

41121
29

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
CAMPUS ARAGON**

**“EVALUACION DE LOS PRINCIPALES
FACTORES QUE DETERMINAN EL
DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS
PARA SU RECOMENDACIÓN
GEOTECNICA FINAL”**

**T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A :
FERNANDO REYNA GARCIA
LUIS GABRIEL TORRES GUTIERREZ**

**ASESOR:
ING. JOSE MARIO AVALOS HERNANDEZ**

MEXICO 2003

2



Universidad Nacional
Autónoma de México



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).

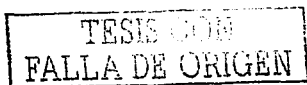
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres, por la paciencia y los esfuerzos que tuvieron que realizar para que pudiese culminar mis estudios, y el estar conmigo desde el momento que comenzó esta etapa de mi vida hasta el final de mis estudios, por los consejos oportunos que hicieron que las cosas se vieran más claras y así poder seguir adelante y enderezar el camino en los momentos difíciles de mi vida estudiantil.

A mis maestros, compañeros y amigos que afortunadamente fueron muchos los que encontré durante esta etapa que ahora se ve concluida. En especial a Karina por sus consejos y motivación para ver realizado este proyecto y así hacer más fácil alcanzar el objetivo. Con mucho cariño dedico este agradecimiento a Manolo y a Luz Elena por estar conmigo en momentos importantes y difíciles.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que abrió sus puertas para mí y me convirtió en la persona que ahora soy, a través de la enseñanza inculco en mí distintas aficiones entre ellas el gusto por las artes y sobre todo por la carrera que decidí estudiar y me ha permitido conocer personas y conocimientos de gran valor en el aspecto laboral.



***En memoria de mi padre,
a quien siempre admire y respete
por motivarme en mis estudios,
y por darme la oportunidad
de formarme como profesionista
le dedico este trabajo.***

***A mi madre a quien admiro y
respeto por ser la persona
quien me dio la vida, y la
cual me ha ayudado en los
momentos más difíciles de mi
vida, y que también ha sido
una gran influencia en la
culminación de mis estudios, a ella le
dedico este logro. Por todo eso
"GRACIAS"***

***A la Universidad Autónoma de México y
A la ENEP Aragón. Por abrirme
sus puertas para que llegara el
tiempo en que de sus manos me
me convirtiera en un profesionista
y pudiera abrirme camino en la sociedad.***

Reyna García Fernando

4

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**EVALUACIÓN DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE
DETERMINAN EL DETERIORO DE LOS PAVIMENTOS PARA SU
RECOMENDACIÓN GEOTÉCNICA FINAL.**

• INTRODUCCIÓN	6
• CAPITULO I. Estructuración de los pavimentos.	9
• CAPITULO II. Factores que influyen en el deterioro de los pavimentos.	47
• CAPITULO III. Tendencia y cualidades de los pavimentos.	115
• CAPITULO IV. Prevención al deterioro de los pavimentos.	130
• CAPITULO V. Recomendación Geotécnica final.	149
• CONCLUSIONES	164
• BIBLIOGRAFIA	166

INTRODUCCION.

Desde tiempos inmemorables se ha utilizado el petróleo como combustible, lubricante e impermeabilizante.

Uno de los derivados de este recurso natural llamado "oro negro" que sin duda ha contribuido enormemente a la industria de la construcción, es el asfalto.

A través de los tiempos, el asfalto y sus mezclas han ido modificándose.

Desde las referencias a los afloramientos de los asfaltos en el mar muerto y de su utilización en la india como impermeabilizante de los muros en el almacenamiento del agua; ya hace 4000 años se reporta su uso en impermeabilizaciones y regado en caminos. El asfalto y su utilización han sido parte de la historia.

En México se ha utilizado en forma sistemática desde principios de siglo y con el paso de los años, sus aplicaciones se han diversificado, ya que contamos con mayor tecnología y sabemos más del adecuado uso de este material. Así, el asfalto se ha convertido en un material indispensable, principalmente por el desarrollo vial.

Las consideraciones generales, relativas a los impactos ambientales que puedan generarse durante la operación de la planta productora de asfalto, entendiéndose a este producto como la mezcla de sus componentes básicos, el hidrocarburo y el agregado pétreo, se refieren a impactos en el medio físico y biótico.

Así mismo, la magnitud, de los impactos dependerá de las características particulares de una planta específica, así como de las medidas de mitigación que se implanten en cada una de ellas. Se trata pues de una descripción genérica de estos impactos que podrán aplicarse a cada uno en particular.

- Aire.
- Olor y ruido.
- Agua.
- Suelo.

Por otro lado, se puede decir, que en la Ciudad de México se utiliza el asfalto AC-20, para la producción de mezcla asfáltica ya que es el más óptimo para las necesidades de esta Ciudad, conforme a clima y tipo de suelo.

Actualmente en la Planta de Asfalto del Gobierno del Distrito Federal se utilizo este producto para la fabricación de la mezcla asfáltica, en ella se implementan medidas de atención para un menor impacto ambiental, como la adquisición de una planta nueva a finales de este año, 100% ecológica y hasta un 50% reciclable. Así mismo, el medio ambiente es uno de los principales causantes del deterioro de la carpeta asfáltica. En México, la lluvia tiene un efecto de desgranamiento, el aire las erosiona, el cambio de temperatura en el clima también es un factor importante para el deterioro en la carpeta asfáltica.

Es por ello que en esta tesis se podrán consultar las diferentes causas que ocasionan estos agrietamientos que van provocando el deterioro de la carpeta asfáltica. así mismo, se darán algunas soluciones y recomendaciones para el mejor uso de este material tan importante en las vías de comunicación.

Esta tesis consta de cinco capítulos, en la cual en el Capítulo I se analizará la Estructuración de los pavimentos, que se relacionan con las características estructurales de los materiales empleados en las diferentes capas de los pavimentos, en particular con las propiedades mecánicas y los espesores de estas capas.

Un análisis mecánico da una idea de los efectos de las cargas del tránsito, en cuanto a estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones. Si se conocen las leyes de fatiga de los materiales por otra parte, es posible estimar el número de aplicaciones de cargas que pueden soportar las distintas capas o su durabilidad y por lo tanto la del pavimento en su conjunto.

Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes tipos de 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.

Estas capas en pavimentos asfálticos o flexibles son las siguientes:

- Subrasante
- Subbase
- Base
- Carpeta.

En pavimentos de concreto o rígidos:

- Subbase
- Losa de concreto hidráulico.

Los cuales se verán y desglosaran en el capítulo mencionado.

Para nuestro capítulo II hemos de observar los factores que influyen en el deterioro de los pavimentos, como pueden ser el clima, humedad, cargas aplicadas a este, etc. Se dará una breve explicación de los diferentes deterioros (grietas) que aparecen en el pavimento asfáltico e hidráulico. por ser un campo tan extenso solamente hablaremos de estos dos temas, ya que no podríamos cubrir el tema completo en una sola tesis.

En el capítulo III nos referimos a la tendencia y cualidades de los pavimentos, los cuales tienen un alto grado de aceptación en el mercado y por ende se enfrenta a grandes retos, debido a que se presentan nuevas condiciones y necesidades derivadas por las características impuestas por los escenarios sociales, económicos y tecnológicos en que se desarrolla la vida moderna.

Lo que se busca en el mercado internacional es que los asfaltos incrementen sus características generales, principalmente las elásticas.

Los materiales juegan un aspecto importante en el desarrollo de los pavimentos debido a que se debe de sujetar a mejores controles y estándares de calidad, requiriéndose de la aplicación de los conceptos de calidad total y aseguramiento de la calidad.

Por otro lado los pavimentos deben de cubrir con cierto tipo de cualidades para su funcionalidad óptima, como son la seguridad, rigidez, durabilidad, economía, rugosidad, flexibilidad y comodidad.

Para la prevención del deterioro de los pavimentos se analizarán los factores que influyen en el mismo ya que estos corresponden fundamentalmente a las condiciones ambientales, de tránsito y de capacidad estructural de las capas.

Algunas características a la prevención del deterioro de los pavimentos se verán en el capítulo IV, como son: las características de los materiales, prevención a la fatiga, factores que afectan la adhesividad, asfaltos modificados, dosificación o nivel de uso, etc.

Los factores a considerar en el proyecto son principalmente una optimización desde el punto de vista de la resistencia y funcionalidad de la estructura. Debe de integrarse para nuestros fines ya que una buena estructura de pavimentos constituye funcionalidad a la superficie de rodamiento y así llegar a su recomendación geotécnica final en el proyecto, construcción y la conservación de los pavimentos. Conviene incluir estudios complementarios como se mencionara en el capítulo V.

CAPITULO I

Estructuración de los pavimentos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ASPECTOS CONCEPTUALES

De acuerdo con la concepción actual de los pavimentos, puede definirse como un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas, reaccionando en forma de respuestas cuando es activado por funciones de excitación. Las leyes físicas consideradas indicaran la forma en que se relacionen los esfuerzos, deformaciones unitarias tiempo y temperatura.

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

Al actuar sobre el sistema las funciones de excitación, como las cargas aplicadas por los vehículos, por ejemplo, el sistema genera respuestas mecánicas inmediatas, derivadas de las leyes físicas involucradas 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 muy acumulativos, progresivos, permanentes e interactuantes, identificados como agrietamientos, deformaciones, desintegración y reducción de la resistencia al derramamiento, 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.

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

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

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

grupo de control de calidad deberán vigilar el cumplimiento de las acciones y recomendaciones prescritas antes citadas.

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

DESCRIPCIÓN Y FUNCIONES DE LOS PAVIMENTOS.

Los pavimentos están constituidos por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales y de varios centímetros de espesor, de diferentes tipos de materiales, adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan en la capa sub-rasante, 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 consiguiente el pavimento tiene las siguientes funciones:

- a) 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 solo deben ser necesarias algunas actuaciones esporádicas de conservación, locales o de poca magnitud en importancia y costo.
- b) 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 sub-rasante solo llegue una pequeña fracción de aquellas compatible con su capacidad de soporte. Las deformaciones recuperables que se produzcan tanto en la capa sub-rasante como en las diferentes capas de pavimento deberán ser admisibles, teniendo en cuenta la repetición de las cargas y la resistencia a la fatiga de los materiales.
- c) 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.

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES Y ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS.

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

Entre las características superficiales o funcionales pueden citarse:

- 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 afectan 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 esta ligada a la facilidad para eliminar el agua superficial, que también afecta a la seguridad del usuario.
- El ruido generado al circular tanto en el interior de los vehículos (usuarios) como en el exterior (entorno).
- Las propiedades de reflexión luminosa, tan importantes para la conducción nocturna y para el diseño adecuado 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 de los pavimentos, en particular las mecánicas, y con los espesores de estas capas. Un análisis mecánico de una idea de los efectos de las cargas del tránsito, en cuanto a estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones. Si se conocen las leyes de fatiga de los materiales por otra parte, es posible estimar el número de aplicaciones de cargas que pueden soportar las distintas capas o su durabilidad y, por tanto, la del pavimento en su conjunto.

PRINCIPALES MATERIALES BASICOS EMPLEADOS EN 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 proceso 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 sub-base, bases, capas sub-rasante.
- 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 compactado con rodillo, etc.

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.

Los llamados pavimentos flexibles están formados por una serie de capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación que inicialmente era decreciente con la profundidad, de modo análogo a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie y cuentan con una capa de rodamiento constituida por mezcla asfáltica, por lo que también se les denomina pavimentos asfálticos.

El aumento de las intensidades y número de aplicaciones de cargas llevo en su día 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", 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 el caso de los pavimentos de sección invertida.

Los pavimentos rígidos constan de una losa de concreto hidráulico. 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.

Los pavimentos mixtos o compuestos, están constituidos por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica. Se emplean en calles 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. Asimismo, puede tener una mayor capacidad estructural y por tanto, un mejor desempeño.

PAVIMENTOS FLEXIBLES Y SEMIRIGIDOS.

Están constituidos por varias capas denominadas de arriba hacia abajo como carpeta, base y sub-base, respectivamente.

La carpeta es la parte que soporta directamente las solicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales, como ya se ha indicado. Estructuralmente, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los verticales. En condiciones de alta intensidad de tránsito puede llegar a alcanzar espesores importantes. Se construyen con mezclas asfálticas en frío o en caliente, denominándose en este último caso concreto asfáltico, que pueden tener algún agente modificador para mejorar algunas de sus características. Cuando el espesor total de las carpetas 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.

La base es la capa situada debajo de la carpeta. Su función es eminentemente resistente, absorbiendo la mayor parte de los esfuerzos verticales y su rigidez o su resistencia a la deformación bajo las solicitaciones repetidas del tránsito suelen 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 grava cemento.

La sub-base es la capa situada debajo de la base y sobre la capa sub-rasante. Esta capa puede no ser necesaria cuando la capa sub-rasante 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. Es deseable que cumpla también una función drenante, para lo cual es imprescindible que los materiales utilizados carezcan de finos y en todo caso suelen ser de una capa de transición necesaria. Se emplean normalmente sub-bases granulares constituidas por materiales cribados o de trituration parcial, suelos estabilizados con cementos, etc.

ASPECTOS TEORICOS Y FUNDAMENTOS DE DISEÑO.

Generalidades.

Los métodos de diseño de pavimentos, tanto rígidos como flexibles, han sufrido importantes transformaciones a lo largo del tiempo. Desde aquellos primeros métodos de diseño de tipo empírico de principios del presente siglo, basados en un sistema de clasificación de suelos, o apoyados en pruebas de resistencia igualmente empíricas, hasta la época actual, los métodos de diseño se han visto fuertemente enriquecido por las aportaciones de importantes investigaciones, como las realizadas en tramos experimentales, entre los que destaca el llevado a cabo bajo la dirección de la AASHO, en los Estados Unidos de Norteamérica y cuyos primeros resultados se incorporaron en 1962 a la tecnología de los pavimentos. A partir de ese momento y con la introducción de las computadoras, la utilización de sofisticados instrumentos y equipos de ensaye y medición y procedimientos de análisis como el método del elemento finito, se han desarrollado

métodos de diseño más avanzados, como los denominados mecanístico-empíricos, los cuales tienen una componente teórica, basada en un modelo estructural y una componente empírica, basada en resultados de laboratorio y observaciones de comportamiento en el campo, con los cuales se configura un modelo de comportamiento. Más recientemente las investigaciones llevadas a cabo dentro del programa SHRP, han revolucionado la tecnología principalmente de los asfaltos con el objetivo de mejorar el estado del conocimiento en cuanto al comportamiento de los pavimentos.

Los modelos estructurales de la parte mecanicista están más avanzados que los modelos de comportamiento de la parte empírica. Los primeros están basados generalmente en una teoría mecánica, como la de Elasticidad, por ejemplo, mientras que los segundos son producto de ecuaciones de regresión, que pueden dar lugar a dispersiones importantes, por lo que requieren de cuidadosas calibraciones y revisiones para asegurar una concordancia satisfactoria entre la predicción y la realidad, aspecto que es muy importante para el desarrollo confiable del método. Los primeros modelos así desarrollados permiten evaluar la influencia de la variación de los espesores de las capas, de las cargas aplicadas, de la introducción de nuevos materiales, la influencia del medio ambiente, la aplicación de medidas de rehabilitación, la predicción del comportamiento del pavimento a través del tiempo, así como su vida remanente, permitiendo obtener un mayor nivel de confianza en el diseño, etc. Estos métodos parecen ser los procedimientos de análisis más promisorios hoy en día para el diseño y evaluación de pavimentos.

El estado tecnológico actual permite calcular los estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, aplicando las leyes físicas disponibles, de acuerdo con alguna forma de respuesta mecánica: elástica, viscoelástica, etc. Por lo que respecta a los modos de falla, los métodos de diseño generalmente están calibrados para considerar la ocurrencia de algunos de ellos, aunque no todos, ya que por ejemplo las fallas por desintegración o por reducción de resistencia al derrapamiento son generalmente cubiertos mediante los diseños de las mezclas y especificaciones de materiales y de construcción. Por otra parte, los valores críticos, límite o terminales que definen una condición de falla, son establecidos en el diseño, teniendo en cuenta aspectos tanto estructurales como funcionales; un ejemplo es el correspondiente a la serviciabilidad, la cual está estrechamente ligada con la rugosidad de la superficie del pavimento. La curva de degradación correspondiente a este parámetro indica la forma en que disminuye la calidad de rodamiento a través del tiempo, hasta alcanzar los valores límites seleccionados, para indicar que el pavimento se encuentra en condiciones inadecuadas de servicio, los cuales dependen de la categoría del pavimento o de la carretera.

Debe mencionarse finalmente que en la actualidad, los organismos encargados de la operación y administración de los pavimentos están preocupados por las implicaciones de estos, principalmente en lo concerniente a su comportamiento, en las economías de los países, principalmente de los que se encuentran en proceso de desarrollo.

Debido a esto, se han implementado un sistema de análisis que comprende la evaluación económica de las diferentes alternativas de estructuras de pavimentos propuestas para cada caso, con sus correspondientes estrategias de conservación, dentro de un determinado periodo de análisis, desarrollándose de esta manera el concepto de Análisis del Costo de

Ciclo de Vida, utilizado como factor fundamental para la toma de decisiones. En este concepto intervienen el comportamiento de cada una de las alternativas planteadas en el ciclo de vida analizado y teniendo en cuenta los efectos de su conservación, las características del tránsito en el mismo ciclo y finalmente los costos generados en dicho lapso, como costo inicial de construcción, costos de conservación y de rehabilitación, así como los inherentes al usuario, siendo estos últimos determinantes en muchos casos para seleccionar la mejor alternativa, que ha fin de cuentas será aquella en la cual la combinación de materiales y fondos respectiva, genere la situación económica más ventajosa. Este análisis conduce a los determinados Sistemas de Administración de Pavimentos, en los cuales es fundamental contar con tres adecuados modelos: estructural, de predicción de comportamiento y económico.

Métodos de diseño.

Los métodos actuales de diseño de pavimentos se inclinan hacia el concepto mecanístico-empírico, que involucra la aplicación de modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de los modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales. Los esquemas de predicción de comportamiento son posteriormente calibrados a partir de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos en servicio. En la concepción de los modelos estructurales se hacen intervenir los aspectos teóricos que involucran esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones, así como la influencia de la temperatura y el tiempo con apoyo de herramientas modernas como el Método de Elemento Finito y los programas de computación, lo cual ha simplificado notablemente el procedimiento de análisis teórico. Por lo que respecta a los modelos de deterioro y de predicción de comportamiento, principalmente en lo que se refiere a la fatiga y a las deformaciones permanentes, estos se derivan de análisis de regresión, que frecuentemente presentan importantes dispersiones, siendo sin embargo muy necesarios para la permanente calibración del método de diseño.

Los métodos de diseño han simplificado notablemente los procedimientos de aplicación, presentando 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 con la información necesaria para la toma correcta de decisiones.

Adicionalmente debe mencionarse que existen algunos conceptos que deben ser tomados en cuenta por el proyectista, pues corresponden a las necesidades que se manifiestan actualmente con respecto a los requerimientos de los pavimentos.

- a) Mayores niveles de seguridad y comodidad para el usuario.
- b) Materiales y superficies de rodamiento más durables y resistentes.
- c) Requerimientos de mínima conservación.
- d) Menor nivel de ruido dentro de la carretera y en el entorno.
- e) Mejor apariencia.

Método AASHTO para pavimentos flexibles.

A partir de los resultados de la investigación efectuada en el tramo de Puebla AASHO, a finales de la década de los 50's, se desarrolló la "AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid Pavement Structures", que fue publicada en 1962, en forma semejante a la "AASHTO Interim Guide for the Design of Flexible Pavement Structures", publicada en 1961. A principios de la década de los años 70, el Organismo modificó su denominación a AASHTO y para el año de 1972 ambas publicaciones fueron actualizadas y presentadas en un solo documento, "AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures", que fue publicada posteriormente con algunas modificaciones en 1981, apareciendo en 1986 después de ser nuevamente revisada, con el título de "AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures", versión que incluyó muchos cambios así como nuevos conceptos, tales como los de nivel de confianza, análisis de costos en el ciclo de vida y administración de pavimentos. Finalmente la versión editada en 1993 corrige y aclara algunos conceptos relativos al proyecto de capas de refuerzo de los pavimentos, y es la versión que se utiliza en este Capítulo para describir el método de diseño propuesto por la AASHTO.

Este método se clasifica dentro de los procedimientos de diseño basados en ecuaciones de regresión desarrolladas a partir de los resultados de tramos de prueba. Sin embargo, en la actualidad está adquiriendo un carácter mecanístico, al introducirse en el procedimiento conceptos como los módulos de resistencia y elásticos de los materiales.

La ecuación original de regresión obtenida a partir de los resultados de la prueba AASHTO ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base a la teoría y la experiencia. La ecuación para pavimentos flexibles presentada en 1993 es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R (S_0 + 9.36 \times \log_{10} (SN + 1) - 0.20 + (\log_{10} [\Delta PSI / 4.2 - 1.5]) / (0.40 + (1094 / (SN + 1)^{2.15})))$$

En donde:

W_{18}	número admisible de ejes equivalentes de 18000 lbs.
Z_R	desviación normal estándar.
S_0	desviación estándar integral.
SN	número estructural del pavimento $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$
ΔPSI	diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal ($P_0 - P_1$)
P_0	índice de servicio inicial.
P_1	índice de servicio terminal
M_R	módulo de resistencia.
m_1, m_2, m_3	coeficiente de drenaje para las capas de base y sub-base.
a_1, a_2, a_3	coeficiente de capas representativas de la carpeta, base y sub-base.
D_1, D_2, D_3	espesores de las capas de carpeta, base y sub-base en pulgadas.

Para facilitar la utilización de la fórmula se ha preparado un nomograma, adaptado a unidades en el Sistema Inglés.

a) Serviciabilidad.

De acuerdo con la AASHTO, la serviciabilidad de un pavimento es "su habilidad para proporcionar un servicio adecuado al tipo de tránsito (automóviles y camiones) que lo usan". En el tramo de prueba se desarrolló una escala con valores de 0 a 5 para representar diferentes niveles de calidad de servicio, en función del grado de deterioro superficial del pavimento, manifestado principalmente por la rugosidad de la superficie, definiendo el concepto de Índice de Servicio Actual (PSI, Present Serviceability Index), con los niveles indicados en la figura 1. Debe señalarse que los niveles 0 y 5 raramente son alcanzados.

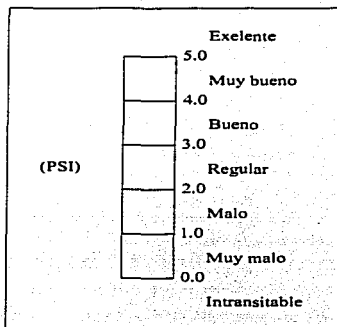


FIG.1.-Escala de Índice De Servicio Actual (PSI).

El índice de servicio inicial, p_o , representa la condición del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. Con las técnicas modernas de construcción, control y supervisión, en los pavimentos de concreto de alta calidad se han alcanzado valores iniciales de 4.7 a 4.8, recomendándose tomar un valor de 4.5 para efectos de diseño, cuando no se tenga mejor información.

El índice de servicio terminal, p_t , corresponde al nivel de servicio en el cual el pavimento requiere de algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida. El valor de índice de servicio terminal está relacionado con la importancia de la carretera o elemento, mostrándose en la tabla 1.1, los valores típicos recomendados para diferentes tipos de utilización, si bien el proyectista podrá adoptar el que considere conveniente para un caso particular.

Tabla 1.1. Valores terminales típicos para el índice de servicio terminal.

Pr	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.

De acuerdo con lo anterior, el parámetro que indica la diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal se expresa de la siguiente manera:

$$\Delta PSI = p_0 - p_t$$

Por lo tanto es recomendable que el índice p_0 alcance el mayor valor posible con el objeto de incrementar el ciclo de vida del pavimento, lo cual depende de la aplicación de correctas técnicas de construcción, control y supervisión.

Por otra parte, se reconoce que el tránsito no es el único factor que reduce con el tiempo el índice de servicio. Existen algunos factores de tipo ambiental que reducen también el valor de dicho índice, como el tipo de suelo del terreno natural, condiciones de drenaje, etc. cuyo efecto debe tomarse en cuenta para determinar el espesor de pavimento necesario para soportar el efecto combinado del tránsito y factores ambientales. A falta de mejor información y elementos para definir el valor de la reducción producida por factores ambientales, ΔPSI_{SW-FH} , puede esperarse que tal valor se encuentre entre 0.0 y 0.7, empleándose la siguiente expresión para valuar la pérdida de índice de servicio total:

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{TR} + \Delta PSI_{SW-FH}$$

En donde:

- ΔPSI_{TR} pérdida del índice de servicio debida al efecto del tránsito.
- ΔPSI pérdida de índice de servicio total en el ciclo de vida considerado
($p_0 - p_t$).
- ΔPSI_{SW-FH} pérdida del índice de servicio debida a factores ambientales.

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta en el diseño del pavimento, es el tratar de reducir al máximo o nulificar la pérdida de índice de servicio debida a factores ambientales, lo cual debe ser motivo de medidas que tome el proyectista para reducir el posible efecto adverso de los factores ambientales.

b) Tránsito, W-18.

La aplicación del método AASTHO requiere la transformación a ejes sencillos de 18000 lb. (8.2 ton.) de los ejes de diferentes pesos y configuraciones (sencillos, tandem y tridem) que circularán sobre el pavimento a lo largo del ciclo de proyecto. Para ello, se han incluido una serie de tablas con los factores de conversión, los que dependen de diferentes

factores, como tipo de pavimento (flexible o rígido), tipo de ejes (sencillo, tandem, tridem), magnitud de la carga en el eje, índice de servicio final y, en el caso de pavimentos rígidos, espesor de la losa del pavimento. Para este caso se presentan nueve tablas, combinando cada uno de los tres tipos de ejes, con tres valores de índice de servicio final; 2.0, 2.5 y 3.0.

Para determinar el número de ejes acumulados equivalentes de 18000 lb. (E-18, ESAL), el proyectista debe conocer las características del tránsito que circulará sobre el pavimento en el ciclo de proyecto, esto es, número y tipos de vehículos clasificados de acuerdo a una tipología determinada, las cargas correspondientes a cada tipo de eje, tasa de crecimiento prevista, período o ciclo de proyecto y número de carriles.

Por otro lado debe tomarse en cuenta la distribución del tránsito transversalmente, considerando el número de carriles de la vialidad, de acuerdo con lo indicado en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Porcentaje de tránsito (W_{18}), en el carril de diseño.

Número de carriles en Cada dirección	Porcentaje de número de ejes Equivalente en el carril de diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

c) Tipología de vehículos.

En la tabla 1.3 se indican los diferentes tipos de vehículos autorizados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, para circular por las vialidades nacionales.

d) Período de ciclo de proyecto.

Es importante definir la magnitud del ciclo de proyecto, ya que el número de ejes equivalente deberá acumularse en dicho ciclo. Generalmente se consideran períodos de diseño de 10 a 20 años, lapso en el cual se espera que el pavimento alcance el índice de servicio terminal elegido. Dicho período puede ser asignado por el Organismo que requiere el proyecto o bien puede ser propuesto por el proyectista, en función de su experiencia, tipo de carretera, etc. pudiendo utilizar como guía los períodos presentados en la tabla 1.4.

TABLA 1.3. TIPOLOGIA DE VEHICULOS AUTORIZADOS POR LA SCT PARA CIRCULAR POR LAS VIALIDADES NACIONALES.

Vehículo	Designación	Peso por eje, ton.				
		1	2	3	4	5
Automóvil	A2	1.0	1.0			
Camión ligero con capacidad de carga hasta 3 ton.	A2	1.7	3.8			
Autobus de dos ejes	B2	5.5	10.0			
Autobus de tres ejes	B3	5.5	14.0-D			
Autobus de cuatro ejes	B4	7.0-D	14.0-D			
Camión de dos ejes	C2	5.0	10.0			
Camión de tres ejes	C3	5.5	18.0-D			
Camión de cuatro ejes	C4	5.5	22.5-T			
Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje	T2-S1	5.5	10.0	10.0		
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje	T2-S2	5.5	10.0	18.0-D		
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje	T3-S2	5.5	18.0-D	18.0-D		
Tractor de tres ejes con semirremolque de tres eje	T3-S3	5.5	18.0-D	22.5-T		
Camión de dos ejes con remolque de dos ejes	C2-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	
Camión de tres ejes con remolque de dos ejes	C3-R2	5.5	18.0-D	10.0	10.0	
Camión de tres ejes con remolque de tres ejes	C3-R3	5.5	18.0-D	10.0	18.0-D	
Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y Remolque de dos ejes	T2-S1-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje y Remolque de dos ejes	T2-S2-R2	5.5	10.0	18.0-D	10.0	10.0
Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y Remolque de dos ejes	T3-S1-R2	5.5	18.0-D	10.0	10.0	10.0
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje y Remolque de dos ejes	T3-S2-R2	5.5	18.0-D	18.0-D	10.0	10.0
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje y Remolque de tres ejes	T3-S2-R3	5.5	18.0	18.0	10.0	18.0
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje y Remolque de cuatro ejes	T3-S2-R4	5.5	18.0	18.0	18.0	18.0

D = eje doble o tandem.

T = eje triple o tridem.

