

25
25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

JAVIER ROBERTO BAUTISTA HERNANDEZ



MEXICO, D. F.

1995



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-112/94

Señor
JAVIER ROBERTO BAUTISTA HERNANDEZ
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. MIGUEL MORAYTA MARTINEZ**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

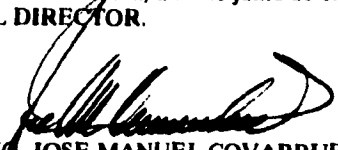
"REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

- I. INTRODUCCION**
- II. CARRETERAS**
- III. OBRAS DE DRENAJE**
- IV. PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO**
- V. REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES**
- VI. CONCLUSIONES**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 23 de junio de 1994.
EL DIRECTOR.



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/RCR*nl

***A mi madre
con admiración y respeto.***

***A Jorge, Paty, Arturo,
Lety, y Alejandro***

***A mis amigos
A mis compañeros***

A la Universidad Nacional Autónoma de México

A la Facultad de Ingeniería

A todos y cada uno de los profesores

que contribuyeron en mi formación académica

INDICE

CAPITULO 1	INTRODUCCION	1
CAPITULO 2	CARRETERAS	3
CAPITULO 3	OBRAS DE DRENAJE	10
3.1	Obras de protección	13
3.2	Obras de cruce	16
3.3	Drenaje subterráneo	18
CAPITULO 4	PAVIMENTOS FLEXIBLES. PROCED.CONSTRUCTIVO ..	20
4.1	Conformación de un pavimento flexible	23
4.2	Terreno de fundación	24
4.3	Capa subrasante	25
4.4	Sub-base	26
4.5	Base	28
4.6	Prueba.Valor relativo de soporte	30
4.7	Prueba.Equivalente de arena	32
4.8	Riego de impregnación	34
4.9	Riego de liga	36
4.10	Tipos de carpeta asfáltica	37
4.11	Asfaltos	41
4.12	Emulsiones asfálticas	46

CAPITULO 5	REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	52
5.1	Condición de servicio	55
5.2	Condición estructural	58
5.3	Condición de la superficie de rodamiento	62
5.4	Métodos para la obtención de espesores de refuerzo	63
5.5	Procedimientos de construcción	68
CAPITULO 6	CONCLUSIONES	77
	BIBLIOGRAFIA	80

capítulo 1

introducción

CAPITULO I

INTRODUCCION

En este trabajo se analizará la importancia que tienen las carreteras en nuestro país, siendo el principal medio de transporte de carga y de pasajeros que se utiliza.

Se observará la necesidad de una mayor atención en cuanto a asignación del presupuesto federal, para proporcionarles mantenimiento de conservación y de corrección; donde estaríamos hablando ya de un tratamiento mayor.

Se analizará la necesidad de contar con la mayor cantidad de datos estadísticos que nos auxilien a una mejor previsión de las condiciones a que estará sujeta una carretera a la que se le dará un tratamiento de rehabilitación; juzgado necesario por no atender correctamente a las solicitudes requeridas.

También se observará necesaria la existencia de obras de drenaje, paralelas a la construcción o rehabilitación de una carretera, teniendo en cuenta que el agua es un elemento del que se deben proteger los caminos, para evitar posibles deterioros a futuro; o siendo ésta; una causa importante para que un camino necesite una rehabilitación.

No se debe hacer a un lado el hecho de que en toda construcción de carreteras debe cumplirse con las especificaciones señaladas en proyecto, correspondiendo ellas a un profundo estudio de las características del terreno sobre el cual se

construirá. Por lo tanto veremos el procedimiento constructivo generalmente a seguir en la construcción de un pavimento flexible, teniendo siempre presente la calidad en la realización de éste; la cual es una función importante del ingeniero residente de obra para que vigile y atienda su correcta ejecución.

Para poder hablar de la rehabilitación de un pavimento flexible; es necesario tener una noción de las capas que lo componen, así como de su procedimiento constructivo, por lo tanto veremos éstas en forma breve.

Por último se explicarán brevemente algunos procedimientos de rehabilitación en pavimentos flexibles después de haber juzgado necesaria su realización.

Hablaremos así mismo de algunas especificaciones que deben tener los distintos tipos de asfaltos, para poder hacer uso de ellos en la construcción de mezclas asfálticas. También mencionaremos algunas pruebas utilizadas para la determinación de esas especificaciones.

capítulo 2

carreteras

CAPITULO II

CARRETERAS

Se define como carretera, a aquella estructura diseñada para transmitir las cargas que circulan por ella al terreno natural sin sufrir deformaciones.

La función de una carretera es el transporte de bienes, servicios o personas.

La función de un camino rural es el comunicar poblados o comunidades aisladas, generando con esto la posibilidad de dar acceso a Centros de Salud, servicios, educación, etc., que logren un bienestar o mejoría en el tipo de vida de sus habitantes.

Los caminos alimentadores son aquellos que tienen la función de integrar regiones y apoyar el desarrollo de las economías locales y regionales.

Algunos de estos caminos que nutren de tráfico a las grandes troncales y a las carreteras de cuota, son rurales de bajas especificaciones, con pendientes y curvas significativas, pero de uso permanente.

Se genera la construcción de estos caminos mediante tres tipos de inversión: del gobierno federal, del gobierno estatal y de los beneficiados, ya sean agricultores, ganaderos o ejidatarios.

La red federal es aquella mediante la cual se mueve la economía del país soportando grandes flujos comerciales. A su vez la red nacional de autopistas proporciona servicios de alta calidad en cuanto a rapidez y seguridad de los usuarios.

Actualmente los grandes proyectos carreteros se hacen mediante inversión privada (concesión de carreteras), las carreteras de desarrollo se hacen con inversión bipartita y los caminos alimentadores con inversión tripartita.

Según datos proporcionados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (S C T), la longitud de la red carretera nacional y su distribución es la siguiente:

Longitud de la red carretera nacional = 243,000 km .

Brechas mejoradas	=	33,100 km
Terracerías	=	3,300 km
Total	=	36,400 km

Revestimiento	=	118,600 km
Pavimentado de 2 carriles	=	80,500 km
Pavimentado de 4 carriles	=	7,500 km
Total	=	206,600 km

De estos datos observamos, que actualmente las carreteras con revestimiento y pavimentadas representan el 85 % del total de la red carretera.

La importancia del sistema de transporte carretero es tal que anualmente se mueven aproximadamente 310 millones de toneladas de carga , que representan un

80 % del total nacional.

En toneladas-kilometro, su producción se acerca a 108,000 millones con recorridos promedio de 350 km.

En pasajeros se movilizan anualmente alrededor de 1,825 millones de personas en recorridos inter-urbanos que equivalen al 98.5 % del total.

Es evidente la repercusión que tiene el sistema carretero para la economía del país, de ahí la necesidad de mantenerlo en buenas condiciones de funcionalidad, además de realizar acciones que modernicen la infraestructura carretera; esta labor no es nada sencilla, pero habrá que utilizar adecuadamente los recursos financieros disponibles atendiendo a un mayor control en la elaboración de proyectos, así como también un mayor control en los costos de construcción.

El Programa Nacional de Autopistas de Cuota 1989 - 1994 (Concesión de carreteras) puso en operación 4,854 km de carreteras de altas especificaciones, lo que significó una incorporación de 4 veces más kilómetros de autopistas que las construidas en un cuarto de siglo, de acuerdo a Informes de la S C T .

Es notoria la rentabilidad económica de las carreteras concesionadas; de ahí el motivo de su éxito, debido a los grandes aforos que presentan, pero no por esto debe hacerse a un lado la rentabilidad social para el desarrollo de nuevas autopistas federales.

Surge entonces la necesidad de contar con estimaciones de los volúmenes de tránsito probables que circularán por las autopistas. Deberá procurarse el estudio

profundo de aforo y elasticidad de la demanda ante diferentes niveles de cuotas. Además de estudios socio-económicos y de rentabilidad social para aquellas autopistas que se construirán con recursos fiscales.

El sistema de planeación para la construcción de la infraestructura carretera, incluye la realización de estudios de factibilidad enfocándolos al análisis de costo-beneficio, sin dejar de considerar estudios de impacto ambiental, todo esto para lograr una solidez técnica y una rentabilidad económica y financiera de los proyectos.

Algo importante dentro de las obras y proyectos de infraestructura carretera es el hecho de ya se está considerando a la Ecología; esto mediante un programa para la protección, limpieza y reforestación del derecho de vía de las carreteras, que está en marcha en colaboración con la Secretaría de Recursos Hidráulicos (SARH) y SEDESOL.

Actualmente , nos informa la SCT, el 10 % de los pavimentos de la red carretera se encuentran en buen estado, el 30 % en estado regular y un 60 % se encuentra en estado malo. Esto principalmente debido a tres factores que son :

- 1.- El 60 % de los tramos existentes, se construyeron hace más de 40 años, con especificaciones, criterios de diseño y materiales distintos a los requeridos hoy en día.

- 2.- Los volúmenes de tránsito han superado las expectativas originales y las cargas por eje de los vehículos pesados han crecido muy por arriba de las consideraciones hechas en el diseño inicial.

3.- El presupuesto asignado a la conservación de la red carretera no es suficiente, ya que no ha crecido al mismo ritmo de ésta.

El presupuesto público destinado a la red carretera nacional está muy por debajo del requerido, debido a ello se han tenido que reducir los montos del capital destinados a la ampliación de la red; enfocándose la mayor parte de esos recursos hacia la modernización, reconstrucción y conservación de carreteras del país.

Se muestran cifras de la asignación de recursos en cuanto a inversión en la red carretera nacional; expresadas en porcentajes:

AÑO	1980	1985	1989
Conservación	29.0	34.5	31.2
Modernización y reconstrucción	12.6	35.1	39.9
Construcción	58.4	30.4	28.9
TOTAL	100.0	100.0	100.0

Es evidente que el estado de la red carretera federal repercute en casi todos los sectores de la economía nacional, por mencionar algunos: en los costos de operación vehicular, en los tiempos de recorrido, en la productividad y eficiencia, en el comercio y competitividad de productos y mercancías en los mercados nacionales y del exterior.

