



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS EN LA CONSERVACIÓN
DE CARRETERAS EN MÉXICO

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. JOSÉ GONZÁLEZ BAUTISTA

DIRECTOR DE TESINA: ING. ENRIQUE SAMUEL DAHLHAUS PARKMAN

MÉXICO, D.F.

FEBRERO 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ÍNDICE

1.	Introducción	2
2	Evaluación de Pavimentos	3
2.1	Pavimentos	4
2.1.1	Pavimentos flexibles	4
2.1.2	Pavimentos rígidos.....	5
2.2	Deterioro en pavimentos.....	6
2.2.1	Deterioros en pavimentos flexibles.....	8
2.2.2	Deterioros en pavimentos rígidos.....	10
3	Equipos para la evaluación de pavimentos	11
4	Procedimiento de evaluación.....	23
5	Criterios de rehabilitación y conservación	37
6	Propuestas para una correcta conservación del pavimento.....	43
7	Conclusiones	44
8	Bibliografía	45
9	Anexo.- Tabla de Ilustraciones	46

1. Introducción

El desarrollo económico de un país es su infraestructura, ésta le permitirá competir de manera global con otras naciones. Es así que las carreteras son una parte estratégica de este progreso, ya que por ellas se mueven grandes cantidades de carga comercial y de pasajeros; sin embargo, el simple hecho de construir nueva infraestructura no será suficiente, puesto que se deberá fomentar la inversión en la conservación de los servicios existentes, mediante la aplicación de recursos en tiempo y forma, implementación de diseños acordes a las características del sitio, utilización de materiales que cumplan con las especificaciones de construcción, procedimientos constructivos que cumplan con altas especificaciones, controles de calidad que aseguren el cumplimiento de los proyectos y la aplicación de sistemas de administración mediante los cuales se pueda certificar la eficacia total en la conservación.

La infraestructura carretera de México moviliza la mayor parte de la carga (55% del total) y de las personas (98% del total) que transitan el país. Para atender esta demanda, la red carretera cuenta con 377,660 km de longitud, dividida entre red federal (49,652 km), carreteras alimentadoras estatales (83,982 km), la red rural (169,429 km) y brechas mejoradas (74,596 km)¹

No obstante, la red carretera presenta problemas ligados a su antigua edad, del total de su longitud, el 90% tiene más de 30 años y solo el 10% es menor a 10 años. Aclarando que en un principio los caminos se diseñaban para periodos de tiempo cortos, considerando cargas máximas de 8 y 10 toneladas, estos parámetros se han modificado llegando a tener en la actualidad consideraciones de proyecto de 20 a 30 años y una carga máxima de 14.5 toneladas por lo que esta red acusa problemas muy importantes que trascienden hacia el nivel de servicio que se brinda actualmente al usuario atribuidos principalmente a la edad avanzada de la mayor parte de la infraestructura, lo obsoleto de algunos sistemas de conservación, el incremento de las cargas legales y el bajo nivel del gasto de conservación asignado durante las últimas décadas, en conjunto con la necesidad que tiene el país de contar con un eficiente sistema de carreteras y las limitaciones que la actual crisis impone.

Con el objetivo de mantener una red de carreteras eficiente, la cual no solo comprenda la construcción de nuevas carreteras sino también la conservación de las ya construidas, en esta tesina se compilaron los distintos equipos y métodos de evaluación de pavimentos empleados en la conservación de carreteras en México los cuales ayudan a su desarrollo económico y social, proporcionando una mayor seguridad para el tránsito por carretera así como al progreso regional generando un medioambiente sostenible y sustentable. De igual forma se analizaron los criterios de rehabilitación y conservación de los pavimentos para establecer unas propuestas para llevar a cabo una correcta conservación de los pavimentos en nuestro país.

¹ Diario Oficial de la Federación, Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018, en http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5342547&fecha=29/04/2014

2 Evaluación de Pavimentos

Para los fines específicos de la conservación y rehabilitación de las obras viales, consideradas individualmente o constituyendo una red, la información obtenida mediante un proceso de evaluación es importante, pues permite establecer prioridades, estrategias de conservación y rehabilitación, así como planear la asignación de recursos necesarios para su ejecución, estimando el comportamiento futuro bajo las estrategias consideradas. La información recabada es igualmente importante para verificar y mejorar los criterios de diseño, la bondad de los procedimientos constructivos, la efectividad del control de calidad y anticipar el comportamiento futuro de un pavimento bajo determinadas condiciones de operación, por ejemplo ante un incremento de cargas, mayor afluencia de tránsito, etc.

La evaluación de un pavimento se aplica a un tramo específico de una carretera teniendo como objetivo determinar las condiciones de servicio, de capacidad estructural y de calidad de materiales, mediante equipo especializado y diversos procedimientos, todos estos parámetros nos ayudarán a evaluar su estado de servicio o de funcionamiento².

