

01/21  
10



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

**"COMPENDIO PARA EL MANTENIMIENTO  
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS"**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R O C I V I L**

P R E S E N T A N :

**WILFRIDO JORGE ARANDA RAMIREZ**

**JORGE ALBERTO LARA COUTIÑO**



CIUDAD UNIVERSITARIA

2003

A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**


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

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

Autorizo a la Dirección General de Bibli...  
UNAM a difundir en formato electrónico e info.  
contenido de mi trabajo recepc.

NOMBRE: W. Jorge Aranda Ramírez  
Jorge Alberto Lara Coutiño

FECHA: 21 FEB - 2007

FIRMA:   
Jorge A. Lara C.

## Tesis para titulación:

# Compendio para el mantenimiento de pavimentos flexibles urbanos

### Integrantes:

Wilfrido Jorge Aranda Ramírez  
Jorge Alberto Lara Coutiño.



FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/178/02

Señores  
WILFRIDO JORGE ARANDA RAMÍREZ  
JORGE ALBERTO LARA COUTIÑO  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHAVARRI MALDONADO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"COMPENDIO PARA EL MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS"**

- I. INTRODUCCIÓN
- II. GENERALIDADES
- III. DISEÑO DE PAVIMENTOS
- IV. EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS
- V. CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS
- VI. ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS
- VII. EJEMPLO DE APLICACIÓN
- VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universitaria 7 Enero 2003.  
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GER/GMP/mstg.

# INDICE

<b>INTRODUCCION</b>	3
<b>I GENERALIDADES</b>	6
➤ Sistema vial urbano.	6
➤ Características de los pavimentos.	7
➤ La ciudad de México.	10
➤ Vialidades en el distrito federal.	13
➤ Inventario de la red vial del D.F.	18
<b>II DISEÑO DE PAVIMENTOS</b>	19
➤ Elementos de diseño para el espesor de pavimentos.	19
➤ Métodos de diseño.	21
➤ Método California.	22
➤ Método del V.R.S.	23
➤ Método del instituto de ingeniería de la UNAM.	25
<b>III EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS</b>	28
➤ Evaluación superficial de pavimentos	29
➤ Evaluación estructural de pavimentos:	39
➤ Evaluación destructiva.	51
➤ Fallas en los pavimentos.	52
<b>IV CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS</b>	80
➤ Consideraciones sobre la conservación y el mantenimiento de vialidades urbanas.	80
➤ Técnicas de conservación y mantenimiento.	81
➤ Rehabilitación superficial.	82
➤ Rehabilitación estructural.	83
➤ Mantenimiento a base de carpetas delgadas.	85
<b>V SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS</b>	96
➤ Conceptos generales de un SAP	96
➤ Inspección visual del deterioro superficial de los pavimentos.	99
➤ Calificación de servicio de los pavimentos.	101
➤ Datos de ingeniería de tránsito.	101
➤ Datos de la infraestructura vial complementaria.	102
➤ Análisis de planeación a nivel de red vial del SAP.	104

<b>VI EJEMPLO DE APLICACIÓN</b>	<b>106</b>
➤ Sistema de administración de la red vial primaria de la ciudad de México.	106
➤ Metodología convencional para obtener el ICP.	111
➤ Datos de Ingeniería de tránsito.	115
➤ Sistema básico de operación del mantenimiento de la red vial del D.F.	116
➤ Evaluación económica de las estrategias de CRR.	119
➤ Resultados tras la evaluación de pavimentos de la red vial primaria.	122
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>129</b>
Comentarios y recomendaciones.	129
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>130</b>

## INTRODUCCIÓN

Este compendio se realizó con el fin de apoyar al ingeniero civil a complementar su información sobre la conservación y mantenimiento de pavimentos flexibles urbanos, proporcionándole los elementos, las herramientas y las técnicas modernas que se utilizan en los procesos de rehabilitación, así como en la toma de decisiones relacionadas con el diseño, la construcción y la conservación de pavimentos urbanos.

En el primer capítulo se presenta la problemática que existe en la red vial urbana del distrito federal, la clasificación de los tipos de pavimentos, así como sus características; la importancia de las redes viales del Distrito Federal, su desarrollo a lo largo del tiempo, así como la forma de organización del gobierno del D. F. para satisfacer las necesidades que el sistema vial requiere, se indica de forma breve el inventario de la red vial primaria de la Ciudad de México.

Para el segundo capítulo se describe el diseño y construcción de pavimentos flexibles. Se presentan los elementos de diseño para el espesor de pavimentos, como son las cargas de tránsito, el clima o medio y las características de los materiales; se habla del diseño estructural mediante algunos métodos, como el método de California, el método del V.R.S, el método del Instituto de Ingeniería. Se plantean algunos criterios para la selección de los diferentes métodos, los sistemas constructivos, la conformación de la subrasante y construcción de sub - base, base y capas asfálticas.

Establecidos los métodos de diseño de pavimentos en el siguiente capítulo se atiende la parte de la valoración de las vialidades existentes tratando la evaluación de pavimentos urbanos, en el aspecto de funcionalidad y su situación estructural, considerando la evaluación destructiva y la no-destructiva del pavimento; la descripción de las nuevas metodologías así como equipos para el diagnóstico y estudio de los pavimentos. Se describen las características de los equipos, los costos y algunos

critérios de decisión en su uso. En este capítulo se analizan los tipos de fallas en los pavimentos, sus causas, y se presenta gráficamente cada una de ellas.

En el capítulo cuatro se mencionan las consideraciones y las técnicas de conservación y el mantenimiento de vialidades, la rehabilitación superficial y estructural del pavimento y los tratamientos que se siguen para su rehabilitación. Se aborda en forma amplia lo concerniente a carpetas delgadas como tratamiento superficial, esto debido a que la tendencia que se ha seguido en la ciudad de México como resultado de las acciones tomadas en los últimos años, se ha logrado tener un importante porcentaje de la red en condiciones de recibir un tratamiento superficial a base de carpetas delgadas.

Una vez que se conoce al situación que prevalece en una red vial urbana y sabiendo que existen diversos tratamientos aplicables para su conservación, rehabilitación y reconstrucción, se debe tener un plan adecuado para manejar los recursos disponibles de la mejor manera atendiendo no solo las necesidades técnicas y económicas sino también las sociales y políticas, es por esto que la persona que administra los recursos de una dependencia debe tener los medios adecuados y los conocimientos para lograr cumplir de la mejor forma con su objetivo, por ello se planteo al pensar en la administración de pavimentos en un sistema que contemple todos los factores que intervienen en la selección y operación adecuada del mantenimiento de una red vial. En este capítulo se resume de forma general el sistema de administración de pavimentos (SAP), los conceptos generales, sus características, el tipo de unidades que maneja, la asignación de la calificación del grado de deterioro de un pavimento, el tipo de análisis de planeación a nivel de red vial, la evaluación económica, los estudios de fuentes y usos de recursos para el desarrollo del proyecto, el análisis financiero, así como la toma de decisiones.

En el último capítulo se ejemplifica una aplicación del SAP para la ciudad de México, en el que se indica directamente las consideraciones que se hicieron, se mencionan los elementos de evaluación, captura de información y operación del mismo



para la red vial primaria. Se muestra con resultados el comportamiento del IRI en algunas vialidades importantes, se mencionan costos de inversión en el mantenimiento desde hace cinco años, se presenta el comportamiento que ha tenido la red según el mantenimiento que ha recibido.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES

#### SISTEMA VIAL URBANO

El crecimiento de la población en el ámbito mundial y la concentración de ésta en las áreas urbanas generan una serie de necesidades de toda índole requeridas por la gente que en ellas habita. Estas necesidades pueden ser de carácter económico, cultural, social o cualquier otro.

La mejor solución para la satisfacción de dichas necesidades, depende en gran medida de una buena planeación por parte de los Gobiernos según los recursos económicos con los que cuenten. En muchas ocasiones en los llamados Países de Tercer Mundo por la falta de planeación y /o de recursos económicos, es frecuente observar áreas urbanas con carencia de viviendas, empleos, servicios públicos, etc. En lo que a servicios públicos se refiere, llámese: agua potable, drenaje sanitario, alumbrado, vialidades, etc., todos de suma importancia para el desarrollo de las ciudades, el rubro relativo a las vialidades es del que depende la correcta distribución de todos los servicios en general.

Las vialidades urbanas constituyen una extensa red dentro de un área relativamente limitada. Por cada kilómetro cuadrado de área urbana se requieren unos 20 kilómetros de calles y avenidas.

Particularmente en la Ciudad de México, existen cincuenta millones de metros cuadrados de pavimentos, lo cual equivale a más de siete mil kilómetros de carretera, con un ancho de calzada de siete metros.

Considerando la importancia de la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por su funcionalidad desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida, y sobre todo, por el correspondiente costo de conservación, se considera fundamental la aplicación de técnicas racionales en la planeación y diseño de diversas obras, así como el empleo de políticas adecuadas de financiamiento y administración de los recursos monetarios.

El establecimiento de tales políticas de financiamiento y administración, está íntimamente relacionado con su diseño, ya que estos aspectos constituyen unos de los factores determinantes en la elección del tipo del pavimento, así como los requerimientos de su conservación y rehabilitación.

## **CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS**

Por ser un elemento integral del funcionamiento de la ciudad el pavimento urbano obedece sus características a las solicitudes que esta le requiere y son variables.

En lo referente a la estructura que lo constituye, podemos decir que son iguales a los empleados para la construcción de carreteras; sin embargo, su entorno físico y condiciones de operación son muy distintas y dependen del tipo de vialidad proyectada (eje vial, bulevar, calzada, etc.).

En general los pavimentos urbanos se encuentran confinados por guarniciones y banquetas, algunas veces por paramentos de concreto; debajo de ellos existe una gran cantidad de instalaciones subterráneas (agua potable, drenaje sanitario, telefonía, etc.), ya sea longitudinal o transversal a estos, también tenemos otra cantidad considerable de instalaciones visibles que van adosados en ellos (registros, coladeras, etc.); en algunos casos los tramos son relativamente cortos y seccionados por el cruce de otra vialidad de igual o distinta característica; en la mayoría el drenaje del pavimento es subterráneo.

Con respecto a las condiciones de operación podemos decir que están sujetos a cargas muy variables, desde un auto compacto hasta el tránsito de maquinaria pesada (una grúa por ejemplo); a una gran cantidad de flujo vehicular; a esfuerzos tangenciales muy altos en cruceros y semáforos por el efecto del frenado; a constante deterioro ya sea por la reparación de instalaciones subterráneas o el alojamiento de una nueva, los ocasionados por accidentes automovilísticos, el derrame de sustancias perjudiciales para el pavimento, la construcción de nuevas obras, etc.

## **TIPOS DE PAVIMENTOS URBANOS**

En general todos los tipos de pavimentos son utilizados en el contexto urbano, su clasificación puede estar dada por sus características físicas, su uso e intensidad de tránsito, y el flujo vehicular y el peso; de tal modo que podemos encontrar las siguientes clasificaciones:

### **➤ POR SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

a) **Empedrado:** Utilizando tanto en poblaciones pequeñas como solución tradicional, o en zonas residenciales, turísticas, históricas, etc. Son duraderos, guardan armonía con los contextos urbanos, aunque producen ruido y deben circularse a baja velocidad. Requieren una conservación mínima.

b) **Adoquines:** Existen varios tipos, como el adoquín fabricado macizo, el hueco o el de piedra labrada. Estos se utilizan en zonas residenciales, turísticas, históricas, etc., con grandes ventajas, ya que requieren de una conservación mínima, son poco ruidosos y permiten velocidades de circulación

razonables. Su utilización se ha extendido inclusive a patios de maniobras, plataformas, etc., para vehículos pesados y circulación lenta, además de estacionamientos en donde se están utilizando adoquines huecos, que permiten el crecimiento de pasto en su interior, así como la infiltración del agua al subsuelo, cumpliendo una función ecológica.

c) **Pavimentos Flexibles:** Conservan la estructura tradicional de varias capas, constando la superior de una mezcla asfáltica en caliente (concreto asfáltico) o elaborada en frío, anteriormente con asfaltos rebajados, o con emulsiones, con las ventajas y desventajas de todos conocidas.

Dentro de los pavimentos flexibles encontramos diversos tipos de arreglos. (Ver Fig. 1.1).

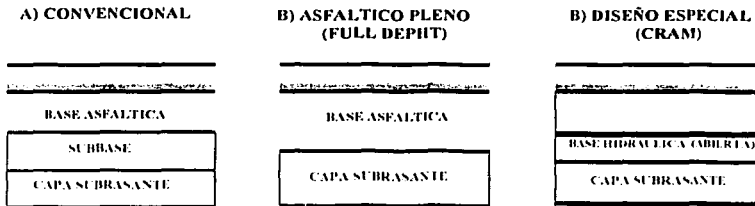


FIG. 1.1 ARREGLOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES.

El arreglo convencional es el más utilizado sobre todo en pavimentos nuevos, mientras que el asfalto pleno funciona cuando se reciclan las capas existentes de una carpeta vieja, comúnmente se le conoce como base negra, el tercer tipo se emplea en el reforzamiento de una carpeta existente sobreponiendo prácticamente la nueva estructura de pavimento.

d) **Pavimentos rígidos:** El elemento estructural como se sabe lo constituye una losa de concreto hidráulico, que puede ser vibrado, rodillado, con una variante que incluye al concreto estampado, al aplicar una plancha con diseños geométricos sobre la superficie del concreto fresco la forma estructura típica se muestra en la Fig. 1.2. Las ventajas y desventajas de estos pavimentos también son conocidas ampliamente, debiendo solamente señalarse que en el caso del concreto rodillado, debe construirse una sobre carpeta asfáltica cuando los vehículos circularán a altas velocidades.



FIG. 1.2. ARREGLO TÍPICO DE PAVIMENTO RÍGIDO.

e) Pavimentos Compuestos: Constan de una losa de concreto, cubierta con una sobre carpeta de concreto asfáltico, la cual servirá como superficie de rodamiento, siendo la losa el elemento estructural principal. Reúnen las ventajas y desventajas de ambos tipos de pavimentos, si bien, aún cuando la carpeta asfáltica puede estar a salvo del fenómeno de fatiga, su vida útil es corta en comparación con la losa de concreto, requiriendo de una conservación similar a la de un pavimento flexible. Otro problema lo constituye la reflexión de las juntas y eventualmente de las grietas de las losas de concreto, aspecto que debe tenerse en cuenta en su diseño. El arreglo de capas se muestra en la figura 1.3.

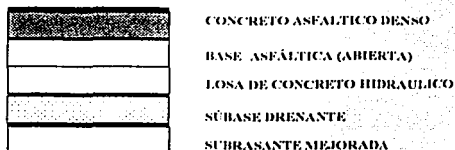


FIG. 1.3 SECCIÓN DE PAVIMENTO COMPUESTO.

#### DE ACUERDO CON SU USO E INTENSIDAD DE TRANSITO:

Los pavimentos no solamente son muy utilizados para la circulación vehicular, se pueden utilizar como estacionamientos, destinando en carril para ello o como bahías en zonas de intercambio de medio de transporte en terminales ferroviarias, de autobuses, estaciones de metro, etc. De igual manera se le utiliza en paraderos de autobuses, para la circulación exclusiva de autobuses y trolebuses en carriles preferenciales, accesos a edificios, e inclusive para circulación peatonal, independientemente de los cruces peatonales establecidos. De igual manera el tipo y volumen de tránsito presenta variaciones importantes, desde unos cuantos vehículos pesados en zonas fabriles o comerciales y varios miles de vehículos al día en vías rápidas y autopistas urbanas. A este respecto puede señalarse que volúmenes de tránsito hasta de 3000 vehículos por día, pueden manejarse en calles de tipo convencional, de 3000 a 8000 vehículos por día es posible manejarlos en calles con algunas adecuaciones que permitan integrarlas al contexto urbano. Volúmenes superiores requieren ser manejados mediante proyectos especiales, generalmente con soluciones a desnivel y de gran costo, por ser incompatibles con un contexto urbano. Evidentemente que además de cumplir con requerimientos de carácter geométrico, el pavimento deberá estar acorde con el tipo de vialidad, teniendo en cuenta el volumen de tránsito.

- Ⓛ. Autopistas y arterias principales.
- Ⓛ. Arterias.
- Ⓛ. Calles colectoras.

d). Calles locales o de acceso.

De acuerdo con el flujo vehicular y el peso que transita sobre la vialidad:

Por el número de ejes acumulados equivalentes de 8.2 Ton en:

Tipo I ( $\geq 107$ )

Tipo II (106-107)

Tipo III ( $< 106$ )

Las distintas clasificaciones presentadas anteriormente son utilizadas, ya sea para referirse a sus características físicas, a las condiciones de diseño o a su funcionamiento dentro del entorno urbano. De acuerdo a esta última clasificación se presenta a continuación la descripción de la red urbana existente en la Ciudad de México.

### LA CIUDAD DE MÉXICO.

La red vial primaria y secundaria del Distrito Federal tiene una longitud total cercana a los 9 mil kilómetros, de los cuales poco más del 10% corresponde a la vialidad primaria que comprende las vías de acceso controlado con una longitud de 148km, las vialidades principales, y los ejes viales.

Aún cuando por sus características de la Ciudad de México escapa de una normatividad genérica, de acuerdo a las normas de Planeación del Sistema General de Transportación establecidos por la Secretaría de Obras Públicas y Servicios Urbano, el Distrito Federal requeriría una vialidad con las características siguientes:

Un 15% de la unidad total dedicado a la vialidad primaria en arterias principales;

Un 3% del total de la red para vías de acceso controlado en autopistas urbanas.

De acuerdo a lo anterior y con base en el inventario de infraestructura vial existente en el Distrito Federal, se tiene un déficit total de 410 Km. (4.6%) de vialidades primarias y de 120 Km. (1.3%) de vías de acceso controlado.

Tanto la vialidad interior del Distrito Federal, como la vialidad metropolitana integrada por los corredores de acceso a la ciudad, constituyen la principal problemática a solucionar en materia de infraestructura. La mayor parte de estas vialidades presentan flujo inestable; estas condiciones implican una velocidad promedio en los tramos de vialidad considerados de entre 20 y 21 km/h.; por su parte los vehículos de transporte público en el Distrito Federal operan a una velocidad promedio de 17 km/h.

Las reducidas velocidades de operación provocan pérdidas significativas de tiempo, altos niveles de contaminación y se deben principalmente a las prácticas de operación del transporte público concesionado, al estacionamiento de vehículos en tramos importantes de la vialidad y a la operación ineficiente de los semáforos en algunas intersecciones, particularmente los que operan con tiempos fijos.

La zona urbana de la ciudad de México abarca un poco más de 720 km<sup>2</sup> y se realizan 29.5 millones de viajes persona/día, de los cuales el 16.30% se efectúa a través del sistema de transporte colectivo, y el 83.70% restante utiliza el automóvil particular y el auto-transporte concesionado. La evolución del crecimiento de personas y vehículos se muestra a continuación de forma gráfica (ver tabla 1.1).

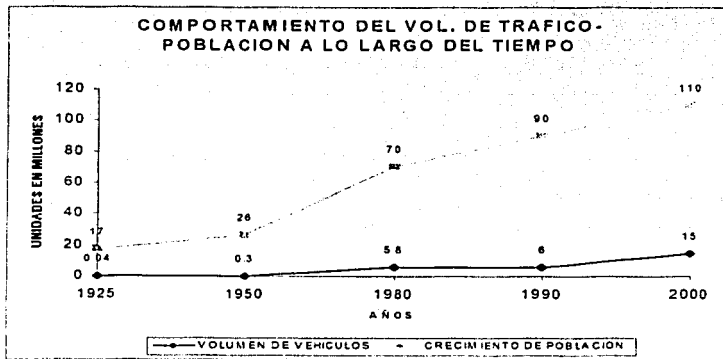


Tabla 1.1 COMPORTAMIENTO DEL VOLUMEN DE TRAFICO

Para realizar el movimiento vial en la Ciudad se tienen construidos 32.5 millones de metros cuadrados de pavimentos asfálticos aproximadamente. Para conservar de manera funcional estas vías a lo largo del tiempo, se realizan una serie de procesos como el bacheo, aplicación de morteros asfálticos, colocación de sobre carpetas asfálticas, etc.

Desde el segundo tercio de siglo, en la Ciudad de México se ha utilizando pavimento de concreto asfáltico e hidráulico de manera intensiva. A partir de entonces se han realizado diversos procedimientos de mantenimiento para la conservación de las vialidades; así como un plan de desarrollo que obedece al crecimiento de la mancha urbana y a la demanda de viajes persona / día.

Con el paso del tiempo se han empleado diversos materiales y distintos procesos de pavimentación en las avenidas, con la finalidad de encontrar mejores resultados de durabilidad. A finales de los sesentas en la calzada de Tlalpan se utilizó carpeta ahulada PA5H, con lo cual se logró reducir espesores y buen comportamiento de la vialidad.

En los años setentas se inició la utilización de morteros asfálticos (Slurry Seal) en el Periférico, en el tramo de Toreo a San Jerónimo, obteniendo resultados satisfactorios en el sellado de grietas y fisuras existentes; así como alargamiento de la vida útil del pavimento (entre 6 y 7 años). El uso de este procedimiento se extendió a las calles secundarias como un tratamiento que reducía el reflejo de los agrietamientos y extendía su vida útil.

En el inicio de los ochentas se estableció un programa para favorecer el desarrollo y la consolidación de los centros urbanos, el cual facilitaría la fluidez de intercomunicación; y consistió en la construcción de vías de acceso controlado con pasos a desnivel y peatonales.

Tomando en cuenta que el crecimiento del volumen vehicular era del 11 % anual y que existía una falta de vías se pensó en estructurar de forma jerárquica la red vial, quedando del siguiente modo:

- A.- Vías de circulación continua conectadas a los principales accesos de carreteras.
- B.- Vías primarias que crucen la ciudad de extremo a extremo, teniendo que ser prioritarias en su circulación.
- C.- Vías secundarias que conecten las diferentes áreas urbanas entre sí.
- D.- Vías locales que den acceso a las propiedades.
- E.- Vías y zonas peatonales.

Desde luego que para lograr el objetivo anterior fue necesaria la intervención de los diversos órganos de Gobierno encargados de la planeación, construcción y operación del programa. Actualmente estos organismos siguen estando vigentes y los que en su momento fueron encomendados para su construcción, ahora procuran la conservación y mantenimiento de esas vialidades.



## **VIALIDADES EN EL DISTRITO FEDERAL.**

Dentro del Gobierno del Distrito Federal existen Dependencias que intervienen en el desarrollo de los pavimentos y tienen una actividad específica.

La Secretaría de Transporte y Vialidad tiene como objetivo principal la concientización ciudadana para la mejora del transporte en el D. F.; ya que analiza la generación de una adecuada convivencia entre los conductores de vehículos y los usuarios de la vía pública. Sus acciones están orientadas a las siguientes acciones:

- Elaboración de estudios y proyectos de crecimiento atendiendo las demandas actuales y futuras del transporte público y el de carga.
- Censos periódicos del comportamiento de l flujo vehicular en tramos de las diferentes vialidades.
- Distribución de rutas de traslado de carga y pasajeros atendiendo las encuestas de origen destino.

La Secretaría de Obras y Servicios es la encargada de la construcción de nuevas vías, el mantenimiento y la conservación y esta conformada por distintas oficinas para ello, como se puede ver en el organigrama presentado en la figura 1.4.

**ORGANIGRAMA GENERAL DEL GOBIERNO DEL DISTRITO FEDERAL**

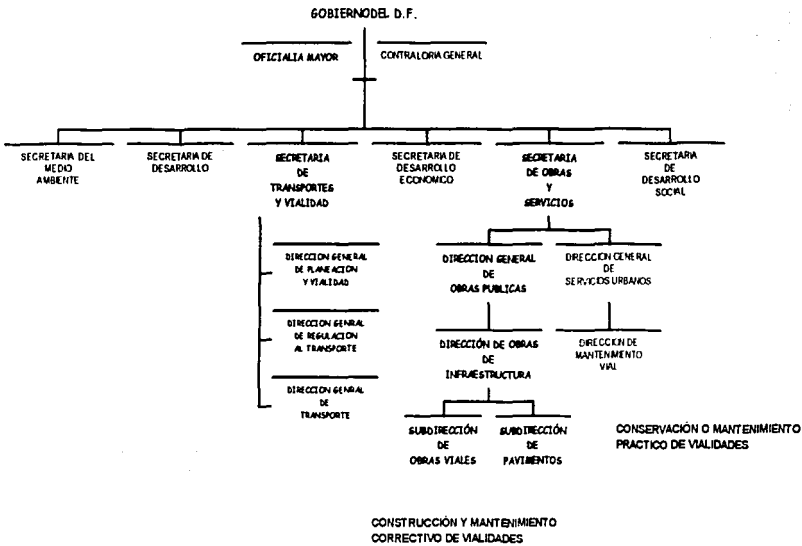


FIG. 1.4 ORGANIGRAMA

Como se puede apreciar en el organigrama, La Dirección General de Obras Públicas es la Entidad encargada de la Conservación y Mantenimiento de la red vial primaria, surgida a raíz del plan rector desarrollado en los años ochentas, y que actualmente presenta el siguiente esquema:

Dos vías anulares: Anillo periférico y Circuito Interior con los que se distribuyen grandes volúmenes de tráfico al sistema vial.

**Viaductos:** Miguel Alemán y Tlalpan, son vías de acceso controlado para satisfacer demandas de viajes altas a zonas específicas de la ciudad.

**Vías Radiales:** Ignacio Zaragoza, Lázaro Cárdenas y Río San Joaquín, comunican a la zona centro de la Ciudad.

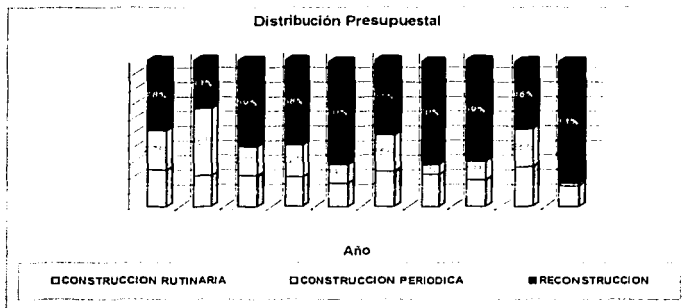
**Puertas de Acceso:** Carreteras a Toluca, Cuernavaca, Pachuca y Puebla, Absorben los volúmenes de los accesos carreteros de la Cd. de México.

**Ejes Viales:** Redícula a todo lo largo y ancho de la ciudad, Vías de Circulación continua con derecho de vía de extremo a extremo de la urbe, sección similar en toda su longitud, sentidos únicos de circulación, para disminuir los puntos de conflicto, semáforos sincronizados y carriles exclusivos para el uso del transporte público de pasajeros.

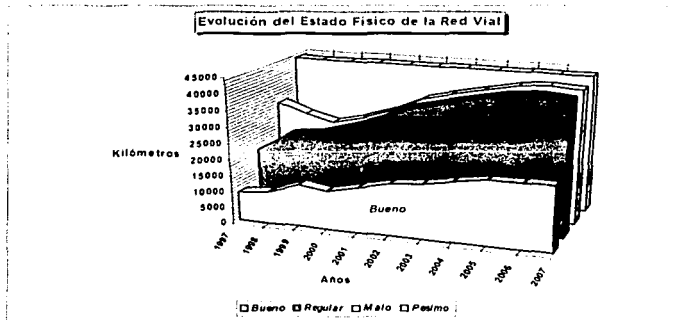
Para el mantenimiento de las vías que conforman al plan rector se estableció un programa basado en la clasificación de flujo vehicular y al tipo de pavimento existente. En los últimos años los tratamientos más utilizados han sido los siguientes:

- Rehabilitado total con mezcla en caliente.
- Rehabilitado total con mezcla en frío.
- Rehabilitado parcial con una carpeta de graduación abierta como superficie de rodamiento.
- Rehabilitado parcial con un tratamiento superficial de mortero asfáltico como superficie de rodamiento.
- Rehabilitado mediante reciclados tanto en sitio como en planta.