Por ejemplo, los costos de operación de los vehículos en las carreteras nacionales crecen conforme avanza el deterioro de la superficie de rodamiento, llegándose a establecer en porcentaje, que al pasar un pavimento de condiciones buenas a malas, se observa un incremento en el costo de operación del vehículo de un 22 % y al pasar éste, de un pavimento malo a un pavimento pésimo se tiene un incremento del 23 %; por lo tanto se observa nuevamente la necesidad de conservar un pavimento en buenas condiciones. Es por todo esto que debe procurarse la existencia de mejores proyectos en cuanto a infraestructura carretera, utilizando de manera adecuada todos los recursos financieros y materiales que estén disponibles.

capítulo 3

obras de drenaje

CAPITULO III

OBRAS DE DRENAJE

El principal objeto de las obras de drenaje es el de eliminar el agua o humedad que en cualquier forma le resulta perjudicial al camino; lográndose evitar que el agua llegue a él o reduciendo al máximo posible la cantidad que se presente; y por último darle una salida rápida.

El agua puede llegar a un camino de distintas maneras :

- 1.-Precipitación pluvial
- 2.-Escurrimientos
- 3.-Corrientes naturales
- 4.-Filtraciones a través del subsuelo.

Es necesario poner atención a éste último factor, que es la filtración a través del subsuelo, ya que puede afectar en gran forma el funcionamiento de la carretera. Es por eso mismo que surge la necesidad de hacer obras paralelas a la construcción de un camino, las cuales evitarán al máximo el contacto del agua con la estructura de la carretera y las encauzarán de manera correcta.

El drenaje debe preverse desde la misma localización del camino y lo ideal sería, que el camino estuviera situado en lugares que contaran con drenaje natural, no siendo esto siempre posible, por la necesidad de que el camino cuente con rutas

directas y pendientes limitadas.

Debe evitarse siempre que circulen grandes cantidades innecesarias de agua sobre la superficie de la carpeta asfáltica ya que le produce gran desgaste provocando la formación de baches que perjudican al pavimento, así mismo debe evitarse la acumulación del agua en las cunetas, que propiciarán también un deterioro y un reblandecimiento de las terracerías, afectando la estabilidad de la estructura en su conjunto.

Es por todo esto que surge la necesidad de construir obras que permitan una buena circulación del agua sin que afecte nuestra carretera.

El drenaje puede ser superficial o subterráneo.

Drenaje superficial.- Es aquel sistema que trata de eliminar el agua que escurre sobre el camino, captando el agua proveniente de lluvias, ríos o escurrimientos, encauzándola y dándole salida sin que afecte el funcionamiento de la carretera.

Drenaje subterráneo.- Consiste en proporcionar ductos de drenaje adecuados para eliminar el agua subterránea o para abatir el nivel hasta el punto en que no sea perjudicial.

El drenaje superficial está formado por obras de protección y por obras de cruce.

Dentro de las obras de protección tenemos : cunetas, contracunetas, bombeo, bordos y lavaderos.

Podemos mencionar como obras de cruce : puentes, alcantarillas, vados y sifones.

3.1 Obras de protección

Cunetas

Son zanjas que se construyen a ambos lados del camino con el único propósito de recibir y conducir el agua de precipitación, de la mitad del camino (bombeo), o de todo el camino en las curvas; se proyectan de tal forma que el nivel del agua quede por debajo de la carpeta.

Ya que el área por drenar de las cunetas es relativamente pequeña generalmente se diseñan para soportar y dar capacidad a aguaceros con duraciones de 10 a 20 minutos . Además se considera suficiente proyectar la capacidad de la cuneta para que capten el 80 % de la precipitación pluvial que cae en la mitad del ancho total del derecho de vía.

Generalmente la forma de las cunetas es triangular o trapezoidal, siendo las triangulares las mas comunes y de fácil construcción. Se pide un desnivel mínimo de 30 cm bajo la subrasante y un máximo de 90 cm con el fin de evitar sea peligrosa.

Las dimensiones de una cuneta pueden ser con un talud interior (del lado del camino) de 3:1 y del lado exterior de 1.5 :1 con un tirante de agua de 30 cm.

La cuneta debe protegerse en pendientes fuertes cuando su longitud sea mayor

de 60 m mediante una obra de alivio . Algo muy importante para el buen funcionamiento de las cunetas es el mantenimiento que se les proporcione, si no se les vigila adecuadamente y se desazolvan constantemente, el agua que debía correr por ellas, se estanca y comienza a hacerlo por la superficie de rodamiento, provocándole deterioros.

Contracunetas

Son zanjas cuyo objetivo es el evitar que llegue a las cunetas mayor cantidad de agua que la que puede drenar.

Su forma generalmente es trapezoidal; se pueden hacer una o varias según la necesidad, se construyen en forma transversal a la pendiente del terreno de manera tal que intercepten en forma efectiva el escurrimiento del agua; si ésta llegara a alcanzar velocidades mayores a 1.20 m/seg se requerirá la construcción de un zampeado.

Las contracunetas se calculan de manera similar a las cunetas.

Las dimensiones de una contracuneta con sección trapecial pueden ser de 50 cm de plantilla y taludes de 1:1 en material compacto. Si no se tiene la debida pendiente o no son impermeabilizadas de manera adecuada puede provocar desperfectos en los taludes de corte y llegar hasta el pavimento y si el agua permanece estancada puede originar filtraciones que causen erosión a las terracerías.

Bombeo

Se le llama bombeo de un camino, a la forma de la sección transversal de la superficie de rodamiento.

La función principal del bombeo es el de descargar hacia los lados, el agua que cae en el camino.

En México se utiliza normalmente un bombeo del 2 % .

Bordos

Son pequeñas estructuras que encauzan hacia los lavaderos las aguas pluviales que caen en la superficie de rodamiento .

A veces estos no se construyen con materiales adecuados o no tienen la liga; o el anclaje necesario con el pavimento, provocándose su destrucción y causando erosiones en los taludes de los terraplenes.

Lavaderos

Es una mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente que sirve para encauzar el agua de los taludes o terraplenes para dirigirla a un lugar donde no afecte el funcionamiento del camino. Si no quedan bien apoyados sobre el terraplén o bien anclados, se destruyen rápidamente y las aguas erosionan los taludes y las orillas del pavimento. En terrenos inclinados es necesario anclarlos con dentellones de concreto para evitar su deslizamiento.

3.2 Obras de cruce

Dentro de las obras de cruce que forman parte del drenaje superficial podemos mencionar las siguientes : puentes, alcantarillas, vados y sifones.

A las obras de cruce también se les llama de drenaje transversal y su función es la de dar paso rápido al agua cruzando de un lado a otro del camino, por no poderla desviar de otra forma. Realmente la única diferencia entre un puente y una alcantarilla, es que las alcantarillas llevan encima un colchón de tierra y los puentes no.

Las alcantarillas están formadas de dos partes: el cañón y los muros de cabeza.

El cañón forma el canal de la alcantarilla y es la parte principal; los muros de cabeza sirven además de anclaje, para evitar la erosión del tubo.

Existen alcantarillas tubulares, de cajón, de bóveda y de losa, pero las tubulares tienen ventaja sobre las demás en la rapidez de su construcción, después de tendidas puede construirse el terraplén cuidando siempre la buena preparación de la plantilla donde se va a colocar el tubo. La colocación del colchón se realiza por capas debidamente tratadas y compactadas, que tengan la suficiente pendiente para evitar azolves y que el cañón de la alcantarilla sea lo suficientemente largo para que no corra peligro de obstrucción en sus extremos en época de lluvias.

Vado

Es una estructura que permite el paso de un río o de un arroyo cuando no se amerita la construcción de una alcantarilla.

Se pavimenta el camino con concreto de tal forma que no se perjudique con el paso del agua.

Generalmente se utilizan en caminos vecinales donde los arroyos no llevan mucha agua.

3.3 Drenaje subterráneo

Sabemos que bajo la superficie de un camino pueden existir corrientes de agua, o agua estancada, la cual nos generará problemas en la estabilidad del pavimento.

Surge entonces la necesidad de colocar conductos para que el agua escurra y se abata el nivel freático.

Un tipo de drenaje subterráneo es aquel formado de tubos con juntas abiertas y paredes perforadas, que se colocan dentro de un relleno permeable para que el agua llegue al tubo y pueda salir.

El segundo tipo consiste en abrir una zanja y colocar material permeable, eliminando el tubo; cuando el subdren en zanja no existe donde se requiere, se generan filtraciones de agua que van de los cortes del terreno, hacia la corona del camino, provocando asentamientos, deformaciones, agrietamientos y baches. Aún cuando existan subdrenes, estos pueden estar funcionando mal, ya sea por que no tienen la profundidad necesaria para cortar el paso del agua o porque el material filtrante es inadecuado y se encuentra obstruido.

En ocasiones las perforaciones del tubo se tapan o los mismos tubos se azolvan si no se les proporciona la limpieza necesaria.

Se da el caso de que las gravas y arenas que se utilizan como material filtrante no cumplan con la granulometría adecuada provocando su obstrucción.

De esta manera se proponen ciertas relaciones del tamaño de los agregados que se ha visto cumplen adecuadamente con su función.

1.-Para evitar la obstrucción del material del filtro se requiere una relación de tamaños del 15 % del material a utilizar en el filtro, contra el 85 % del material por proteger que sea menor o igual a 5. Y una relación del tamaño del 50 % del material del filtro entre el tamaño del 50 % del material por proteger menor o igual a 25.

2.-Para asegurar la adecuada capacidad del filtro, la relación del tamaño del 15 % del material del filtro entre el tamaño del 15 % del material por proteger, debe ser mayor o igual a 5.

