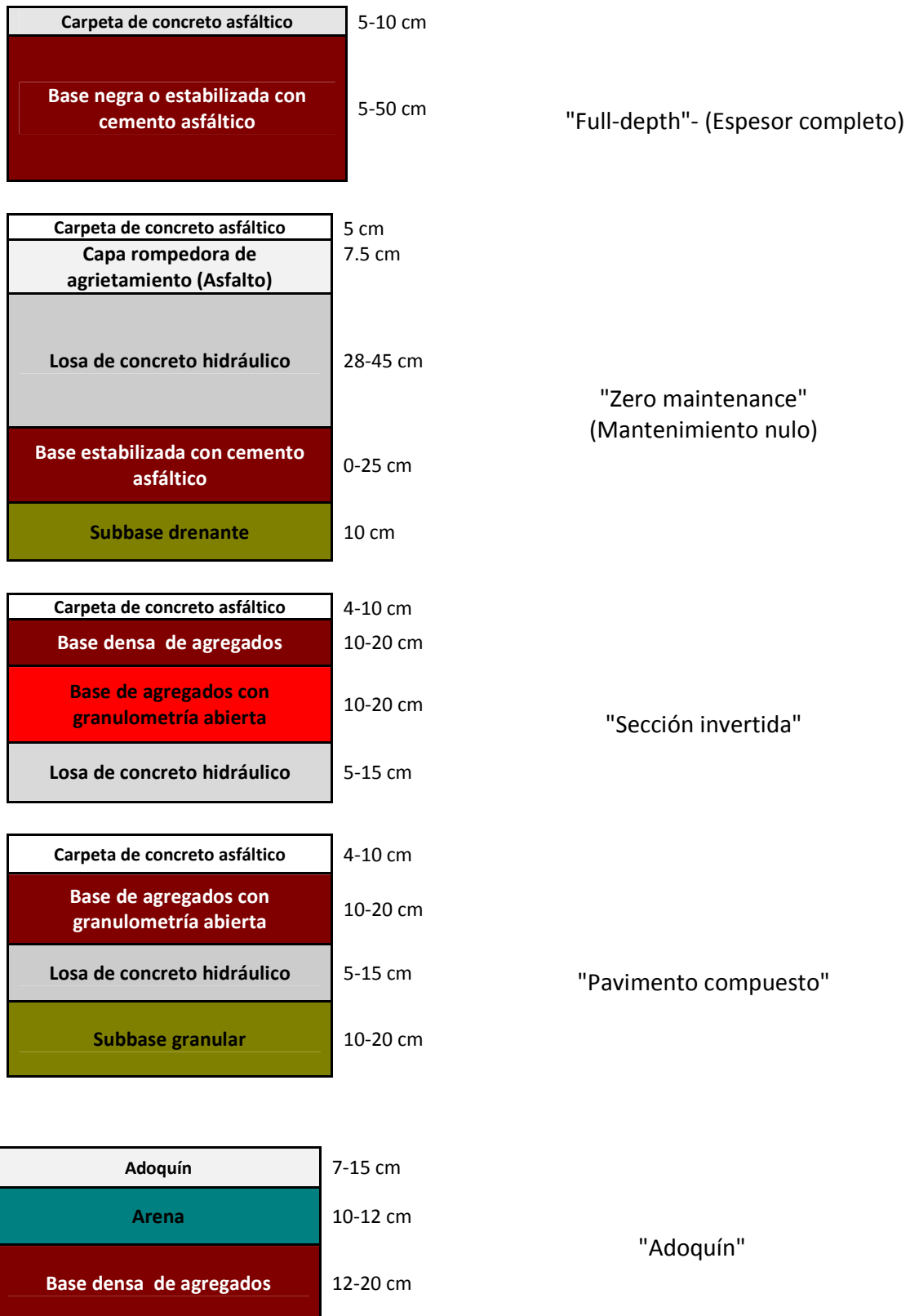


Colocación de capa de refuerzo y nueva
carpeta asfáltica



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

Estructuras particulares



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.

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, la Calzada Arboledas es una avenida que recibe vehículos de todo tipo, que pueden pertenecer a las industrias, al sistema de transporte urbano o ser simplemente residentes de las colonias aledañas.

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 la 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.

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.

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

Es necesario tener 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:

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.

b) Fallas estructurales.

Las fallas estructurales corresponden a una deficiencia del pavimento que provoca, de inmediato o a corto plazo, 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 el uso correcto del pavimento. Estas fallas pueden 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.

FALLAS DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Las fallas de un pavimento flexible hace intervenir tres factores:

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 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.**- 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).



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:
 - 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.

- ✓ **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, estas grietas surgen en la superficie de rodamiento y se propagan en el centro.
- ✓ **Los baches.-** 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.



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 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.
- ✓ **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.

- ✓ **Desintegración de la carpeta.** Se presenta en carpetas asfálticas antiguas por oxidación del asfalto, o en carpetas relativamente recientes con contenido de asfalto insuficiente.
- ✓ **Descarnado de la carpeta.-** 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.



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 a 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.
- ✓ **La carpeta ondulada o desgaste ondulatorio.-** Se puede dar en ciertos revestimientos gruesos muy solicitados (intersecciones de calles y avenidas con semáforos y paradas de autobús).
- ✓ **Pequeñas deformaciones rítmicas.-** Esta falla, 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.
- ✓ **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.
- ✓ **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.

FALLAS DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

Un pavimento rígido está cortado en losas, y apoyada 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 lengüetas).

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.

- ✓ **La fisuración o agrietamiento.** 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 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.



Grieta en el pavimento de concreto.

- ✓ **Grietas transversales.** Las provocan las losas demasiado largas sin pasas juntas o sin armado continuo, pueden ser fallas estructurales incipientes.



- ✓ **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 por que se carece de sub-base, a raíz de la mala compactación de las capas inferiores, incluidas esta última.



- ✓ **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 sub-bases naturales.



- ✓ **Despostillado de las juntas.**- 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.



Despostillado de las juntas.

- ✓ **El pumping.**- Es la inyección brusca de materiales de la sub-capa 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 sub-capa (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.



- ✓ **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.

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 Pórtland. 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 Pórtland. La retracción puede ser importante entrañando una fisuración peligrosa, incluso bajo un revestimiento grueso.

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 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.

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.

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. Figura 3

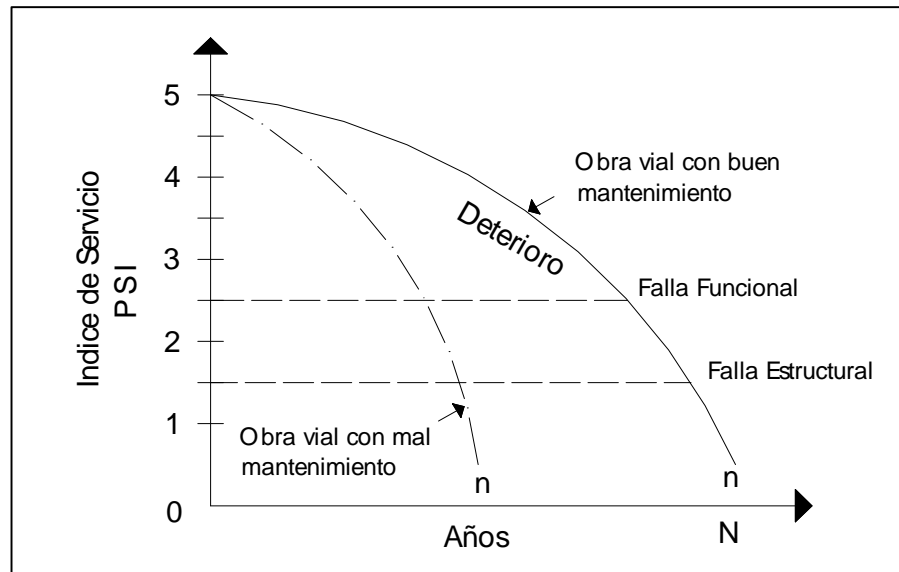


Figura 3.

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 grafica, cuando un camino de primer orden o autopista llega a un valor de 2.5 o uno de segundo orden a 2, 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.

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 más rápido.

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.

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 grafica anterior, 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.

Lo anterior se muestra en la grafica abajo mostrada; figura 4, 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.

Este podría ser el caso de la Calzada Arboledas, 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.

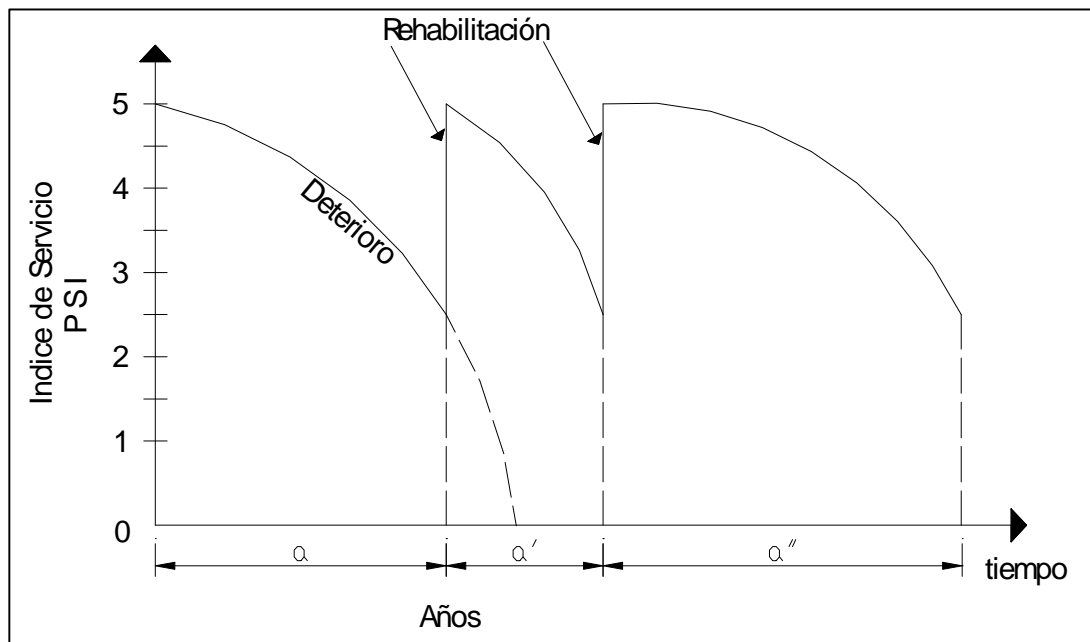


Figura 4.- Trabajos de rehabilitación que pueden igualar, aumentar ó disminuir el periodo de servicio de un pavimento.

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.

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.

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.

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 situé 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:

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.

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 fue construido éste.

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.

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:

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

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

- ✓ \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.

LA REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN PAVIMENTO

La conservación de los caminos viene siendo 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.

Es necesario entender claramente que la conservación más que un problema de economía, es un problema de técnica y de ingeniería, 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.

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.

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 limpiezas y desazolves de cunetas y los desyerbes de acotamientos y taludes.

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:

- ✓ Programas y presupuestos anuales de conservación y mejoramiento.
- ✓ Limpia de drenajes.
- ✓ Limpia de derrumbes.
- ✓ Desyerbes y podas.
- ✓ Arreglo de taludes y acotamientos.
- ✓ Rastros y re conformaciones.
- ✓ 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.

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.

Un sistema que se está utilizando mucho para reencarpetar 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.

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.

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.

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.

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.

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, trabajos en las capas de terracerías u otras labores de las capas superiores.



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:

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. Realizar las siguientes pruebas de laboratorio:

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 estandar (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.

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, sino, 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.

REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO PARA LOS 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.

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.



- ✓ **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.



- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **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 procederá 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.

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.

- ✓ **Estado 1.**- Caminos en buen estado, con características adaptadas al tránsito y buen alineamiento geométrico, que ofrezca seguridad y comodidad a los usuarios.
- ✓ **Estado 2.**- Caminos con pequeños problemas superficiales y muy pocos problemas de drenaje y zonas laterales.
- ✓ **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.
- ✓ **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.

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.

También es necesario tener un informe anual del residente de conservación, 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.

También, de cada tramo se debe contar con un documento dominado "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.

CAPÍTULO 2

"LA MODERNIZACIÓN Y REHABILITACIÓN DE LA AVENIDA ARBOLEDAS"

2.1 Antecedentes

De acuerdo con el problema que se presentó en la avenida Arboledas, 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. 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. Determinación del Índice de servicio actual -PSI- ("Present serviceability index")
Determinación del Índice de servicio terminal p_t
3. Propuesta de rehabilitación con pavimento **flexible**.
 - a. Parámetros de diseño.
 - b. Espesores requeridos para la nueva estructura.
4. Propuesta de reconstrucción con pavimento **rígido**.
5. Inventario general de las obras de drenaje, así como de las instalaciones que interactúan con el pavimento.
6. Conclusiones generales.

