

## CONTENIDO

<b>4</b>	<b>SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.1</b>	<b>PROBLEMAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.2</b>	<b>MÉTODOS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>4-1</b>
<b>4.3</b>	<b>IMPORTANCIA DE LA INFORMACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO ....</b>	<b>4-2</b>
<b>4.4</b>	<b>MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO</b>	<b>4-5</b>
4.4.1	<i>Rugosidad .....</i>	<i>4-5</i>
4.4.2	<i>Índice Internacional de Rugosidad (IRI).....</i>	<i>4-7</i>
4.4.3	<i>Coeficiente de Fricción (CF) .....</i>	<i>4-10</i>
4.4.4	<i>Daños o deterioros del pavimento .....</i>	<i>4-15</i>
<b>4.5</b>	<b>MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO</b>	<b>4-19</b>
4.5.1	<i>Georadar .....</i>	<i>4-19</i>
4.5.2	<i>Viga Benkelman .....</i>	<i>4-20</i>
4.5.3	<i>Deflectómetro .....</i>	<i>4-21</i>
<b>4.6</b>	<b>SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS .....</b>	<b>4-25</b>
<b>4.7</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE</b>	
	<b>PAVIMENTOS .....</b>	<b>4-26</b>
<b>4.8</b>	<b>REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE</b>	
	<b>ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.....</b>	<b>4-28</b>
<b>4.9</b>	<b>OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.</b>	<b>4-29</b>
<b>4.10</b>	<b>ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.....</b>	<b>4-30</b>
<b>4.11</b>	<b>PROPUESTA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS MUNICIPIO DE</b>	
	<b>CHIHUAHUA .....</b>	<b>4-32</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Límites permisibles del IRI de diferentes países (m/km) .....	4-7
Tabla 4.2 Recomendaciones del TRB para la selección de valores máximos admisibles del IRI en función del TPDA .....	4-8
Tabla 4.3 Valor límite de IRI para pavimentos, según velocidad de proyecto .....	4-9
Tabla 4.4 Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento mojado .....	4-12
Tabla 4.5 Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento seco ..	4-12

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1 Sistema de posicionamiento global (GPS).....	4-3
Figura 4.2 Péndulo de fricción del TRRL.....	4-11
Figura 4.3 Vehículo SCRIM.....	4-14
Figura 4.4 Equipo de video digital en vehículo.....	4-18
Figura 4.5 Representación de un ensayo no destructivo, en donde se aprecia la distribución de las deformaciones en las diferentes capas de un pavimento.....	4-20
Figura 4.6 Equipo discontinuo para la determinación de deflexiones (Viga Benkelman) .....	4-21
Figura 4.7 Equipo FWD para determinación de deflexiones .....	4-22
Figura 4.8 Esquema de registro de mediciones para determinación de deflexiones HWD .....	4-22

## 4 SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

### 4.1 PROBLEMAS DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS

Un problema que enfrentan las autoridades gubernamentales encargadas de las autopistas, carreteras y vialidades, es que las partidas presupuestales que reciben son generalmente insuficientes para reparar y rehabilitar en forma adecuada los pavimentos que se deterioran. El problema se complica además por que, a pesar de estar en malas condiciones, son todavía útiles, facilitando posponer los proyectos de reparación hasta que las condiciones se vuelven inaceptables.

El deterioro gradual de un pavimento se debe a muchos factores, que incluyen las variaciones de clima, drenaje, condiciones del suelo, tránsito, etc. Con frecuencia, la falta de fondos limita la reparación y rehabilitación puntuales de la infraestructura y causan mayor problema, con defectos más graves y costosos.

El usuario que se traslada de un lugar a otro no desea tolerar el estado de un pavimento cuando su manejo es extremadamente brusco, cuando las vibraciones causan daños a los vehículos, cuando suceden accidentes y cuando los costos del usuario aumentan en forma importante. Por lo general el mantenimiento preventivo, cuando se hace en forma ordenada y sistemática, será el método menos costoso, a la larga. Sin embargo, cuando los presupuestos o fondos están limitados, con frecuencia las autoridades dan respuesta a los problemas más urgentes y graves o a los que generan más quejas, postergando la atención oportuna requerida por los pavimentos.

### 4.2 MÉTODOS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

Como definición de Administración se tiene: Conjunto ordenado y sistematizado de principios, técnicas y prácticas que tiene como finalidad apoyar la consecución de los objetivos de una organización a través de la provisión de los medios necesarios para obtener los resultados con la mayor eficiencia, eficacia y congruencia; así como la óptima coordinación y aprovechamiento del personal y los recursos técnicos, materiales y financieros. Algunos tratadistas la dividen en: planificación, organización, dirección y control.

El término *administración de pavimento* se emplea para describir las diversas estrategias que se pueden usar para decidir una política de restauración y rehabilitación de pavimento. Por un lado está el método de seleccionar un proyecto a través de arreglar o resolver el problema que presenta un pavimento en la superficie de rodamiento, una vez que alcanzó el deterioro e inconformidad de los usuarios al transitar por él. En el otro extremo esta un método en el que todas las vialidades se atienden a través de un programa regular y sistemático.

En otros términos, la estrategia de rehabilitación o reparación de pavimentos son planes donde se establecen normas mínimas del estado del pavimento, y tratan de establecer el tipo de tratamiento requerido y el marco de los tiempos de terminación del proyecto. Entre las estrategias de administración de rehabilitación está tener en cuenta asuntos como: el estado del pavimento, costos iniciales de mantenimiento y para el usuario, seguridad, restricciones físicas, ambientales y económicas, así como costos de ciclo de vida.

El tema general de administración del pavimento incluye el diseño, construcción, mantenimiento y rehabilitación, requiriendo de un análisis técnico en áreas de planeación y economía.

#### **4.3 IMPORTANCIA DE LA INFORMACIÓN DEL ESTADO DEL PAVIMENTO**

El primer paso en el proceso de administración de pavimento es asegurarse la información sobre el estado de cada tramo de pavimento en el sistema. Al principio, los datos sobre el estado se obtenían solamente por inspecciones visuales, que determinaban el tipo, extensión y gravedad de la condición del pavimento. Esas inspecciones eran subjetivas y se basaban mucho en el juicio y experiencia, para determinar el estado del pavimento y las prioridades de los programas.

Los primeros valores necesarios, para generar la base de datos de una red, son los que forman el inventario de la misma, que posteriormente se alimentará con la auscultación de parámetros de estado de servicio de una carretera o vialidad lo que permitirá realizar una adecuada gestión de esta.

En el caso de que la base de datos sirva para la conservación y explotación, por ejemplo tras la recepción de una obra nueva, la base de datos de partida serán todos los documentos de proyecto y control de esta obra.

Si el caso no es de una obra nueva, y no se dispone de los datos de construcción, para complementar el inventario se podrán utilizar diferentes dispositivos y pruebas que permitan determinar de manera directa el estado de su situación actual.

Para realizar un inventario físico de los principales elementos que conforman una vialidad se utilizará un equipo GPS (Sistema Global de Posicionamiento, por sus siglas en inglés).

El GPS es un sistema satelitario basado en señales de radio emitidas por una constelación de 21 satélites activos en órbita alrededor de la tierra a una altura de aproximadamente 20,000 km. El sistema permite el cálculo de coordenadas tridimensionales que pueden ser usadas en navegación o mediante el uso de métodos adecuados, para determinación de mediciones de precisión, provisto de receptores que capten las señales emitida por los satélites. El GPS fue implementado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con el objeto de obtener en tiempo real la posición de un punto en cualquier lugar de la tierra.

Ya sea que el tipo de medición sea absoluto o relativo, se consideran dos tipos de modalidad en la manera de toma y procesamiento de las mediciones. Estas modalidades son denominadas Estática y Cinemática. Como su nombre lo indica, estática denomina a observaciones estacionarias, mientras que la modalidad cinemática implica movimiento.

Figura 4.1 Sistema de posicionamiento global (GPS)



Las características necesarias para lograr una buena precisión de los puntos medidos depende del número de satélites observados o enganchados, de la señal de ruido, elevación de la máscara, línea base, la geometría de la constelación (PDOP: Position Dilution of Precisión) y el tiempo de observación del punto o vértice

por posicionar. La temperatura ambiental para la operación es similar en todos los instrumentos GPS con un promedio de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $+50^{\circ}\text{C}$ .