3.-Para asegurar que no se tapen las perforaciones del tubo, que generalmente son de 3/8 pulg, se procura que el tamaño del 85 % del material del filtro entre el diámetro de las perforaciones del tubo sea mayor o igual a 2.

capítulo 4

pavimentos flexibles.

procedimiento constructivo

CAPITULO IV

PAVIMENTOS FLEXIBLES.PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

Inicialmente se puede establecer una definición de pavimento en general:

Pavimento.- Es aquella estructura que consiste de una o varias capas de materiales tratados, a través de la cual se realiza el tránsito de vehículos con neumáticos de manera rápida, segura y cómoda, ofreciendo una superficie de rodamiento capaz de soportar las cargas que le transmiten los vehículos y la acción del intemperismo.

Un pavimento debe tener ciertas características estructurales, que son:

1.- Debe tener un espesor suficiente y contar con la resistencia adecuada, para que sea capaz de soportar las cargas de los vehículos, así como de transmitir adecuadamente los esfuerzos a las terracerías.

2.- Debe contar con una capa superior que además de que permita una buena circulación de los vehículos, garantice o impida la acción de los agentes del intemperismo.

3.- Debe evitar la acumulación de agua en su interior, además de ser impermeable.

Existen dos tipos de pavimentos: Los pavimentos flexibles y los pavimentos rígidos.

Los pavimentos flexibles están formados en general por una sub-base, una base y una carpeta asfáltica. Siguiendo el principio de que la intensidad de una carga de

cualquier magnitud disminuye en proporción geométrica al ser transmitida hacia abajo de la superficie, ya que va repartiéndose cada vez en una área mayor.

Los pavimentos rígidos son aquellos generalmente formados por una losa de concreto hidráulico que se encuentra apoyada sobre una capa de material no rígido, que podría ser la sub-rasante o una capa de sub-base. Estos pavimentos se rigen por las características de una losa de concreto, ya que por su alto módulo de elasticidad y rigidez tiende a distribuir la carga sobre una área relativamente grande de terreno.

Los pavimentos rígidos se usan en México principalmente en aeropuertos importantes, o en algunas calles de la Ciudad; en carreteras es casi nulo su uso, debido principalmente a que su costo inicial es relativamente alto.

En este trabajo únicamente nos enfocaremos al estudio de los pavimentos flexibles, por ser los que comúnmente se utilizan en México.

4.1 Conformación de un pavimento flexible.

En este capítulo se analiza el sistema en general con el que se construye un pavimento flexible, así como la función de cada una de las capas que lo conforman.

Bajo una carpeta bituminosa, formada de una mezcla de agregado pétreo y un cementante asfáltico, que en sí componen la superficie de rodamiento; al menos se tienen dos capas bien diferenciadas que conforman un pavimento flexible; la primera es la base y está formada por material de buena calidad, y una segunda capa, la sub-base formada de preferencia por material granular de menor calidad que el de la base. Debido a que los esfuerzos que le son transmitidos a ésta capa provenientes de la zona de rodamiento son menores en magnitud, por su alejamiento de ésta. En seguida de la sub-base se encuentra la subrasante, cuya calidad del material que la integra es menor aún que la sub-base.

Después, bajo la subrasante se encuentra el terreno de fundación, que es aquél como su nombre indica sirve de fundación al pavimento después de haberse terminado el movimiento de tierras y que, una vez compactado, tiene las secciones transversales y pendientes especificadas de proyecto.

A continuación se explican las características de las distintas capas de un pavimento flexible.

4.2 Terreno de fundación.

De su capacidad de soporte depende el espesor que debe tener el pavimento; por ejemplo, si el terreno de fundación es pésimo, esto es que el material que lo compone tiene un alto contenido de materia orgánica es necesario desechar ese material y sustituirlo por otro de mejor calidad.

Si el terreno de fundación es malo, con existencia de suelo fino, limoso o arcilloso del tipo MH y CH; de alta compresibilidad, susceptible de saturación, será necesario colocar una sub-base de agregado seleccionado antes de continuar con las siguientes capas.

Si el terreno de fundación es regular o bueno; y que estuviera formado por un suelo bien graduado que no corra riesgo de saturación o está formado por un material de granulometría gruesa, se podría prescindir de la capa de sub-base.

Ahora bien, si el terreno de fundación es excelente; esto es, que tiene un valor de soporte elevado y además no existe la posibilidad de que se sature de agua, se podría prescindir de las capas de sub-base y base para colocar encima únicamente la capa de rodamiento, pero esto sería un caso excepcional, por lo tanto analizaremos una a una las capas subsecuentes al terreno de fundación.

4.3 Capa subrasante

Es la capa que sobreyace a la terracería o terreno de fundación, ésta desempeña un papel importante para la estabilidad del pavimento teniendo el espesor y calidad suficientes, sumado a un correcto grado de compactación.

Esta capa subrasante y su espesor cumplen una función económica logrando un ahorro en los espesores de las capas superiores sin perjudicar su función estructural.

Se recomienda un espesor mínimo para la capa subrasante de 30 cm en carreteras donde el tránsito es moderado, llegando hasta 50 cm en zonas de alto tránsito o en consecuencia en lugares donde el material del terreno de fundación no es de buena calidad.

Una característica del material que conforma esta capa es que no debe tener partículas que sobrepasen el tamaño de 3 pulg; además de que es necesario eliminar los suelos finos, limosos y arcillosos altamente compresibles MH y CH con límite líquido menor al 100 % ; así como también los suelos orgánicos OH con límite líquido mayor del 50 % .

Se recomienda que la capa subrasante tenga un grado de compactación mínimo del 95 % del valor de su peso volumétrico máximo.

4.4 Sub-base

Es la capa posterior a la subrasante, su función es la de soportar las cargas de los vehículos y transmitir las a las terracerías.

Hasta cierto punto la sub-base cumple con un objetivo económico y se trata de lograr el espesor necesario del pavimento en conjunto con material relativamente barato; podría utilizarse el mismo material de calidad que el de la base pero esto aumentaría significativamente el costo, por lo que se prefiere adelgazar o reducir el espesor de ésta, con la consecuencia de un aumento en el espesor de la sub-base utilizando lógicamente un material de menor calidad; pero siempre cumpliendo con la función de soportar y transmitir los esfuerzos.

La sub-base sirve como protección de la capa de la base aislándola de la subrasante, que generalmente están construídas con materiales finos y plásticos; no así la base que normalmente es material granular grueso, es por esto que de no existir el aislamiento provocado por la capa de sub-base tendríamos el problema de incrustaciones de material fino de la subrasante en la capa de la base, lo que provocaría cambios volumétricos, de elasticidad y plasticidad al alterarse sus condiciones de humedad, que generarían una notable reducción de la resistencia estructural de la base.

Una función importante de la sub-base es el hecho de que actúe como capa drenante para eliminar el agua, que llegara a infiltrarse a través de las capas superiores, así como la de controlar o evitar la ascensión capilar del agua proveniente

de mantos acuíferos u otras fuentes, protegiendo así al pavimento contra cambios de volumen.

El material que conforme la capa de la sub-base debe tener mayor capacidad de soporte que la capa subrasante, además si va a funcionar como capa de drenaje el material que se utilizará en su construcción será granular, donde el tamaño máximo de éste se limita a 2 pulg cuando se utilice material sin ningún tratamiento o cuando sólo es necesario disgregarlos o cribarlos. Si hay necesidad de triturarlos y después cribarlos el tamaño máximo será de 1 1/2 pulg. Este material puede ser: arena, grava o granzón.

Ya que la función de la capa de sub-base es el de servir como capa drenante, el material que se requiere debe ser granular y tener una relación de porcentaje en peso, del material que pase la malla No. 200 al que pase la malla No. 40 no mayor a 0.65 .

Se recomienda un C.B.R. (Valor Relativo de Soporte) mínimo del 50 % ; también que el equivalente de arena del material sea 20 % como mínimo; además de que el material deberá compactarse al 95 % mínimo de su peso volumétrico seco máximo.

4.6 Base

La principal función de la base de un pavimento flexible es estructural, cuyo objetivo es el de proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas de los vehículos y además de esto que sea capaz de transmitir los esfuerzos producidos a las capas posteriores.

La base también debe cumplir la función de drenar fácilmente el agua, que llegara a infiltrarse a través de la carpeta; así como evitar la ascensión capilar, proveniente de las capas inferiores.

El material que constituya la base de un pavimento flexible debe ser friccionante y lo suficientemente provisto de vacíos para que garantice la resistencia estructural requerida, pero para que éste material cumpla dichas características de deformabilidad necesita ser compactado de manera adecuada, obteniendo así una buena base.

Sabemos que la presencia de suelo fino en la base afecta notablemente su capacidad estructural, aumentando su deformabilidad y perjudicando su función drenante; pero con todo esto se ha comprobado la necesidad de al menos un 5 % de material fino, permitiendo hasta un máximo de 18 % . Esto es debido a que un suelo puramente friccionante, sin presencia de material fino al ser compactado en su capa superior, no ofrece resistencia alguna al desplazamiento lateral de sus partículas, por lo que entonces se observa necesaria la presencia de finos para hacer ésta superficie más estable y trabajable al momento de que sufra el tránsito vehicular.

El tamaño máximo de los agregados pétreos se fija en 2 pulg para materiales naturales que no requieran tratamiento de disgregado, cribado o trituración y de 1 1/2 pulg para los materiales que sí requieran algún tipo de tratamiento.

El límite líquido que se requiere es de 30 % como máximo. Para caminos con menos de 1,000 vehículos pesados al día se requiere un equivalente de arena de 30 % como mínimo y de 50 % en carreteras con tránsito más intenso.

Se fija un valor relativo de soporte como mínimo del 80 % nuevamente, en carreteras con menos de 1,000 vehículos pesados al día, y del 100 % para carreteras con tránsito más intenso.