La estrategia planteada con los programas actuales es lograr invertir esta tendencia y tener un porcentaje mayor de mantenimiento preventivo respecto al correctivo. Esto se puede observar en el diagnóstico 2001, en el cual prácticamente son los mismos porcentajes para el mantenimiento preventivo que para el correctivo, apreciándose que los porcentajes se han reducido sustancialmente a un más para el 2002. Con esto se busca disminuir de manera considerable el rubro correspondiente a mantenimiento correctivo y dar mayor participación al preventivo.



El mantenimiento es un factor muy importante para cualquier obra civil y consiste en todas aquellas acciones que tienen como finalidad el conservar las características físicas y de servicio de las obras. En el caso de los pavimentos, el mantenimiento es significativamente importante, dadas las características de diseño y de servicio para las que son diseñados. Es una actividad esencial para lograr cumplir con la vida útil para la cual son diseñados y se pueda mantener el nivel de servicio proyectado, a continuación se muestra la grafica de la Evolución del estado físico de la red vial Principal en el D.F.



El mantenimiento requiere de una planeación adecuada. Actualmente se cuenta con herramientas que permiten llevar a cabo esta etapa, y éstas se denominan, sistemas de gestión o administración de pavimentos. Mediante un estudio realizado en la Secretaría de obras Publicas del D. F. se pretende cumplir con el presupuesto ideal a fin de mantener la red vial en condiciones aceptables en los próximos años.

El sistema de gestión o administración de pavimentos es un proceso de obtención de la información necesaria para la selección de alternativas de planeación, organización y presupuestación en la conservación de sistemas viales.

Las características de un sistema de gestión de pavimentos confiable son las siguientes:

Información histórica.- Comprende la información sobre como se construyó la vialidad, información técnica del proyecto, materiales empleados en la construcción, resultados de laboratorio obtenidos en el proceso, así como un historial de los mantenimientos recibidos, etc.

Inventario físico.- Características de la superficie de rodamiento, obras inducidas, obras complementarias, estructuras existentes, etc.

Inventario de deterioros.- Recopilación de los tipos de daños por tramo y sus causas.

Evaluación superficial.- Información obtenida por la inspección visual y las calificaciones logradas por el estudio de la irregularidad superficial y su evaluación general.

Evaluación estructural.- Resultados del análisis de capacidad estructural obtenidos por los distintos tipos de pruebas destructivas y no destructivas.

Costos.- Análisis de los costos para la conservación para todas las modalidades definidas.

Actualmente existen diversos sistemas informáticos en el mercado para poder llevar a cabo este tipo de labores.

**INVENTARIO DE LA RED VIAL DEL D.F.**

El sistema vial de la ciudad de México, compuesto por calles, calzadas, avenidas viaducto, ejes Viales, Circuitos, etc., ha tenido una serie de problemas como la ejecución incompleta de proyectos las obstrucciones físicas generadas en las vialidades y las practicas incorrectas de los usuarios, representan algunas de las agravantes que han ocasionado la pérdida de capacidad vial, siendo esta una de las medidas mas atractivas para mejorar las condiciones de transito.

A continuación se presenta el listado de la red vial en el D. F.

**RED VIAL PRIMARIA DEL DISTRITO FEDERAL**

VIALIDAD	TOTAL Km.	ACCESO CONTROLADO	SIN CONTROLAR	SECCION TRANSVERSAL	PAVIMENTO M <sup>2</sup>
PERIFÉRICO	92.70	42.70	50	40 m	2,868,000
C. INTERIOR	43.70	36.98	6.72	41 m	1,690,900
CALZADA DE TLALPAN	18.75	18.75	0	30 m	562,500
VIADUCTO MIGUEL ALEMAN	13.55	10.15	3.40	33 m	429,600
VIADUCTO RÍO BECERRA	1.8	1.8	0	30 m	54,000
ZARAGOZA	14.70	10.50	4.20	48 m	680,400
A. SERDAN	9.45	3.20	6.25	36 m	290,200
RÍO SAN JOAQUIN	5.40	5.40	0	31 m	167,400
GRAN CANAL	10.50	0	2.50	42 m	105,500
EJES VIALES	514.20	4.60	509.60	VARIABLE	6,798,210
VIAL PRINCIPAL	205.00	13.80	191.20	VARIABLE	3,709,115
<b>TOTAL</b>	<b>929.75</b>	<b>147.88</b>	<b>773.87</b>		<b>17,335,325</b>

## CAPITULO II

### DISEÑO DE PAVIMENTOS

#### ELEMENTOS DE DISEÑO PARA EL ESPESOR DE PAVIMENTOS

Los factores principales relacionados con el problema de diseñar el espesor de los pavimentos

son:

- Cargas de tránsito
- Clima o medio
- Características de los materiales

Además, debe considerarse un cierto número de otros elementos con objeto de llegar al diseño final del espesor. Dentro de estos están comprendidos.

El costo, la construcción, el mantenimiento, y el período de diseño.

#### CARGAS DE TRANSITO

Una de las funciones principales del pavimento es la de resguardar la subrasante de las cargas impuestas por él tránsito. Los factores de carga principales que son importantes en el diseño de pavimentos flexibles son:

- Magnitud de la carga por eje (ruedas)
- Volumen y composición de la carga por eje
- Presión de las llantas y área de contacto

La magnitud de la carga máxima se controla mediante los límites legales de carga. Generalmente se emplean estudios de tránsito y carga para establecer la magnitud relativa y la ocurrencia de las diferentes cargas a la que está sometido el pavimento. La mayoría de los procedimientos de diseño se utilizan para un incremento en el volumen del tránsito con base en la experiencia, empleando algunas tasas estimadas de crecimiento.

## CLIMA O MEDIO

El clima en el lugar donde se ha de construir el pavimento flexible, influyendo en la vida útil, resistencia y otras características de los materiales que conforman el pavimento y sub-rasante. Los factores climáticos más importantes son: temperatura y humedad.

La magnitud de la temperatura y sus fluctuaciones afectan las propiedades de los materiales; por ejemplo, las altas temperaturas ocasionan que el concreto asfáltico pierda estabilidad en tanto que a temperaturas bajas se vuelve muy duro y rígido.

Si los materiales granulares no están graduados de manera apropiada, pueden levantarse debido a las heladas. Asimismo, la humedad actúa sobre las características de muchos materiales, siendo la humedad un factor importante en los daños relacionados con las heladas.

Los suelos de la sub-rasante y otros materiales de pavimentación se debilitan en forma apreciable cuando se saturan y ciertos suelos arcillosos presentan cambios de volumen substanciales que han sido inducidos por la humedad.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Un diseño apropiado de los sistemas de pavimentos flexibles debe abarcar la total interpretación de las características esenciales de los materiales que la forman y de aquellos sobre los que esta cimentado. Las características de los materiales pueden variar dependiendo de la naturaleza del procedimiento de diseño, pero en general, las siguientes son las más importantes:

- Carpeta asfáltica: Resistencia, estabilidad.
- Base y sub-base granular: Graduación, resistencia o estabilidad (resistencia al corte, o propensos a cargas repetidas o ambas).
- Carpetas tratadas o estabilizadas: Resistencia (a la flexión, a la compresión) y propensos a cargas repetitivas o ambas.
- Sub-rasante: Resistencia o estabilidad, clasificación del suelo y propensos posiblemente a cargas repetitivas.



Para determinar las propiedades que se necesiten, se tienen disponibles métodos diferentes de prueba estándar.

## **MÉTODOS DE DISEÑO**

Antes de la segunda guerra mundial la determinación del espesor combinado del pavimento flexible y de la base necesaria en cualquier circunstancia fue durante mucho tiempo un tema de juicio y experiencia. Se atribuye al hecho de que; (1) el método ha dado aparentemente resultados satisfactorios, (2) no estaban disponibles muchos de los conocimientos básicos requeridos para un planteamiento más científico del problema y (3) los métodos de construcción ampliamente usados entonces, no necesitaban al parecer la evolución de métodos de diseño más científicos. No obstante, en el período inmediatamente anterior a la guerra y durante sus primeras etapas, la necesidad de diseñar y construir en forma económica una enorme cantidad de pistas en los aeropuertos y de carreteras de acceso a instalaciones militares llamó la atención sobre este problema de diseño. Lo que decidió los esfuerzos dirigidos a la solución del problema del diseño económico de pavimentos flexibles y bases fue el costo incrementado de la construcción de caminos durante y después de los años de la guerra.

Como consecuencia, muchos organismos gubernamentales emprendieron amplias investigaciones que condujeron al desarrollo de un gran número de métodos de diseño diferentes. No hubo (ni hay) un acuerdo entre los ingenieros que practican la profesión acerca de cuál de ellos es el mejor.

El inicio de la construcción del sistema de carreteras en el año de 1956 aceleró grandemente los esfuerzos para mejorar los métodos de diseño de pavimentos. Las pruebas de carretera de la AASHTO fue el campo de pruebas más extenso en la historia de la construcción de carreteras. Una de las principales etapas de las pruebas de carreteras la cual concluyó en 1961, se ocupa de los pavimentos flexibles. Desde entonces los resultados de las pruebas de carretera se han extendido ampliamente.

Durante muchos años algunos ingenieros han querido diseñar los pavimentos flexibles sobre una base analítica, es decir, aplicando la teoría de la elasticidad o conceptos similares sobre el comportamiento del sistema de multicapa que es un pavimento flexible. Su labor se ha visto obstaculizada por la complejidad del problema y por la carencia de ciertos parámetros para encajarlos en las ecuaciones de diseño. En el presente, debido a la acumulación de una enorme cantidad de datos experimentales y a la extensa actividad de investigación, se dispone de un diseño de pavimento flexible basándose en métodos analíticos. A continuación se mencionan los principales métodos de diseño, siendo los más destacados el método de California, el método del Valor Relativo de Soporte (VRS) y el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

**METODO CALIFORNIA**

El California Department of Transportation utiliza un método de diseño el cual tuvo como base las siguientes consideraciones:

Partes del pavimento	Coefficiente
<b>Carpeta</b>	
Mezcla de agregados asfálticos (baja estabilidad)	0.20
Mezclado en planta (alta estabilidad)	0.44
Arena asfalto	0.40
<b>Base</b>	
Grava arenosa	0.07
Piedra Triturada	0.14
Tratada con cemento (no suelo cemento)	
Resistencia a la compresión @ 7 días	
650 lb/pulg <sup>2</sup> o más	0.23
400 lb/pulg <sup>2</sup> a 650 lb/pulg <sup>2</sup>	0.20
400 lb/pulg <sup>2</sup> o menos	0.15
Tratada con material bituminoso	
Gruesos graduados	0.34
Arena asfalto	0.30
Tratada con cal	0.15-0.30
<b>Sub-base</b>	
Grava arenosa	0.11
Arena o arcilla arenosa	0.05-0.10

Tabla 2.1 Coeficientes de capa estructurales, propuestos por el Comité sobre diseño de la AASHO.

En este método, en lugar de suponer que la carga se encuentra distribuida sobre cierta área que varía con la profundidad del pavimento flexible, base o sub-base, se supone que tanto la carpeta como la base se deben diseñar para resistir el empuje potencial hacia arriba de la sub-rasante en los puntos adyacentes, pero del lado exterior, del área que en realidad está soportando la carga.

La idea es que el efecto al aplicar una carga sobre un área limitada y apoyada en un lecho de

material granular es forzar una masa en forma de cono del material adyacente. Con este análisis, la presión sobre algunos planos -bajo la superficie puede ser mayor que la que existe en esta. La ecuación general empleada en el método California es:

$$GE = 0.0032 ( TI ) ( 100 - R ) \quad \text{Ecuación (2-1)}$$

Donde:

TI = Índice de tránsito.

R = Valor de la resistencia del suelo o capa bajo el pavimento.

GE = Espesor del pavimento en términos del equivalente de grava (pies)

La fórmula de diseño de pavimento flexible no admite espesores de capa deficientes que podrían provenir de tolerancias permisibles en las especificaciones estatales. Es necesario sumar un espesor a los diseños y esto se hace con un factor de seguridad expresado en término de equivalencia de grava. En el método California se manejan 2 casos:

El primer caso se presenta cuando el material de sub-rasante es expansivo. El procedimiento de diseño implica la determinación de diferentes valores de R para dicho material, el cual variara con el contenido de humedad y la sección estructural supuesta. Estos diseños se prueban en el laboratorio mediante un procedimiento demasiado detallado.

El segundo caso es una en el cual se especifican los valores de R de la base y sub-base y puede determinarse el mínimo valor de R del suelo de cimentación por que, bajo el peso de cualquier sección estructural basado en la carga del tránsito, el suelo de cimentación no será expansivo. En este caso no es necesario suponer una sección estructural en la ejecución de los cálculos de laboratorio para obtener el valor de R. De esta manera pueden determinarse fácilmente diseños diferentes y, por lo tanto, la sección más económica.

#### METODO DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE (VRS)

En México se utiliza predominantemente el VRS como método de diseño de los pavimentos carreteros. La figura 2.3 muestra las graficas de diseño de pavimentos en función del VRS.

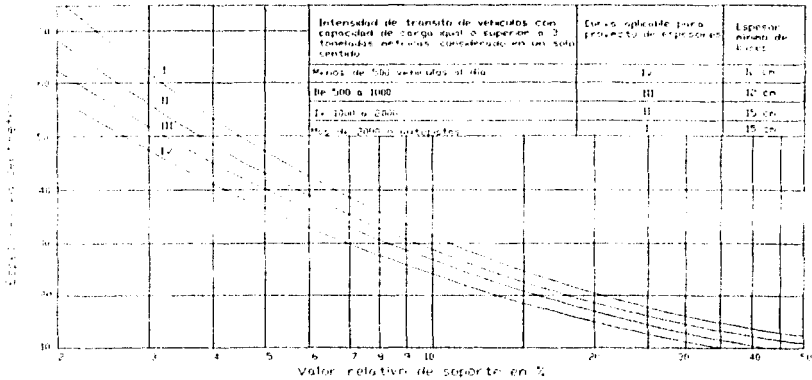


FIGURA 2.3 ESPEORES DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS SEGÚN EL VRS

Enseguida se muestra la gráfica de diseño para pavimentos carreteros, que ha sido desarrollada por el grupo de trabajo del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional autónoma de México. FIGURA 2.4

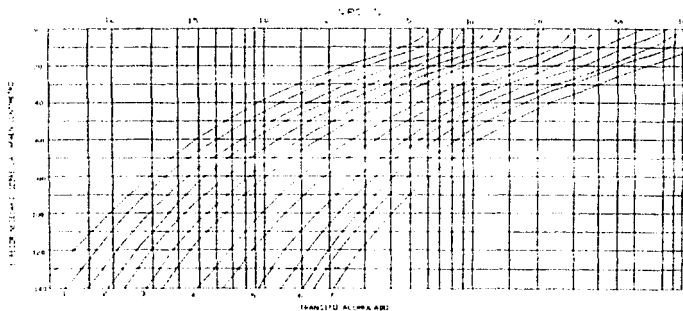


FIGURA 2.4 ESPEORES DE PAVIMENTOS EN CARRETERAS SEGÚN EL VRS. (CARRETERAS DE TRANSITO ALTO Y MEDIO)

Esta gráfica representa a juicio de los autores un enfoque muy prometedor, se involucran muchas

ideas nuevas. En primer lugar, se maneja el número de repeticiones de cargas ( $CL$ ) que el pavimento diseñado con un cierto espesor, podrá resistir antes de fallar, definiendo la falla como una deformación permanente de 2.5 cm. en un 20% del área pavimentada. En segundo lugar, el concepto del VRS esta ahora manejado con una búsqueda de rigor lógico que se antoja racional; en efecto en los métodos más tradicionales, el VRS de cada suelo de los que han de constituir un pavimento se determina de la misma manera y se maneja con bastante independencia de la posición de la capa del suelo dentro de la estructura del pavimento; no se puede establecer claramente que el VRS, se ha de exigir a los diferentes suelos según su ubicación en la terrecería o el pavimento y esto ha tenido que venirse haciendo con base en especificaciones empíricas. El Ing. Santiago Corro y su grupo de colaboradores han pensado de modo algo diferente. Aceptan que el VRS debería distribuirse en el espesor de la sección resistente del pavimento en forma análoga a como se distribuyen los esfuerzos normales verticales según la teoría de Boussinesq, así habría una curva de distribución del VRS análoga a la curva típica de Boussinesq; naturalmente, esta distribución no podrá ser continua y los requerimientos constructivos del trabajo por capas harán que el VRS vaya en realidad disminuyendo en escalones, pero el criterio de correspondencia entre los esfuerzos transmitidos y el VRS necesario para soportarlos sigue siendo el mismo.

#### **MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM**

El Instituto de Ingeniería de la UNAM desarrolló un método teórico, para la estructuración de carreteras, en base a las teorías de distribución de esfuerzos en los suelos, con el cual se obtiene una estructura homogénea en todas sus capas, trabaja con graficas basadas en el volumen de tránsito acumulado en la vida útil de la obra y en el valor relativo de soporte de campo, proponiendo que este valor se obtenga con el método del Cuerpo de Ingenieros, que es muy elaborado y lento, por lo que en la práctica se usa el VRS de la prueba de Porter modificada, obteniéndose así espesores menos conservadores, además, al utilizarse un método más sencillo y confiable se puede tener un mayor número de datos, con lo que los materiales se conocerán con mayor exactitud, ya que se obtiene un mejor valor de la media estadística. El método del instituto de Ingeniería propone graficas para diferentes grados de confianza, la que aquí se presenta corresponde al 90%. Debido a que este método hace énfasis en el uso de datos estadísticos, como son valores medios, desviaciones estándar ( $S$ ), coeficientes de variabilidad ( $V$ ) y niveles de confianza, se presupone que deben corresponder como mínimo, a muestras pequeñas, o sea que deben tener cuando menos 15 valores correspondientes a diferentes sondeos o muestras de materiales y como para cada material diferente se necesitan 12 especímenes que se saturan por tres días, el número de especímenes para una longitud aproximada de 20 km sería:  $12 \times 15 \times 4 = 624$  especímenes suponiendo que la estructura tenga 4 capas: cuerpo de terraplén, capa sub-rasante, sub-base y base.

El método del Instituto de Ingeniería requiere para calcular la media y el coeficiente de variabilidad de los valores relativos de soporte en cada una de las capas; con ello, se obtiene el VRS medio para luego obtener el VRS que será el de proyecto. Para cada tipo de vehículo se proporciona el factor de daño para diferentes profundidades, estos factores aparecen en las columnas sombreadas de la figura 2.1 y corresponden a los pesos de los vehículos aprobados para 1994 en México. La tabla muestra el cálculo para obtener el tránsito acumulado. La suma mayor de ejes equivalentes, que corresponde a alguna de las profundidades es la que se toma para el proyecto. Esta suma mayor de ejes equivalentes, multiplicada por el factor C de crecimiento al futuro, proporciona el tránsito equivalente acumulado en el horizonte de proyecto.

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA

Tránsito diario promedio anual en los dos sentidos 5840 vehículos  
 Tránsito en el carril de diseño (TDPA) 60 % 3504 vehículos  
 Período de diseño (n) 15 años Tasa anual de crecimiento (r) 7%  
 Factor de crecimiento al futuro C = 9.172

Tipo de vehículos	Composición		Coeficientes de daño				Ejes equivalentes de 8.2 T			
	%	Cantidad	Z=0	Z= 15	Z=30	Z=60	Z=0	Z= 15	Z=30	Z=60
			(Cargados/vacios)				(Cargados/vacios)			
A(A2)	30	1051.2	0.004	0.000	0.000	0.000	4.2048	0	0	0
		0	0.004	0.000	0.000	0.000	0	0	0	0
P(A2)	10	350.4	0.536	0.064	0.023	0.116	187.8144	22.4256	8.0592	40.6464
		0	0.536	0.002	0.000	0.000	0	0	0	0
B2	4	140.16	2.000	1.890	2.457	2.333	280.32	264.9024	344.373	411.93
		0	2.000	0.757	0.502	0.443	0	0	0	0
B3	6	210.24	1.999	1.369	0.877	0.852	420.2698	287.8186	1134.38	173.124
		0	1.999	0.321	0.091	0.058	0	0	0	0
C2	20	700.8	2.442	2.310	3.003	3.586	171.354	1618.848	2104.5	2513.07
		0	2.000	0.123	0.028	0.014	0	0	0	0
C3	8	280.32	3.500	3.290	2.870	3.500	981.12	922.2528	804.518	981.12
		0	3.000	0.154	0.039	0.023	0	0	0	0
C4	7	245.28	4.773	3.312	2.923	3.497	1170.721	812.3674	716.953	857.744
		0	4.000	0.271	0.084	0.051	0	0	0	0
T3-S2	6	210.24	5.577	5.907	5.313	6.435	1172.508	1241.888	1117.01	1352.83
		0	5.000	0.160	0.040	0.230	0	0	0	0
T3-S3	4	140.16	6.461	5.645	5.112	6.177	905.5738	791.2032	716.498	865.768
		0	6.000	0.154	0.040	0.023	0	0	0	0
T3-S2-R2	3	105.12	6.653	8.188	3.23	1.170	720.3874	860.7226	959.01	1174.19
		0	8.853	0.180	0.043	0.024	0	0	0	0
T3-S2-R4	2	70.08	7.173	8.170	7.458	9.12	502.6838	572.5536	522.657	639.13
		0	7.173	0.165	0.041	0.022	0	0	0	0
			Sumas				8056.957	7394.982	7477.96	9016
Tránsito equivalente acumulado al final del horizonte de proyecto 9016 x 9.172 = 82691237 vehículos										

FIG. 2.1 FACTORES DE EJES EQUIVALENTES MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA.



## CAPITULO III

### EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS URBANOS

La evaluación de un pavimento parte de la necesidad de transitar por una vialidad que cumple con sus funciones básicas: comunicar dos sitios, ofrecer la mayor seguridad y comodidad al usuario y cumplir con la vida útil proyectada.

En cuanto a la comunicación de dos sitios en esta etapa se considera que se realizaron los estudios pertinentes para establecer la ruta más conveniente según los objetivos establecidos.

Para brindar seguridad se deben cumplir las normas establecidas por los diferentes organismos de regulación vigentes durante el momento de su construcción como al tiempo de su operación, la seguridad esta directamente ligada al grado de confort que el usuario perciba al transitar sobre la vialidad.

Para lograr la vida útil una vialidad (llámese camino, carretera, autopista calle, boulevard o eje vial), se debe realizar un mantenimiento y conservación para cumplir con la seguridad y el confort preestablecidos.

La evaluación de una vialidad debe atender dos aspectos fundamentales: La funcionalidad o estado superficial o de transitabilidad y la capacidad de carga.

Un administrador de pavimentos realizará una evaluación estructural antes de proceder al diseño, con el fin de asegurar que se realice la mejor inversión. Sería absurdo proporcionar una delgada superficie con buena resistencia al derrapamiento para restaurar la seguridad, sin antes verificar la condición estructural, ya que el pavimento existente pudiese ser inadecuado para resistir las cargas pronosticadas del tránsito. De esta manera, podría requerirse una sobrecarpeta gruesa o aún una reconstrucción, en lugar de sólo una simple capa para restaurar la fricción, a menos que ésta sea parte de un mejoramiento planeado por etapas.

Para la evaluación preliminar o de nivel de red se requieren algunos valores límite o criterios que ayuden a determinar el momento en que deba realizarse una evaluación más detallada. Estos pueden



ser indicadores provenientes de otros tipos de evaluación, pero para supervisión estructural comúnmente se utilizan niveles límite de deflexión para una prueba de carga específica.

Tanto la evaluación funcional (de la calidad del servicio proporcionada a los usuarios de un pavimento por su superficie de rodamiento) como la estructural son importantes, complementándose entre ellas en vez de reemplazarse. Una observación de nivel de servicio por debajo de un cierto límite aceptable es una forma de detectar la necesidad de realizar una evaluación estructural. Un pavimento rugoso puede ser fuerte y requerir únicamente una capa de nivelación sobre su superficie, o puede ser estructuralmente débil y requerir ser reemplazado o la colocación de una sobrecarpeta gruesa. Para completar la interrelación, la evaluación estructural debe ser capaz de predecir la capacidad del pavimento de soportar cargas y su proyección de vida para el tránsito esperado.

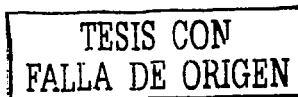
En este trabajo se dará especial importancia a la EVALUACIÓN SUPERFICIAL Y ESTRUCTURAL de los Pavimentos Urbanos, aunque se tiene una similitud casi total con los de carreteras.

### EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS

La superficie de un camino es la parte que ve y siente el operador de un vehículo al circular y refleja de alguna manera las características estructurales de las capas que conforman el pavimento; esto originó que se buscara la forma de medir o calificar la condición superficial surgiendo así algunos equipos y métodos para realizar esta tarea.

Para medir las características superficiales de los caminos se han diseñado algunos equipos, tales como las vigas móviles que tienen un interés específico en la detección de irregularidades puntuales en la fase de control de obra; sin embargo, por sus bajos rendimientos son obsoletos para la medición de grandes longitudes de camino. Otro grupo de sistema de medida, son los equipos de tipo dinámico, con los que se puede conseguir altos rendimientos y que, por lo tanto, pueden aplicarse incluso para la evaluación del estado total de la red. Recientemente han aparecido equipos sofisticados que pueden desplazarse a velocidades superiores a los 80 km/hr, provisto de cámaras láser y que además de medir la rugosidad, pueden evaluar: la profundidad de roderas, la macro textura, radios de curvatura, fisuraciones, etc.

Debido a la gran variedad de equipos utilizados para medir la seguridad superficial de los caminos y los numerosos índices y escalas para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, se llegó a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Cada país contaba con equipo "sui generis", dificultando adoptar criterios de calificación universal. Estas



razones han obligado a proponer en el ámbito mundial, el empleo del *Índice Internacional de Rugosidad*.

La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación se puede observar en la Figura 3.1 En condiciones óptimas de circulación, que se asocian con una carretera pavimentada bien conservada, recta, en terreno plano y sin problemas de tránsito, el costo de operación es mínimo. La presencia de baches o deficiencias en la superficie, de pendiente o grados de curvatura, así como la de otros vehículos, afecta las condiciones y por lo tanto, los costos correspondientes.



FIGURA 3.1 INFLUENCIA DEL ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD EN LOS COSTOS DE OPERACIÓN DE UN VEHÍCULO ARTICULADO

### INDICE DE SEVICIO ACTUAL

Para evaluar la calidad de la superficie de las carreteras en México, durante muchos años se empleo el método desarrollado en los años sesentas por la American Association of State Highway Officials (AASHO), el cual toma en cuenta un parámetro denominado Present Serviceability Index (PSI), conocido en México como Índice de Servicio Actual (ISA).

El ISA consiste en calificar el confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación y lo realiza un grupo o panel de evaluadores. El camino se califica de una forma subjetiva en una escala de 0 a 5 como se muestra en la Figura 3.2.

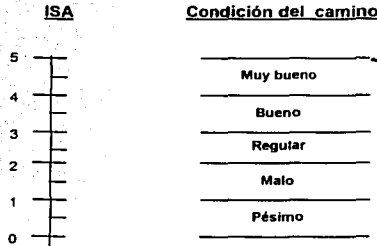


FIGURA 3.2 ESCALA DEL ISA Y LA CALIFICACIÓN CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN DEL CAMINO

### ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI).

El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa norteamericano llamado National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y esta basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

El IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial.

El IRI permite especificar rangos o niveles de tolerancia para la aceptación de tramos nuevos de autopistas y carreteras, sirviendo como un parámetro de control de calidad superficial. Para carreteras ya en servicio, es una herramienta para monitorear el comportamiento del camino a través del tiempo y permite fijar umbrales de alerta para proceder a un estudio de los daños o para realizar las labores de mantenimiento de acuerdo a la importancia del camino.