TABLA 1.4. PERIODOS O CICLOS DE PROYECTO DE ACUERDO CON EL TIPO DE VIALIDAD.

Tipo de Vialidad	Periodo de Proyecto, 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

e) Volumen de tránsito y tasa de crecimiento.

Generalmente el número inicial de vehículos que operará en el pavimento es proporcionado por el Organismo que requiere el proyecto, así como la respectiva tasa de crecimiento, que deberá considerarse aplicada en el periodo de análisis. El proyectista puede en dado caso recurrir a la información obtenida de estudio de tránsito para vialidades semejantes a la objeto del estudio y a la información estadística.

Con relación a la forma de tomar en cuenta el aspecto del incremento en el volumen de tránsito, en el Apéndice D de la Guía AASHTO de referencia, se presentan lineamientos

útiles para tal objeto, recurriendo a factores de incremento de tránsito para diferentes tasas de incremento desde cero a 10 y periodos de análisis de 1 a 35 años. Los factores propuestos multiplicados por el volumen de tránsito inicial, proporcionará el volumen total de tránsito esperado en el periodo de análisis.

f) Coeficiente de drenaje (C_d)

Se reconoce ampliamente que la presencia de agua es uno de los factores que principalmente contribuye al deterioro de los pavimentos, bien sea por la saturación y reducción de la resistencia de los materiales de las capas sub-rasante y de sub-base, o por favorecer el fenómeno de bombeo con expulsión de las partículas finas de las bases granulares a través de grietas y juntas, lo que conduce a una degradación de la capacidad de soporte estructural, oxidación y envejecimiento de las carpetas asfálticas, e inestabilidad y agrietamientos por cambios volumétricos debidos a cambios de humedad. En climas fríos ocurre el fenómeno de congelamiento-deshielo.

La versión del año de 1986 de la Guía, intentó reconocer la importancia del drenaje, haciendo intervenir un coeficiente (m), que pretende tomar en cuenta los efectos de buenas o malas condiciones del drenaje en el diseño del pavimento.

Para seleccionar el valor del coeficiente m, se deben considerar las condiciones de saturación a que están expuestas las capas de sub-base y capa sub-rasante, debiendo consultarse la tabla 1.5, para determinar el valor del coeficiente en cada caso particular.

Para mejorar las condiciones de drenaje, se sugiere el empleo de subdrenes y capas de sub-base permeable, para prevenir además el bombeo prematuro y los deterioros asociados en el pavimento.

TABLA 1.5. VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE (m), PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

Condición del Drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1- 5%	5-25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.10	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Mala	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy mala	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Condición del Drenaje	Lapso transcurrido para que el suelo sea drenado hasta alcanzar el 50 % de saturación.
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	7 días
Mala	1 mes
Muy mala	infinito

En el caso de que $m_i = 1$, se estima que las condiciones del drenaje no causan ningún impacto en el espesor del pavimento; si es menor que la unidad, el espesor se incrementa y para valores superiores a la unidad, el espesor decrecerá.

g) Confiabilidad (R_1 , Z_R , S_0).

La confiabilidad puede definirse como la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con la vida de diseño. Generalmente, el comportamiento de un pavimento a lo largo del tiempo se representa por medio de una curva, que manifiesta la forma en que el pavimento progresivamente pierde alguna de sus cualidades, por ejemplo su serviciabilidad. La ecuación de diseño propuesta por la AASHTO propiamente define la forma de la curva de comportamiento del pavimento atendiendo al concepto de serviciabilidad, con un nivel de confianza (R) de 50%. El nivel de confianza para un proyecto en especial, debe seleccionarse de acuerdo con el tipo e importancia de la carretera o vialidad, teniendo en cuenta la recomendación en la tabla 1.6., debe notarse que los valores mayores se recomiendan por vialidades sujetas a un uso intenso y con mayores exigencias de un mantenimiento mínimo.

TABLA 1.6 NIVELES DE CONFIANZA SUGERIDOS PARA DIFERENTES TIPOS DE VIALIDADES Y CARRETERAS.

Tipo de vialidad	Nivel de confianza	
	Vialidades urbanas	Carreteras
Autopistas y carreteras de primer orden	85-99.9	80-99.9
Carreteras y vialidades principales	80-99	75-95
Carreteras y vialidades secundarias	80-95	75-95
Vialidades de acceso y calles en general	50-80	50-80

Los niveles de confianza propuestos indican propiamente el porcentaje del área comprendida en la curva de distribución normal de serviciabilidad, a la derecha del nivel de confianza elegido. La distancia entre el valor medio, equivalente a un nivel de confianza elegido. La distancia entre el valor medio, equivalente a un nivel de confianza $R = 50\%$ y el correspondiente al nivel de confianza elegido para un caso en particular, es igual al producto $Z_R \cdot S_0$.

En donde:

S_0 . Desviación estándar total, que considera el monto del error estadístico incluido en la ecuación, como resultado de la variabilidad inherente a los materiales y a la construcción.

Z_R Desviación normal estándar para la distribución normal, para un nivel de confianza determinado.

Determinar el valor de S_0 es difícil, pues requiere conocer la desviación estándar para cada parámetro involucrado, teniendo en cuenta las condiciones locales, razón por la cual se ha considerado a S_0 dentro de un rango entre 0.3 y 0.4, recomendándose un valor de 0.45, para tomar en cuenta además el error relativo a la predicción del tránsito.

Por lo que respecta al parámetro Z_R , su valor depende del nivel de confianza elegido, pudiendo determinarse en tablas de tipo estadístico. Para efectos de su aplicación práctica la tabla 1.7 presenta los valores de Z_R para los niveles de confianza recomendados en la tabla 1.6.

TABLA 1.7. RELACION ENTRE EL NIVEL DE CONFIANZA Y LA DESVIACION NORMAL ESTANDAR. Z_R

Nivel de confianza, R	Desviación normal estándar Z_R	$Z_R S_n$
50	0.00	0.0
75	-0.674	-0.236
80	-0.841	-0.294
85	-1.037	-0.363
90	-1.282	-0.449
95	-1.645	-0.576
99.9	-3.090	-1.082

h) Módulo de resiliencia (M_r)

La característica básica que se requiere para el diseño de pavimento es el Módulo de Resiliencia (M_r), que ha sustituido al valor de CBR y el valor de "R" o módulo de reacción del estabilómetro de Hveem, aunque se establecen correlaciones al respecto y se obtiene de acuerdo con la especificación AASHTO T-274 como una medida de las propiedades elásticas del suelo.

Las razones principales por las que se adopta esta característica, son las siguientes:

1. Indica la propiedad básica del material que puede utilizarse en el análisis mecánico del sistema multicapa para predecir rugosidad, agrietamiento, roderas, deterioros, etc.
2. Es una característica reconocida internacionalmente, como dato para la evaluación y diseño de pavimentos.
3. Se emplea una técnica de pruebas no destructiva que permite estimar el " M_r " de varios materiales directamente en el lugar.

Sin embargo se han establecido correlaciones razonables con el CBR o valor relativo de soporte y el valor de "R" y que están dadas por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} M_r \text{ (psi)} &= 1500 X \text{ CBR} \\ M_r \text{ (psi)} &= 1000 + 555 X R \end{aligned}$$

Estas expresiones son válidas, básicamente para suelos finos o granulares, que cubren una amplia gama de materiales de terreno natural o terracerías, de soporte para pavimentos.

En aquellos casos especiales de suelos finos arcillosos y expansivos de muy bajo CBR, habrá que tomar las precauciones del caso, y hacer un análisis más detallado para determinar el M_r , con las debidas reservas en la aplicación de las expresiones anteriores.

Por otra parte, el diseñador deberá tomar en cuenta las siguientes consideraciones.

1. Asegurar que la compactación o densidad relativa del suelo de soporte se cumpla, ya que de ello depende el "Mr". En caso de no lograrse la compactación deseada, ajustar el valor de "Mr".
2. Suelos muy expansivos o resilientes deberán recibir especial atención, manteniendo el contenido de humedad bajo límites razonables que no afecten sustancialmente su comportamiento. Para ello, se analizarán cuestiones de drenaje y sub-drenaje; o bien, procedimientos de estabilización con algún aditivo (cemento o cal); asimismo el uso de geotextiles puede ayudar en la solución de un buen diseño.
3. Problemas de suelos de alto contenido de materia orgánica, extremadamente compresibles, requieren de soluciones especiales como sustitución por materiales adecuados, técnicas de preconsolidación, geotextiles, etc.
4. Atención a suelos de características variables, con tratamientos de escarificación, recompactación, mezclado, como es el caso de zonas de cortes y rellenos y tratar adecuadamente las zonas de transición.
5. A pesar de que en el diseño de pavimentos se involucran consideraciones de drenaje, debe ponerse especial atención en aquellas zonas de alta precipitación pluvial donde los escurrimientos (superficiales y subterráneos) son considerables en épocas de lluvias. Al respecto, el diseñador debe considerar soluciones especiales de obras complementarias de sub-drenaje, capas drenantes, filtros, tuberías de drenaje adicionales, canales, etc., sobre todo donde existan suelos susceptibles a los cambios de humedad que afecten su capacidad de soporte.
6. En suelos donde se dificulte la construcción, como los suelos cohesivos que retienen mucho tiempo la humedad y no se pueden compactar adecuadamente, habría que adoptar soluciones especiales, como mezclado con materiales granulares, con arena o material seco, que acelere el secado, o bien colocar una capa sub-rasante sobre dicho suelo con material adecuado para trabajar sobre ella y que sirva de desplante al pavimento.

Se hace énfasis en el criterio de elegir el módulo resiliente adecuado, pues son muchos los factores asociados a él; no se debe limitar a contar con pocos valores de "Mr", debiendo siempre obtener los suficientes para obtener un factor adecuado de confiabilidad.

Por lo que respecta a los materiales de sub-base y base el método reconoce la dificultad actual de determinar el "Mr" de estos materiales en el laboratorio y recomienda el uso de correlaciones con pruebas más accesibles, como el CBR, presentando gráficas en que se correlacionan dichos parámetros para materiales granulares y estabilizados, incluyendo además correlaciones con otros parámetros.

i) Coeficiente de capa (a_1).

El método proporciona gráficas en las que pueden obtenerse los coeficientes de capa aplicables a los diferentes materiales de las capas consideradas de la estructura del pavimento, en función del "Mr" correspondiente.

Procedimiento de diseño.

1. Se utiliza el nomograma propuesto por el método asignado valores convenientes al nivel de confianza, R, y a la desviación estándar, So.

El nivel de confianza se elige de acuerdo con el tipo de vialidad considerado (tabla 6), y el valor de So debe determinarse experimentalmente en función de la variabilidad observada en los materiales y en la calidad de la construcción, lo cual requiere de un seguimiento constante por lo cual, en caso de no contar con la experiencia local, puede tomarse un valor de 0.45.

2. A continuación se deberá aplicar el tránsito equivalente acumulado, determinado para el carril de diseño. Es conveniente señalar que la capacidad de la escala es de 50 millones de ejes acumulados equivalentes, siendo necesario en caso de rebasar este valor, reconsiderar la distribución del tránsito, por ejemplo aumentando el número de carriles, etc. Para elegir los factores de equivalencia, deberá considerarse el valor terminal del índice de servicio considerado, Pt y partir de un número estructural adecuado, en función del espesor esperado de pavimento, o considerando un valor de 5 si no se puede estimar y repetir el proceso, si el número estructural obtenido implica una diferencia en espesor de 2.5 cm. con relación al valor estimado.
3. Enseguida se utilizará el módulo de resiliencia de la capa de apoyo del pavimento, para determinar el valor de SN, considerado además el decremento en la serviciabilidad teniendo en cuenta el valor terminal de diseño y un valor inicial, que dependerá de la calidad de la construcción y que es conveniente que sea el mayor posible, para cumplir satisfactoriamente con la vida de diseño.
4. Finalmente se procederá a determinar los espesores de las capas restantes considerando los coeficientes de cada capa y los números estructurales a diferentes niveles.

Deberán tenerse en cuenta además los valores mínimos de espesor recomendados en la tabla 1.8.

Tabla 1.8. Espesor mínimo. cm.

Tránsito acumulado equivalente	Concreto asfáltico	Base granular
< 50,000	2.5 (1)	10
50,001 - 150,000	5.0	10
150,001 - 500,000	6.5	10
500,001 - 2,000,000	7.5	15
2,000,001 - 7,000,000	9.0	15
> 7,000,000	10.0	15

(1) o tratamiento superficial.

Debe hacerse notar que los módulos de resiliencia "Mr", y los respectivos coeficientes estructurales a_i , que intervienen como factores de diseño, corresponden a los diferentes materiales disponibles, los cuales deberán satisfacer adicionalmente las especificaciones de calidad establecidas por el Organismo (DDF; SCT, IMT AASHTO, etc.). Por otra parte, es conveniente plantear y analizar varias alternativas y definir sus correspondientes curvas de degradación y por consiguiente sus ciclos de vida, teniendo en cuenta además los trabajos de conservación y rehabilitación de cada una de las alternativas, para efectuar un análisis beneficio-costos, mediante el cual pueda determinarse la alternativa más económica o que corresponda a la utilización más conveniente de los recursos dentro de un presupuesto definido.

Es conveniente señalar que en este método se consideran y aplican los conceptos derivados del experimento llevado a cabo por la AASHTO, tales como la diferenciación entre falla estructural y funcional, índice de espesor y carga equivalente, conceptos que por otro lado, son también utilizados por la moderna tecnología de pavimentos.

Método AASHTO para pavimentos rígidos.

La ecuación original de regresión obtenida a partir de los resultados de la prueba AASHTO ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base en la teoría y la experiencia. La ecuación para pavimentos rígidos presentada en 1993 es la siguiente:

$$\log(E-18) = Z_r \cdot S_n + 7.35 \cdot \log(D+1) - 0.06 \cdot \frac{\log\left[\frac{\Delta PSI / 4.5 - 1.5}{1 + (1.624 \cdot 10^3) / (D+1)^{0.46}}\right]}{1 + (1.624 \cdot 10^3) / (D+1)^{0.46}}$$

$$- (4.22 - 0.32 \cdot P_t) \cdot \log\left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot [D^{0.75} - (18.42 \cdot (E_c / K)^{0.25})]}$$

En donde

E-18	número admisible de ejes equivalente de 18000 lbs.
Z_r	desviación normal estándar.
S_n	desviación estándar integral.
D	espesor de la losa del pavimento, pulg.
ΔPSI	diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal ($P_o - P_t$).
P_o	índice de servicio inicial.
P_t	índice de servicio terminal.
S'_c	módulo de ruptura del concreto, lb/pulg ² .
C_d	coeficiente de drenaje.
J	coeficiente de transferencia de carga.
E_c	módulo de elasticidad del concreto, lb/pulg ² .
K	módulo de reacción de la sub-rasante, lb/pulg ³ .

Para facilitar la utilización de la fórmula se ha preparado un nomograma, adaptada a unidades en el sistema inglés.

A continuación se realizará una breve discusión de los factores que intervienen en la ecuación, necesaria para su adecuada utilización en el proceso de diseño del espesor del pavimento. Los conceptos de serviciabilidad, tránsito, periodo o ciclo de proyecto, volumen de tránsito, tasa de crecimiento y coeficiente de drenaje tienen el significado discutido anteriormente, presentándose únicamente la tabla 1.9, para valores del coeficiente de drenaje, para pavimentos rígidos.

TABLA 1.9. VALORES RECOMENDADOS DEL COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd), PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS.

Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo en el que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1-5%	5-25%	> 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Mala	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy mala	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Condición del drenaje	Lapso transcurrido para que el suelo sea drenado hasta alcanzar el 50% de saturación
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	7 días
Mala	1 mes
Muy mala	infinito

Propiedades del concreto (S'_c , E_c).

La resistencia a la flexión del concreto utilizada corresponde a la resistencia determinada a los 28 días de edad, en especímenes en forma de viga, aplicando cargas en los tercios del claro (AASHTO T-97 o ASTM C-78). Sin embargo, existen correlaciones de este valor de resistencia, con los obtenidos efectuando otro tipo de ensaye, como el de la resistencia a la flexión en vigas con carga aplicada al centro del claro (AAHSTO T-177, ASTM C-293), o en pruebas de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (AASHTO T-22, ASTM C-39), efectuadas a los 28 días de edad, en ambos casos. Las ecuaciones de correlación son las siguientes:

$$S'_c = (0.85) S_c \text{ (carga al centro)}$$

$$S'_c = C (f_c)^{0.8}$$

En donde:

- S'_c resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando cargas en los tercios del claro, lb/pulg².
 S_c (carga al centro) resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando carga al centro del claro, lb/pulg².
C constante de correlación, con valores entre 7 y 10 para concreto utilizados en pavimentos.
 f'_c resistencia a la compresión a los 28 días en cilindros de concreto, lb/pulg².

Debe mencionarse al respecto sin embargo, que se trata de correlaciones que deben ser calibradas en cada caso y que su uso no deja de tener un cierto margen de error.

Otro aspecto importante que debe tenerse en cuenta, se refiere a que el valor S_c de la resistencia al concreto, debe ser considerado como un valor promedio, en el cual se tome en cuenta, 1) un determinado porcentaje admisible de pruebas de resistencia que produzcan valores inferiores al nivel especificado y, 2) la desviación estándar de las pruebas de resistencia, de tal manera que el valor de S_c puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$S'_c = S_c + Z(\sigma)$$

- En donde: S_c resistencia mínima especificada, lb/pulg².
 σ desviación estándar estimada de los resultados de pruebas, lb/pulg².
Z Desviación normal estándar, correspondiente al porcentaje de valores admisibles menores que la resistencia especificada.

Los valores de σ dependen de la variabilidad del concreto en la zona o en la planta, principalmente y se obtiene de los registros de control de producción. Si se desconoce este dato, se puede establecer mediante correlaciones, ya que la información al respecto establece que para los concretos elaborados en camiones mezcladores, la desviación estándar varía entre 7 a 13 por ciento de la resistencia promedio y para concreto elaborado en planta, este parámetro varía entre 5 y 12 por ciento de dicha resistencia.

Por lo que respecta a los valores de Z, estos se derivan de datos estadísticos y se presentan en la tabla 1.10.

TABLA 1.10. VALORES DE DESVIACION NORMAL ESTANDAR.
EN RELACION CON EL PORCENTAJE DE ESPECIMENES
CON RESISTENCIA MENOR QUE LA ESPECIFICADA.

Porcentaje de especímenes con resistencia menor que la especificada	Z
20	0.841
15	1.037
10	1.282
5	1.645
1	2.327

Modulo de Elasticidad (E_c).

Es una propiedad del concreto que es considerada en la ecuación de diseño, si bien tiene un efecto menor en el espesor de las losas. Puede determinarse este parámetro siguiendo el método ASTM C-469, aunque en general se recurre a correlaciones, como las establecidas por el ACI:

$$\begin{aligned} E_c &= 57000 (\Gamma_c)^{0.5} \\ E_c &= 6750 S_c \end{aligned}$$

En donde:

Γ_c resistencia a la compresión a los 28 días de especímenes cilíndricos, lb/pulg².

S_c resistencia a la flexión a los 28 días, aplicando cargas en los tercios del claro, lb/pulg².

Debe tenerse presente el carácter estadístico de estas correlaciones y así como que existe un razonable margen de error. El rango en que típicamente varía E_c se encuentra entre 2 y 6 millones, lb/pulg².

Coefficiente de transferencia de carga. (J).

Dentro de los tres tipos básicos de pavimentos de concreto, existen diferencias en la forma en que se pretende controlar el desarrollo natural de los agrietamientos, existiendo para cada caso, diferentes niveles de transferencia de carga de uno a otro lado de una grieta o junta en el pavimento.

Los tres tipos de pavimentos son los siguientes:

- Pavimentos sin refuerzos ni pasajuntas en las juntas transversales, en los cuales la transferencia de cargas depende únicamente de la fricción entre los agregados en las caras de las grietas, o bajo la grieta formada por un corte en la losa para formar una junta cerrada. Este tipo de pavimentos se recomienda generalmente para casos en que el volumen de tránsito es de tipo mediano o bajo (menos de 120 semitrailers por día), sin embargo también se aplican a casos de carreteras importantes.
- Pavimentos con pasajuntas en las juntas transversales, pudiendo incluir además la utilización de una malla de refuerzo.
- Pavimentos con refuerzo continuo, en el cual no existen juntas, diseñándose el refuerzo para que las grietas se mantengan cerradas.

Otro aspecto que reviste gran importancia en el efecto de la transferencia de cargas, lo constituye la presencia de guarderías o cunetas integradas a las losas, acotamientos de concreto unidos por pasajuntas a las losas, o bien losas con un ancho mayor a manera de acotamiento integrado, aspectos que aumentan el efecto de soporte en la orilla de las losas, incrementando a su vez la eficiencia de la junta, con la consecuente mejoría en el comportamiento de los pavimentos. En la Tabla 1.11 se presentan los valores de J recomendados para cada uno de los tipos de pavimento antes mencionados, debiendo hacer notar que este parámetro también depende del tránsito esperado.

TABLA 1.11. COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGA (J).

Millones de ejes Equivalentes	Soporte lateral (1)						Tipo de pavimento
	Con pasajuntas y Reforzado con malla		Junta sin pasajunta (fricción entre agregado)		Con refuerzo Continuo		
	No	Si	No	Si	No	Si	
Hasta 0.3	3.2	2.7	3.2	2.8	-	-	Calles y carreteras secundarias
0.3-1	3.2	2.7	3.4	3.0	-	-	
1 a 3	3.2	2.7	3.6	3.1	-	-	
3 a 10	3.2	2.7	3.8	3.2	2.9	2.5	
10 a 30	3.2	2.7	4.1	3.4	3.0	2.6	Carreteras vialidades principales y autopistas
Más de 30	3.2	2.7	4.3	3.6	3.1	2.6	

(1) Las condiciones de soporte lateral incluyen carriles con ancho mayor que 4 m., acotamientos de concreto unidos con pasajuntas corrugados así como cunetas o guarniciones integradas o unidas con pasajuntas corrugados.

Modulo de reacción (k) y módulo de reacción combinado (k_c).

Para diseño de los pavimentos rígidos se requiere determinar la resistencia de la sub-rasante, expresada como módulo de reacción, k, determinado mediante pruebas de placa (AASHTO T222).

El módulo se expresa como cociente entre la presión aplicada a la placa y la deflexión producida en ella. De esta manera, la sub-rasante puede ser modelada como un conjunto de resortes ligados a una placa, (cimentación de Winkler), por lo que el parámetro k es denominado "constante de resorte" en algunas ocasiones. Las pruebas de placa son relativamente costosas y complicadas en su realización, por lo que su utilización es limitada y normalmente el valor del módulo es estimado, puesto que en ocasiones no es posible disponer de la capa sub-rasante ni de la capa de sub-base, si es que se va a construir esta capa. Por lo anterior, es usual recurrir a correlaciones del valor de este módulo con los correspondientes a pruebas más accesibles (CBR, valor de R de Hveem, etc.), como las mostradas en la fig 5 o tomar valores conservadores obtenidos en la tabla 1.12. Es importante señalar que algún error en la determinación del valor k, tiene relativamente poca importancia en el cálculo del espesor de la losa aplicando la ecuación de diseño del método AASHTO, ya que por ejemplo, un error de 100% en el valor de k, únicamente significa una diferencia de alrededor de un centímetro en el rango de espesores típicos de losas de pavimento.

TABLA 1.12. RELACIONES ENTRE EL TIPO DE SUELOS
Y VALORES DE SU RESISTENCIA.

Tipo de Suelo	Resistencia			
	Rango de Resistencia de la Sub-rasante	Módulo de Reacción, k Lb/pulg ²	Módulo de Resistencia, M_R Lb/pulg ²	CBR %
	Limos y arcillas de alta compresibilidad, en estado natural	muy baja	50-100	1000-1900
Limos y arcillas de baja compresibilidad.	baja	100-150	1900-2900	3-5.5
Arenas mal graduadas y suelos arenosos.	mediana	150-220	2900-4300	5.5-12
Suelos con grava, arenas bien graduadas y mezclas de grava y arena sin finos plásticos.	alta	> 220	4300-4850	> 12

Cuando la capa sub-rasante no es lo suficientemente resistente, o se desea proteger al pavimento de los efectos del bombeo y erosión en el material de dicha capa. Y sobre todo para condiciones de tránsito intenso, se recurre a la construcción de una capa de sub-base, la cual influye en el valor del módulo de reacción. En estas condiciones, el módulo utilizado para el diseño es considerado como combinado, k_c , puesto que su valor dependerá del espesor y tipo de material utilizado en la sub-base, pudiendo emplearse por ejemplo, concreto pobre (econocreto), materiales estabilizados con cal, asfaltos y cemento Portland, o simplemente materiales granulares de granulometría y plasticidad controlados. La tabla 1.13 presenta valores típicos de k_c para diferentes tipos de materiales de sub-base, teniendo en cuenta el espesor de la capa construida y el valor del módulo de reacción k , de la sub-rasante.

Fatiga.

La acumulación de daño por fatiga puede expresarse como la sumatoria de las relaciones de daños, definidos estos como la relación entre el número de repeticiones de cargas pronosticadas y el número de repeticiones de carga admisibles. Relacionado el número de cargas admisibles con la relación entre el esfuerzo y 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 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 manera, cuando se integra a las losas un acotamiento y se suministran pasajuntas en las juntas transversales, se reduce considerablemente la magnitud de dichos esfuerzos críticos.

Módulo de reacción de la sub-rasante k_r , lb/pulg ²	Módulo de reacción combinado, k_c (lb/pulg ²) para diferentes tipos de espesores																			
	Grava y arena redondeadas				Grava triturada bien graduada				Tratada con asfalto				Tratada con cemento				Econoceto			
	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	250	275	300	284	351	419	487	341	457	577	700	353	480	612	750

TABLA I.13. Valor típico del módulo de reacción combinado, k_c , para diferentes tipos y espesores de sub-base.

(Espesores en pulg.)

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

En general, el análisis por fatiga está basado en los esfuerzos desarrollados en el borde de la losa, a mitad de la distancia entre dos juntas transversales las que se encuentran tan alejadas de ese punto, que prácticamente no producen efectos adicionales.

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 aumente hacia posiciones alejadas del borde, la magnitud de los esfuerzos producidos disminuye.

Erosión.

Los deterioros asociados a este fenómeno están relacionados fundamentalmente a la magnitud de las deflexiones producidas por el paso de los vehículos sobre el pavimento, produciéndose las deflexiones críticas cuando una carga es aplicada en una esquina, formada por el borde de la losa y una junta transversal.

Otros aspectos involucrados en el diseño.

El diseño de un pavimento rígido requiere considerar otros aspectos además del espesor de las losas de concreto y que son igualmente importantes para el adecuado comportamiento del pavimento, debiendo considerarlos el proyectista por consiguiente e incluirlos en las recomendaciones, lineamientos, planos y especificaciones del proyecto. Estos aspectos son también motivo de análisis en el proceso de evaluación de los pavimentos.

Estos conceptos son los siguientes:

- Tipo de juntas, su ubicación y forma de transferencia de carga, materiales para sello.
- Espesor y tipo de sub-base y capa sub-rasante.
- Tipo de acotamiento.
- Drenaje y sub-drenaje.
- Texturizado.
- Curado.
- Rugosidad.
- Resistencia al derramamiento.

Juntas.

Las juntas en los pavimentos de concreto de acuerdo con sus funciones, pueden clasificarse en tres tipos fundamentales, de contracción, de construcción y de expansión, construyendo un sistema que tiene los siguientes propósitos:

- Controlar los inevitables agrietamientos del concreto en los sentidos longitudinal y transversal.
- Permitir los movimientos de expansión y contracción del concreto, sin menoscabo de las adecuadas condiciones de transferencias de carga.

- Dividir los pavimentos en porciones de dimensiones prácticas para su construcción y convenientes para su correcto desempeño.

En su diseño deberán tenerse en cuenta las condiciones que aseguren la transferencia de carga deseada, así como permitir la colocación de un material de sello, que impida la infiltración de agua y la penetración de materiales extraños, que restrinjan el libre movimiento de las losas.

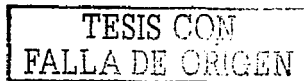
El diseño y la construcción de las juntas son factores importantes para su correcto desempeño, debiendo tenerse en cuenta para su diseño las siguientes consideraciones:

- Condiciones ambientales, tales como las variaciones en la temperatura y la humedad que inducen movimientos en las losas, provocando concentraciones de esfuerzos, alabeos y ondulaciones.
- Espesor de la losa, que afecta a los niveles de esfuerzos y deflexiones.
- Transferencia de cargas, necesario para el correcto comportamiento del pavimento y que depende del tipo de junta considerado.
- Tránsito, no solamente en su magnitud, sino en su ubicación con respecto a las juntas.
- Materiales constitutivos del concreto, que deben considerarse en cuanto a sus propiedades de expansión térmica. Sus características inciden también en el comportamiento de la junta en el caso de deterioros como agrietamientos y despostillamientos.
- Tipo de sub-base, desde el punto de vista del soporte que proporcionan a las losas, como en la magnitud de la fuerza de fricción generada entre las superficies en contacto de losas y sub-base.
- Características del sello, cuya definición depende del espaciamiento entre juntas, factor de forma, etc.
- Características del acotamiento, las cuales afectan la capacidad de transferencia de carga de las juntas.