1. REVISIÓN DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE

a. Estudio geotécnico

Para realizar éste estudio fue necesario hacer 18 (dieciocho) sondeos en distintos puntos a todo lo largo de la avenida Arboledas. A continuación se presenta en la **tabla 14** un reporte de todos los sondeos, que se llevaron a cabo mediante el método de exploración "Pozo a cielo abierto" (P.C.A.).

Tabla 14
Informe de estudio geotécnico

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 .

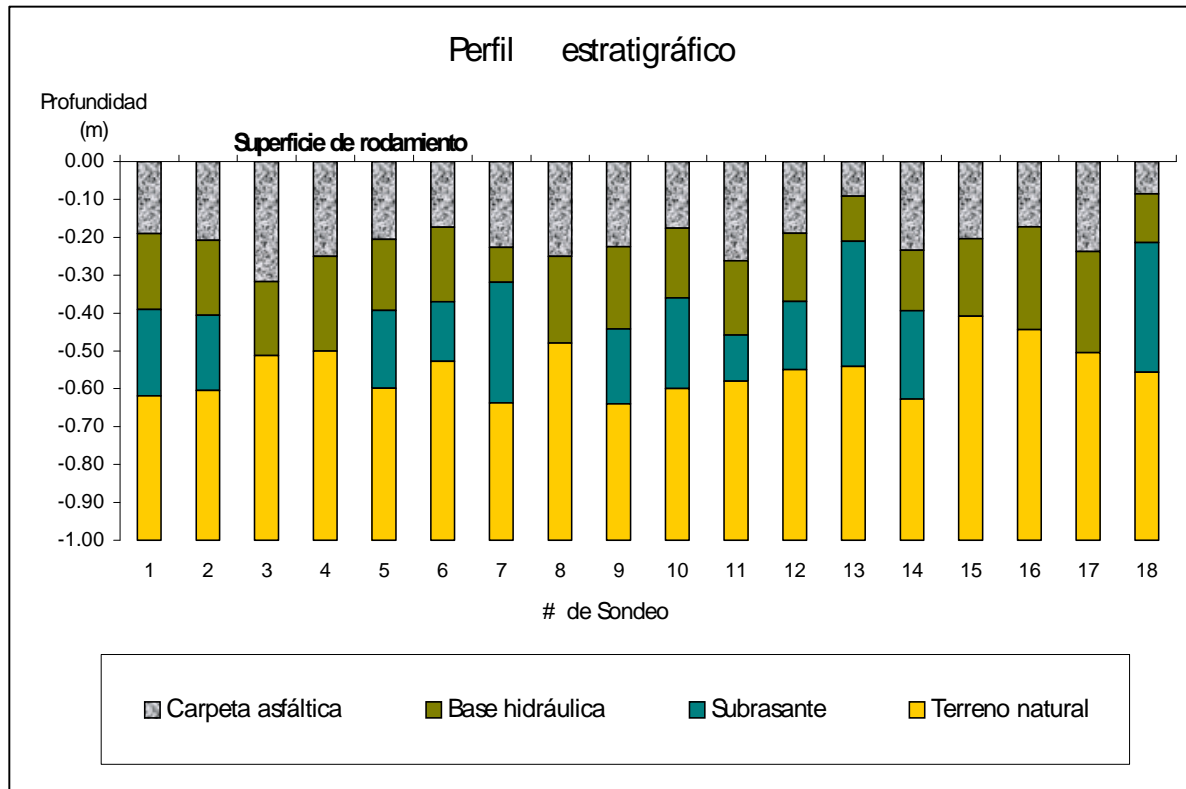


Figura 5.- Perfil estratigráfico de la estructura del pavimento según el reporte de sondeos realizados.

Los valores promedio de las capas que presenta actualmente la estructura se presentan en la **tabla 15**.

Tabla 15

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.

✓ **Terreno natural**

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

En la **tabla 16** 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.

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.

✓ **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.

En la **tabla 17** se anexan los resultados de las pruebas básicas que se realizaron a la capa subrasante.

✓ **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%).

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.

Tabla 16
Resumen de datos de los ensayos de laboratorio del Terreno natural

Número de sondeo	1	2	3	5	7	9	11	13	15	17	18	
Ubicación	0	2	4	6	8	10	1	3	5	7	9	
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	8	0	0	0	0	0	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	11.9
	95%	31.1	30.0	43.3	15.2	10.5	8.9	30.1	21.8	28	4.9	25.1
	100 %	46.4	56.1	82.1	28.9	20.7	15.7	48.9	39.7	52.4	8.6	42.4

Tabla 17
Resumen de datos de los ensayos de laboratorio de la Subrasante

Número de sondeo	1	3	7	9	11	15	17	18	
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.

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 18**:

Tabla 18
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.

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

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.

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 siguiente:

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	
		Terreno natural	
Σ= 40			Σ= 18.5

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.

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. RECOPIACIÓN DE DATOS DE TRÁNSITO

La Junta de Caminos del Estado de México, proporcionó los siguientes datos de tránsito que circulan por la avenida Arboledas:

Tabla 19
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 DE LA AVENIDA ARBOLEDAS

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

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_t**

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 20** y la **figura 6** correspondientes a la escala **PSI**

Tabla 20
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

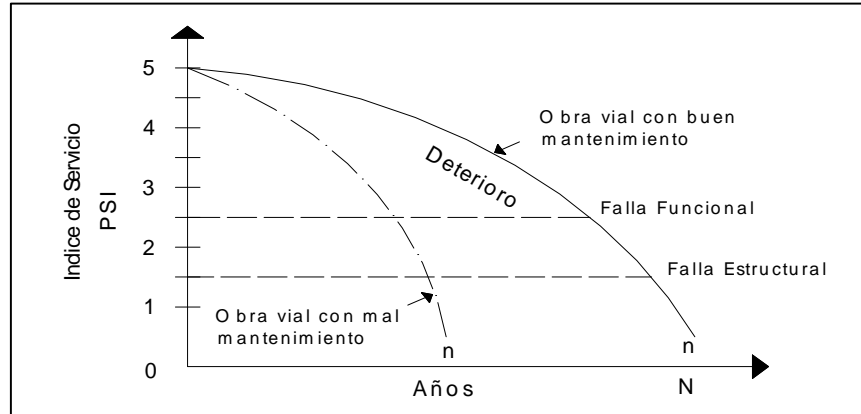


Figura 6.- La escala del PSI.

Las **figuras 7 y 8** 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.

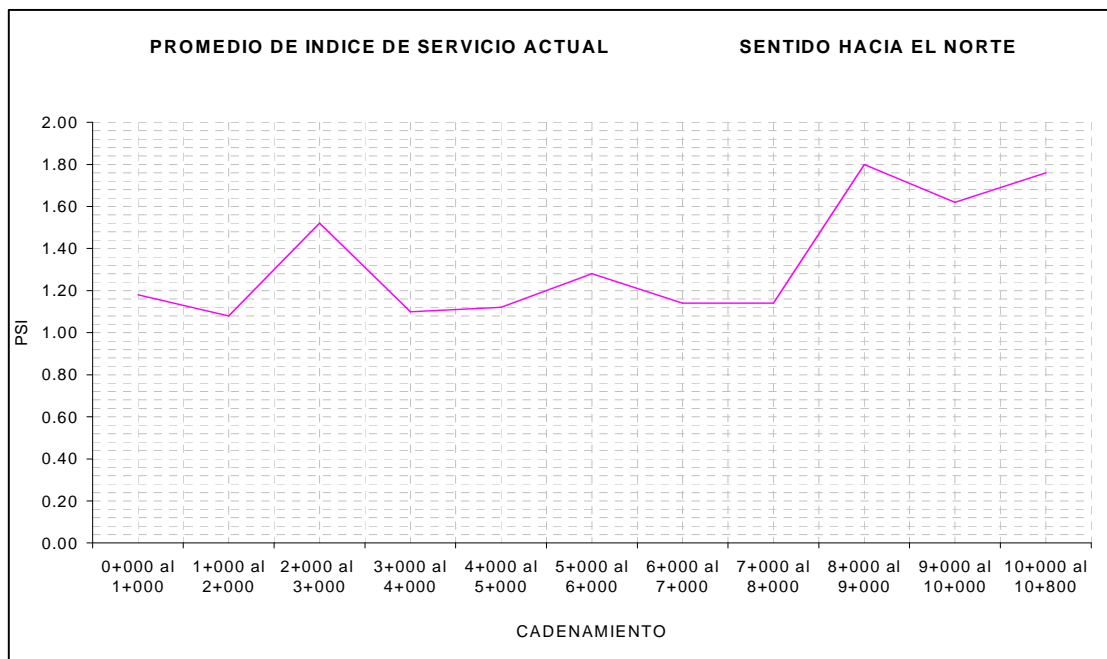


Figura 7.- El índice de servicio actual en sentido hacia el norte.

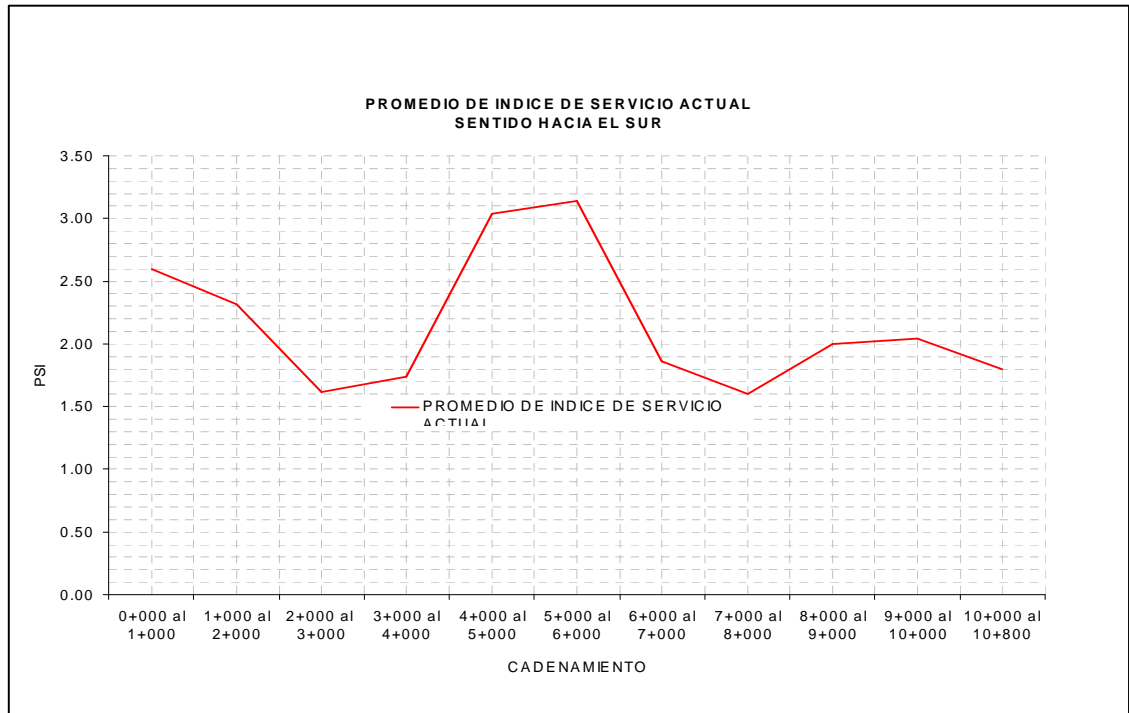


Figura 8.- El índice de servicio actual en sentido hacia el sur.

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 esta relacionado con la importancia de la carretera o elemento; en la **tabla 21** 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.

Tabla 21
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.

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 mecánico-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.

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 9**).

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 24 y 25**, y corresponden a los pesos de los vehículos aprobados para 1994 en México. La tabla muestra el cálculo para obtener el tránsito acumulado.