Se necesita un grado de compactación del 95 % como mínimo pero normalmente se le lleva al 100% .

4.6 Valor Relativo de Soporte (C.B.R.)

Establece una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte como base de sustentación para pavimentos flexibles.

Lo adobes, suelos orgánicos y algunos suelos cohesivos tienen expansiones, - variaciones volumétricas debido a su capacidad de absorción de agua -, muy grandes, generalmente mayores al 10 %.

Se establece generalmente que los materiales de préstamo; por especificación, para sub-base deben tener expansiones menores del 2 % al cabo de 4 días; también se recomienda que los materiales para la capa de base tengan expansiones menores del 1 % .

Se ha observado la siguiente relación, entre los hinchamientos de un suelo y su valor relativo de soporte o CBR :

1.- los suelos que presentan hinchamiento mayor o igual al 3 % generalmente tienen un valor relativo de soporte menor al 9 % .

2.- Los suelos con hinchamientos máximos del 2 % tienen valores aproximadamente del CBR igual o mayor al 15 % .

3.- Los suelos con hinchamientos menores del 1 % generalmente alcanzan valores de CBR mayores al 30 % .

Para determinar el valor relativo de soporte de un suelo se usa como material de comparación a la roca triturada.

La resistencia a la penetración que presenta la roca triturada a la hincada de un pistón de dimensiones establecidas con sobrecarga mínima de 10 lb (4.54 kg) que sería equivalente a la de un pavimento de concreto de 5 pulg de espesor, son las siguientes, para :

0.1 pulg de penetración	1.00 lb/pulg ² (70 kg/cm ²)
0.2 pulg de penetración	1.50 lb/pulg ² (105 kg/cm ²)
0.3 pulg de penetración	1.90 lb/pulg ² (133 kg/cm ²)
0.4 pulg de penetración	2.30 lb/pulg ² (161 kg/cm ²)
0.5 pulg de penetración	2.60 lb/pulg ² (182 kg/cm ²)

Como se toma a la roca triturada como base de comparación, se tendría que la resistencia a la penetración de la roca triturada es 100 % ; es decir, un valor relativo de soporte del 100 % .

Por lo tanto el CBR o Valor Relativo de Soporte de un suelo es la carga unitaria correspondiente a 0.1 pulg ó 0.2 pulg de penetración, expresada en porcentaje de su valor estándar (de la roca triturada).

4.7 Equivalente de Arena

Para tener una idea de éste, recordemos que los suelos se dividen en dos grandes fracciones : la fracción gruesa formada por partículas mayores que la malla No. 200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3 pulg (7.62 cm); y la fracción fina formada por partículas que pasan la malla No. 200.

En ésta clasificación coinciden el Sistema Unificado de Suelos (SUCS), la American Society of Testing Materials (ASTM) y la American Association of State Highway Officials (AASHO), que representa a todos los departamentos de carreteras de los Estados Unidos de Norteamérica; solamente que la AASHO toma como frontera para definir una arena de una grava la malla No. 10 (2.00 mm), no así la ASTM y el SUCS, que su frontera es la malla No. 4 (4.76 mm).

El equivalente de arena es una prueba cuya finalidad es determinar el poder cementante de un suelo fino o de la fracción que pasa la malla No.4 .

Se realiza la prueba con una muestra de suelo humedecida y tamizada a través de la malla No. 4; en un cilindro de dimensiones establecidas y con una solución defloculante.

Se vacía una cierta cantidad de la muestra en el cilindro, se le expulsa el aire atrapado y se deja reposar para posteriormente agitarlo y aplicarle agua mediante un irrigador especial hasta que alcance una cierta altura del cilindro.

Se deja reposar 20 minutos el cilindro para que se asiente el material y las arcillas

en suspensión se estabilicen para después tomar la altura que alcanzan en la parte superior.

Posteriormente se introduce al cilindro un pistón de dimensiones establecidas con un peso aproximado de un kg, depositándolo sobre la arena para después tomar la altura que alcance el nivel superior de la arena.

Finalmente :

$$\text{Equiv. de arena} = \text{Alt. del nivel sup. de la arena} / \text{Alt. del nivel sup. de la arcilla}$$

Se realizan tres pruebas y se obtiene el promedio.

4.8 Riego de Impregnación

Estando totalmente terminada y recibida la capa de base hidráulica se procede a la aplicación del riego de impregnación, para lo cual se requiere tener una superficie totalmente barrida y libre de polvo, pues éste impide riegos asfálticos uniformes.

Si hubiera la presencia de polvo es necesaria la aplicación de una rociada uniforme de agua, evitando encharcamientos; cuando la superficie se opaque y comience a secarse en zonas aisladas es el momento de iniciar el riego.

La función principal del riego de impregnación es la de impermeabilizar la base para proteger la compactación y la de formar una zona de transición o continuidad entre la base y la carpeta.

La sub-base o subrasante también pueden protegerse con un riego de impregnación si hubiese riesgo de lluvias.

Se recomienda que el material pétreo de la base no tenga más del 10 % de partículas que pasen la malla No. 200, así mismo cuando la textura de la capa es muy abierta, disminuye la utilidad del riego aún cuando se agregue mayor cantidad de asfalto.

El riego de impregnación debe quedar totalmente absorbido, evitando se formen láminas superficiales de asfalto.

Para el riego de impregnación de la base hidráulica se deben emplear los asfaltos rebajados de fraguado medio, generalmente el asfalto FM-1, es el más adecuado, llegándose a utilizar en algunas casos el asfalto FM-2 y el FM-0 .

Las normas establecen para el riego de impregnación que al aplicarse el asfalto FM-1 deberá calentarse a una temperatura de 30°C -60°C teniendo cuidado de lograr una penetración de 4 mm aproximadamente y además, que mínimo en un periodo de 24 horas no se continúe con la construcción de la carpeta.

Para obtener la cantidad exacta de asfalto que debe regarse es necesario hacer mosaicos de pruebas en superficies de un metro cuadrado, estos se mantendrán en observación durante un lapso de tres días para saber cuál es la cantidad óptima de asfalto. Pero generalmente la cantidad de asfalto a utilizar varía de 1.0 a 1.5 l/m², cantidades mayores a 1.5 l/m² no reportan ningún beneficio.

4.9 Riego de liga

Se le llama riego de liga a la aplicación asfáltica previa a la colocación de la carpeta asfáltica.

Inicialmente se barre la superficie impregnada, procurando no exista polvo o lodo que impida la adherencia del riego de liga con la impregnación.

Su función también es la de establecer una cierta continuidad entre dos capas; la capa hidráulica y la carpeta asfáltica.

Se utilizará asfalto rebajado de fraguado rápido FR-3, su temperatura al momento del riego será máximo de 60° C-80° C.

Si se utiliza mezcla asfáltica en caliente la cantidad de asfalto necesaria en el riego varía de 0.2 a 0.4 l/m², que es la cantidad mínima que puede ser aplicada con un buen control mediante petrolizadora, el riego de liga se notará escaso (rallado) por no cubrir las espesas toda la franja que a cada una le corresponde.

Un segundo tipo de riego de liga sería aquel que se aplica en una carpeta de riegos, pero este además cumple con otras funciones adicionales, por lo que en forma, un riego de liga es aquél utilizado anterior al tendido de una mezcla asfáltica en caliente.

4.10 Tipos de carpeta asfáltica.

Su función es la de proteger las capas inferiores impermeabilizando la superficie, para que se eviten así posibles infiltraciones del agua de lluvia, que pudieran afectar las capas subyacentes de la carretera.

Debe proporcionar una superficie de rodamiento estable que sea capaz de soportar las cargas generadas por los vehículos automotores y de transmitir estos esfuerzos a las capas inferiores.

La superficie de la carpeta debe ser uniforme, que resista los efectos de la intemperie y la aplicación directa de las cargas; debe tener también una textura y un color tal que evite reflejos del sol durante el día y de las luces artificiales durante el tránsito nocturno.

Existen tres tipos de carpetas asfálticas comúnmente empleadas en la construcción de caminos que son :

- 1.- Mezcla asfáltica en caliente o concreto asfáltico.
- 2.- Carpeta de riegos superficiales.
- 3.- Carpeta de mezcla elaborada en el lugar.

A continuación se explicarán brevemente cada una de ellas.

Carpeta de mezcla asfáltica en caliente

Se define como la combinación uniforme de cemento asfáltico con materiales pétreos previamente calentados. Es necesario su elaboración en planta en la que el asfalto se calienta hasta 140° C y el material pétreo hasta una temperatura de 150° C a 170° C. El agregado que se utiliza generalmente es roca triturada del tipo basalto, andesita, reolita o caliza sanos.

Una mezcla asfáltica en caliente debe poseer ciertas características, de las que podemos mencionar :

Durabilidad.- Debe resistir a la desintegración provocada por el mismo tránsito de vehículos y al intemperismo. La durabilidad mejora utilizando contenidos de asfalto altos y granulometrías densas.

Flexibilidad.- La capacidad de adaptarse a posibles deformaciones y asentamientos que puedan tener la base y, o la sub-base sin agrietarse; esto se logra con contenidos altos de asfalto y granulometrías abiertas.

Resistencia a la fatiga.- Es la capacidad de un pavimento asfáltico de soportar los efectos de aplicación de cargas repetidas por el tránsito de vehículos.

Resistencia al derrapamiento.- Es la capacidad de ofrecer resistencia al deslizamiento de las ruedas de los vehículos principalmente en condiciones húmedas; para lograr esto, se requieren contenidos de asfalto adecuados y agregados rugosos.

Carpeta asfáltica de riegos

Se puede decir que este tipo de carpetas se utilizan en la construcción de un 80 % de la pavimentación de las carreteras y se definen como las que se construyen mediante uno, dos o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos de la misma manera con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y, o cribados.