Los pavimentos de concreto se agrietan en forma natural, provocando condiciones fuera de control en cuanto a la ubicación, forma, entrada de materiales y agua, etc. Mediante el sistema de juntas se pretende controlar la ubicación geométrica y condiciones de sello de las grietas.

Agrietamiento por contracción.

El agrietamiento debido a la contracción del concreto ocurre a muy temprana edad, con consecuencia de los cambios de temperatura durante los procesos de hidratación y fraguado, así como por pérdida de agua por evaporación. La contracción del concreto no ocurre libremente, puesto que se encuentra restringida por las fuerzas de fricción desarrolladas entre las superficies en contacto de la losa con la sub-base o capa sub-rasante, lo que genera esfuerzos de tensión en el concreto, que provocan agrietamientos transversales en el pavimento.



El espaciamiento y anchura de las grietas transversales depende entre otras cosas, del tipo de material de la capa de apoyo. En el caso de sub-bases rígidas, el patrón de agrietamientos se presenta con separaciones cortas y de poca anchura, mientras que en sub-bases granulares se presentan espaciamientos mayores, aunque con mayor anchura de las grietas, previéndose así mismo un movimiento mayor en las grietas.

El agrietamiento del concreto también puede ocurrir a edades mayores cuando éste ya se encuentra endurecido, como consecuencia de gradientes térmicos y de humedad, gracias a los cuales las losas experimentan alabeos, con cambios de forma y curvatura sensibles en el transcurso del día y de la noche. Los agrietamientos térmicos modifican el sentido de la curvatura de las losas, pasando de cóncavo hacia arriba durante la noche a cóncavo hacia abajo durante el día. Por otra parte, un decremento en la humedad produce contracción y un incremento provoca expansión. La combinación de los efectos producidos por gradientes térmicos y de humedad, con los efectos de las cargas del tránsito, producen agrietamientos transversales adicionales, así como el agrietamiento longitudinal, en consecuencia con el eje de una franja con dos carriles de circulación.

Debido a lo anterior, el espaciamiento entre las juntas debe ser seleccionado de tal manera que aseguren un nivel de confianza, esto es, que sea mínima la probabilidad de que ocurran grietas adicionales, y el proyectista debe tener en cuenta que el espaciamiento entre juntas está sujeto a las condiciones predominantes de cada caso.

Efectividad de las juntas.

Las juntas constituyen propiamente una discontinuidad estructural en el pavimento rígido, por lo que se puede desarrollar condiciones críticas de trabajo en las losas, de no procurar que las juntas estén capacitadas para transferir una porción de la carga de uno a otro lado de la junta, la capacidad o efectividad de una junta para transferir la carga se determina en la práctica midiendo las deflexiones en cada lado de la junta, bajo la presencia de una carga aplicada en uno de sus lados, calificándose la efectividad de la junta mediante la siguiente ecuación.

$$E = (2 d_u / d_L + d_u) 100$$

En donde:

- E efectividad de la junta, en por ciento.
 d_u deflexión de la losa en el lado sin carga.
 d_L deflexión de la losa en el lado cargado.

Para que se obtenga una transferencia de carga satisfactoria, esto es, una efectividad mínima de 75% para condiciones de tránsito medio a pesado, y que el pavimento se comporte satisfactoriamente, es necesario recurrir a los siguientes mecanismos:

- Trabazón mecánica de los agregados en las caras de la junta.
- Dispositivos de transferencia mecánica o pasajuntas de varillas lisas.
- Sub-bases estabilizadas rígidas, que reduzcan el nivel de deflexión.

Trabazón mecánica. Se desarrolla en las grietas inducidas por debilitamiento de la sección de la losa al efectuar un corte con sierra. Al formarse la grieta, las partículas de los agregados expuestos en las caras de las grietas generan importantes fuerzas de cortante capaces de transferir las cargas de uno a otro lado de la grieta. Este efecto es muy efectivo en losas cortas, con la presencia de sub-bases no erosionables o permeables y tránsito con volúmenes reducidos de camiones, de 80 a 120 al día como máximo.

Los factores que favorecen este efecto son los siguientes:

- Losas gruesas, con mayores superficies de contacto.
- Espaciamientos menores de 4,5 m entre juntas transversales, con lo cual se reduce la abertura de la grieta, manteniéndose el contacto entre sus caras.
- Sub-bases rígidas o permeables.
- Soporte lateral mediante acotamientos integrados de concreto.
- Sistemas eficientes de drenaje y sub-drenaje.
- Tamaño, dureza y forma de los agregados, recomendándose que sean mayores de una pulgada y triturados, con superficies ásperas.

Transferencia mecánica. Cuando el volumen de camiones pesados es importante, el efecto de trabazón mecánica no es suficiente para garantizar una aceptable transferencia de cargas y el buen comportamiento del pavimento. Se recomienda que cuando el tránsito de camiones pesados exceda de 120 vehículos por día, o el ESAL sea superior a cuatro o cinco millones, las juntas deben considerar pasajuntas lisos. Para estas condiciones se requerirán además losas de concreto de 8 pulgadas de espesor como mínimo, por lo que se recomienda que para losa con dicho espesor o mayor en general se proceda a la utilización de pasajuntas lisos.

Los pasajuntas mencionados consisten de varillas lisas, engrasadas y protegidas contra la oxidación, colocadas transversalmente a las juntas para transferir las cargas mediante una acción de puente aún cuando al contraerse las losas, aumente la abertura de las juntas, reduciendo de esta manera la magnitud de los esfuerzos y deflexiones en ambos lados de la junta y disminuyendo la posibilidad de escalonamiento, bomboe y fracturas en las esquinas. Debe tenerse en cuenta que aún con la presencia de pasajuntas, el efecto de trabazón mecánica es considerable, por lo que adicionalmente debe tomarse en cuenta las recomendaciones respecto al desarrollo de este efecto.

Sub-bases estabilizadas.

Las sub-bases estabilizadas reducen la magnitud de las deflexiones, mejorando y manteniendo las condiciones de efectividad de la transferencia de las cargas en las juntas, independientemente de que incrementan la capacidad del soporte e incrementan la resistencia a la fatiga, efectos muy importantes cuando se manejan grandes volúmenes de tránsito pesado. Adicionalmente deben diseñarse eficientes sistemas de sub-drenaje.

Capa sub-rasante y sub-bases.

- a) La capa sub-rasante constituye el elemento y apoyo del pavimento, por lo que debe ser capas de resistir los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento, aún en condiciones severas de humedad, proporcionando condiciones de apoyo uniforme y permanente. Puede estar constituida por el propio terreno natural, o bien por materiales seleccionados provenientes de banco, 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. Es muy recomendable vigilar la calidad de los materiales utilizados para construir la capa sub-rasante, teniendo como referencia lo propuesto por el Instituto Mexicano de Transporte para pavimentos flexible en la tabla 1.14.

Tabla 1.14. Características del material de la capa sub-rasante.

Características	Calidad		
	Deseable (óptima)	Adecuada (intermedia)	Tolerable (mínima aconsejable)
Tamaño máximo, mm	76	76	76
Contenido de finos, % máxima	25	35	40
Límite líquido, % máximo	30	40	50
Índice plástico, 5% máximo	10	20	25
CBR, % mínimo	30	20	15

Como referencia se presenta la recomendación de la normatividad española en la tabla 1.15

Tabla 1.15

Característica	Tolerables	Adecuado	Seleccionados
Tamaño máximo, cm.	<15 (1)	<10	<8
Contenido de finos, % máximo	40	35	25
Límite líquido, % máximo	40	40	30
Índice plástico, % máximo	-	-	10
CBR, % mínimo	3	5	10
Expansión, % máximo	-	2	0
Materia orgánica, % máximo	2	1	0
Peso volumétrico, Kg.-m ³ , mínimo	1,450	1,750	-

- (1) Se acepta que el 25% de las partículas sea mayor.

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 sub-drenaje, dotando al pavimento de elementos que impidan la presencia de agua.

- b) La sub-base como se ha mencionado, debe ser un elemento que a la vez que de un apoyo uniforme y permanente al pavimento, proporcione además un elemento permeable, no sujeto al fenómeno de bombeo y que sirva como plataforma de trabajo y superficie de rodamiento para las maquinas pavimentadoras. En los casos en que el tránsito es ligero, principalmente el los vehículos ligeros, puede prescindirse de esta capa y apoyar las losas directamente sobre la capa sub-rasante.

En general se recomiendan materiales que contengan materiales finos en una proporción no mayor de 15%, no plástico ($LL \leq 25\%$, $IP \leq 6\%$) 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 sub-bases estabilizadas, e inclusive de concreto pobre.

Acotamientos

Los acotamientos tienen una gran importancia en el comportamiento de los pavimentos rígidos, puesto que además de su trascendencia como elementos de estacionamiento temporal para casos de emergencia, tienen la ventaja de incrementar la capacidad estructural del pavimento cuando ambos se construyen de concreto hidráulico y se diseñan para soportar el tránsito de vehículos pesados. En el caso del tránsito mediano o ligero los acotamientos suelen consistir de un pavimento flexible, de menor capacidad estructural que el pavimento de la calzada. Los acotamientos además sirven para proteger a los pavimentos de variaciones de humedad, evitan la contaminación de los materiales del pavimento con los del terreno natural, pueden contener elementos drenantes y reducen el efecto de las cargas en la orilla de los pavimentos.

En el caso de existir elementos drenantes bajo el pavimento, deberán extenderse también bajo los acotamientos y conectarse adecuadamente al sistema general de drenaje para la eliminación del agua.

Drenaje y Sub-drenaje.

- a) El agua es uno de los factores que más constituyen en el deterioro de los pavimentos, debido a lo cual deberá concederse importancia al rápido desalojo del agua, evitando su concentración tanto en la superficie como en alguna de las capas que constituyen el pavimento, incluyendo la capa sub-rasante.
- b) Para obtener un mejor comportamiento del pavimento, se debe reconocer que existen varias formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento y a la capa sub-rasante, debiendo por lo tanto tomar las medidas pertinentes para disponer sistemas de drenaje y sub-drenaje que actúen con efectividad.

c) Con relación al drenaje superficial, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1%
- No se deberá admitir depresiones en la superficie que pudiera provocar estancamientos de agua.
- El texturizado debe facilitar la expulsión rápida del agua transversalmente.
- No deberán existir obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en los acotamientos.
- Las juntas en los pavimentos deberán sellarse adecuadamente. De igual manera no deberán permitirse agrietamientos en el pavimento que facilitaran la filtración de agua en las capas inferiores.

d) Por lo que respecta al sub-drenaje, deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Cuando sea necesario y sobre todo en el caso de pavimentos con tránsito pesado intenso, en donde podría presentarse el fenómeno de bombeo, será necesario considerar la presencia de capas de materiales permeables, incluyendo la sub-base, que permitan el flujo de agua hacia subdrenes longitudinales. Los tubos perforados deberán conectarse al exterior adecuadamente.
- Podrá hacerse uso de materiales como geotextiles, geodrenes, geocompuestos, etc., siendo recomendable el asesoramiento del proveedor para obtener mejores resultados.

Texturizado

La textura superficial determina la rapidez con que el agua puede escapar de entre la llanta y el pavimento y también la rapidez con que escurre por la superficie durante la lluvia. El agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida de contacto entre la llanta y su superficie, dando origen a la pérdida del control de la dirección del vehículo y a su deslizamiento, fenómeno que se conoce como hidropланeo o acuaplaneo y generalmente ocurre cuando se conduce un vehículo bajo la lluvia a gran velocidad y se forma una lámina de agua sobre la superficie de rodamiento que alcanza un nivel crítico en función de la velocidad del vehículo.

Con el fin de minimizar o evitar la ocurrencia de este fenómeno, a los pavimentos de concreto se les proporciona una textura superficial, que debe ser compatible con el medio ambiente, límite de velocidad de la carretera, intensidad de tránsito, topografía y características geométricas de la vialidad.

Existen varias formas para proporcionar una textura adecuada a la superficie de los pavimentos, siendo las más usadas las siguientes.

- a) Para pavimentos de estacionamientos, calles o carreteras de baja velocidad se puede lograr una textura aceptable arrastrando una tela tosca de yute o de cáñamo, sobre el concreto en el estado plástico, asegurándose de que por lo menos un metro de la tela este en contacto con la superficie en todo el ancho del pavimento. Para este tipo de pavimentos también se puede dar una textura adecuada utilizando escobas de fibras duras naturales o artificiales, arrastradas de un lado a otro del pavimento transversalmente. Las escobas pueden operarse a mano o fijadas a una maquina.
- b) Para pavimentos de caminos de alta velocidad y autopistas, (mayor que 72 km/hr) el texturizado con la tela tosca de yute o con escobas no puede proporcionar la resistencia al derramamiento que se requiere. Para lograr una resistencia más adecuada en estos casos es recomendable emplear un rastrillo con dientes de alambre que arrastre mecánicamente, para formar ranuras en la superficie que faciliten el drenaje rápido del agua y mejore el contacto de las llantas con el pavimento. La ranura se pueden hacer longitudinales o transversales, las transversales permiten un mejor drenaje y las longitudinales casi no producen ruido. Para carreteras de alta velocidad y autopistas, el espaciamiento recomendable para las ranuras es de 6 a 20 mm, con sección de 3 x 5 mm. En ocasiones se combina este procedimiento para formar la macrotextura de la superficie, con el procedimiento descrito en el párrafo a), que forma la microtextura.
- c) Otro procedimiento de texturización frecuentemente utilizado, consiste en cerrar la superficie cuando el concreto ha endurecido lo suficiente, empleando una maquina equipada con varias cierras de disco recubiertas con diamante, a la que se le puede regular la separación y profundidad de corte. Las ranuras son unas vías de escape para el agua entre la rueda y el pavimento lo cual evita el hidroplaneo. El cerrado de ranuras en la dirección longitudinal mejora el control de la dirección de los vehículos. Este tipo de rasurado se hace con frecuencia en las autopistas, especialmente en los tramos sinuosos, con lo cual se ha logrado reducir significativamente el número de accidentes por derramamiento. El cerrado de las ranuras en el sentido transversal incrementa el coeficiente de fricción en forma notable y es común que este tipo de rasurado se haga en las zonas donde el frenado o reducción de velocidad son excesivos. Cuando se requiera mayor resistencia al derramamiento se frena, acelera o suelen ocurrir accidentes se recomienda formar las ranuras con mayor profundidad que la del texturizado normal.
- d) Por medio del procedimiento de fresado se puede proporcionar un texturizado adecuado, además de corregir irregularidades superficiales como salientes, escalonamientos entre juntas, etc., acciones que pueden tener un carácter correctivo en pavimentos recién terminados, antes de entrar en operación. Las maquinas están dotadas de una batería de sierras de disco de diamante o carborundo, si como dispositivos de limpieza mediante vacío, para eliminar los desechos sin peligro de contaminación.

También están previstas de servomecanismos de nivelación automática para efectuar el fresado con el espesor necesario para texturizado o para corrección de irregularidades.

Curado y protección del concreto fresco.

El curado es el tratamiento o protección que se le da al concreto durante su periodo endurecimiento y tiene como objetivo mantener en el concreto un contenido de agua, un nivel de temperatura satisfactorios durante un periodo definido, inmediato a su colocación y acabado, para asegurar un alto grado de hidratación del cemento y proteger al concreto contra los fenómenos asociados con la contracción, debida a la pérdida de humedad o a un cambio brusco de temperatura.

La mayoría de los concretos recién mezclados y en estado fresco, contiene una cantidad de agua considerablemente mayor que la requerida para que se lleve acabo la hidratación completa del cemento; sin embargo, cualquier pérdida apreciable de agua por evaporación o cualquier otra causa afectara o evitara la hidratación completa. Cuando la temperatura es favorable, la hidratación durante los primeros días se realiza en forma rápida. Por estas razones es importante que el concreto se mantenga en buena temperatura y que el agua sea retenida durante este periodo, impidiéndose o minimizando su evaporación, para que se alcancen los niveles de resistencia y durabilidad del proyecto.

Es especialmente importante que el curado sea adecuado durante las primeras horas después de la colocación del concreto, puesto que la resistencia que se pierda por temperatura y humedad inadecuadas durante ese proceso, no se puede recuperar con el curado subsiguiente. Los pavimentos que se curan desde temprana edad en forma apropiada, generalmente alcanzan resistencias altas, lo que a su vez los hace más resistentes al intemperismo y más durables que los curados deficientes.

Con cualquier método de curado utilizado se pueden obtener resultados satisfactorios si se aplican con oportunidad y correctamente.

Rugosidad.

Es el parámetro fundamental para calificar la calidad de rodamiento de un pavimento, tanto inicial como a lo largo del tiempo definiendo el comportamiento del pavimento, concepto muy importante sobre todo cuando se involucra en un sistema de administración de pavimentos. Se asocia tanto a los aspectos de comodidad como de seguridad para el usuario. Se considera que se alcanzara la rugosidad o regularidad superficial deseada si se cumplen simultáneamente las siguientes condiciones:

- a) Las irregularidades del pavimento controladas con una regla móvil con una longitud de tres metros para carreteras, provistas de registrador grafico, no deben ser superiores a 3 mm en la dirección longitudinal y de 6 mm en la dirección transversal.

- b) La uniformidad superficial de un lote, medida por el índice de perfil, determinado con un perfilógrafo tipo California, no debe ser superior al límite indicado en la tabla 1.16 de acuerdo con el tipo de vialidad.

Tabla 1.16 VALORES RECOMENDADOS PARA EL ÍNDICE DE PERFIL.

Tipo de vialidad	Índice de perfil aceptable para una velocidad de operación	
	≤ a 75 km/hr	>75 km/hr
Autopistas y carreteras de 1er orden en tangentes y curvas de radio mayor que 675 m	-	10
Autopistas y carreteras de 1er orden en curvas con radio mayor que 385 m pero menor que 675m	-	12
Rampas y lazos	30	30
Carreteras secundarias	30	12

Cuando las irregularidades se excedan de 3 mm, pero sean menores que 13 mm, la superficie del pavimento puede corregirse por rebajado o fresado, cuidando solamente que no se produzcan una superficie lisa. Si se excede este último valor, podrá corregirse la superficie con el procedimiento anterior si se encuentra dentro de las tolerancias relativas al espesor de la losa, o bien deberá ser demolido y reemplazado el tramo considerado.

Por lo que respecta al parámetro índice de perfil, en diversas investigaciones se ha comprobado que existe una correlación con el índice de servicio actual (ISA), se presenta en la tabla 1.17.

TABLA 1.17 CORRELACIÓN ENTRE EL ÍNDICE DE PERFIL Y EL ÍNDICE DE SERVICIO ACTUAL.

Índice de perfil, pulg/milla	Índice de servicio actual (ISA)
3	4.8
7	4.5
12	4.3

Se ha encontrado por otra parte que es muy importante alcanzar el mayor valor de índice de perfil inicial, no solamente desde el punto de vista de la comodidad del usuario, sino porque con ello se incrementa la vida útil del pavimento. Por ejemplo la diferencia entre 4.8 y 4.3 de índice de perfil inicial, puede significar aproximadamente un 20% más de ejes acumulados de 8.2 ton.

Es conveniente señalar que los factores que ocurren para obtener la calidad de rodamiento deseada en el proyecto, son los siguientes:

- Sub-base adecuada, bien construida y con características drenantes.
- Superficies firmes e indeformables para el movimiento de la maquina pavimentadora.

- Extremo cuidado en la instalación de las marcas de referencia.
- Concreto uniforme y trabajable.
- Proceso constructivo uniforme, sin interrupciones.
- Control de la superficie terminada con perfilógrafo.
- Aplicación de incentivos al contratista para promover la obtención de calidad a nivel de excelencia.
- Equipo humano bien entrenado y consiente de su labor como grupo.
- Proyecto adecuado.

Resistencia al derramamiento.

Es un importante concepto relacionado con la seguridad del usuario y que depende de la textura alcanzada en el concreto fresco.

Se determinará la resistencia al derramamiento con un dispositivo de medición continua y en condiciones de superficie mojada, de tipo Mu-meter o similar, debiendo cumplir con los valores indicados en la tabla 1.18.

TABLA 1.18 VALORES RECOMENDADOS DE RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO EN CONDICIONES DE SUPERFICIE MOJADA.

Tipo de vialidad	Velocidad de prueba, kph	Resistencia mínima al derramamiento
Autopistas y carreteras de 1er orden	95	0.60
	65	0.70

La resistencia al derramamiento depende del estado del equipo, de la experiencia del personal, de la buena ejecución de los trabajos de acabado y texturizado, así como de la calidad de los agregados y dosificación de la mezcla. En caso de no cumplir con los valores antes recomendados, deberá procederse a aplicar una técnica de rebajado o fresado en el tramo considerado.

ALCANCE DEL PROYECTO.

Además del diseño de la estructura del pavimento, el proyecto deberá contener además otros aspectos, que lo individualicen. Los aspectos antes citados son los siguientes, a manera enunciativa, pero no limitativa.

1. Especificaciones de calidad, características y tipo de materiales y productos utilizados. Las especificaciones deberán tener en cuenta los conceptos fundamentales y permitan cumplir con los atributos propios de los pavimentos, deberán tener un carácter dinámico, pudiendo adecuarse a los cambios tecnológicos y a las necesidades prácticas detectadas mediante la evaluación periódica de los pavimentos y el seguimiento de su comportamiento.

2. Bancos de materiales, estableciéndose el tratamiento adecuado para la utilización de los materiales, incluyendo el caso de materiales reciclados. Deberá vigilarse que los bancos propuestos dispongan de materiales con la calidad y volumen necesarios.
3. Principales lineamientos constructivos, estableciendo los aspectos que como mínimo deban cumplirse, sin que ello limite al Contratista de usar o proponer procedimientos que igualen o mejoren el nivel de calidad que se desea obtener, y sin liberarlo de su participación en la obra como el principal responsable de la calidad. Se indicará el tratamiento, manejo y utilización de los materiales de terracerías y de la superficie de apoyo del pavimento, espesores de las capas y grado de compactación, acabados, tolerancias, aspectos relevantes del control de calidad durante la ejecución de la obra, condiciones para la apertura al tránsito, sanciones y bonificaciones al Contratista, etc. En casos especiales se indicará la conveniencia o necesidad de efectuar tramos de prueba.
4. El proyecto contendrá además los planos y gráficas necesarias para su mejor comprensión mostrando los detalles que presenten las relaciones de los pavimentos con los diferentes elementos urbanísticos.
5. Un aspecto importante que debe formar parte del proyecto, es el relativo a las características superficiales que debe presentar el pavimento al usuario, puesto que de ellas dependen factores tales como:
 - Resistencia al derramamiento.
 - Drenaje superficial (independiente de la pendiente transversal de la sección del pavimento).
 - Rugosidad.
 - Desgaste de las llantas.
 - Nivel de ruido.
 - Cualidades ópticas.
 - Apariencia.

Las características superficiales se clasifican según las longitudes de onda y amplitudes de las irregularidades, como se indica en la tabla 1.19, señalándose además la forma en que afectan la interacción del vehículo y el pavimento.

TABLA 1.19. IRREGULARIDADES SUPERFICIALES Y SU INTERACCION VEHICULO-PAVIMENTO.

Concepto	Longitud de onda, mm.	Aspecto en que influye.
Microtextura	$10^0 - 5 \times 10^{-1}$	Adherencia y resistencia al deslizamiento, desgaste de llantas.
Macrotextura	$5 \times 10^1 - 5 \times 10^1$	Drenaje, resistencia al deslizamiento, propiedades ópticas, proyecciones de agua, ruido.
Megatextura	$5 \times 10^1 - 5 \times 10^2$	Resistencia al rodamiento, comodidad, ruido, desgaste del vehículo.
Defecto de planicidad	$> 5 \times 10^2$	Resistencia al rodamiento, comodidad, estabilidad, cargas dinámicas, desgaste del vehículo.

Conviene mencionar que este aspecto debe ser considerado en el proyecto, ya que en buena medida, define el nivel de calidad del producto terminado que se ofrecerá al usuario.

6. Debe incluir también el proyecto las recomendaciones para el control de calidad durante la construcción, las limitaciones para la ejecución de los trabajos y finalmente la estrategia de mantenimiento para que el pavimento cumpla con sus funciones en el ciclo de vida previsto.

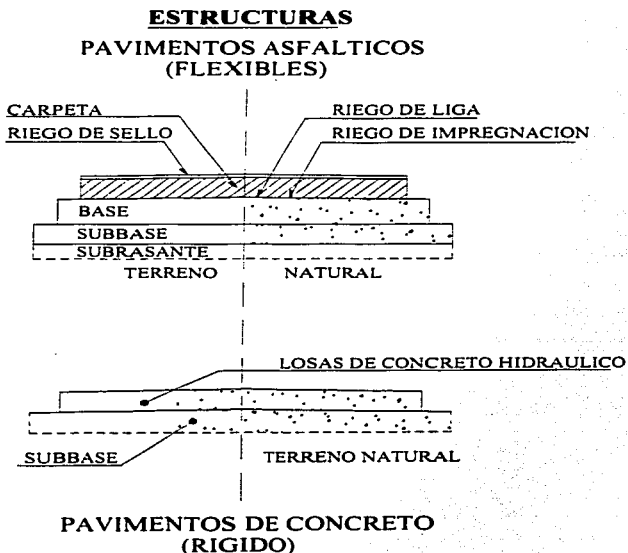


FIG. 2.

CAPITULO II

Factores que influyen en el deterioro de los pavimentos.

IDENTIFICACIÓN O FALLAS EN PAVIMENTOS.

Grietas.

Tipos de Grietas en los pavimentos.

- o Grietas por fatiga.
- o Grietas por bloques.
- o Grietas de esquina.
- o Grietas longitudinales sobre roderas.
- o Grietas longitudinales fuera de las roderas.
- o Grietas por reflexión de las juntas.
- o Grietas transversales.

Las dimensiones del ancho de la grieta se ilustran en la fig. 2.1.

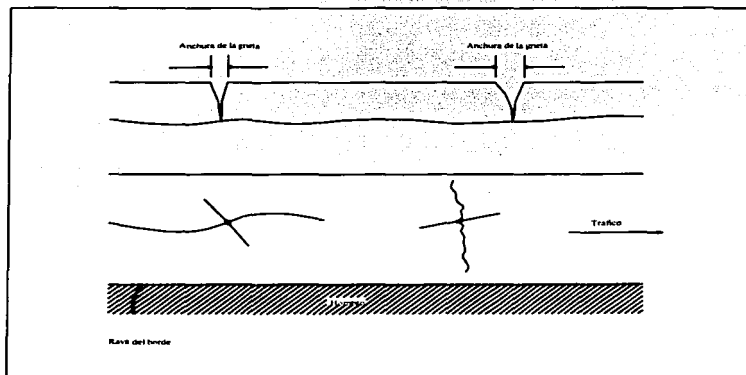


Fig. 2.1. Mediciones de anchos de grietas sobre superficies de pavimentos de concreto asfáltico.

La fig. 2.2 representa el nivel de severidad de una grieta, debido a la asociación de grietas aleatorias.

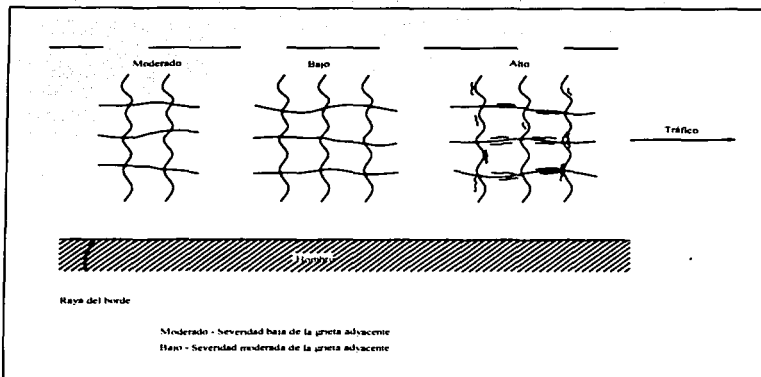


Fig. 2.2. Grado de severidad de las grietas en forma de bloque, asociadas aleatoriamente.

GRIETAS POR FATIGA.

Descripción.

Ocurre en áreas sujetas a la repetición de cargas de tráfico (En huellas de las rodadas).

Pueden ser inicialmente una serie de grietas ligeras interconectadas, de desarrollo temprano. Se presentan en piezas de muchos lados con ángulos usualmente menores de 0.3 m (1 pie) sobre el lado más largo; Posteriormente se presentan como una tela de alambre de gallinero/piel de cocodrilo.

Debe tener un área cuantificable.

Niveles de daño.

Leve.

Un área de grietas con o sin algunas grietas conectadas; las grietas pueden ser sin astillamiento o selladas; el bombeo (expulsión de finos) no es evidente.

Moderado.

El patrón es un área de grietas interconectadas; la grieta puede estar ligeramente astillada; la grieta puede estar sellada; el bombeo no es evidente.

Alto.

El patrón es un área de grietas interconectadas con astillamiento moderado o severo, las piezas pueden moverse cuando están sujetas al tránsito; las grietas pueden estar selladas; el bombeo es evidente.

Medición.

Registrar por metros cuadrados (pie cuadrado) el área afectada por cada nivel de daño.

Si existen diferentes niveles de daños dentro de un área que no puede distinguirse fácilmente, se clasificará el área entera con el daño que se presente mayormente.