En este inventario se incluye la condición y las observaciones para cada elemento indicando su estado (obras de drenaje, señalamiento vertical y horizontal, banquetas, alumbrado, pasos peatonales, puentes, etc.), anexando una fotografía digital de las principales deficiencias encontradas y de mayor relevancia.

Con la información recopilada en campo se elaboró el plano de las vialidades identificando el tipo de pavimento. Sobre la estructura de datos básicos obtenida se incorporaron los resultados de las evaluaciones sistemáticas y de los trabajos de conservación y mantenimiento que se vayan realizando a la red. A partir de las bases de este inventario se han desarrollado aplicaciones que permiten:

- Visualización de imágenes rápidas con presentaciones gráficas de la geometría.
- Generación de consultas con filtros y cruzadas.
- Generación de informes tanto de las imágenes como cartográficas y gráficas.
- Incorporación y asociación a la base de otro tipo de planos, imágenes, observaciones, etc.
- Localización geográfica sobre una cartografía digital asociada con buscadores.

En años mas recientes, las evaluaciones visuales se han complementado con equipos normalizados de prueba para medir la rugosidad de la carretera, la condición de la superficie, la deflexión del pavimento y la resistencia al deslizamiento. Dicha información del estado del pavimento se usa con los siguientes propósitos:

**Establecer prioridades de proyectos.** La información sobre la condición del pavimento se usa para establecer el estado relativo de cada pavimento y determinar prioridades de proyectos.

**Establecer opciones.** Se puede utilizar la información acerca del estado del pavimento para desarrollar un programa de rehabilitación a largo plazo. Se usan los datos del estado del pavimento en términos de tipo, grado y severidad, para determinar cuál de las opciones disponibles de rehabilitación se deben seleccionar.

**Pronóstico de funcionamiento.** Usando correlaciones entre indicadores de funcionamiento del pavimento y variables como cargas de tránsito, es

posible predecir el estado futuro probable de cualquier sección de pavimento. Esta información es útil para preparar estimados de presupuesto a largo plazo, para mantener el sistema carretero en una norma mínima de funcionamiento, o para determinar las consecuencias futuras de diversos niveles de financiamiento.

#### 4.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO

Para evaluar las necesidades de rehabilitación de un pavimento se usan cuatro características del mismo: rugosidad (facilidad para el rodamiento), daños o deterioros del pavimento (estado de la superficie) y condición estructural (vida residual o falla). Los procedimientos para la determinación de estas características se describen a continuación:

##### 4.4.1 Rugosidad

Los objetivos principales de la superficie de rodamiento en pavimentos para carreteras son proporcionar al usuario características de confort, seguridad y durabilidad. Lo dicho anteriormente se debe respaldar cumpliendo ciertos parámetros de acuerdo con los objetivos a seguir.

La superficie de rodamiento de un pavimento se clasifica considerando la naturaleza de las irregularidades superficiales; las cuales afectan a la seguridad, comodidad y costos de los usuarios.

Se consideran de importancia para caracterizar a los pavimentos, desde el punto de vista superficial, las siguientes:

Parámetro	Medida
Rugosidad	IRI (Índice de Rugosidad Internacional)
Fricción	IFI (Índice de Fricción Internacional)

En la ingeniería de carreteras, la calidad del pavimento se analiza determinando la Regularidad Superficial, que tiene que ver con las deformaciones verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro con respecto a un plano horizontal en un pavimento, denominadas irregularidades. Éstas se deben principalmente a dos causas: la primera, al procedimiento constructivo, y la segunda, al daño producido a la carretera misma por el tránsito vehicular. En ocasiones dichas irregularidades son una combinación de ambas; así por ejemplo, las diferentes capas que constituyen a



un pavimento suelen presentar irregularidades debidas a asentamientos o acomodos de los materiales que las constituyen, y son función de las cargas que circulan sobre el pavimento y de un deficiente proceso constructivo.

La regularidad superficial se define normalmente por un índice que se refiere a una determinada longitud de carretera. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil a un índice estandarizado.

En el pasado, los equipos y métodos más utilizados para cuantificar la regularidad de un perfil, han sido una regla con una determinada longitud, de 3 hasta 9 metros, que define las irregularidades del punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de referencia).

Actualmente, se utilizan equipos más modernos tales como: el perfilógrafo longitudinal, ya sea de 3 o 7 metros y que mediante un sistema gráfico o computarizado, determina las irregularidades del punto medio del perfilógrafo respecto a los dos extremos. También se utilizan otros como, el Analizador Dinámico del Perfil Longitudinal (APL, equipo francés), el Analizador de la Regularidad Superficial (ARS, equipo español) y el Mays Ride Meter (equipo estadounidense), que se usa actualmente en nuestro país. Todos estos equipos se caracterizan por desplazarse a velocidades de operación en las carreteras, no interfiriendo con el flujo vehicular y las velocidades de operación van desde los 20 hasta los 80 km/h.

El equipo para medir la rugosidad se clasifica en dos categorías básicas: tipo de respuesta y perfilómetro o rugosímetro. El equipo para tipo de respuesta no mide el perfil real de la carretera, sino más bien la respuesta del vehículo a la rugosidad de la superficie, caso del medidor de Mays de pasada (MRM, de Mays Ride Meter), el cual mide la cantidad de pulgadas de movimiento vertical por milla. Mientras mayor sea el movimiento vertical, la carretera será más rugosa.

Los perfilómetros o rugosímetros son dispositivos que miden el perfil real de la vialidad, y proporcionan reproducciones exactas y completas del perfil del pavimento. También eliminan la necesidad de calibración, tardada e intensiva en mano de obra, que requiere el funcionamiento del equipo de tipo respuesta.

Con el fin de estandarizar el valor de la regularidad superficial, el Banco Mundial propuso el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) que se basa en un modelo matemático denominado cuarto de carro normalizado (Golden Quarter Car) circulando a 80 km/h. Dicho índice se obtiene a partir de la acumulación del desplazamiento relativo entre las masas de la carrocería y la suspensión del modelo, cuando el vehículo circula por el perfil del camino en estudio.

#### 4.4.2 Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

El propósito es analizar la red por segmentos de 1 km y establecer sus características de regularidad superficial. Se realizó la medición del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) para cada segmento.

Para este caso, se decide en principio un valor límite de IRI igual a 3.5 m/km, de acuerdo con lo recomendado en la Tabla 4.1, que proporciona valores internacionales, y a la experiencia nacional. Sin embargo, debe aquí mencionarse que dicho valor de umbral se puede modificar de acuerdo con las características de la red analizada y con la experiencia del administrador o responsable de la misma.

Tabla 4.1 Límites permisibles del IRI de diferentes países (m/km)

País	Autopista Libre	Carretera Nacional	Autopista de cuota
Bélgica	2.5	3.5	2.0
España	2.5	3.0	2.5
Francia	2.0	2.8	2.5
Portugal	2.2	3.5	2.0
Italia	2.0	3.0	2.0