El procedimiento para una carpeta de tres riegos es el siguiente:

Sobre la base previamente impregnada, se realiza un primer riego de producto asfáltico FR-3, que se cubre con un riego de material pétreo denominado material 1, que es el más grueso y su tamaño varía de 1 pulg - 1/4 pulg (de 25.4 mm a 6.35 mm); mediante una compactadora de rodillo liso, se acomoda el material por medio de tres cubrimientos de la superficie.

Posteriormente se repite la operación, pero ahora utilizando como agregado el material 2, con tamaños de 1/2 pulg - Núm. 8 (de 12.70 mm a 2.38 mm), nuevamente se da un riego de asfalto rebajado FR-3 y ahora se tiende el material 3, que es agregado fino de 3/8 pulg-Núm. 40 (de 9.51 mm a 0.42 mm). después se deja fraguar el producto asfáltico, - que se evaporen los solventes - durante una semana . Finalmente mediante un barrido, ya sea manual ó mecánico se retira el material que no logró adherirse a la estructura.

Para las carpetas de uno o dos riegos se eliminan dos o una capa con sus respectivos riegos.

Si la carpeta es de dos riegos, se elimina el material 1.

Si la carpeta es de un riego se elimina el material 1 y el material 2.

Carpeta asfáltica de mezcla elaborada en el lugar o en frío

Generalmente se utiliza en rehabilitación de pavimentos, se consideran de relativa baja calidad y al material pétreo no se le exige una graduación muy especial.

El nombre de esta carpeta no es el adecuado ya que la mezcla puede ser elaborada en el camino, en plataforma o en planta, además de que el producto asfáltico, en muchos casos debe ser calentado para su manejo, aplicación y mezclado.

Para su elaboración los materiales asfálticos que deberán emplearse en la construcción de este tipo de carpetas serán rebajados de fraguado rápido o medio; o emulsiones de rompimiento medio o lento, la cantidad de asfalto a utilizar será la necesaria para el cubrimiento de las partículas cualquiera que sea su acomodo, de tal forma que queden adheridas entre sí o con la superficie de apoyo, la cual debe tener un ligero riego de liga.

Los materiales asfálticos que deberán emplearse en los riegos de liga serán cementos asfálticos rebajados o emulsiones de rompimiento rápido, del tipo fijado por el proyecto.

4.11 Asfaltos

Durante el primer proceso de separación del crudo de petróleo la mayoría de las refinerías lo separan en cinco productos que son:

- 1.- Gasolina de destilación
- 2.- Keroseno destilado,
- 3.- Diesel-oil
- 4.- Aceite lubricante
- 5.- Material residual pesado.

Del material residual se obtienen los asfaltos usados en los pavimentos flexibles.

El asfalto líquido es un cemento asfáltico licuado mediante la incorporación de un fluidificante, - un destilado de petróleo ligero y volátil -; cuando éste se evapora debido a la exposición e la intemperie, queda únicamente el cemento asfáltico.

Dependiendo del uso del solvente obtendremos los distintos tipos de asfaltos rebajados: de fraguado rápido, fraguado medio o fraguado lento.

Los asfaltos de fraguado rápido, medio y lento se designan por las iniciales FR, FM y FL respectivamente. Estas dos primeras letras designan el tipo de asfalto, y el grado o fluidez se indica por un número que le sigue a las iniciales. Los asfaltos menos viscosos o más fluidos se designan con el número 0; tal como FR-0, FM-0 y FL-0. Los números del 0 al 5 indican progresivamente menos fluidos o de mayor viscosidad conforme crece el número.

Asfaltos de Fraguado Rápido (FR)

Se les llama así, por que se fabrican por mezcla de asfalto con un disolvente de bajo punto de ebullición que se evapora rápidamente después de usarlo, dejando sólo el asfalto; este disolvente puede ser nafta o gasolina.

Asfaltos de Fraguado Medio (FM)

Se fabrican mezclando asfalto con un disolvente de tipo queroseno con punto de ebullición intermedio, que no se evapora tan rápidamente como la gasolina.

Asfaltos de Fraguado Lento (FL)

Son mezclas de asfalto con aceites ligeros de alto punto de ebullición, que se volatilizan de manera lenta.

Ensayos en los asfaltos

Una propiedad de los asfaltos como material de pavimentación es su consistencia, la cual varía desde la de un líquido muy fluido, a la de un cuerpo semisólido.

Para la determinación de la consistencia de un asfalto, se utilizan tres métodos distintos, los cuales son :

- 1.- Viscosidad Furol.
- 2.- Penetración.
- 3.- Ensayo del flotador.

A continuación se explican brevemente cada uno de ellos.

Viscosidad furol.- Es el número de segundos que necesitan 60 cm³ del material para fluir a través de un orificio de tamaño dado y a una temperatura especificada.

Penetración.- Se realiza utilizando una aguja de dimensiones establecidas, cargadas con 100 g, y permitiendo que penetre en el material durante un período de 5 segundos a una temperatura de 25 °C; considerándose ésta como la temperatura ambiente media. La penetración se determina por la profundidad a la que la aguja se hunde en el asfalto, medida en décimas de milímetro.

Ensayo del flotador.- Se coloca el asfalto en un pequeño molde abierto por ambos extremos; se enfría y se une al fondo de un platillo de aluminio, sumergido en un baño de agua a 50° C. El tiempo en segundos que tarda el agua en abrirse paso ante el

tapón de asfalto, es lo que se obtiene como resultado. Este ensayo se utiliza para los asfaltos más viscosos que no pueden analizarse con el ensayo de viscosidad Furol.

Otros ensayos en los asfaltos :

Ductilidad.- Es la distancia medida en centímetros que un trozo de asfalto con determinadas dimensiones puede estirarse sin romperse. La sección transversal mínima de la pieza a ensayar es de 1 cm²; la temperatura a la que se realiza éste ensayo es de 25° C, con una velocidad de separación de los dos extremos de la pieza de 5 cm/min.

Punto de inflamación.- Es la temperatura en la cual, durante el calentamiento arden o inflaman sus vapores al ponerse en contacto con una llama. Se utilizan dos tipos de aparatos para realizar este ensayo: el vaso abierto Tagliabue, para aquellos asfaltos que poseen punto de inflamación relativamente bajo, y para los que tienen punto de inflamación más alto se utiliza el vaso abierto Cleveland.

Este indicador es muy importante ya que permite tomar las precauciones necesarias durante el manejo de los asfalto a la hora de su calentamiento.

Solubilidad.- No es conveniente que el asfalto contenga sal, polvo, carbón o minerales; como éstos no son solubles al sulfuro de carbono, el ensayo se realiza disolviendo una pequeña cantidad de asfalto en sulfuro de carbono o en tetracloruro

de carbono para posteriormente filtrarlo a través de un crisol Gooch, para separar el material insoluble. Este material es pesado y el resultado del ensayo se expresa en porcentaje de asfalto disuelto.

4.12 Emulsiones Asfálticas

Son una combinación de agua, asfalto y un agente emulsificante. El asfalto no se disuelve en agua, por lo que ambos se mantienen en fases separadas; pero, para impedir la unión de las moléculas de asfalto es necesaria la presencia de un agente emulsificante, que se encuentra disuelto en el agua. Se utilizan bases jabonosas especiales como agente emulsificante, además la emulsión puede contener un agente estabilizante (un tipo de proteína) que dificulta aún mas la unión entre las partículas.

Al hacer contacto la emulsión asfáltica con los agregados, la presencia de pequeñas cantidades de sales y las cargas insaturadas de las superficies de los agregados provocan un desequilibrio eléctrico, suficiente para romper el equilibrio de la emulsión .Las partículas de asfalto se unen rápidamente a la superficie de los agregados y el agua libre se evapora. A este tipo de emulsiones se les denomina tipo RR de Rotura Rápida , muy similar a la identificación de los asfaltos rebajados.

Si se utilizan en el agua emulsificante, jabones fabricados previamente con resinas y ácidos grasos, las emulsiones no rompen (separan) en forma rápida, sino que lo hacen debido a la presencia de polvo mineral fino, o por fricción y se denominan emulsiones tipo RM de Rompimiento Medio

Las emulsiones asfálticas mas estables utilizan como agente emulsificante resinas de madera y proteínas animales. El rompimiento o separación de estas emulsiones es relativamente lenta, ya que depende de la evaporación del agua y se denominan tipo RL de Rompimiento Lento.

Ensayos de las emulsiones asfálticas

Demulsibilidad.- Esta prueba se usa para determinar la resistencia relativa a la rotura por contacto con la superficie de los áridos. Se realiza mezclando la emulsión con una cierta cantidad medida de una solución patrón de cloruro de calcio y determinando la proporción de emulsión que se ha descompuesto por recuperación del asfalto precipitado.

Sedimentación.- Esta prueba nos proporciona la información para saber si es posible almacenar con seguridad una emulsión sin que se asiente en el fondo. Se realiza colocando una cantidad medida de emulsión en una probeta dejándola reposar cinco días, pasado éste tiempo se toman dos muestras; una de la superficie y otra del fondo del recipiente, se evapora el agua y se determina el porcentaje de residuo en cada muestra. La diferencia entre los porcentajes de sólidos de ambas muestras se define como sedimentación en cinco días.

Tamizado.- Esta prueba se realiza haciendo pasar una cierta cantidad de emulsión sobre una malla del No. 20 y pesando la cantidad de asfalto que no pasa a través de ésta. Se emplea esta prueba para determinar si una emulsión es o no adecuada para aplicarla mediante distribuidores a presión, así mismo para saber si el asfalto ha sido emulsificado adecuadamente.