Por ende, el objetivo fundamental de la auscultación de un pavimento en operación es medir sus condiciones de servicio:

- Superficiales.
- Estructurales

En México, las técnicas y equipos de evaluación son muy variados debido, entre otras cosas, a la importancia que hoy en día se ha dado a la evaluación en nuestro país en cuanto a toma de decisiones y sus repercusiones económicas. Es importante señalar que un gran porcentaje de la red de carreteras en el país fue construida entre las décadas de los setenta y los noventa del siglo pasado, con materiales cuya calidad estaba definida por especificaciones que ahora son obsoletas, lo que ha da como resultado, ante los actuales niveles de tránsito y de camiones pesados que circulan por esta red con muchos años de servicio, que se requiera de grandes inversiones económicas para efectuar su rehabilitación o reconstrucción, utilizando mejores materiales y aplicando nuevas técnicas³.

La evaluación de pavimentos en México hasta finales de los 90's, se realizaba utilizando equipo y herramientas tradicionales, aplicando técnicas y referencias normativas anteriores, pero a partir del año 2000 se utilizan equipos con mejor tecnología y mayor eficiencia, lo cual requirió actualización de la normativa y de las técnicas de rehabilitación, proporcionando una mayor confianza en los

² Careaga Cabra, Jaime. *Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación*. Instituto Tecnológico de la Construcción. México. Tesis. 1997 p.9

³ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.2

diagnósticos del comportamiento de las estructuras de pavimento y en las sus soluciones de conservación.

Según la Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México editada por la Dirección General de Servicios Técnicos, los países de mayor desarrollo tecnológico están aplicando tecnologías que permiten evaluar a nivel de diseño de mezclas, el desempeño y durabilidad de los materiales, probados bajo niveles de esfuerzos más apegados a las condiciones reales en que trabajarán en las carreteras, lo que les permite asegurar mejores comportamientos y niveles de servicio, con la consecuente disminución de los costos de operación.

Lo anterior nos indica que en nuestro país se deberán seguir aplicando los procedimientos y técnicas de evaluación que actualmente se usan pero éstos habrán de ser complementados y adaptados a las nuevas tecnologías a fin de: asegurar una mayor confianza en la capacidad estructural, calidad de los materiales, procedimientos constructivos y acciones de rehabilitación que certifiquen el nivel de servicio y vida útil del pavimento de acuerdo al horizonte del proyecto.

2.1 Pavimentos

Se define a un pavimento como la capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, que reciben de forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas con uniformidad, sin que la capa subrasante se deforme de manera perjudicial para el drenaje superficial, sin que afecte la comodidad y seguridad del usuario.

2.1.1 Pavimentos flexibles

Existen dos tipos principales de pavimento: los flexibles y los rígidos. En los primeros, una carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodaje, las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores se distribuyen por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales; y la carpeta asfáltica se pliega en pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin que su estructura se rompa.

Las capas que comúnmente forman un pavimento flexible son: carpeta asfáltica, base y sub-base (Ilustración 1), las cuales se construyen sobre la capa subrasante.

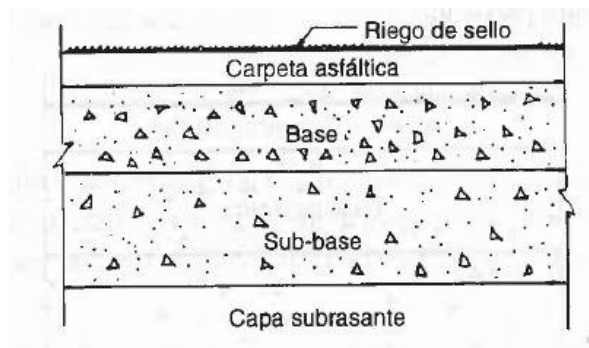


Ilustración 1 Capas que forman en general un pavimento flexible

2.1.2 Pavimentos rígidos

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Aunque en teoría, las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante, es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa.

La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base (Ilustración 2), que se construyen sobre la capa subrasante.

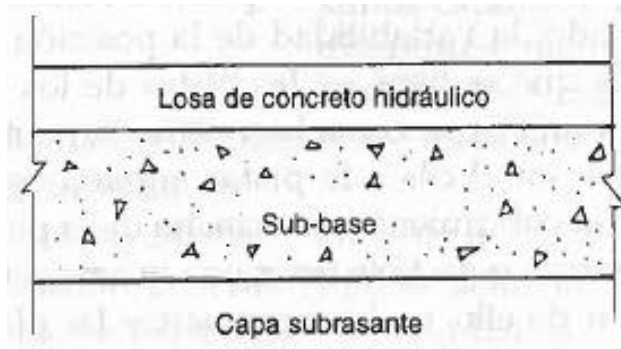


Ilustración 2 Capas que forman un pavimento rígido

La principal diferencia entre los dos tipos de pavimentos, flexibles y rígidos, es la forma en que se distribuye la carga sobre el suelo. El pavimento rígido, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, tiende a distribuir la carga sobre una amplia zona de suelo; por lo tanto, una parte importante de la capacidad de la estructura es suministrada por la propia losa. El principal factor considerado en el diseño de pavimentos rígidos es la resistencia estructural del concreto, por esta razón, existen pequeñas variaciones en la resistencia de la subrasante las cuales tienen poca injerencia en la capacidad estructural del pavimento.