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

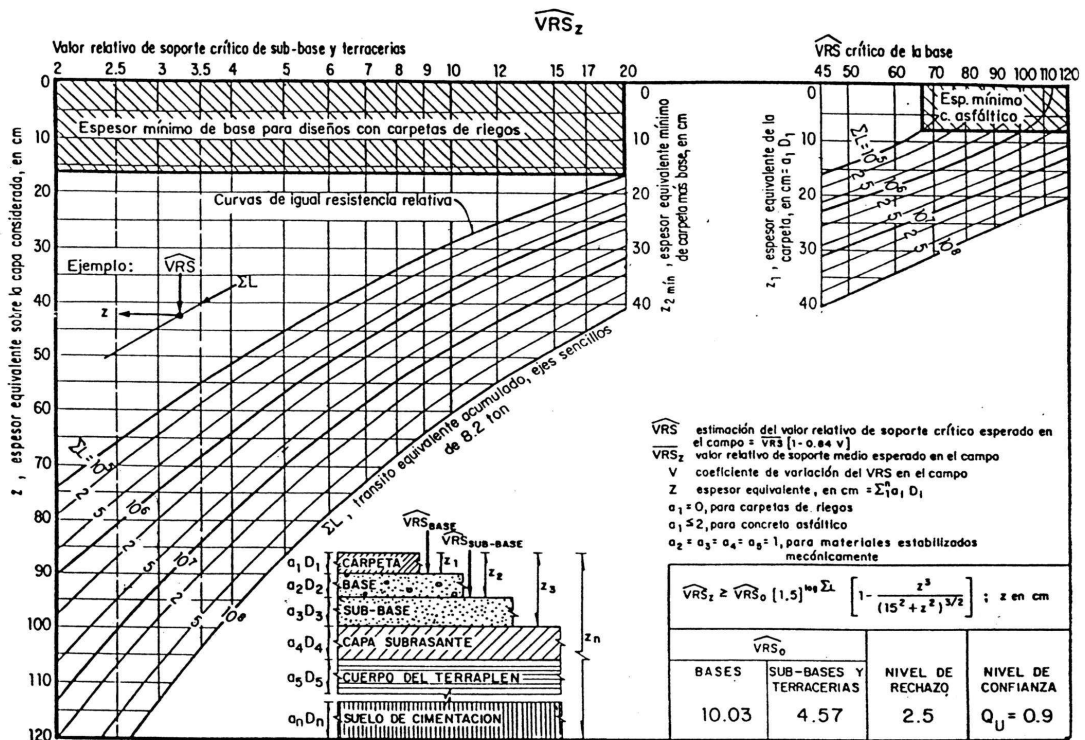


Figura 9.- Gráfica de proyecto del reporte 444 del Instituto de Ingeniería. Gráfica correspondiente a un nivel de confianza del 90%.

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 % 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 9), por lo que se usará este valor en lugar del valor medio de 31%.

- ✓ 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
Terreno natural	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 24) , el índice de espesor que requiere el material es de **90 cm**.

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.	Terreno natural

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 la avenida arboledas.

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 25) resulta un índice de espesor de pavimento de **37 cm.**

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
	Terreno natural

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** asfáltica 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 25) obteniéndose un espesor de $23.5 \text{ cm}/2=11.75 \text{ cm}$.

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
	Terreno natural

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

Tabla 24
Determinación del **ESAL (Equivalent single axle load)**
Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton a una profundidad de 1.00 m.

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	
		Cargados	Vacíos		Subbase y terracerías Z= 1.00 (5)	Número de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton 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 $C_t = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] (365)$					Ct (10)	4,200.00
n= Años de servicio = 10						
T= Tasa de crecimiento anual de tránsito = 3.0 %					L (11) = (8) x (9) x (10)	38,741,749
CD. Carril de proyecto = 0.6						
TDPA (tránsito diario promedio anual= 8,790)						

Tabla 25
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
$Ct = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] (365)$ n= Años de servicio = 10 T= Tasa de crecimiento anual de tránsito = 3.0 % CD. Carril de proyecto = 0.6 TDPA (tránsito diario promedio anual= 8,790					Ct (10)		4,200.00	4,200.00
					L (11) = (8) x (9) x (10)		26,306,113	35,588,051

b. Espesores requeridos para la nueva estructura

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

Esesor (cm)	
23.5 cm/2=11.75 cm	Carpeta
13.50 cm	Base
53	Capa subrasante
	Terreno natural
$\Sigma= 90$	

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.

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	Terreno natural	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 de la avenida Arboledas; 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 de la avenida **Arboledas**, 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. 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.
- ✓ Se efectuaron reuniones periódicas con las empresas participantes en el estudio y proyecto para la reconstrucción y ampliación de la **Avenida Arboledas** 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.

✓ 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 telefonía o alta tensión, puntos obligados como niveles de rasante de las intersecciones o guarniciones y banquetas.

7. 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 avenida arboledas**, 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 un valor de **2.5** (ligera a moderada) para el carril en sentido **Sur** y de **3.68** (moderada a severa) para el carril en sentido **Norte**; por lo tanto se considera que el índice de servicio terminal **ps** corresponde a un valor de **2**, cuando este debería ser 2.5 a 2.8 como mínimo.

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.

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.

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, los cuales requieren de una infraestructura propia para sus actividades.

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.

2.2 LAS VENTAJAS DE UTILIZAR EL PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO 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 **Inq. Humberto Romero y Navarro** menciona en su artículo "El concreto sustituye con ventaja a los pavimentos de asfalto"

"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:

✓ **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 hayan 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.*

✓ **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.*

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 revoladora 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.

✓ **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.

✓ **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.

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

✓ **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.

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.

✓ **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.

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.

✓ **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.

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 barrierá hacia fuera de la curva.

Algunos de los accidentes que se producen en las zonas deformadas son originadas por el **acuaplaneo o el derrapamiento**. El acuaplaneo 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.

✓ **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.

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

✓ **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.

- ✓ **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.
- ✓ **Reducción de costos de operación.**- La superficie del concreto no afecta severamente a los vehículos, de esta manera se reducen los costos de mantenimiento
- ✓ **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).
- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **Ahorro de energía eléctrica.**- La superficie de concreto es altamente reflejante y ahorra energía en iluminación nocturna.
- ✓ **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.
- ✓ **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.

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, resilentes, 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.

Los métodos actuales de diseño de pavimentos rígidos se inclinan hacia el concepto mecánico-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.

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.

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:

- ✓ **Estudios teóricos.-** Los de Westergaard, Pickett y Ray y más recientes, los desarrollos de análisis por elementos finitos de Tayabji y Colley.
- ✓ **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.
- ✓ **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.
- ✓ **Observaciones diversas.-** Realizado sobre pavimentos en funcionamiento sujetos a tránsitos normales.

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.

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

- ✓ **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).
- ✓ **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.
- ✓ **El efecto de usar una subbase de concreto pobre (relleno fluído)**, 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.

✓ **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.

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.

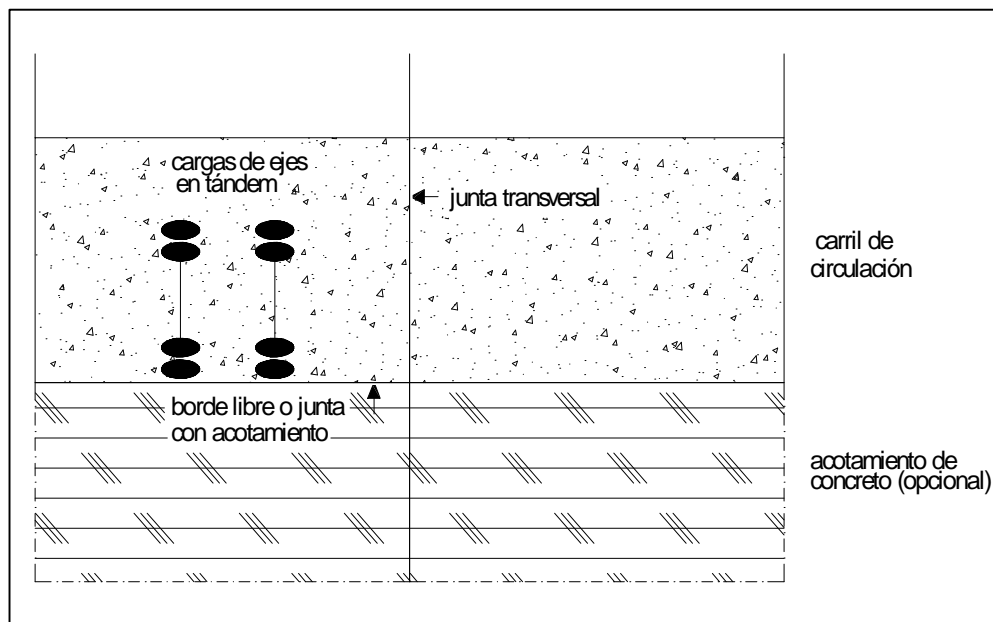


Figura 88.- Posición de las cargas para análisis por fatiga.

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:

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

Donde:

- D_r = 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.

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.

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% 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.

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.

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**).

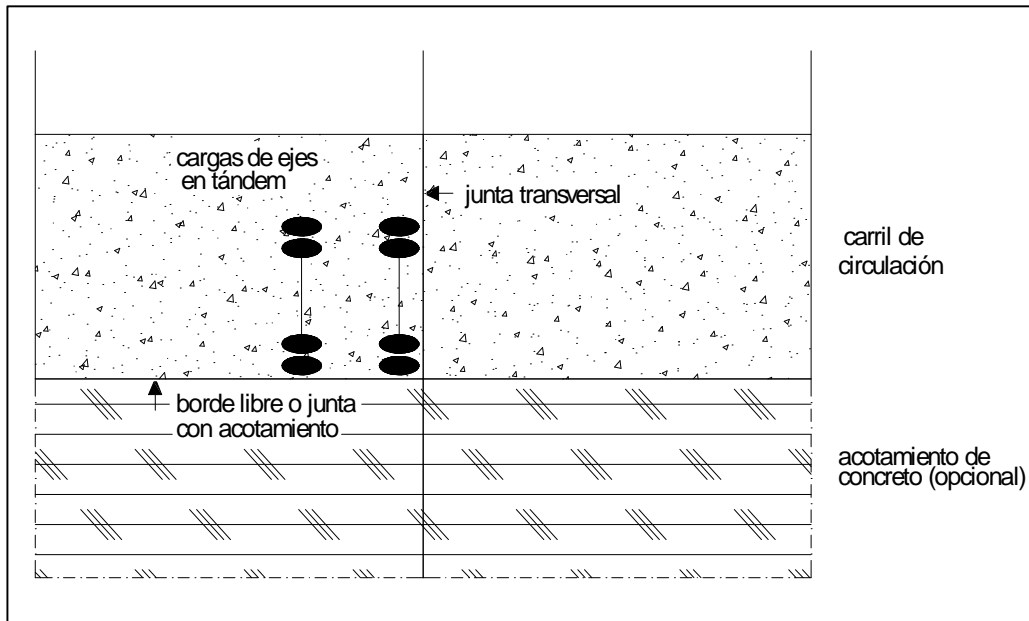


Figura 89.- Posición de las cargas para análisis por erosión.

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

C₁ = Factor de ajuste;

C₁=1, para subbases no tratadas;

C₁=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

C₂ = 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.

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

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:

- ✓ 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.

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.

Para el caso de las laterales de la avenida **Arboledas**, se considerará un valor de:

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

- ✓ **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).

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 .

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.