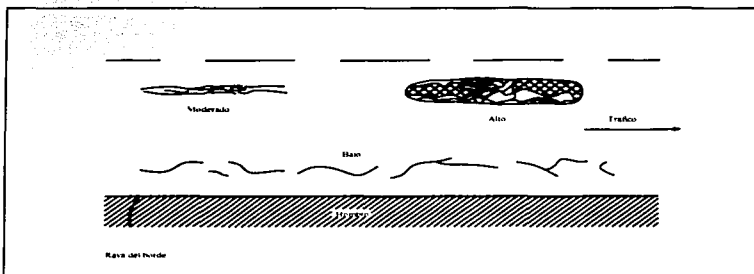


Fig. 2.3. Grieta por fatiga.

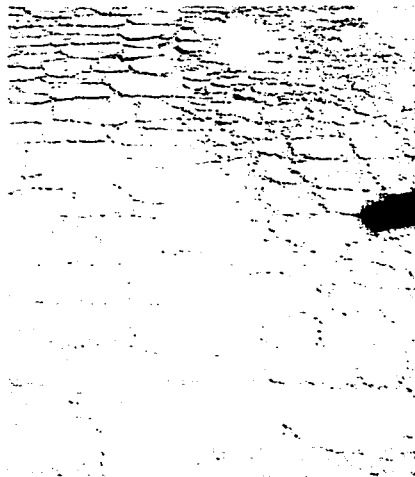


Fig. 2.4. Modelos de Malla de gallinero/piel de cocodrilo, grietas típicas en una falla por fatiga.



Fig. 2.5. Severidad moderada de grietas por fatiga.



Fig. 2.6. Severidad alta de grietas por fatiga con astillamiento de grietas interconectadas.

GRIETAS POR BLOQUES.

Descripción.

Es un tipo de grietas en que el pavimento queda dividido en piezas aproximadamente rectangulares. El rango del tamaño de los rectángulos varía de 0.1 m^2 a 10 m^2 (1 pie²-100 pie²).

Niveles de daño.

Leve.

Grietas con ancho promedio = 6 mm. (0.25"); o grietas selladas con material de sello en buenas condiciones y con un ancho que no puede ser determinado.

Moderado.

Grietas con un ancho promedio > 6 mm. (0.25") y = 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con daño leve.

Severo.

Grietas con un ancho prom. > 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacentes a una grieta aleatoria con daño moderado a alto.

Medición.

Registrar por metro cuadrado (pies cuadrados) el área afectada por cada nivel de daño.

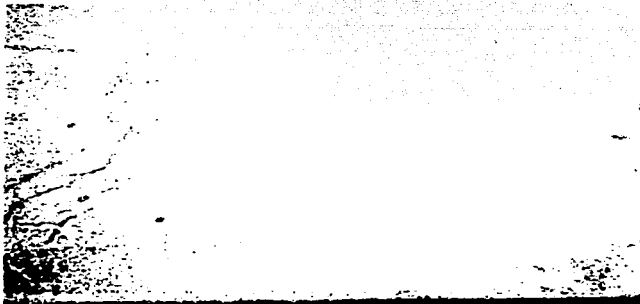


Fig. 2.7. Grietas de bloque.



Fig. 2.8. Daños severos en grietas de bloque.

GRIETAS DE ESQUINA.

Descripción.

Aplicables solamente en pavimentos sin acotamientos. Grietas suaves crecientes que se distribuyen simétricamente e interceptan la orilla del pavimento y se localizan dentro de los 0.6 m. (2 pies) de la orilla del pavimento, adyacente al hombro. Incluye grietas longitudinales fuera de las roderas y dentro de los 0.6 m. (2 pies) de la orilla del pavimento.

Niveles de daño.

Leve.

Grietas sin desprendimiento o pérdida de material.

Moderado.

Grietas con algunos desprendimientos o pérdida de material por arriba del 10% de la longitud de la porción afectada del camino.

Severo.

Grietas con desprendimientos considerables y pérdidas de material por más del 10% de la longitud de la porción afectada del camino.

Medición.

Registrar la longitud en metros (pies) de la orilla afectada del camino por cada nivel de daño. La cantidad total combinada de grietas de esquina no excederá la longitud de la sección.

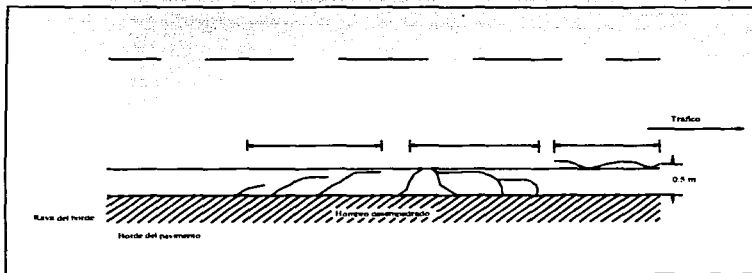


Fig. 2.9. Grietas de esquina.

GRIETAS LONGITUDINALES.

Grietas predominantemente paralelas al centro del camino. La localización dentro del carril (área de la rodera contra la no rodera) es importante.

Niveles de daño.

Leve.

Una grieta con un ancho promedio = 6 mm. (0.25"); o una grieta sellada con material de sello en buenas condiciones y con un ancho que no puede ser determinado.

Moderado.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 6 mm. (0.25") y = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con daño leve.

Severo.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con daño moderado a alto.

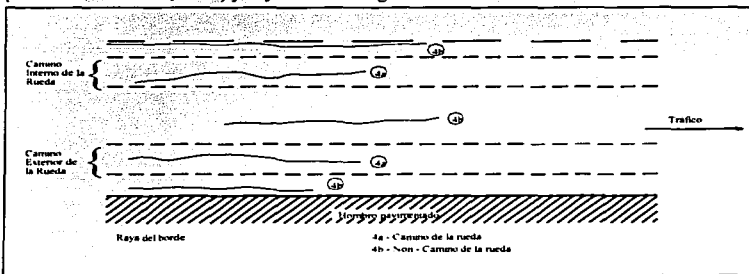


Fig. 2.10. Grietas longitudinales.

Medición.

Separadamente se registran:

- Grietas longitudinales en roderas.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal dentro de la huella de la rodada para cada nivel de daño.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal con sello en buenas condiciones para cada nivel de daños.

b) Grietas longitudinales fuera de las roderas.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal que no este localizada en una rodada definida, para cada nivel de daños.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal con un sello en buenas condiciones para cada nivel de daños.



Fig. 2.11. Daño moderado de una grieta longitudinal sobre una huella de rodada.



Fig. 2.12. Daño severo de una grieta longitudinal fuera de la huella de la rodada.

GRIETAS DE REFLEXION EN JUNTAS.

Descripción.

Grietas sobre la superficie de una sobrecapa de concreto asfáltico que se presentan sobre las juntas de un pavimento de concreto hidráulico.

NOTA: El conocer las dimensiones de la losa por debajo de la superficie de la capa de concreto asfáltico, ayuda a identificar las grietas de reflexión de juntas.

Niveles de daño.

Leve.

Una grieta sin sello con un ancho promedio = 6 mm. (0.25"); o una grieta sellada con material sellante en buenas condiciones y con un ancho que no puede ser determinado.

Moderado.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 6 mm. (0.25") y $= 19$ mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con un daño leve.

Severo.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con un daño moderado a severo.

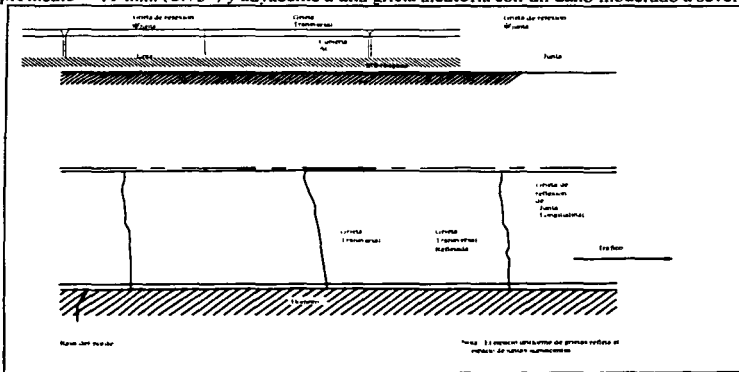


Fig. 2.13. Grietas de reflexión de juntas.

Medición.

Grietas de reflexión transversal.

Registrar el número de grietas de reflexión transversal para cada nivel de daño. Calificar cada grieta de reflexión transversal cuando presente niveles de daño severo en por lo menos un 10% del total de longitud de la grieta.

Registrar la longitud en metros (pies) de las grietas de reflexión transversal, refiriéndose al nivel de daño de la grieta.

Registrar la longitud en metros (pies) de las grietas transversales con sellos en buenas condiciones para cada nivel de daño.

NOTA: La longitud registrada es el total de la longitud de una grieta bien sellada y es referida al nivel de daño de la grieta. Registrar solamente donde el sellante esta en buenas condiciones en por lo menos el 90% de la longitud de la grieta.

Grietas de reflexión longitudinal.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta de reflexión longitudinal para cada nivel de daño.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta de reflexión longitudinal con sellante en buenas condiciones para cada nivel de daño.

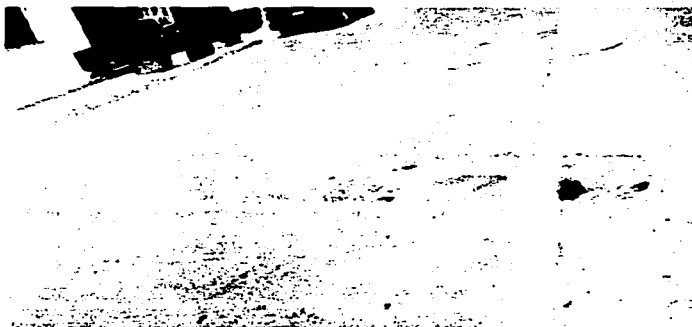


Fig. 2.14. Daño severo de grietas de reflexión en juntas.

GRIETAS TRANSVERSALES.

Descripción.

Grietas que son primordialmente perpendiculares al centro de línea del pavimento, y son localizadas sobre juntas de concreto hidráulico.

Nivel de daño.

Leve.

Una grieta sin sello con un ancho promedio = 6 mm. (0.25"); o una grieta sellada con material sellante en buenas condiciones y con un ancho que no puede ser determinado.

Moderado.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 6 mm. (0.25") y = 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con daño leve.

Severo.

Cualquier grieta con un ancho promedio > 19 mm. (0.75"); o cualquier grieta con un ancho promedio = 19 mm. (0.75") y adyacente a una grieta aleatoria con daño moderado a severo.

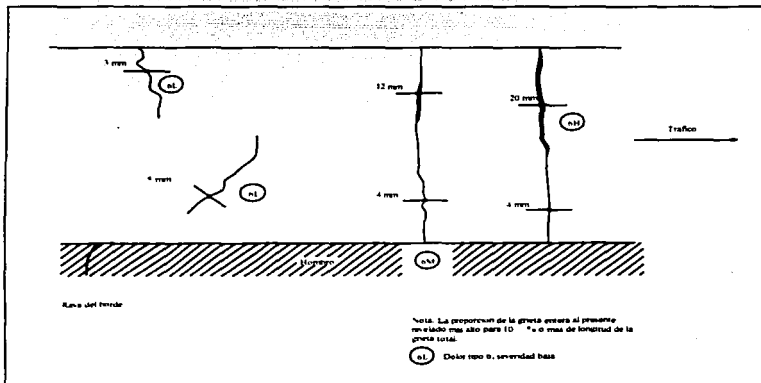


Fig. 2.15. Grietas transversales.

Medición.

Registrar número y la longitud de las grietas transversales para cada nivel de daño. Calificar las grietas transversales para los niveles de daño más altos presentados por lo menos en el 10% del total de la longitud de la grieta.

Solo registrar la longitud en metros (pies) de las grietas transversales con un sello en buenas condiciones para cada nivel de daño.

NOTA: La longitud registrada es el total de longitud de una grieta bien sellada y es asignada para el nivel de daños de la grieta. Registrar solamente donde el sello esta en buenas condiciones en por lo menos el 90% de la longitud de la grieta.



Fig. 2.16. Daño leve en grietas transversales.

Fig. 2.17. Daño moderado en grietas transversales.



Fig. 2.18. Daño severo en grietas transversales.

Baches y Calaveras.

Baches/Baches deteriorados.

Descripción.

Porción de superficie de pavimento, mayor de 0.1 m^2 (1 pie^2), que ha sido removida y reemplazada con material nuevo.

Niveles de daño.

Leve.

Baches que tienen la mayor parte de daños con fallas leves de cualquier tipo.
Moderado.

Baches que tienen daños moderados con fallas de cualquier tipo.

Severo.

Baches que tienen daños severos de cualquier tipo de falla.

Medición.

Registrar número de baches y metros cuadrados (pies cuadrados) de la superficie del área afectada para cada nivel de daño.

NOTA: Cualquier falla en el contorno del bache se incluye en la clasificación del bache.

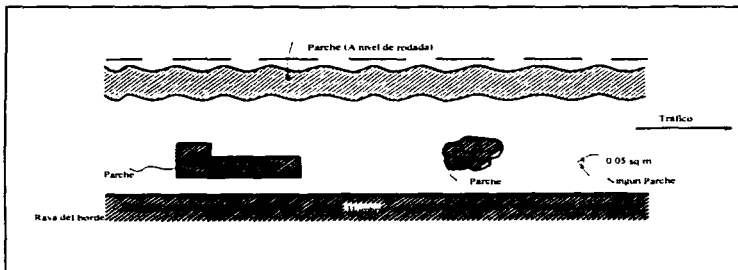


Fig. 2.19. Bache/Deterioro del bache.

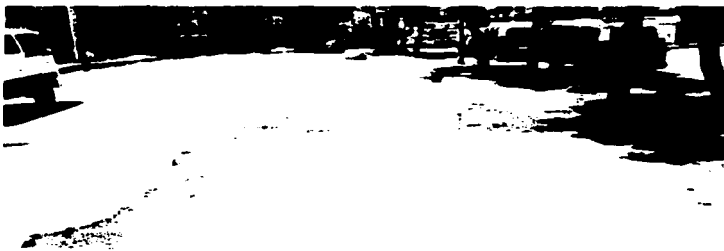


Fig. 2.20. Bache con daño moderado.



Fig. 2.21. Bache con daño severo.

Calaveras.

Descripción.

Agujero en forma de tazón de varios tamaños en la superficie del pavimento. Dimensión mínima en planta es de 15 cm. (6").

Niveles de daño.

Bajo.

Menos de 25 mm. (1") de profundidad.

Moderado.

25 mm. a 50 mm. (1-2") de profundidad.
Severo.

Más de 50 mm. (2") de profundidad.

Medición.

Registrar número de calaveras y metros cuadrados (pies cuadrados) del área afectada para cada nivel de daño. La profundidad de la calavera, es la máxima profundidad por debajo de la superficie del pavimento.

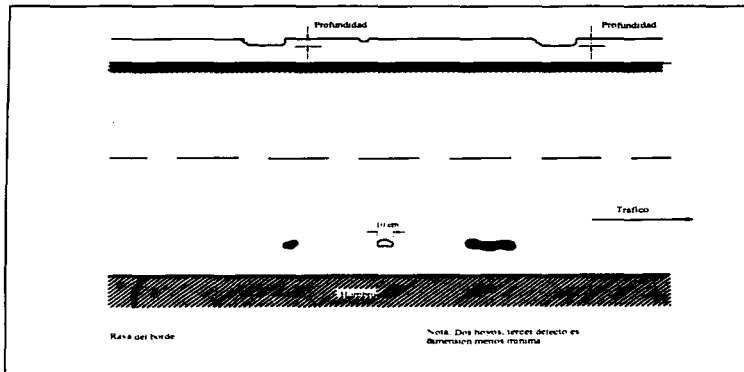


Fig. 2.22. Calaveras.



Fig. 2.23. Calaveras con daños leves.



Fig. 2.24. Calaveras con daños moderados.

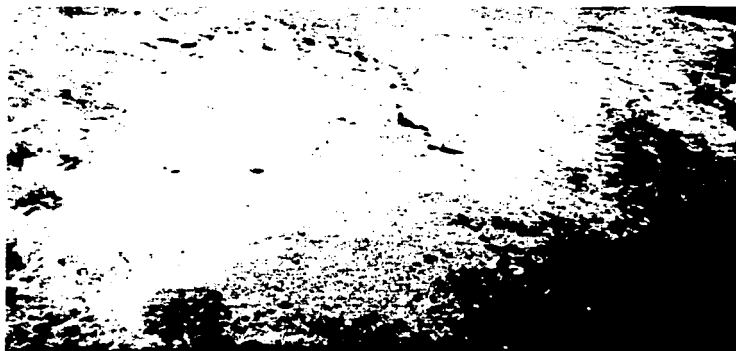


Fig. 2.25. Calavera con daño severo (vista de acercamiento).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DEFORMACIÓN DE LA SUPERFICIE.

Rodera (Hundimiento en la rodada).

Descripción.

Una rodera es una depresión superficial longitudinal sobre la huella de la rodada. Puede estar asociada con desplazamientos transversales.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daño podrán ser definidos categorizando las medidas que se tomen. El registro de las mediciones tomadas es más conveniente, porque es más preciso y reproducible que los niveles de daños.

Medición.

Solamente SPS-3: Registrar profundidad máxima del hundimiento en milímetros con aproximación al milímetro en intervalos de 15 m. (50 pies), para cada huella de rodada, con medidas a 1.20 m. (4 pies) de la orilla.

Para todas las secciones LTPP: El perfil transversal es medido con una regla graduada en intervalos de 15 m. (50 pies) cuando no se tomen mediciones, tórnense fotografías con vistas generales de las fallas.

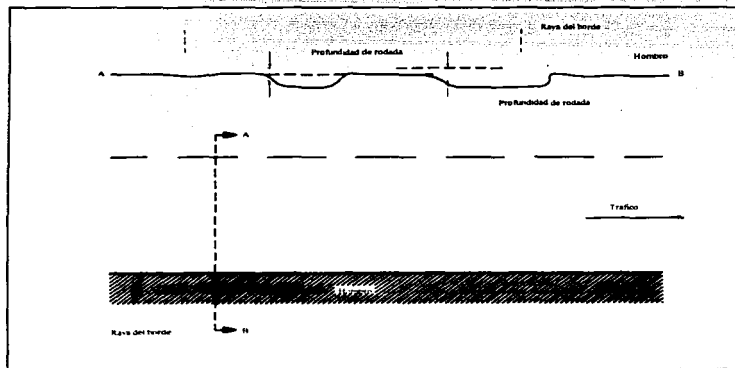


Fig. 2.26. Rodera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

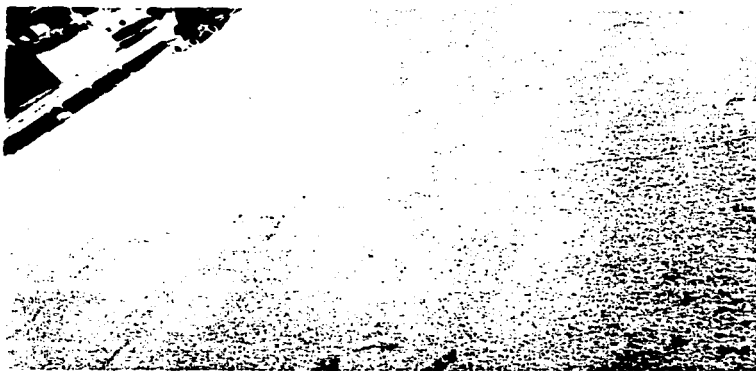


Fig. 2.27. Rodera.



Fig. 2.28. Agua acumulada en la rodera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Corrimiento.

Descripción.

Los corrimientos son un desplazamiento longitudinal de una determinada área de la superficie del pavimento. Es generalmente causado por frenado o aceleración de los vehículos y usualmente se localiza sobre colinas, curvas o en intersecciones. Está asociado con desplazamientos verticales.

Niveles de daño.

No aplicable. Como quiera que sea, los niveles de daños pueden ser definidos por los efectos relativos de los corrimientos sobre la calidad del recorrido.

Medición.

Registrar el número de desperfectos y en metros cuadrados de área de la superficie afectada.

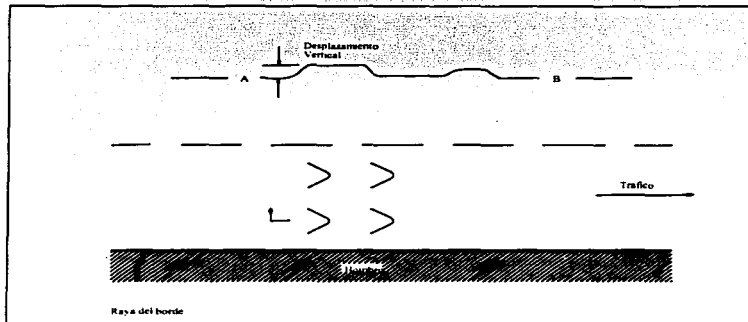


Fig. 2.29. Corrimientos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Fig. 2.30. Corrimientos en la superficie del pavimento.

Defectos de la superficie.

Sangrado.

Descripción.

Exceso del ligante bituminoso sobre la superficie de un pavimento. Puede crear un lustrado, como el vidrio. Superficie reflejante que puede ser poco adherente al tacto usualmente se presenta sobre las roderas.

Niveles de daño.

Leve.

Un área de la superficie del pavimento relativamente descolorida, es una advertencia del exceso de asfalto en las partes aledañas.

Moderado.

Un área de superficie del pavimento que está perdiendo la textura de la superficie debido al exceso de asfalto.

Severo.

El exceso de asfalto da a la superficie del pavimento un aspecto lustroso; el agregado puede ser oscurecido por el exceso del asfalto; las marcas de los neumáticos pueden ser evidentes en tiempo caluroso.

Medición.

Registrar por metro cuadrado (pie cuadrado) del área de la superficie de cada nivel de daño.

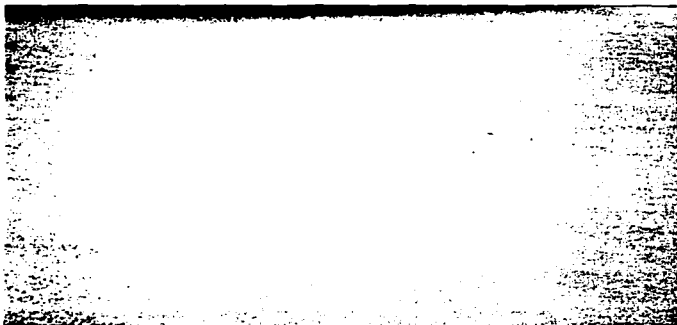


Fig. 2.31. Sangrado leve.



Fig. 2.32. Sangrado moderado.



Fig. 2.33. La marca de llantas es evidente en un sangrado severo.

Pulido de agregados.

Descripción.

El ligante de la superficie se gasta y queda expuesto el agregado grueso.

Niveles de daño.

No aplicable. Como quiera que sea, el grado de pulido puede reflejarse en una reducción de la fricción de la superficie.

Medición.

Registrar por metro cuadrado (pie cuadrado) el área de la superficie afectada.



Fig. 2.34. Pulido de agregados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

DESINTEGRACION.

Descripción.

Dstrucción de la superficie del pavimento de una mezcla en caliente de concreto asfáltico de buena calidad. Es causada por el desprendimiento de los agregados y pérdida del ligante asfáltico.

Niveles de daño.

Leve.

Los agregados o ligante ha empezado a desgastarse pero el deterioro es incipiente. Se presenta alguna pérdida del ligante asfáltico.

Moderado.

Los agregados y ligantes se están destruyendo y la textura de la superficie esta empezando a ponerse rugosa y picada; existen generalmente partículas sueltas; pérdida de agregado fino y grueso.

Severo.

Los agregados y ligantes se están destruyendo y la textura de la superficie es muy rugosa y picada; perdida del agregado grueso.

Medición.

Registrar por metro cuadrado (pies cuadrados) el área de la superficie afectada para cada nivel de daños.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

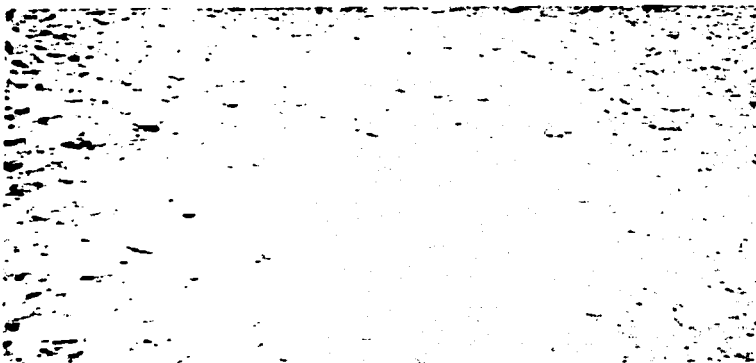


Fig. 2.35. Desintegración de daños moderados.

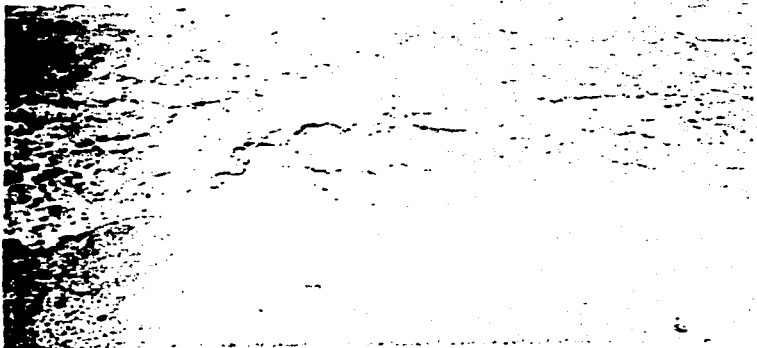


Fig. 2.36. Desintegración severa.

Fallas diversas.

Hombros caídos.

Descripción.

Diferencia en elevación entre la superficie de circulación y el hombro del camino. Ocurre típicamente, cuando las capas de pavimento en el acotamiento tienen materiales diferentes al resto de la sección.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daño se podrán definir, categorizando las medidas tomadas. Un registro con toma de medidas es mucho más deseable, como quiera que sea, porque es más exacto y repetible que los niveles de daño.

Medición.

Registrar en milímetros (pulg.) con aproximación al milímetro (0.04") en intervalo de 15 m. (50 pies) a lo largo de la junta entre la línea de circulación y el acotamiento.

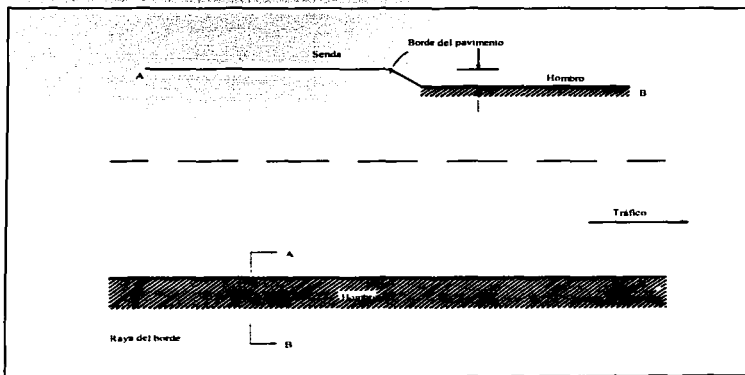


Fig. 2.37. Hombros caídos (acotamientos).



Fig. 2.38. Hombros caídos (acotamientos).

Afloramiento de humedad.

Descripción.

El paso o expulsión del agua por debajo del pavimento a través de una grieta. En algunos casos, se detecta por el depósito de material fino sobre la superficie del pavimento el cual fue desgastado de las capas de soporte y mancha la superficie.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daño no son usados porque la cantidad, grado de afloramiento del agua y bombeo cambia con las variaciones de las condiciones de humedad.

Medición.

Registrar el número de incidencias de afloramiento del agua y la longitud en metros (pies) del pavimento afectado.



Fig. 2.39. Afloramiento de humedad.



Fig. 2.40. Depósito de material fino sobre la superficie por afloramiento de humedad.

FALLAS PARA PAVIMENTOS DE SUPERFICIE DE CONCRETO HIDRÁHULICO CON JUNTAS.

Grietas.

En la fig. 2.47 se muestra la medición propia del ancho de una grieta y el ancho del astillamiento de la grieta y la junta.

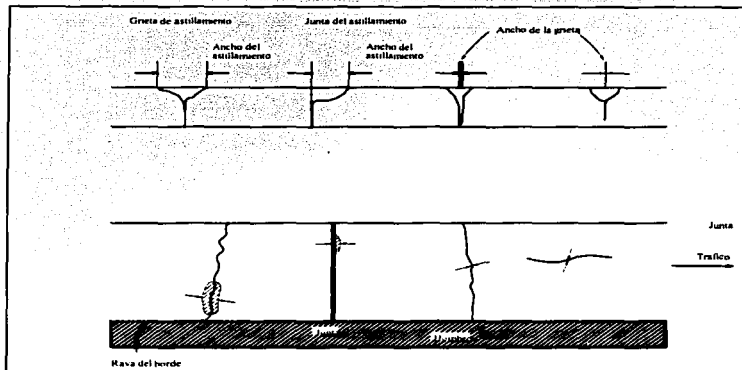


Fig. 2.41 Anchos de astillamientos y grietas en la junta de pavimentos de concreto.

Grietas de Esquina.

Descripción.