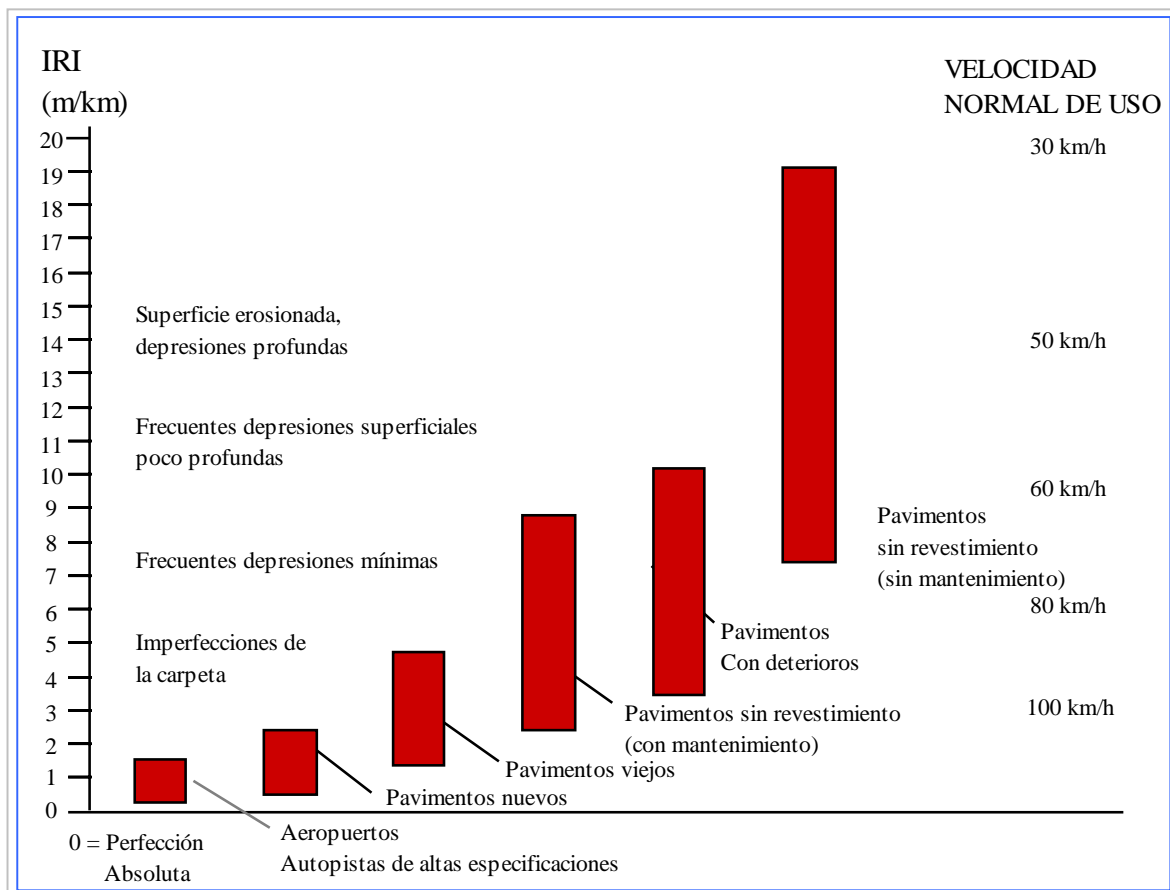
En muchos casos, el TPDA presente en el tramo analizado puede utilizarse como criterio para la elección de un valor límite de IRI, ya que el tránsito constituye un indicador de la importancia de la carretera y, por lo tanto, del nivel de deterioro tolerable en la misma. La Tabla 4.2 contiene recomendaciones del TRB (Transportation Research Board) para valores máximos admisibles de IRI en función del TPDA.

Tabla 4.2 Recomendaciones del TRB para la selección de valores máximos admisibles del IRI en función del TPDA

Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA)	Índice Internacional de Rugosidad, IRI (m/km)						
	0 – 2	2 – 4	4 – 6	6 – 8	8 - 10	10 – 12	> 12
0 – 4 999	<i>Muy bueno</i>		<i>Bueno</i>				
5 000 – 9 999			<i>Regular</i>		<i>Malo</i>		
10 000 – 19 999					<i>Muy malo</i>		
> 20 000							

En la tabla siguiente se establece el valor límite del IRI para cada uno de los pavimentos de acuerdo a la velocidad de proyecto; dicha tabla es producto de la experiencia internacional en caminos y sirve de normadora de criterios para casos como éste.

Tabla 4.3 Valor limite de IRI para pavimentos, según velocidad de proyecto



Una vez que capturada la información correspondiente al módulo de IRI, se presenta un listado en donde se puede observar para cada uno de los segmentos estudiados con su respectivo valor de IRI; por otro lado, se generó un listado correspondiente a aquellos segmentos que están por debajo del límite de IRI establecido y consecuentemente se archivan en un listado, recomendando su evaluación para el próximo año. Finalmente se muestra un listado de los segmentos que excedan dicho valor de umbral y que por supuesto requieren de una conservación inmediata (mismo año). Siendo precisamente estos segmentos los que se analizarán desde el punto de vista estructural.

#### 4.4.3 Coeficiente de Fricción (CF)

En lo que respecta a la fricción o resistencia al deslizamiento del pavimento, se considera la condición más desfavorable aquella en la que el pavimento se encuentra mojado. Su medida y estudio es fundamental sobre todo en carreteras o vialidades de elevada intensidad de tránsito. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una llanta especial. También se puede considerar de forma indirecta, al medir la textura del pavimento con ayuda de técnicas como el cono de arena.

El valor del coeficiente de fricción depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera, mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de las llantas) o de la naturaleza (lluvia, nieve, hielo sobre la carpeta, etc.). La medida de la fricción está en función de la velocidad y cantidad de agua que exista sobre el pavimento, además del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de fricción de un pavimento evolucionan con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de las llantas de los vehículos.

Esta acción será más o menos intensa dependiendo del tipo de agregado utilizado, así por ejemplo, para agregados calizos el problema cobra indiscutible importancia, lo que quizá no sea tan marcado cuando se utilizan agregados de origen volcánico (ígneo). Por tanto, es necesario determinar periódicamente la resistencia al deslizamiento mediante equipos que determinen el coeficiente de fricción.

##### 4.4.3.1 Péndulo de fricción

Uno de los equipos más sencillos, que proporcionan una medida adecuada del coeficiente de resistencia al deslizamiento (microtextura), es el péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), mostrado en la Figura 4.2 y que se describe a continuación.

Figura 4.2 Péndulo de fricción del TRRL



Este aparato sirve para obtener un coeficiente de resistencia al deslizamiento que mantiene correlación con el coeficiente de fricción físico y ayuda a valorar las características deslizantes de la superficie de un pavimento.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo cuyas características corresponden a ciertas especificaciones; provisto en su extremo de una zapata de caucho. La pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

Los valores de fricción para un pavimento mojado (Tabla 4.4) y seco (Tabla 4.5), obtenidos con el péndulo TRRL, y producto de la experiencia Europea, nos sirven como apoyo para sugerir un valor de referencia con respecto a la fricción.

Tabla 4.4 Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento mojado

<b>Vehículo</b> <b>Pavimento</b>	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0.50	0.45	0.45	0.50
Flexible	0.50	0.50	0.45	0.45
Poroso	0.45	0.45	0.40	0.40
Lechadas	0.50	0.55	0.55	0.45
Sellos	0.50	0.45	0.45	0.40

Tabla 4.5 Límites permisibles del Coeficiente de Fricción para pavimento seco

<b>Vehículo</b> <b>Pavimento</b>	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0.80	0.85	0.80	0.80
Flexible	0.80	0.85	0.85	0.85
Poroso	0.75	0.85	0.85	0.85
Lechadas	0.80	0.90	0.80	0.85
Sellos	0.85	0.90	0.75	0.80

Con base en los valores recomendados en las anteriores tablas, se sugiere para el caso de evaluación en carreteras o vialidades mexicanas, aplicar los siguientes valores mínimos del coeficiente de fricción:

- Pavimentos flexibles en condiciones secas: 0.80 mínimo
- Pavimentos flexibles en condiciones húmedas: 0.50 mínimo

Se hace notar que considerando la “condición crítica” para el caso de mantenimiento de vialidades y debido principalmente a requerimientos de seguridad de los usuarios, en el caso de los pavimentos mexicanos, se toma como valor para separar tramos que cumplen y que no cumplen, solamente el valor de 0.5. Por lo anterior, se preparó un listado que muestra todos los segmentos evaluados y sus correspondientes coeficientes de fricción obtenidos. Así mismo, se cuenta con un segundo listado que muestra los segmentos de un kilómetro, que sí cumplen con el valor citado de 0.5, con la leyenda dejar en espera y evaluar al año siguiente, y finalmente un tercer listado mostrando los segmentos de un kilómetro que “no cumplen” con el mínimo coeficiente de fricción especificado; mismos que requerirán

de alguna acción o tratamiento de conservación para mejorar las condiciones de operación, por lo que se podrán proponer dichas acciones de conservación y posteriormente calcular su costo correspondiente para solucionar el problema.

#### 4.4.3.2 *Círculo de arena*

Es un equipo estacionario para medir la macrotextura. El más común es el denominado método volumétrico o de círculo de arena y consiste en extender sobre el pavimento en forma de círculo, un volumen conocido de arena de granulometría definida. La medición del diámetro del círculo formado permite determinar su área y dividiendo el volumen entre el área se obtiene un factor denominado profundidad media de la textura (MTD, por sus siglas en inglés). Actualmente se recomienda utilizar esferas de vidrio, aunque generalmente se continúa utilizando arena.

Las características de los pavimentos que influyen en la resistencia al deslizamiento son las pequeñas irregularidades superficiales correspondientes a las denominadas micro y macrotextura.

- a. La **microtextura** depende fundamentalmente de las características del agregado y de la granulometría de la mezcla, de ella depende la adherencia entre el neumático y el pavimento.
- b. La **macrotextura** influye también en la resistencia al deslizamiento en especial a altas velocidades, en el drenaje, en la proyección de agua entre los vehículos, en el ruido y en la textura de las marcas viales. Esta depende del tamaño máximo del agregado y de la composición de la mezcla, riego o tipo de asfalto.