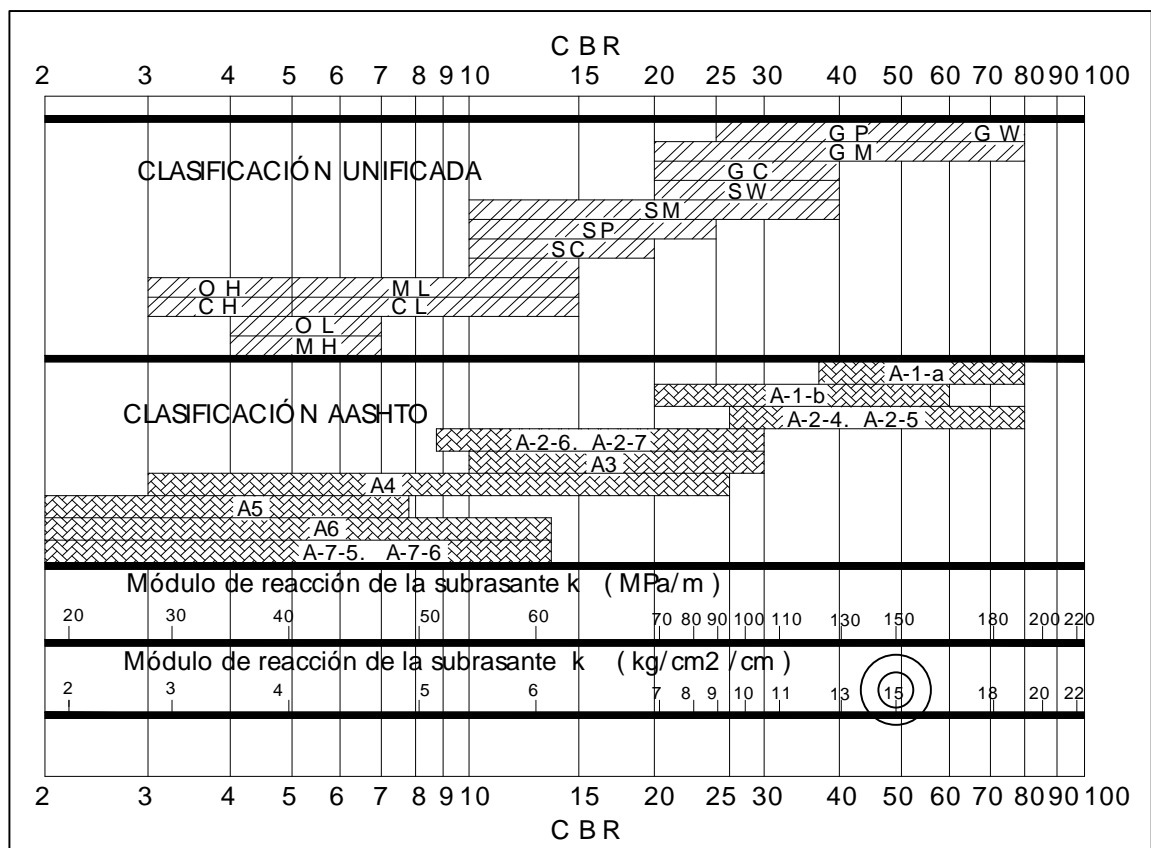


Figura 90.- Correlaciones aproximadas entre clasificaciones de suelos y valores de resistencia.

Para el caso de la avenida **Arboledas**, 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:

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

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.

El módulo de reacción combinado **k_c** se determina en base a la **tabla 26** en la cual se entra con el valor de **k**, y si sabemos que para el caso del avenida **Arboledas** la subbase propuesta tendrá un espesor de **8"=20** cm y se tratará con **cemento**. Por lo tanto, determinamos que:

Módulo de reacción combinado k_c=700 lb/pulg³

Tabla 26

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

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.

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.

El periodo de diseño se determinará de acuerdo a la **tabla 27**, la cual muestra los valores del periodo de diseño en función del tipo de vialidad.

Tabla 27

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 período de diseño. Estos valores se obtienen a partir de estimativos de: TPDA (tránsito promedio diario anual) y cargas por eje de los vehículos.

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 28** muestra las relaciones entre las tasas anuales de crecimiento y los factores de proyecciones para períodos de 20 y 40 años, de acuerdo con las recomendaciones de la PCA.

Tabla 28
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.

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 magnitudes de cargas, esperados durante el periodo de diseño (**tabla 30**). 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.

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:

Tabla 29
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.

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

Para nuestro caso el factor de seguridad será de **1.2**

Procedimiento de diseño

La **tabla 35** 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.
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**.

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 35)**. También deberá disponerse de los datos de tránsito que fueron calculados en la **tabla 30**, 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 30

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 31 y 32**. Los pasos a seguir son los siguientes:

1. En la **tabla 31 y 32**, 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 33 y 34** 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 31
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 32
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 33
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	2.51/2.68	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 34
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

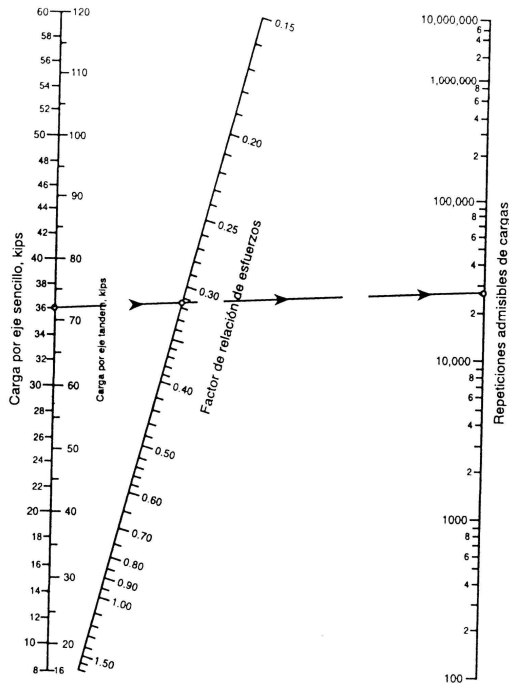


Figura 91.- Análisis por fatiga. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de relación de esfuerzos (con y sin acotamiento de concreto).

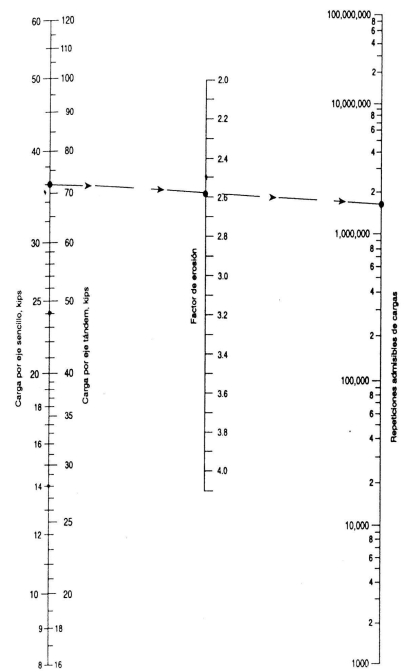


Figura 92.- Análisis por erosión. Nomograma para determinar el número de repeticiones admisibles con base en el factor de erosión (sin acotamiento de concreto).

Tabla 35

Primer tanteo

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

Proyecto: "Modernización y rehabilitación de la Av. Arboledas"	
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
	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)	Repetición es esperadas X10 ³	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repetición es admisibles X10 ³	Porcentaje de fatiga	Repetición es admisibles X10 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	59.52/3= 19.84	569.40	Ilimitado	0.00	Ilimitado	0.00
------	-------------------	--------	-----------	------	-----------	-------------

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

Tabla 35
Segundo tanteo

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

Proyecto: "Modernización y rehabilitación de la Av. Arboledas"	
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: **163** (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: **133** (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: **101.94** (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 dio como resultado cero.

El resultado del primer tanteo (para el espesor de 10"=25.4 cm) fue 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 sobre diseñado, 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:

Capa	Espesor
Carpeta de concreto hidráulico con MR=45 kg/cm ²	25 cm
Base estabilizada con cemento Portland al 5% de su PVSM	20 cm
Capa subrasante	25 cm
Terreno natural	indefinido

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 de la **avenida Arboledas**, en la actualidad se tienen los siguientes importes de la **tabla 36**:

Tabla 36
Comparativa de costos para pavimentos rígido y flexible.

Pavimento rígido			Precio unitario Por m ² \$		Pavimento flexible		
Esp. cm	Capa	Precio unitario por m ³			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	120.00	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 más 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Para el caso de la avenida Arboledas, el periodo de diseño que se tomó en cuenta en el diseño del espesor del pavimento de concreto fue de 20 años (2006-2026).

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.

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.

CAPÍTULO 3

" EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA REPAVIMENTACIÓN DE LA AVENIDA ARBOLEDAS "

3.1 Obras preliminares.

a) Control del tránsito durante la obra.

Dentro del control de tránsito durante el periodo de ejecución de los trabajos, regirán 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.

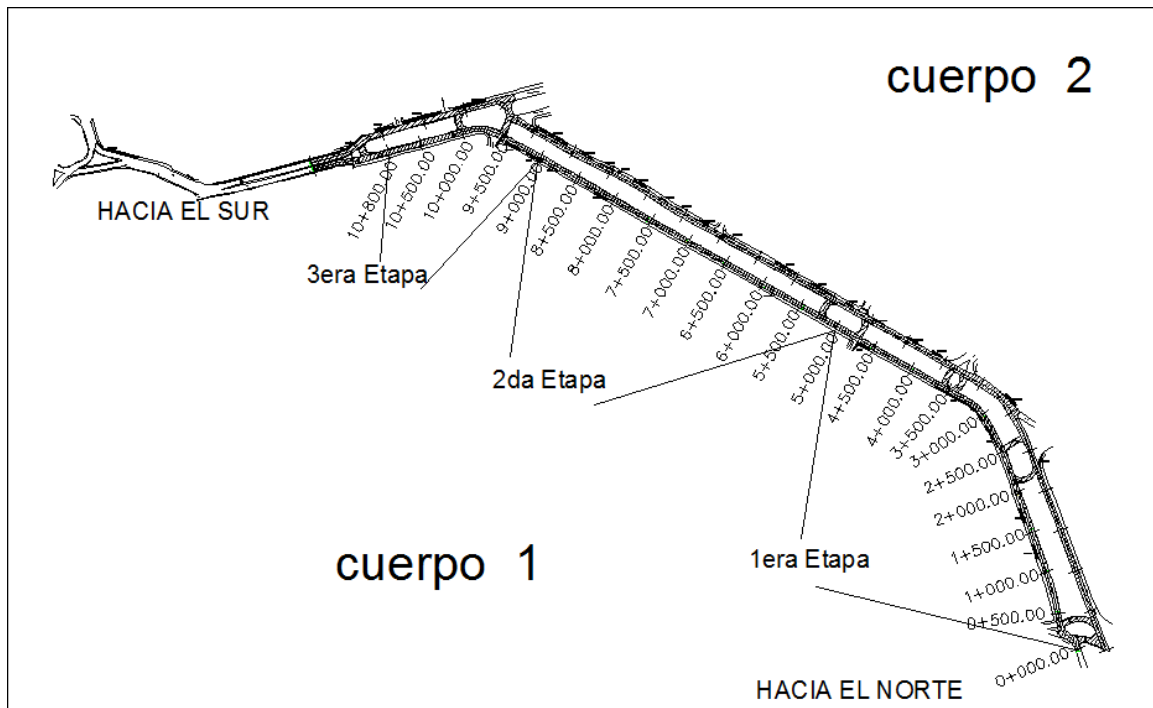
A continuación se enlistan una serie de actividades necesarias para el control del tránsito durante la obra en donde se incluye los trabajos nocturnos:

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

1. Logística de pavimentación.

La carpeta asfáltica se fresará a lo ancho de toda la avenida en tres etapas, donde la primera consta del kilómetro 0+000.00 al 5+000.00. Se deberá iniciar en el sentido norte - sur, dejando libre la circulación los 5.8 km. restantes en este sentido y el total del sentido opuesto, utilizando estos carriles en doble sentido para librar el tramo en construcción.

La distancia de 5 km. cerrada al tránsito, se deberá ir moviendo de acuerdo al avance de pavimentación a lo largo de todo el carril en sentido hacia el sur abarcando la segunda y tercera etapa que va de los 5+001.00 km al 9+000.00 km. Y del 9+001.00 km. Al 10+800.00 km. Respectivamente, teniendo un promedio de avance en la pavimentación de 500.00 m lineales diarios. El avance del proceso constructivo 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.



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,

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**.



Figura 98.- Dispositivos de señalamiento provisional.

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.



Figura 99



Figura 100



Figura 101

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

Quando 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**).