El cálculo matemático del IRI está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en milímetros, metros o pulgadas) de un modelo de vehículo (cuarto de carro, figura 3), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, Km o millas) que se produce por los movimientos del vehículo cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc.

El modelo cuarto de carro usado en el algoritmo del IRI debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo, éste se muestra en la Figura 3.3, que incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.

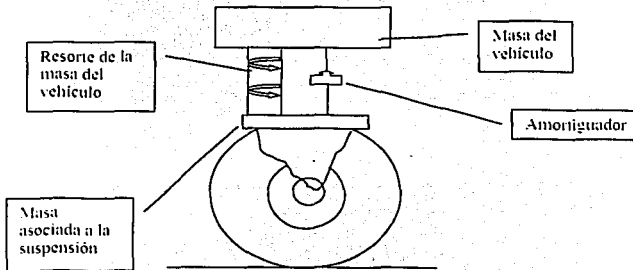


FIGURA 3.3 MODELO CUARTO DE CARRO PARA LA OBTENCIÓN DEL IRI.

A continuación se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias del Banco Mundial en diversos países Figura 3.4.

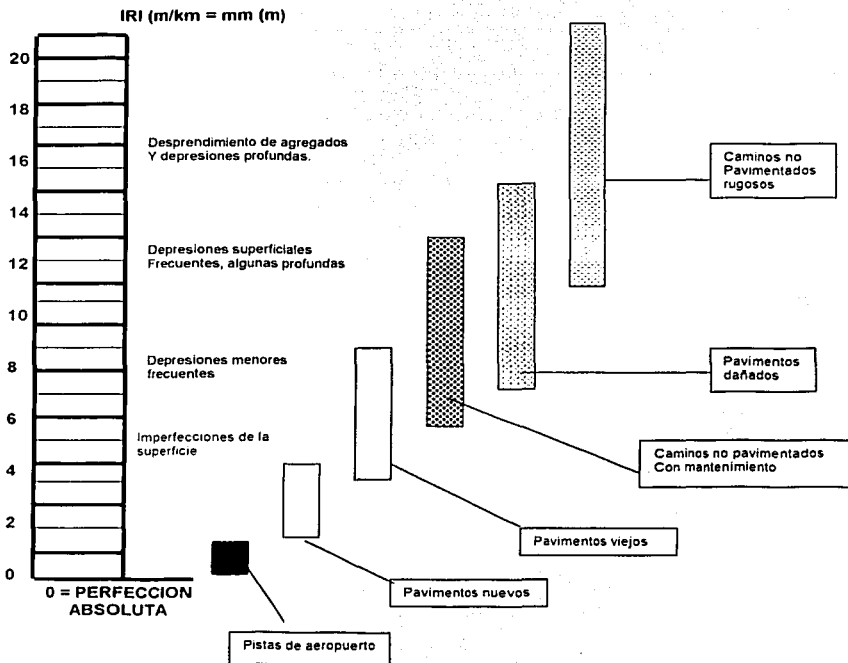


FIGURA 3.4 ESCALA DE VALORES DEL IRI Y LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS.

El comportamiento típico de la condición superficial respecto al tiempo se puede representar en la Figura 3.5 siguiente, en la que se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc. En la gráfica se puede observar que la disminución no es lineal si no que se puede dividir en tres etapas, en donde la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más acusado que en

la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro; la tercera significa una etapa de deterioro acelerado, ya que en pocos años el nivel de servicio cae de forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y, como limite, puede ser necesario una reconstrucción total del mismo.

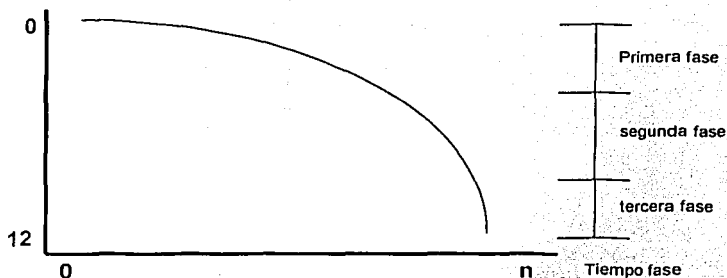


FIGURA 3.5. -GRÁFICA TÍPICA DEL AVANCE DEL DETERIORO DE UN CAMINO RESPECTO AL TIEMPO

Para la obtención del IRI, en el mundo existen diversos fabricantes de equipos de los cuales adelante se presentaran algunos con sus características.

#### EQUIPOS DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS

En este trabajo solo se mencionaran algunos equipo, pueden existir tantas variaciones según los fabricantes y su nacionalidad.

##### EQUIPO DE MEDIDA DEL ROZAMIENTO TRANSVERSAL (SCRIM)

Descripción:

Es un equipo de alto rendimiento para la medida continua de la adherencia entre la rueda y el pavimento, que determina el Coeficiente de Rozamiento Transversal de la carretera a ensayar.

Consiste en un camión equipado con una sistema de agua que dispone de una rueda lisa de medida colocada en su lado derecho (Foto 3.1), de forma que la medida se lleva a cabo en la parte de la calzada más solicitada por el tráfico. Delante de la rueda de medida se inyecta un flujo de agua que forma una película líquida de espesor constante.

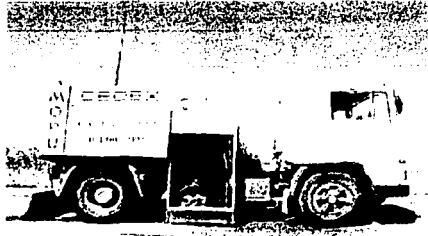


FOTO 3.1 EQUIPO PARA OBTENER LA MEDIDA DE ROZAMIENTO TRANSVERSAL.

La rueda de medida se sitúa formando un ángulo fijo con el eje longitudinal del camión. La fuerza originada por el rozamiento transversal neumático-pavimento se mide a través de un transductor de presión situado en el eje de la rueda de medida.

En la cabina del camión van ubicados el sistema de adquisición de datos, un monitor que permite visualizar los datos de velocidad y coeficiente de rozamiento, y un teclado que posibilita la introducción de eventos durante la marcha.

El Centro de Estudios de Carreteras (España) cuenta con dos equipos para la medida del rozamiento transversal, cuyas características se señalan a continuación, contando el más moderno de ellos, a diferencia del anterior, con un texturómetro láser y un sistema de posicionamiento global.

Características técnicas:

- PERFILÓGRAFO LÁSER DE ALTO RENDIMIENTO

Descripción:

El perfilógrafo es un equipo preparado para registrar los perfiles longitudinales y transversales de las carreteras, así como la textura de las mismas. Está montado en un vehículo Volkswagen modelo Transport Kombi (foto 3.2).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

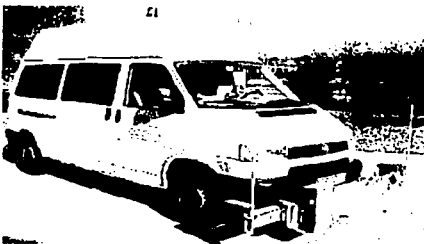
La parte frontal consta de una barra provista de 15 cámaras láser para medida de la regularidad superficial. En dicha barra va también situada otra cámara láser para medida de la textura. Los extremos de la barra de medida son retráctiles con el fin de que el ancho no supere el del propio vehículo durante el transporte.

En el interior del vehículo se encuentran la fuente de alimentación eléctrica y los sistemas de adquisición de datos. El operador dispone de un panel de control, un teclado y una pantalla de tipo LCD.

Dada la elevada velocidad de medida (entre 25 y 120 km/h, dependiendo de la separación entre perfiles consecutivos), el ensayo se puede realizar sin que la medición afecte al desarrollo normal del tráfico.

**Características técnicas:**

- 15 cámaras láser de 16 Khz. para medida de la regularidad.
- Cámara láser de 64 Khz. para medida de la textura.
- Unidad inercial compuesta por dos giróscopos y tres acelerómetros.
- Sistema de posicionamiento G.P.S.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Foto 3.2 Perfilógrafo Láser.

**Aplicaciones:**

- Medida y registro del perfil longitudinal en 15 líneas de perfil.
- Medida y registro de perfiles transversales.
- Cálculo de índices de regularidad superficial (IRI; APL; PSI)



- Medida y registro de la textura de los pavimentos.
- **ANALIZADOR DE REGULARIDAD SUPERFICIAL (ARS)**

**Descripción:**

Equipo constituido por un vehículo tractor y un remolque compuesto por dos brazos rígidos apoyados en ruedas que recorren la calzada. Un péndulo inercial situado en uno de los brazos constituye la referencia fija para medir los movimientos angulares del brazo rígido, mediante un captador angular de inducción (foto 3.3).



FOTO 3.3.- ANALIZADOR DE REGULARIDAD SUPERFICIAL

**Características técnicas:**

- Velocidad de ensayo de 22, 55 ó 90 km/h.
- Las lecturas se toman cada 25 cm.
- Proceso de captación de datos basado en un microprocesador que trabaja en tiempo real.
- El equipo es capaz de medir las ondulaciones correspondientes a longitudes de onda entre 0,6 y 30 m.
- Amplitud máxima de los movimientos relativos medibles del brazo:  $\pm 10$  cm.

**Aplicaciones:**

Evaluación de la regularidad superficial y control de la evolución de los firmes. El equipo permite la obtención del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

□ **VIÁGRAFO**

Equipo de medida de tipo geométrico de la regularidad superficial de un firme de carretera (foto 3.4).

Consta de ocho ruedas alineadas, unidas entre sí por medio de balancines, y una rueda libre vertical colocada en posición central y alineada con las otras ocho. La velocidad de ensayo es de 2-8 km/h, y el registro de datos se realiza mediante ordenador.

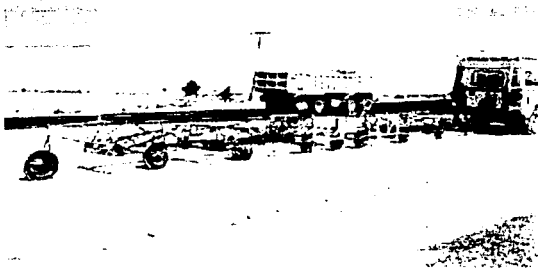


Foto 3.4 Viágrafo.

□ **PERFILÓMETRO PIVOTANTE**

Descripción:

El Dipstick (Digital Incremental Profiler) es un equipo electrónico de alta precisión, para la evaluación de la regularidad superficial de los pavimentos (foto 3.5).

Mide y graba, automáticamente, en la memoria del microordenador incorporado, la diferencia de cotas entre puntos separados secuencialmente 250 mm, pivotando alternativamente alrededor de sus dos patas de apoyo. Los datos de elevación registrados se utilizan mediante un programa preparado al efecto, para la obtención del Índice de Regularidad Internacional (IRI).

El empleo es manual y por un solo operador.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

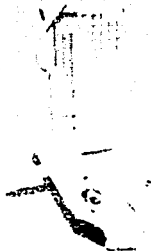


FOTO 3.5 EL DIPSTICK

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

#### **EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS:**

Hay varias razones para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos y muchas maneras de hacerlo; la evaluación involucra el análisis de los datos obtenidos, a través de algún proceso teórico o empírico, para estimar con un razonable grado de precisión la capacidad de carga y la vida de servicio del pavimento bajo las condiciones esperadas del tránsito.

En este capítulo se describe brevemente varios de los métodos más comunes para la evaluación estructural no destructiva y destructiva de pavimentos.

Para cualquier evaluación estructural lo primero es encontrar un indicador con el cual trabajar, es decir establecer los valores específicos para los diferentes segmentos de la red bajo estudio los que pueden obtenerse a partir del plan general de supervisión de la red, aplicable a todos los tipos de datos de evaluación. La supervisión estructural casi siempre se realiza a través de la medición de deflexiones o curvaturas de la superficie del pavimento, bajo cargas estáticas o repetidas (dinámicas).

La necesidad de realizar una evaluación estructural puede ser condicionada por otros tipos de evaluación, tales como: Calidad de servicio de la superficie o la supervisión de los daños sobre la misma y la resistencia al derrapamiento.

## EVALUACIÓN DESTRUCTIVA Y NO DESTRUCTIVA.

La clasificación de los métodos de prueba en no destructivos o destructivos. La diferencia entre estos métodos depende normalmente de la alteración física de los materiales. En pavimentos, la evaluación destructiva significa la destrucción del pavimento mediante la excavación de un pozo para muestreo y prueba de los materiales del pavimento, usualmente en el lugar.

Muchas técnicas efectivas de evaluación involucran la medición de deflexiones o curvaturas de la superficie de rodamiento bajo cargas estáticas o dinámicas, combinándolas con pequeños corazones o testigos para obtener los espesores y muestras de los materiales subyacentes para probarlos posteriormente en el laboratorio. Estos métodos serán considerados como no destructivos en discusiones subsiguientes, ya que no involucran alteraciones graves del pavimento.

### *Enfoques Analíticos para la Evaluación Estructural.*

Existen muchos métodos analíticos para la evaluación estructural de pavimentos. Las cuatro clases más importantes de ellos son:

1. La comparación empírica del comportamiento medido, usualmente deflexiones, con deflexiones permisibles estimadas a partir del comportamiento pasado observado de pavimentos.
2. La comparación del comportamiento medido (generalmente deflexiones) contra criterios permisibles calculados a partir de modelos de sistemas multicapa, usualmente en términos de deflexiones.
3. El uso de un método de diseño existente para estimar la vida remanente de un pavimento o su capacidad para soportar cargas de tránsito, a partir del comportamiento observado (generalmente deflexiones).
4. Métodos combinados que utilizan pruebas de materiales para generar datos de entrada a análisis teóricos de fatiga y mediciones de comportamiento (generalmente deflexiones) para proporcionar criterios límite.

### *Evaluación Estructural No Destructiva.*

Una evaluación de la capacidad estructural y para soportar cargas de tránsito de un pavimento existente y de sus componentes sin dañar sus componentes resulta ser lo ideal. Para realizarla, deben tomarse mediciones en o cerca de la superficie del pavimento y los resultados de ellas relacionarse de alguna manera con las propiedades estructurales de la sección de pavimento. Las mediciones de la respuesta de una estructura de pavimento a una fuerza externa o transmisión de energía son generalmente referidas como "no destructivas", porque la estructura del pavimento no es alterada por las mediciones y tales mediciones pueden ser repetidas tantas veces como sea necesario. Los métodos de prueba no destructivos son generalmente clasificados en cinco categorías generales:

- Medición de la respuesta a una carga estática o a la aplicación simple de una carga con movimiento lento.
- Medición de la respuesta de una carga compuesta por una parte estática y otra repetida o dinámica de tipo senoidal.
- Medición de la respuesta a una carga dinámica de impacto.
- Medición continua de la respuesta ante la aplicación de una carga rodante también continua.

El orden anterior de presentación señala la secuencia en que dichos métodos han sido desarrollados tecnológicamente y utilizados en la práctica de conservación vial.

### **EQUIPOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO**

La Tabla siguiente muestra las características básicas de algunos equipos existentes de evaluación estructural no destructiva de pavimentos; sus características, forma de trabajo; todos ellos pueden adquirirse desde México.

Equipo	Tipo	Carga Principal	Sistema de Carga	Carga Estática (Kg)	Fuerza Dinámica (Ibf)	Carga Transmitida por	Dispositivo para la lectura	Método para la Recolección de Datos
Viga Benkelman	Operación Manual	Rueda en movimiento	Camión Cargado	(a)	N / A	Ruedas de Camión	Manómetro	Manual
Deflectómetro Viajero de California	Control Automatizado	Rueda en movimiento	Camión Cargado en Movimiento	(a)	N / A	Ruedas de Camión	Tractor de Deflexiones	Manual, Impreso o Automatizado
Deflectómetro de Lacroix	Control Automatizado	Rueda en movimiento	Camión en Movimiento Cargado con bloks o agua	(a)	N / A	Ruedas de Camión	Tractor de Deflexiones	Manual, Impreso o Automatizado
Dynaflect	Montado en Remolque	Vibración Uniforme (frecuencia-8Hz)	Vibración por Rotación de Masas	953	1,000	Dos Ruedas de Acero (diam. 40) Cubiertas de uretano	5 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
Model 400 B Road Rater	Montado en Remolque	Vibración Uniforme (frecuencia-6-60Hz)	Movimiento de Masa por Sistema Hidráulico	1,090	200-3,000	Dos Block de 10"17.5 cm.	4 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
Model 2000 Road Rater	Montado en Remolque	Vibración Uniforme (frecuencia-6-60Hz)	Movimiento de Masa por Sistema Hidráulico	1,589	200-5,500	Plato Circular (diam. 45 cm)	4 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
Model 2008 Road Rater	Montado en Remolque	Vibración Uniforme (frecuencia-5-80Hz)	Caída de Masas	3,405	500-9,000	Plato Circular (diam. 45 cm)	4 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
KUAB'150 FWD	Montado en Remolque	Impacto	Caída de Masas	908	2,700-11,300	Plato Circular (diam. 30 cm)	Mas de 5 Sismómetros	Manual, Impreso o Automatizado
KUAB'50 FWD	Montado en Remolque	Impacto	Caída de Masas	908	2,700-33,700	Plato Circular (diam. 30 cm)	Mas de 12 Sismómetros	Manual, Impreso o Automatizado
Dynatest 8000 fw	Montado en Remolque	Impacto	Caída de Masas	908	1,500-27,000	Plato Circular (diam. 30 cm)	7 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
Dynatest 800 fw	Montado en Remolque	Impacto	Caída de Masas	908	6,500-19,000	Plato Circular (diam. 30 cm)	7 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
Phoenix ML 10000 FWD	Montado en Remolque	Impacto	Caída de Masas	863	2,300-23,000	Plato Circular (diam. 30 cm)	3 ó 6 Geófonos	Manual, Impreso o Automatizado
CEBTP Curvimeter	Control Automatizado	Rueda en movimiento	Camión en Movimiento con Placa de Acero	(a) ó Variable	N / A	Ruedas de Camión	1 Geófonos	Automatizado

Fuente: Evaluación Estructural No Destructiva de Pavimentos IMT, SCT, 1998.

TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE EQUIPOS PARA LA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Los factores básicos que deben considerarse en la selección de un equipo determinado son:

- Características operativas ( capacidad de recolección y almacenamiento de datos, demoras causadas al tránsito, requisitos de calibración, facilidad para ser transportado y necesidades de capacitación de los operadores).
- Calidad de los datos ( conveniencia, repetibilidad y precisión).
- Versatilidad (número de sensores, configuración y movilidad del sistema de sensores y rango de niveles de carga).
- Costo (inicial y por secuencia de pruebas).

### EQUIPOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

#### *Equipos para la Medición de Deflexiones bajo Carga Estática o con Movimiento Lento.*

La respuesta de un pavimento a la aplicación de una carga estática o de una carga en movimiento lento generalmente se obtiene midiendo la deflexión de la superficie del pavimento bajo la carga. Hay numerosos instrumentos que se han empleado para hacer estas mediciones, siendo los más comunes la Viga Benkelman, el Deflectómetro Viajero y el Deflectógrafo de Lacroix. Los principios básicos de operación de cada uno de estos aparatos son similares.

#### Viga Benkelman.

La Viga Benkelman, es un instrumento sencillo de operación manual y es probablemente el método más usado para medir deflexiones en pavimentos. Consiste básicamente en una palanca simple sujeta a un marco de aluminio ligero o de madera que puede ser movido a mano. Este aparato se ilustra en la Foto 3.6. Típicamente, la punta de sondeo se coloca entre las llantas duales y el movimiento de la viga se observa en un medidor, el cual registra la deflexión máxima con una aproximación de 0.001 pulgadas. Normalmente la carga aplicada por las llantas duales es de 4,086 Kg, equivalente a una carga por eje sencillo dual de 8,172 Kg (18,000 lb.). Es particularmente importante asegurar que los apoyos de la viga no se encuentren dentro de la cuenca de deflexiones o zona de influencia de las llantas cargadas en el momento de realizar la lectura inicial de la viga. Por esta razón, en la prueba de la AASTHO y en estudios canadienses se desarrolló un procedimiento en el cual la punta de la viga se coloca en el sitio en el que se determinará la deflexión e inmediatamente entre las llantas dobles. Se fija el medidor y se aleja el vehículo cargado del sitio, registrándose en el medidor el movimiento hacia arriba de recuperación del pavimento.

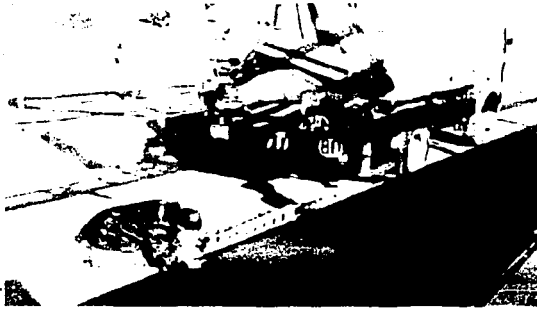


Foto 3.6 Vigas Benkelman para medir deflexiones.

Este equipo es versátil, simple, barato de operar y actualmente se tiene una gran experiencia derivada de su uso durante muchos años; sin embargo, por ser un método de medición relativamente estático, es bastante difícil de utilizar en caminos de tránsito elevado con vehículos que circulan a gran velocidad; otras desventajas se refieren a la dificultad para asegurar que los soportes de la viga no se encuentren en la cuenca de deflexiones, a la incapacidad del aparato para determinar la forma y tamaño de dicha cuenca, a la escasa repetibilidad de las medidas obtenidas, a que su uso generalmente requiere de mano de obra intensiva y suele ser fastidioso, ya que el método estático o casi estático de aplicación de la carga no representa adecuadamente los efectos de las cargas circulantes del tránsito ya que no permite fácilmente determinar el nivel de transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos.

#### □ Deflectómetro Viajero.

El deflectómetro viajero es un aparato automático para medir deflexiones desarrollado por la División de Carreteras de California, que opera bajo los mismos principios de la Viga Benkelman. Combina una unidad camión - remolque con un simple eje trasero cargado con 18,000 lb. o alguna otra carga deseada y con un aparato tipo Viga Benkelman sujeto al remolque. La unidad es capaz de avanzar automáticamente a lo largo del camino e ir colocando continuamente la punta de sondeo bajo las llantas cargadas. Este aparato es un instrumento electromecánico que mide las deflexiones del pavimento cada 20 pies a lo largo de la carretera, a medida que el vehículo viaja uniformemente a una velocidad aproximada de 0.5 millas por hora (mph). Las deflexiones se registran con un nivel de precisión de 0.001 pulgadas (en papel gráfico) por medio del brazo de la viga. Varios tipos de instrumentos electrónicos de almacenamiento de información se han utilizado con varios modelos de este aparato, pero ello de ninguna manera afecta los principios de operación del mismo. Según informes de la División de



Carreteras de California, pueden tomarse entre 1,500 y 2,000 mediciones individuales durante una jornada promedio de labores con un solo deflectómetro, un camión y una cuadrilla de dos personas.

□ **Deflectógrafo de Lacroix.**

El Deflectógrafo de Lacroix es también un deflectómetro de registro automático. Opera bajo el principio de la Viga Benkelman pero se mueve a lo largo de la carretera a velocidad constante, de manera similar al deflectómetro viajero. Este aparato fue desarrollado por el Laboratorio Nacional de Caminos y Puentes en París, Francia, y se utiliza ampliamente en ese país, así como en Gran Bretaña. Va montado en un vehículo de carga, registrando las deflexiones al viajar a una velocidad de 1.8 km/h. El aparato cuenta con dos Vigas Benkelman, una a cada lado del vehículo. Inicialmente la punta de sondeo de éstas se hace descansar sobre el pavimento, delante del eje trasero del vehículo en tres puntos ubicados fuera de la zona de influencia de la carga. Al avance del vehículo se registra la deflexión hasta que los pares de llantas de cada lado llegan al nivel de las puntas de sondeo de las vigas. Estas son levantadas y llevadas nuevamente hacia adelante a una velocidad del doble de la del vehículo y colocadas sobre el pavimento en su posición inicial frente al vehículo para una nueva medida, sin que éste interrumpa su movimiento. Este aparato se muestra en la Fot 3.7



Foto 3.7 EQUIPO AUTOMATIZADO PARA MEDIR DEFLEXIONES DESARROLLADO EN FRANCIA (DEFLECTÓGRAFO DE LACROIX)

Este aparato ha demostrado ser muy útil y práctico para medir deflexiones. De manera similar al Deflectómetro Viajero, pueden tomarse con él cerca de 2,000 mediciones individuales por jornada de trabajo.

• **Otros Equipos.**

Otros equipos de diversa índole han sido utilizados en el pasado para medir o estimar deflexiones y seguramente otros también serán desarrollados en el futuro. En cada caso, es altamente

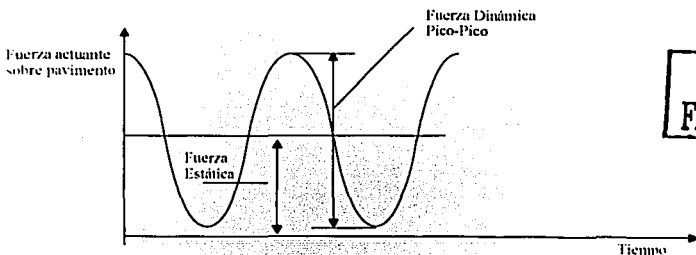
necesario verificar la precisión y repetibilidad de tales equipos antes de utilizar las mediciones resultantes. Cualquier aparato para la medición de deflexiones que se evalúe y calibre cuidadosamente, puede utilizarse para registrar deflexiones bajo carga estática. Los datos resultantes deflexión-carga pueden ser analizados posteriormente en muy diversas formas.

Las pruebas de carga a través de platos, las cuales se han utilizado muy ampliamente por organismos aeroportuarios, también pueden emplearse. Esta prueba puede ser no destructiva si se aplica sólo a la superficie del pavimento, aunque puede ser destructiva si se aplica a las capas inferiores (sobre la superficie de la base, la sub-base o la subrasante).

*Equipos para la Medición de Deflexiones bajo Carga Dinámica Estable.*

Estos aparatos aplican una precarga estática (peso estático del aparato) y una vibración senoidal al pavimento mediante un generador de fuerza dinámica. Lo anterior se ilustra en la Figura 3.6 Para asegurar que el equipo no brinque sobre la superficie del pavimento, la magnitud de la fuerza dinámica valle-a-cresta debe ser menor que dos veces la precarga estática. Consecuentemente, esta última debe incrementarse si la fuerza dinámica valle-a-cresta se incrementa.

Los equipos de este tipo más comúnmente empleados son el Dynaflect y el Calificador de Caminos (Road Rater). En éstos, las deflexiones generalmente se miden a través de sensores inerciales de velocidad denominados geófonos. Estos sensores son pequeños, siendo posible colocar varios de ellos cerca del generador de fuerza dinámica y registrar la cuenca de deflexiones en las inmediaciones del área cargada. En estos equipos, hay dos métodos comunes de generación de fuerza: mecánica a través de pesos rotantes en sentidos opuestos e hidráulica a través de una bomba hidráulica y un generador de fuerza.



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

FIGURA 3.6 CURVA TÍPICA DE LA GENERACIÓN DE FUERZA BAJO CARGA DINÁMICA ESTABLE.

La secuencia normal de operación consiste en trasladar el aparato al punto de prueba e hidráulicamente bajar las ruedas de carga y los geófonos a la superficie del pavimento. Se realiza la prueba, se registran los datos y el aparato se traslada al siguiente sitio de prueba.