#### 4.4.3.3 *Resistencia al deslizamiento*

Para determinar la resistencia al deslizamiento se utilizan equipos de alto rendimiento que circulan a altas velocidades sin interrumpir el tránsito, estando provistos de ruedas de medición mediante las cuales se determina la resistencia la deslizamiento entre rueda y pavimento, cuya superficie se encuentra seca o es mojada mediante un dispositivo que derrama agua delante de la rueda.

Existen cuatro tipos de equipos de medición de la fricción entre llanta y pavimento:

- a.- Rueda bloqueada. Produce un bloqueo total, en tanto que la velocidad relativa entre la llanta y pavimento es igual a la del vehículo. Al aplicar el freno, se mide la fuerza y se promedia durante un segundo con la rueda completamente



- inmovilizada, pudiendo determinarse la fricción máxima. No puede efectuarse un registro continuo por que la llanta se desgastaría muy rápidamente.
- b.- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento fijo. Tiene la ventaja que puede realizarse un registro continuo de la fricción al escoger una relación baja de deslizamiento, entre el 10 y el 20%. No determina la fricción máxima y se suele asociar con medidas de la macrotextura (griptester, DWW trailer y el Norsemeter Oscar).
  - c.- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento variable. Puede efectuarse mediciones para cualquier grado de deslizamiento, tanto para determinar la fricción dentro de un rango prefijado, como para definir la máxima fricción proporcionando la máxima cantidad de información sobre las características de fricción entre la llanta y pavimento (Komatsu Skid Tester y el Petra).
  - d.- Rueda oblicua: Formando un ángulo con respecto al sentido de movimiento, sin aplicar ninguna acción de frenado, midiendo la fuerza lateral, perpendicular al plano de rotación en forma continua. El ángulo varía entre  $7.5^\circ$  y  $20^\circ$  por lo que la velocidad relativa de la rueda respecto al pavimento es baja, aunque la velocidad del vehículo sea alta, razón por la cual el procedimiento es sensible a la microtextura. Entre otros equipos de este tipo se encuentran el Mumeter, SCRIM (Sideway Force Coefficient Routine), Stradograph y el Odoliograph.

Figura 4.3 Vehículo SCRIM



Entre las acciones más comunes a recomendar por motivo de la textura, se incluyen las siguientes:

- a. Para el caso de carreteras o vialidades secundarias, la aplicación de un riego de sello con base en granzón y emulsión de liga, con el fin de incrementar la fricción entre llanta y pavimento. Para el caso de autopistas y vialidades con altas especificaciones y altas velocidades de operación, se sugiere la aplicación de este tratamiento con lechada asfáltica (Slurry Seal o sello premezclado) para garantizar una mejor adherencia y poco o nulo desprendimiento de agregado.
- b. Para el caso de pavimentos rígidos de concreto hidráulico se recomienda el ranurado transversal, con base en un estriado mecánico en frío, de 0.5 cm de ancho y 0.5 cm de profundidad con espaciamiento de 10 cm (entre franjas) para un eficiente drenaje superficial y no permitir la acumulación de láminas de agua que puedan provocar el fenómeno de acuaplaneo.

#### 4.4.4 Daños o deterioros del pavimento

El término daño en el pavimento se refiere al estado de la superficie de un pavimento con relación a su apariencia general. Un pavimento perfecto está nivelado y tiene una superficie continua sin roturas. En contraste, un pavimento dañado puede estar fracturado, distorsionado, o desintegrado. Estas tres categorías básicas se pueden seguir subdividiendo. Por ejemplo, las fracturas se pueden considerar como grietas o resquebrajamiento. Las grietas pueden describirse como generalizadas, transversales longitudinales, estrelladas o en bloque. Una distorsión del pavimento se puede poner en evidencia por baches o el corrugado de la superficie. La desintegración del pavimento se puede observar como desmoronamiento (pérdida de la estructura del pavimento) del pavimento desde la sub-base y del pulido de la superficie.

Los deterioros se pueden clasificar, de acuerdo al Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas publicado por el Instituto Mexicano del Transporte en 1991 (Publicación Técnica No. 21), en cuatro grupos: los desprendimientos, las deformaciones, agrietamientos y un último denominado varios.

Los principales deterioros agrupados son los siguientes:

Por desprendimiento:

- Indentación de objetos duros en la superficie de rodamiento
- Levantamiento por congelamiento

- Desprendimiento de agregados
- Pulido de superficie
- Desintegración
- Desprendimiento de sello
- Erosión longitudinal de carpeta

Por deformaciones:

- Burbuja
- Roderas o canalizaciones
- Ondulaciones transversales o corrugaciones
- Protuberancias
- Asentamiento transversal
- Asentamiento longitudinal
- Crestas longitudinales masivas
- Desplazamiento transversal de la sección del pavimento

Por tipo o grupo de agrietamiento:

- Grietas de reflexión tipos 1 y 2
- Agrietamiento parabólico
- Grieta errática o en zig – zag
- Grietas finas
- Agrietamiento piel de cocodrilo

- Agrietamiento tipo mapa
- Grieta transversal
- Agrietamiento longitudinal

Por causas varias:

- Llorado de asfalto
- Afloramiento de humedad
- Marcado de huella
- Contaminación de agregados
- Expulsión de finos
- Crecimiento de hierba a través de la carpeta

Las definiciones específicas de cada uno de los deterioros, así como las causas probables que los provocan, vienen detalladas en la publicación citada, en la cual adicionalmente se incluyen fotografías que permiten distinguirlos con claridad. Si bien existen más deterioros, éstos no inciden directamente sobre el pavimento de manera directa, por lo que se optó por excluirllos para evitar confusiones.

Existen diferentes procedimientos para medir los daños del pavimento y en consecuencia hay una amplia gama de métodos para hacer evaluaciones de daños. En forma típica, los datos sobre daños los obtienen observadores adiestrados que hacen juicios subjetivos sobre el estado del pavimento con base en factores predeterminados. Con frecuencia, se usan fotografías para establecer juicios, ya sea seleccionando tramos al azar o el muestreo total, con una regularidad determinada, la cual puede variar en periodos de 1 a 3 años.

Uno de los principales problemas con los levantamientos de condiciones o daños, es la variabilidad de los resultados debido a los procedimientos subjetivos que se usan. Los problemas con las mediciones manuales se han reducido al mínimo, con el desarrollo de técnicas automatizadas para evaluar los daños en el pavimento.

El inventario de defectos superficiales se puede realizar con un equipo especializado de vídeo. El equipo de vídeo digital está montado en un vehículo, con

el fin de minimizar posibles interferencias al tránsito durante el levantamiento de la información.

Figura 4.4 Equipo de video digital en vehículo



La cámara genera una película de vídeo digital en blanco y negro (y tonos de gris). Este dispositivo deberá ser de alta resolución, con uso comprobado para la inspección automatizada del deterioro superficial de los pavimentos. El almacenamiento y el proceso de la información sobre el deterioro superficial se realizan directamente en una computadora instalada en el vehículo de medición.

Toda la información numérica, gráfica y de imágenes puede ser consultada en un monitor de alta resolución, simultáneamente con el levantamiento de datos básicos.

Para estos trabajos se requiere disponer de información precisa sobre la distancia o cadenamiento al que corresponde cada imagen del pavimento. Para tal efecto, se utiliza un odómetro electrónico de alta precisión (servocontrol). La información obtenida del odómetro es enviada a la computadora central del vehículo de medición.

Para el registro de información complementaria sobre el pavimento y la infraestructura carretera, se dispone de un teclado especial. Este teclado tiene la posibilidad de ser programado de la forma que más convenga para los fines particulares del levantamiento de información.

El intervalo máximo de muestreo de las fotografías digitales deberá ser tal que se obtenga una cobertura longitudinal mínima, o tasa de muestreo, del 20%. En el sentido perpendicular al recorrido, la cobertura será de aproximadamente la anchura de un carril de circulación.

## 4.5 MÉTODOS DE MEDICIÓN DEL ESTADO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

La condición estructural del pavimento se mide ya sea con métodos no destructivos, donde se mide la deflexión bajo cargas estáticas o dinámicas, o con prueba de falla (destructivas), que consisten en quitar tramos de pavimento y probarlos en laboratorio. Rara vez se utilizan evaluaciones estructurales de un pavimento para vigilar el estado del mismo, debido a los costos que implican. Sin embargo, las evaluaciones no destructivas, que reúnen datos de deflexión, son empleadas para realizar proyectos para fines de diseño de pavimentos y para desarrollar estrategias de rehabilitación a corto, mediano y largo plazo.