Figura 102

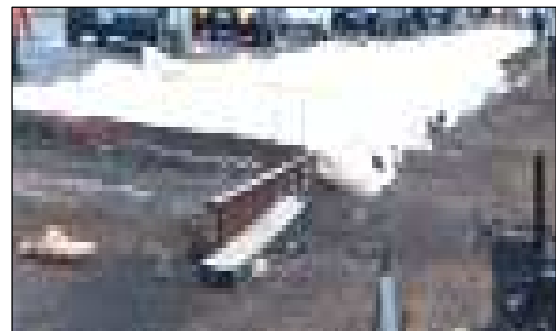


Figura 103

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

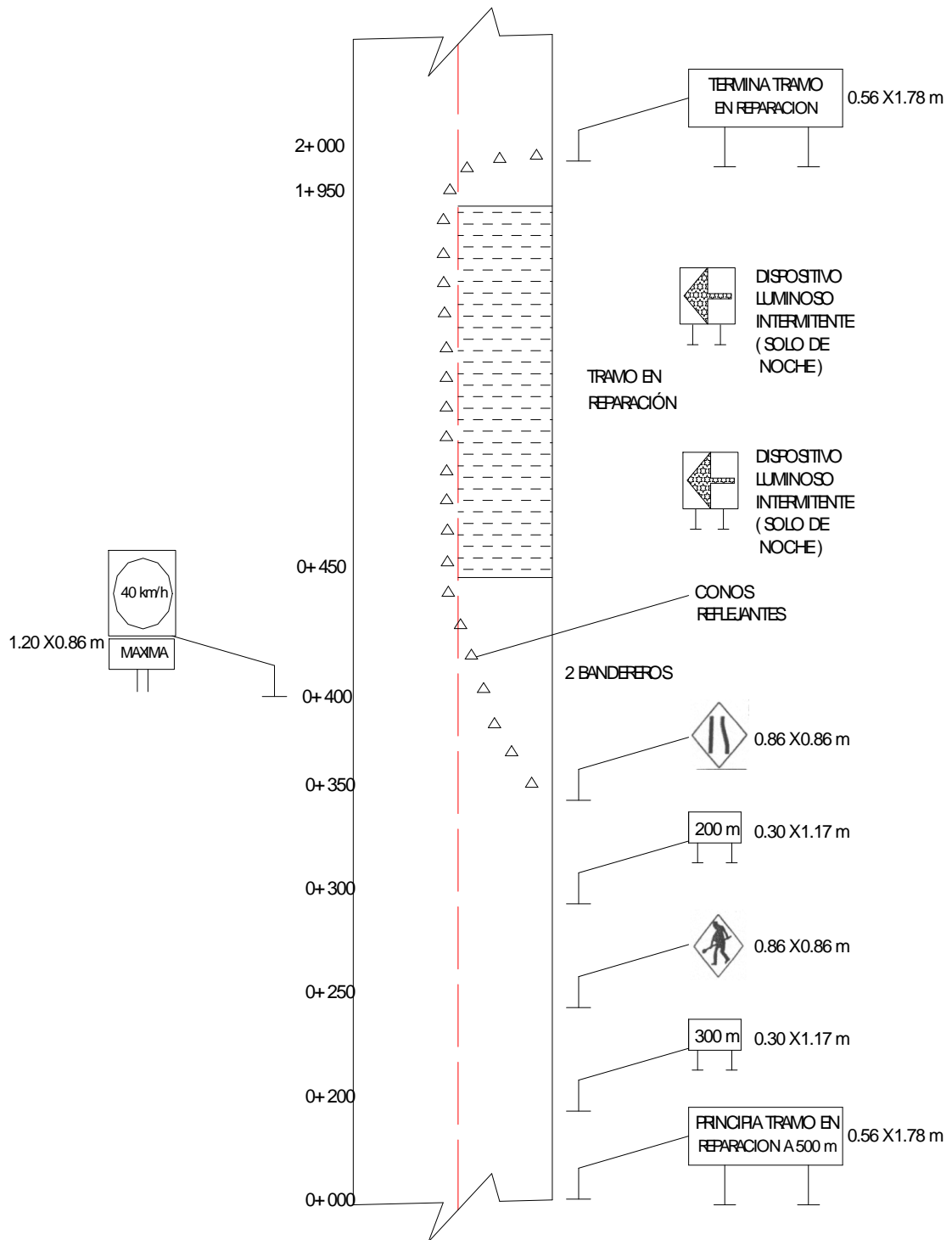


Figura 104.- Croquis de dispositivos de señalización.

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

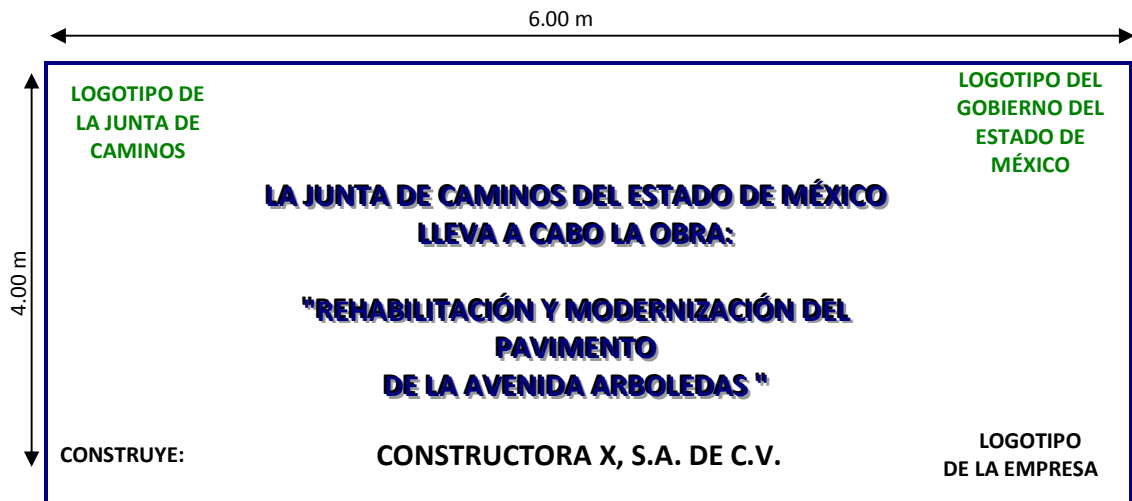


Figura 105.- Letrero

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:

Capa	Espesor
Carpeta de concreto asfáltico	21 cm
Base hidráulica	19 cm
Capa subrasante	26 cm
Terreno natural	indefinido

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**

Capa	Espesor
Carpeta de concreto hidráulico (MR=45 kg/cm ²)	25 cm
Subbase estabilizada con cemento Pórtland al 5% de su PVSM	20 cm
Capa subrasante	25 cm
Terreno natural	indefinido

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

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 109

Figura 110

Equipo para fresado Rotomill PR-750 ROADTEC RX68.

"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.
2. 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 desaceleración**

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

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.
2. 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.**
3. 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.

Capa	Espesor
Carpeta de concreto hidráulico (MR=45 kg/cm ²)	25 cm
Subbase estabilizada con cemento Portland al 5% de su PVSM	20 cm
Capa subrasante	30 cm
Terreno natural	indefinido

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

✓ **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.**

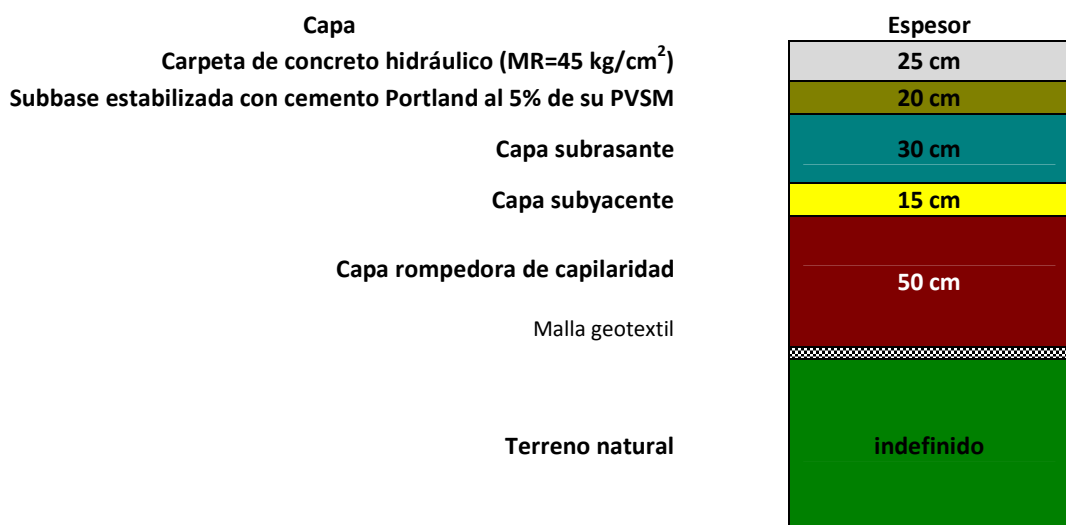


Figura 112.- Sección de proyecto a construir para el tramo con capa rompedora de capilaridad.

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.

d) **Trazo y nivelación del proyecto geométrico**

Debido a que la nueva estructura del pavimento de la **Avenida Arboledas** reemplazará al pavimento existente, los límites horizontales del trazo como son 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 cadenamiento, 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 semáforos, 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, 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**

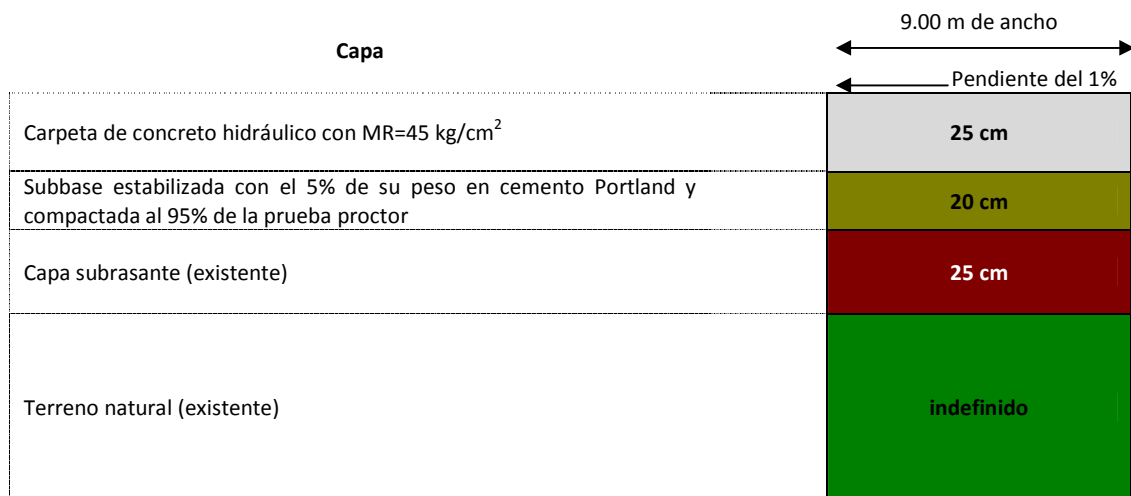


Figura 113.- Sección transversal para el pavimento de los dos cuerpos laterales.

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

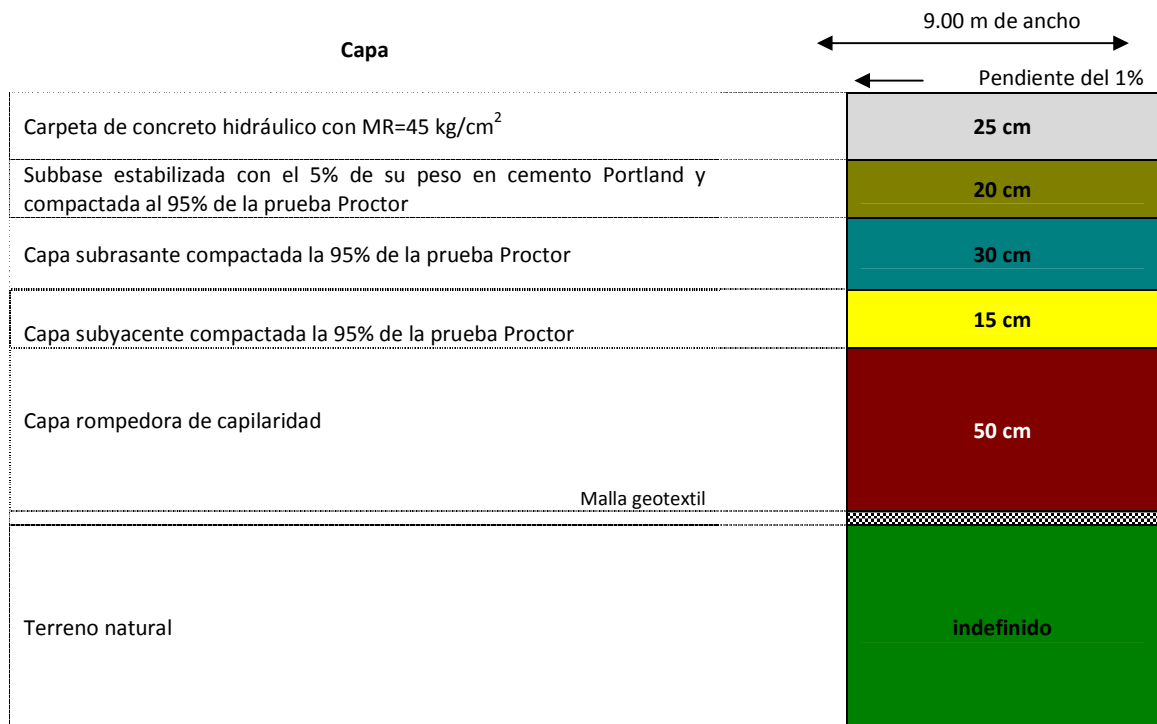


Figura 114.- Sección transversal para el pavimento del tramo con capa rompedora de capilaridad.