Este tipo de equipos representa un avance en relación con los equipos de toma de deflexiones bajo carga estática (ya que no necesitan un punto de referencia). Sin embargo, la precarga estática en este caso todavía presenta algún problema técnico. Este consiste en que dicha carga es relativamente grande en comparación con la carga dinámica valle-a-cresta. Dado que la mayoría de los materiales son sensibles a los esfuerzos (los suelos finos se ablandan bajo carga y los gruesos por lo contrario se endurecen), su estado de esfuerzos y su rigidez pueden ser modificados por la precarga estática. Adicionalmente esta última puede cerrar algunas oquedades existentes debajo de los pavimentos, dando lugar a deflexiones bajas no representativas. Finalmente, la frecuencia de la carga dinámica afecta la deflexión resultante, siendo generalmente difícil establecer una frecuencia de carga que sea representativa del paso de los vehículos.

□ Dynaflect.

En este aparato, la carga cíclica es generada mediante ruedas desbalanceadas que giran en direcciones opuestas a 480 revoluciones por minuto (rpm). La magnitud de la carga cíclica generada es de 1,000 lb. Valle-a-cresta. Las deflexiones resultantes son obtenidas mediante 5 geófonos colocados sobre la superficie del pavimento, separados 12 pulgadas entre sí. En la Foto 3.8 se ilustra este equipo. Las deflexiones obtenidas con él han sido frecuentemente correlacionadas con las obtenidas usando la Viga Benkelman; sin embargo, tales correlaciones han variado significativamente entre organismos que las han desarrollado. Algunas limitaciones técnicas de este aparato incluyen su incapacidad para permitir variaciones en la magnitud y frecuencia de la carga cíclica; además, la deflexión directamente bajo la carga no puede ser medida y es difícil determinar el área de contacto.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FOTO3.8 EQUIPO PARA LA MEDICIÓN DE DEFLEXIONES BAJO CARGA DINÁMICA ESTABLE (DYNAFLECT).

□ **Calificador de Caminos (Road Rater).**

Este equipo es manufacturado por la Corporación Wile de los Estados Unidos. En este caso, la generación de la fuerza cíclica es hidráulica (así como también en el Vibrador Cox, manufacturado por la Empresa Cox e Hijos y en el Vibrador de Carga Pesada WES construido y operado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos). El Road Rater es también un equipo de medición de deflexión vibratorio estático que se coloca en un trailer y es tirado por un vehículo. Los modelos viejos se colocan en la parte delantera del vehículo. Las máximas cargas estáticas son 2,400 lbs y 5,800 lbs para los modelos 4008, 2,000 y 2,008, respectivamente. Se carga el pavimento a través de un plato metálico, cuyas dimensiones standard son paneles metálicos de 4 x 7 pulgadas ( 102 x 178 mm) con un espacio central de 0.55 pulgadas (14 mm) de diámetro para los modelos 2,000 y 2,008. El generador de fuerza dinámica utiliza una masa metálica rellena de plomo que se acelera hacia arriba y hacia abajo hidráulicamente y tanto la amplitud como la frecuencia pueden ser cambiadas por el operador, lo que permite lograr cargas dinámicas de 500 a 3,000 lbs para el modelo 400 E, de 1,000 a 5,500 lbs para el modelo 2,000 y de 1,200 a 8,000 lbs para el modelo 2,008. La frecuencia de carga puede variarse continuamente de 5 a 70 ciclos por segundo. La deflexión se mide utilizando por lo menos cuatro geófonos que se encuentran en el centro del área cargada y por lo general espaciados a partir de ese punto 30 cm.

**Otros Aparatos.**

Algunos otros aparatos de aplicación de fuerza senoidal de frecuencia variable que se han empleado en diversas partes del mundo consisten en analizar las características de las ondas que se propagan bajo la aplicación de la carga variable. A partir de la longitud de las ondas que se generan, se obtienen los módulos dinámicos de las diferentes capas del pavimento utilizando teoría elástica multicapa.

Equipos para la Medición de Deflexiones bajo Carga de Impacto (Deflectómetro de Impacto Falling Weight Deflectometer, FWD).

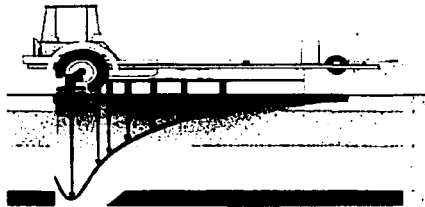
El deflectómetro de impacto es un equipo de medición que levanta un peso hasta una altura determinada sobre una guía y lo deja caer. Dicho peso choca contra un plato especialmente diseñado, transmitiendo la fuerza al pavimento para producir un pulso de onda que se aproxima a lo que ocurre en la realidad. La magnitud de la carga puede variarse de 1,500 a 24,000 lbs ( 680 a 10,886 Kg) en los equipos comúnmente utilizados en calles y caminos, variando la magnitud del peso que se deja caer o la altura desde donde se le deja caer. La carga se transmite a un plato de carga de 40 cm de diámetro para carreteras y de 45 cm para pavimentos de aeropuertos; un sensor de tensiones mide la magnitud de la

carga. Dentro de las versiones comerciales de este aparato se cuentan el Dynatest, el KUAB (Foto 3.9) y el Phoenix FWD.



FOTO 3.9 DEFLECTOMETRO DE IMPACTO KUAB

Las deflexiones se miden utilizando hasta siete geófonos que se colocan en línea recta a distancias variables en una barra y se bajan automáticamente hasta la superficie del pavimento con el plato de carga. Un censor se coloca en el centro del plato y los otros en diferentes sitios entre dicho censor y una distancia de hasta 2.25 m. Todo el sistema se coloca en un trailer como se ilustra en la figura 3.7.



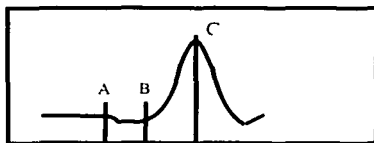
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FIGURA 3.7 APLICACIÓN DE CARGA A PAVIMENTO MEDIANTE PLATO CARGADO Y MEDICIÓN DE MÓDULOS ELÁSTICOS MEDIANTE SENSORES.

En la secuencia normal de operación, el aparato se mueve al sitio de prueba y el plato y los geófonos son bajados hidráulicamente hasta colocarlos sobre el pavimento. Se realizan las pruebas

correspondientes a las combinaciones de pesos y alturas seleccionados. Se levantan hidráulicamente el plato de carga y los sensores y el aparato se mueve al siguiente sitio de prueba.

Una ventaja de estos aparatos es su habilidad para modelar adecuadamente las cargas circulantes del tránsito tanto en magnitud como en duración, produciendo una deflexión que simula la deflexión causada por un vehículo en movimiento. Asimismo, como se ilustra en la Figura 3.8, la precarga estática debida al peso propio del equipo es relativamente pequeña en comparación con la fuerza dinámica de impacto generada. Obviamente la precarga estática varía dependiendo del equipo utilizado, pero está generalmente en el rango del 8 al 18% de la carga máxima dinámica de impacto (antes de soltar los pesos). Durante el periodo en que los pesos se dejan caer, la precarga se reduce a entre 5 y 14% de la carga máxima de impacto.



A.- Tiempo en que la carga se suelta.  
B.- Tiempo en que la carga hace su primer impacto  
C.- Carga pico alcanzada

FIGURA 3.8 PULSO DE CARGA TÍPICO PRODUCIDO POR UN DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

El FWD tiene otras ventajas que lo hacen el equipo más conveniente actualmente, como es su habilidad para medir el nivel de transferencia de carga en juntas y grietas, detectar la presencia de oquedades, su habilidad para registrar la cuenca de deflexiones y la velocidad con que pueden realizarse las pruebas. Algunas versiones permiten obtener el espesor de las capas del pavimento mediante la realización de calas. La Foto 3.10 ilustra una de las versiones comerciales de este equipo.



FOTO 3.10 EQUIPO PARA MEDIR DEFLEXIONES BAJO CARGA DE IMPACTO  
(DEFLECTOMETRO DE IMPACTO " FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER, FWD").

### **Evaluación Estructural Destructiva.**

Aunque la condición de los pavimentos se puede evaluar a través de mediciones de las irregularidades de la superficie o el registro de los defectos en el pavimento como grietas y roderas, en ocasiones es necesario remover partes de la estructura del pavimento para determinar dónde ocurren las fallas y porqué. El término "prueba destructiva" se aplica a estos métodos de evaluación porque la estructura original del pavimento completo se destruye en un sitio determinado. En general, tales procedimientos de evaluación se restringen a pavimentos que muestran evidencias de falla.

Las técnicas usadas dependen del tipo de información deseada, pero generalmente involucran la realización de cortes en cada capa del pavimento y la obtención de muestras para pruebas posteriores. A veces, el objetivo es obtener muestras inalteradas de las distintas capas. Sin embargo, este objetivo no siempre puede lograrse exitosamente dadas las circunstancias prevaletientes.

La sección transversal real de las diferentes capas de un pavimento flexible con roderas puede ser estudiada para analizar el comportamiento de cada capa y el funcionamiento del sistema. Como ejemplo uno de estos estudios realizado en Kentucky reveló que el material de la subrasante se había incrustado en el material de textura abierta de la base, sugiriendo la necesidad de cambiar la graduación del material de base y modificar ciertos procedimientos constructivos.

En la prueba de la AASTHO se excavaron zanjas transversales con el fin de obtener información sobre la magnitud de las roderas en la parte superior de cada una de las capas componentes de la estructura, así como para obtener información sobre la condición existente y resistencia de los materiales. Se encontró que las roderas en los pavimentos se deben fundamentalmente a la reducción del espesor de las capas, lo cual fue atribuido al desplazamiento lateral de los materiales. Estos resultados, junto con la realización de pruebas de densidad y resistencia sobre muestras del material extraído, proporcionaron considerable información sobre la capacidad estructural del pavimento.

También se realizan pruebas de degradación de los materiales de base, después de haber estado sometidos a las cargas reales del tránsito. Se obtienen muestras de la capa de base en distintos intervalos de tiempo y se prueban en el laboratorio con el fin de cuantificar el incremento en la cantidad de finos. La destrucción de la superficie existente para hacer un muestreo en el material de la base es indeseable por sí misma, pero la información obtenida a través del muestreo y prueba de los materiales que han estado expuestos a las condiciones reales de servicio, lo justifica.

Frecuentemente se excavan y examinan puntos problemáticos aislados para determinar la causa del problema en particular y tomar las medidas que permitan corregir la situación. Estas investigaciones individuales generalmente no se reportan en publicaciones; de hecho, la información rara vez se conoce

por personas diferentes a aquéllas que forman el grupo involucrado en el problema. Consecuentemente, la información disponible sobre métodos destructivos de prueba y los resultados obtenidos con ellos sólo se limita a aquellos casos en que dichos métodos fueron incorporados a un programa general de evaluación, tal como el de la AASTHO.

Las ventajas de romper pavimentos para realizar investigaciones detalladas bajo la superficie deben ser ponderadas contra las desventajas de remover porciones del pavimento y reemplazarlo con parches. Los defectos superficiales frecuentemente pueden utilizarse para valorar las condiciones con detenimiento; sin embargo, a menudo es necesario determinar la ubicación y causa de la falla en la estructura para poder realizar un análisis confiable.

### Resultados.

Los resultados de las pruebas no destructivas y destructivas deben utilizarse de manera conjunta con información sobre las fallas, drenaje y materiales para determinar la condición estructural del pavimento. En particular, la información de deflexiones puede emplearse para los siguientes fines:

- Valorar la uniformidad de la estructura a lo largo de un tramo carretero.
- Determinar los módulos de elasticidad de las capas del pavimento.
- Diseñar el espesor de refuerzo de sobrecarpeta requerido por un pavimento.
- Generar alternativas de conservación para un pavimento que abarquen las acciones requeridas para cubrir un horizonte determinado de análisis ("ciclo de vida del pavimento").
  - Determinar la cuenca de deflexiones, con el fin de identificar sitios de debilidad en la estructura ( en las capas del pavimento o en la subrasante).
  - Localización de áreas del pavimento con deficiencia de soporte ( existencia de oquedades).
  - Determinación del nivel de transferencia de carga en grietas de pavimentos y juntas de pavimentos rígidos.

## FALLAS EN LOS PAVIMENTOS

### CONCEPTOS BÁSICOS DEL INDICE DE LA CONDICIÓN DEL PAVIMENTO

En general, el grado de deterioro de un pavimento es función del tipo de defecto observado, de su severidad y de su densidad (o área afectada de pavimento). Con el fin de obtener información confiable, objetiva y reproducible sobre el deterioro superficial de los pavimentos, se desarrolló el



concepto del índice de la condición del pavimento, o ICP (Pavement Condition Index, o PCI por sus siglas en inglés). El ICP es un índice numérico que varía de 0, para un "pavimento" completamente destruido, hasta 100, para un pavimento en estado perfecto; este índice corresponde a la calificación de la condición del pavimento, desde el punto de vista de los defectos superficiales observados. El ICP puede ser aplicado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico. Una importante ventaja de la utilización del ICP, sobre otras formas de presentación de resúmenes del deterioro superficial, radica en la fácil interpretación de los resultados en forma gráfica; esto no se puede lograr con la mayoría de los métodos disponibles, puesto que no emplean índices.

El concepto del ICP surgió durante el desarrollo del Sistema de Administración de Pavimentos, conocido en la comunidad internacional como PAVÉR. Este enfoque es relativamente nuevo y se ha utilizado exitosamente en sistemas de administración de pavimentos actualmente en operación en los E.U.A. y en otros países, entre ellos México (Sistema de Administración de Pavimentos de León, Gto., SAP SEDESOL, implantado en varias ciudades medias de la República Mexicana, y SAP CAPUFE). Como una modificación al sistema original PAVÉR, en el SCEP se decidió recolectar la información global de un tramo-cuerpo completo, en vez de seleccionar varias unidades de muestreo y registrar los datos de deterioro para cada una de ellas. Asimismo, la densidad de un defecto se obtiene a partir de la apreciación del inspector sobre el área aproximada de pavimento afectada por el mismo. Para fines prácticos y solamente en el nivel de red vial se considera adecuada esta simplificación para el SCEP.

Sin embargo existen diversas clasificaciones para los diferentes tipos de fallas. El identificar las causas de las fallas en pavimentos flexibles ha sido una evolución, desde el año de 1958 Hveem presentó un análisis al respecto, desde entonces y hasta la fecha hay diversas opiniones en criterios de las causas y en cuanto a la terminología usada.

#### CAUSA DE LAS FALLAS EN LOS PAVIMENTOS

El Ing. David Yáñez Santillán presenta en su artículo "Matriz de causas de fallas en pavimentos flexibles" una tipificación basada en la consulta de las principales referencias bibliográficas al respecto en México y un caso específico de Venezuela.

Se presenta la matriz como una recapitulación de los tipos de fallas en pavimentos flexibles y sus causas a efecto de que el usuario tenga a la vista la mayor cantidad de información posible para identificar dichas causas. Esta matriz se presenta a continuación en la en la tabla 3.2



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## DEFECTOS RECOPIRADOS

Los defectos considerados para los pavimentos asfálticos son los siguientes:

- Agrietamiento de piel de cocodrilo.
- Exudación de asfalto.
- Agrietamiento con patrón de mapa.
- Bordo o depresión localizados.
- Ondulaciones transversales.
- Depresión por asentamiento.
- Agrietamiento en la orilla.
- Grietas de reflexión.
- Grietas longitudinales y transversales.
- Baches o cortes reparados en el pavimento.
- Textura lisa.
- Baches abiertos.
- Roderas.
- Corrimientos en la carpeta.
- Agrietamiento por deslizamiento.
- Levantamiento por expansión.
- Desgaste o erosión.

Para el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, se consideran en la inspección visual los tipos siguientes de deterioro:

- Rotura por empuje de losas.
- Agrietamiento en esquinas.
- Losa dividida.
- Desnivel en juntas.
- Pérdida o defecto de sellado en juntas.
- Acotamiento en desnivel.
- Grietas longitudinales, transversales y diagonales.
- Baches de gran tamaño o cortes reparados en el pavimento.
- Baches pequeños reparados en el pavimento.
- Textura lisa.
- Cavidades superficiales.
- Bombeo.

- Bloques separados de losa.
- Grietas superficiales con desgaste o erosión.
- Grietas de contracción.
- Despostillamiento en esquinas.
- Despostillamiento en juntas.

Por tratarse el enfoque de este trabajo a los pavimentos flexibles únicamente serán descritos los defectos en los pavimentos asfálticos.

#### IDENTIFICACIÓN DE DEFECTOS EN LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

En los subcapítulos siguientes se explica la cuantificación de los defectos considerados para los pavimentos asfálticos

#### AGRIETAMIENTO CON PATRÓN DE PIEL DE COCODRILO

Este defecto, también conocido como agrietamiento por fatiga, consiste en una serie de grietas interconectadas y que se originan por la fatiga del concreto asfáltico bajo la repetición de cargas vehiculares. Las grietas se empiezan a formar en la parte inferior de la capa, en donde el esfuerzo y la deformación de tensión alcanzan sus valores máximos. Las grietas se extienden a la superficie inicialmente en la forma de una serie de grietas paralelas longitudinales. Después, las grietas se interconectan formando contornos poligonales de ángulos agudos, cuyo patrón semeja la piel de cocodrilo. Ocurre siempre en las zonas sujetas al tránsito. Es importante aclarar que las otras grietas que se forman en las zonas no sujetas a la aplicación de las cargas vehiculares se conocen como grietas con patrón de mapa.

El agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo se considera como un signo de deterioro estructural importante y generalmente coincide con la formación de roderas. La severidad se califica de la siguiente manera:

Ligera (L). Fisuras longitudinales paralelas con poca o ninguna interconexión. Las grietas no están despostilladas.

Moderada (M). Avance de la cobertura de las fisuras que se transforman en un patrón de malla, con despostillamiento ligero.

Alta (A). La formación de la malla de agrietamiento ha avanzado a tal grado que los cuadros o piezas están bien definidos y despostillados. Algunas piezas se pueden mover, e inclusive desprender, por la acción del tránsito vehicular.

Forma de cuantificar el deterioro. Se estima el área afectada y se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. La mayor dificultad para medir este defecto es que puede haber dos o tres niveles de severidad en una misma zona. Si se puede distinguir cada una de las partes con diferente nivel de severidad, los datos se deberán anotar por separado; en caso contrario, se deberá considerar la densidad global de este defecto, independientemente de su severidad, asociándole a todo el tramo-cuerpo el mayor nivel de severidad detectado.

#### EXUDACIÓN DE ASFALTO

Se forma una lámina o película de asfalto en la superficie del pavimento con aspecto brillante, vítreo y reflejante, la cual comúnmente se vuelve pegajosa. Se origina por exceso de asfalto en la mezcla, por la aplicación sobrada de negos de sello y/o por un bajo porcentaje de vacíos del agregado pétreo en la capa asfáltica. El asfalto llena dichos vacíos y el sobrante asciende a la superficie en la temporada de calor; desgraciadamente, este proceso es irreversible, por lo que se produce una acumulación gradual de asfalto en la superficie de rodamiento.

Los niveles de severidad utilizados en el SCEP son los que se indican a continuación:

L. La exudación ocurre muy levemente y se nota sólo durante unos cuantos días al año. El asfalto no se siente pegajoso en los zapatos o en los neumáticos de los vehículos.

M. La exudación se ha incrementado a tal grado que el asfalto se siente pegajoso en los zapatos o en los neumáticos de los vehículos, durante unas cuantas semanas al año.

A. La exudación es muy extensa y considerable, de manera que el asfalto se nota francamente pegajoso en los zapatos y en los neumáticos de los vehículos, durante varias semanas al año.

Forma de cuantificar el deterioro. La exudación se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo inspeccionado. Es muy importante hacer hincapié en que si se anota la exudación no se debe registrar la textura lisa.

#### AGRIETAMIENTO CON PATRÓN DE MAPA

Son grietas interconectadas que dividen al pavimento en piezas aproximadamente rectangulares con lados de 0.3 a 3.0 m. Se originan por "contracción del concreto asfáltico, ocasionada por bajas temperaturas; es importante aclarar que este defecto no está asociado a la acción de las cargas vehiculares. Asimismo, es una indicación de que el asfalto ha envejecido, por lo que se endurece.

Generalmente se presenta en grandes zonas, las cuales no siempre están sujetas a cargas vehiculares. La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. Grietas ligeras.
- M. Grietas medianas.
- A. Grietas severas.

Forma de cuantificar el deterioro. Generalmente se presenta en un solo nivel de severidad y se registra como un porcentaje del área total considerada; sin embargo, si hay diferentes niveles de severidad, se deberá registrar por separado el área afectada que corresponda a cada nivel de severidad.

#### BORDO O DEPRESIÓN LOCALIZADOS

El bordo se manifiesta como una deformación permanente del pavimento, en sentido ascendente. Este defecto es diferente de los corrimientos, los cuales son causados por inestabilidad en la estructura del pavimento. Las depresiones son deformaciones permanentes pequeñas y abruptas en la superficie de rodamiento. Asimismo, es importante aclarar que el deterioro denominado "levantamiento por expansión" afecta grandes zonas del pavimento, en donde se forman ondulaciones amplias.

La severidad se establece con base en los criterios siguientes:

- L. Ligera molestia en la conducción de vehículos.
- M. Molestia intermedia.
- A. Molestia excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra el deterioro como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Si los bordos aparecen en forma perpendicular o transversal al flujo del tránsito y están espaciados a menos de 3 m, el defecto se denomina "ondulaciones transversales" y deberá ser anotado como tal. Si el defecto ocurre en combinación con una grieta, ésta se registra también.

#### ONDULACIONES TRANSVERSALES

Son una serie de bordos y valles transversales que ocurren a intervalos regulares y pequeños, por lo general menores de 3 m. Este defecto es generalmente originado por la acción del tránsito vehicular en combinación con una carpeta o base inestables. Cuando los defectos denominados "bordo o depresión localizados" se presentan a intervalos regulares menores de 3 m, son clasificados como ondulaciones transversales. Los niveles de severidad para las ondulaciones transversales son los siguientes:

L. Ligera molestia en la conducción de vehículos.

M. Molestia Intermedia.

A. Molestia excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Las ondulaciones se expresan como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo inspeccionado.

#### DEPRESIONES POR ASENTAMIENTO

Son zonas localizadas más bajas que el pavimento circundante. En muchos casos, las depresiones ligeras no se notan sino después de las lluvias, cuando se almacena agua. En el pavimento seco, estas áreas son evidentes por las manchas que deja el agua estancada. Estas depresiones se originan por asentamientos del terreno natural o por defectos de construcción. Las depresiones localizadas, al contrario de las depresiones por asentamiento, son caídas abruptas de elevación. La severidad se califica de acuerdo con la profundidad máxima de la depresión, de la siguiente manera:

L. 1.3 a 2.5 cm.

M. 2.6 a 5.0 cm.

A. Más de 5.0 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. Éste se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

#### AGRIETAMIENTO EN LA ORILLA

Este defecto es poco común en zonas urbanas y solo se mencionara; consiste en la formación de grietas aproximadamente paralelas al eje longitudinal del tramo-cuerpo y que se presentan en las inmediaciones de los bordes del pavimento. Los tres niveles de severidad que se consideran para este tipo de agrietamiento son los siguientes:

L. Grieta ligera o de abertura intermedia, sin roturas o desprendimientos.

M. Grieta de abertura media con algunas roturas y desprendimientos.

A. Roturas o desprendimientos significativos a lo largo del borde del pavimento.

Forma de cuantificar el deterioro. Al igual que en los demás defectos de los pavimentos asfálticos, el deterioro se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo evaluado.

#### GRIETAS DE REFLEXIÓN



Éstas se presentan principalmente en las sobrecarpetas asfálticas que se construyen sobre losas de concreto hidráulico; en otras ocasiones también se observan grietas de reflexión en carpetas asfálticas construidas sobre bases estabilizadas o en sobrecarpetas asfálticas tendidas directamente en carpetas asfálticas con defectos mal reparados. Las grietas de reflexión se producen comúnmente por cambios de temperatura o humedad de las losas de concreto; estas grietas también se propagan de las carpetas asfálticas agrietadas, cuando no se tiene la precaución de eliminar, por fresado, las zonas agrietadas y de reponer el material eliminado de la carpeta original, antes de construir la sobrecarpeta asfáltica. La aplicación de cargas vehiculares agrava el agrietamiento, el cual se propaga a partir de la unión de la capa asfáltica con las juntas y grietas existentes en la losa o en la capa inferior. La severidad se califica de la siguiente manera:

L. Grietas sin calafatear con abertura menor de 1.0 cm; grietas bien calafateadas de cualquier abertura.

M. Grietas sin calafatear de 1.1 a 7.5 cm; grietas sin calafatear hasta de 7.5 cm de abertura rodeadas de agrietamiento ligero al azar; grietas calafateadas de cualquier abertura rodeadas de agrietamiento ligero al azar.

A. Cualquier grieta con o sin calafateo, rodeada por agrietamiento al azar, de grado medio o alto; grietas sin calafatear con abertura superior a 7.5 cm; grieta de cualquier abertura en donde la zona contigua a la grieta, en una franja de unos cuantos centímetros, está sumamente fragmentada.

Forma de cuantificar el deterioro. Las grietas de reflexión se registran como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Las áreas afectadas deben ser registradas por nivel de severidad. Si se observa un bordo en una grieta de reflexión, también se debe anotar este defecto.

#### GRIETAS LONGITUDINALES y TRANSVERSALES

Longitudinales. Son paralelas al eje longitudinal del tramo-cuerpo; se originan por el mal tratamiento de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica, por contracción o por reflexión.

Transversales. Son perpendiculares al eje longitudinal del tramo-cuerpo y generalmente se producen por la acción de las cargas del tránsito vehicular.

La severidad se califica de la siguiente manera:

L. Grietas sin calafatear con aberturas menores 1.0 cm o grietas bien de calafateadas de cualquier abertura.

M. Grietas sin calafatear de 1.1 a 7.5 cm de abertura; grietas hasta de 7.5 cm de abertura, rodeadas por fisuras ligeras de patrón aleatorio; grietas calafateadas de cualquier abertura rodeadas por fisuras ligeras de patrón aleatorio.

A. Cualquier grieta calafateada o no, rodeada por grietas de patrón aleatorio, de severidad media o alta; grietas sin calafatear de abertura superior a 7.5 cm; grietas de cualquier abertura donde el pavimento contiguo a la grieta, en una franja de pequeña anchura, muestra roturas altas.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. En caso de que se presenten estas grietas con diferentes niveles de severidad en un mismo tramo-cuerpo, se deberán anotar por separado las áreas afectadas correspondientes a cada nivel de severidad.

#### BACHES O CORTES REPARADOS EN EL PAVIMENTO

Son reparaciones hechas en el pavimento existente con nuevos materiales. Una reparación se considera un defecto, sin importar qué tan bien esté funcionando. Generalmente la reparación produce incomodidad en el manejo. Los niveles de severidad que se utilizan en la inspección visual de estos defectos son los siguientes:

L. Reparación satisfactoria y en buenas condiciones. Manejo de los vehículos con excelente comodidad.

M. Reparación moderadamente deteriorada y/o manejo de regular comodidad.

A. Reparación muy deteriorada y/o manejo incomodo. Requiere reparación inmediata.

Forma de cuantificar el deterioro. La reparación se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Si existen diferentes niveles de severidad en un mismo tramo-cuerpo, las áreas afectadas respectivas deben registrarse por separado. No se registran defectos de ningún tipo dentro de la reparación aunque éstos se observen. Si se ha reemplazado una zona considerable de pavimento, ésta no se deberá registrar como una reparación sino como un nuevo pavimento (por ejemplo, la repavimentación de una intersección completa).

#### TEXTURA LISA

Se produce por el efecto erosivo del tránsito vehicular. Cuando el agregado pétreo en la superficie se nota liso al tacto, la adherencia de los neumáticos se reduce considerablemente. Si el porcentaje de agregados pétreos que sobresalen de la superficie es pequeño, la textura del pavimento no contribuye significativa-mente a reducir la velocidad del vehículo. La textura lisa debe registrarse cuando un examen minucioso revele que, en general, dicho agregado no sobresale de la superficie de

rodamiento y que su superficie es lisa al tacto. Este tipo de defecto es evidente cuando en una prueba de resistencia al derrapamiento, ésta se reduce notablemente en mediciones periódicas.