La evaluación no destructiva se basa en la premisa que las mediciones se pueden hacer sobre la superficie del pavimento, y que a partir de esas mediciones in situ se pueden inferir características acerca de la adecuación estructural del pavimento. Los cuatro métodos de prueba no destructiva son: mediciones de deflexión estática, mediciones de deflexión debidas a cargas dinámicas o repetidas, mediciones de deflexión con una carga que cae (carga de impulso) y mediciones de densidad de las capas de un pavimento, con radiaciones nucleares, que se usan principalmente para evaluar las capas de pavimento durante su construcción.

### 4.5.1 Georadar

Disponer de un método de auscultación de espesores no destructivo y de alto rendimiento es fundamental para la evaluación y control de pavimentos.

Esta técnica se está generalizando y consiste en producir un impulso de radiación electromagnética, por medio de una antena montada en un vehículo dirigiéndola hacia la superficie del pavimento. La energía reflejada desde la superficie del pavimento y desde las interfaces, entre los distintos materiales que constituyen el cuerpo se registra en un receptor para su posterior análisis, en el que se tiene en cuenta tanto el tiempo de llegada de los ecos, como la amplitud de estos. El radar detecta los límites entre dos materiales que tengan distinta constante dieléctrica, siendo más fácil la detección cuando mayor sea la diferencia entre ellas.

En el georadar existe un compromiso entre resolución, o sea la capacidad de detectar capas finas, y penetración en el paquete del pavimento. Viene condicionado por la longitud de las ondas electromagnéticas que empleen; así si se emplea una longitud de onda pequeña habrá una mayor resolución y si la longitud es mayor conseguiremos mayor penetración.

Con antenas de 0.5 a 2.5 MHZ se consiguen penetraciones de 0.5 a 1.5 m. En vialidades para medida de espesores circulando alrededor de 60 km/h y con espacio de muestreo de 120 a 200 mm se han descrito precisiones en la medida de espesores del orden del 10%, pudiendo detectar anomalías, despegues entre capas u oquedades.

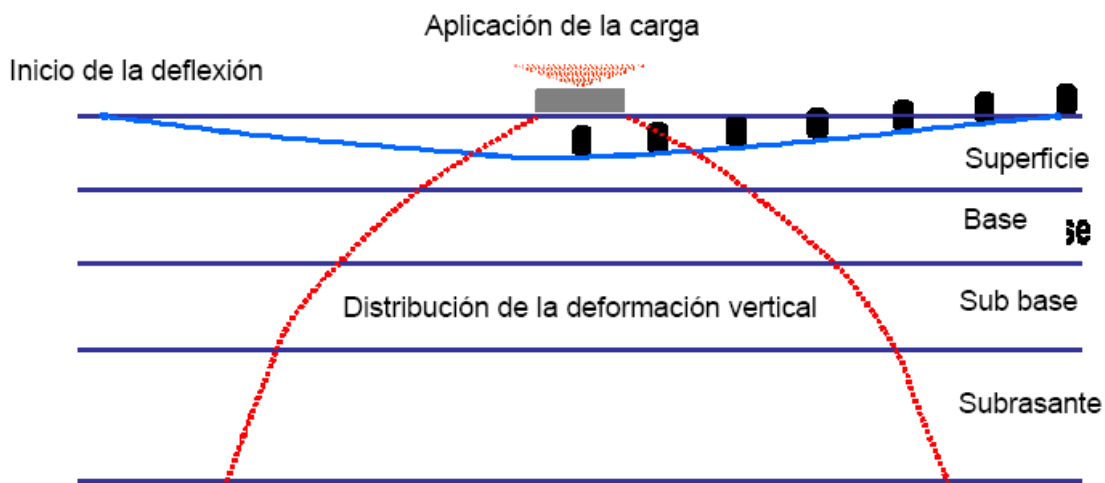
Como ventajas de utilización del georadar podríamos enumerar las siguientes:

- Realiza las medidas a gran velocidad, sin interrumpir el tráfico
- Realiza una medida continua o casi continua
- Se utiliza para pavimentos de concreto hidráulico como asfálticos
- Define espesores y localiza defectos.

#### 4.5.2 Viga Benkelman

Un método que se usa en forma extensa para medir deflexiones estáticas es el de Beam Benkelman, un dispositivo sencillo operado a mano, diseñado para medir respuestas de deflexión de un pavimento flexible debidas a las cargas de una rueda normalizada. Se coloca una punta de medición entre dos neumáticos dobles y se observa el movimiento de la viga en una aguja, que registra la deflexión máxima.

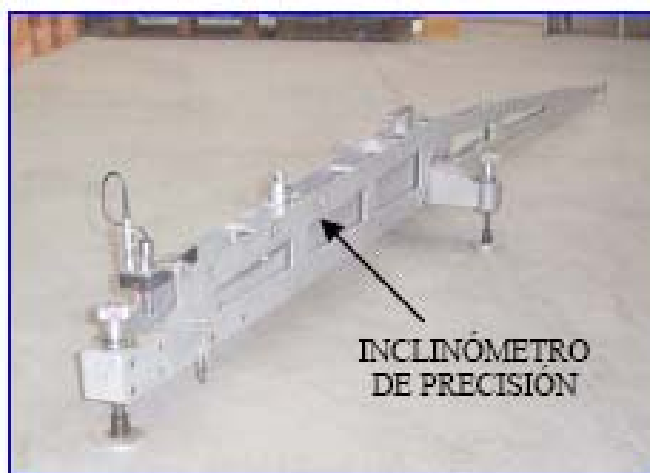
Figura 4.5 Representación de un ensayo no destructivo, en donde se aprecia la distribución de las deformaciones en las diferentes capas de un pavimento.





Otros dispositivos estáticos que se usan incluyen el deflectómetro móvil, la prueba de resistencia de placa y el deflectógrafo lacroix. La mayor parte de estos dispositivos se basan en el principio de Beam Benkelman, en los que las deflexiones del pavimento debidas a una carga estática o en movimiento lento se miden en forma manual, o mediante registradores automáticos.

Figura 4.6 Equipo discontinuo para la determinación de deflexiones (Viga Benkelman)



### 4.5.3 Deflectómetro

El método más común de carga dinámica para medir deflexiones de pavimento es el Dynaflect. Este dispositivo consiste básicamente en un generador dinámico de fuerza cíclica montado en un remolque de dos ruedas, una unidad de control, un sensor ensamblado y una unidad de calibración del sensor. El sistema proporciona mediciones rápidas y precisas de deflexiones de la carpeta, que en esta prueba se deben a fuerzas generadas por volantes desbalanceados que giran en direcciones contrarias. Se produce una fuerza vertical de 1,000 lb. en las ruedas de carga, y las deflexiones se miden en 5 puntos sobre la superficie del pavimento, a un pie de distancia.

En la mayoría de los estados de la Unión Americana se usan equipos de tipo de carga con impacto, que se llaman “deflectómetros de peso con impacto” (FWD, falling weight deflectometers), por que los impulsos de fuerza que crea la caída de una carga, se asemejan más a los que causa una carga en movimiento, en comparación con los impulsos creados por los dispositivos vibratorios o los de carga estática.

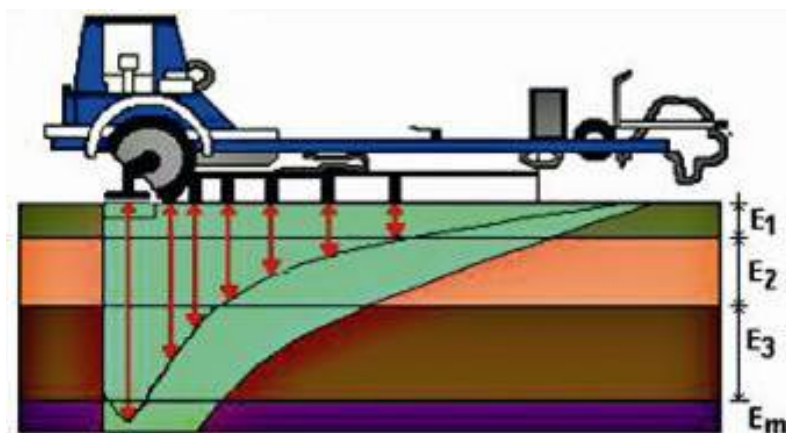


Figura 4.7 Equipo FWD para determinación de deflexiones



Las variaciones de la carga aplicada se pueden lograr alterando ya sea la magnitud de la masa o bien la altura de caída. Las deflexiones verticales pico, se miden con el FWD en el centro de la placa de carga, y a partir de las distancias variables de la placa, se obtienen las llamadas “cuencas de deflexión”.