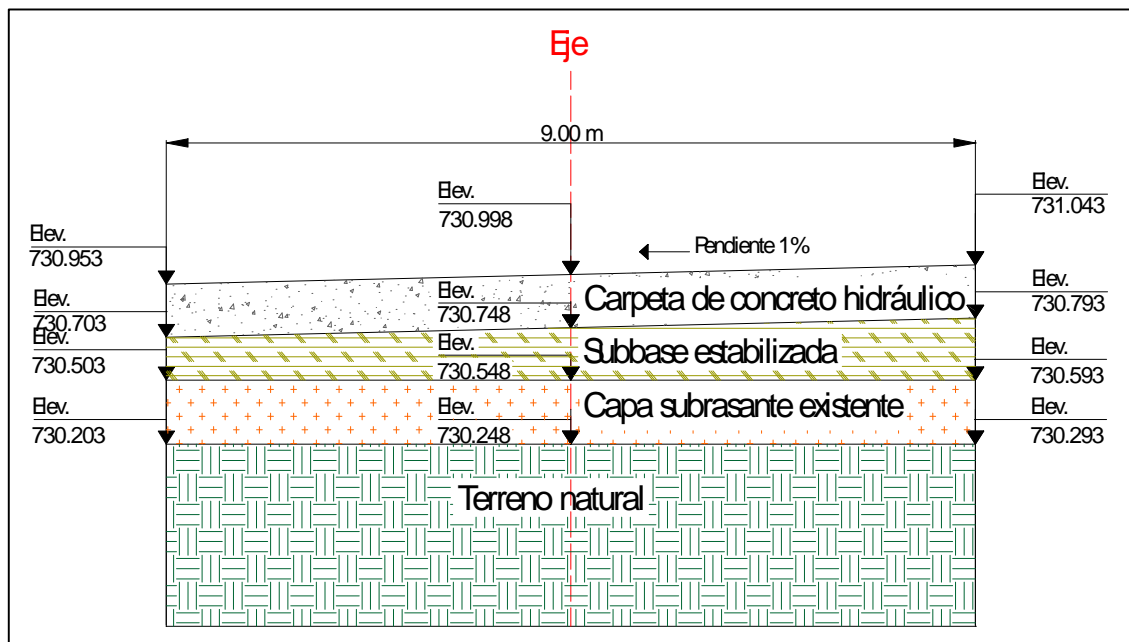


Figura 115.- La figura muestra una sección transversal típica del pavimento de concreto con sus respectivas elevaciones de cada una de las capas.

3.2 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 116**).

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:

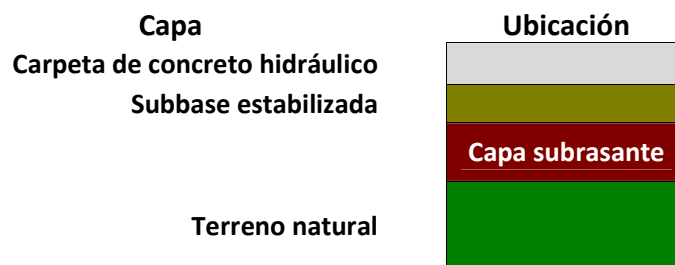


Figura 116.- Ubicación de la capa subrasante dentro de la estructura del nuevo pavimento.

Tabla 47
Mejoramiento de la capa subrasante según el proyecto

Caso especial	Espesor de proyecto	Mejoramiento
Para los dos cuerpos.	25 cm	<p>Por contar la capa actual con 26 cm, solo se afinará y se recompactará al 95% de su P.V.S.M.</p> <p>Arriba de esta capa se tenderá la subbase estabilizada.</p>
Para el tramo con capa rompedora de capilaridad	30 cm	<p>La construcción de la estructura para este caso es un poco más compleja por involucrar una malla geotextil.</p> <p>Empieza con una compactación al terreno natural del 90% a una profundidad de 15 cm.</p> <p>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, sobre la capa rompedora de capilaridad se coloca una capa subyacente de 15 cm de espesor, compactada al 95% de P.V.S.M.</p> <p>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.</p> <p>Sobre la subrasante se construirá la capa de subbase, la cuál soportará una carpeta de concreto hidráulico.</p>



Material con TMA de 3" para la formación de la capa rompedora de capilaridad.



Nivel de desplante sin mejorar ni compactar para la capa subrasante.



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.	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 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.



Estabilización de la subbase mediante la integración del cemento al material de banco.



Tramo compactado y estabilizado listo para recibir el riego de sello con emulsión asfáltica.



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:

- **Rodillos compactadores para concreto**
- **Reglas vibratorias**



Rodillos compactadores para concreto.

Como en la Avenida Arboledas, 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.

No es recomendable la utilización de reglas vibratorias para colados de espesores superiores a 20 cm.



Regla vibratoria.

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.

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.

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.

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.

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.

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.



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.



Pavimentación de una carretera con equipo de cimbra deslizante.

El funcionamiento básico de los equipos de cimbra deslizante se indica a continuación:

1. El concreto suministrado por los camiones transportadores de concreto se reparte uniformemente delante del equipo por un sistema doble de tornillo sin fin, o de una carreta que se desplaza hacia los lados en vaivén.
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.
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.
4. Por último, si lo incluye el equipo, los dispositivos de pulido, texturizado y curado del concreto fresco harán lo correspondiente.

Estos equipos se montan sobre un chasis soportado por dos, tres o cuatro orugas mediante gatos hidráulicos.

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

d) El colado de concreto hidráulico premezclado para el pavimento.

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. Debido al colado de detalles pequeños, reemplazo de losas de concreto, o colado de ventanas pendientes, se podrán extender el concreto con rodillos compactadores de concreto o con regla vibratoria en los tramos que se requiera; de la misma manera se podrán realizar colados a mano.

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.

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



Rodillos compactadores de concreto sobre cimbra fija.



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.

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. 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 eficacia, resistencia, durabilidad y economía de la mezcla.

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.

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

- **Arena (agregado fino)**

El agregado fino constituye cerca del 50% del volumen total de los agregados, y está 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 debe ser pura, y en particular, exenta de arcilla, limo y otras sustancias peligrosas susceptibles de hidratarse en presencia de agua. 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.

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

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.

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*) .

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.

Tipo V "Resistente a los sulfatos".- Este cemento se emplea cuando el concreto va a quedar expuesto a la acción severa de sulfatos.

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.

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.

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.

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.

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. Y no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la **tabla 50**, en partes por millón:

Tabla 50
Sustancias 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:

- **Inclusores de aire.-** Introducen micro-burbujas de aire en la mezcla de concreto, que mejoran su maleabilidad 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.
- **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 maleabilidad e incrementando inclusive, la resistencia del concreto. Hay aditivos reductores de agua que retardan o aceleran el tiempo de hidratación del cemento.
- **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.
- **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.
- **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 maleabilidad de la mezcla.
- **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 maleabilidad 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.

Para el caso de la Avenida Arboledas, 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. Para asegurar la maleabilidad de la mezcla también se podrá utilizar un aditivo **inclusor de aire**.

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.

- **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 vibra-compresión. Una vez curados adecuadamente los especímenes, se ensayarán conforme al procedimiento establecido en la Norma ASTM C 78.

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.

Cuando la resistencia del concreto a temprana edad limite la apertura del pavimento al tránsito, podrá ser necesario obtener especímenes adicionales.

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 punto anterior, cuando menos cuatro tengan una resistencia igual o mayor al 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 maleabilidad 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**.

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.

Para el caso particular de la Avenida Arboledas 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, ubicándose entre 0.46 y 0.54.

• **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 300 kg/m^3 .

- **Aire incluido**

Es conveniente la presencia de aire incluido en el concreto para aumentar su maleabilidad 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**.

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.



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, a lo largo de la junta de construcción longitudinal, de tal manera que queden unidas las dos franjas de pavimentación. 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.

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. 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 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.



Barras pasajuntas a lo largo de una junta transversal.

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.

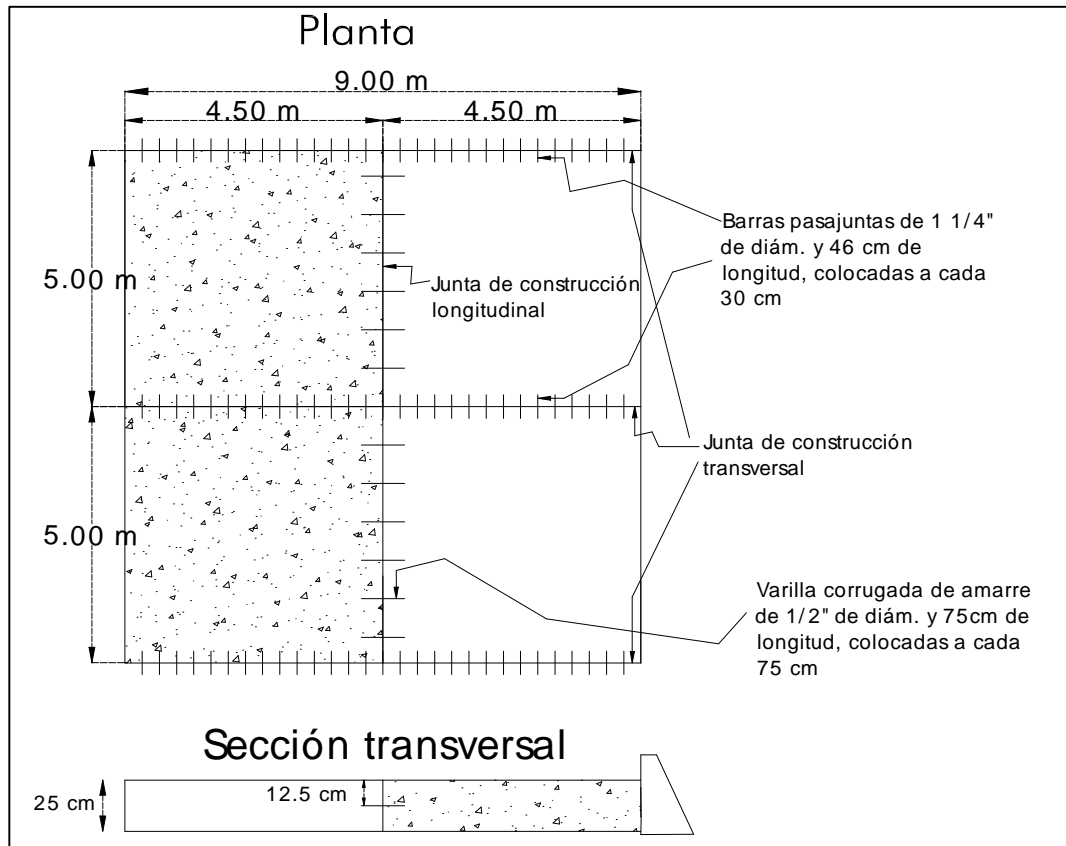


Figura 175.- Colocación de barras de amarre y barras pasajuntas.

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**.

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 pasa-juntas

Se deberá revisar la posición y alineamiento correcto de las pasa-juntas. La tolerancia máxima permisible en el alineamiento de las pasa-juntas no deberá exceder del 2% o 6mm por cada 300 mm. en el plano horizontal y vertical.

6.b. Espesor de la losa de concreto

Se deberán extraer núcleos del pavimento de concreto en los lugares especificados, 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.

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.

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 losas promedio obtenido a partir de los 3 núcleos de concreto.

El pago de las losas 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.

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 las losas 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**:

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 construidos se cubicarán en las mismas losas por medio de seccionamiento a cada 10.00 m siguiendo el método de promedio de áreas extremas.

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.

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 pasa-juntas 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.

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.



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:

- La superficie del pavimento deberá presentar una textura uniforme y exenta de segregaciones.
- 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.
- 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.

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 y así efectuar un primer micro texturizado que elimine la superficie lisa que deja la llana metálica.

Posteriormente se procede a realizar el macro texturizado transversal en forma manual o mecánica mediante una rastra de alambre en forma de peine, 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



Tela de yute para micro texturizado.



Peine con dientes metálicos para texturizado transversal manual.

El acabado final deberá proporcionar una superficie de rodamiento con las características máximas de seguridad (**coeficiente de fricción**) y de comodidad (**índice de perfil**).

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.

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:

- 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.
- 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).

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**.

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.

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.

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.