No se definen niveles de severidad para este defecto; sin embargo, el grado de pulido debe ser significativo para poder registrar esta situación como un defecto.

Forma de cuantificar el deterioro El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo Si en la forma de inspección visual se anota el defecto de exudación de asfalto no se deberá registrar la textura lisa

### BACHES ABIERTOS

Son pequeños desperfectos, normalmente menores de 90 cm de diámetro, con la forma de una vasija o cuenca en la superficie del pavimento. Generalmente tienen orillas bien recortadas y paredes verticales cerca de la superficie. Su crecimiento se acelera por el estancamiento del agua de lluvia. Se originan cuando el tránsito desprende pequeñas porciones de la carpeta asfáltica y continúa la desintegración por la mala calidad de dicha carpeta; esta desintegración también avanza a causa de zonas débiles en la base o en las otras capas inferiores del pavimento, o porque se ha llegado a una condición severa del agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo. En general, los baches abiertos están relacionados con defectos estructurales y no deben confundirse con el desposillamiento o con los efectos del intemperismo. Cuando las cuencas se originan a partir del agrietamiento con patrón de piel de cocodrilo, de alta severidad, deben identificarse como baches abiertos y no como un producto del intemperismo. Los niveles de severidad para los baches abiertos menores de 75 cm de diámetro se establecen en relación con su diámetro y profundidad como sigue:

L. Diámetro de 10 a 20 cm y profundidad de 1.0 a 5.0 cm; diámetro de 21 a 50 cm y profundidad de 1.0 a 2.5 cm.

M Diámetro de 10 a 20 cm y profundidad de más de 5 cm; diámetro de 21 a 50 cm y profundidad de 5.1 cm o más diámetro de 50 a 75 cm y profundidad de 1.0 a 2.5cm

A. Diámetro de 51 a 75 cm y profundidad de más de 5 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se expresa como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Las áreas afectadas por baches de diferente severidad se registran por separado.

### RODERAS

Son depresiones a lo largo de las rodadas o zonas por donde se concentra el paso de los neumáticos de los vehículos. En general, las roderas son indicativas de deficiencias estructurales del pavimento. La severidad se fija de acuerdo con la profundidad media de la rodera:

- L. 0.5 a 1.0 cm.
- M. 1.1 a 2.5 cm.
- A. Más de 2.5 cm.

Forma de cuantificar el deterioro. El área afectada se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

#### CORRIMIENTOS EN LA CARPETA

Desplazamiento longitudinal en una zona localizada, producto de deficiencias del concreto asfáltico de la carpeta. El empuje longitudinal de las cargas vehiculares sobre el pavimento produce deformaciones permanentes con la forma de "olas" cortas y abruptas en la superficie de rodamiento. Los niveles de severidad considerados para los corrimientos en la carpeta son los siguientes:

- L. Ligera incomodidad en la conducción de vehículos.
- M. Incomodidad regular.
- A. Incomodidad excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo. Los corrimientos en zonas reparadas no deben registrarse como un defecto independiente, pero sí deben ser tomados en cuenta para establecer el nivel de severidad de dichas zonas.

#### AGRIETAMIENTO POR DESLIZAMIENTO

Son grietas en forma de media luna, generalmente producidas en las zonas de frenado de los vehículos. La severidad se califica de la siguiente manera:

- L. Abertura media menor de 1.0 cm.
- M. Abertura media de 1.0 a 4.0 cm; la zona contigua a la grieta se encuentra fragmentada, pero los fragmentos están ligados.
- A. Abertura media mayor de 4.0 cm; la zona contigua a la grieta se encuentra fragmentada y las piezas de la carpeta asfáltica están sueltas

Forma de cuantificar el deterioro. Se considera la zona de influencia de las grietas de deslizamiento, clasificadas de acuerdo con el nivel más alto de severidad detectado. Para un tramo-cuerpo dado, la densidad de cada nivel de severidad se obtiene con base en la relación aproximada que existe entre el área afectada por las grietas de deslizamiento y el área total del tramo-cuerpo.

#### LEVANTAMIENTO POR EXPANSIÓN

Se caracteriza por un levantamiento en la superficie del pavimento, con la forma de una "ola" amplia y gradual, mayor de 3 m. El levantamiento puede coincidir con una zona agrietada. El defecto es generalmente ocasionado por acción de las heladas en el pavimento o por la expansión del terreno natural. Se utilizan tres niveles de severidad, tal como se indica a continuación:

L. El levantamiento causa ligera incomodidad en la conducción de vehículos. Esto no siempre es fácil de detectar, pero puede descubrirse al conducir a la velocidad máxima permitida en el tramo-cuerpo. Se percibe un pequeño movimiento ascendente al pasar por esta zona.

M. Incomodidad regular.

A. Incomodidad excesiva.

Forma de cuantificar el deterioro. Se registra como un porcentaje del área total del tramo-cuerpo.

#### DESGASTE POR EROSION

Es el desgranamiento del concreto asfáltico, debido a la pérdida de adherencia con el asfalto, ya sea por endurecimiento del asfalto o por baja calidad de la mezcla. Además, puede ser ocasionado por cierto tipo de vehículos (por ejemplo, tractores de orugas). También se puede deber al derrame de gasolina o diesel. La severidad se califica de la siguiente manera:

L. El agregado pétreo o el asfalto empiezan a desgastarse. En algunas zonas superficiales empieza a tener pequeñas cavidades. Si hay derrame de combustible, se observan manchas, aunque la superficie de apreciación dura y no se deja penetrar por una moneda.

M. El agregado pétreo y el asfalto se han desgastado. La textura es moderadamente áspera y con cavidades pequeñas. Si hay derrame de combustible, se nota suave la superficie y puede penetrarse al ejercer presión con una moneda.

A. El agregado pétreo y el asfalto se han desgastado considerablemente. La textura es muy áspera y llena de cavidades pequeñas. Las cavidades son menores de 10 cm de diámetro y tienen menos de 1 cm de profundidad. Las cavidades mayores se deben registrar como baches abiertos. En caso de derrames de combustible, el asfalto pierde su poder ligante y el agregado pétreo se separa.

Forma de cuantificar el deterioro. Este defecto se expresa como un porcentaje total del tramo-cuerpo.

El listado anterior representa en general los diferentes tipos de falla que existen en las avenidas para el Distrito Federal, puede haber otras variantes que obedecen a apreciaciones muy personales.

### CATALOGO FOTOGRAFICO DE FALLAS

#### Agrietamiento de piel de cocodrilo.

Son fisuras reflejadas en la superficie de la carpeta asfáltica que forman un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm, grietas intercomunicadas formando pequeños polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo. (FOTO 3.11)

#### Causas probables:

- Soporte inadecuado de la base
- Debilidad de la estructura del pavimento
- Carpetas rígidas sobre suelo de cimentación resilientes
- Fuertes sollicitaciones de tránsito
- Fatiga
- Envejecimiento
- Escasez de espesor de la carpeta



FOTO 3.11

### **Exudación de asfalto (llorado de asfalto)**

Es el flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas. FOT 3.12

Causas probables:

Exceso de asfalto

- Excesiva compactación de mezclas ricas
- Temperatura de compactación muy elevada
- Sobredosificación de riego de liga



FOTO 3.12

### **Agrietamiento con patrón de mapa.**

Es la forma de desintegración de la superficie de rodamiento, en la que el agrietamiento se desarrolla en un patrón semejante a la subdivisiones políticas de un mapa, con polígonos mayores a los 20 cm. FOTO 3.13

Causas probables:

- Calidad deficiente de alguna de las capas de la sección estructural
- Debilidad de la estructura del pavimento
- Carpeta rígida sobre suelos de cimentación resilientes
- Fuertes solicitaciones de tránsito
- Fatiga

- Envejecimiento
- Espesor escaso de la carpeta



FOTO 3.13

**Bordo o depresión localizados (protuberancias)**

Es el desplazamiento de parte de la carpeta asfáltica hacia la superficie formando un montículo de considerables dimensiones. FOTO 3.14

**Causas probables:**

- Acción del tránsito intenso
- Estabilidad inadecuada
- Liga deficiente entre capas
- Compactación inadecuada
- Acción de heladas

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





FIG 3.14

#### Ondulaciones transversales

Son ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contiene en forma regular crestas y valles alternados, regularmente con separación menor a 60 cm entre ellas. FOTO 3.15

##### Causas probables:

- Unión deficiente entre capas asfálticas y/o base
- Estabilidad de la mezcla deficiente
- Acción de tránsito intenso
- Bases de mala calidad
- Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenado de vehículos
- Mala calidad de los materiales que forman la carpeta
- Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



FOTO 3.15

#### **Depresión por asentamiento**

Son las áreas del pavimento localizadas en elevaciones mas bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje del camino. FOTO 3.15

Causas probables:

Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento

- Peso propio de la sección del pavimento
- Suelos o cimentaciones resilientes
- Cargas excesivas o superiores a las de diseño
- Compactación inadecuada
- Asentamientos diferenciales transversales por edificaciones aledañas al arroyo
- Procedimientos de construcción inadecuados
- Drenaje o subdrenaje deficientes
- Contaminación de capas inferiores
- Desplome de cavidades subterráneas

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



FOTO 3.15

### Grietas de reflexión

Son grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente cuando es reencarpelado con concreto asfáltico. FOTO 3.16

#### Causas probables:

- Movimiento del pavimento subyacente
- Liga inadecuada entre capas
- Posibles contracciones de capas subyacentes
- Falta de unión entre grietas de capas inferiores
- Agrietamiento de capas inferiores
- Contracción o dilatación de bases estabilizadas con cemento

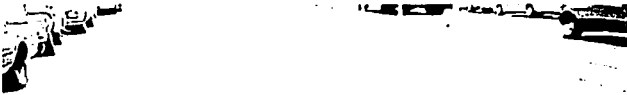


FOTO 3.16

### Grietas Longitudinales Y Transversales

Son fisuras o grietas paralelas y transversales al eje del camino. FOTO 3.17

Causas probables:

- Deficiencia en las juntas de construcción longitudinales y transversales
- Reflejo de grietas en capa de base
- Asentamiento de capas por el tránsito
- Espesor insuficiente
- Contracción de materiales de la capa de rodamiento
- Asentamientos aislados en las capas interiores
- Drenaje insuficiente



FOTO 3.17

### Baches o cortes reparados en el pavimento

Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando oquedades. Es la marca que deja la reparación del pavimento cuando se introducen instalaciones municipales o de particulares en el subsuelo. FOTO 3.18

Causas probables:

- Falta de resistencia de la carpeta
- Escasez de contenido de asfalto
- Espesor deficiente

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

- Drenaje deficiente
- Desintegración localizada por tránsito
- Puntos débiles en la superficie
- Introducción de instalaciones



FOTO 3.18

**Textura Lisa**

Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas. FOTO

3.19

**Causas probables:**

- Tránsito intenso
- Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste
- Excesiva compactación
- Mezclas demasiado ricas en asfalto
- Agregados no apropiados a la intensidad del tránsito
- Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta o en la base cuando se trata de tratamientos superficiales

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

FOTO 3.19

#### **Baches abiertos**

Son grandes oquedades producidas por el deterioro de la carpeta, reparaciones municipales que se molivan por la falta de un adecuado mantenimiento. FOTO 3.20

#### **Causas probables:**

- Erosión de la carpeta asfáltica
- Intemperismo
- Fatiga de la estructura de pavimento
- Escasez de contenido asfáltico
- Puntos débiles de la superficie

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



FOTO 3.20

### Rodera

Asentamiento o deformaciones permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodada de los vehículos. FOTO 3.21

#### Causas probables:

- Baja estabilidad de la carpeta
- Carpeta mal compactada
- Consolidación de una o varias de las capas subyacentes

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



FOTO 3.21

### Corrimientos en la carpeta

Protuberancias prolongadas de magnitudes considerables en la dirección del tránsito. FOTO 3.22

Causas probables:

- Fuertes asentamientos longitudinales
- Falta de capacidad estructural del conjunto de capas del pavimento
- Sobrecargas intensas
- Nula estabilidad de la carpeta
- Nulo soporte lateral o confinamiento
- Insuficiente VRS de las capas
- Baja compactación

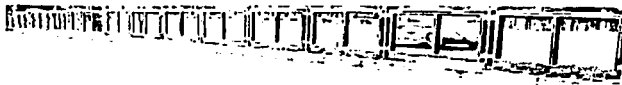


FOTO 3.22

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Agrietamiento por deslizamiento

Grieta de forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito. FOTO 3.23

Causas probables:

- Carpeta de rodamiento débil
- Zona de frenado de las ruedas, generalmente en zona de semáforos y topes
- Mezcla inestable
- Efecto en el arranque de la rueda





FOTO 3.23

#### **Levantamiento por expansión**

Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de las capas del pavimento. FOTO 3.24

#### **Causas probables.**

- Acción de heladas
- Ciclos de congelamiento y descongelamiento
- Expansión localizadas de capas inferiores
- Expansión localizada de alguna porción de la sección estructural del pavimento

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

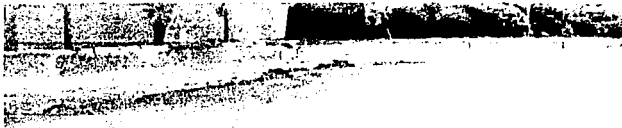


FOTO 3.24

#### **Desgaste o erosión**

Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen. FOTO 3.25

#### **Causas probables:**

- Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica
- Acción del tránsito intenso y pesado
- Tendido de la carpeta en climas fríos o húmedos
- Agregados contaminados
- Contenido pobre de asfalto
- Sobre calentamiento de la mezcla
- Compactación insuficiente
- Acción de heladas o hielo
- Presencia de arcilla en cualquiera de las capas
- Separación de agregados y asfalto ligante
- Contaminación de solventes
- Envejecimiento y fatiga
- Desintegración de los agregados
- Sección estructural deficiente o escasa

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



FOTO 325

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## CAPITULO IV

# CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES URBANOS

### CONSIDERACIONES SOBRE LA CONSERVACION Y EL MANTENIMIENTO DE VIALIDADES URBANAS.

En general puede decirse que las técnicas de conservación e inclusive las de rehabilitación de pavimentos urbanos son similares a las empleadas en los pavimentos de carreteras y aeropuertos. Sin embargo existen aspectos que deben ser tomados en cuenta en los procedimientos y técnicas de conservación de ciudades.

En ocasiones es poco recomendable reforzar los pavimentos con sobrecarpetas o construir capas de renovación, por afectar otros elementos urbanos, como niveles de banquetas, registros, bocas de tormenta, etc., así como el gálibo de pasos a desnivel, etc. De igual manera, la presencia de instalaciones subterráneas limitan la profundidad de las excavaciones que llegaran a requerirse para una reconstrucción integral del pavimento.

Los trabajos en vialidades principales deben realizarse de noche, para no interferir con el tránsito, con las desventajas de sobra conocidas. Los trabajos ejecutados causan molestias a los usuarios y vecinos, y es necesario planearlos con anticipación para retirar los vehículos estacionados, notificar a los vecinos, efectuar el retiro de materiales sobrantes, etc. Asimismo se deben proteger los elementos adyacentes, evitando que sean, dañados a simplemente manchados, incluyendo la vegetación de jardineras, prados, etc. Además los trabajos deben efectuarse en forma rápida para no afectar a usuarios y vecinos.

Es necesario atender áreas en donde se presentan problemas particulares, como carriles preferenciales, estacionamientos y paraderos o zonas de arranque y frenado, en donde se pueden presentar problemas derivados de tránsito pesado y canalizado, derrame de combustible, corrimientos de carpeta, etc.

También es conveniente atender las áreas para cruce de peatones, en donde éstos entran en contacto con los vehículos, debiendo atender las condiciones de seguridad para ambos usuarios, peatón y conductor. Deberán evitarse en estas zonas condiciones insatisfactorias como pavimento resbaloso, irregular, reflexión de la luz, contraste deficiente con las señales de piso, etc., debiendo incrementarse las medidas de protección con relación al peatón, ya que en general los conductores adecuan su

comportamiento más bien según el ambiente que perciben, que respetando las señales de circulación.

La conservación y rehabilitación deben tomar en cuenta la aplicación de técnicas, materiales y procedimientos que proporcionen condiciones adecuadas de resistencia al derrapamiento, de reflexión de luz, de textura, de bajo nivel de ruido y que además proporcione una superficie durable manteniendo tales propiedades durante el mayor tiempo posible con una conservación mínima y finalmente, compatible con el contexto urbano.

### TECNICAS DE CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO

El tratamiento de zonas agrietadas, con baches y deformaciones, se sujetan a los procedimientos convencionales de conservación, debe trabajarse por la noche y abrir al tránsito de inmediato. En los casos de pavimentos envejecidos, aunque con adecuada resistencia estructural, con problemas de agrietamientos y apariencia irregular, es muy común la aplicación de tratamientos superficiales con mortero asfáltico, de tipo Slurry Seal, con lo cual se protege al pavimento, se proporciona una textura adecuada y se mejora notablemente su apariencia. De igual manera es posible la aplicación de una carpeta de tipo granulometría abierta (open graded), si bien es necesario verificar que la superficie existente sea impermeable, no esté deformada y tenga facilidades para la eliminación rápida del agua superficial. Las sobrecarpetas en pavimentos flexibles con fines de refuerzo tienen como limitación la altura de guarniciones de las banquetas, entradas a estacionamientos y posición de las bocas de tormenta y no afectar los gálibos de estructuras. Por otra parte, para evitar la reflexión de grietas es común el empleo de geotextiles o bien el calafateo. Así mismo el empleo de modificadores de asfaltos se está incorporando a esta tecnología, tanto aplicadas a cementos asfálticos como a emulsiones. En el caso de rehabilitaciones o reconstrucciones del pavimento es necesario efectuar excavaciones, cuya profundidad puede estar limitada por la presencia de instalaciones subterráneas, además de su interferencia con el tránsito vehicular y peatonal. Es recomendable no efectuar excavaciones profundas y emplear materiales de mayor rigidez, recurriendo a su estabilización con cemento Portland, asfaltos, etc. y en algunos casos al concreto hidráulico vibrado o rodillado. Esta solución puede aplicarse solamente a los carriles de mayor ocupación de vehículos pesados, dejando las losas expuestas o bien, cubiertas con una sobrecarpeta asfáltica cubriendo todo el ancho de calzada. Para la rehabilitación de pavimentos flexibles se está incorporando la construcción de losas delgadas de concreto hidráulico, whitetopping, con espesores de 5 a 10 cm en los casos de losas ultra delgadas. En estas soluciones deben emplearse concretos fibrosos y construir las juntas con separaciones entre 60 y 90 cm. De igual manera se han desarrollado técnicas para apertura rápida al tránsito (fast track), que en menos de 24 hr permiten la circulación de vehículos.

Las técnicas de rehabilitación de pavimentos asfálticos tienen una característica común: se requiere que se utilicen materiales de la más alta calidad en la fabricación de las mezclas y que sean

colocadas con los procedimientos y equipo adecuado, lo cual garantizará soluciones de prolongada vida útil; cumplido lo anterior, se puede continuar con la selección de la técnica a utilizarse.

La rehabilitación de un pavimento se puede dividir en dos grandes grupos: Rehabilitación superficial y Rehabilitación integral.

### REHABILITACIÓN SUPERFICIAL.

Es el tratamiento de la superficie de rodamiento sin modificar la capacidad de carga de la estructura del pavimento, que se requiere para restituir las condiciones originales de rugosidad y confort de la cinta asfáltica.

A continuación se mencionarán brevemente los tratamientos más usuales y algunas de sus características:

- Bacheo superficial
- Renivelaciones.
- Riego de sello tradicional
- Sobrecarpetas
- Reciclado en caliente
- Reciclado en frío
- Whitetoping delgado

Renivelaciones. Estriba en la restitución del perfil longitudinal o transversal para reacondicionar el índice de servicio de la superficie de rodamiento.

Riego de sello tradicional. Es la aplicación de material pétreo producto de la trituración parcial o total previo de un riego de liga con emulsión o cemento asfáltico, sobre la superficie de rodamiento deteriorada, impermeabiliza y reintegra rugosidad a la carpeta evitando el desgaste del material pétreo en la superficie y restituye coeficiente de fricción al pavimento.

Los materiales asfálticos que se emplean en la construcción de riego de sello son: cemento asfáltico o emulsiones rápidas.

Otro sistema para la aplicación de sellos premezclados consiste en agregar cemento asfáltico al material pétreo en planta a razón de 3 por ciento en peso, posteriormente, modificar el cemento asfáltico con hule molido el cual será utilizado para el riego de liga; con el uso de una petrolizadora especial para riego de cementos ahulados se dosifica sobre la superficie el cemento asfáltico y posteriormente con el empleo de un esparcidor de sello se aplica el pétreo para proceder a su compactación.

La utilización de este tipo de sello premezclado garantiza un tratamiento de excelente calidad y gran duración.

**Slurrv Seal.-El Slurry Seal ó mortero asfáltico** es una técnica que consiste en la mezcla de arena y emulsión asfáltica de rompimiento rápido que se aplica sobre la superficie de rodamiento con un equipo especial autopropulsado que consta de un tanque para el producto asfáltico; depósitos para la arena; un mezclador y un tren de riego que dosifica la mezcla proporcionando una capa impermeable rugosa a la superficie de rodamiento.

Esta técnica se ha utilizado satisfactoriamente para el tratamiento de pistas en aeropuertos ya que tiene la ventaja que al fraguar la emulsión no tiene desprendimiento de partículas y permite el uso inmediato sin el riesgo de dañar las turbinas de propulsión que pueden succionar las partículas sueltas durante la operación.

**Carpetas delgadas.** Este procedimiento de rehabilitación consiste en sobreponer a la carpeta actual ya deteriorada por el uso, una sobrecarpeta con espesores de 0.75 a 1.5 pulgadas que devuelven las características de rugosidad, impermeabilidad y confort a la superficie de rodamiento.

**Reciclados.-**Otro método usual en tratamientos superficiales es el denominado reciclado. La técnica tiene por objeto restituir las propiedades de los materiales que componen las capas asfálticas de los pavimentos flexibles para que sean capaces de servir un nuevo ciclo de vida.

Consiste en términos generales, en llevar a cabo el corte de las capas superiores del pavimento, su disgregado, previos al proceso de calentamiento y mezclado, en su caso, con nuevos agregados, cemento asfáltico y agentes rejuvenecedores del asfalto presente en el material que se utiliza, para restituir sus propiedades, y posteriormente la formación compactación en el lugar de procedencia de la capa reciclada.

El campo de aplicación hasta ahora se ha limitado a tratar pavimentos que no tienen una deficiencia estructural importante, exentos de deformaciones mayores de 3cm.

En la búsqueda de métodos alternativos para rehabilitar pavimentos flexibles se han desarrollado y probado y diversas técnicas. Como es el "whitotoping" (W.T.) que consiste en la colocación de una sobre losa delgada de concreto asfáltico sobre la carpeta existente con espesores de 2 a 3 1/2".

## **REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL**

Este tipo de rehabilitación tiene por objetivo el restituir la capacidad de carga de la estructura del pavimento, reacondicionándolo para resistir las nuevas solicitaciones de carga a que esté sometido. El incremento del volumen de tránsito y las cargas que circulan por las calles y carreteras del país demanda periódicamente la modernización estructural de los pavimentos la cual si se lleva a cabo oportunamente incrementará la vida útil de la estructura y abatirá costos de reconstrucción.

De las técnicas más usuales para rehabilitación de pavimento hacemos mención de las siguientes:

- Y Bacheo profundo y carpeta
- Y Bases asfálticas y carpetas
- Y Recuperación de pavimentos con cemento Pórtland
- Y Concreto compactado con rodillo
- Y Carpetas con geotextiles.

Bacheo profundo y carpeta. Este sistema es uno de los más comúnmente utilizados, consiste en la apertura de caja de zonas dañadas estructuralmente en el espesor necesario para tratar la base, o en su caso, la sub-base, mejorando o sustituyendo el material y finalmente colocando una carpeta asfáltica de 3/4" de espesor. Esta técnica se utiliza únicamente en zonas aisladas del área a rehabilitar.

Bases asfálticas y carpetas. El espesor de las capas asfálticas en algunas calles de la ciudad de México y carreteras del país, llegan a tener hasta 60 ó 70 cms. o más en algunas ocasiones lo cual complica considerablemente la rehabilitación estructural de las capas subyacentes; En esos casos se ha utilizado este sistema en dos formas diferentes: fresando espesores de 15, 20 o 30 cm de espesor que son sustituidos por bases asfálticas fabricadas con agregado pétreo de 1 1/2" Y posteriormente se coloca una carpeta asfáltica con agregado de 3/4". Este sistema tiene la ventaja de no elevar la rasante de la superficie de rodamiento considerablemente y evitar así la posible necesidad de elevar estructuras banquetas y guarniciones; el otro método, elimina el fresado de las capas asfálticas dañadas sobre poniendo la base asfáltica y carpeta en la carpeta existente, no obstante que con este método se disminuye considerablemente los volúmenes de materiales a mover, se requiere de bacheos superficiales y profundos previos a la colocación de la base asfáltica; a diferencia del procedimiento con fresado, este criterio aumenta considerablemente el nivel de la rasante con las desventajas mencionadas anteriormente limitando su uso a caminos con pocas estructuras y adicionalmente incrementa de manera muy importante la carga muerta sobre los pasos superiores dañándolos a mediano y a largo plazo, por lo que se recomienda proyectar perfiles de transición entre los terraplenes de acceso y las losas de las estructuras rehabilitando estas últimas con tratamientos superficiales.

Recuperación de pavimentos con cemento Pórtland. Esta técnica se desarrolla con la aparición de las máquinas recuperadoras las cuales están dotadas de un rotor diseñado para hacer un corte en frío a profundidad de 10 a 50 cm, según sus características de fabricación y de las condiciones de la estructura de pavimento que se va a cortar.

Este procedimiento tiene la ventaja de que con un solo equipo se realiza el corte y disgregado y mezclado del material con el agua de compactación y con el cemento Pórtland, y finalmente el tendido que dando listo en un solo movimiento del equipo para la compactación.



Es importante señalar que cuando el espesor de carpeta es superior a 30cm, no es recomendable el uso de máquinas recuperadoras pues las puntas de corte del rotor pueden averiarse seriamente.

Aplicación de carpetas asfálticas con geotextil. En muchas partes del mundo se han obtenido experiencias de la utilización de los geotextiles para cumplir diversas funciones como: a) Separación de materiales en distintas granulometrías; b) Filtrado, reducir o evitar la migración de finos por flujo; c) Drenado, permitir al libre flujo de agua reduciendo la presión; d) Reforzamiento, soportar tensiones y distribuir esfuerzos; e) Evitar la reflexión de grietas a nuevas carpetas.

Un geotextil no proporciona una mayor resistencia al sistema, sino que permite una mayor flexibilidad en la zona de agrietamiento, reduciendo tensiones, originando una menor fuerza de propagación.

Las Técnicas anteriormente tratadas, representan solo algunas de las alternativas con que se cuenta para rehabilitar pavimentos asfálticos y en realidad la solución del problema a resolver debe estar dictada por los resultados de una evaluación completa de la estructura del pavimento y su superficie, cualquiera de las técnicas de rehabilitación puede ser mejorada o combinada con el objeto de proporcionar al pavimento las características que requiera para responder a las solicitaciones del tráfico al que esté expuesto, no existen fórmulas mágicas que nos determinen una solución general a los diversos problemas de los pavimentos asfálticos, en la medida en que se estudien los deterioros y las causas que los provocan se estará en condiciones de aplicar la mejor solución al menor costo que nos garantice la mayor vida útil de nuestro pavimento acorde a los recursos disponibles.