Una porción de la losa separada por una grieta la cual interseca una junta transversal y longitudinal, describe aproximadamente un ángulo de 45° en dirección al tráfico. El largo de la grieta varía de 0.3 m. (1 pie) a la mitad del ancho de la losa, cada lado.

Niveles de daño.

Leve.

Si la grieta no esta astillada más del 10% de lo largo de la grieta; sin fallas medibles, y las piezas de las esquinas no están rotas en 2 o más pedasos.

Moderado.

Si la astilla de la grieta del nivel de daño más bajo es más del 10% del total de la longitud; o el defecto de la grieta o junta es $< 13 \text{ mm. (0.5")}$; y las piezas de las esquinas no están rotas en 2 o más pedasos.

Severo.

Si la astilla de la grieta del nivel de daño moderado a severo es más del 10% del total de la longitud; o el defecto de la grieta o junta es $= 13 \text{ mm. (0.5")}$; o las piezas de las esquinas están rotas en 2 o más pedasos.

Medición.

Registrar el número de grietas en esquina para cada nivel de daño.

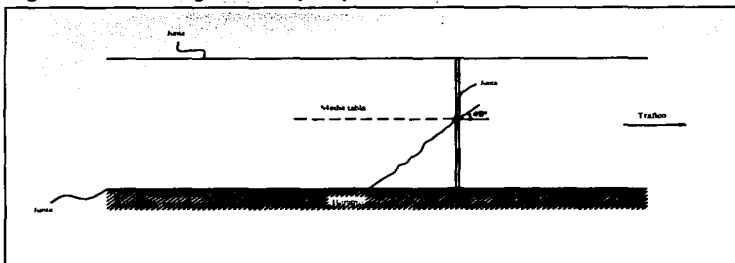


Fig. 2.42. Grieta en esquina.

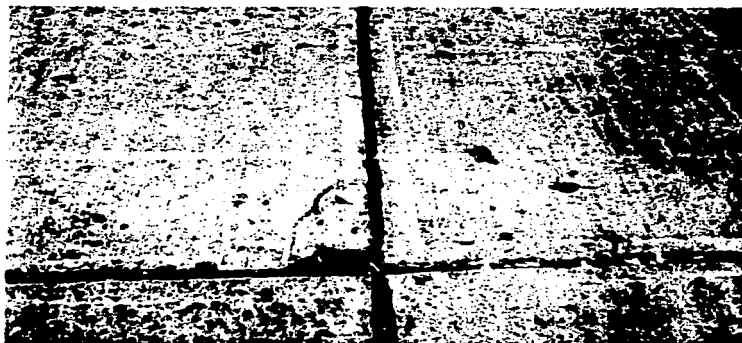


Fig. 2.43. Daño bajo en grieta de esquina.



Fig. 2.44. Daño moderado en grieta de esquina.

Grietas por estabilidad (grietas "D").

Descripción.

Patrón de agrietamiento semejante a líneas de cabello, crecientes y en espacio cerrado.

Se presentan adyacentes a las juntas, grietas, o esquinas libres, iniciando en las esquinas de las losas. En el área alrededor del patrón de grietas se presenta un oscurecimiento del color.

Niveles de daño.

Leve.

Las grietas "D" son cerradas con ningún desprendimiento o pérdida de piezas y sin reparaciones en el área afectada.

Moderado.

Las grietas "D" son bien definidas, y algunas pequeñas piezas se desprenden o desplazan.

Severo.

Las grietas "D" tienen un patrón bien desarrollado, con una cantidad significativa de desprendimiento o pérdida de material. Con reparación de piezas desplazadas con tamaño superior a 0.1 m² (1 pie²).

Medición.

Registrar el número de losas con grietas "D" y en metros cuadrados (pies cuadrados) del área afectada para cada nivel de daño. La determinación del daño de la losa esta basada sobre el nivel de daños más alto presentado para por lo menos un 10% del área afectada.

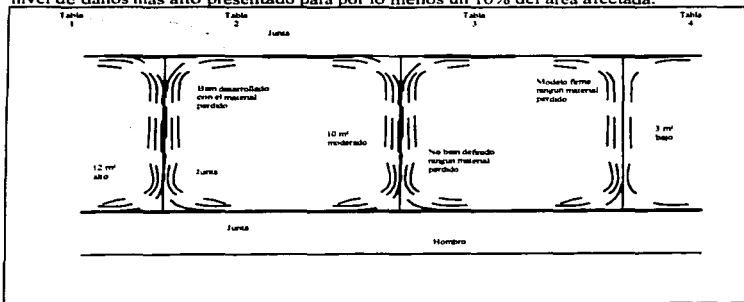


Fig. 2.45. Grietas por estabilidad (grietas "D").

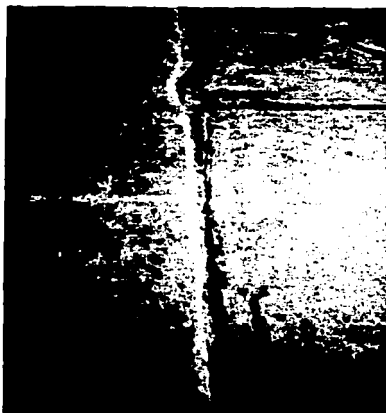


Fig. 2.46. Daños moderados en grietas "D" con patrones bien definidos.



Fig. 2.47. Daño severo de grietas "D" con desprendimiento y pérdida de material.

Grietas longitudinales.

Descripción.

Grietas que son predominantemente paralelas al centro de línea del camino.

Niveles de daño.

Leve.

Grietas con anchos < 3 mm. (0.125") , no astilladas, y fallas no medibles; o bien selladas y con un ancho que no puede ser determinado.

Moderado.

Grietas con anchos = 3 mm. (0.125") y < 13 mm. (0.5") ; o con un astillamiento < 75 mm. (3") ; o fallas arriba de 13 mm. (0.5") .

Severo.

Grietas con anchos = 13 mm. (0.5") ; o con astillamientos = 75 mm. (3") ; o fallas = 13 mm. (0.5") .

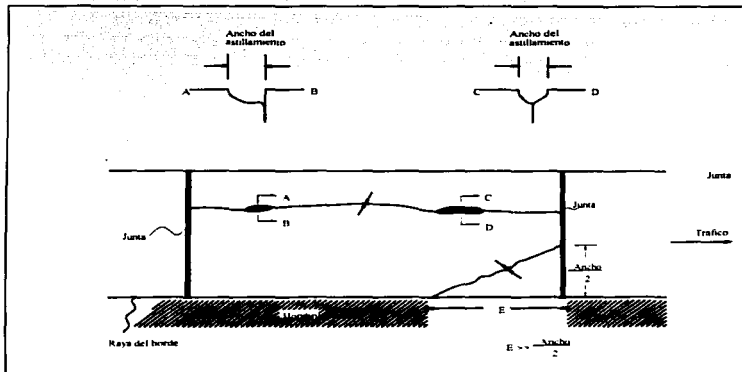


Fig. 2.48. Grietas longitudinales.

Medición.

Registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal para cada nivel de daño.

Además registrar la longitud en metros (pies) de la grieta longitudinal con sellante en buenas condiciones, por cada nivel de daño.



Fi. 2.49. Grietas longitudinales leves.



Fig. 2.50. Grietas longitudinales moderadas.

Grietas transversales.

Descripción.

Son grietas predominantemente perpendiculares al centro de línea del camino.

Niveles de daño.

Leve.

Grietas con anchos < 3 mm. (0.125"), no esta astillado, y fallas no medibles, o bien selladas y los anchos no pueden ser determinados.

Moderado.

Grietas con anchos = 3 mm. (0.125"); y < 6 mm. (0.25"); o anchos de astillamiento < 75 mm. (3"); o fallas superiores a 6 mm. (0.25").

Severo.

Grietas con anchos = 6 mm. (0.25"); o anchos de astillamiento = 75 mm. (3"); o fallas = 6 mm. (0.25").

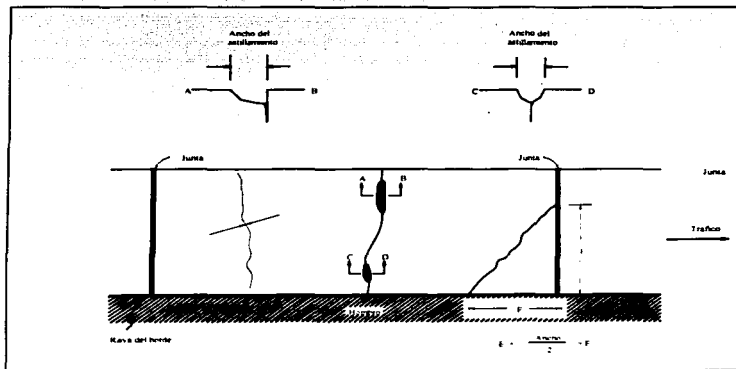


Fig. 2.51. Grietas Transversales.

Medición.

Registrar el número y longitud de las grietas transversales para cada nivel de daño. El rango de severidad de las grietas transversales completas, son el que presente el mayor grado de severidad, en por lo menos un 10% del total de la longitud de las grietas. El registro de longitud, en metros (pies), es el total de la longitud de la grieta y es asignada con la presencia del nivel de daños más severos en por lo menos del 10% del total de la longitud de la grieta.

Además registra las longitudes en metros (pies), de las grietas transversales para cada nivel de daños con sellos en buenas condiciones. El registro de longitud, en metros (pies), es el total de la longitud de grietas bien selladas y se asigna para los niveles de daños de las grietas. Registrar solamente cuando el sello esta en buenas condiciones por lo menos en el 90% de la longitud de la grieta.



Fig. 2.52. Daños moderados de grietas transversales.



Fig. 2.53. Daños severos de grietas transversales.

DEFICIENCIAS EN JUNTAS.

Daños en sello de juntas.

Descripción.

La junta con sello dañado es en cualquier condición la que permite la incompresibilidad de los materiales o una significativa cantidad de agua que se infiltra por las juntas de la superficie. Tipos de daños en los sellos de la junta son:

Extrusión, endurecimiento, falta de adhesivo (ligadura), falta de cohesivo (desprendimiento), o pérdida completa del sellante.

Intrusión del material extraño en la junta.
Crecimiento de hierba mala en las juntas.

DAÑO EN SELLOS DE JUNTAS TRANSVERSALES.

Niveles de daño.

Leve.

Los daños en el sello de las juntas existentes, deben ser menores del 10% de la junta.

Moderado.

Daño en el sello de las juntas existentes, están entre 10-50% de la junta.

Alto.

Daño en sello de juntas existentes, deben ser mayores del 50% de la junta.

Medición.

Indicar si la junta transversal ha sido sellada (sí o no).

Si es sí, registrar el número de juntas transversales selladas para cada nivel de daños.



Fig. 2.54. Sello de juntas con daño leve.

DAÑO EN SELLOS DE JUNTAS LONGITUDINALES.

Niveles de daños.

Ninguno.

Medición.

Registrar el número de juntas longitudinales que están selladas (0, 1,2).

Registrar la longitud total de las juntas longitudinales selladas con el sello dañado según se describió anteriormente. Las incidencias individuales son registradas solamente cuando sean como mínimo de 1 m. (3.3 pies) de longitud.



Fig. 2.55. Sello de juntas con daño moderado.

ASTILLAMIENTO DE JUNTAS LONGITUDINALES.

Descripción.

Agrietamiento, fracturas, astillamiento o desgaste de filos de la losa dentro de los 0.6 m. (2 pies) a cada lado de la junta longitudinal.
Niveles de daño.

Leve.

Astillamientos menores de 75 mm. (3") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material, o astillamiento sin pérdida de material y sin reparaciones.

Moderado.

Astillamiento de 75 mm. (3") a 150 mm. (6") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material.

Alto.

Astillamiento mayor a 150 mm. (6") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material.

Medición.

Registrar la longitud en metros (pies) de la longitud de la junta astillada para cada nivel de

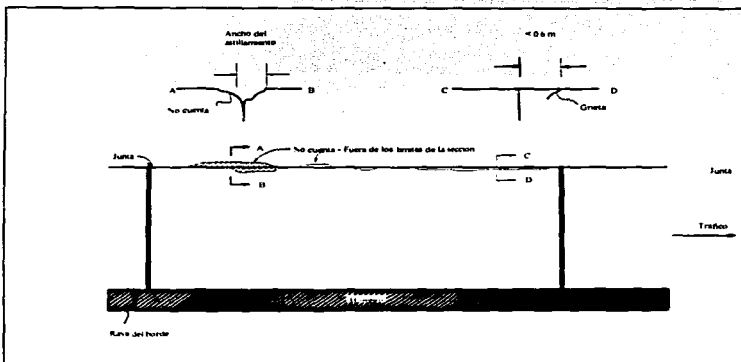


Fig. 2.56. Astillamiento de juntas longitudinales.

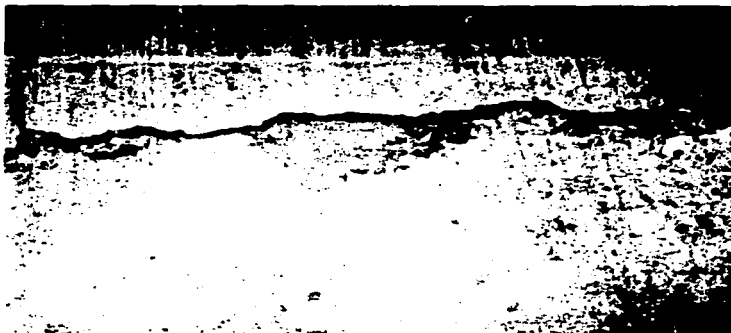


Fig. 2.57. Daños leves de astillamientos de juntas longitudinales.



Fig. 2.58. Daños severos de astillamiento en junta longitudinal.

ASTILLAMIENTO DE JUNTAS TRANSVERSALES.

Descripción.

Agrietamiento, fracturas, astillamiento o desgaste de los filos de la losa dentro de los 0.6 m. (2 pies) a partir de la junta transversal.

Niveles de daño.

Leve.

Astillamientos menores de 75 mm. (3") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material, o astillamiento sin pérdida de material y sin reparaciones.

Moderado.

Astillamiento de 75 mm. (3") a 150 mm. (6") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material.

Severo.

Astillamiento mayor a 150 mm. (6") de ancho, medido al centro de la junta, con pérdida de material.

Medición.

Registrar el número de juntas transversales enteras que se presentan en el mayor nivel de daño debe ser al menos del 10% de la longitud total de la junta. Registrar la longitud en metros (pies) de la porción astillada de la junta. Registrar el nivel de mayor daño que no debe ser menor del 10% de la longitud total del astillamiento.

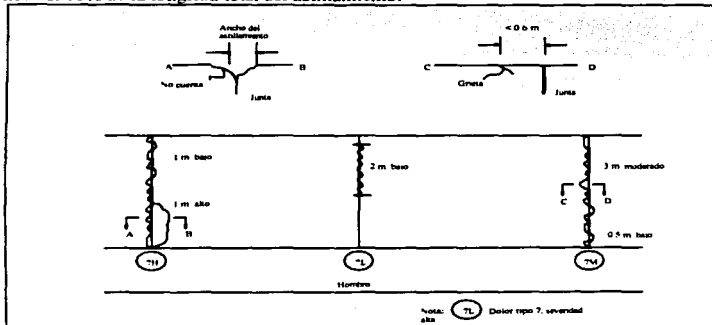


Fig. 2.59. Astillamiento de juntas trasversales.



Fig. 2.60. Astillamiento moderado en juntas transversales (vista general).

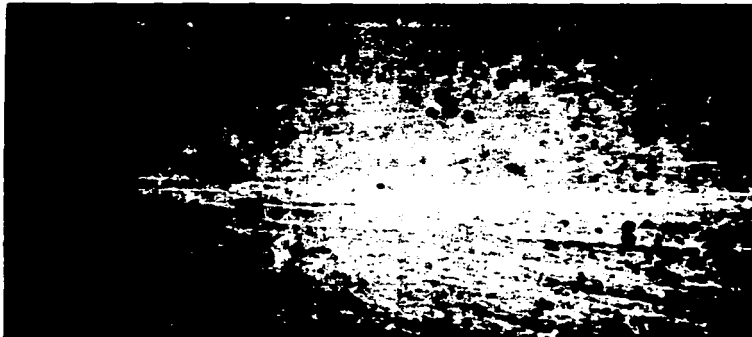


Fig. 2.61. Astillamiento moderado en juntas transversales (acercamiento).

DEFECTOS SUPERFICIALES.

Grietas en forma de mapa y escamas.

Grietas de escamas.

Descripción.

Una serie de grietas extendidas solamente dentro de la parte superior de la superficie de la losa. Frecuentemente; son grietas alargadas orientadas en el sentido longitudinal del pavimento y son interconectadas por finas grietas transversales o aleatorias.

Nivel de daño.

No aplicable.

Medición.

Registrar el número de incidencias y el metro cuadrado (pie cuadrado) del área afectada.

Escamados.

Descripción.

La escama es el deterioro de la parte superior de la superficie de una losa de concreto, normalmente en un espesor de 3 mm. (0.125") a 13 mm. (0.5"), y puede ocurrir en cualquier parte del pavimento.

Niveles de daño.

No aplicable.

Medición.

Registrar el número de incidencias y los metros cuadrados (pies cuadrados) del área afectada.



Fig. 2.62. Grietas en forma de mapa.



Fig. 2.63. Escamas.

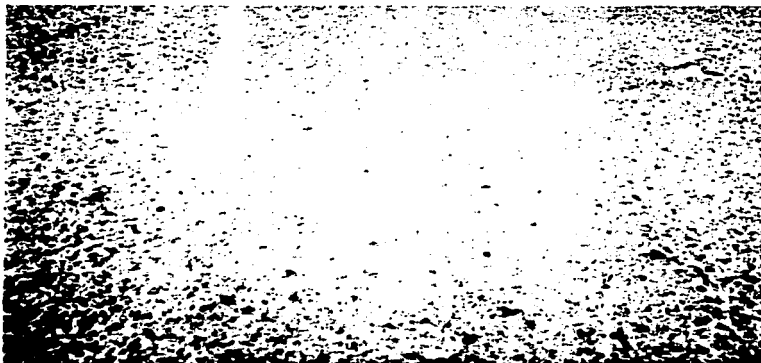


Fig. 2.64. Escamas (acercamiento).

Pulido de agregados.

Descripción.

El mortero de la superficie y textura, se desgastan exponiendo el agregado grueso.

Nivel de daño.

No aplicable. Como quiera que sea, el grado de pulido se ve reflejado en la reducción de fricción de la superficie.

Medición.

Registrar por metro cuadrado (pie cuadrado) de la superficie el área afectada.



Fig. 2.65. Pulido del agregado.

Erupciones.

Descripción.

Pérdida de pequeñas piezas de la superficie del pavimento, normalmente de un diámetro de 25 mm. (1") a 100 mm. (4") y profundidad de 13 mm. (0.5") a 50 mm. (2").

Niveles de daño.

No aplicable. De cualquier modo, los niveles de daño pueden ser definidos en relación a la intensidad que no se pudo apreciar en las erupciones.

Medición.

Registrar el número de erupciones por metro cuadrado (pie cuadrado).

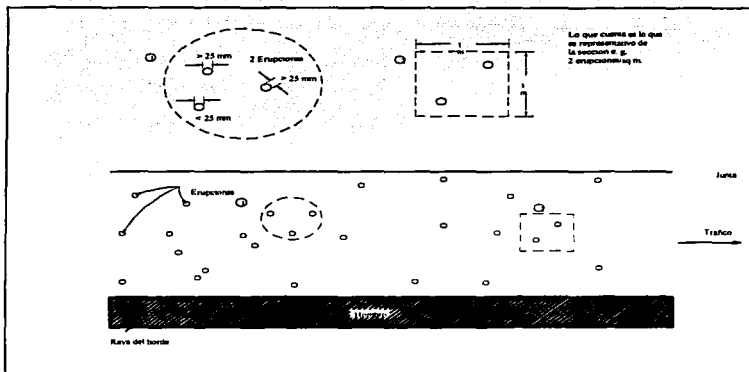


Fig. 2.66. Erupciones.



Fig. 2.67. Una erupción.

FALLAS DIVERSAS.

Dislocamiento.

Descripción.

Desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en las juntas o grietas transversales, frecuentemente acompañado por una desintegración del concreto en esa área.

Niveles de daño.

No aplicable. De cualquier modo, el nivel de daño puede ser definido por el efecto relativo que provoque en la transitabilidad y seguridad.

Medición.

Registrar el número de dislocamientos.

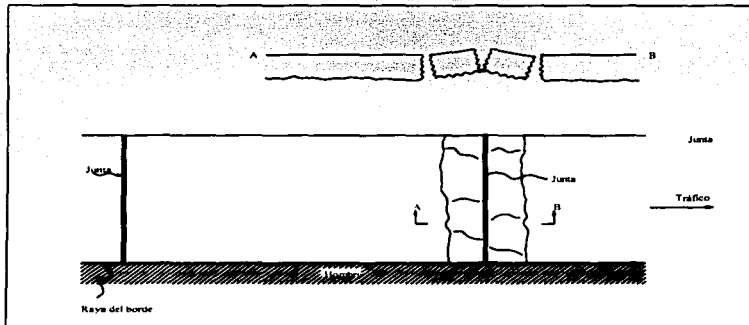


Fig. 2.68. Dislocamiento.



Fig. 2.69. Un desplazamiento.

Desnivelado de juntas transversales y grietas.

Descripción.

Diferencia de elevaciones al cruzar una junta o una grieta.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daños podrán ser definidos por categorías de las mediciones tomadas. Un registro completo de las mediciones es más deseable, porque es más exacto y repetible que los niveles de daño.

Medición.

Registrar en milímetros (pulgadas) cerrando al milímetro (0.04"); 0.3 m. (1 pie) del lado exterior del carril de circulación y 0.75 m. (2.5 pies) del lado exterior de la rodera.

Si la losa de "acercamiento" es más alta que la losa de "salida", el registro de la falla es positivo (+); si la losa de acercamiento es más baja, el registro es negativo (-).

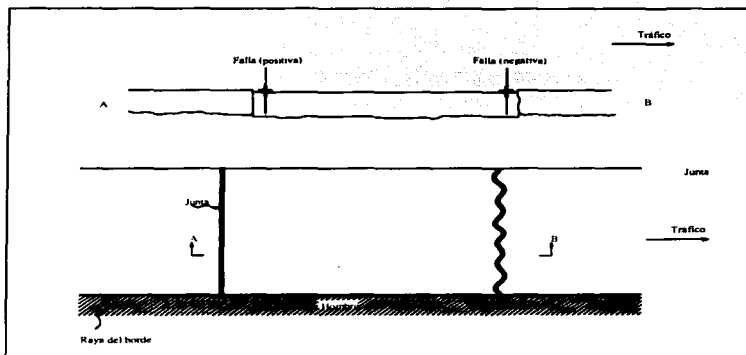


Fig. 2.70. Fallas en juntas transversales y grietas.



Fig. 2.71. Falla en grietas transversales.

HOMBROS CAÍDOS.

Descripción.

Diferencia en elevación entre la orilla de la losa exterior del hombro; típicamente ocurre cuando el hombro del lado exterior se hunde.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daño podrán ser definidos por categorías de las mediciones tomadas. Un registro completo de las mediciones es más deseable, es más exacto y repetible que niveles de daño.

Medición.

Medir las juntas de construcción longitudinal entre la orilla del camino y el hombro. Registrar en milímetros (pulgadas) y cerrarlo a la milésima (0.04 pulg.) en intervalos de 15 m (50 pies) a lo largo de la junta del hombro. Si la superficie del carril de circulación es más baja que el hombro, registrarse como negativo (-) el valor.

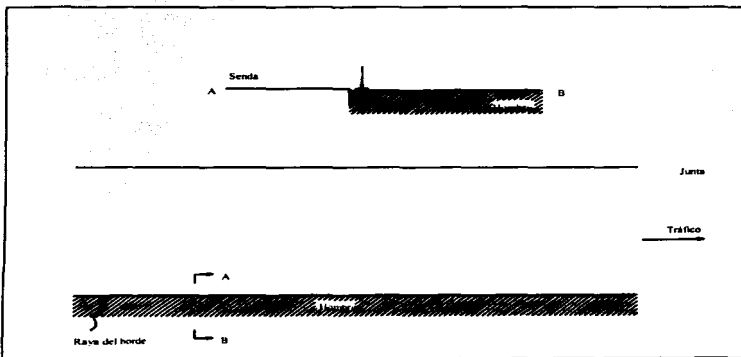


Fig. 2.72. Hombros caidos.



Fig. 2.73. Hombros caídos.

SEPARACIÓN DEL HOMBRO.

Descripción.

Es la separación de la junta entre la orilla de la losa y el hombro.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daño podrán ser definidos por categorías de las mediciones tomadas. Un registro completo de las mediciones es más deseable, es más exacto y repetible que niveles de daño.



Fig. 2.76. Bien sellado, separación de hombros.

BACHES/BACHES DETERIORADOS.

Descripción.

Una porción, tan grande como 0.1 m^2 (1 pie²), en toda la losa de concreto original que pueda ser removida o reemplazada, o una aplicación adicional de material después de su construcción original.

Niveles de daño.

Leve.

Baches que tienen los daños menos severos de cualquier tipo; y fallas no apreciables o hundimientos en el perímetro del bache.

Moderado.

Baches que tienen daños moderados de cualquier tipo; o fallas o hundimientos sobre los 6 mm. (0.25") en el perímetro del bache.

Severo.

Baches que tienen daños severos de cualquier tipo; o fallas o hundimientos = 6 mm- (0.25") en el perímetro del bache.

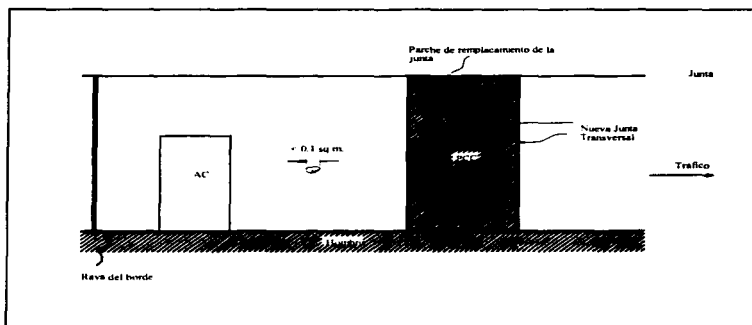


Fig. 2.77. Baches/baches deteriorados.

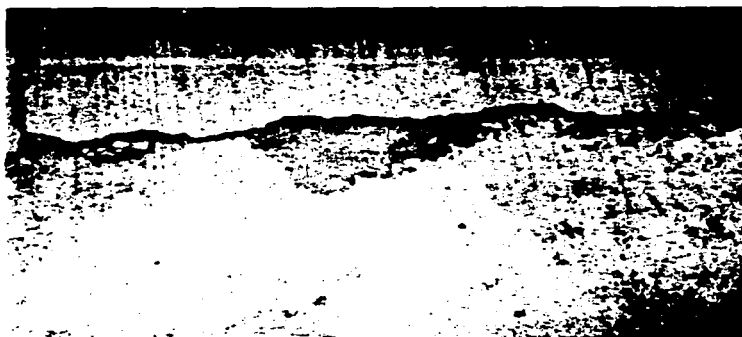


Fig. 2.78. Pequeño bache en el asfalto de concreto.

Medición.

Registrar el número de baches y por metro cuadrado (pies cuadrados) que es afectada en el área de la superficie para cada nivel de daño: registrar por diferente tipo de material separadamente (rígido contra flexible).

Para losas reemplazadas, la porción de cada losa así como bache separado y porciones de juntas continuas.



Fig. 2.79. Bache de concreto asfáltico con daños leves.



Fig. 2.80. Bache de concreto asfáltico con daños severos.

AFLORAMIENTO DE HUMEDAD.

Descripción.

La infiltración o expulsión de agua por debajo del pavimento a través de las grietas. En algunos casos es detectable por el depósito de material fino sobre la superficie del pavimento, el cual es deslavado (bombeado) por las capas de soporte y tiende a manchar la superficie.

Niveles de daño.

No aplicable. Los niveles de daños no son empleados porque la cantidad y el grado de afloramiento del agua cambian con las condiciones de variación de humedad.

Medición.

Registrar el número de incidencias de afloramiento de la humedad y la longitud en metros (pies) del pavimento afectado.



Fig. 2.81. Afloramiento de humedad.

CAPITULO III

Tendencia y cualidades de los pavimentos.

TENDENCIAS Y CUALIDADES DE LOS PAVIMENTOS.

TENDENCIA MUNDIAL.

Actualmente prevalece en el mercado internacional la comercialización de crudos ligeros y la amenaza constante de la introducción de altos volúmenes de crudo Iraquí y reservas estratégicas de defensa de E.U., los cuales provocan inestabilidad en el mercado y reducción en el precio de los crudos ligeros y poco rentable la refinación de los crudos pesados.

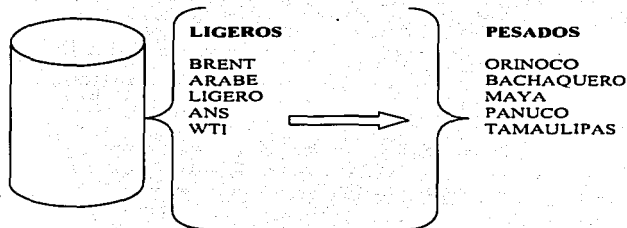


FIG. 3.1

Una alternativa económica de aprovechamiento de los crudos pesados es la producción de asfaltos en sustitución de combustóleo, es de mencionar que no todos los crudos pesados proporcionan asfaltos de alta calidad debido al alto volumen de diluyente requerido en su formulación, este diluyente por lo regular altera las propiedades físicas del asfalto incrementando las características viscosas y no las elásticas como es deseable con tendencia a presentar problemas de deformación permanente.