**ESPECIFICACIONES ASTM PARA ASFALTOS REBAJADOS
DE FRAGUADO RAPIDO**

ESPECIFICACION	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4	FR-5
• PUNTO DE INFLAMACION (Vaso abierto) ° C	-	-	27+	27+	27+	27+
VISCOSIDAD FUROL						
A 25 ° C	75-150					
A 50 ° C	-	75-150				
A 60 ° C	-	-	100-200	250-500	125-250	300-600
A 82 ° C	-	-	-	-		
PENETRACION 25 ° C, 100 g , 5 seg	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120	80-120

• METODO AASHO

**ESPECIFICACIONES ASTM PARA ASFALTOS REBAJADOS
DE FRAGUADO MEDIO**

ESPECIFICACION	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4	FM-5
• PUNTO DE INFLAMACION (Vaso abierto) ° C	38+	38+	66+	66+	66+	66+
VISCOSIDAD FUROL A 25 ° C	75-150					
A 50 ° C	-	75-150				
A 60 ° C	-	-	100-200	250-500	125-250	300-600
A 82 ° C	-	-	-	-		
PENETRACION 25 ° C, 100 g , 5 seg	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300	120-300

• METODO AASHO

**ESPECIFICACIONES ASTM PARA ASFALTOS REBAJADOS
DE FRAGUADO LENTO**

ESPECIFICACION	FL-0	FL-1	FL-2	FL-3	FL-4	FL-5
PUNTO DE INFLAMACION (Vaso abierto Cleveland) ° C	150+	150+	175+	200+	225+	250+
VISCOSIDAD FUROL						
A 25 ° C	75-150					
A 50 ° C	-	75-150				
A 60 ° C	-	-	100-200	250-500	125-250	300-600
A 82 ° C	-	-	-	-		
Ensayo del flotador sobre el residuo a 50 ° C	15-100	20-100	25-100	50-125	60-150	75-200
Residuo de penetración 100, %	40+	50+	60+	70+	75+	80+

ESPECIFICACIONES ASTM PARA EMULSIONES ASFALTICAS

ESPECIFICACION	ROTURA RAPIDA		ROTURA MEDIA	ROTURA LENTA
	RR-1	RR-2	RM-2	RL-1
VISCOSIDAD SAYBOLT-FURUOL A 25 ° C A 50 ° C	20-100 -	- 75-400	100+ -	20-100 -
TAMIZADO (% RET. Malla No 20)	0.10-	0.10-	0.10-	0.10-
PENETRACION A 25 ° C , 100 g. 5 seg	100-200	100-200	100-200	100-200

capítulo 5

rehabilitación de pavimentos flexibles

CAPITULO V

REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La rehabilitación de un pavimento flexible consiste en la restauración de su estructura, de tal manera que se obtenga una condición satisfactoria, para que siga cumpliendo su objetivo inicial, que es el de proporcionar un transporte de bienes, servicios o personas, de una manera cómoda, segura y económica.

La rehabilitación de la estructura de un pavimento abarca distintas técnicas para tratarla con los materiales existentes, con el objeto de colocar sobrecarpetas que proporcionen ciertas cualidades como son :

Restauración de las condiciones de rodamiento para los tráficos que las circulan.

Restauración de las condiciones antiderrapantes de la superficie.

Aumento de la capacidad estructural del pavimento para futuras condiciones de tránsito.

Si la decisión es un sobreencarpetamiento de un espesor reducido únicamente obtendríamos mejoras, tanto en condiciones de rodamiento como en condiciones antiderrapantes, pero en cambio si se opta por un análisis más profundo se puede decidir por una sobrecarpeta de mayor espesor con la que se logre un aumento en la capacidad estructural del pavimento para que así sea capaz de soportar mayores VPDA (Volumen Promedio Diario de Automóviles).

Por lo tanto las razones fundamentales para decidir por una rehabilitación de un pavimento flexible es el corregir las condiciones de deterioro de la estructura del pavimento, así como prevenir deterioros a futuro de éste.

Se deduce entonces la necesidad de definir de manera completa y eficaz en campo, las causas que originaron e intervinieron en el deterioro de los pavimentos, con el único propósito de prevenirlos o corregirlos.

Para generar y plantear un criterio de rehabilitación deben considerarse todas aquellas situaciones que hagan que el servicio de un pavimento flexible no sea satisfactorio; pero no debemos olvidar que si hablamos de carreteras de gran edad, éstas fueron construidas por las necesidades que imperaban en aquellas épocas, recordando que en México la mayoría de las carreteras tienen más de cuarenta años. Y sus características geométricas no corresponden ya a los vehículos que las transitan ahora.

Debemos analizar las principales normas de criterio que rigen para decidir la rehabilitación de un pavimento flexible, las cuales son :

- 1.- Condición de servicio.
- 2.- Condición estructural.
- 3.- Condición de la superficie de rodamiento.

Las que se describen a continuación.

5.1 Condición de servicio.

La condición o capacidad de servicio que presenta un pavimento al tránsito de vehículos depende totalmente de la apreciación personal de los usuarios.

La capacidad o condición de servicio inicial de un pavimento es variable a lo largo de su vida útil con tendencia a decrecer debido a la acción misma del tránsito vehicular, además de la acción destructiva que sufre debido a los agentes del intemperismo, aunados a estos la calidad del procedimiento de construcción con la que se realizó.

Y aunque como se dijo, el concepto de servicio de un pavimento depende exclusivamente de los usuarios; es decir, es de carácter subjetivo y por lo tanto no es medible, sí depende de las características físicas que presenta un pavimento, como son: la carencia de uniformidad en su superficie, cantidad y dimensiones de los agrietamientos, presencia de baches, etc., que sí pueden ser medibles.

La capacidad de servicio de un pavimento se determina mediante el Índice de Servicio, mismo que fue desarrollado durante las pruebas de la Carretera Experimental AASHO en Illinois, E.U.A. con personas, que por su profesión o actividad estaban interesados en que la carretera proporcionara un buen servicio; la cual consiste en otorgar una calificación a la condición superficial del pavimento.

La escala de calificación es la siguiente:

condiciones pésimas	0-1
condiciones malas	1-2
condiciones regulares	2-3
condiciones buenas	3-4
condiciones muy buenas	4-5

De esta manera se puede obtener el valor del servicio actual, como el promedio de las diversas opiniones de un grupo de usuarios que transiten en un mismo vehículo.

Esta sería una forma de evaluar de manera cualitativa la capacidad de servicio de un pavimento flexible, denominado **Apreciación del Servicio Actual (A.S.A.)** como ya vimos, pero también se puede valorar por métodos cuantitativos con ayuda de algunos instrumentos mecánicos para medir así las condiciones de la superficie de rodamiento.

Con la ayuda de un perfilómetro; - que sirve para obtener la varianza de la pendiente longitudinal del camino - calculando por regresión estadística, podemos obtener el llamado **Índice de Servicio Actual (I.S.A.)** utilizando para pavimentos flexibles la siguiente fórmula :

$$ISA = 5.03 - 1.80 \log (1 + \overline{sv}) - 1.38 RD^2 - 0.01 \sqrt{G+B}$$

Donde :

ISA : Índice de Servicio Actual.

\bar{s}_v : Varianza media de la pendiente en las dos rodadas de cada carril obtenido con el perfilómetro longitudinal AASHO o mediante el perfilómetro C.H.L.O.E.

RD : Promedio de las deformaciones permanentes en las rodadas.

(G+B) : Areas agrietadas o con baches expresadas en porcentaje de la sección considerada respecto al total.

Se ha observado que los resultados que se obtienen mediante ambos procedimientos son muy parecidos, por lo tanto igualmente válidos.

Se sugiere que el valor mínimo para el cual debe ya considerarse la rehabilitación de un pavimento flexible es de 2.5 a 3.0 .

6.2 Condición estructural

Es la capacidad que posee un pavimento para soportar adecuadamente las cargas de tránsito y seguirlo haciendo durante el transcurso de su vida útil.

El comportamiento a largo plazo del pavimento dependerá del equilibrio existente entre la resistencia proporcionada a su estructura y los efectos destructivos colaterales del tránsito y de los agentes ambientales a que está expuesto.

Toda estructura sujeta a ciclos repetitivos de carga y descarga experimenta en un lapso relativamente corto la falla por fatiga y en los pavimentos éste efecto se manifiesta con la aparición de un agrietamiento tipo poliédrico comúnmente llamado "piel de cocodrilo".

Debido a esto podemos obtener el valor de la deflexión que experimenta un camino por efecto de las cargas circulantes que nos permita definir un criterio de análisis por fatiga, para así decidir por una reestructuración del pavimento capaz de resistir sin falla los efectos de esas cargas cíclicas a que estará sometida durante toda su vida de diseño.

Entendiéndose por deflexión la medida de la deformación no permanente que experimenta un pavimento cuando se le somete a la aplicación de cargas repetitivas.

Se pueden obtener las deflexiones de un pavimento flexible por diferentes procedimientos, bajo carga estática o dinámica.

Los aparatos más utilizados para medir las deflexiones bajo carga estática son :

- 1.- Viga Benkelman
- 2.- Deflectómetro móvil

Para medir las deflexiones bajo carga dinámica, se utilizan el deflectómetro Dynaflect Lane-Wells.

A continuación se explican brevemente cada uno de ellos.

Viga Benkelman

Esta formada de dos partes; una viga de referencia que se apoya directamente sobre el pavimento en tres puntos. Tiene un pivote en uno de sus extremos. La segunda parte es la viga de prueba que está apoyada en el pivote de la viga de referencia y en el extremo frontal mediante un detector apoyado directamente sobre el pavimento .

El extremo opuesto al detector acciona un micrómetro, cuando aquél presenta un movimiento vertical o deflexión, que es producido por la acción de una carga en ese punto del pavimento.

La relación de distancias del detector al pivote y del pivote al micrómetro varía de 2 a 4, por lo que las lecturas de las deformaciones en el micrómetro deberán

multiplicarse por esa relación para obtener las deflexiones reales que presenta el pavimento. Las lecturas se toman al milésimo de pulgada.

Se utiliza en la prueba como carga, la producida por el eje de un camión que transmite 6.82 ton a través de un sistema de llantas en dual, infladas a una presión de 4.92 Kg/cm².

Deflectómetro móvil

El funcionamiento de este instrumento se basa en el mismo principio de la viga Benkelman; mide automáticamente las deflexiones.