#### **MANTENIMIENTO A BASE DE CARPETAS DELGADAS**

En los últimos quince años se vienen desarrollando en todo el mundo técnicas de pavimentación en espesores relativamente delgados (menores a 40 mm) con el objetivo fundamental de proteger la estructura del pavimento y proveer una capa de rodamiento con adecuadas condiciones de seguridad y confort. Se suelen denominar sistemas de pavimentación de bajo espesor a aquellas mezclas asfálticas elaboradas y colocadas en caliente o elaboradas y colocadas a temperatura ambiente, cuyo espesor está comprendido entre 10 y 40 mm. Son sobre carpetas no-estructurales o funcionales, mientras que los estructurales se aplican entre 50 y 100 mm de espesor. Las capas delgadas se utilizan tanto en sobre carpetas como en construcciones nuevas. En general estas mezclas están destinadas al mantenimiento preventivo de pavimentos, donde obtiene el máximo costo-beneficio. También pueden ser aplicadas en operaciones de mantenimiento correctivo teniendo cuidado en la preparación de la superficie de apoyo.

Entre los principales beneficios de estas mezclas se cuenta con la mejor textura superficial, una mayor resistencia al derrapamiento, adecuada resistencia a fatiga y deformación permanente, mayor durabilidad, son reciclables, menos ruidosas, mayor drenado superficial, etc. No obstante las ventajas enumeradas, estos sistemas son más sensibles tanto a la calidad de los materiales como a los procesos constructivos y no corrigen defectos estructurales.

En la actualidad en la fabricación de los pavimentos asfálticos se tiene mayor cuidado en los siguientes elementos fundamentales: *calidad, seguridad, impacto ambiental, rapidez de construcción* (minimización de las interrupciones al tránsito), *confort y costos*. Las encuestas a los usuarios siguen mostrando que lo más importante en el sistema vial es *la condición del pavimento*. Se establece claramente que la prioridad para mejorar las carreteras es enfocar en *la calidad de la superficie del camino*.

Las mezclas asfálticas de bajo espesor se ubican entre los tratamientos superficiales/lechadas (10 mm) y las mezclas convencionales (50 mm) con importantes ventajas sobre los mismos. Así comparado los tratamientos superficiales con riegos de asfalto y piedra partida con las mezclas asfálticas de bajo espesor, éstas pueden aplicarse bajo condiciones climáticas que serían adversas para un tratamiento, no presentan desprendimiento de partículas y no generan polvo durante la construcción.

Las carpetas delgadas según su modo de fabricación, se clasifican como sigue:

<b>SISTEMAS DE PAVIMENTACIÓN DE BAJO ESPESOR</b>	
<i>ESPESOR: 10-40 mm</i>	
Elaboradas y colocadas a temperatura ambiente	Micro mezclas Asfálticas en Frío  E=10-15 mm
Elaboradas y colocadas a altas temperaturas	Mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor  e=15-40 mm

Los tamaños máximos de agregados rondan los 10 a 14 mm, con elevados contenidos de filler y ligante asfáltico entre 5,5 y 7%. Como se mencionara, un factor común a todos los sistemas de bajo espesor es que son muy sensibles a la condición de la superficie de apoyo, a la calidad de los materiales y a los procesos constructivos. Esto es, se requieren agregados, filler, asfalto y aditivos de alta calidad junto con adecuadas técnicas de elaboración y colocación.

La misión de estos sistemas de pavimentación de bajo espesor es la de preservar y/o mejorar la funcionalidad del pavimento. Estos sistemas no pretenden mejorar estructuralmente al pavimento sino proteger a la estructura a la vez de proveer una avenida segura, confortable, durable y de agradable aspecto.

FACTORES QUE GOBIERNAN LA FUNCIONALIDAD DE UN PAVIMENTO	
SEGURIDAD	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Resistencia al deslizamiento</li><li>➤ Macro y micro-texturas</li><li>➤ Drenaje superficial</li><li>➤ Back-Spray</li><li>➤ Lisura</li><li>➤ Demarcación horizontal</li></ul>
PROTECCIÓN DE LA ESTRUCTURA	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Durabilidad</li></ul>
CONFORT	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Nivel de ruido</li></ul>
ESTETICA	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Rugosidad</li><li>➤ Uniformidad</li></ul>

Los factores indicados en la Tabla anterior dan una idea de las propiedades que debe reunir un sistema de pavimentación colocado en bajo espesor. A ello se le debe sumar que sean de rápida aplicación y máxima durabilidad.

#### OPTIMIZACIÓN DEL USO DE SISTEMAS DE BAJO ESPESOR

Indudablemente el mejor uso que se puede hacer de una mezcla de bajo espesor, mezcla funcional, es el de aplicarla a tiempo y en el lugar apropiado. Esto es, aplicar el tratamiento adecuado en el momento justo y siempre recordando que: a tiempo, el tratamiento apropiado es la mejor solución. Esto significa que la estructura del pavimento debe estar todavía en buen estado, y sus condiciones superficiales no deben ser críticas. Estos sistemas se utilizan tanto en tratamientos preventivos como en correctivos de la superficie del pavimento.

Las carpetas de bajo espesor se aplican fundamentalmente en el mantenimiento preventivo de los pavimentos, esto es, en operaciones de mantenimiento que preserven todavía buen estado de la estructura. También se aplican en pavimentos nuevos para proveer de las necesarias condiciones de seguridad y confort que una mezcla convencional no podría aportar, y en el concepto nuevo de pavimentos perpetuos, que son pavimentos diseñados para 50 años de vida, con renovación periódica superficial solamente.

Una aplicación interesante resulta en vías de alta velocidad en donde se busca principalmente aplicar técnicas de rápida extensión en toda la superficie, de alta durabilidad, y en lo posible libre de mantenimiento. Minimizar las interrupciones al flujo de tránsito y extender el intervalo de operaciones de rehabilitación.

Dentro de los factores a considerar para la optimización de aplicación de una mezcla asfáltica en bajo espesor se pueden citar: la condición estructural-funcional del pavimento, la selección de la formulación a emplear, el porcentaje de tránsito pesado existente, el tipo de pavimento, la condición de las banquetas, las condiciones de drenaje superficial y sub-superficial, y el clima.

<b>Granulometrías típicas para mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor</b>			
<b>Tamaños pul-nº (mm)</b>	<b>Densa Continua</b>	<b>Densa discontinua</b>	<b>Abierta</b>
½ (12.5)	100	100	100
3/8 (9.5)	75-95	85-95	95-100
4 (4.75)	39-72	30-42	30-50
8(2.36)	49-57	25-35	5-15
30(0.63)	14-23	14-25	
50(0.30)	6-21		
200(0.075)	3-6.5	8-12	2-5
Asfalto, %	5-6	6-7	5.5-7.5

#### **TIPOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE DE BAJO ESPESOR**

Se pueden distinguir tres categorías bien diferenciadas: los tratamientos de elevada fricción, las mezclas asfálticas convencionales de bajo espesor y las mezclas especiales. Entre los primeros se destacan las capas laminares de alta fricción desarrolladas por los ingleses y que consisten en aplicaciones de ligantes tipo resina y áridos artificiales (bauxita calcinada) para ser aplicados en lugares donde se requiere una elevada fricción. Las mezclas densas en caliente son conocidas y la única diferencia con respecto a mezclas de espesores mayores de 40 mm está en el tamaño máximo nominal que suele ser de 10 mm. Entre las mezclas especiales se deben mencionar: la Stone-Mastic Asphalt, los micro aglomerados en caliente, las mezclas ultra delgadas francesas y las mezclas drenantes fibro-asfálticas.

Las características que definen estos tipos de mezclas asfálticas en caliente con respecto a las mezclas convencionales son: espesores menores o iguales a 40 mm, agregados totalmente provenientes de la trituración de rocas sanas y de alta calidad, filler, cementos asfálticos modificados, estabilizantes, y granulometrías especiales. Por su espesor se dividen en Finas, Muy Finas y Ultra finas. Por sus granulometrías se dividen en Densas con continuidad, Densas con discontinuidad, y Abiertas.

Las mezclas densas y las abiertas han sido empleadas durante años en los EE.UU. y Europa; la mayoría tienen especificaciones para estas mezclas. Las mezclas densas discontinuas son una tecnología emergente desarrollada en Europa. Se pueden utilizar diversos tipos de mezclas discontinuas, tales como la Stone Matrix Asphalt, Novachip, Savepave, etc. Estas mezclas se utilizan principalmente para obtener superficies con alta macrotextura, suficiente resistencia al deslizamiento, protección de la estructura y mayor durabilidad.

En las mezclas *densamente graduadas*, con curvas continuas, la distribución de tamaños de agregados se realiza de manera que los vacíos de las fracciones gruesas sean llenados por las fracciones finas dejando espacio suficiente para el ingreso del ligante y vacíos de aire. De esta manera la estabilidad de la mezcla se logra a través de la sucesión de contactos entre las distintas fracciones con un mínimo de asfalto y de vacíos de aire.

Las mezclas *abiertas* son diseñadas para tener una estructura granular muy abierta con un alto contenido de vacíos -15 a 25%- para promover el drenaje del agua a través de la misma. Por tanto tienen baja estabilidad y se aplican en bajos espesores. En su diseño se tiene en cuenta el área superficial de los agregados y ensayos de drenaje de betún.

En las mezclas *discontinuas* las partículas minerales más grandes se soportan entre sí formando un esqueleto mineral que será el encargado de transmitir cargas. Los vacíos son llenados por un mastic rico en asfalto y filler, y eventualmente fibras. No existe la fracción intermedia. Como se dijo, la Stone-Mastic Asphalt es la más reconocida mundialmente, y recientemente se han aplicado en los EE. UU. las denominadas Superpave Gap-graded, con gradaciones similares a la SMA alemana.

Constructivamente las mezclas delgadas son elaboradas en las mismas plantas asfálticas para mezclas convencionales. En lo referente a su aplicación algunos tipos de mezclas discontinuas requieren equipos de extensión especiales. La compactación se realiza normalmente con rodillo liso sin vibrar y debe realizarse en forma inmediata para evitar enfriamientos.

#### APLICACIÓN EN EL MANTENIMIENTO DE CAMINOS

Los sistemas descritos con sus variantes (espesores, ligantes, adiciones, etc.) son aplicados normalmente como tratamiento preventivo de la superficie. Adicionalmente pueden también aplicarse como correctores de fallas menores en la superficie, y eventualmente en tratamientos de emergencia a fin de preservar la integridad del pavimento antes de la aplicación de un refuerzo o reconstrucción. Como se ha mencionado, existen tres niveles o categorías de mantenimientos: *preventivo, correctivo y de emergencia*. La diferencia estriba en el estado del pavimento al momento de la intervención y tiene gran influencia en el costo-efectividad del tratamiento utilizado.

En este sentido las mezclas de bajo espesor tienen un gran potencial como tratamiento preventivo para preservar la estructura y extender la vida útil del pavimento. El mantenimiento preventivo comprende operaciones de rehabilitación de la superficie con el fin de mejorar y extender la vida de servicio del mismo y supone la aplicación de un plan de mantenimiento que a su vez implica la utilización de dichos tratamientos en forma sistemática.

Como primer paso se debe determinar la condición del pavimento. Para ello deben relevarse las fallas observables en la superficie, analizar la capacidad estructural, la rugosidad y la resistencia al deslizamiento (seguridad). Como regla general, solamente aquellos pavimentos que exhiban una condición estructural buena son candidatos para el mantenimiento preventivo. Como tratamientos a utilizar se pueden nombrar los tratamientos con riegos de ligante y agregados, tratamientos de rellenado y sellado de fisuras, fog seal, chip seal, slurry seal, los micro-aglomerados y las mezclas de bajo espesor.

Como se indicara previamente, para un mantenimiento preventivo exitoso debe aplicarse en forma sistemática y realizarse un seguimiento a fin de determinar la efectividad del mismo. En la Tabla 5 se indican los resultados de las investigaciones de Geoffroy quien condujo una evaluación de 60 agencias de caminos en los EE. UU. sobre los beneficios de los mantenimientos preventivos aplicados. En dicha tabla se puede observar el incremento de vida útil del pavimento con la aplicación de diferentes tratamientos y la frecuencia de aplicación de los mismos.

<b>Observaciones del comportamiento de tratamientos en mantenimiento preventivo</b>			
<i>Tratamiento</i>	<i>Edad del pavimento</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>Incremento de vida útil</i>
Relleno de fisuras	5-8	2-4	2-4
Chip-seal	7-8	5-6	5-6
Slurry seal	5-10	5-6	5-6
Micro-aglomerados	9-10	5-6	5-6
Sma y superpave	9-10	9-10	7-8

Se observa que la frecuencia de aplicación de los tratamientos, dejando de lado el tratamiento de fisuras y las mezclas en caliente de bajo espesor, es de 5 a 6 años con la correspondiente extensión en vida de servicio. Gran parte del éxito a obtener con la aplicación de tratamientos preventivos se basa en la condición existente del pavimento. En la Tabla siguiente se indican las categorías de fallas más comunes en los pavimentos flexibles y los tratamientos más adecuados.

FALLAS EN LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES Y TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
CATEGORÍA DE FALLA	TIPO DE FALLA	TRATAMIENTO A APLICAR
Fisuramiento	Por fatiga	No es aplicable
	En bloque	Tratamientos en frío
	De borde	Relleno sellado
	Longitudinal	Relleno sellado
Baches	Baches y zonas parchadas	No es aplicable si son zonas extensas
Defectos superficiales	Deformaciones permanentes	No es aplicable
	Deformaciones plásticas	No es aplicables
	Exudaciones leves	Fresado y micro-aglomerados
	Agregados pulidos	Micro-aglomerado
	Desprendimientos	Micro-aglomerado

#### DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DELGADAS PARA CAPAS DE SUPERFICIE

Los factores que gobiernan el diseño y el comportamiento de las mezclas delgadas son los siguientes: granulometría de los agregados, contenido y tipo de ligante, adherencia, permeabilidad o impermeabilidad de la mezcla, facilidad de compactación, textura y resistencia al deslizamiento y durabilidad en el tiempo. Por otra parte el diseño de tales mezclas comprende dos aspectos que las diferencian de otras mezclas: el diseño de la textura superficial, y de la estructura interna de la mezcla. Asimismo debe tenerse en cuenta también: confort, seguridad e impacto ambiental.

Estas mezclas no se diseñan estructuralmente dado que no se considera, por lo general, su aporte estructural aun cuando en algunos casos lo tienen. Si se deben tener en cuenta el tránsito, el clima, la calidad de los materiales y sus proporciones y algunas consideraciones constructivas. Los esfuerzos tangenciales del tránsito, la abrasión y densificación producida por el mismo son parámetros a tener en cuenta.

Hasta el presente no se tiene un procedimiento de diseño racional standard ni para las mezclas en frío ni para las en caliente. Los procedimientos empíricos tienen mucha influencia en los micro-aglomerados: se utilizan ensayos de abrasión, densificación, y compatibilidad; en las mezclas en caliente se utilizan el Marshall, Compresión-Inmersión y Drenaje de Asfalto. Ninguno de estos procedimientos puede relacionarse directamente con el comportamiento en servicio dado que no miden propiedades ingenieriles fundamentales de las mezclas. Se utiliza el criterio de análisis volumétrico en base al Marshall con 50 golpes por cara, pero el mismo no es adecuado y se requieren ajustes en obra. El diseño

volumétrico SuperpaveTM es más racional y se lo utiliza para mezclas convencionales, no debe utilizarse para estas mezclas hasta tanto no se realicen las adaptaciones necesarias.

### **VARIETADES DE MEZCLAS EN CALIENTE DE BAJO ESPESOR CON GRANULOMETRÍA DISCONTINUA**

Existen diversas alternativas para la utilización de mezclas asfálticas en caliente de bajo espesor con granulometría discontinua. El tipo de mezcla se diferencia por el ligante utilizado, el contenido de filler, el método de diseño empleado, el espesor final y la forma de aplicación. Seguidamente se mencionan algunas de las mezclas que han sido desarrolladas en diversos países y han mostrado un comportamiento satisfactorio.

#### **STONE-MASTIC ASPHALT (Alemania)**

Para mejorar las características de resistencia a las deformaciones permanentes los alemanes desarrollaron un tipo de mezcla muy durable y estable denominada "Splitmastixasphalt". La misma ha sido utilizada sobre todo tipo de camino y en diversos espesores desde 1968 y ha sido empleada en otros países europeos. En EE. UU. fue introducida en 1990 con el nombre de "Stone Matrix Asphalt" (SMA) para caminos con una importante variedad de climas y tránsito.

Estas mezclas tienen alta estabilidad mayor que las mezclas densas convencionales lograda a través de la incorporación de agregados durables graduados con discontinuidad, mezclados con un mastic rico en ligante modificado y a veces con la incorporación de fibras de celulosa pelletizadas o sueltas. La granulometría discontinua se logra incrementando el contenido de gruesos y de las fracciones más finas, reduciendo las intermedias. Esto crea un esqueleto granular donde las partículas más grandes entran en contacto. Un alto contenido de filler junto con un ligante asfáltico y un agente estabilizador completan la mezcla. Puede emplearse tanto en bajos como altos espesores.

La resistencia al *rutting* viene dada principalmente por el *interlocking* del esqueleto mineral grueso que provee de suficiente confinamiento lateral para soportar las cargas. También proveen de resistencia al fisuramiento a través del alto contenido de ligante que admiten y del agente estabilizador (fibras, polímeros, etc.), al mismo tiempo proveen de alta durabilidad.

La composición típica está constituida por un 70-75% de agregados gruesos, un 25 a 30% de agregados finos, un 0,3% de fibras, entre el 8 y el 10% de filler, y aproximadamente un 6,5% de betún asfáltico modificado. Empleando el método Marshall de 50 golpes por cara se busca obtener un 3-4% de vacíos en la mezcla compactada, para un 30-35% de VAM. Adicionalmente al ensayo Marshall se realiza el drenaje de asfalto denominado Drain-down Test. Se prepara una cantidad de material suelto y se deja drenar a alta temperatura permitiéndose un máximo de 0,3% a la hora.



Se pueden utilizar plantas asfálticas por pastones o continuas con tambor secador-mezclador. La temperatura de mezclado es más elevada que en las mezclas convencionales dadas las características de la mezcla (agregados triturados, granulometrías gruesas discontinuas, adiciones, asfaltos modificados).

El costo de las SMA en los EE. UU. se estima entre 20 y 40% mayor que las mezclas convencionales. En Suecia esta diferencia es menor, entre 10 y 12%. Es difícil aproximar el costo en forma generalizada ya que depende del tamaño del proyecto, costo y disponibilidad de los materiales, espesores, ubicación, etc.

La vida de servicio esperada en una SMA en Europa ha sido del 50 al 100 % mayor que la de cualquier otra mezcla. Esta mezcla se ha extendido con gran éxito en todo el mundo, particularmente en Asia (China, Hong Kong, Taiwan, etc.), Australia, Nueva Zelanda, en Europa, en EE.

#### **UL-M (Francia)**

Pertenece al tipo de mezclas asfálticas en caliente denominadas como delgadas ("Thin Surfacing"), desarrollada en Francia y es utilizada como tratamiento de mantenimiento y en construcciones nuevas. La mezcla tiene un tamaño máximo nominal de 10 mm, granulometría discontinua y un ligante modificado. Es elaborada en plantas convencionales y extendida con equipos convencionales. Se aplica un riego de liga de 0,7 a 1,75 l/m.

El ligante es un asfalto 70 - 100 modificado con EVA (ethylene vinyl acetate). El contenido de ligante varía de 4,5 a 7,0 %, se extiende en espesores de 20 mm y dotaciones de 50 kg/m<sup>2</sup>.

Entre sus características finales se tiene mayor durabilidad, superficie rugosa, buen drenaje superficial, bajo nivel de ruido y economía.

#### **NOVACHIP (Francia)**

Desarrollada en Francia y de buena aceptación en los EE. UU. se aplica en espesores entre 10 y 20 mm dependiendo del tamaño de los agregados. Es una mezcla asfáltica en caliente con una granulometría abierta y TM de 9,5 mm. Contiene entre 5,1 y 5,5 % de asfalto común. Se utilizan plantas convencionales para su fabricación y la temperatura de mezclado está entre 160 y 165 °C.

La capa de Novachip se aplica sobre un riego de liga con emulsión modificada de rotura rápida a razón de 0,7 a 1 l/m<sup>2</sup>. La extensión de Novachip se realiza con un equipo especial que tiene una barra regadora para la emulsión a 25 cm de la plancha extendidora; de esta forma no se pisa el riego durante la extensión de la mezcla. Tiene un tanque de 8000 litros de capacidad para el almacenamiento de la

emulsión. La mezcla se compacta inmediatamente detras de la terminadora con dos rodillos lisos de 9 tn cada uno y un total de cuatro pasadas.

La mezcla colocada y compactada presenta un aspecto rugoso, rica en ligante, textura abierta, las juntas longitudinales son apenas visibles.

Se aplico este año en la Av. Revolución en el tramo de Benjamín Franklin a Viaducto.

#### **MEZCLA DRENANTE FIBRO-ASFÁLTICA (USA)**

Es una mezcla que se aplica en espesores entre 20 y 40 mm en EE. UU. Proviene de una combinación de la experiencia europea y la adaptación americana a su original "Open Graded Friction Course". Consta de una granulometría abierta con escaso contenido de finos, asfalto polímero, fibras de celulosa o mineral y filler calcáreo. Esta mezcla se dosifica con el criterio del ensayo Cántabro, limitando el escurrimiento de ligante, y preparando probetas Marshall con 50 golpes por cara. El tamaño máximo nominal está entre 10 y 16 mm. Recientemente han desarrollado un ensayo de envejecimiento que consiste en colocar las probetas en estufa a 60 °C durante 168 horas (7 días) y luego ensayarlas con Cántabro a 25 °C.

#### **SAFEPAVE (Inglaterra)**

Es básicamente una mezcla Novachip sólo que en Inglaterra está siendo introducida con el nombre de Safepave. El tamaño máximo nominal de los agregados es 10 mm, el TM es de 14 mm. Se aplica entre 10-20 mm y es considerada como mezcla ultra fina. Las especificaciones fijan un contenido de betún asfáltico 70-100 en  $4,9 \pm 0,3$  y de filler entre 5 y 8 %. Se aplica un riego de emulsión modificada (70% de RA) en un 1 l/m<sup>2</sup>. Se aplica con equipos especiales, 25-35 kg/m<sup>2</sup>

Entre los beneficios que se mencionan están: alta resistencia al deslizamiento, reducción del nivel de ruido hasta del 40% comparado con un tratamiento superficial, profundidad de textura mayor de 1,5 mm, proceso de una sola pasada, fácil de aplicar, no pierde partículas, hasta 20000 metros cuadrados por día de producción, ideal sobre asfalto y hormigón, y desde el punto de vista del medio ambiente más aceptable que las mezclas convencionales.

#### **Micro-Aglomerados en caliente (España)**

Se trata de una micro-mezcla en caliente de granulometría discontinua 0/10 mm, asfalto modificado aplicado en capas de bajo espesor entre 20 y 30 mm con dotaciones de 50-60 kg/m<sup>2</sup>. Se utiliza un ligante modificado para el riego de adherencia. La discontinuidad en general se produce en la fracción 2/6 mm, el contenido de mortero fino 0/2 mm es de aproximadamente 30-35%, la fracción 5/10

mm participa en un 65 a 70% y el contenido de filler oscila entre el 8 y 12%. La discontinuidad granulométrica ayuda en la formación de una adecuada profundidad de textura, mientras que el mortero rico en asfalto modificado brinda impermeabilidad y durabilidad.

Los agregados utilizados son de alta calidad, 100% triturados. La adición de fibras naturales o artificiales se realizan para hacer posible el uso de una película de asfalto más gruesa y otorgar mayor flexibilidad a la mezcla. Recientemente se han implementado las mezclas Rugopave con betunes modificados con caucho proveniente de la cubierta usada de vehículos.

## CAPITULO V

### SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

El principal objetivo del Sistema de administración de pavimentos (SAP), es el de garantizar una mejor aplicación de los recursos disponibles en los ayuntamientos, destinados a obras de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos, así como en el mantenimiento del señalamiento vial, los semáforos y el alumbrado público.

Es conveniente poner énfasis en que en el SAP, se le ha dado una acepción muy amplia al término "Mantenimiento vial", para que incluya todas las actividades relacionadas con la construcción de pavimentos nuevos, así como el mantenimiento rutinario, la rehabilitación y la reconstrucción de los pavimentos existentes, asimismo, se han considerado elementos complementarios de la infraestructura vial, tales como las banquetas, las guarniciones, el drenaje pluvial, los señalamientos horizontal y vertical, los semáforos y el alumbrado público.

#### CONCEPTOS GENERALES DE UN SAP

En una red vial dada, un SAP tiene como objetivo principal la coordinación eficiente de todas las actividades relacionadas con la planeación, el proyecto, la construcción, el mantenimiento, la rehabilitación, la reconstrucción, la evaluación y la investigación de pavimentos.

La implantación de un SAP permite optimizar los recursos disponibles en los organismos municipales a cargo del manejo de los pavimentos de una red vial. Desde el punto de vista del usuario, un SAP tiene como fin primordial garantizar la circulación de los vehículos en forma segura, económica y cómoda.

En el ámbito internacional, los sistemas de administración de pavimentos son considerados como la herramienta más eficiente para la administración y la programación del mantenimiento vial. Estos sistemas son utilizados por las dependencias a cargo de la construcción, de la operación y del mantenimiento de redes de carreteras o de vialidad urbana. No es de extrañarse que los países que cuentan con los mejores sistemas viales urbanos y carreteros cuentan con un "SAP".

## PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL SAP

Como parte central de este sistema, se crea un banco de datos para la red vial de cada ciudad y se utiliza un programa de cómputo desarrollado específicamente para el manejo de esta información y para la realización de los diversos análisis requeridos.

El SAP normalmente se complementa con una serie de medidas de fortalecimiento institucional, las cuales son identificadas como resultado de la evaluación integral del esquema de mantenimiento vial utilizado por los ayuntamientos. De esta manera, el SAP SEDESOL no es la única medida propuesta para mejorar las operaciones de mantenimiento vial a cargo de los ayuntamientos ni funcionaría adecuadamente sin la aplicación de otras acciones complementarias.

EL SAP es básicamente un conjunto de procedimientos de que disponen las autoridades municipales para planear y organizar todas las actividades de mantenimiento vial como punto de partida para la implantación inicial del SAP.

Para la realización de cualquier tipo de análisis es necesario crear previamente un banco de datos con la información básica estipulada para el SAP. Los datos sobre los principales elementos de la infraestructura vial son recopilados directamente por el consumidor, a cargo de la implantación inicial de este sistema en una parte de la red vial de la Ciudad. Una vez concluido el estudio respectivo, las autoridades municipales continúan recopilando información del resto de la red vial y se hacen cargo de la operación permanente del SAP.

Los grupos de actividades más importantes de que consta la implantación inicial del SAP, por orden cronológico, son los siguientes:

1. Recopilación de la información existente sobre mantenimiento vial en diversas dependencias municipales.
2. Inventario de las principales características de la infraestructura vial. Como parte de los trabajos de campo, se obtiene información sobre la geometría y otros aspectos de los tramos viales, entre la que se encuentra la siguiente: longitud, anchura de la sección transversal, número de carriles y tipo de pavimento.
3. Recopilación de datos básicos sobre el estado de la infraestructura vial. En el caso del SAP, la principal información recopilada, a nivel de red vial es la siguiente: Inspección visual o irregularidad superficial del pavimento; calificación del servicio actual o irregularidad superficial del pavimento; inspección visual de las banquetas; inspección visual de las

guarniciones; inspección visual del drenaje superficial; inspección visual del señalamiento vial; inspección visual de los semáforos; inspección visual del alumbrado público.