Figura 4.8 Esquema de registro de mediciones para determinación de deflexiones HWD



Es importante señalar que se podrán analizar aquellos segmentos que tienen una regularidad superficial deficiente, de acuerdo con los criterios establecidos en los parámetros establecidos previamente; es decir, sólo aquellos tramos que presenten un Índice Internacional de Rugosidad mayor que 3.5 m/km, o el que especifique para casos particulares, serán considerados en la evaluación de capacidad estructural.

La evaluación estructural involucra la determinación de la aptitud de un pavimento para soportar el tránsito sin presentar deformaciones excesivas. La evaluación estructural se determina tanto en la condición presente del pavimento como en su vida de servicio futura (estimada), todo ello con respecto al tránsito que la circula.

Se deben considerar los siguientes factores para un diseño efectivo de refuerzo ya sea con sobrecarpetas o reconstrucción total del pavimento existente.

- a. Magnitud de la deflexión real de la sección existente.
- b. Índice de tránsito, con base en tasas de crecimiento y los ejes equivalentes presentes y futuros acumulados en el período de diseño (pudiendo ser 5, 10 o 15 años).
- c. Espesor real de la carpeta existente. Se puede determinar en base a sondeos simplificados y/o estudios de GPR (Ground Penetrating Radar).
- d. Deflexión tolerable. En dicha evaluación se realizan mediciones en campo de la deflexión que el pavimento presenta por la aplicación de una carga estándar. Para este caso se pueden variar el número de determinaciones para cada segmento de 1 km “subtramo”. Con estos resultados capturados en un programa se efectúa un análisis estadístico, definiendo el 80 percentil d80 de las deflexiones reales en campo, para obtener la deflexión característica o representativa del diseño en el pavimento en estudio.

La deflexión tolerable  $d_{tol}$  es establecida de acuerdo con los criterios del Departamento del Transporte del Estado de California, con base en el espesor de carpeta existente y el Índice de Tránsito de Diseño.

En el caso de que el 80 percentil de las deflexiones de campo sea menor que la deflexión tolerable, se coloca en espera a dichos tramos hasta un nuevo periodo de análisis, recomendándose un año de espera (tramos que cumplen con capacidad estructural). La sugerencia que pudiera darse, en este caso, es realizar una renivelación del tramo propuesto, dado que para llegar a este nivel de auscultación, el tramo presentó deformaciones excesivas en su capa de rodamiento.

Cuando las deflexiones reales medidas en el campo, caracterizadas con el 80 percentil, son mayores que la deflexión tolerable, se procede a realizar el diseño de la sobrecarpeta de refuerzo para el periodo de diseño que se requiera.

La determinación de los espesores requeridos de refuerzo se realiza de acuerdo con el método vigente de diseño de sobrecarpetas, UNAM, AASHTO, etc., que consideran para el análisis el TPDA, crecimiento, ejes equivalentes, el espesor de capas existentes, condiciones del drenaje, confiabilidad, la vida útil que el usuario pretenda para su camino, etc.

Los resultados se presentan con aproximación al medio centímetro, tanto para espesores de grava equivalente como de concreto asfáltico. Es importante destacar que se considera carpetas de concreto asfáltico desde 3 cm hasta 10 cm, ya que menores al primero no se considera que tengan aporte estructural al conjunto, y que mayores al segundo, es probable que la reconstrucción sea una mejor opción.

Se hace notar que para los casos en que los resultados del análisis indiquen que la solución apunta a la reconstrucción, parcial o total, forzosamente se deberá realizar por su cuenta, o a través de un consultor, un estudio geotécnico detallado para el nuevo diseño de la sección estructural del pavimento, que arroje un diseño completo del nuevo pavimento reconstruido, tomando en cuenta nuevos espesores de las capas a partir de la subrasante y, por supuesto, considerando la alternativa del reciclado de los materiales existentes, y si el tránsito actual y futuro lo justifica, sería muy conveniente el contemplar para el nuevo pavimento reconstruido la estabilización de bases hidráulicas con cal, cemento o asfalto.

Adicionalmente se puede jerarquizar a los tramos considerando al Tránsito Diario Promedio Anual (TPDA), priorizando las acciones de intervención de la siguiente manera:

Para TPDA menores que 500 vehículos, se consideran soluciones económicas e incluso pueden colocarse en espera, en el caso que por cuestiones presupuestales así se requiera.

Para TPDA de 500 a 5000 vehículos, se pueden considerar soluciones combinadas de acuerdo con las condiciones de regularidad superficial y capacidad estructural presentes.

Para TPDA mayores que 5000, no se pueden tolerar estrategias de espera, dados los sobrecostos de operación y molestias que se generarían por la utilización del tramo bajo estas condiciones; por lo que se indica la prioridad de atender a los tramos que presentan estos niveles de Tránsito.

Se pueden usar los resultados de las mediciones de evaluación para pronosticar el estado del pavimento en años futuros. Cuando se reúnen datos a través del tiempo, se puede emplear los resultados para desarrollar modelos matemáticos que relacionen el estado del pavimento con su edad. Los métodos que se pueden utilizar son:

- a. Modelos deterministas. Se desarrollan por análisis de regresión.
- b. Modelos probabilistas. Se basan en tablas que proporcionan la probabilidad de que la calificación de un pavimento cambie de un año al siguiente.

Los ensayos no destructivos de deflexiones proporcionan información que se utiliza para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos.

- a. Módulo de elasticidad de cada capa
- b. Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c. Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico
- d. Módulos de reacción de la subrasante
- e. Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo
- f. Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles; valoración de la capacidad estructural, incluyendo la eficiencia de las juntas en pavimentos de concreto hidráulico; detección de oquedades en pavimentos de concreto hidráulico; y/o para fines de inventario estructural de la red.

#### **4.6 SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS**

Un pavimento no depende exclusivamente de su diseño, sino que en gran medida es función del nivel en que se desarrollen los aspectos de su construcción, conservación y rehabilitación, estos dos últimos aplicados durante la vida operativa del pavimento, para prolongarla en forma tal que se proporcione al usuario una red vial con alto nivel de eficiencia, entendiendo como tal, que se cumpla con los requerimientos del transporte moderno en cuanto a seguridad, comodidad y economía.

Los aspectos anteriores establecen la necesidad de tomar decisiones basadas en consideraciones racionales, que comprendan tanto conceptos técnicos como económicos, manejar situaciones a futuro, efectuar análisis de sensibilidad y una gran cantidad de información procedente de la evaluación del comportamiento de los pavimentos, bajo diferentes condiciones de materiales, de clima, de construcción y de tránsito, así como de los efectos de los trabajos de conservación.

La gestión de pavimentos constituye una de las funciones más importantes en las organizaciones operadoras de vialidades (urbanas, sub -urbanas y carreteras). Los sistemas de gestión de pavimentos son un conjunto de procedimientos y herramientas que tienen como propósito asistir a estas organizaciones en la aplicación sistemática de procesos relacionados con este aspecto.

Entre las principales componentes de un sistema de gestión pueden mencionarse: un conjunto de programas de cómputo para la información requerida por el sistema; herramientas de análisis para la predicción del deterioro de pavimentos; evaluación económica de proyectos viales y la formulación de programas.

Debe mencionarse la gran importancia que en la implementación, calibración y desarrollo de un sistema de administración de pavimentos (SAP) tiene la aplicación de técnicas de evaluación y seguimiento del comportamiento de los pavimentos, así como la influencia de los procesos constructivos, materiales, clima, etc. Mediante la medición sistematizada de los parámetros que definen dicho comportamiento y del procesamiento y análisis de dicha información, ha sido posible establecer los modelos de comportamiento a futuro y predecir el tipo de falla que puede ocurrir y el tiempo en que esto puede suceder, lo cual es de gran importancia para definir las políticas de conservación y rehabilitación que deban aplicarse y su oportuna programación.

#### **4.7 CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS**

Un SAP es un proceso para organizar, coordinar y controlar todas las actividades que afectan el costo y la vida de los pavimentos.