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 reemplazo de las losas de concreto.

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 reemplazo de las losas de concreto.

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:

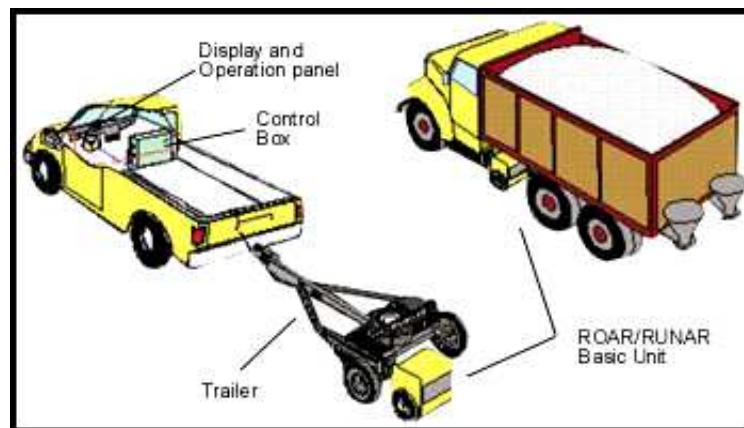
- La longitud mínima por desbastar en cada zona por corregir no deberá ser menor de 50.00 m lineales. El fresado deberá ser de manera continua en toda la superficie y se deberá aplicar en todo el ancho del pavimento.
- El fresado deberá comenzar y terminar en líneas perpendiculares al centro de línea del pavimento y siempre deberá realizarse en forma longitudinal.
- 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.

6. Equipos de medición de la textura superficial del pavimento

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.

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.



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.

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. Este aparato permite medir el perfil longitudinal del pavimento.



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 0.31m. 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 sub-bases 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, donde hay un depósito de membrana de curado y conductos que llevan el líquido hasta los aspersores o espreas.



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 micro texturizado 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.



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.

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.

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.

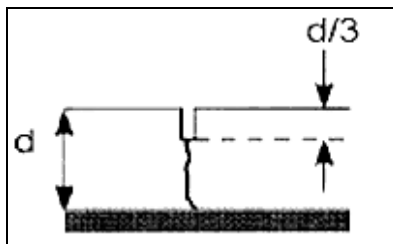
El proceso de cortar las losas de concreto, se realizará después del curado de las losas. Los cortes de las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 horas aproximadamente).

Las cortadoras utilizadas en este tipo de operaciones deberán ser autopropulsadas y con una potencia que esté entre los 20 y 40 HP. 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. No debe cortarse toda la profundidad de la losa ó todo su espesor.



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.



Si $d=25$ cm entonces la profundidad del corte será de 8.5 cm
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 .

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:

✓ 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**).

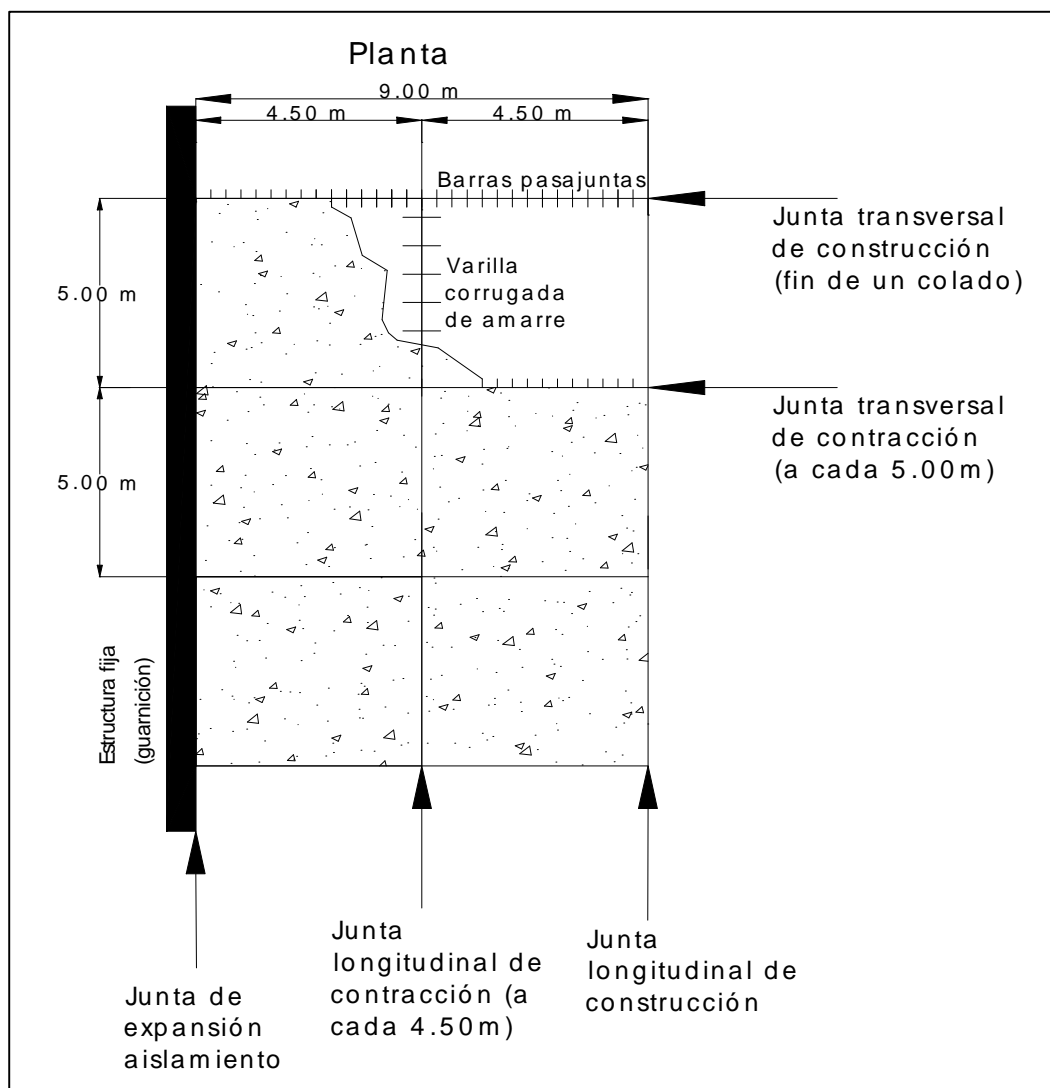


Figura 192.- Tipos de juntas que existen en un pavimento de concreto.

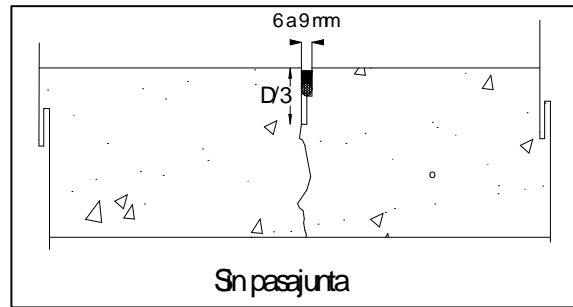
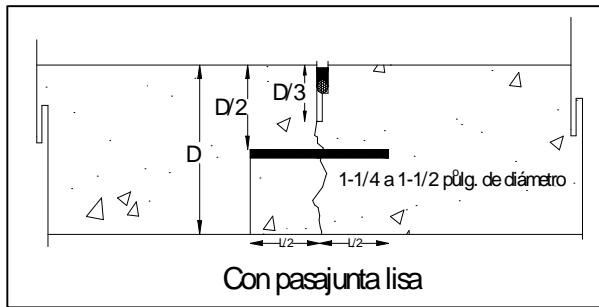


Figura 193.- Junta transversal de contracción con pasajunta lisa.

Figura 194.- Junta transversal de contracción sin pasajunta lisa.

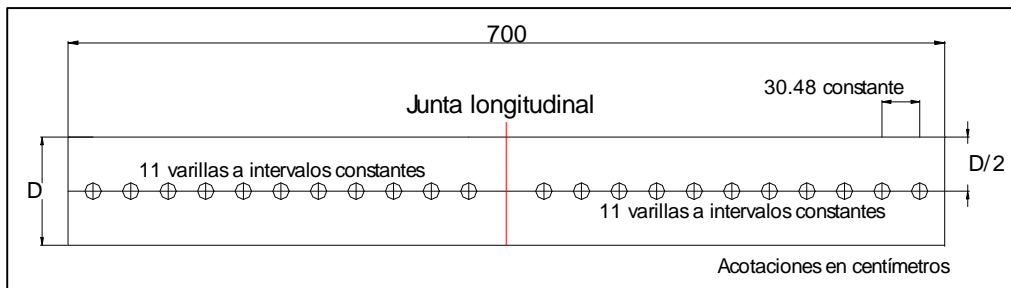


Figura 195.- Disposición de pasajuntas con separación constante en una junta transversal de contracción.

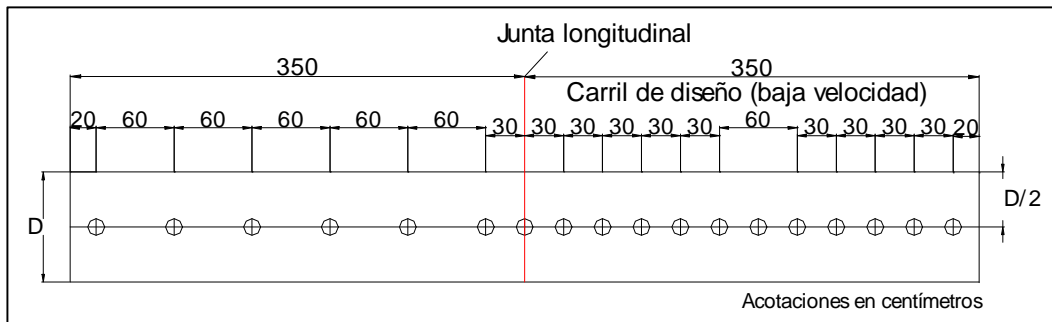


Figura 196.- Disposición de pasajuntas con separación variable en una junta transversal de contracción.

✓ **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.**

Se podrán colocar según lo marque el proyecto para modular las losas en el caso de los detalles de construcción, accesos a industrias, etc.

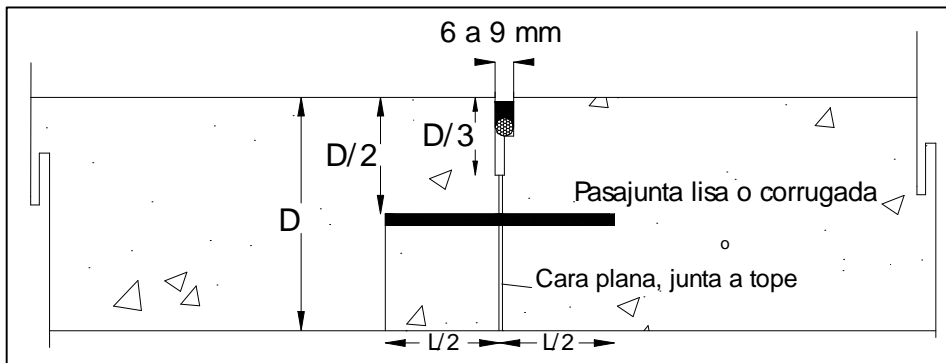


Figura 197.- Junta transversal de construcción con pasajunta lisa o corrugada.

✓ **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).

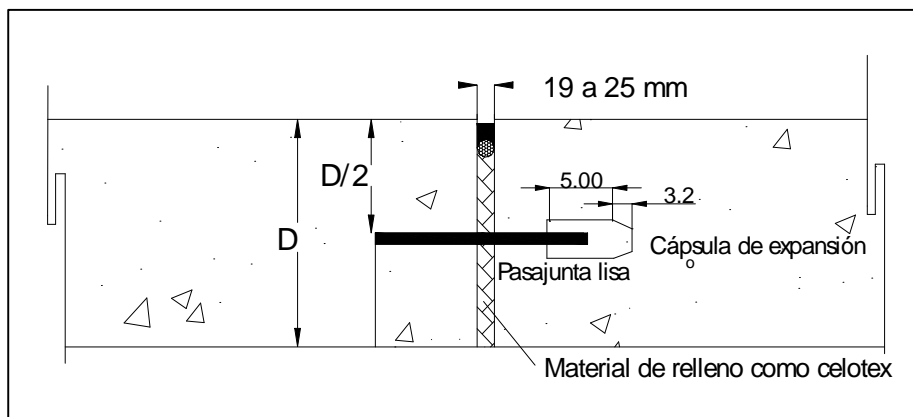


Figura 198.- Junta transversal de expansión/aislamiento con pasajunta lisa.