4. Aforos vehiculares en estaciones maestras. Con el fin de obtener información básica de volúmenes de tránsito a lo largo de la red vial evaluada en los estudios, se realizan recuentos vehiculares en estaciones maestras
5. Evaluación estructural destructiva del pavimento en tramos selectos. Se efectúan sondeos en sitios estratégicos de la red vial, para establecer la variación de la estructura del pavimento y las características de los materiales empleados.
6. Análisis diversos para la planeación, la programación y la distribución de recursos para el mantenimiento rutinario, la rehabilitación y la reconstrucción de los pavimentos existentes, así como para la construcción de pavimentos en nuevos enlaces de la red vial o en enlaces cuya sección transversal vaya a ser ampliada.
7. Implantación inicial del SAP. Con base en toda la información recopilada por el Consultor, se realiza la primera etapa de aplicación del SAP, la cual finaliza con la transferencia del mismo a los ayuntamientos.
8. Propuesta definitiva de medidas complementarias de fortalecimiento institucional. Para la implantación del SAP también se proponen este tipo de medidas, encaminadas a lograr una operación más eficiente de la dependencia municipal a cargo del mantenimiento vial.

#### ESTABLECIMIENTO DE LAS UNIDADES DE ANALISIS DEL SAP

En el SAP, a cada unidad básica le corresponde un número único, el cual es fijado por el programa de cómputo desarrollado para el Estudio, a partir de la información almacenada por el usuario; dicho número de identificación sirve de enlace entre los diferentes bancos de datos numéricos que son creados y el sistema de información geográfica.

El tramo-cuerpo es la unidad más pequeña desde el punto de vista de recolección de datos, análisis y representación gráfica del SAP. En esencia, un tramo-cuerpo es un tramo vial homogéneo.

El sistema de referencias de los tramos-cuerpo del SAP es bastante flexible y permite abarcar todos los casos que se presentan en una red vial urbana. En general y de acuerdo con las formas utilizadas para la recopilación de información de campo, los datos requeridos para establecer las referencias de un tramo-cuerpo son los siguientes:

"Calle avenida o boulevard". Este dato corresponde al nombre de la calle principal en que se encuentra alojado longitudinalmente el tramo-cuerpo.

"Tramo inicia en ". En este caso, se emplea el nombre de la calle perpendicular en donde inicia el tramo-cuerpo. El inicio es arbitrario, pero normalmente corresponde al sentido del recorrido de la inspección del pavimento.

"Tramo termina en". Este dato se refiere al nombre de la calle en donde termina el tramo-cuerpo, el cual debe aparecer en el catálogo de nomenclatura de calles.

"Cuerpo". En muchos casos existen dos o más tramos-cuerpo paralelos delimitados en sus extremos por las mismas calles perpendiculares.

Además de las referencias de cada tramo-cuerpo, la información mínima requerida para todos los tramos-cuerpo es la siguiente:

- \*Tipo de pavimento
- \*Longitud
- \*Anchura de la sección transversal
- \*Número de carriles

### **INSPECCION VISUAL DEL DETERIORO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS.**

Desde el punto de vista del SAP, esta inspección puede proporcionar datos muy importantes sobre el estado del pavimento. Una de las mayores ventajas de dicha actividad es que no se requiere de equipo especial para establecer el deterioro del pavimento, sino que la inspección se hace de acuerdo con un inventario de los defectos existentes en el pavimento, de su severidad y del área afectada. Posteriormente, los datos del inventario se convierten a un índice, mediante el cual se expresa de manera general el estado del pavimento..

Para la constitución de los SAP, es común utilizar la metodología básica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. (US Army Corps of Engineers) Este enfoque es relativamente nuevo y ha sido utilizado exitosamente en sistemas de administración de pavimentos actualmente en operación en los E.U.A y en otros países entre ellos México.

En general, el grado de deterioro de un pavimento es función del tipo de defecto observado, de su severidad y de su densidad ( o área afectada de pavimento). Con el fin de obtener información confiable, objetiva y reproducible sobre el deterioro superficial de los pavimentos se desarrolla para cada SAP, el concepto del índice de la condición del pavimento, o ICP (pavement condition index, o PCI por sus siglas en ingles) EL ICP es un índice numérico que varía de 0, para un "pavimento" completamente

destruido, hasta 100, para un pavimento en estado perfecto; este índice corresponde a la calificación de la condición del pavimento, desde el punto de vista de los defectos superficiales observados.

EL ICP puede ser aplicado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico. Una importante ventaja de la utilización del ICP sobre otras formas de presentación de resúmenes del deterioro superficial radica en la fácil interpretación de los resultados en forma gráfica; esto no se puede lograr con la mayoría de los métodos disponibles, puesto que no emplean índices.

En general los defectos que se consideran en la inspección visual del deterioro superficial de los pavimentos son los mismos que en el procedimiento PAVER del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. Sin embargo se eliminaron ciertos defectos que no se consideraron aplicables a las condiciones específicas de las redes urbanas viales de la República Mexicana.

### PAVIMENTOS ASFALTICOS

Por medio de claves se identifican los posibles defectos considerados para los pavimentos asfálticos, los cuales son los siguientes:

1. Agrietamiento de la piel de cocodrilo.
2. Exudación de asfalto.
3. Agrietamiento con patrón de mapa.
4. Bordo o depresión localizados.
5. Ondulaciones transversales.
6. Depresión por asentamiento.
7. Agrietamiento en la orilla.
8. Grietas de reflexión.
9. Acotamiento en desnivel.
10. Grietas longitudinales y transversales.
11. Baches o cortes reparados en el pavimento.
12. Textura lisa.
13. Baches abiertos.
14. Roderas.
15. Corrimientos en la carpeta.
16. Agrietamiento por deslizamiento.
17. Levantamiento por expansión.
18. Desgaste o erosión.



Una vez almacenados los datos del deterioro del pavimento de un tramo-cuerpo, el programa de cómputo para análisis del SAP calcula el valor del ICP correspondiente. Este valor queda registrado en el banco de datos, para cualquier consulta o análisis posterior. De esta manera, el usuario es liberado de todos los cálculos tediosos que se requieren para determinar manualmente el ICP.

#### **CALIFICACIÓN DE SERVICIO DE LOS PAVIMENTOS.**

En el SAP, uno de los principales datos requeridos para la evaluación económica de las acciones de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción es la irregularidad superficial de los pavimentos. En este sentido, se procede a determinar dicho parámetro a partir de datos de la calificación de servicio actual, la cual puede ser obtenida de manera sencilla y sin equipo especial.

El nombre correcto y completo del parámetro utilizado en los SAP para evaluar la "calidad" de manejo que proporcionan los pavimentos al tránsito de vehículos es el de "calificación de servicio actual" ("present serviceability rating") El término "actual" se emplea para poner énfasis en el hecho de que la calificación obtenida es válida estrictamente sólo para el momento mismo de la evaluación. En algunos métodos de proyecto de pavimentos, como el de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), se predice el comportamiento de los pavimentos con base en la variación de un índice de servicio, el cual presenta a la calificación de servicio.

Para la determinación de la calificación actual de servicio, en el SAP se requiere que dos o más evaluadores califiquen el pavimento de cada tramo-cuerpo. Al respecto, la calificación de cada evaluador se denomina "Calificación individual de servicio actual del pavimento", tal como se estableció originalmente en el Camino de Prueba AASHTO.

Por definición la calificación de servicio actual de un tramo-cuerpo de pavimento es igual a la media aritmética de las calificaciones individuales de los evaluadores. Esta operación la realiza automáticamente el programa de cómputo para análisis del SAP, una vez que se han almacenado los datos correspondientes.

#### **DATOS DE INGENIERIA DE TRANSITO.**

En los análisis del SAP, es importante disponer de datos básicos de ingeniería de tránsito de cada uno de los tramos-cuerpo para poder evaluar las posibles estrategias que se propongan de mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP son necesarios los datos siguientes de ingeniería de tránsito:

- Clasificación funcional del tramo: Es decir, si el tramo-cuerpo es parte de la vialidad primaria, secundaria o local.
- Sentido de circulación.
- Fecha del aforo vehicular.
- Volumen de tránsito total diario.
- Composición del tránsito por tipo de vehículo. Este parámetro se refiere a la distribución del tránsito en hasta seis tipos de vehículo: (A) automóvil; (M) minibús; (B) autobús; (C- 2) camión de dos ejes; (C -3 ) camión de tres ejes; (C -4) camión de cuatro o más ejes.

#### INSPECCION VISUAL DE LOS SEMAFOROS.

Cada grupo de semáforos pertenecientes a una intersección dada debe ser asignado a un tramo-cuerpo que haya sido dado de alta previamente. La información requerida corresponde básicamente a los postes, las caras de semáforos y a las luces de las indicaciones; asimismo, se incluye la ubicación aproximada del controlador.

Como primer paso se debe proponer el tramo-cuerpo al que quedarán asociados los datos de los semáforos. En seguida se deberán identificar los accesos que confluyen a la intersección, ya que otros datos están referidos a los mismos. El resto de la información quedará ligada a los diferentes postes existentes en la intersección en los que se encuentren aislados componentes de los semáforos (caras de semáforos y controlador)

Para una cara de semáforo dada, se deberán registrar los datos más importantes de sus lentes o indicaciones. Los lentes se clasifican por el color de su luz, las maniobras indicadas o permitidas y su condición.

#### DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA.

Esta información incluye datos diversos de las banquetas, las guarniciones y los acotamientos, así como de la estructura del pavimento correspondiente a su construcción original, rehabilitación o reconstrucción. La información sobre la estructura del pavimento puede ser de carácter histórico o bien puede ser almacenada en el banco de datos del SAP a medida que se aplica en un tramo-cuerpo dado cualquiera de las tres medidas citadas.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP se recomienda obtener la información siguiente:

- Datos de las banquetas.
- Datos de las guarniciones.
- Datos de los acotamientos.

#### DATOS DE LOS SONDEOS Y PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y EN EL LUGAR.

Los sondeos en el pavimento forman parte de las actividades conocidas como "evaluación estructural destructiva de los pavimentos". Normalmente los sondeos se utilizan en el nivel de tramo vial de un SAP, en el cual son necesarios para el proyecto definitivo de las medidas propuestas (construcción, rehabilitación y reconstrucción, principalmente). Sin embargo, a pesar de que la implantación inicial del SAP corresponde básicamente al nivel de red vial, normalmente se efectúan una serie de sondeos a lo largo de la red vial de las ciudades en que se aplica este sistema.

Los sondeos normalmente tienen una profundidad máxima de un metro y de ellos se extraen muestras de un número máximo de cuatro capas granulares, incluyendo el terreno natural. Para cada una de las capas inferiores del pavimento se efectúan los ensayos siguientes:

- 1.- Granulometría.
- 2.- Contenido de agua.
- 3.- Límites de Atterberg y contracción lineal.
- 4.- Valor relativo de soporte estándar (VRS)

Mediante ensayos en el lugar se determinan los parámetros siguientes:

- 1.- Valor relativo de soporte (solamente en el terreno natural)
- 2.- Peso volumétrico seco máximo.
- 3.- Grado de compactación.

Los sondeos que son necesarios en el SAP son esencialmente los siguientes:

- ⇒ Datos de identificación del sondeo.
- ⇒ Datos de identificación de la capa.
- ⇒ Datos de las muestras.

## EVALUACION ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA (EEND) DE PAVIMENTOS EN SERVICIO.

En función de su costo, la viga Benkelman es un equipo muy práctico y económico, sin embargo se están usando diversos equipos de evaluación tales como el Dynaflec, Kuab, Dynatest, etc.

Es necesario que se verifique que el tramo-cuerpo en que se efectúen las mediciones de EEND haya sido dado de alta previamente en el banco de datos del SAP, antes de proceder a almacenar la información recopilada. Los datos requeridos para la EEND son básicamente los siguientes:

Datos de identificación de las mediciones. Éstos corresponden a los aspectos indicados a continuación:

- Tipo de pavimento.
- Sentido del recorrido.
- Distancia a partir del inicio del tramo.
- Carril.
- Rodada.
- Ubicación de la carga.

Desplazamientos en los sensores de medición vertical máximo, medido bajo la aplicación de la carga especificada.

Temperatura del pavimento.

Hora de la medición.

## ANÁLISIS DE PLANEACIÓN A NIVEL DE RED VIAL DEL SAP

En esencia, los análisis de planeación a nivel red vial del SAP pueden ser clasificados en los grupos siguientes:

Lineamientos para seleccionar las medidas de MRR que pueden ser aplicadas para el pavimento de un tramo-cuerpo dado, con base en la información recopilada en campo del deterioro superficial, de la calificación de servicio y, en algunos casos, de la evaluación estructural no destructiva.

Evaluación económica de las acciones propuestas, la cual incluye el cálculo de la inversión requerida, del costo del usuario y de los beneficios generados.

Asignación de prioridades entre los tramos-cuerpo seleccionados como candidatos para la aplicación de una acción dada, en función de los resultados de la evaluación económica y de su importancia.

Selección de acciones para los programas anuales y multianuales, en función de diferentes niveles del presupuesto disponible.

La evaluación económica de las estrategias de MRR incluye principalmente el cálculo de los beneficios y de los costos de los usuarios de la red vial y tiene diversas aplicaciones en la planeación del transporte y en los sistemas de administración de pavimentos. En el desarrollo de un programa racional de trabajo anual y en la determinación del presupuesto correspondiente para el mantenimiento correctivo, la rehabilitación y la reconstrucción de pavimentos, se requiere el análisis del ciclo de vida de todos los costos que intervienen en el proceso. Éstos incluyen la inversión por parte de la dependencia a cargo de las actividades citadas y los costos del usuario, los cuales normalmente corresponden a los costos de operación vehicular. A su vez, ambos costos son función del estado del pavimento a lo largo del período de análisis. Por ejemplo, en el caso de una red vial típica de una ciudad media del país, se requerirá de una inversión importante para restablecer el estado de la superficie de rodamiento de un gran número de tramos-cuerpo, pero esta medida se traducirá en un menor costo de operación de los vehículos que circulan por los mismos, a mediano y largo plazos, principalmente; esta estrategia también permitirá reducir la depreciación de la infraestructura vial, lo cual redundará en un ahorro significativo en el presupuesto futuro de los municipios destinado a la rehabilitación o la reconstrucción de los pavimentos, medidas que se requieren cuando no se adopta un sistema eficiente de administración de pavimentos. Por lo tanto, la intervención oportuna para realizar las acciones requeridas de MRR permite preservar por un período mayor la infraestructura vial disponible y puede representar ahorros considerables en el presupuesto de los municipios, además de que se logran reducciones notables en los costos de operación vehicular.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CAPITULO VI

### EJEMPLO DE APLICACIÓN

#### SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE LA RED VIAL PRIMARIA DE LA CIUDAD DE MEXICO

El Sistema de control y evaluación de pavimentos (SCEP) es básicamente un conjunto de procedimientos de que dispone la Dirección General de Obras Públicas (DGOP) para planear y organizar todas las actividades relacionadas con la administración de los pavimentos de la red vial primaria del Distrito Federal.

Con el fin de que se puedan tomar decisiones eficaces para la distribución del presupuesto asignado a lo largo de un período dado, es necesario considerar todos los tramos viales que constituyen la red vial y la restricción del presupuesto máximo disponible. En este proceso, se consideran aquellos tramos viales que deberán ser construidos e incorporados a la red vial existente.

Los principales datos utilizados para establecer la condición actual de los pavimentos se obtienen de evaluaciones de diversos tipos; en el caso del SCEP, para los niveles de red y tramo vial se utilizan las evaluaciones siguientes:

1. Irregularidad superficial del pavimento.
2. Inspección visual del deterioro superficial del pavimento.

En general, estos dos tipos de evaluación son los más empleados a nivel red vial. Sin embargo, a medida de que se aplican más acciones en tramos viales, normalmente se genera información sobre la evaluación estructural del pavimento para almacenarla en el banco de datos del SCEP. De esta manera, se dispone gradualmente de más elementos para hacer más eficiente el proceso de selección de tramos viales.

Los costos considerados en la evaluación económica son comúnmente de dos tipos: de la dependencia a cargo de los pavimentos y del usuario. Los resultados obtenidos de la evaluación económica a menudo son utilizados en el establecimiento de prioridades, ordenando los tramos viales de acuerdo con los beneficios esperados o los parámetros económicos del análisis del ciclo de vida del pavimento. En el ordenamiento también se toman en cuenta factores externos, tales como las decisiones políticas.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### CRITERIOS UTILIZADOS PARA DIVIDIR LA RED VIAL EN TRAMOS-CUERPO

En esencia, un tramo-cuerpo es un tramo vial homogéneo, de acuerdo con los siguientes criterios se hace su selección:

- Por intersección de dos o más tramos viales.
- Clasificación funcional del tramo. Por ejemplo, primario, secundario y local. Esta clasificación es importante desde el punto de vista de los volúmenes de tránsito que se presentarán en el tramo-cuerpo, los cuales son un dato básico para la evaluación económica del SCEP.
- Tipo de pavimento.
- Anchura de la sección transversal.
- Separación longitudinal. En aquellos casos en que en un tramo vial exista una franja separadora central o una clara división de los carriles de circulación. Esta separación también se requiere en el caso de los carriles exclusivos de autobuses.
- Longitud, longitudes máxima y mínima de los tramos-cuerpo 500 y 50 m.
- Irregularidad superficial del pavimento.
- Deterioro superficial del pavimento.
- Estructura del pavimento.
- Altura libre de guarnición.

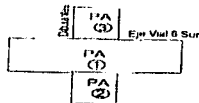
### REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS TRAMOS-CUERPO

Se pueden obtener diversas representaciones gráficas de datos almacenados y de resultados. Al respecto, los tramos-cuerpo son identificados, en general, de manera tal como se muestra a continuación:

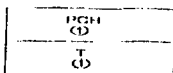
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



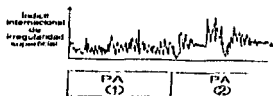
a. División por diferencia en el tipo de pavimento y por separación longitudinal (carretilón)



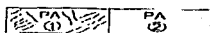
b. División por intersección de tramos viarios.



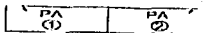
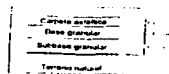
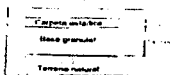
c. División por diferencia en el tipo de pavimento.



d. División por variación en la irregularidad superficial.



e. División por variación en el delgado superficial del pavimento

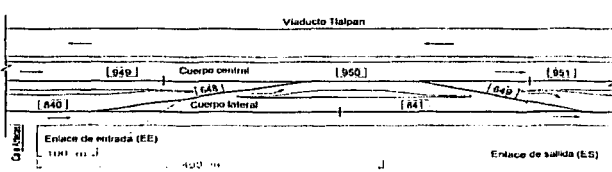


f. División por diferencia en la estructura del pavimento.

- Simbología -			
(2)	Número de tramo cuerpo	PA	Pavimento asfáltico
PCH	Pavimento de concreto hidráulico	T	Terracería

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

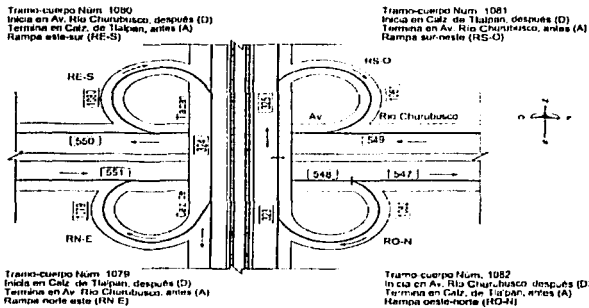




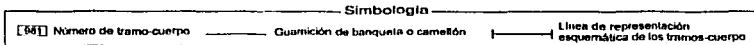
Tramo-cuerpo Núm. 648  
Inicia en Azulejos D+100, después (D)  
Enlace de entrada (EE)

Tramo-cuerpo Núm. 649  
Inicia en Azulejos D+400, después (D)  
Enlace de salida (ES)

g. Referencias en enlaces de entrada y salida de los cuerpos centrales de las vías rápidas.



h. Referencias en rampas de entronques.



### FORMA PARA EL REGISTRO DE LOS DATOS BÁSICOS DE LOS TRAMOS-CUERPO

Para anotar este tipo de información se utiliza la forma F-1 del SCEP que se muestra a continuación, la que se denominó "forma para el registro de los datos básicos de los tramos-cuerpo"

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



## IRREGULARIDAD SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS

En el SCEP, uno de los principales datos requeridos para la evaluación económica de las acciones de conservación, rehabilitación y reconstrucción es la irregularidad superficial de los pavimentos. Para fines del SCEP, se puede medir dicho parámetro directamente con ciertos dispositivos de gran rendimiento, a base de rayos láser, así como de contacto o respuesta. En el caso de la medición de la irregularidad superficial con dispositivos mecánicos o electrónicos, el principal parámetro de interés es el índice internacional de irregularidad superficial "IRI".

Mediante el análisis de la variación de la IRI se facilita la división del pavimento en tramos-cuerpo, sobre todo si el equipo utilizado calcula este parámetro a intervalos de 20 ó 50 m.

En el SCEP, se han considerado específicamente los datos del perfilómetro láser y del *Mays Ride Meter*.

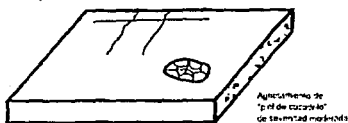
## METODOLOGÍA CONVENCIONAL PARA OBTENER EL ICP

El concepto del ICP surgió durante el desarrollo del Sistema de Administración del Mantenimiento de Pavimentos, conocido actualmente en la comunidad internacional como *PAVER*.

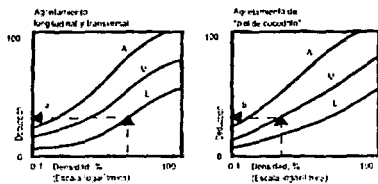
En el sistema *PAVER* se emplea el ICP como una indicación de la integridad estructural del pavimento y de sus condiciones de operación. Este índice se calcula a partir de los resultados de una inspección visual del deterioro superficial del pavimento. Asimismo, ha sido demostrado que, en el nivel de red vial de un SAP, la observación del deterioro existente del pavimento proporciona un índice útil sobre su condición actual y es una indicación de su comportamiento futuro bajo las condiciones existentes del tránsito. A continuación se muestra la determinación del ICP.

PASO 1. División del tramo de pavimento en unidades de muestreo.

PASO 2. Inspección visual de las unidades de muestreo.  
Determinación de los tipos de defecto y niveles de severidad, así como medición de la densidad de los defectos.  
Aplicación de la magnitud y la escala de severidad tipo A.

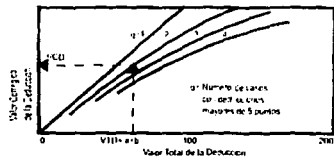


PASO 3. Determinación de las deducciones.



PASO 4. Cálculo del valor total de la deducción (VTD) de cada una.

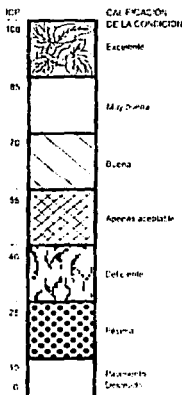
PASO 5. Ajuste del valor total de la deducción.



PASO 6. Cálculo del índice de la condición del pavimento (ICP) e IRCP (MCD) para cada unidad de muestreo respectivamente.

PASO 7. Cálculo del ICP de todo el tramo (promedio de los valores de ICP de todas las unidades de muestreo).

PASO 8. Determinación de la calificación de la condición del pavimento del tramo.



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**





## DATOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SCEP son necesarios los siguientes datos de ingeniería de tránsito:

- o Clasificación funcional del tramo.
- o Sentido de circulación.
- o Fecha del aforo vehicular
- o Volumen de tránsito total diario.
- o Composición del tránsito por tipo de vehículo. Este parámetro se refiere a la distribución del tránsito en hasta seis tipos de vehículo: (A) automóvil; (M) minibus; (B) autobús; (C-2) camión de dos ejes; (C-3) camión de tres ejes; (C-4) camión de cuatro o más ejes.

## DATOS DE LOS SONDEOS Y PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y EN EL LUGAR

Cuando se efectúan sondeos con extracción de muestras se genera información muy detallada de cada una de las capas del pavimento; la mayor parte de los datos se obtiene de ensayos de laboratorio, aunque cierta información se genera a partir de pruebas en el lugar.

Los datos de los sondeos que son obtenidos en el SCEP son esencialmente los siguientes:

- Datos de identificación del sondeo.
- Datos de identificación de la capa.
- Datos de las muestras. Para cada muestra se requieren los datos siguientes:
  - Número de muestra en el sondeo.
  - Peso volumétrico seco máximo.
  - Peso volumétrico en el lugar.
  - Grado de compactación.
  - Humedad óptima.
  - Humedad en el lugar.
  - Material que pasa las mallas de 11/2" y 3/8", así como las Núm. 4, 40 Y 200.
  - Límite líquido.
  - Límite plástico.
  - Índice plástico.
  - Contracción lineal.

## EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA (EEND) DE PAVIMENTOS EN SERVICIO.

En el SCEP se pueden utilizar en la EEND dos dispositivos diferentes: medidor de deformaciones por impacto (*heavy-weight deflectometer* o "HWD") y el "Dynaflect".

**EEND CON EL HWD**

El HWD puede simular las cargas vehiculares a las que es sometido un pavimento, mediante una carga por impacto, la cual es variada y aplicada a la superficie de rodamiento a través de una placa metálica de 30 cm de diámetro. Para carreteras y vías urbanas normalmente se utilizan cargas que varían de 3 a 10 t. Mediante siete sismómetros, o sensores, se registran los desplazamientos verticales del pavimento y su tiempo de ocurrencia, de acuerdo con la carga utilizada. De esta manera, se obtiene el perfil completo de deformaciones, el cual es indispensable para el cálculo de los módulos de elasticidad "in-situ" de las capas del pavimento. Esto tiene implicaciones prácticas muy importantes, ya que al disponer de los módulos de elasticidad y de datos complementarios de la estructura del pavimento, se pueden aplicar métodos racionales para el proyecto de medidas de rehabilitación y reconstrucción.

**EEND CON EL DYNAFLECT**

En función de su costo, el Dynaflect es un equipo más accesible que el HWD. En cuanto a la EEND, este dispositivo fue el primero de aplicación de cargas dinámicas disponible comercialmente en el medio internacional. En el año de 1997, la DGOP adquirió un Dynaflect para las actividades de EEND de los pavimentos de la red vial primaria del D.F. El Dynaflect puede ser utilizado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico, para espesores de losa normales.

**SISTEMA BÁSICO DE OPERACIÓN DEL MANTENIMIENTO DE LA RED VIAL DEL D.F.**

A continuación se resumen las cantidades totales de las obras de rehabilitación del pavimento, realizadas en años recientes y que se refieren principalmente al fresado de la superficie existente, acompañado por el tendido de sobrecarpetas en pavimentos asfálticos:

Año	Fresado y Colocación de una Sobrecarpeta de Concreto Asfáltico, m <sup>2</sup>
1995	1,041,893
1996	2,027,399
1997	1,842,277
1998	1,700,000
1999	3,296,414
2000	2,973,000
2001	1,150,000
2002	1,975,000



Cuando en la vialidad primaria es necesaria la reparación de "baches", o el "bacheo", esta actividad es efectuada por la Dirección General de Servicios Urbanos (la DGSU). Para tal efecto, la UDM establece la debida coordinación a través de la Dirección de Construcción y Mantenimiento de la DGSU.

Los diversos trabajos se realizan con base en un programa anual, de acuerdo con las necesidades identificadas, incluidos los casos de urgencia.

El mantenimiento correctivo, la rehabilitación y la reconstrucción de pavimentos son efectuados por empresas constructoras, contratadas mediante licitación bajo la modalidad de costo por unidad de obra terminada. Generalmente, las compañías constructoras garantizan la calidad de los trabajos con fianzas de vicios ocultos. El control de calidad se lleva al cabo con el auxilio de empresas de supervisión que cuentan con laboratorios especializados.