Cabe señalar que esta definición de pavimentos flexibles incluye principalmente a aquellos pavimentos que tienen una superficie de concreto asfáltico en contraste con el pavimento rígido que se compone de concreto elaborado con cemento Portland, estableciéndose de esta forma en un intento de distinguir entre asfalto y concreto ya que los pavimentos de concreto asfáltico pueden poseer una rigidez igual que la de un concreto elaborado con cemento Portland.⁴

⁴ Olivera Bustamante, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Segunda Edición. México. 1999 p.7

2.2 Deterioro en pavimentos

Las estructuras de pavimento se proyectan y construyen para que estén en servicio durante el horizonte de proyecto o vida útil definido de la obra, teniendo como función principal proporcionar al usuario: seguridad, confort y eficiencia a un costo mínimo razonable.

Al estar en operación, una obra se deteriora poco a poco debido a las acciones del tránsito y medio ambiente presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Al principio los deterioros pueden ser pequeños, pero conforme pase el tiempo estos serán más graves y acelerarán la falla del pavimento; por ello, una obra requiere mantenimiento o conservación para, por lo menos, asegurar su vida de proyecto y proporcionar un servicio adecuado. Si esto no fuera así representaría pérdida de patrimonio vial, asignación de recursos cuantiosos, pérdida de competitividad poniendo en riesgo el desarrollo sustentable y sostenible de un país.

Para evaluar el grado de deterioro de un pavimento se tiene que determinar el tipo de falla que éste presenta, pudiendo ser funcional o estructural.

La falla funcional es aquella que presentan los caminos cuando las deformaciones superficiales son mayores a las tolerables, de acuerdo con el tipo de camino que se trate ya que, se puede tener una superficie de rodamiento con deformaciones aceptables para caminos secundarios pero que pueden considerarse inconvenientes para autopistas, presentándose algunos de los siguientes deterioros: ondulaciones longitudinales, deformaciones transversales, textura de la superficie, baches y áreas reparadas, etc.

Para conocer el grado de deterioro que presenta una falla funcional, se deberá conocer el índice de servicio del pavimento mediante un recorrido del tramo calificándolo en una escala del 1 al 5, entre mayor sea el valor de la calificación menores serán los deterioros del camino por lo tanto cuando éste sea de reciente construcción deberá obtener una calificación de 4.0 a 4.5, lo cual disminuirá con el paso del tiempo si no recibe trabajos de conservación llegando a obtener valores de 2.5 a 2 provocando que los usuarios experimenten problemas de seguridad y confortabilidad.

Con el objetivo de conocer cuál es el comportamiento de un pavimento en función del tiempo y del índice de servicio, a continuación se presenta la curva de deterioros típica de las obras viales.⁵

⁵ Olivera Bustamante, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Segunda Edición. México. 1999 p.7

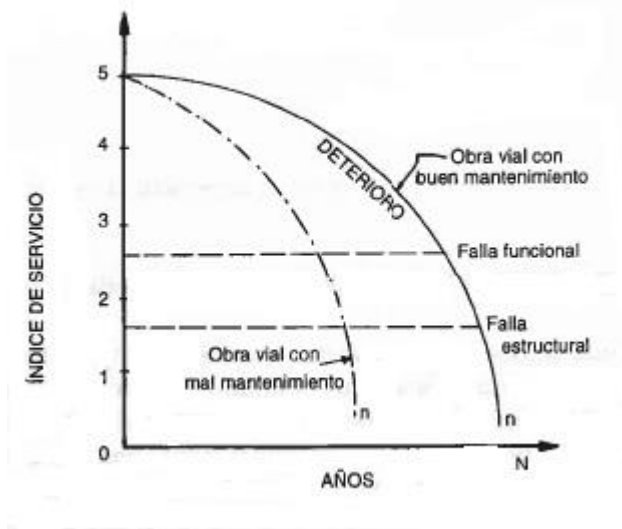


Ilustración 3 Curva de deterioros en las obras viales a través del tiempo

La identificación de una falla funcional se podrá realizar, en ciertos casos de manera rápida de forma visual, mediante personal que cuente con una amplia experiencia en la materia, que definirá el valor del índice de servicio así como el tipo y causa de los deterioros.

Por su parte, la falla estructural es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de éste e implica una destrucción de alguna o algunas capas del pavimento que puede generarse debido a que el tránsito que circula por el pavimento es mayor al calculado en proyecto. En otras ocasiones, puede presentarse prematuramente debiéndose, principalmente a espesores reducidos, materiales de mala calidad que a menudo combinados con un mal drenaje y una baja compactación; lo podemos encontrar de la siguiente manera: grietas en la carpeta en forma de piel de cocodrilo, desprendimiento del pétreo, asentamientos de gran amplitud, calavereo, etc.