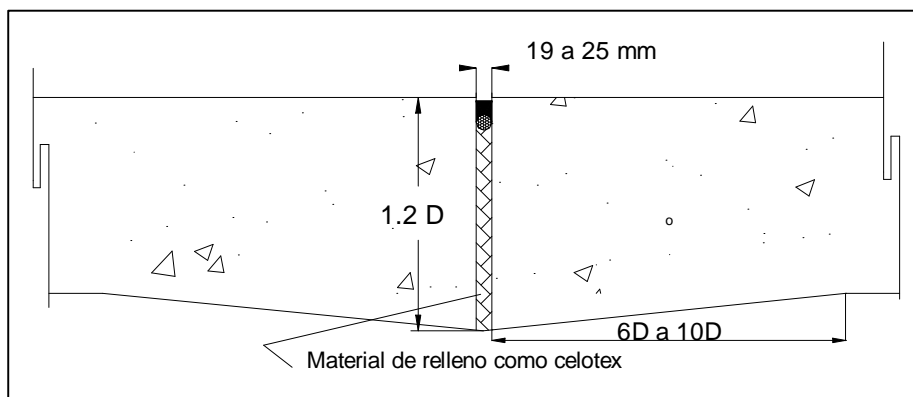


Figura 199.- Junta transversal de expansión/aislamiento sin pasajunta lisa.

✓ **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 carriles (**figuras 200 y 201**).

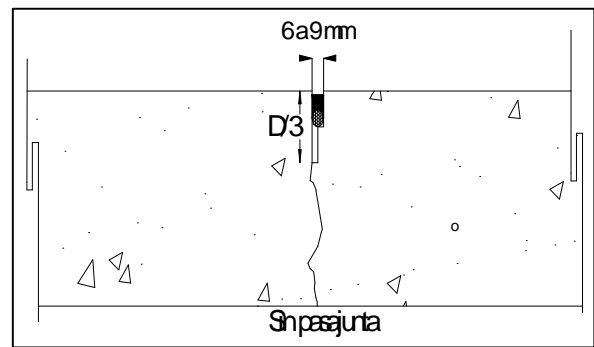
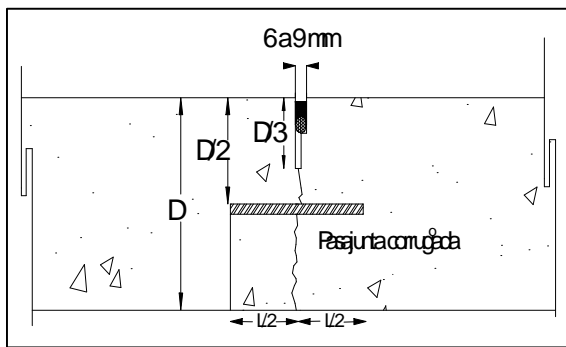


Figura 200.- Junta longitudinal de contracción con pasajunta corrugada.

Figura 201.- Junta longitudinal de contracción sin pasajunta.

✓ **Junta longitudinal de construcción**

Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes (**figuras 202 y 203**).

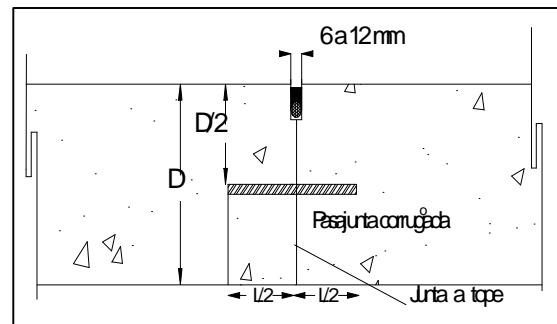
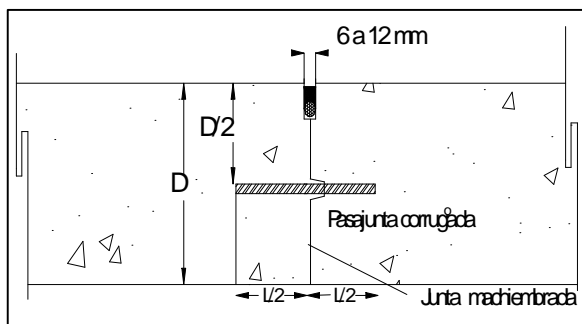


Figura 202.- Junta longitudinal de construcción con pasajunta corrugada y machimbre.

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.
2. La separación máxima entre juntas transversales deberá ser de 21 a 24 veces el espesor ó 5.0 m, la que sea menor.
3. Mantenga losas tan cuadradas como sea posible, ya que losas angostas y largas tienden a agrietarse más que las cuadradas.
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**).

$$Y = 3.00 \text{ a } 4.50 \text{ m} \qquad 1 \leq \frac{X}{Y} \leq 1.4$$

X= Longitud de la losa

Y= Ancho de la losa

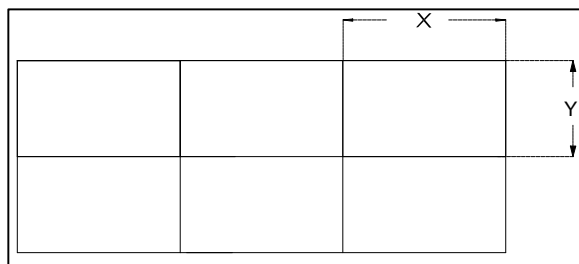


Figura 204.- Modulación de losas en función del espesor de la misma.

5. Todas las juntas de contracción transversales deberán ser continuas a través de la guarnición y tener una profundidad igual a $\frac{1}{3}$ del espesor del pavimento.
6. En las juntas de aislamiento, el relleno deberá ser a toda la profundidad y extenderse por la guarnición.
7. Si no se cuenta con guarniciones, las juntas longitudinales deberán amarrarse con varillas corrugadas.
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**).



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.
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.

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.

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.

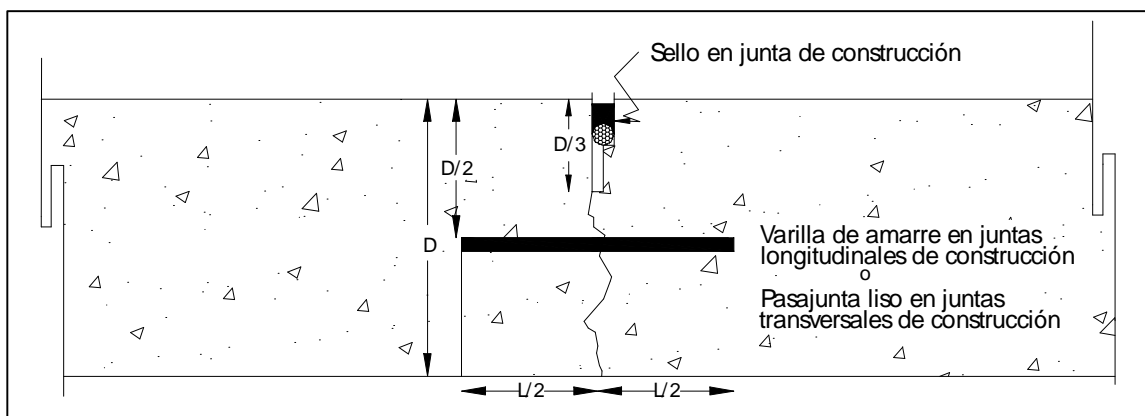


Figura 208.- Sellado para juntas del pavimento de concreto hidráulico.

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.

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.

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 sellos 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:

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.

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.

Tabla 59
Factores de forma más comunes para los selladores

Tipo de sellador	Factor de forma	$\text{Factor de forma} = \frac{\text{Ancho}}{\text{Profundidad}}$
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.

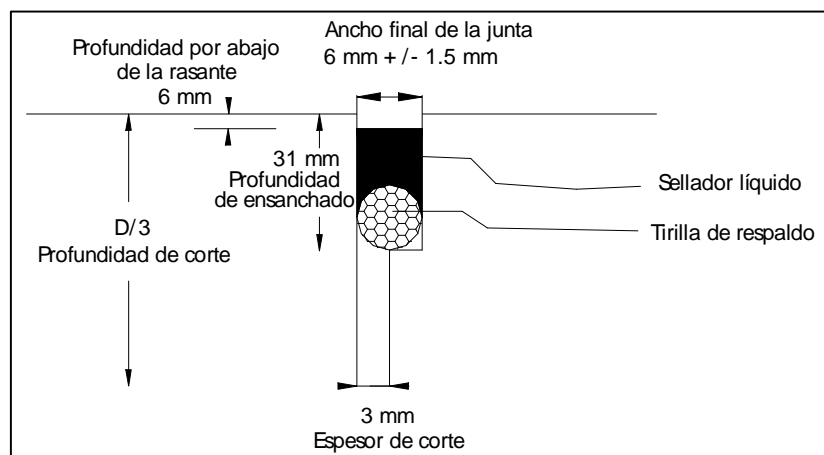


Figura 209.- El sellador líquido para las juntas del pavimento de concreto. Puede ser colocado en frío o en caliente, según su tipo.

- ✓ **Sellos premoldeados.-** Los sellos 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.

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.

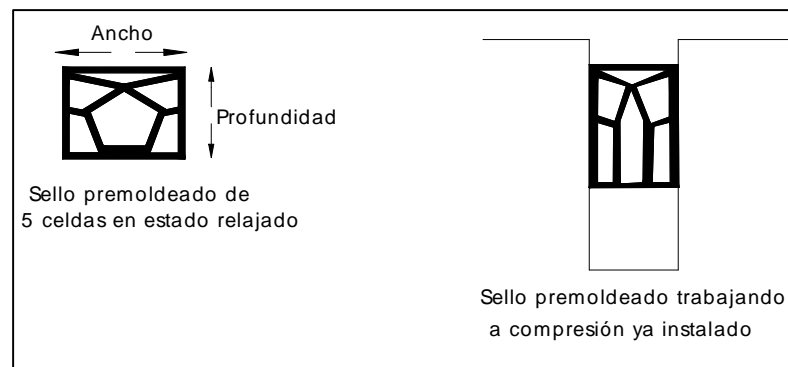


Figura 210.- Sección transversal de un sellador de 5 celdas premoldeado.

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.

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.

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 específica.	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

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 cerrado 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. 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.

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. 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**.



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.



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.

- 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 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 de la Avenida Arboledas alcance e incluso, supere el periodo de diseño para el cual fue construido.

CONCLUSIÓN

Como punto de vista técnico podemos decir que ambos pavimentos se pueden utilizar, siempre y cuando se tenga el debido cuidado en la realización desde el proyecto hasta el procedimiento constructivo, así como en su mantenimiento durante su vida útil.

Sin embargo el pavimento de concreto hidráulico lleva una notoria ventaja sobre el flexible, ya que debido a la capacidad y calidad de materiales que se emplean entre uno y otro, hacen que el concreto sea mucho mas factible que el asfalto; debido a la resistencia obtenida, siendo superior; esto no quiere decir que el flexible no funcione pero se tendría que hacer una carpeta con mayor espesor para que resista las cargas transmitidas por los vehículos, mientras que empleando un concreto hidráulico la carpeta seria de menor espesor y esto es una gran ventaja ya que se haría una estructura de pavimento con menor espesor en la cual nos ahorraríamos costos de excavación y materiales, también se daría un mantenimiento a la carpeta a un periodo mas prolongado lo cual no sucede con el pavimento flexible.

Esto se puede comprobar hoy en día, ya que cada vez se emplea mas el concreto hidráulico para la rehabilitación de avenidas en la ciudad de México un ejemplo claro de esto es la renovación del circuito interior el cual estaba construido con un pavimento flexible y lo están cambiando por un pavimento rígido, esto es ha que cada día se comprueba, que se tiene una mayor resistencia, menor mantenimiento y aunque en su construcción es mucho mas caro, al paso del tiempo, el periodo de vida útil es mas barato que el flexible ya que se requiere menor mantenimiento y a su vez se emplea menor cantidad de mano de obra para ejecutar dichos trabajos.

Por lo cual se llega a la conclusión final de que es mas factible emplear el pavimento de concreto hidráulico que el flexible, por su gran diferencia en la capacidad de carga, por el menor mantenimiento que recibe y pues para entrar a la modernidad ya que en países de primer mundo ya no se emplea el pavimento flexible y únicamente utilizan el concreto hidráulico.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Carpeta de "Estudio y proyecto ejecutivo para la rehabilitación y modernización del pavimento de la calzada lateral norte del paseo Tolloca, 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.*