Antes de la ejecución de cualquier obra, se elaboran los proyectos definitivos correspondientes, en gran parte con base en la información obtenida por los supervisores, asentada en un formato especial, que incluye un informe fotográfico. En dicho formato se registran los datos de la vía, así como el tipo de pavimento, sus condiciones de servicio, el drenaje y los daños que muestra, principalmente las deformaciones, el agrietamiento y la existencia de "baches". El formato comprende también un diagnóstico y una propuesta preliminar de reparación.

Los informes de los supervisores sirven de base para elaborar el proyecto definitivo de mantenimiento del pavimento. Dicho proyecto puede ser de mantenimiento rutinario o de refuerzo del pavimento y su elaboración es factible con los recursos propios de la UDM. En ciertas ocasiones es necesario el auxilio de la Unidad Departamental de Laboratorios e Inspección de Materiales de la DGOP; incluso puede requerirse la intervención de una empresa especialista.

Cuando es necesario un proyecto geométrico por ampliación de la vía o por otras causas, se recurre a la Unidad Departamental de Proyectos de la Dirección de Apoyo Técnico de la DGOP.

La decisión de realizar un proyecto definitivo es responsabilidad del Jefe de la UDM, quien turna la propuesta al Subdirector de Pavimentos para su autorización o para continuar los trámites ante las autoridades superiores cuando el tipo de obra lo amerita.

Una vez autorizado el proyecto definitivo se procede a efectuar la licitación correspondiente para adjudicar el contrato de obra, en la modalidad de licitación por convocatoria pública o por invitación restringida.

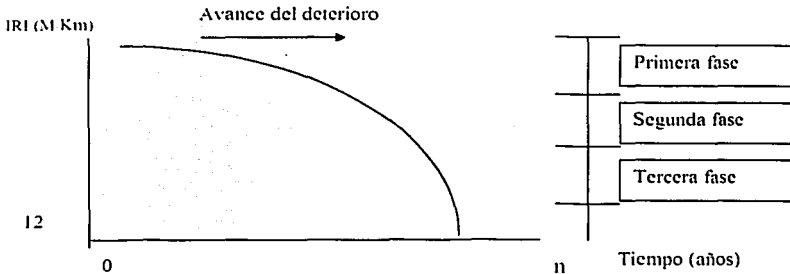
La supervisión y el control de calidad de los trabajos durante la construcción también se

contratan mediante licitación. Todas las actividades en cuestión son vigiladas por el personal técnico de la UDM.

**MÉTODOS MÁS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS CORRECTIVAS DE CONSERVACIÓN, REHABILITACIÓN Y CONSTRUCCIÓN (CRR).**

En general, los métodos más comunes para la selección de estrategias de CRR (conservación, rehabilitación o reconstrucción) en los sistemas de administración de pavimentos, son los siguientes:

- ✓ Con base en la experiencia del personal de los organismos estatales, federales o privados a cargo de las acciones correctivas de conservación (o mantenimiento), rehabilitación y reconstrucción de pavimentos.
- ✓ En función del tipo y de la severidad de las manifestaciones de deterioro, tal como en el procedimiento denominado "PAVER"
- ✓ A partir de índices que representan el estado del pavimento. Por ejemplo el ICP (índice de la condición del pavimento,) y el IRI (índice internacional de irregularidad superficial), el cual puede ser relacionado con la calificación de servicio actual (CSA), en caso de que se requiera.
- ✓ Diagramas de árbol, en los que se consideran diferentes tipos de deterioro superficial y otros atributos del pavimento.
- ✓ Análisis de costos del ciclo de vida con base en datos de irregularidad superficial y de deterioro superficial de los pavimentos, siguiendo el comportamiento mostrado en la grafica siguiente.



Cada uno de los métodos anteriores tiene sus ventajas y desventajas. La utilización de índices puede ser considerada como una simplificación excesiva, puesto que no se consideran los mecanismos que originaron los defectos observados; como consecuencia, este enfoque puede traducirse en una selección subjetiva de las acciones de CRA. En el sistema PAVER no se toma en cuenta la densidad de los diferentes tipos de deterioro registrados, con lo que se corre el riesgo de recomendar una serie de

tratamientos muy diferentes en un mismo tramo-cuerpo, lo cual representa una solución poco práctica. La utilización de diagramas de árbol es el enfoque más popular, pero puede resultar demasiado complejo, si además de los datos del deterioro superficial del pavimento se consideran otros atributos. Para el scep se decidió tomar como punto de partida un enfoque integral en el que se puede aprovechar al máximo la información almacenada en el banco de datos entre la información de los pavimentos susceptible a ser empleada en el scep se encuentra el IRI, el ICP y los datos completos del deterioro superficial, así como, los datos obtenidos de los sondeos.

### **METODOLOGÍA UTILIZADA EN EL SCEP**

Se considera básicamente la severidad y la densidad de los principales defectos observados. Dependiendo de su estado un pavimento puede requerir rehabilitación (por ejemplo: la construcción de una sobrecarpeta) y/o conservación correctiva menor (reparación de baches, relleno de grietas, etc.) o inclusive la reconstrucción. El programa de cómputo del SCEP permite manipular los valores de intervención para cada estrategia de acuerdo con las políticas de la DGOP y el estado del pavimento. En la metodología del SCEP se incorporan políticas de CRR a mediano y largo plazos así como los costos correspondientes a la conservación anual rutinaria

### **Catálogo de Estrategias de CRR**

En el caso de los pavimentos asfálticos, normalmente se consideran estrategias como sobrecarpetas o fresado combinado con reciclado. Para los pavimentos de concreto hidráulico, las principales estrategias comúnmente se refieren a la construcción de sobrecarpetas asfálticas o a la reconstrucción de losas.

Normalmente, se requieren datos detallados sobre cada una de las estrategias de CRR que se consideren, incluyendo su precio unitario, estado del pavimento inmediatamente después de la aplicación de las mismas y comportamiento esperado a largo plazo.

### **EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LAS ESTRATEGIAS DE CRR**

La evaluación económica incluye principalmente el cálculo de los beneficios y de los costos de los usuarios de la red carretera y tiene diversas aplicaciones en la planeación del transporte y en los sistemas de administración de pavimentos.

La aplicación de diferentes estrategias de CRR implica la utilización de periodos variables de vida útil.

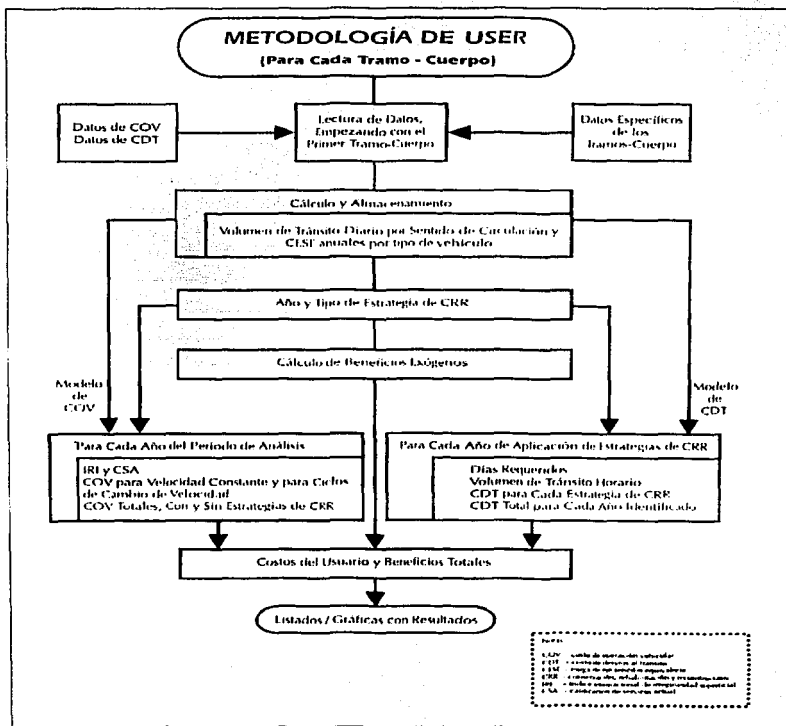
### **PASOS BÁSICOS DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Los tres pasos principales de la metodología de evaluación económica son los siguientes:

- Predicción del tránsito acumulado por tipo de vehículo a lo largo del período de análisis.

- Pronóstico del deterioro del pavimento a lo largo del período de análisis, para cada tipo de pavimento, con base en su condición actual. La acumulación de las cargas del tránsito vehicular se considera como el factor principal que ocasiona el deterioro del pavimento.
- Cálculo de los flujos del costo de operación vehicular para todos los años del período de análisis, en función de la condición del pavimento, del tipo de vehículo, de las características geométricas de los tramos-cuerpo y de los otros parámetros que intervienen en la determinación de los cavo

Los pasos anteriores también pueden ser observados en el diagrama de flujo de la lámina siguiente en el que se indican los datos y resultados de cada uno de los procesos realizados en la metodología de evaluación económica.



## PRINCIPALES DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS

En general, la información requerida puede ser clasificada en los cuatro grupos siguientes:

- Datos específicos de cada tramo-cuerpo. Entre esta información se incluye la siguiente: identificación del tramo-cuerpo; longitud y anchura del tramo-cuerpo; tipo de pavimento; pendiente longitudinal; grado de curvatura; fecha de construcción o de aplicación de la medida más reciente de rehabilitación o reconstrucción; volúmenes de tránsito y fecha de los aforos respectivos; factores de equivalencia de cargas; valor relativo de soporte del terreno natural; número estructural del pavimento; espaciamiento de juntas (solamente para los pavimentos de concreto hidráulico); datos selectos del ambiente; velocidad promedio de recorrido; IRI promedio (m/km); ICP e información sobre los principales defectos; precios unitarios de la aplicación de medidas de CRA.
- Criterios de decisión. Estos datos son los indicados en el catálogo de estrategias de CRR. La información requerida incluye básicamente lo siguiente: valores de los atributos del pavimento para los cuales se requiere la aplicación de alguna estrategia de CRR; valores de los atributos del pavimento después de la aplicación de las estrategias seleccionadas.
- Datos para el modelo de cavo. Entre éstos, se incluyen los siguientes: composición vehicular (distribución por tipo de vehículo); factor de equivalencia de carga de cada vehículo; precios unitarios del mantenimiento rutinario de los vehículos, del consumo de aceite y del consumo de combustible; costo de adquisición de un vehículo nuevo, para el cálculo de su depreciación.

## MODELOS DE COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO

El análisis del comportamiento futuro del pavimento se hace al pronosticar su condición de deterioro y/o de irregularidad superficial a lo largo del período considerado. En las ecuaciones de predicción normalmente se toman en cuenta aspectos como la estructura y la condición inicial del pavimento, así como el tránsito.

## CÁLCULO DEL COSTO DE OPERACIÓN VEHICULAR (COV)

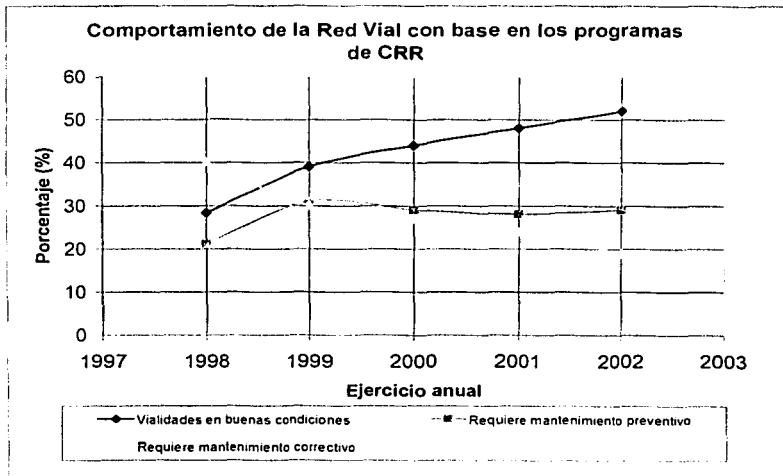
Los costos considerados se refieren principalmente al consumo de combustible y al desgaste de los neumáticos, así como a la reparación, al mantenimiento y a la depreciación de los vehículos. Los costos son función también de los siguientes factores: tipo de vehículo; estado del pavimento; velocidad de circulación; pendiente longitudinal y grado de curvatura del tramo-cuerpo; volumen de tránsito promedio diario por tipo de vehículo.

### COSTOS Y BENEFICIOS TOTALES DEL USUARIO

El costo total del usuario se obtiene con base en el valor de VOC. La metodología del SCEP también se pueden calcular los beneficios al usuario, los cuales se expresan en función de la reducción en el costo total del ciclo de vida; en este sentido, los beneficios se obtienen al comparar el costo del ciclo de vida de la opción de "no hacer nada" (no se efectúan mejoras al pavimento del tramo-cuerpo) con el costo del ciclo de vida.

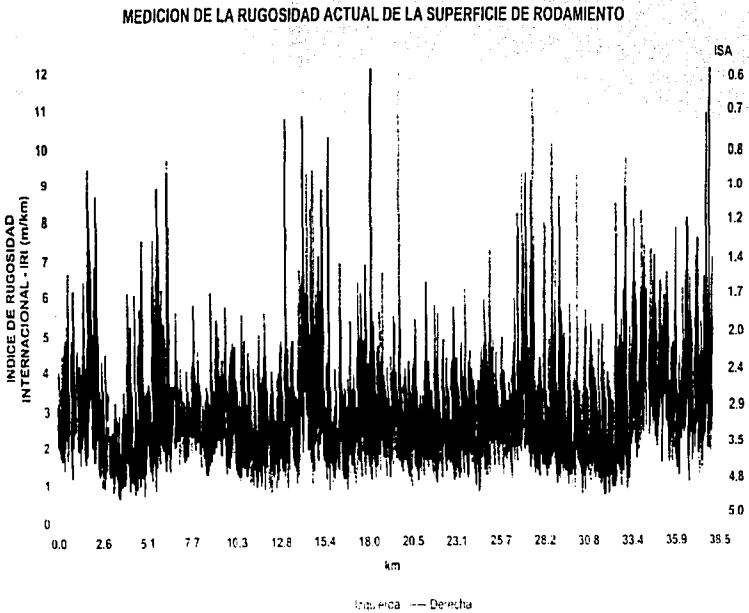
### RESULTADOS TRAS LA EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS DE LA RED VIAL PRIMARIA.

El derivado de los diagnósticos para programar lo referente a la red vial tomando en cuenta la disponibilidad presupuestal de determinaron tramos a ejecutar y el tipo de procedimiento a seguir, en forma grafica a continuación de presenta la evolución del estado funcional de I a red vial primaria del D.F. del año 1998 al 2002 y se muestra después los valores del diagnostico de algunas vialidades del DF



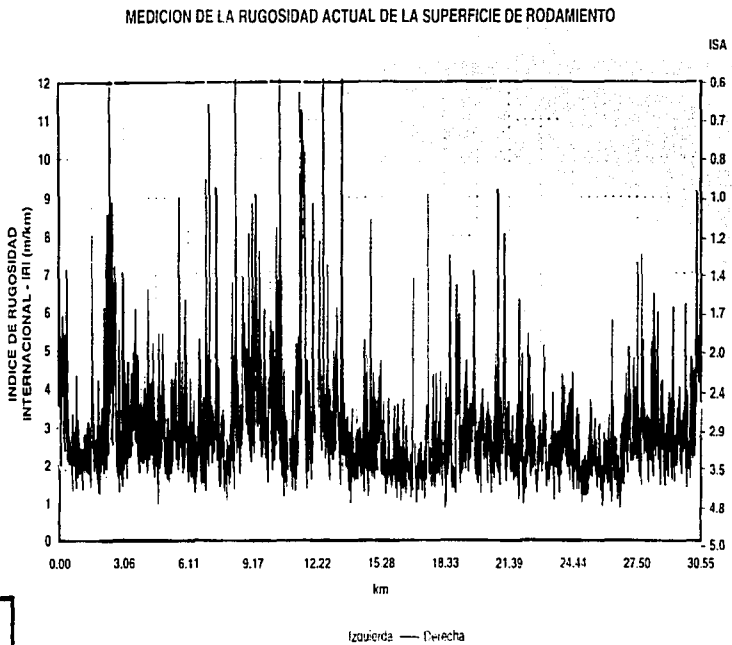
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Circuito Interior Arroyo Central Sentido Oriente puente



**TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN**

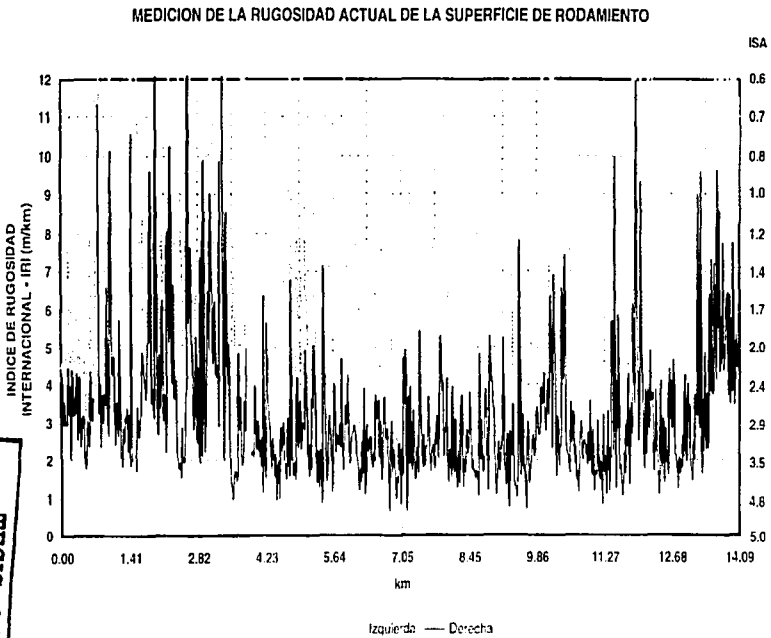
Av. Insurgentes Sentido Sur Norte Carril Central



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

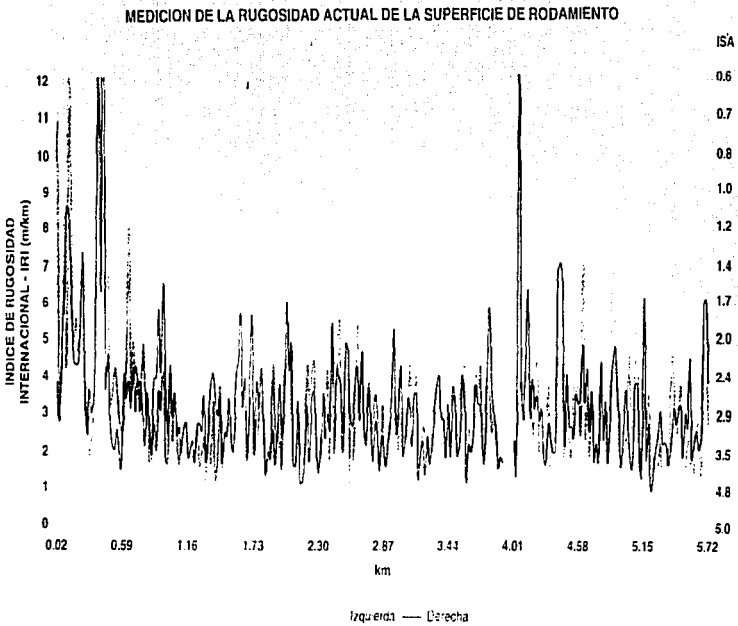


Calzada Ignacio Zaragoza sentido oriente puente arroyo lateral



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

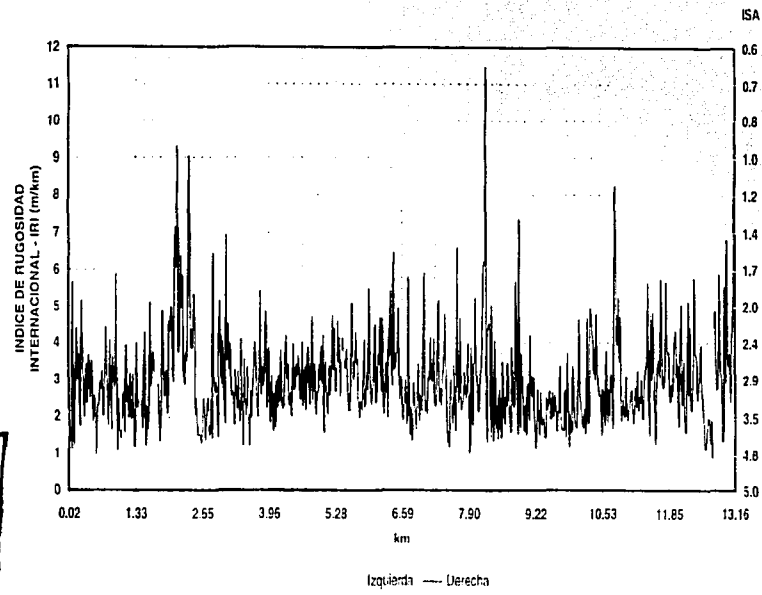
Eje Central Arroyo Único



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

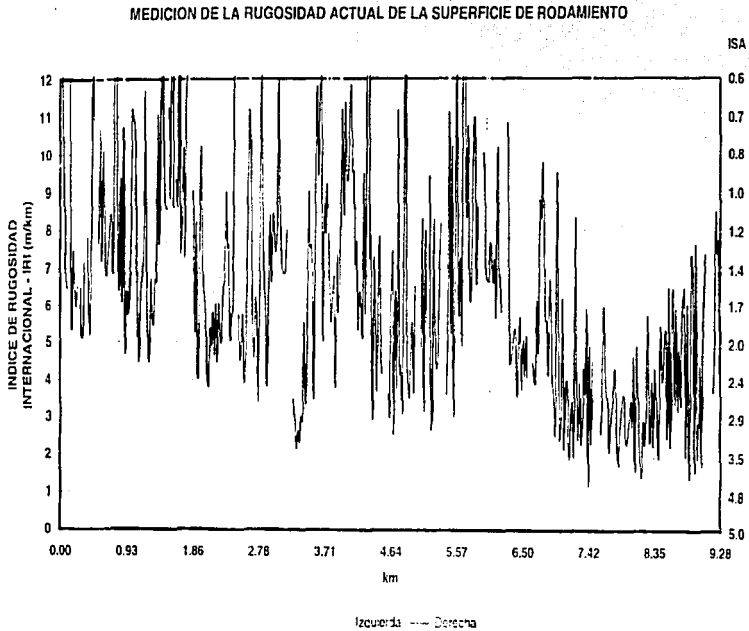
Viaducto sentido oriente poniente arroyo central

### MEDICION DE LA RUGOSIDAD ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO



TESIS CON FALTA DE ORIGEN

Viaducto sentido oriente puente arroyo lateral.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## CONCLUSIONES

### COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

Para cualquier ciudad de tamaño mediano o grande es indispensable conocer la situación que guardan sus vialidades para utilizar de forma eficiente y oportuna los recursos que se disponen atendiendo el aspecto técnico, sociales y satisfaciendo las conveniencias políticas.

El tener claro un plan de crecimiento a mediano y largo plazo es la base para tomar decisiones correctas y que propicien el bienestar social.

Es conveniente que los ingenieros encargados del mantenimiento de vialidades recopilen una base de datos que sea alimentada año con año y que se emplee de forma útil en la selección de las medidas de conservación, rehabilitación y mantenimiento de las vialidades aprovechando la experiencia adquirida con la aplicación de diversas técnicas de tratamiento.

Cuando se realiza el estudio para el diseño de carpetas nuevas y para la rehabilitación de las mismas no se debe actuar con procedimientos típicos o cotidianos que puedan resultar obsoletos, se debe procurar utilizar técnicas y procesos vigentes, analizando la situación particular de cada nuevo proyecto, como se aprecia en el capítulo II se han empleado diversos métodos de diseño con los que se obtenían diseños aplicables que a lo largo del tiempo las correcciones de los mismos partiendo del método de California y llegando al método del instituto de ingeniería se resumieron y utilizaron procesos para adecuarlo a las necesidades de México.

Debido a la falta de acciones oportunas que requiere el mantenimiento de las vialidades de una ciudad, ha ocurrido que los recursos se inviertan en el mantenimiento correctivo siendo mayor que el destinado al preventivo. Es importante establecer las medidas a fin de lograr mejorar los niveles de las vialidades en buenas condiciones arriba de un 50% y a la vez conseguir que el mantenimiento preventivo supere al mantenimiento correctivo mediante las técnicas adecuadas tanto técnica como económicamente procurando evitar que el daño en una red vial propicie una mayor inversión a un mantenimiento correctivo que en preventivo, lo cual significa un mayor gasto público para la sociedad.

La conservación y rehabilitación deben tomar en cuenta la aplicación de técnicas, materiales y procedimientos que proporcionen condiciones adecuadas de resistencia al derrapamiento, de reflexión de luz, de textura, de bajo nivel de ruido y que además proporcione una superficie durable manteniendo tales propiedades durante el mayor tiempo posible con una conservación mínima y finalmente,

compatible con el contexto urbano. En los pavimentos urbanos es muy importante la apariencia, factor que también debe tomarse en cuenta.

Cabe señalar que para determinar los tramos-cuerpos cuyo pavimento recibirá una acción correctiva de conservación, rehabilitación o reconstrucción se deberá realizar un análisis minucioso, en el cual el sistema de control y evaluación de pavimentos determinará la selección de la estrategia óptima para cada uno de los tramos-cuerpo, esto se realizará en función de una evaluación económica.

La evaluación económica debe incluir principalmente el cálculo de los beneficios y de los costos de los usuarios de la vialidad, ya que de antemano se debe saber que una vialidad no se recibe ningún tipo de rehabilitación, sin una evaluación del pavimento previa.

Cabe señalar que el proceso de deterioro de una vía está determinado por la acción de agentes tales como el tipo de carpeta y su edad, el tránsito de vehículos pesados, las condiciones ambientales, las acciones de conservación que se apliquen sobre dicha vía y por último, el presupuesto disponible que permite fijar las políticas de conservación que se aplicarán.

Para mantener por mas tiempo en buenas condiciones las vialidades es conveniente hacer conciencia a los organismos gubernamentales en que tomen medidas de regulación de los transportes pesados, coordinen de forma seriada los semáforos, se aumenten las vías de acceso controlada, se construyan libramientos de la ciudad para el desplazamiento de carga y personas, de entre otras muchas acciones que aceleran el deterioro, la contaminación y aumentar el gasto de horas hombre en las ciudades.

Finalmente el disponer de un SAP en cualquier ciudad puede resultar inadecuado si no se establecen mecanismos de continuidad en los organismos encargados par efectuar programas de largo plazo.

## BIBLIOGRAFÍA

- Catálogo de deterioros en los pavimentos de carreteras mexicanas.- Publicación Técnica No. 21, SCT. Instituto Mexicano del Transporte (1990).
- Índice Internacional de Regularidad Superficial.- SCT. Instituto Mexicano del Transporte
- Evaluación Estructural de Pavimentos.- SCT. Instituto Mexicano del Transporte
- Programa de Administración de Pavimentos de la Dirección general de Obras Públicas.- Raúl Vicente Orozco y Cía., S.A.
- Centro de Estudios de Carreteras (España).- Servicios en línea.
- Matriz de Causas de Fallas en Pavimentos.- Yáñez Santillán, Tercer Seminario Nacional del Asfalto, DF. 2001.
- Estructuración de Vías Terrestres.- Olivera Bustamante Fernando.- CECSA.
- Ingeniería de Carreteras.- Wright H. Paul.-LIMUSA
- Vías de Comunicación.- Villalaz Crespo Carlos.- LIMUSA
- Diagnostico y Mantenimiento de la red vial primaria del D.F.-Esteva Medina Jesús.- Primer Congreso Nacional de Asfaltos.- AMAC.