Es un procedimiento sistemático y constante para programar el mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos, basado en un enfoque que maximice los beneficios y minimice los costos.

El reto de un sistema de administración de pavimentos radica en cuantificar y acumular la información necesaria para establecer recomendaciones específicas, que traducidas en acciones, permitan mantener una red vial en condiciones de servicio aceptables, dentro de las posibilidades presupuestales.

La solución de este desafío requiere no solo de la preparación y experiencia de los ingenieros de pavimentos sino también de expertos en estadística, teoría de probabilidades, modelación e investigación de operaciones.

Como desventajas de no implementar un SAP podemos enlistar las siguientes:

- Tendencia a considerar las necesidades de proyectos individuales y no de toda la red.
- Proyectos susceptibles a las preferencias del personal y a experiencias limitadas de quienes toman las decisiones.

- El número de alternativas considerado es limitado.
- Los diseños se limitan generalmente a un periodo fijo.
- El costo de operación no se considera.
- Las políticas se pueden afectar con el cambio de personal.
- El mantenimiento preventivo es de evaluación difícil.
- Las incertidumbres de comportamiento son ignoradas.

Por lo tanto, un SAP debe tener capacidad para responder de qué medidas de conservación deben realizarse, cuándo y dónde, considerando la disposición de un determinado presupuesto. De esta manera el SAP deberá proporcionar información sobre el nivel de servicio futuro que prestarán los pavimentos de la red, dependiendo del presupuesto disponible y definiendo que estrategias de conservación y rehabilitación producirán las mayores tasas de retorno a las inversiones aplicadas en la preservación de los pavimentos de la red.

En esta forma un SAP será capaz de ayudar a la toma de decisiones, constituyendo una valiosa herramienta en todos los niveles, desde el Ingeniero responsable de la conservación (Dirección de Obras Públicas), hasta el responsable de la asignación de recursos económicos (Dirección de Finanzas) para las actividades de conservación, lo cual es muy importante cuando existen severas restricciones presupuestales para rehabilitar y conservar los pavimentos y además existe una red vial extensa con un porcentaje de vías antiguas y con fuerte demanda de servicio (caso del Municipio de Chihuahua).

Los componentes básicos de un SAP son los siguientes:

- PLANEACIÓN
- DISEÑO
- CONSTRUCCIÓN
- CONSERVACIÓN
- EVALUACIÓN
- INVESTIGACIÓN

#### 4.8 REQUERIMIENTOS PARA LA IMPLANTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.

Para establecer un SAP, es necesario proceder a la aplicación de varias etapas, en las cuales debe imperar fundamentalmente la firme decisión de las autoridades de contar con un sistema operante, dinámico y de hecho perpetuo.

Las principales etapas son las siguientes:

- a.- Decisión de implantar el sistema, apoyando las medidas conducentes para ello, entre las cuales debe considerarse la creación de una organización técnica y administrativa adecuada para su control.
- b.- Construir un grupo de trabajo, encargado de revisar la situación existente, en cuanto a organización y funcionamiento, que identifique necesidades y formule recomendaciones para su mejoramiento.
- c.- Efectuar el inventario de las prácticas aplicadas para la conservación de los pavimentos.
- d.- Identificar las deficiencias específicas de las prácticas existentes, principalmente en términos de los procedimientos administrativos (coordinación de las diferentes áreas como proyecto, conservación, etc.; toma de decisiones, etc.), así como los procedimientos técnicos (capacitación de personal, equipos, materiales, etc.).
- e.- Formular recomendaciones detalladas relativas a la implantación del sistema, en cuanto a la organización técnica y administrativa necesaria para la creación del banco de datos, capacitación del personal, adquisición del equipo necesario, definición de los temas de investigación, etc.
- f.- Aplicación del sistema acorde con un programa específico, establecimiento de las prácticas de evaluación periódica y sistemática, determinación de los costos de conservación, evaluación del tránsito, etc. Así mismo, se establecerán los programas de capacitación y actualización del personal y de investigación, como en el caso de nuevas técnicas de conservación, conocimiento del comportamiento de materiales y nuevos productos, nuevas técnicas de investigación, aspectos económicos, etc.

Finalmente debe tenerse en cuenta que el éxito en la aplicación del sistema dependerá de la forma en que se realicen las acciones de coordinación, comunicación, cooperación, información y retroalimentación.



## 4.9 OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS.

Como se mencionó anteriormente, el objetivo del sistema es identificar, a partir de la información disponible, la acción de conservación que permita al pavimento funcionar por encima de un valor de índice de servicio especificado, durante un periodo de diseño definido, con un presupuesto establecido y con la máxima relación beneficio/costo.

La información necesaria para el manejo de la red vial normalmente comprende parámetros como: tipo de pavimento, estructuras, características del tránsito, listado de posibles alternativas de conservación o rehabilitación, etc., así como los parámetros de tipo económico, como magnitud del presupuesto disponible, el costo de las alternativas de conservación o rehabilitación, los costos de operación para los diferentes tipos de vehículos, tasa de actualización, etc.

Es necesario, como ya se indicó anteriormente, considerar la información relativa a las condiciones del pavimento, como los datos relativos a la respuesta estructural obtenida mediante pruebas de tipo no destructivo (NDT), utilizando un deflectómetro de impacto, así como la información relativa a los aspectos funcionales, como las irregularidades superficiales (rugosidad), deterioros observados y resistencia al deslizamiento, información que puede ser obtenida mediante equipos automáticos y de alto rendimiento.

La información anterior es transferida y almacenada en un equipo electrónico para los procesos de análisis y de optimización. Mediante el proceso de análisis de la información será posible zonificar la red, dividiéndola en tramos homogéneos, según sus condiciones estructurales y funcionales.

A continuación el sistema considerará las diferentes estrategias posibles de conservación y rehabilitación, las cuales serán sometidas a un análisis económico a través de un cálculo de los beneficios y costos para cada tramo homogéneo. Los costos corresponderán a los necesarios para implantar cada estrategia considerada más los que se generen por concepto de la conservación rutinaria en el periodo de análisis.

Los beneficios se definen en función de la reducción de los costos de operación de los usuarios, como consecuencia de la aplicación de cada estrategia.

En el proceso de optimización, los programas del sistema pueden encontrar la estrategia que, dentro del presupuesto considerado, ofrezca la relación beneficio/costo más elevada.



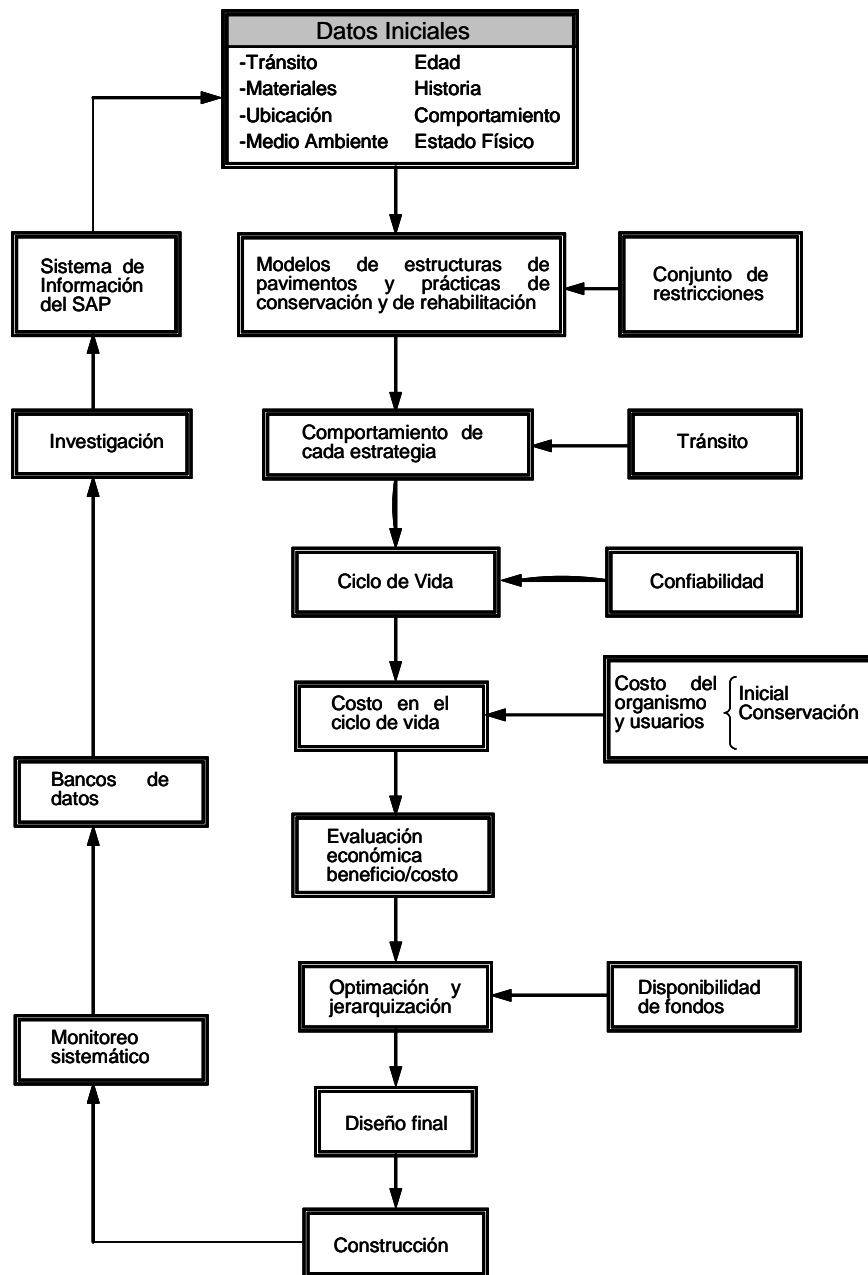
La información del sistema se obtiene en forma gráfica y tabular, presentando un listado ordenado de las estrategias propuestas, según la magnitud de la relación beneficio costo, para cada uno de los tramos homogéneos considerados. Es importante que estos resultados sean evaluados por los ingenieros del organismo, para asegurarse que no estén en desacuerdo con las limitantes impuestas ni con la experiencia local, de lo contrario deberán efectuarse los ajustes necesarios.