Para conocer si un camino presenta una falla estructural, no bastará con realizar una inspección visual como en el caso de la falla funcional, será necesario realizar un reconocimiento completo de la zona fallada mediante estudios y sondeos, recopilación de información referente a la construcción y conservación del camino, etc., a fin de identificar el origen de los deterioros y proponer trabajos de conservación o rehabilitación que prolonguen su vida. Es así que, en función de los registros anuales de los índices de servicio, se elaborará una curva en donde se muestre aproximadamente el tiempo en que la vía llegará a su falla estructural, obteniéndose un punto en donde la estructura requerirá una reconstrucción total⁶. (Ver Ilustración 4)

⁶ Olivera Bustamante, Fernando. *Estructuración de vías terrestres*. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Segunda Edición. México. 1999 p.7

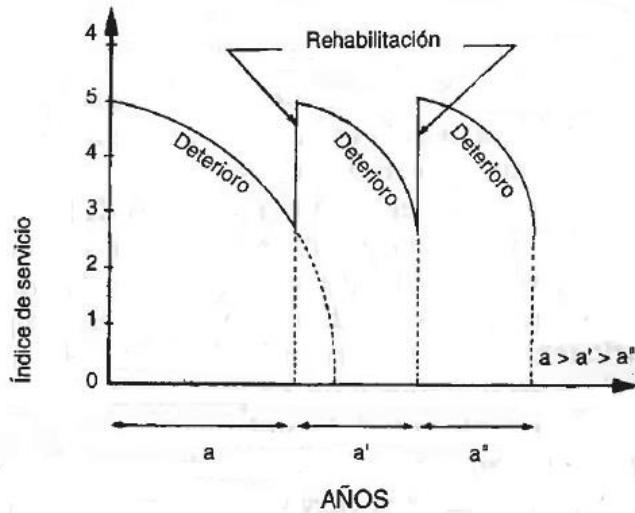


Ilustración 4 Comportamiento de una pavimento debido al efecto de las rehabilitaciones durante su vida de servicio

Cuando en una nueva obra vial no se realiza una correcta proyección del tránsito futuro, se construyen espesores menores y con materiales que no cumplen con los requisitos establecidos en el proyecto la falla estructural se presentará de forma inmediata y sin que se presente la falla funcional.

2.2.1 Deterioros en pavimentos flexibles

Las causas que originan el deterioro en los pavimentos flexibles son: medio ambiente, diseños ineficientes, métodos constructivos deficientes y repetición de cargas.

Un patrón típico del deterioro de los pavimentos flexibles son las roderas, las cuales se desarrollan de forma rápida durante los primeros años de operación y se estabilizan de manera más lenta en los años posteriores, otro factor que se presenta en este tipo de pavimentos es la denominada "piel de cocodrilo" la cual se produce debido a la fatiga que sufre la estructura, principalmente por las repeticiones de carga, es así que entre más repeticiones de carga se realice en el pavimento éste se debilitará más rápidamente.

En lugares donde existe una gran variación de temperaturas, se presentan grietas transversales y longitudinales debido a la expansión y contracción de los materiales asfálticos, cuando una carpeta asfáltica se construye sobre una base estabilizada con cemento Portland generalmente presentaron grietas las cuales, se reflejan en la carpeta generándose así las denominadas grietas de reflexión. Por dichas grietas se infiltra el agua que, junto con la congelación y la repetición de cargas, generan baches en el pavimento.⁷

⁷ Huang H. Yang. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Education, Inc. Second Edition. United States of America. 2004 p.369

Los deterioros que se presentan en los pavimentos flexibles han sido reunidos en cinco grupos, los cuales se enuncian a continuación:

- A. Agrietamiento.
- B. Bache abierto y bache cerrado.
- C. Deformaciones de la superficie.
- D. Defectos Superficiales
- E. Otros deterioros

Estos grupos están integrados, a su vez por subgrupos, los cuales se enlistan en la siguiente tabla, a fin de definir los elementos que los componen, la unidad de medida que se utilizará para evaluarlos y si estos nos ayudarán o no a definir su gravedad.

Tipo de deterioro	Unidad de medida	¿Nivel de severidad definidos?
A. Agrietamiento		
1. Agrietamiento por fatiga	m ²	Si
2. Agrietamiento tipo bloque	m ²	Si
3. Agrietamiento lateral	m	Si
4. Agrietamiento longitudinal en rodada	m	Si
Agrietamiento longitudinal fuera de rodada	m	Si
5. Agrietamiento por reflexión en las juntas		
5.1. Agrietamiento por reflexión transversal	número, m	Si
5.2. Agrietamiento por reflexión longitudinal	m	Si
6. Agrietamiento transversal	número, m	Si
B. Bache abierto y cerrado		
7. Deterioro de bache cerrado y bache abierto	número, m ²	Si
8. Bache abierto	número, m ²	Si
C. Defectos de la superficie		
9. Roderas	mm	No
10. Corrimientos	número, m ²	No
D. Defectos de la superficie		
11. Sangrado	m ²	Si
12. Agregado pulido	m ²	No
13. Desprendimiento	m ²	Si
E. Otros deterioros		
14. Hundimientos carril-acotamiento	mm	No
15. Escurrimiento de agua y bombeo	número, m	No

Ilustración 5 Deterioros en pavimento flexible

2.2.2 Deterioros en pavimentos rígidos

Los deterioros en los pavimentos rígidos se dan fundamentalmente a dos factores principales; el primero es el deterioro o deficiencia que tiene el pavimento por sí mismo, éste deterioro puede llevarlo a la falla en función del clima y los materiales de construcción con los que haya sido elaborado. Otro factor que incide en el deterioro de un pavimento rígido es el que no exista un soporte adecuado por parte de la capa subbase, la cual se coloca por debajo de la losa de concreto, provocando diversos daños como lo puede ser escalonamientos de losa, bombeo, roturas de esquina de losa, etc. Así mismo el deterioro de los pavimentos rígidos es también el resultado de un inadecuado proceso constructivo.