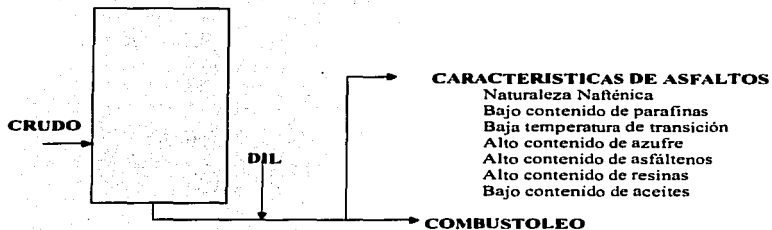


FIG.3.2

El proyecto, la construcción y la conservación de los pavimentos implica tomar en cuenta los avances tecnológicos presentados en recientes congresos sobre esta materia (University of Texas and University of Washington, 1997), cuya tendencia se resume a continuación.

- Modelación teórica más realista e innovadora del comportamiento de los pavimentos, que incorpore la caracterización de los materiales obtenida de pruebas no destructivas, como las resultantes del deformómetro de impacto (Orozco y Torres, 1994) y el perfilómetro láser (Torres, 1998). La aplicación de las redes neuronales artificiales debe tomarse en cuenta.
- Disponibilidad de datos altamente confiables, de campo y laboratorio, obtenidos de organismos oficiales e instituciones de investigación asociadas con empresas de consultoría u construcción.
- Incorporación más efectiva de los conceptos básicos de la mecánica de suelos en el proyecto y la evaluación de pavimentos, incluyendo su cimentación.
- Aplicación necesaria de parámetros geotécnicos más significativos, para suprimir el uso generalizado de conceptos empíricos como el **CBR** (California Bearing Ratio).

ESTADO ACTUAL Y FUTURO DE LOS PAVIMENTOS.

El estado actual y futuro de la tecnología de pavimentos se enfrenta a grandes retos debido a que se están presentando nuevas condiciones y necesidades, derivadas de las características impuestas por escenarios sociales, económicos y tecnológicos en que se desarrolla la vida moderna.

Un aspecto muy interesante es el originado por los importantes incrementos en el número y el peso de los vehículos de mayor carga, así como en los avances de la industria automotriz. Esto ha generado la necesidad de introducir nuevos materiales, más resistentes y durables, así como nuevas estructuras o tipos de pavimentos, lo que además necesita de mejores modelos matemáticos para poder considerar la presencia de tales materiales en el diseño de los pavimentos. Entre estos nuevos materiales pueden considerarse los modificadores asfálticos, geotextiles, agentes estabilizadores, etc., y en las nuevas tecnologías los conceptos reológicos

de los materiales, módulos elásticos, etc., así como la utilización de programas de computación más avanzados y los sistemas expertos.

Con respecto a la interacción del pavimento con el usuario, debe mencionarse que este se vuelve más exigente, deseando umbrales de aceptación más altos, lo cual modificara los estándares de calidad actuales, de manera de que lo que ahora parecen con niveles de excelencia, en poco tiempo serán considerados como de nivel medio. Se deberán dar más importancia a las características superficiales del pavimento que controlan la comodidad, la resistencia al derrapamiento, al desgaste de las llantas y del vehículo. En este último aspecto, se deberán controlar los niveles de ruido y contaminación ambiental en el entorno, con disposiciones y medidas de mayor cobertura.

En cuanto a los materiales, deberán quedar también sujetos a mejores controles y estándares de calidad, requiriéndose de la aplicación de los conceptos de calidad total y aseguramiento de la calidad. Un aspecto que preocupa actualmente es el consumo de energía para la producción de los materiales y de su puesta en obra, efectuándose análisis tanto de su costo, como de la energía gastada en obtenerlos. De igual manera se investigan las condiciones de comportamiento de los materiales a largo plazo, lo que da lugar a la elaboración de especificaciones que toman en cuenta esta propiedad. Ante la carencia de buenos materiales, se investiga también sobre la utilización de materiales fuera de especificaciones, materiales alternativos y técnicas de reciclado. Este aspecto se encuentra muy ligado al problema de refuerzo de los pavimentos antiguos, ante el incremento de las cargas y sus repeticiones, debiendo de desarrollar las técnicas del diseño del refuerzo necesario para adicionales ciclos de vida.

En el campo de la construcción también ha habido y habrá cambios importantes. Los equipos y maquinarias son más importantes y versátiles, se ha desarrollado el concepto de maquinas inteligentes, con cada vez mayor participación de la electrónica y robotización, así como de dispositivos más sensibles que permiten obtener mejores condiciones de acabado superficial, como sensores eléctricos, rayos láser, radar, etc. Es importante también en el aspecto constructivo, definir adecuadamente la logística de la obra, con el objeto de evitar interrupciones en la secuencia de la construcción, por su efecto sobre las condiciones superficiales del pavimento y en su calidad general.

Finalmente debe hacerse mención a la utilización de los sistemas de administración de pavimentos, capacitados para considerar la presencia de nuevos materiales y estructura de pavimento, los costos principalmente de operación, así como diferentes ciclos de vida. Están capacitados para efectuar análisis de sensibilidad para diferentes escenarios de economía, de políticas de mantenimiento y variabilidad en los materiales, en el tránsito y en la construcción, permitiendo así presentar la mejor información posible que permita tomar las soluciones adecuadas con la máxima eficiencia de los recursos disponibles.

CUALIDADES DEL PAVIMENTO.

Las principales cualidades que conviene asignar al pavimento son la seguridad, la rigidez, la durabilidad, la economía, la rugosidad, la flexibilidad y la comodidad, todas ellas sobre un apoyo firme y homogéneo desplantado sobre un terreno de cimentación apropiado como se ilustra en la Figura 3.3.

Otras cualidades de los pavimentos aunque no menos importantes son la impermeabilidad, la trabajabilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento. Si se concibe al pavimento como una obra geotécnica, sobresalen dos cualidades fundamentales: la rigidez y la flexibilidad, que deben balancearse estratégicamente para lograr la comodidad y la seguridad que exige el usuario, para lo cual se requiere la rugosidad de la superficie de rodamiento y la durabilidad implícita, dentro de la economía siempre presente durante la vida de la obra.

Algunas de estas cualidades se les describirán a continuación.

CUALIDADES DEL PAVIMENTO

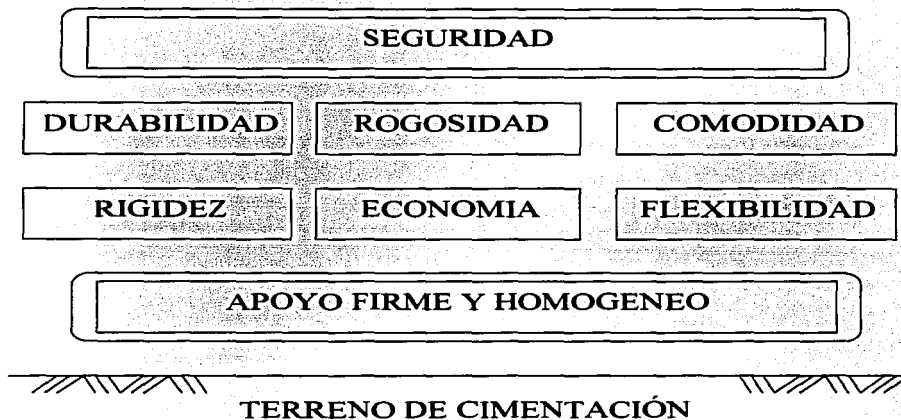


FIG.3.3

DURABILIDAD.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es de su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

Generalmente la durabilidad de un mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además, el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa del agregado firme, duro, y resistente a la separación, contribuye de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto mas cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas de tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas del agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos minerales como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos asociados con un poco de durabilidad del pavimento. La Figura 3.4 presenta una lista de algunas de estas causas y efectos.

Desde la crisis del petróleo de los años setenta existe la percepción generalizada que la calidad del asfalto ha cambiado. Muchas refinerías se vieron forzadas a concentrar sus esfuerzos en la producción de combustibles, enfocando la producción de ligante asfáltico como un subproducto de su actividad principal. Como resultado tenemos, por el lado de la oferta, asfaltos de menor cantidad.

Por el lado de la demanda, tenemos sin embargo una situación que exige ligantes de mayor calidad. Mayores volúmenes de tráfico, cargas más pesadas y mayores presiones de neumáticos, así como insuficiente inversión en mantenimiento y el empleo de diseños de mezcla obsoletos, han contribuido al deterioro de la red vial de muchos países, entre los cuales podemos contar a México y a los Estados Unidos.

Problemas como el ahuellamiento, la rotura térmica y de fatiga, así como el desprendimiento, atentan contra la durabilidad y la vida útil de las vías.

Tampoco ha sido muy favorable el hecho de contar con especificaciones de limitado valor para poder predecir o tener un correlato con el rendimiento en el pavimento bajo condiciones reales de tráfico, aún dentro del ámbito de estas mismas pruebas se puede tener dos ligantes con el mismo valor de penetración o de viscosidad a una misma temperatura, y que sin embargo verían considerablemente en su comportamiento a alta o baja temperatura. De más esta decir factores tales como el envejecimiento a largo plazo, o las propiedades a bajas temperaturas no son consideradas en lo absoluto. Un esfuerzo para modernizar las especificaciones de ligante y buscar un correlato con el desempeño real del pavimento, fue el programa SHRP, que dio como producto la especificación SUPERPAVE (acrónimo para Superior Performance Pavement).

Es imposible presentar en el marco de este documento una descripción detallada de Superpave.

Esta información se puede encontrar en material del Asphalt Institute, que se encuentra en español. Sin embargo se mostraran algunos aspectos importantes de esta moderna especificación orientada al rendimiento, ya que es uno de los factores que esta impulsando al crecimiento del mercado de ligantes modificados con SBR en todo el mundo.

La especificación SUPERPAVE ha desarrollado sus propios métodos de ensayo para poder tener una mejor idea de cual será el desempeño del asfalto en el pavimento. Entre ellos se destaca el empleo del DSR (Dynamic Shear Rheometer, o reómetro de reología dinámica). El valor que mide $G^*/\sin \delta$, tiene que tener un mínimo de 1.00 kPa, que es el valor que la investigación SHRP encontró; se debe cumplir para reducir considerablemente el ahuellamiento. La temperatura en la que ese valor mínimo se da, determina el grado superior de la especificación PG (Performance Graded).

POCA DURABILIDAD

CAUSAS	ESECTOS
Bajo contenido de asfaltos	Endurecimiento rápido de asfalto y desintegración por pérdida del agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua (hidrofilicos)	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado, o desintegrado.

FIGURA 3.4 Causas y efectos de una poca durabilidad.

IMPERMEABILIDAD.

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica esta relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial del aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es más importante que su cantidad. El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas. Virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad este dentro de los límites especificados. La Figura 3.5 cita ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa.

MEZCLA DEMASIADO PERMEABLE.

Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causan, tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla.
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada	Resultara en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua y baja estabilidad.

FIGURA 3.5 Causas y Efectos de la Permeabilidad.

TRABAJABILIDAD.

La trabajabilidad esta descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar, aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada modificando los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa. Para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno mineral también puede afectar también la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastillar a mano cantidades considerables de mezcla. Como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas, y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, sí tiene efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también puede afectar la trabajabilidad de la mezcla.

La Figura 3.6 cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

MALA TRABAJABILIDAD

Tamaño máximo de partícula: grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable; superficie áspera, difícil de compactar
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna o blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tierna, altamente permeable
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable

FIGURA 3.6 Causas y efectos de problemas en la trabajabilidad.

FLEXIBILIDAD

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla granulométrica abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

RESISTENCIA A LA FATIGA.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tiene un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación. La resistencia a la fatiga del pavimento (el periodo de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espeso de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociada con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

La Figura 3.7 presenta una lista de las causas y efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

MALA RESITENCIA A LA FATIGA.

Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga
Vacios altos de diseño	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga
Espesor inadecuado de pavimento	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga

FIGURA 3.7 Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga.

Una superficie áspera y yugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de gradación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgadas). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimiento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimiento de los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

La Figura 3.8 presenta una lista de las causas y efectos relacionados con una mala resistencia al deslizamiento.

POCA RESITENCIA AL DESLIZAMIENTO

Causas	Efectos
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento

FIGURA 3.8 Causas y Efectos de Poca Resistencia al Deslizamiento.

Otras cualidades de los pavimentos son los modificadores; a continuación se hará mención de algunos modificadores

VENTAJA SOBRE USO DE ADITIVOS.

El aditivo para asfalto, puede ser usado para mejorar la eficiencia en la construcción de carreteras, autopistas, vías urbanas, aeropuertos, estacionamientos, etc. Así como el mantenimiento de las mismas con las siguientes ventajas:

- Mayor vida útil en los pavimentos terminados.- La razón para usar un agente antidesprendimiento en la superficie de los pavimentos, como son los aditivos, es asegurar un enlace inmediato bueno entre el asfalto y el agregado, aun si el agregado esta mojado durante el periodo de construcción. Además el beneficio del aditivo no esta restringido solo al lapso de construcción de la obra pues continua protegiendo la superficie de la carretera del desprendimiento, prolongando la vida de la superficie de la carretera. Esto es principalmente debido al fuerte enlace entre el grupo amina y el agregado, principalmente por que son insolubles en agua y por consecuencia no son deslavables, aun si la carretera esta expuesta frecuentemente a inundaciones.
- En asfalto en caliente para mejorar la adhesividad en las mezclas en caliente.
- En asfaltos rebajados, como promotor de adherencia en mezclas en frío.
- En riegos de impregnación, para mejorar la penetración del impregnante.
- En riegos de liga para una buena unión base-carpeta.

- Puede ser usada una selección de agregados muy amplia, incluyendo materiales aptos para el desprendimiento, es decir pétreos difíciles de adherencia.
- En condiciones adversas de humedad ambiental.
- Cuando se utilicen agregados con alto contenido de sílice.
- Cuando el diseño de la mezcla no cumpla con las especificaciones de la S. C. T. descritas en el libro de normas No. 4 y 6 como por ejemplo, la prueba de desprendimiento por fricción entre otras.
- Proporciona mayor poder cubriente.
- Asegura afinidad con todo tipo de material pétreo, incluyendo pétreos de bajo equivalente de arena (materiales sucios).
- Mejora la afinidad con materiales que contienen humedad.
- Garantiza la calidad excelente en el pavimento.
- Facilita la incorporación de los finos.
- Proporciona mejor alcance a la carpeta.
- Mejora extraordinariamente la mezcla con el material pétreo, reduciendo el volumen de asfalto requerido y por lo tanto incide en el costo.
- Optimiza la utilización de los equipos de mezclado, reduciendo considerablemente las horas maquina, reedituando la inversión.

El uso de aditivos, es un apoyo fundamental en la solución de estos problemas, no solo por su economía y facilidad de manejo, sino que, al retardar su deterioro por oxidación, alarga la vida útil del pavimento, haciéndolo más resistente a la acción del tiempo, del clima y del tránsito, lo que incide de manera directa a su duración y por lo tanto, en rentabilidad de la inversión.

APLICACIONES DEL ADITIVO.

Los ingenieros proyectistas de pavimento tienen como uno de sus objetivos primordiales, determinar por medio de pruebas de laboratorio, las condiciones óptimas de adherencia, en función de las circunstancias de cada caso en particular; (tipo de materiales, condiciones climáticas, etc.) a efecto de asegurar desde su origen la calidad del pavimento.

Cuando los bancos disponibles de material pétreo no cumplen los requisitos de adherencia con el asfalto, por la falta de afinidad en cargas eléctricas, o cuando aun tratándose de materiales afines, se presentan problemas de cubrimiento del material pétreo, en especial de los finos, el proyectista tiene la opción de soluciones alternativas, como es la utilización de aditivos.

El ingeniero responsable de la obra deberá tener un amplio conocimiento en la materia y en particular del proyecto específico, así como una estricta supervisión de la obra que con apoyo

de un laboratorista de materiales calificado, verifique la calidad de los trabajos durante el proceso.

Por otra parte, la extraordinaria facilidad de manejo del asfalto tratado con aditivos, representa no solo mayor control y uniformidad de las mezclas, sino también ahorros muy significativos, traducidos en reducción de asfalto y horas maquina requeridos. En trabajos de bacheo y muy especialmente en trabajos de renovación, el uso del aditivo adecuado en los riegos de liga para carpeta existente, con el asfalto y el material pétreo de la nueva carpeta (carpeta de sello) para que esta sea capaz de resistir la acción abrasiva del tránsito y trabajar monolíticamente con la ya existente.

MEZCLAS EN CALIENTE.

En muchos países el desprendimiento que se presenta en las mezclas en caliente es un grave problema debido a los altos costos que implican las fallas en el pavimento, el uso de aditivos para asfalto se ha incrementado en muchas naciones ya que la vida del pavimento puede ser incrementado substancialmente con un incremento en el costo inicial muy bajo.

En las mezclas en caliente el desprendimiento puede ser iniciado en dos formas:

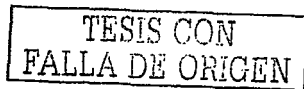
Puede ser iniciado en la parte superior del estrato del asfalto si la base granular esta mojada o si el agua capilar viene de capas más bajas. El agua trabaja a través de la capa de asfalto causando desprendimiento. La capacidad de soporte disminuye y al paso del tráfico las grietas aparecen hasta llegar a un grado avanzado y el pavimento comienza a desintegrarse. Este tipo de desprendimiento es difícil de detectar y las fallas muchas veces pueden ser referidas a otra causa tales como flexibilidad granular por falta de compactación en la base o en la sub-base. Si un completo drenaje no puede ser asegurado en una base granular no tratada se recomienda el uso de aditivo para la capa asfáltica. La superficie de rodamiento de una base bituminosa frecuentemente tiene un alto contenido de vacíos y el agua puede circular libremente a través de las interconexiones de los mismos.

También puede empezar en la superficie de rodado cuando esta saturada, ya que la acción del tráfico presiona el agua dentro de la superficie enfrente de las llantas y la succiona hacia atrás de las llantas. Este bombo de agua cuando varia la presión a través de los vacíos, el proceso de desprendimiento puede comenzar en la superficie de la carretera. El mortero se separa de los agregados ásperos los cuales luego se deshilachan en la superficie. La superficie absorbe agua más fácilmente y la falla se acelera rápidamente.

En las plantas de asfalto los agregados normalmente se secan calentándolos y posteriormente se mezclan con asfalto, la temperatura de la mezcla varia entre 140° C y 180° C para mezclas en caliente, principalmente dependiendo del tipo de asfalto.

En este proceso el agregado es mezclado con el asfalto en el secado. Muy frecuentemente el agregado contiene cierta cantidad de humedad cuando se mezcla con el bitumen y algo de humedad se queda en el agregado después de la mezcla, la adhesión adecuada se logra adicionando un aditivo.

En el reciclado de mezclas en caliente se ha incrementado su uso especialmente en los Estados Unidos. Si se observa desprendimiento en un pavimento a ser reciclado se requiere y se recomienda el uso de los aditivos.



En la relación a la obtención de acuaplaneo y la mejora en la resistencia de la superficie se deben usar mezclas en caliente de grado abierto (open grade). Otra ventaja de este tipo de superficie es el ruido reducido del tráfico. En esta mezcla asfáltica de grandes vacíos, el agua puede circular libremente a través de los espacios vacíos interconectados y es siempre necesario utilizar aditivos para el asfalto.

RAZONES PORQUE MODIFICAR CON LATEX DE SBR

El modificar con este material es una forma relativamente sencilla que requiere poca inversión para mejorar características del asfalto tales como resistencia a la deformación permanente a altas temperaturas, flexibilidad a baja y una mayor resistencia a la fatiga, mayor cohesión y adhesión y con ello menor pérdida de agregado. La incorporación del elastómero de SBR en niveles del 2 al 3% sobre el asfalto, genera la formación de una red elastómerica que permite aumentar la viscosidad (resistencia al ahuellamiento) del ligante, sin volverlo rígido (buen comportamiento a la fatiga) ni quebradizo (resistencia a los ciclos térmicos día/noche e invierno/verano).

Sin embargo, un problema que enfrentan la gran mayoría de polímeros (no solamente el SBR) al modificar en caliente, es el tema de la limitada compatibilidad con buen número de ligantes asfálticos. Ahí es cuando se corre el riesgo de empezar a seguir caminos (como el empleo de polímeros de menor peso molecular, uso de solventes orgánicos, etc.) que pueden afectar el rendimiento de la mezcla modificada, al buscar una mayor compatibilidad.

LA RED POLIMÉRICA DE LA EMULSIÓN MODIFICADA.

Se considera al látex de SBR, como alternativa inteligente para el mercado mexicano.

Una pequeña cantidad de residuos de la emulsión obtenida tras el secado fue puesta tras el microscopio y calentado hasta temperaturas de mezcla en caliente (hasta 200°C). La fina estructura polimérica se mantuvo intacta, aun cuando esta fue expuesta por 30 minutos a temperaturas de 180°C.

Esta estructura es la que confiere las ventajas antes señaladas, y mejora la calidad de las emulsiones empleadas en tratamientos superficiales, mortero asfáltico y micropavimentos.

CAPITULO IV

Prevención al deterioro de los pavimentos.

FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DETERIORO DEL PAVIMENTO.

Estos factores corresponden fundamentalmente a las condiciones ambientales (sol, lluvia, viento, etc.), de tránsito (intensidad y frecuencia de cargas) y de capacidad estructural de las capas (repetición de esfuerzos y deformaciones, desplazamientos verticales, etc.).

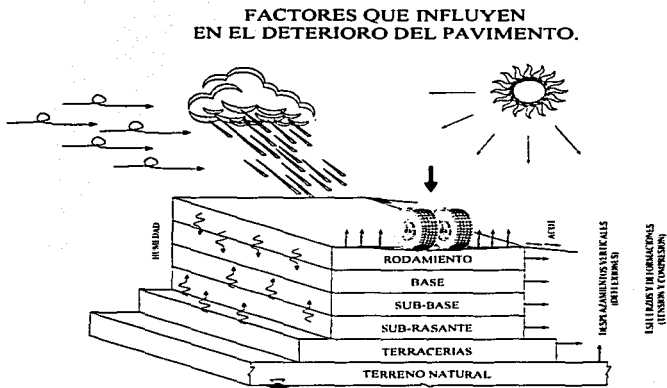


FIG.4.1

Todos los factores deben considerarse en las diversas épocas del año ya que, en algunos materiales, las propiedades interrelacionadas de resistencia-deformabilidad-permeabilidad-tiempo son susceptibles a los cambios de temperatura, humedad, etc. Por ejemplo, el módulo de resiliencia en suelos con finos disminuye para una misma capacidad (volumen de sólidos/volumen total) al aumentar el contenido de agua, según se ilustra en las isocaracterísticas del diagrama CAS.

DIAGRAMA "CAS"- MODULO DE RESILIENCIA

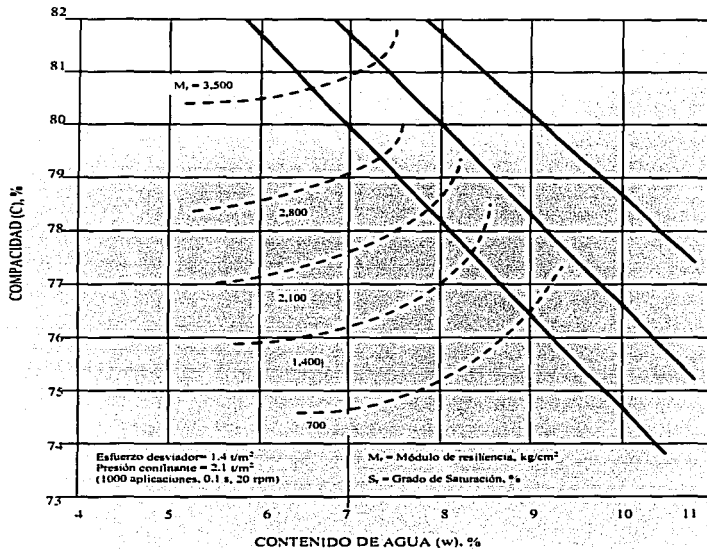


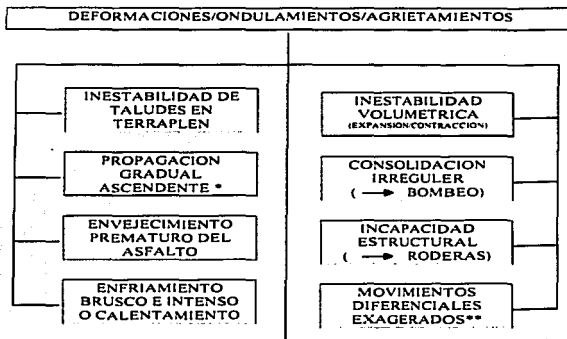
FIG.4.2

PRINCIPAL DETERIORO DEL PAVIMENTO.

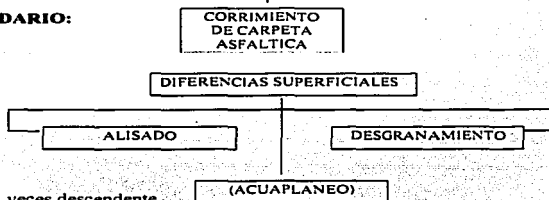
En forma general puede establecerse que el principal deterioro del pavimento se divide en primario (deformaciones-ondulamientos-agrietamientos) y secundario (deficiencias superficiales).

PRINCIPAL DETERIORO DEL PAVIMENTO

PRIMARIO:



SECUNDARIO:



- * A veces descendente
- ** Por raíces de árboles.

FIG.4.3

Para el deterioro primario deberán tomarse en cuenta aspectos como:

- a) La inestabilidad de taludes en terraplén.
- b) La propagación gradual ascendente de grietas o fisuras (a veces descendente).
- c) El envejecimiento prematuro del asfalto.
- d) El enfriamiento brusco e intenso o calentamiento del concreto (asfáltico o hidráulico).
- e) La inestabilidad volumétrica de los suelos finos arcillosos (expansión/contracción).

- f) La consolidación irregular de las capas del pavimento que, en caso de las capas rígidas, podría conducir al efecto del "bombeo".
- g) La incapacidad estructural de las capas del pavimento, que puedan inducir a la formación de roderas.
- h) Los movimientos diferenciales exagerados.
- i) El corrimiento de la carpeta asfáltica.

En la figura 4.4. Se indican con más detalle las causas de algunos deterioros al tomar en cuenta los efectos del clima, los materiales y el tránsito. Por ejemplo:

- a) La inestabilidad volumétrica los suelos finos arcillosos es generada por las variaciones cíclicas de humedad (fuertes lluvias e intensa evaporación), motivadas por los grandes cambios estacionales de temperatura de la región.
- b) La consolidación irregular está íntimamente ligada a la heterogeneidad relativa al espesor, la compacidad y a la humedad, iniciales de las capas: cuando se infiltra el agua por las fisuras y se tiene un subdrenaje ineficiente, se produce el reblandecimiento de los materiales subyacentes, con o sin pérdida de finos, lo cual da lugar al "bombeo" y a la consiguiente ruptura progresiva de las capas rigidizadas superiores.
- c) La incapacidad estructural del pavimento está relacionada con la insuficiencia en los espesores y en las rigideces relativas de las capas, lo cual da lugar al fenómeno de fatiga por la repetición, de las cargas del tránsito, sobre todo cuando son de gran intensidad y frecuencia.
- d) Los movimientos diferenciales exagerados son motivados por los cambios de rigideces en estructuras u obras inducidas.
- e) El corrimiento de las carpetas asfálticas normalmente se debe al exceso de asfalto o a la falta de liga entre capas.

DETERIORO PRIMARIO DEL PAVIMENTO.