A continuación el sistema entrará en una fase de evaluación del comportamiento futuro de la red, estructural y funcionalmente, calculando la relación beneficio/costo a través del tiempo, lo cual permite al usuario evaluar las consecuencias de aplicar diferentes niveles de presupuesto o de diferentes estrategias de conservación y considerar su efecto en la totalidad de la red. Así mismo, podrá definirse el monto del presupuesto necesario para preservar la inversión realizada en la red. La relación beneficio/costo de la red puede ser utilizada para determinar la política óptima de conservación.

#### **4.10 ALGUNOS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS**

A continuación se presenta el esquema del proceso de administración de pavimentos.

Figura 4-9 Esquema de proceso de administración de pavimentos.



Derivado de la gran cantidad de variables que intervienen en la administración de una red vial y la diversidad de dependencias y países integrados en labores de desarrollo de nuevas tecnologías e investigación, actualmente existen diferentes sistemas desarrollados por instituciones internacionales y nacionales, como ejemplo podemos citar algunos de los que se tiene práctica y conocimiento en México y que preponderantemente se han implementado en vialidades carreteras, como lo es el HDM-4, SIMAP, SISTER etc.

El HDM-4 (*Highway Development and Management System*) fue desarrollado bajo el auspicio de diferentes organizaciones internacionales de carreteras y entidades financieras, y comercializado por la Asociación mundial de Carreteras, PIARC, constituye una alternativa muy atractiva para implementar las herramientas de análisis de los sistemas de gestión de pavimentos. Una de las principales desventajas del HDM-4 consiste en que su aplicación implica un número muy importante de datos de entrada (del orden de 800 para una aplicación común), muchos de los cuales es necesario obtener en campo a costos frecuentemente prohibitivos.

A través del Instituto Mexicano del Transporte, como centro de investigación y desarrollo tecnológico aplicado al transporte en el país, desarrollo en los años 90's el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos "SIMAP", el cual fue evolucionando a través de los años y complementado por diferentes módulos o subsistemas, lo anterior con el propósito de hacer más eficiente el sistema original y a la vez más sencillo para el manejo cotidiano de los usuarios.

#### **4.11 PROPUESTA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS MUNICIPIO DE CHIHUAHUA**

Para implementar un SAP se requiere efectuar diferentes consideraciones de estudios, equipamiento, personal, etc. que se deberá programar para poder desarrollar un sistema de administración de pavimentos en el Municipio de Chihuahua. Dichas actividades requerirán ser coordinadas por personal permanente en la estructura Municipal, disponiendo de un espacio para la ejecución de labores de control, seguimiento y de los diferentes trabajos complementarios de evaluación de la red (estudios, pruebas, investigaciones, etc.).

En el manejo y administración de dicho sistema deberán intervenir las direcciones de Desarrollo Urbano (administración directa), Planeación (cumplimiento de acciones estratégicas del municipio), Obras Públicas (ejecutor de acciones) y Finanzas (programación de recursos económicos). Será indispensable vincular el trabajo de campo, gabinete, investigación, económico y administrativo para el control y seguimiento del SAP, ya que el mismo será una parte dinámica de la

administración Municipal el cual demandará de recursos para la programación anual de las actividades de mantenimiento menor y mayor de la red vial.

Tabla 4.6 Propuesta de implementación SAP Municipio de Chihuahua.

## COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS

Concepto	Unidad	Periodicidad	Cantidad	Duración	P.U.	Importe anual	Observación
<b>1.- PERSONAL</b>							
Jefe de administración de pavimentos	mes	permanente	1	12	25,000	300,000	
Asistente (capturista)	mes	permanente	1	12	12,000	144,000	
						<b>444,000</b>	
<b>2.- MOBILIARIO Y EQUIPO</b>							
Computadora	pza	compra única	2	1	17,000	34,000	
Plotter	pza	compra única	1	1	55,000	55,000	
Impresora	pza	compra única	1	1	5,000	5,000	
Cámara fotográfica digital	pza	compra única	1	1	5,000	5,000	
Escritorio	pza	compra única	2	1	5,000	10,000	
Sillón	pza	compra única	2	1	1,800	3,600	
Sistema de cómputo SAP	programa	compra única	1	1	1,000,000	1,000,000	
Varios	lote	compra única	1	1	10,000	10,000	
Camioneta pick-up	veh	compra única	1	1	170,000	170,000	4 cilindros p/4 pasajeros
						<b>1,292,600</b>	
<b>3.- ESTUDIOS DE CAMPO</b>							
HWD (deflexiones)	lectura	según se requiera	850	1	380	323,000	según las necesidades de la red
IRI (índice de irregularidad superficial) y PR	km/carril	anual	900	1	950	855,000	evaluación anual
GPR (radar de penetración)	km/carril	única	600	1	900	540,000	se supone el total de la red
Sondeos simplificados (calidades)	pza	única	120	1	4,000	480,000	suponiendo el total cada 5 km
Coefficiente de fricción	km/carril	anual	600	1	850	510,000	evaluación anual
Video deterioro	km/carril	cada 2 años	600	0.5	1,150	345,000	se supone el total de la red carril baja
Inventario de la red vial	km/carril	única	600	1		ejecutado	estudio de movilidad urbana
						<b>3,053,000</b>	1,688,000
<b>4.- OTROS</b>							
Licencia actualización	licencia	c/2 años	1	0.5	30,000	15,000	
Capacitación	curso	anual	1	1	10,000	10,000	
Combustible y reparaciones	mes	permanente	1	12	4,500	54,000	
Papelería	mes	permanente	1	12	3,500	42,000	Descontar en caso de contar con el
Pago de servicios (agua, luz, teléfono, etc.)	lote	permanente	1	12	8,000	96,000	recurso
						<b>217,000</b>	
					<b>TOTAL</b>	<b>5,006,600</b>	Arranque año inicio
<b>Costo inicial</b>							
<b>Costo subsecuente</b>					<b>TOTAL</b>	<b>2,349,000</b>	Años subsecuentes promedio

nota: los costos están estimados en forma paramétrica, pudiendo varir de acuerdo a los precios unitarios de mercado en la zona.

En la tabla anexa se resalta los costos de arranque o año de inicio, donde se reflejan los importes de los diferentes recursos necesarios para la implementación del SAP para implantar el sistema. Así mismo, para los años subsecuentes se estiman los costos paramétricos que se requieren para dar continuidad con las actividades de seguimiento del SAP.

Cabe destacar que el éxito del SAP resultará de la planeación estratégica del Municipio para los años siguientes, siendo un elemento dinámico que requiere de seguimiento, control y recursos, teniendo como producto un ahorro substancial de recursos para el Municipio en general y facilitando la toma de decisiones por parte de las autoridades.