Los deterioros que se presentan en los pavimentos rígidos han sido reunidos en tres grupos, los cuales se enuncian a continuación:

- A. Agrietamiento
- B. Defectos de la superficie
- C. Deterioros diversos

Estos tres grupos también están integrados por subgrupos los cuales se enlistan en la siguiente tabla, que como en la anterior nos ayudará a definir los elementos que los integran, la unidad de medida que se utilizará para evaluarlos y si estos nos permitirán definir su gravedad.

Tipo de deterioro	Unidad de medida	¿Nivel de severidad definidos?
A. Agrietamiento		
1. Rotura de esquina	número	Si
2. Agrietamiento tipo "D"	número, m ²	Si
3. Agrietamiento longitudinal	metros	Si
4. Agrietamiento transversal	número,	Si
Deficiencias de las juntas	metros	
5. Daño del sello de la junta transversal		Si
6. Daño del sello de la junta longitudinal	número	No
7. Desportillamiento de las juntas longitudinales	número,	Si
8. Desportillamiento de las juntas transversales	metros	Si
B. Defectos de la superficie		
9. Agrietamiento tipo mapa	número, m ²	No
10. Escamadura	número, m ²	No
11. Pulimiento de agregado	m ²	No
12. Desprendimientos	número, m ²	No
C. Deterioros diversos		
13. Estallamientos	número	No
14. Escalonamientos de las juntas transversales y grietas	número	No
15. Hundimiento carril-acotamiento	mm	No
16. Separación carril-acotamiento	mm	No

Ilustración 6 Deterioros en pavimento rígido

3 Equipos para la evaluación de pavimentos

En México, durante muchos años se realizó la evaluación de pavimentos mediante equipos y herramientas tradicionales que determinaban resultados de forma puntal pero que ocasionaban molestias a los usuarios de la red. Fue a partir del año 2000 que esto cambio pues se comenzaron a utilizar equipos dotados de mejor tecnología y mayor eficiencia, por lo cual se requirió actualizar la normativa, así como las técnicas de conservación y rehabilitación de los caminos de todo el país.

La evaluación de un pavimento, se puede realizar mediante pruebas de tipo puntal y continuo, siendo estas últimas las que recientemente se han fomentado en nuestro país pues se pueden realizar de forma rápida y a velocidades de operación, obteniendo mayores resultados de la red en poco tiempo sin embargo, en algunas zonas en las cuales se tiene la necesidad de explorar un tramo pequeño, se continúan realizando evaluaciones con equipo tradicional.

A continuación, se presentan los equipos utilizados en la evaluación de pavimentos en México en función del tipo de auscultación a realizar:

Equipo de Alto Rendimiento para el Levantamiento de Deterioros, Índice Internacional de Rugosidad (IRI), Profundidad de Roderas (PR), Macrotextura (MAC).

Las innovaciones tecnológicas en el mundo, han permitido construir equipos muy avanzados para la evaluación de pavimentos que permiten por ejemplo: realizar un levantamiento de las condiciones de la superficie de rodadura, recorriendo un tramo carretero a la velocidad de operación del mismo.

Tal es el caso del equipo denominado: "Gerpho" que obtiene el estado superficial del pavimento a velocidad de operación o se puede utilizar un vehículo configurando con los distintos equipos que existen para la evaluación superficial del pavimento, denominándose vehículo "multifunción" el cual es capaz de obtener levantamiento de deterioros.

Ambos equipos se han comenzando a utilizar en México para proyectos especiales e importantes de carreteras, principalmente para la alimentación de datos de los programas de evaluación integral de las redes a cargo de la SCT.⁸

A continuación se presenta un esquema de los equipos que contienen el denominado equipo "multifunción".