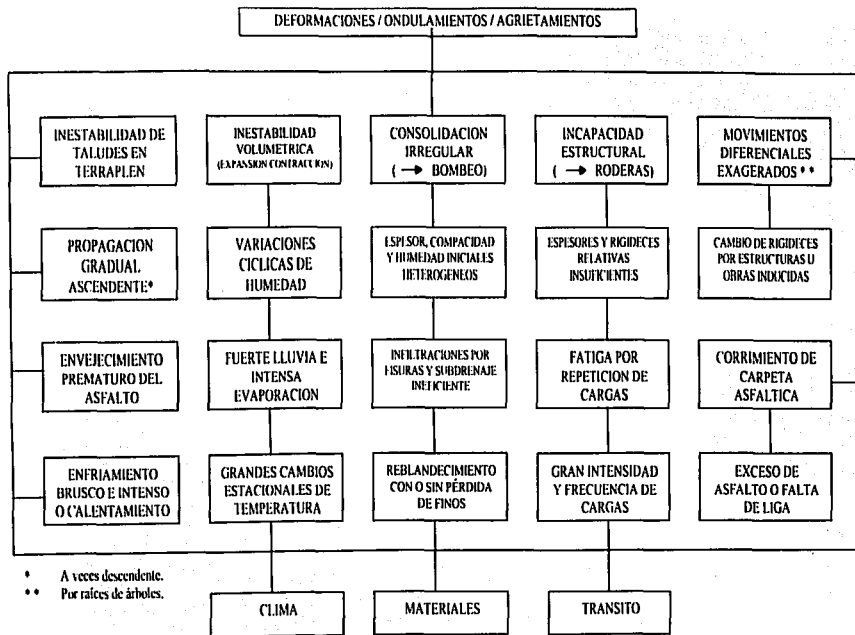
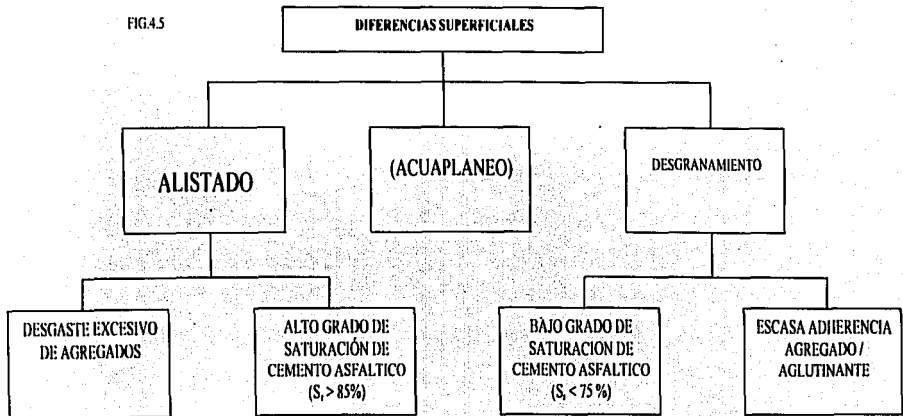


FIG.4.4

DETERIORO SECUNDARIO DEL PAVIMENTO.

FIG.4.5



Lo más importante para el deterioro secundario, es considerar el alisado y el desgranamiento de la superficie de rodamiento, así como el efecto de acuaplaneo durante las lluvias. En la figura 4.6. Se clasifican las deficiencias superficiales con más detalle, como se indica a continuación:

- a) El alisado se debe fundamentalmente al desgaste excesivo de los agregados o al alto grado de saturación del cemento asfáltico.
- b) el desgranamiento se puede deber a la escasa adherencia entre los agregados y el aglutinante o al bajo grado de saturación del cemento asfáltico.

Conviene hacer notar que el mejor diseño de una mezcla asfáltica corresponde al que tiene un grado de saturación (S_v) comprendido entre 75 y 85 % para un módulo Marshall de 400 a 600 Kg./cm² en carreteras y de 700 a 1000 Kg./cm².

PREVENCIÓN DE LA FATIGA EN PAVIMENTOS.

La capacidad de carga (o estructural) en cada una de las capas del pavimento es función del número de repeticiones de cargas en las mismas. Estas capas sufren un deterioro serio al no tomar en cuenta los niveles inadmisibles que requieren construcción costosa cuando ocurre el "deterioro crítico por fatiga", según se ilustra en la figura 4.6. Es preferible proceder oportunamente a la etapa de rehabilitación para reforzar (mejorar) la capacidad estructural de las capas del pavimento, dentro del nivel admisible recomendado, a partir de las pruebas de campo y de laboratorio programadas.

PREVENCIÓN DE LA FATIGA EN PAVIMENTOS

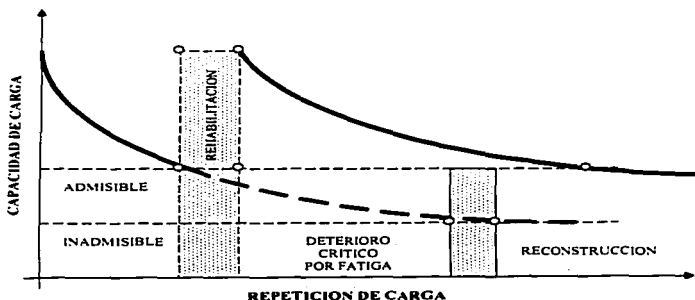


FIG.4.6

Es muy importante insistir en que debe conocerse bien el efecto de la repetición de las cargas en la disminución de la capacidad de carga de las capas, con el fin de tomar decisiones oportunas para la rehabilitación o la reconstrucción del pavimento, al mínimo costo.

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS.

MATERIAL	MÓDULO ELÁSTICO (E), kg/cm ²		RELACION DE POISSON (μ)
	RECOMENDADO	OBTENIDO*	
CONCRETO	ASFALTICO	30,000 a 40,000	0.35
	HIDRAULICO	250,000 a 400,000	0.15 a 0.20
	COMPACTADO	70,000 a 120,000	0.25 a 0.35
SUELOS GRUESOS	BASES	3,000 a 5,000	0.40
	SUB-BASES	2,000 a 4,000	
SUELOS FINOS	SUB-RASANTE Y CAPAS INFERIORES	300 a 1,500	0.45
		70 a 1,000	

* A partir de mediciones con el "deformómetro de impacto" (FWD)

FIG.4.7

Para prevenir la fatiga de en las capas del pavimento, es muy importante conocer el comportamiento de los módulos elásticos absolutos y relativos de los materiales constitutivos, cuya caracterización se presenta en la figura 4.7.

A partir de mediciones con deformómetros de impacto (HWD-Dynastest y FWD-Kuab) se ha logrado obtener módulos elásticos en diferentes casos de la República Mexicana (cerca de 6 mil Km). Los perfiles teóricos de desplazamiento vertical típicos se ilustran en la figura 4.8., y los obtenidos con deformómetro de impacto en la figura 4.8.; en que se muestra la importancia de los puntos de inflexión en la rigidez mayor alejamiento de estos puntos con respecto al centro de carga.

Por la importancia de la geotecnia en el proyecto, la construcción y la conservación de los pavimentos, conviene que en los estudios geotécnicos correspondientes se incluya la siguiente información o actividad:

Terracerías.

- Perfil geológico o de suelos.
- Clasificación geotécnica o de suelos.
- Identificación de suelos problemáticos (blandos, expansivos, colapsables, corrosivos, orgánicos, etc.)
- Dificultad de extracción de materiales, incluyendo velocidades de propagación de ondas sísmicas.
- Coefficiente de variación volumétrica (corte a terraplén, banco a terraplén).
- Taludes recomendables en cortes y terraplenes.
- Alternativas de subdrenaje.
- Características de bancos de materiales.

Pavimentos.

- Definición de la intensidad y la frecuencia de las cargas actuales y futuras, que incluyan presiones y áreas de contacto, configuración y distribución de ejes, etc.
- Proposición de estructuraciones para proyecto nuevo, de rehabilitación o reconstrucción.
- Estimación de módulos elásticos y relaciones de Poisson en cada capa.
- Análisis de esfuerzos y deformaciones en las capas.
- Estimación de la vida útil a partir de los criterios de fatiga disponibles.
- Comparación económica entre alternativas.
- Evaluación permanente estructural.

PERFILES DE DESPLAZAMIENTO VERTICAL TÍPICOS

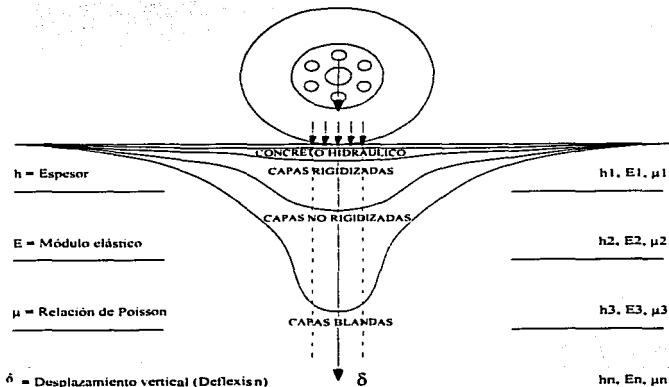


FIG 4.8

EMPLEO DE LIGANTES ASFALTICOS.

El empleo de los ligantes asfálticos en la construcción de carreteras, presenta en forma generalizada el problema de la adhesividad entre éstos y los materiales pétreos, debido a la humedad o el polvo presente.

Actualmente, la técnica que se emplea en las refinerías para obtener el mayor provecho posible del petróleo crudo hace que los ligantes asfálticos sufran modificaciones en sus propiedades físicas y químicas. Esto obliga al ingeniero de caminos a tener una constante vigilancia en las propiedades de los asfaltos en relación con los materiales pétreos, la adhesividad es una de las propiedades principales afectadas.

La adhesión entre el asfalto y el agregado es un factor importante para la vida útil de los pavimentos asfálticos. Muy frecuentemente la causa del deterioro y desgaste en las superficies de las carreteras puede ser atribuida a la falla de adhesión o desprendimiento.

El agua bajo ciertas condiciones tiene la habilidad de desprender el asfalto del agregado y una vez que se ha iniciado este proceso es acelerado por el tráfico. La mayoría de los agregados son más fácilmente mojados por el agua que por el asfalto. En muchos casos el proceso de desprendimiento es prevenido por el uso de aditivos, los cuales son agentes que promueven la adhesividad. El costo de usar aditivos de alta calidad y materia activa representa una parte muy pequeña del costo total de un pavimento asfáltico.

La durabilidad de los pavimentos bituminosos depende de muchos factores, entre ellos la resistencia al desprendimiento. El desprendimiento ha sido identificado en muchos países como la causa mayor de las fallas en los pavimentos. Por lo tanto se han incrementado el uso de los agentes anti-desprendimientos. Los aditivos por su origen aminito han probado ser los tipos adecuados para ser utilizados con el asfalto, las razones principales de estos son:

- Se asegura inmediata adhesión o liga entre el asfalto y el agregado.
- Se previene el desprendimiento causado por la acción del agua en el transcurso del uso del pavimento.
- Se presenta el desprendimiento en bases asfálticas durante su uso ocasionado por el agua capilar o sub-base granular húmeda.
- Se reduce la pérdida de capacidad de soporte y resistencia causada por el desprendimiento.

Pueden ser usados una selección de agregados muy amplia, incluyendo materiales aptos para el desprendimiento, es decir pétreos difíciles de adherencia. También pueden ser usados agregados húmedos.

FACTORES QUE AFECTAN LA ADHESIVIDAD.

Hay varios factores que impiden un buen cubrimiento y adhesividad entre asfaltos y agregados pétreos, entre los cuales podemos mencionar uno de los más comunes, que es la presencia de agua en las mezclas asfálticas, lo cual es debido principalmente a:

- Proceso de calentamiento insuficiente en agregados pétreos.
- Agregados para sello, con humedad residual.
- Asfaltos rebajados contaminados con agua.
- Alta humedad ambiental.
- Lluvia durante el tendido del producto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Presencia de humedad en bases de impregnación.

Otro factor que se debe considerar es:

- Agregados contaminados con polvo.

La presencia de humedad es una de las constantes en la problemática para conseguir mezclas asfálticas de alta calidad, que nos permitan obtener pavimentos de alta duración.

ADHESION ENTRE AGREGADO Y ASFALTO.

La adhesión del asfalto al agregado es un fenómeno superficial. Este depende del contacto de los dos materiales y de la atracción mutua de sus superficies.

Los agregados tienden a ser más o menos hidrofílicos (tendencia por el agua) lo cual significa que son fácilmente cubiertos por el agua.

El asfalto es hidrofóbico, no tiene atracción por el agua. Por lo tanto, muchos agregados también son atraídos por el asfalto. Si la superficie del agregado está cubierta por una capa delgada de agua, el asfalto podrá cubrir la partícula del agregado rápidamente pero no se adherirá a su superficie a menos que el asfalto reemplace la película de agua.

Así también, el asfalto puede cubrir el agregado vestido de polvo sin adherirse a él. La capa de polvo evita el contacto de la película con la superficie del agregado.

Para un contacto más cercano entre el asfalto y la superficie del agregado, el asfalto puede ser licuado tanto por calentamiento, emulsificándolo o disolviéndolo con solventes de petróleo. La habilidad de un asfalto para hacer contacto con la superficie del agregado es llamado poder de mojado. El poder de mojado del asfalto es ampliamente controlado por su viscosidad, así a menor viscosidad mayor poder de mojado.

El asfalto es un hidrocarburo y tiene un rango de tensión superficial mucho más bajo que el agua y que la mayoría de los agregados. Esto significa que el agua mojará a los agregados fácilmente que el bitumen y esa agua pueden desplazar al asfalto que ha cubierto un agregado seco.

Para tener un buen enlace entre el ligante y el agregado se debe cambiar la naturaleza de la superficie del agregado. La tensión superficial debe disminuirse para hacer al agregado más lipofílico (tendencia por el aceite).

Es importante también hablar de las rocas, cualquiera que sea su origen se dividen en tres grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas y casi siempre presentan un punto en común que es la presencia de sílice, que constituye aproximadamente el 60% de la corteza terrestre.

Los agregados son clasificados como alcalinos o ácidos. Los del tipo alcalino son calizas o carbonatos de calcio y mármoles, los del tipo ácido son silicatos como granitos y cuarzos. Esto simplifica al entender que todos los agregados contienen una mezcla de ambos tanto de minerales alcalinos como ácidos. Otro factor importante para las propiedades de adhesión de un agregado es su contenido de sílica SiO_2 .

Hay una convicción general sobre los agregados tales como las calizas (bajos en contenido de sílica) que dan buena adhesión con el asfalto. Esto puede explicarse por el hecho de que los asfaltos contienen ácido nafténico; el cual tiene un grupo ácido carboxílico, $-COOH$, y una parte del hidrocarburo que es similar a la estructura del asfalto. Cuando una molécula entra en contacto con el agregado alcalino, la parte ácida carboxilica será absorbida en la superficie

con las terminales del hidrocarburo hacia fuera. Esto cambia la superficie del agregado para que el ligante se adhiera aún en presencia del agua.

La mayor desventaja de los agregados calizos es que normalmente tienden a desgastarse o pulirse con el paso del tráfico.

Los agregados silicios normalmente no son tan sensibles al desgaste o pulido pero tienen la desventaja que al ser ácidos no responden a la acción del ácido nafténico del asfalto. De hecho los ácidos se contrarrestan entre ellos y es muy difícil de obtener un buen enlace entre ellos. Algunas veces hay componentes alcalinos en el ligante que son muy débiles y no pueden favorecer el alcance con la sílica.

Otros factores que afectan la adhesión del ligante con el agregado corresponden a propiedades de éste: textura de la superficie, la porosidad y la absorción. Las superficies lisas de los agregados no detienen la película del asfalto tan bien como en el caso de una superficie rugosa. Las partículas porosas que absorben el asfalto sostendrán mejor la película que las que tienen superficies lisas.

DESPRENDIMIENTO.

Es la ruptura del enlace de adhesión entre el agregado y el asfalto. De una manera u otra el agua penetra entre la película del asfalto y la superficie del agregado porque ésta tiene mayor atracción por el agua que por el asfalto, ocasionando que se rompa el enlace adhesivo.

Si una gota de asfalto es aplicada en la superficie de un agregado y luego inmensa en agua inmediatamente, se puede observar el ángulo de contacto entre el agua, el agregado y el asfalto. Esto es un método simple para mostrar el desarrollo de la adhesión o el desprendimiento.

Es un proceso de desprendimiento, por ejemplo el asfalto es repulsado del agregado debido a la falta de adhesión, la velocidad de éste proceso depende de la temperatura, tipo de agregado, composición y viscosidad del asfalto.

ADHESION ACTIVA.

Es aquella que se obtiene cuando un aditivo antidesprendimiento al asfalto de manera que aun cuando la superficie del agregado este mojada puede ser cubierta. En este momento intervienen mecanismos intermoleculares al haber afinidad entre las moléculas del ligante y el material pétreo. Es decir es la tendencia del ligante sobre la superficie del material pétreo y realizar el mojado correcto. En esta adhesividad intervienen, además de las fuerzas de Van Der Waals, las electrostáticas que aportan mayor adhesividad siendo máxima cuando los enlaces son covalentes.

Las aminas consisten en una larga cadena de hidrocarburos y un grupo amina. El grupo de amina reacciona con la superficie del agregado mientras que la porción del hidrocarburo, la cual es hidrofóbica, interacciona directamente con el ligante. El efecto neto es que la larga cadena de hidrocarburo actúa con un puente entre la superficie hidrofílica (agregado) y la hidrofóbica (asfalto), asegurando un enlace fuerte entre ellos.

Es muy importante conocer todas las alternativas tecnológicas y mecanismos actualizados así como innovadores que se están utilizando actualmente en la construcción, conservación y mantenimiento de los pavimentos asfálticos.

Por ello se enlistan las técnicas siguientes:

Disminución de la tensión superficial del ligante.

Añadir aditivo al ligante, bajo un estudio previo según el tipo de agregado y ligante. El aditivo se recomienda para una gama muy amplia de materiales pétreos y ligantes asfálticos, permitiendo mayor uniformidad en los resultados especificados en el proyecto de la obra. Esta técnica, de usar un agente activante de la adhesividad, ha conducido a importantes avances ya que permite que los agregados que tradicionalmente presentaban problemas de adherencia se puedan ampliar con resultados satisfactorios.

Trituración de material pétreo: la adherencia extremadamente mala se presenta en materiales pétreos cuyas partículas gruesas presentan superficie redonda, lisa y brillante su origen es la grava-arena de río, cantos rodados y los depósitos aluviales.

Ante lo anterior es conveniente triturar el material al tamaño adecuado y verificar si la nueva superficie tiene mejor adherencia, con esto se disminuye el porcentaje total de mala adherencia.

Lavado de material pétreo: este procedimiento es aconsejable para aquellos que por su naturaleza están contaminados con arcilla (polvo) que se encuentra incrustada en las fisuras del propio agregado.

Cribado de material pétreo: cuando se tienen problemas con finos arcillosos en la superficie del material se utiliza el cribado de los materiales que consiste en pasar por una malla de apertura apropiada al agregado, previamente a la trituración para eliminar los polvos nocivos.

Consiste en cambiar el tipo de asfalto utilizado. Depende de las condiciones específicas de la obra de disponibilidad por parte de los proveedores.

PRUEBAS DE LABORATORIO.

La adhesión entre el asfalto y el agregado se puede predecir por la interpretación de los métodos de laboratorio. Como quiera, estos métodos no siempre pueden identificar un problema potencial de adhesión.

Es difícil simular las condiciones de campo en el laboratorio y consecuentemente también se dificulta evaluar, en el laboratorio, exactamente el comportamiento del agente antidesprendimiento.

Las pruebas de laboratorio están concentradas en examinar el efecto del agua sobre el agregado cubierto de asfalto (adhesión pasiva) o la habilidad del asfalto para adherirse al agregado mojado (adhesión activa).

Actualmente todos los métodos de prueba que se utilizan para medir la eficacia de un aditivo, son cualitativos basados en la experiencia visual del laboratorista ya que no se dispone de un medio científico.

Las pruebas para determinar el grado de afinidad entre los materiales pétreos y el asfalto, tienen por objeto determinar el grado de compatibilidad entre el material y la película asfáltica.

Es importante seguir la recomendación al hacer las pruebas, de reproducir hasta donde sea posible las condiciones en que se va a trabajar el material pétreo, empleando exactamente el asfalto y los agregados que se vayan a usar, en el caso de tratarse de una mezcla en caliente en planta o en el lugar se deberá calentar el material a la temperatura a la cual se tenga planeado hacer dicha mezcla.

La mayoría de las pruebas están legisladas por la ASTM y alguna de ellas se encuentran aceptadas y descritas en las especificaciones de la S. C. T. publicadas en el libro 4 de normas de construcción.

Las pruebas que exige la Secretaría de Comunicaciones y Transportes son: "Desprendimiento por fricción", "Pérdida de estabilidad por inmersión en agua", "Desprendimiento de la película" y "Cubrimiento con el asfalto o afinidad en inmersión" (método ingles).

DOSIFICACION O NIVEL DE USO.

La cantidad de aditivo que se debe agregar depende principalmente al tipo y viscosidad del asfalto y del tipo de graduación del agregado. Cuando se usa un asfalto de alta viscosidad y la densidad del agregado es muy alta la dosificación puede ser reducida.

Tanto el asfalto como el tipo de material pétreo influyen en la dosificación del aditivo a agregar, la cual es normalmente determinada con pruebas de laboratorio para cada caso en particular, por ejemplo las monoaminas y las diaminas son muy diferentes en eficiencia.

Por experiencia se recomienda una dosificación del 0.5% respecto al peso del asfalto, en los casos severos de la falta de adherencia, es decir utilice de 0.5% a 0.8%.

En los riegos de sello en lugares con climas húmedos la dosificación para conseguir adhesividad activa es alrededor del 1% y en climas secos se puede disminuir hasta un 0.3% para mejorar la adhesividad pasiva.

ASFALTOS MODIFICADOS.

La baja durabilidad que han tenido las mezclas asfálticas en los pavimentos de las carreteras principales de nuestro país, motivada especialmente por el alto volumen de tránsito y del porcentaje de vehículos pesados, aunado a las condiciones climáticas adversas de ciertas regiones, aspectos que inciden notablemente en los costos de mantenimiento, han obligado a impulsar la aplicación de nuevas tecnologías que ya se emplean con éxito en otros países, en los que se ha logrado mejorar el comportamiento de estos pavimentos, con incrementos en su vida útil.

Dentro de estas tecnologías de vanguardia, se encuentra la de los asfaltos modificados, que ayuda a manejar sus propiedades físicas, químicas y reológicas, mediante la adición a un cemento asfáltico convencional de refinería, de productos como polímeros del tipo SB, SBS, SBR, SBRS, Látex Sintético y natural, Políteno, Asfáltenos Naturales, Hule Molido de Neumáticos Usados, Aceites, Resinas y Catalizadores, lo que redanda en una mejor adherencia con los materiales pétreos, mayor resistencia al envejecimiento y agentes climáticos, incremento en las propiedades de soporte, elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad, lográndose incrementar el buen comportamiento al esfuerzo cortante, a la deformación y a la fatiga.

INCORPORACION, ELABORACION DE MEZCLA Y CONSTRUCCIÓN.

Los sistemas de incorporación de los modificadores, son muy variables y van desde muy simples, como el caso de aceites, asfaltenos y catalizadores, hasta los muy complejos, con sistema de calentamiento para el asfalto a alta temperatura, molinos trigonales, tanques de reacción y bombas de mayor potencia, que se utilizan para incorporar polímeros y hule molido de neumáticos.

En cuanto a los procesos de elaboración de la mezcla y procedimientos constructivos, no tienen cambios importantes y básicamente el equipo empleado es el tradicional, salvo algunas recomendaciones particulares, como es el compactar a temperaturas más elevadas en las mezclas con polímeros y en el caso de los catalizadores no colocar la mezcla hasta una hora después de elaborada, para permitir que se efectúe la reacción en el asfalto.

NORMAS Y PRUEBAS DE LABORATORIO.

Las normas que deben cumplir las asfaltos modificados, están referenciadas con los resultados prácticos que se han obtenido al utilizarlos, por lo que seguramente en el futuro se tendrán normas formales y estandarizadas, basadas en investigaciones como las que realiza el SHRP (Programa Estratégico de Investigación de Carreteras de E. U. A.) y la colaboración de organismos como la ASTM y la AASHTO, sin dejar de tomar en cuenta las aportaciones europeas.

En cuanto a las pruebas de laboratorio, se destacan por su importancia la viscosidad absoluta, cinemática y Brookfield, punto de reblandecimiento, ductilidad, penetración, ensayos de envejecimiento a corto y largo plazo, de película delgada en forma normal o rodada, tensión directa y pruebas reológicas.

EFFECTOS DEL MEDIO AMBIENTE Y EL TRANSITO EN LOS PAVIMENTOS.

Debido a su naturaleza viscoelástica del asfalto, su comportamiento depende de la temperatura y tiempo de carga:

A alta temperatura: en climas cálidos o bajo cargas sostenidas (auto en movimiento lento), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso (tiende a deformarse, fluir).

A bajas temperaturas: en climas fríos o bajo cargas aplicadas repetidamente, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico, al aplicarle una carga se deforma y cuando cesa la fuerza recupera su forma original, si se rebasa el límite elástico del material, éste se fractura.

A intermedias temperaturas: el cemento asfáltico presenta características viscoelásticas y su comportamiento depende de la temperatura y tiempo de carga.

Envejecimiento: debido a su composición de moléculas orgánicas, el asfalto reacciona con el oxígeno ambiental (quebradizo, frágil).

ASENTAMIENTO TRANSVERSAL.

Definición: áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje del camino.

Causas probables:

- 1) Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento.
- 2) Peso propio de la sección del pavimento.
- 3) Suelos o cimentaciones resilientes.
- 4) Cargas excesivas o superiores a la de diseño.
- 5) Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén.
- 6) Compactación inadecuada.
- 7) Asentamientos diferenciales transversales.
- 8) Procedimientos de construcción inadecuados.
- 9) Drenaje o subdrenaje deficiente.
- 10) Contaminación de capas inferiores.
- 11) Desplome de cavidades subterráneas.

DESPRENDIMIENTO DEL AGREGADO.

Definición: pequeñas depresiones en forma de cráter. Con separación de los agregados de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

- 1) Falta de afinidad con el asfalto.
- 2) Escasez de asfalto.
- 3) Expansión del agregado grueso.

EROSIÓN LONGITUDINAL DE LA CARPETA.

Definición: desintegración parcial de la carpeta asfáltica principalmente en los extremos de la superficie de rodamiento. La carpeta materialmente se va carcomiendo, reduciendo el ancho efectivo de carretera.

Causas probables:

- 1) Labores de conservación inadecuadas.
- 2) Falta de soporte de la carpeta en los hombros o acotamientos.
- 3) Erosión natural del agua y viento.
- 4) Ciclos de hielo y deshielo.
- 5) Crecimiento significativo de hierba en los acotamientos.
- 6) Sobrecargas de pesos en acotamientos.
- 7) Mala compactación de capas.

DESPRENDIMIENTO DEL SELLO.

Definición: desintegración parcial o tonificada de la superficie de rodamiento; cuando ésta se forma por uno o varios sellos, el agregado tiende a desprenderse dejando zonas expuestas por arranque de la gravilla o granzón.

Causas probables:

- 1) Separación de la película de liga de los áridos por humedad.
- 2) Dosificación del ligante inadecuada.
- 3) Calidad dudosa del material ligante.
- 4) Mala adherencia en capa subyacente.
- 5) Espesores insuficientes.
- 6) Ejecución de trabajos en malas condiciones de clima.

EXPULSION DE FINOS.

Definición: material fino sobre la superficie de rodamiento acumulada en zonas adyacentes a la grieta y de color blancuzco.

Causas probables.

- 1) Acumulación de agua libre en capas subyacentes.
- 2) Exceso de finos en capas de la sección del pavimento.
- 3) Expulsión de cemento en bases estabilizadas a través de grietas.
- 4) Acción de tráfico intenso.

PULIDO DE SUPERFICIE.

Definición: desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas.

Causas probables.

- 1) Tráfico intenso.
- 2) Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste.
- 3) Excesiva compactación.
- 4) Mezclas demasiado ricas en asfalto.
- 5) Agregados no apropiados a la intensidad del tráfico.
- 6) Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta, o en la base cuando se trata de tratamientos superficiales.

EROSION AVANZADA DE TALUDES.

Definición: agrietamiento transversal en acotamientos, que con el tiempo y acción del medio ambiente, va formando oquedades o canalizaciones transversales, hasta llegar a la destrucción total de los taludes del cuerpo del terraplén.

Causas probables.

- 1) Acción del viento

- 2) Acción de la lluvia.
- 3) Falta de protección de taludes.
- 4) Falta de arropamiento en taludes.
- 5) Mala compactación.
- 6) Escasez de drenaje superficial.

LEVANTAMIENTO POR CONGELACION.

Definición: desplazamiento diferencial hacia arriba de un pavimento que produce desintegración parcial o total de capas de pavimentos.

Causas probables.

- 1) Acción de heladas.
- 2) Ciclos de congelamiento y descongelamiento.
- 3) Expansión localizada de capas inferiores.
- 4) Expansión localizada de alguna porción de la sección estructural del pavimento.

CRESTAS LONGITUDINALES MASIVAS.

Definición: montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 crestas a todo lo largo de ciertos tramos.

Causas probables:

- 1) Liga inadecuada entre capas asfálticas.
- 2) Pésima estabilidad de la mezcla asfáltica.
- 3) Balance de dudosa calidad.
- 4) Flujo de la mezcla por la acción de derrame de combustible (diesel).
- 5) Tránsito intenso muy canalizado.

DESINTEGRACION.

Definición: deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen.

Causas probables.

- 1) Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica.
- 2) Acción de tránsito intenso y pesado.
- 3) Tendido de la carpeta en climas fríos o húmedos.
- 4) Agregados contaminados.
- 5) Contenido pobre de asfalto.
- 6) Sobrecalentamiento de la mezcla.
- 7) Compactación insuficiente.
- 8) Acción de heladas o hielo.
- 9) Arcillas problemáticas en cualquiera de las capas.
- 10) Separación de agregados y asfalto ligante.
- 11) Contaminación de solventes.
- 12) Envejecimiento y fatiga.
- 13) Desintegración de los agregados.
- 14) Sección estructural deficiente o escasa.

CAPITULO V

Recomendación Geotécnica final.