El deflectómetro consiste en una unidad montada en un remolque autopulsado que transmite una carga de prueba de 6.82 ton por eje simple de manera idéntica a la prueba de la viga Benkelman.

Por ser el deflectómetro móvil un instrumento electromecánico, las mediciones de las deflexiones se obtienen simultáneamente en ambas rodadas de manera continua a intervalos de 6 metros aproximadamente, en tanto el vehículo se mueve a una velocidad de 800 m/h. Las mediciones de las deflexiones se registran en un graficador electrónico y se miden al milésimo de pulgada también; mediante una viga de prueba que va apoyada directamente sobre la superficie del pavimento.

Deflectómetro Dynaflect Lane-Wells

El funcionamiento del deflectómetro se basa en el método geofísico que involucra el conocimiento de las propiedades de las rocas y de los suelos, a partir del estudio de propagación de las ondas elásticas provocadas por un excitador de vibraciones, donde la perturbación se registra en diferentes puntos en que se han colocado ciertos sensores.

El deflectómetro Dynaflect Lane-Wells es un sistema electromecánico que mide las deflexiones en forma dinámica de la superficie del camino, producidas por una carga oscilatoria. Las mediciones son independientes de una superficie fija de referencia.

El dispositivo consta de un generador de fuerza dinámica, conectado a un conjunto de cinco geófonos, colocados en línea sobre una viga, que sirven para medir los movimientos producidos por la carga oscilatoria a varias distancias. El Dynaflect va colocado en un pequeño remolque que registra las deflexiones dinámicas a control remoto hasta la cabina del vehículo de tracción. El Dynaflect ejerce en posición de medición una carga oscilatoria de 454 kg a la superficie del pavimento a través de dos ruedas de acero cubiertas de hule.

Las deflexiones resultantes son tomadas por los geófonos y sus lecturas registradas en el medidor electrónico ubicado en la cabina del vehículo.

Ahora bien, la evaluación de la capacidad estructural del pavimento mediante cualquiera de estos dispositivos nos va a dar el grado de deterioro de éste, pero

también es importante hacer un estudio o análisis de las distintas capas que forman la estructura del pavimento, que nos puede ayudar en gran forma a la hora de tomar la decisión del tipo de rehabilitación a ejecutar.

5.3 Condición de la superficie de rodamiento

Es muy importante analizar las causas del deterioro en la superficie de rodamiento, pues no siempre el aspecto de ésta es causa de una falta de capacidad estructural, ya que en el momento de resolver esos pequeños deterioros, como puede ser un calafateo de grietas, no aumenta en nada esa capacidad que ya poseía, por ello es de gran importancia un levantamiento tan detallado como sea posible, de las condiciones de servicio a que esta sujeta la carretera, pudiendo darse el caso que esos deterioros sean provocados por un inadecuado funcionamiento del drenaje y aquí es donde hay que analizar si éstas cumplen satisfactoriamente sus funciones, para evitar la generación de daños mayores.

6.4 Métodos para la obtención de espesores de refuerzo

Después de haber analizado los criterios anteriores y que se ha decidido como rehabilitación, el refuerzo del pavimento; se procede a determinar el espesor de éste.

Estos métodos para cálculo de espesores de refuerzo, utilizan las deflexiones medidas en la superficie del pavimento obtenidas mediante viga Benkelman , pero si se utilizara algún otro método en su cálculo, lo único que se hará es transformar por medio de correlaciones existentes a deflexiones tipo Benkelman.

Método de California.

Este método fue desarrollado en base a la observación del comportamiento de pavimentos reforzados y su idea principal es el de establecer un límite máximo de deflexión que se le permita a la estructura de un pavimento, como una medida de su capacidad estructural. Donde éste límite es una función del espesor de la carpeta asfáltica de rodamiento y del número de aplicaciones de una carga por rueda de 2.3 toneladas que el pavimento ha de soportar.

Mediante el auxilio de una gráfica podemos determinar el nivel de deflexión permisible en la superficie del pavimento. De la gráfica, el eje de las abscisas corresponde al número de repeticiones de una carga por rueda de 2270 kg y el eje de las ordenadas nos proporciona el nivel de deflexión permisible; donde se observa

que el límite máximo de deflexión permisible es de 40 milésimos de pulgada (0.040 pulg).

Se procede de la siguiente manera:

1.- Con ayuda de la gráfica mencionada anteriormente y habiendo hecho el análisis de tránsito para obtener el número de ruedas de carga equivalentes a 2270 kg, se calcula la deflexión permisible tipo Benkelman.

2.- Posteriormente se miden las deflexiones reales tipo Benkelman que tiene el pavimento.

3.- Teniendo ya las deflexiones reales del pavimento en estudio se debe determinar de manera estadística, el valor tal, que un 20 % de las deflexiones medidas resulte mayor y que el 80 % restante sea menor. Esta deflexión estadística se representa por un δ_{80} que se denomina 80 percentil.

4.- Obtenido el valor del 80 percentil, se compara con el valor de la deflexión máxima permisible. Si el valor del 80 percentil es menor que la deflexión tolerable, el método de California considera que no es necesario un refuerzo del pavimento, pero si el valor del 80 percentil es mayor que la deflexión tolerable, se concluye que se requiere un refuerzo en el pavimento y para obtener el espesor de éste se le aplica un porcentaje de reducción al δ_{80} mediante la siguiente fórmula:

$$R\delta = \frac{\delta_{80} - \delta_{perm}}{\delta_{80}} \times 100$$

5.- Finalmente con éste valor reducido, R_d y mediante el auxilio de otra gráfica se obtienen los espesores de grava equivalente que se requieren como refuerzo del pavimento y mediante una tabla de correlación, con la ayuda de unos coeficientes se traduce a espesores de concreto asfáltico.

El método de California recomienda la revisión de los resultados anteriores y nos dice que con el espesor de grava equivalente obtenido mediante el método; y transformando a espesor de carpeta se deberá calcular nuevamente el nivel tolerable de deflexión, para poderlo comparar con el valor real de ésta. Debe resultar que el nivel de deflexión permisible sea mayor que la deflexión real, en caso contrario habría que realizar un segundo tanteo.

Método del Instituto de Asfalto.

Este método también se basa en la asignación de un límite de deflexión de la estructura del pavimento, el cual es función del número de aplicaciones de carga e intensidad de éstas, a las que estará sujeto el pavimento.

Inicialmente se determina el número de tránsito para diseño, posteriormente se obtiene el valor de las deflexiones mediante viga Benkelman bajo una carga de 4,100 kg en un sistema dual de llantas (8,200 kg por eje del vehículo). Se puede utilizar otro método para obtener las deflexiones y también mediante correlaciones transformar a viga Benkelman.

El número de puntos estudiados no será menor de 15 por cada km o 10 en cada sección de prueba; éstos puntos en estudio deberán ser distribuidos aleatoriamente.

De los valores de la deflexión obtenidos, se calcula la media aritmética; así como la desviación estándar por cada tramo o sección en estudio y se aplica la siguiente ecuación:

$$d_0 = (\bar{x} + 2 s) f_0$$

Donde :

δ_c = Deflexión característica

\bar{x} = Media aritmética de los valores de la deflexión del tramo en estudio

s = Desviación estándar de esos valores

f = Factor gráfico de ajuste por temperatura

c = Factor de ajuste que varía con el período del año en el cual se hacen las mediciones ($c = 1$ para el período que represente las condiciones más críticas del pavimento)

Teniendo ya el valor de la deflexión característica y el número de tránsito para diseño se auxilia de una gráfica para obtener el espesor del concreto asfáltico que se necesita para reforzar al pavimento.

Con el auxilio de la deflexión característica de un camino y su tasa de crecimiento anual de tránsito es posible formular un criterio mediante el cual se puede estimar el tiempo en el que un pavimento en buen estado puede requerir un refuerzo.

Con el auxilio de una gráfica en la que, utilizando como dato la deflexión característica se obtiene el número de tránsito para diseño más alto que pueda soportar un camino que no requiere reparación. Este número obtenido gráficamente se compara con el número de tránsito para diseño real que tiene el camino en estudio; si éste número es menor que el obtenido gráficamente no requerirá refuerzo alguno, pero conociendo su tasa de crecimiento anual de tránsito es posible estimar

en que período de tiempo será necesaria su rehabilitación. Si el resultado de la comparación es todo lo contrario, el camino en estudio ya requiere una rehabilitación.

5.5 Procedimientos de construcción

En esta parte se indican de manera breve la forma en que se llevan a cabo la reparación de ciertos deterioros que se presentan de manera relativamente frecuente y donde estos no requieren un tratamiento mayor, tal es el caso de la reparación de los acotamientos de manera general; reparación de baches en tanto no excedan del 5 % sobre el área total en tramos aproximados de 100 m, reparación de grietas en zonas aisladas que presenten signos de inestabilidad o reparación de grietas en pequeñas áreas que presenten una abertura aproximada de 3 mm.

Reparación de acotamientos

1.- Como maniobra inicial es necesario hacer una limpieza general de los acotamientos para que estos se encuentren libres de hierba, polvo, etc.

Posteriormente se procederá a la reparación de los deterioros existentes como lo son las grietas o baches, que posteriormente se explicarán.

En caso contrario se recortará el chaflán existente entre el acotamiento y el encarpetao, dejando en la zona a reparar una superficie vertical.

Después, ya sea con maquinaria o en forma manual se realiza un picado de la superficie, con un alejamiento entre uno y otro no mayor a 30 cm.

Por último se barre toda la superficie para eliminar todos los residuos del picado y para tener una zona de trabajo libre de polvo para asegurar una buena adherencia para los materiales asfálticos a utilizar.

2.- Ya teniendo la superficie preparada continuaremos con un riego de liga mediante una petrolizadora que tirará el producto asfáltico por aspersión. Normalmente se utiliza emulsión asfáltica de rompimiento rápido tipo RR-1, diluida con agua al 50 % utilizando una proporción de 1 Lt/m² ya diluido.