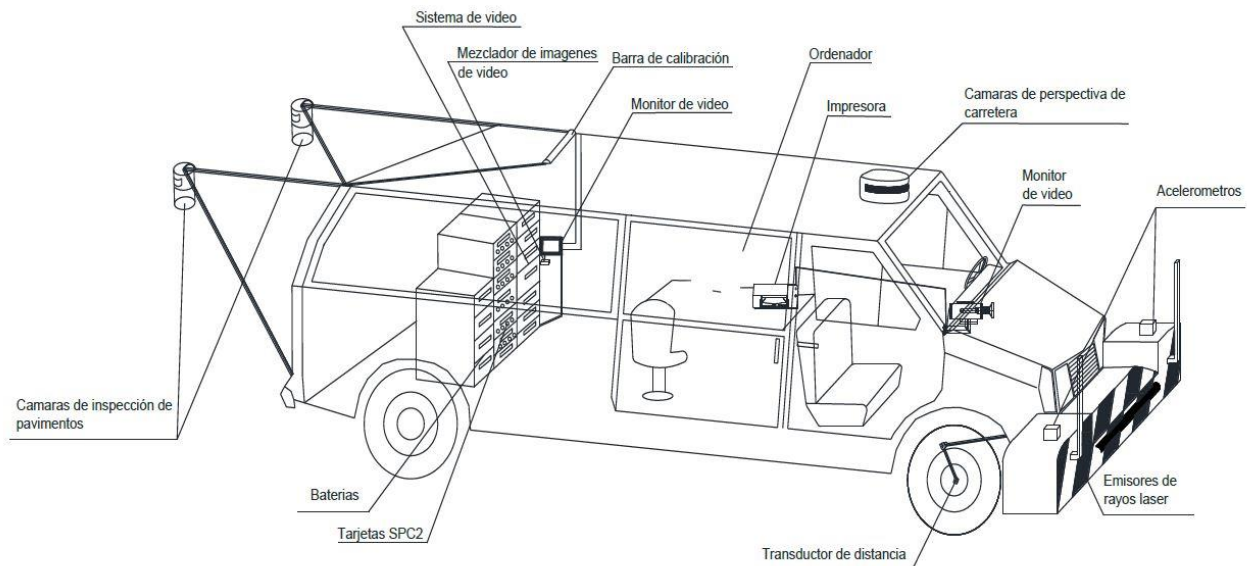


Ilustración 7 Esquema del equipo "multifunción"

8 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.8

Además de recolectar información referente a los deterioros del pavimento, este equipo permite recopilar los datos superficiales del pavimento tales como: Índice Internacional de Rugosidad (IRI), Profundidad de Roderas (PR), Macrotextura (MAC) e integrar una base de datos mediante un sistema que le permite almacenar y procesar en tiempo real la evaluación del pavimento. La recolección de la información se realiza mediante una exploración continua del tramo y a velocidades de operación.

A fin de obtener los parámetros antes mencionados el vehículo está equipado con los instrumentos de medición que cumplen con la normativa vigente y, en su caso, con la calibración por parte de la dependencia correspondiente. Asimismo, es capaz de recopilar los datos a la velocidad de operación de un tramo por evaluar.

Este vehículo "multifunción " se encuentra dotado de un sistema de tecnología láser y/o infrarrojo que ejecuta un escaneo transversal cuasi continuo y genera imágenes digitales en blanco y negro de alta resolución, con base en los cuales se formula el diagnóstico de la patología superficial del pavimento.

Para la evaluación del IRI, el vehículo está equipado con un perfilómetro acoplado a la defensa y cuenta con dispositivos para su auto-calibración, transductores, equipo de cómputo para el procesamiento, registro y almacenamiento de las lecturas procedentes de los transductores. El equipo es de tecnología avanzada y alta productividad por lo que cumple con la Clase 1 de la Norma ASTM E 950-98 método de prueba estándar para medir el perfil longitudinal de superficies recorridas por medio de un acelerómetro con un perfil de referencia inercial establecido.

El equipo con el que estará provisto el vehículo "multifunción" para la determinación de la Macrotextura tiene un desempeño y características que cumplen con lo estipulado en la norma ASTM E 845-09: "Characterization of pavement texture by use of surface profiles -Part 1: Determination of Mean Profile Depth".

En lo que respecta a la identificación y medición de la Profundidad de Roderas (PR), se utiliza un sistema de scanner transversal láser, capaz de detectar y caracterizar la deformación de la sección transversal en la amplitud del ancho de un carril de tal forma, que se puede identificar tanto la profundidad como el ancho de las roderas, la profundidad máxima de rodera de cada sección. El equipo cuenta con dos emisores de rayo láser con amplitud máxima de medición de 4 m por carril, resolución transversal compuesta del orden de 1,000 a 1,400 puntos o lecturas, precisión para la profundidad (vertical) de roderas 0.1 mm y capacidad para recabar hasta 30 muestras por segundo a una velocidad de operación de hasta 100 km/hr.

Además, el vehículo está dotado de un acelerómetro de alta calidad que cumple con los requerimientos de Clase 1 especificados y cuenta con 5 transductores de desplazamiento con

tecnología a base de rayo láser. El transductor de distancia es del tipo que produce una serie de pulsos, cuyos intervalos representan una distancia a lo largo de la superficie de rodamiento.⁹



Ilustración 8 Información obtenida al realiza una evaluación con el equipo multifunción

Como ya se mencionó a lo largo de este texto, la evaluación de pavimentos estará en función de la magnitud de los trabajos a evaluar es decir, si se requieren evaluaciones de toda una red se utilizarán equipos que proporcionen resultados de forma casi inmediata para que se realicen en el menor tiempo posible (como lo es el caso del vehículo "multifunción"). Sin embargo, si se trata de evaluar tramos cortos, se pueden ocupar equipos que proporcionen de manera puntal los resultados; A continuación se presentan los equipos tradicionales que se utilizan en México para la evaluación de la profundidad de rodera y regularidad superficial.