RECOMENDACIÓN GEOTÉCNICA FINAL

Se presentan algunas reflexiones sobre el enfoque geotécnico que se considera debe regular todo lo concerniente al proyecto, la construcción y la conservación de pavimentos, tanto rígidos como flexibles.

FACTORES A CONSIDERAR EN EL PROYECTO.

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

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

Para el diseño o dimensionamiento de los pavimentos existen varios métodos desarrollados por diferentes Organismos, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes factores.

a) Transito.

Interesan las cargas más pesadas por eje (simple, tandem, o triple) esperadas en el carril de proyecto (que generalmente es el más solicitado y que determinara la estructura del pavimento de la vialidad) durante el periodo de proyecto adoptado. Sin embargo, en los casos de vialidades con carriles múltiples podrá realizarse un diseño con estructuras y espesores diferenciados. La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento como la fatiga son fundamentales para el cálculo. Además se tendrán en cuenta las máximas presiones de contacto, la solicitaciones tangenciales en tramos especiales (curvas, zona de frenado y aceleración, etc.), las velocidades de aplicación (en particular, las lentas en rampas y zonas de estacionamiento de vehículos pesados), la canalización del transito, etc. El transito generalmente se establece como número de ejes acumulados de 8.2 ton. (18,000 lb.), en el periodo de diseño.

b) Capa subrasante.

Como parámetro fundamental se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas de transito. Debe tenerse en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto en lo que se refiere a su resistencia como a las eventuales variaciones de volumen, (expansión-contracción). Generalmente el parámetro de resistencia utilizado para caracterizar la resistencia de los materiales, es el Valor Relativo Soporte (CBR), si bien

actualmente algunos métodos emplean el Modulo de Resiliencia, siendo común además manejar correlaciones entre CBR y M_R .

c) Clima.

Debe tenerse en cuenta en la selección de los materiales y en determinados elementos colaterales, como el drenaje. En el diseño de la propia estructura del pavimento interesa su comportamiento bajo efectos de temperatura y humedad. Son objeto de consideración las temperaturas extremas diarias y estacionales, así como el régimen e intensidad de las precipitaciones, aspectos que deben de tomarse en cuenta en los aspectos constructivos.

d) Los materiales disponibles.

Son determinantes para la selección de la estructura del pavimento en la forma más adecuada técnica y económicamente. Por una parte, se consideran los agregados disponibles en los bancos de materiales de la zona. Además de la calidad requerida en la que se incluyen la deseada homogeneidad, deben verificarse las cantidades disponible, el suministro y su precio, condicionado en gran medida por la distancia de transporte. Por otro lado se consideran los materiales básicos de mayor costo como cementantes estabilizadores y modificadores, así como la experiencia y habilidad en su manejo y uso.

e) Drenaje y subdrenaje.

El agua es uno de los factores que más contribuyen en el deterioro de los pavimentos, debido a los cual deberá concederse importancia al rápido desalojo del agua, evitando su concentración tanto en la superficie como en algunas de las capas que constituyen el pavimento, incluyendo la capa subrasante.

Para obtener un mejor comportamiento del pavimento el proyectista debe de reconocer que existen varias formas en que el agua puede entrar a la estructura del pavimento y a la capa subrasante, como grietas, baches y juntas, jardineras y camellones, fugas en los sistemas de drenaje y agua potable, ascensión capilar, posición del nivel frático, etc.

El agua afecta a los materiales del pavimento en varias formas, modificando o alterando algunas de sus propiedades:

- Cohesión
- Expansión-contracción
- Erosión
- Grado de compactación
- Corrosión
- Envejecimiento de los asfaltos
- Adherencia entre agregados y asfalto

Se debe por lo tanto tomar las medidas pertinentes para proponer sistemas de drenajes y subdrenaje que actúen con efectividad.

Con relación al drenaje superficial, se deberán tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1%.
- No se deberán admitir depresiones en la superficie que pudieran provocar estancamientos de agua
- El texturizado debe facilitar la expulsión rápida del agua transversalmente.
- No deberán existir obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en las bocas de tormenta o rejillas.
- Las juntas en el pavimento deberán tratarse adecuadamente. De igual manera no deberán permitirse agrietamientos en el pavimento que facilitaran la filtración de agua a las capas inferiores.

Así mismo deberá tenerse en cuenta que la textura superficial determina la rapidez con que el agua pueda escapar de entre las llantas y el pavimento y también la rapidez con que escurre por la superficie durante la lluvia. El agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida de contacto entre la llanta y su superficie, dando origen a la pérdida del control de la dirección del vehículo y a su deslizamiento, fenómeno que se le conoce como hidropilano o acuaplano y generalmente ocurre cuando se conduce un vehículo bajo la lluvia a gran velocidad y se forma una lamina de agua sobre la superficie de rodamiento que alcanza un nivel crítico en función de la velocidad del vehículo.

Con el fin de minimizar o evitar la ocurrencia de este fenómeno, a los pavimentos debe proporcionarse una estructura superficial que debe ser compatible con el medio ambiente, velocidad de circulación, intensidad de tránsito, topografía y características geométricas de vialidad.

f) Otros factores.

Existen otros factores que en ocasiones afectan de manera muy importante el proyecto de un pavimento, como el entorno urbano, las dimensiones de la obra, la experiencia y equipos de las empresas constructoras, algunas medidas de política general o local, etc.

TENDENCIA MUNDIAL.

El proyecto, la construcción y la conservación de los pavimentos implica tomar en cuenta los avances tecnológicos presentados en recientes congresos sobre esta materia (University of Texas y University of Washington, 1997), cuya tendencia se resume a continuación.

- a) Modelación teórica más realista e innovadora del comportamiento de los pavimentos, que incorpore la caracterización de los materiales obtenida de pruebas no destructivas, como las resultantes del deformómetro de impacto (Orozco y Torres, 1994) y el perfilómetro láser (Torres, 1998). La aplicación de las redes neuronales artificiales debe tomarse en cuenta.
- b) Disponibilidad de datos altamente confiables, de campo y laboratorio, obtenidos de organismos oficiales e instituciones de investigación asociadas con empresas de consultoría u construcción.
- c) Incorporación más efectiva de los conceptos básicos de la mecánica de suelos en el proyecto y la evaluación de pavimentos, incluyendo su cimentación.

- d) Aplicación necesaria de parámetros geotécnicos más significativos, para suprimir el uso generalizado de conceptos empíricos como el **CBR** (California Bearing Ratio).

CUALIDADES DEL PAVIMENTO.

Las principales cualidades que convienen asignar al pavimento son la seguridad, la rigidez, la durabilidad, la economía, la rugosidad, la flexibilidad y la comodidad, todas ellas sobre un apoyo firme y homogéneo desplantado sobre un terreno de cimentación apropiado como se ilustra en la Figura 5.1.

Si se concibe al pavimento como una obra geotécnica, sobresalen dos cualidades fundamentales: la rigidez y la flexibilidad, que deben balancearse estratégicamente para lograr la comodidad y la seguridad que exige el usuario, para lo cual se requiere la rugosidad de la superficie de rodamiento y la durabilidad implícita, dentro de la economía siempre presente durante la vida de la obra.

Todas estas cualidades del pavimento deben cumplir con los niveles de calidad característicos, tanto en geometría y acabados como en materiales y procedimientos constructivos, con el fin de deslindar las acciones de los responsables de la obra, como se ilustra en la fig. 5.2

ESTRUCTURACIÓN DE PAVIMENTOS.

Las capas que constituyen el pavimento son fundamentales en la pista de rodamiento (de concreto asfáltico o hidráulico), la *base*, la *sub-base* y la *subrasante*, como se ilustra en la fig. 5.3, junto con los materiales idóneos para asegurar la capacidad estructural de las capas del pavimento.

Conviene recordar que en la sección invertida (fig. 5.4) se tiene implícito el enfoque geotécnico, ya que la sub-base rigidizada viene a ser la zapata de cimentación de la obra sobre la cual se coloca la capa de grava totalmente triturada (amortiguadora, friccionante, drenante, rompedora de capilaridad y antifisuras: evita la propagación de grietas y su reflexión hacia la capa de rodamiento). Los trabajos preliminares sobre el mecanismo teórico y sus aplicaciones con el método del elemento finito, han tenido buena correlación con los resultados prácticos.

PRINCIPAL DETERIORO DEL PAVIMENTO.

En forma general puede establecerse que el principal deterioro del pavimento se divide en *primario* (deformaciones-ondulamientos-agrietamientos) y *secundario* (deficiencias superficiales).

Para el deterioro primario deberán tomarse en cuenta aspectos como:

- a) La inestabilidad de taludes en terraplén.
- b) La propagación gradual ascendente de grietas o fisuras.
- c) El envejecimiento prematuro del asfalto.
- d) El enfriamiento brusco e intenso o calentamiento del concreto (asfáltico o hidráulico).

- e) La inestabilidad volumétrica de los suelos finos arcillosos (expansión/contracción).
- f) La consolidación irregular de las capas del pavimento que en el caso de las capas rígidas, podría conducir al efecto del "bombeo".
- g) La incapacidad estructural de las capas del pavimento, que puede inducir a la formación de roderas.
- h) Los movimientos diferenciales exagerados.
- i) El corrimiento de la carpeta asfáltica.

Algunos deterioros que deben tomarse en cuenta son los efectos del clima, los materiales y el tránsito. Por ejemplo.

- a) la inestabilidad volumétrica de los suelos finos arcillosos es generada por las variaciones cíclicas de humedad (fuertes lluvias e intensa evaporación), motivadas por los grandes cambios estacionales de temperatura de la región.
- b) La consolidación irregular está íntimamente ligada a la heterogeneidad relativa al espesor, la capacidad y/o a la humedad iniciales de las capas; cuando se infiltra el agua por las fisuras y/o se tiene un subdrenaje ineficiente, se produce el reblandecimiento de los materiales subyacentes, con o sin pérdida de finos, lo cual da lugar al "bombeo" y la consiguiente ruptura progresiva de las capas rigidizadas superiores.
- c) La incapacidad estructural del pavimento está relacionada con la insuficiencia en los espesores y en las rigideces relativas de las capas, lo cual da lugar al fenómeno de fatiga por la repetición de las cargas del tránsito, sobre todo cuando son de gran intensidad y/o frecuencia.
- d) Los movimientos diferenciales exagerados son motivados por los cambios de rigideces en estructuras u obras inducidas.
- e) El corrimiento de las capas asfálticas normalmente se debe al exceso de asfalto o a la falta de liga entre capas.

Lo más importante para el deterioro *secundario* (fig. 4.3) es considerar el alisado y el desgranamiento de la superficie de rodamiento, así como el efecto de acuplano durante las lluvias. Las diferencias superficiales se clasifican con más detalle, como se indica a continuación:

- a) El alisado se debe fundamentalmente al desgaste excesivo de los agregados o al alto grado de saturación del cemento asfáltico.
- b) El desgranamiento de puede deber a la escasa adherencia entre los agregados y el aglutinante o al bajo grado de saturación del cemento asfáltico.

Conviene hacer notar que el mejor diseño de una mezcla asfáltica corresponde al que tiene un grado de saturación (S_v) comprendido entre 75 y 85 % para un módulo Marshall de 400 a 600 kg/cm² en carreteras y de 700 a 1000 kg/cm².

EVALUACION.

Se describe como el conjunto de actividades que se realizan para determinar las condiciones estructurales y funcionales en que se encuentra un pavimento. Constituye un aspecto que ha adquirido una gran importancia en la tecnología de los pavimentos, que empieza desde la misma ejecución de obra, su puesta en operación y durante su ciclo de vida mediante mediciones periódicas del comportamiento del pavimento, investigando la evolución, en el tiempo y en el espacio, de los deterioros, capacidad estructural, calidad de rodamiento, seguridad y costos asociados a la conservación y operación del pavimento, por lo que se tiene un importante papel dentro de la aplicación de los Sistemas de Administración de Pavimentos.

La información adquirida en el proceso de la evaluación tiene aplicaciones en la verificación de la eficiencia con la que el pavimento cumple con sus funciones desde el inicio del ciclo de vida, efectuar la planeación y programación racional de las obras de mantenimiento y rehabilitación a futuro, así como la introducción de mejoras tecnológicas en los aspectos de diseño, construcción, control de calidad, mantenimiento y operación, con énfasis en los aspectos económicos y de relaciones con el usuario, generando así mismo los aspectos relevantes que constituyan temas específicos de investigación.

En el campo de la evaluación se ha desarrollado una importante tecnología para la auscultación de los pavimentos, mediante la aplicación de dispositivos clasificados dentro de ejecución de pruebas no destructivas (NDT), como los presentados en la tabla 18, en la cual aparecen dispositivos de categoría convencional así como los que utilizan los más recientes conceptos tecnológicos, electrónica, rayos láser, radar, etc., gracias a lo cual es posible obtener información con alta densidad de medidas, registro continuo y en alguno de ellos captada a las velocidades de operación del pavimento. La selección de los dispositivos por emplear depende de la política establecida por el Organismo, tomando en cuenta su propia organización, manejo de datos, costos de los equipos y de su operación.

Las características que se evalúan generalmente son las deformaciones en coincidencia con las rodadas (roderas), agrietamientos, rugosidad, resistencia al derramamiento, así como las características físicas y mecánicas de los materiales, incluyendo su respuesta bajo la acción de cargas.

TABLA 18. ALGUNOS DISPOSITIVOS PARA EVALUACION DE PAVIMENTOS MEDIANTE PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS (NDT).

Aspecto por investigar	Dispositivo
Control de compactación, contenido de agua o asfalto.	Densímetro nuclear.
Resistencia de las capas subrasante, sub-bae y base, respuesta a la aplicación de cargas estáticas.	CBR in situ Prueba de placa Viga Benkelman
Módulos elásticos obtenidos mediante las deformaciones producidas por cargas dinámicas	Dynaflect (FWD) deflectómetro de impacto
Espesor de las capas de la estructura del Pavimento.	Radar de penetración terrestre (RPT)
Estado superficial, determinación de deterioros	Gerpho
Características superficiales: Microtextura Macrotextura Resistencia al derramamiento Rugosidad	Péndulo de fricción Prueba de mancha de arena Mumeter Perfilógrafo de California Mays Ride Meter Road surface Tester (RST) Perfilógrafo LCPC Perfilógrafo Laser
Perfil transversal	

RECOMENDACIÓN GEOTÉCNICA FINAL.

Por la importancia de la geotecnia en el proyecto, la construcción y la conservación de los pavimentos, conviene que en los estudios geotécnicos correspondientes se incluyan la siguiente información o actividad:

Terracerías.

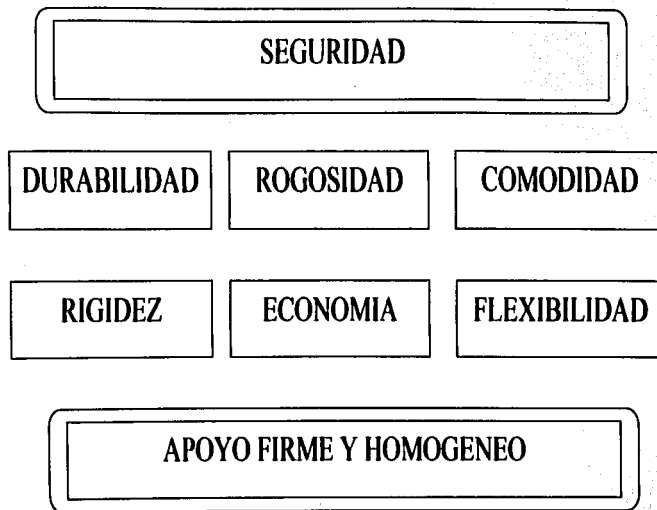
- a) Perfil geológico y/o de suelos.
- b) Clasificación geológica y/o de suelos
- c) Identificación de suelos problemáticos (Blandos, expansivos, colapsables, corrosivos, orgánicos, etc.).
- d) Dificultad de extracción de materiales, incluyendo velocidades de programación de ondas sísmicas.
- e) Coeficiente de variación volumétrica (corte a terraplén, banco a terraplén).
- f) Taludes recomendables en cortes y/o terraplenes.
- g) Alternativas de subdrenaje.

h) Características de bancos de materiales.

Pavimentos.

- a) Definición de la intensidad y la frecuencia de cargas actuales y futuras, que incluyan presiones y áreas de contacto, configuración y distribución de ejes, etc.
- b) Proposición de estructuraciones para proyecto nuevo, de rehabilitación o reconstrucción.
- c) Estimación de módulos elásticos y relaciones de Poisson en cada capa.
- d) Análisis de esfuerzos y deformaciones en las capas.
- e) Estimación de la vida útil a partir de los criterios de fatiga disponible.
- f) Comparación económica entre alternativas.
- g) Evaluación permanente estructural y superficial.

CUALIDADES DEL PAVIMENTO



/// /// /// /// /// /// ///
TERRENO DE CIMENTACIÓN

FIG. 5.1

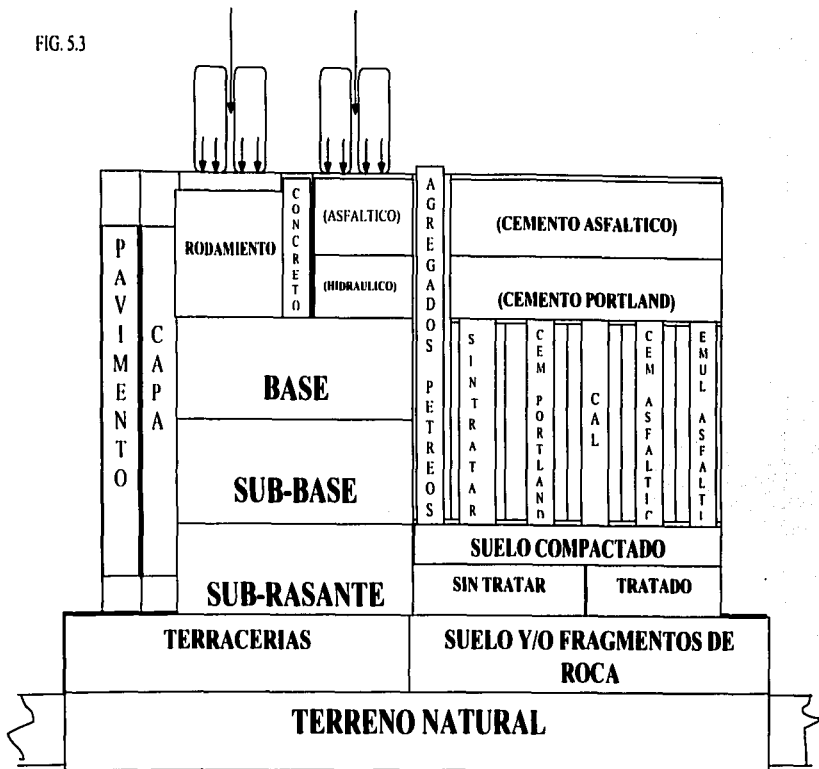
RESPONSABLES DEL NIVEL DE CALIDAD DEL PAVIMENTO



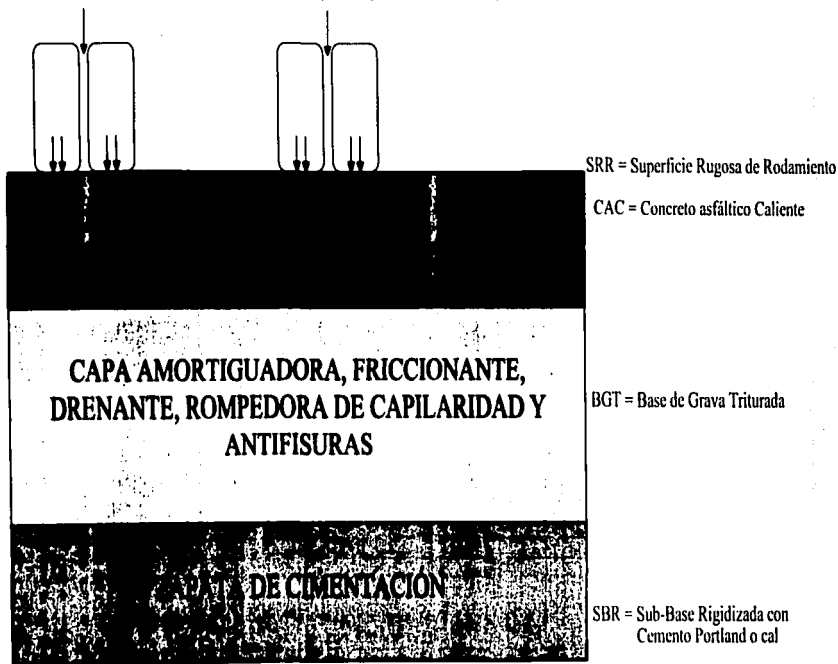
FIG.52

ESTRUCTURACIÓN DE PAVIMENTOS

FIG. 5.3



**PAVIMENTO CON SECCIÓN INVERTIDA
(ENFOQUE GEOTECNICO)**



**CAPA AMORTIGUADORA, FRICCIONANTE,
DRENANTE, ROMPEDORA DE CAPILARIDAD Y
ANTIFISURAS**

DE CIMENTACIÓN

TERRENO DE CIMENTACIÓN

FIG.5.4

PERFILES DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES OBTENIDOS CON DEFORMOMETRO DE IMPACTO

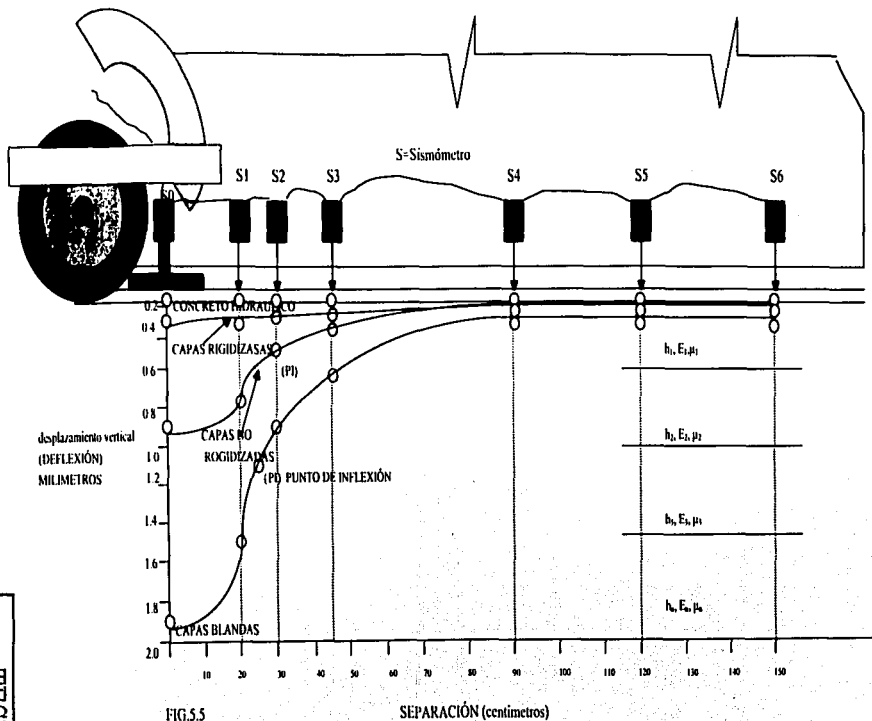


FIG.5.5

SEPARACIÓN (centímetros)

CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES PARA PAVIMENTO

MATERIAL		MODULO ELASTICO (E), kg/cm ²		RELACION DE POISSON (μ)
		RECOMENDADO	OBTENIDO *	
CONCRETO	ASFALTO	30,000 a 40,000	5,000 a 60,000	0.35
	HIDRAULICO	250,000 a 400,000	150,000 a 450,000	0.15 a 0.20
	COMPACTADO	70,000 a 120,000	40,000 a 100,000	0.25 a 0.35
SUELOS GRUESOS	BASES	3,000 a 5,000	1,500 a 4,000	0.40
	SUB-BASES	2,000 a 4,000	700 a 2,000	
SUELOS FINOS	SUB-RASANTE Y CAPAS INFERIORES	300 a 1,500	70 a 1,000	0.45

* A partir de mediciones con el "deformómetro de impacto" (FWD)

FIG.5.6

CONCLUSIONES.

Para que una estructura de pavimentos tenga las características requeridas tanto superficiales como funcionales debe contar con una capa subrasante, capa de sub-base (cimentación de la estructura), una capa base y carpeta de rodamiento, debidamente compactadas, con materiales de excelente calidad. Además del diseño de la estructura de pavimento, el proyecto deberá contener otros aspectos, que lo individualicen, como son: especificaciones de calidad, características y tipo de materiales y productos utilizados, bancos de materiales, estableciéndose el tratamiento adecuado para la utilización de los materiales, incluyendo el caso de materiales reciclados. Así también la carpeta de rodamiento deberá satisfacer las necesidades de los usuarios tanto internas como externas (ruido, iluminación, desagüe, regularidad superficial, resistencia al derrapamiento a través de una adecuada textura superficial, etc.).

Se puede concluir que los factores que influyen en el deterioro de los pavimentos corresponden fundamentalmente a las condiciones ambientales (sol, lluvia, viento, etc.), de tránsito (intensidad y frecuencia de cargas) y de capacidad estructural de las capas (repetición de esfuerzos y deformaciones, desplazamientos verticales, etc.).

Todos los factores deben considerarse en las diversas épocas del año ya que, en algunos materiales, las propiedades interrelacionadas de **resistencia-deformabilidad-permeabilidad-tiempo** son susceptibles a los cambios de temperatura, humedad, etc. Por ejemplo, el módulo de resiliencia en suelos con finos disminuye para una misma capacidad (volumen de sólidos/ volumen total) al aumentar el contenido de agua.

En forma general puede establecerse que el principal deterioro del pavimento se divide en primario (deformaciones-ondulamientos-agrietamientos) y secundario (deficiencias superficiales).

Para prevenir el deterioro de los pavimentos tenemos que evitar la falta de afinidad de los asfaltos, escasez de asfalto, expansión del agregado grueso, labores de conservación inadecuadas, mala compactación de cargas, espesores insuficientes, etc., en forma general si ponemos atención en el proyecto de pavimentos llegaremos a resultados óptimos como se vio en la recomendación geotécnica final.

Ya para finalizar entendemos que además de las características funcionales y estructurales, el proyecto de los pavimentos requiere la consideración de aspectos constructivos. El análisis de los costos debe tener una supervisión del complemento de pavimento durante el periodo de diseño, la conservación necesaria y su costo analizado y, finalmente una estimación de futuros refuerzos estructurales.

Si se concibe al pavimento como una obra geotécnica, sobresalen dos cualidades fundamentales: la rigidez y la flexibilidad, que deben balancearse estratégicamente para lograr la comodidad y la seguridad que exige el usuario, para lo cual se requiere la rugosidad de la superficie de rodamiento y la durabilidad implícita, dentro de la economía siempre presente durante la vida de la obra. De tal forma decimos que el pavimento requiere de una mayor atención en los estudios geotécnicos del proyecto, así como en la construcción, respetando la normatividad ya antes expuesta y por ultimo la conservación de los pavimentos.

El conocimiento adquirido en la realización de la tesis es fundamental, ya que en ella expresamos nuestras inquietudes acerca del tema de los pavimentos, por ser uno de los más extensos solamente nos referimos a los pavimentos asfálticos e hidráulicos ya que estos poseen gran aceptación en el mercado nacional e internacional. Nuestro proyecto expresa si no todas las inquietudes, si la mayoría de ellas, por enfocarnos a la problemática que tiene la ingeniería en este tema.

Además en la realización de esta tesis, se da un panorama más completo de las diferentes causas que ocasionan el deterioro de los pavimentos y mostrar algunas de las posibles soluciones que el proyectista debe tomar en cuenta.

Nos damos cuenta de que una buena calidad no solo en lo que se refiere a los pavimentos si no en lo que es en sí la ingeniería nos lleva a resultados óptimos, si ponemos cuidado desde el proyecto hasta el mantenimiento, pasando por la construcción y operación se llegaran a resultados de calidad.

La realización de esta tesis nos deja la satisfacción de aportar información que quizás no se tuvo el cuidado y tiempo de publicar. Parte de esta información fue adquirida a través de experiencias personales de ingenieros que tienen varios años en el estudio de los pavimentos y su conservación, dejándonos sus conocimientos en conferencias y seminarios. Es por ello que nos sentimos complacidos al dejar a las futuras generaciones un documento que seguro les servirá de mucho, sobre todo si deciden integrar su vida profesional a los pavimentos que tan importantes son para todos, como medios de comunicación y transporte.

BIBLIOGRAFIA.

- **Primer Congreso Nacional Del Asfalto, Memoria Tomo I, Asociación Mexicana del Asfalto. A. C., Agosto, 1999.**
- **Primer Congreso Nacional Del Asfalto, Memoria Tomo II, Asociación Mexicana del Asfalto. A. C., Agosto, 1999.**
- **Practica recomendable para la Construcción de pavimentos y bases de concreto. (ACI-316-74), Instituto Mexicano del Concreto y del Acero. A. C., Editorial Nueva Serie IMCYC.**
- **Recomendaciones para la Construcción de pavimentos y bases de concreto, Editorial LIMUSA-NORIEGA.**
- **Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E., Cuarta Edición, Editorial Alfa-Omega 1998.**
- **Pavimentos, Gordon Hale, Arquitecto, Editorial BLUME.**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**