La emulsión asfáltica debe cumplir con las especificaciones señaladas en un capítulo anterior.

La misma operación debe realizarse en la superficie vertical que se obtuvo, al hacer el recorte del chafán en la carpeta.

3.- Se procede a reforzar los acotamientos colocando concreto asfáltico en capas no mayores siete cm ya compactados.

Reparación de baches

Inicialmente se procede a eliminar el material que se encuentra en malas condiciones, esto se logra abriendo una caja de forma rectangular cuya dimensión abarque aparte de la zona dañada mínimo 30 cm de más. Además es necesario que tenga mínimo dos lados perpendiculares al eje del camino, además de que sus caras sean perfectamente verticales. Si la zona donde se encuentra el bache no rebasa el espesor de carpeta se procurará no afectar las capas inferiores a aquella; en caso contrario será necesario que la caja de excavación tenga una profundidad mínima de diez centímetros dentro del material que se encuentra en buenas condiciones.

Si se trata de baches profundos, las dimensiones de la excavación deberán tener un ancho mínimo de 60 centímetros o una dimensión, tal que su lado menor sea de al menos el doble del ancho del pisón o una vez y media el ancho del rodillo ligero a utilizar, para que se obtengan las condiciones apropiadas de trabajo y se pueda colocar y compactar de manera correcta el relleno.

El material producto de excavación será desechado o retirado a una distancia mínima de cinco metros de los hombros de la carretera.

En caso de que sean afectadas las capas inferiores de la carpeta asfáltica como la base o sub-base, será necesario compactar la superficie descubierta hasta lograr un 90 % de su peso volumétrico seco en los quince centímetros como mínimo de esa capa.

Posteriormente se aplicará un riego de liga en las paredes verticales de la caja utilizando una emulsión asfáltica de rompimiento lento de tipo RL-1, con una proporción de 1 lt/m² aproximadamente.

Si la profundidad de la caja resulta de cinco a diez centímetros se aplicará también un riego de liga con emulsión asfáltica tipo RL-1 diluida al 50 % con agua, en proporción de 1 Lt/m² aproximadamente.

El siguiente paso será el de rellenar la caja con concreto asfáltico que cumpla con las características y especificaciones dadas, compactando en capas no mayores de siete cm. La capa última se dejará ligeramente arriba de la superficie de rodamiento aproximadamente en un 20 % para que al compactarla quede al mismo nivel.

Por último se verificará con una regla el alineamiento del parche ejecutado; esto es muy importante ya que si no se realiza de manera correcta, resolveríamos el problema del bache pero estaríamos generando otro que sería la creación de bordes o irregularidades que mostrarán la mala calidad de los trabajos ejecutados, así como el no mejorar en mucho la superficie de rodamiento.

Reparación de grietas

Se le llama también calafateo de grietas, éstas son tratadas o rellenas con mortero asfáltico. Cuando son grietas aisladas, éstas antes de rellenarse deben limpiarse con cepillo de cerdas duras y si es posible con aire comprimido; por ningún motivo se ampliará la abertura de las grietas y ya que estén perfectamente limpias se rellenarán con mortero asfáltico, hasta enrasar las grietas, procurando no tirar más material del necesario.

Grietas polidómicas (piel de cocodrilo)

Se delimita la zona afectada mediante una ranura a 30 cm mínimo del área afectada, obteniendo áreas rectangulares, con dos de sus lados perpendiculares al eje del camino. A continuación se procede a limpiar las grietas con cepillo o si es posible con aire comprimido para después verter mortero asfáltico y rellenar las grietas. Se compacta el área tratada de preferencia con equipo vibratorio.

Posteriormente se aplica un riego de liga en toda la superficie a tratar mediante una emulsión asfáltica del tipo RL-1, diluida al 50 % en una proporción de 1 l/m² aproximadamente.

Si es necesario se puede renivelar el área agrietada con concreto asfáltico, utilizando una rastreadora para eliminar los agregados que sobresalgan del nivel requerido; para finalmente compactar el parche con equipo vibratorio manual o rodillo liso.

Sobrecarpeta de concreto asfáltico

Será necesario el tendido de una sobrecarpeta en el caso en que la superficie de rodamiento se encuentre en condiciones aceptables y se requiera de un aumento en su capacidad estructural para atender mayores volúmenes de tránsito los cuales, para los que fue construida la carretera originalmente fueron ya rebasados.

Para un caso supuesto se procederá de la manera siguiente: Se renivelará uno de los acotamientos con concreto asfáltico; puede ser el correspondiente al carril de alta velocidad y se ejecutan los trabajos necesarios de reparación de baches y grietas como ya se explicó anteriormente.

Se canaliza el tránsito por el carril de alta velocidad y por su acotamiento ya renivelado; posteriormente se escarifica la actual carpeta del carril de baja velocidad junto con su acotamiento, hasta la profundidad necesaria que nos indique el proyecto; quedará una superficie vertical en el tramo por tratar del carril de alta velocidad. El material producto de la escarificación deberá desecharse y ser alejado mínimo a una distancia de cinco metros de los hombros de la carretera.

De la zona escarificada que presente áreas con deterioros deberán bachearse tal como se explicó anteriormente.

Si el área descubierta alcanzó la base hidráulica se compactarán los quince centímetros inmediatos de ésta capa como mínimo, debiendo alcanzar un grado de compactación del 95 % respecto a su peso volumétrico seco máximo.

Estando ejecutado lo anterior se dará un riego de impregnación mediante un asfalto rebajado tipo FM-1 en proporción de 1.2 l/m² aproximadamente sobre la base hidráulica, estando totalmente seca y barrida la superficie.

Posteriormente, habiéndose evaporado los solventes del riego de impregnación se continúa con riego de liga, utilizando una emulsión asfáltica tipo RL-1, diluida con agua al 50 % en una proporción aproximada de 1 l/m².

Después de realizado lo anterior se procede a renivelar el carril tratado, utilizando concreto asfáltico. Después de ejecutado esto se continúa de la misma manera para realizar el carril restante.

No olvidemos que la mezcla asfáltica deberá tenderse en capas no mayores de siete centímetros ya compactados.

Mortero asfáltico

Se explican a continuación los materiales que integran la mezcla asfáltica que se utilizará en el sellado de grietas de la superficie del pavimento.

Los agregados pétreos a utilizar deben cumplir con las siguientes características granulométricas:

Que el 100 % de las partículas pasen la malla No. 8 (2.38 mm), y que del 10 % al 20 % máximo pase la malla No 200 (0.074 mm).

Se utilizará emulsión asfáltica de rompimiento lento tipo RL-1, que cumpla con las características ya mencionadas.

Se usará en la elaboración de la mezcla una cantidad aproximada de 25 lt de emulsión asfáltica por cada 100 kg de material pétreo seco. La cantidad de agua que proporcionará la consistencia adecuada será de aproximadamente el 15 % del peso seco del material; donde ésta cantidad en porcentaje ya incluye el agua que contiene la emulsión y los agregados.

Se logrará la consistencia adecuada en tanto se agreguen los materiales a baja velocidad y de manera uniforme, con el fin de evitar que se formen grumos.

Deberá evitarse el rompimiento prematuro de la emulsión durante el mezclado y esto se puede lograr utilizando una mayor cantidad de agua.

Riego de sello

Se utilizará la aplicación de un riego de sello en aquellos casos en que se desee proporcionar rugosidad a la superficie de rodamiento o también con el fin de impermeabilizarla. El producto asfáltico a utilizar para obtener la mezcla será una emulsión asfáltica de rompimiento rápido tipo RR-1 en una proporción aproximada de 1.7 l/m², y la emulsión asfáltica deberá cumplir con las especificaciones ya señaladas.

capítulo 6

conclusiones

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha intentado dar un conocimiento de manera general, de lo que es un pavimento flexible. Analizándolo como parte estructural de una carretera. Mencionando la necesidad de una mejor atención a la infraestructura carretera como parte importante de la economía del país.

Al variar las condiciones de proyecto, tal como un aumento en la capacidad de los autotransportes de carga, un aumento en los volúmenes de tránsito o sencillamente por el transcurso de la vida útil de proyecto, se considera necesaria desde una modificación a la superficie de rodamiento para responder a las nuevas solicitudes, hasta un tratamiento mayor conocido como rehabilitación de un pavimento flexible. Donde éste responde a la necesidad del usuario a un sistema de transporte eficiente, seguro y cómodo.

La rehabilitación de un pavimento flexible generalmente se da en el caso que sea necesaria la ampliación de la sección de una carretera, la modificación de sus curvaturas y pendientes o un aumento en el número de carriles de ésta. Esto corresponde principalmente a que la mayoría de las carreteras tienen gran edad; donde el 60 % del total de carreteras tiene una antigüedad de 40 años y por lo tanto

sus características geométricas no corresponden ya a las de los vehículos que las transitan aunado a una falta de mantenimiento adecuado.

A grandes rasgos se mostraron algunos procedimientos constructivos que se llevan a cabo en la rehabilitación de un pavimento flexible.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

BIBLIOGRAFIA

Valle Rodas, Raúl

Carreteras, Calles y Aeropistas

Edit. El Ateneo

Argentina, 1980

Martin J. Rogers y Hugh A. Wallace

Pavimentos Asfálticos

Edit. Aguilar

España, 1963

Yoder, E. J.

Pavimentos Rígidos y Flexibles

Apuntes Fac. de Ingeniería

Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Normas Para Construcción e Instalación

Libro 3. Carreteras y Aeropistas

México , 1983

Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Estadísticas Básicas, Transporte Carretero
México, 1989

Crespo Villalaz, Carlos
Vías de Comunicación
Edit. Limusa
México, 1982

Frías Aldaraca, Rubén
Conservación y Reconstrucción de Carreteras con Pavimentos Flexibles
ENEP Aragón, 1982