9 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.9

Equipos tradicionales para la evaluación de profundidad de rodera y regularidad superficial

Cuando se deben realizar trabajos de evaluación de profundidad de roderas en tramos cortos de carretera en México se utiliza la denominada "regla de tres metros" la cual, es una regla metálica de aluminio con longitud de tres metros, que se coloca en el sentido transversal de la carretera, midiendo la depresión en la zona de mayor profundidad, con un micrómetro de vernier, en centímetros con aproximación de un milímetro.¹⁰

Este equipo es bastante sencillo de operar, aunque los resultados que se obtienen son de forma puntal la realización de estos trabajos se hace de manera más lenta.



Ilustración 9 Medición de la profundidad de rodera mediante la regla de tres metros

Con las mediciones obtenidas en el levantamiento de cada una de las lecturas registradas, se podrá evaluar si el pavimento ha fallado; para ello, en el país se ha impuesto un valor máximo de rodera permitido de 2.5 cm.

Para el caso de la evaluación de la regularidad superficial de un pavimento, en México, se puede realizar con un equipo llamado: "Perfilógrafo Longitudinal de California", el cual consiste en una estructura de aluminio de longitud considerable, apoyada en los extremos por un dispositivo de ruedas, para lograr un efecto de "puente". Al centro de la estructura se cuenta con una rueda de "bicicleta" conectada a un módulo de cómputo, con los cuales se miden y acumulan las depresiones que presente el pavimento por arriba y abajo de una franja de tolerancia.

¹⁰ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.9

En la Ilustración 10 se muestra el Perfilógrafo Longitudinal de California, que es el tipo de Perfilógrafo que se adoptó para México, entre otros tipos que se disponen en el medio técnico internacional de carreteras. Por otro lado en la Ilustración 11 se presenta el criterio de medición del Perfilógrafo, basado en la acumulación de depresiones por arriba y debajo de una franja de tolerancia establecida por convención, obteniéndose valores en "mm/km".¹¹



Ilustración 10 Perfilógrafo Longitudinal de California

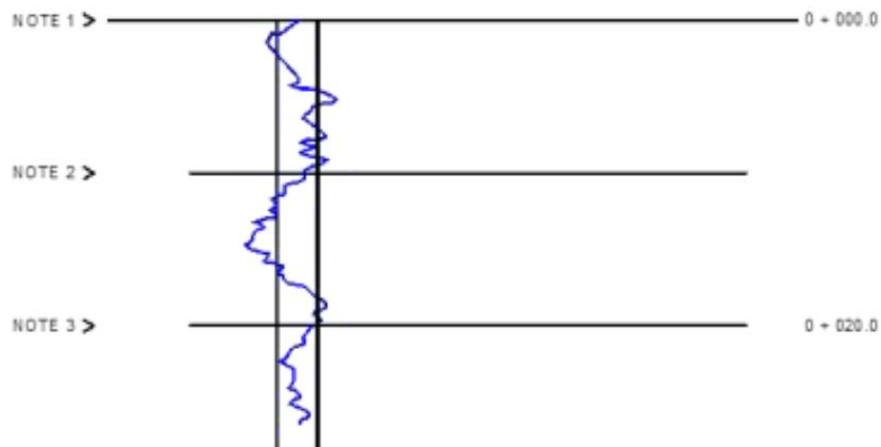


Ilustración 11 Resultados de la evaluación superficial de un pavimento mediante Perfilógrafo Longitudinal California

11 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.10

Equipos para la evaluación del coeficiente de fricción.

La resistencia a la fricción se determina, en forma directa, midiendo el rozamiento entre la superficie del pavimento mojado por considerarse la condición más crítica (debido al reconocimiento de la importante influencia que genera el agua en la adherencia).

Las mediciones se realizan con equipos que evalúan de forma continua un pavimento o con aquellos que determinan dicho coeficiente de forma puntual. Para el primer caso se deberá contar con un equipo de rueda oblicua. El equipo que comúnmente se utiliza en México para la realización de estos trabajos continuos es el Mu-Meter, que mide la resistencia a la fricción (μ), generando un parámetro numérico de la resistencia al deslizamiento de los neumáticos sobre el pavimento, mientras que para trabajos puntuales se utiliza el Péndulo Ingles (TRRL) o el círculo de arena.

El Mu-Meter, es un equipo que tiene dos ruedas de ensayo lisas, cada una montada a $7.5^\circ \pm 0.75^\circ$ hacia el exterior de la línea central del mismo. Las ruedas de ensayo tienen entonces un desplazamiento lateral restringido, por lo que la fuerza de fricción lateral es transmitida a la celda de carga montada en el marco que evita su separación. El coeficiente de fricción lateral dependerá de la fuerza entre las ruedas de ensayo que es función de la fricción entre los neumáticos y la superficie del pavimento. El ensayo se debe realizar con la superficie en condición húmeda y a velocidad constante de $75\text{km/h} \pm 0.8 \text{ km/h}$ de acuerdo a la normativa SCT.



Ilustración 12 Evaluación del coeficiente de fricción mediante el equipo Mu-Meter

Otra forma de medir el coeficiente de fricción pero de manera puntal es mediante el dispositivo denominado "Péndulo Inglés (TRRL)". Este equipo se usa para evaluar tramos de carretera cortos y en el laboratorio se emplea para medir la pérdida de fricción en el aparato de pulimento acelerado, para valorar el efecto de pulido de materiales susceptibles de degradarse a corto plazo.

El ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo de características conocidas provisto en su extremo de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza, con una presión determinada, sobre la superficie a ensayar y en una longitud fija. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.¹²



Ilustración 13 Péndulo de fricción británico

Otra prueba para conocer el coeficiente de fricción de un pavimento de forma puntal es el ensaye de la prueba del círculo de arena el cual se adecua para pruebas de campo y determina el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos. Cuando se utiliza en conjunto con otras pruebas físicas, el espesor de la macrotextura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. Pero al ser usado con otras pruebas, debe tenerse cuidado de que todas ellas se apliquen al mismo lugar.

12 Garnica Anguas, Paul. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 170. Querétaro.2002 p.20

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales y agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales o de servicio normales.¹³

Además del Mu-Meter, existen distintos equipos y procedimientos para determinar el coeficiente de fricción sin embargo, estos no se encuentran dentro de la normativa SCT como: el Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine SCRIM, Dynamic Friction Tester DFT Y EL Grip Tester.

Equipos para determinar la Capacidad Estructural de un Pavimento en el Sitio

Para evaluar la capacidad estructural de un pavimento en México se utiliza el "Deflectómetro de Impacto", FWD (Falling Weight Deflectometer) o HWD (Heavy Weight Deflectometer), el primer modelo consta de una placa de 300 mm y se usa para realizar mediciones sobre autopistas mientras que el segundo cuenta con una placa de 450 mm y se emplea en la evaluación sobre aeropistas.

En la actualidad, el Deflectómetro de Impacto se emplea en la evaluación de pavimentos ya que es eficiente, económica y no afecta la estructura del pavimento. Este sistema define la capacidad estructural del pavimento a través de la "cuenca" de deflexiones generada mediante la puesta en marcha del dispositivo que permite levantar masas determinadas y soltarlas en caída libre, generando una onda por el impacto que es transmitida al pavimento. La placa de carga, en la parte inferior del sistema, es capaz de distribuir uniformemente la carga sobre la superficie del pavimento; además, permite la medición de las cargas y esfuerzos aplicados sobre la superficie y debe ser resistente al agua y a los impactos durante el desarrollo de los trabajos.



Ilustración 14 Deflectómetro de impacto HWD

13 Garnica Anguas, Paul. *Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México*. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 170. Querétaro.2002 p.17

El Deflectómetro cuenta con transductores de deflexión que miden el desplazamiento vertical máximo, para cada punto del pavimento evaluado, obteniendo así la cuenca de deflexiones. El número de transductores o geófonos depende del tipo de prueba que se realice y del tipo de estudio en el pavimento.

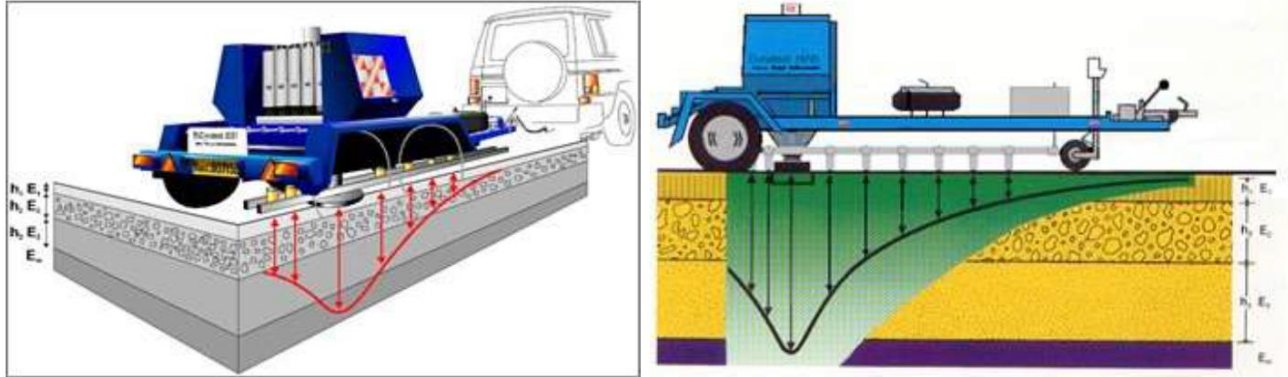


Ilustración 15 Cortes esquemáticos de las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto

Los impactos que se aplican, producen esfuerzos sobre el pavimento que simulan a los que son transmitidos por el tránsito, pudiéndose adoptar el esfuerzo producido por un eje equivalente.

El procedimiento de evaluación depende de las condiciones específicas del pavimento y de la longitud por estudiar; por ejemplo, para estudios de rehabilitación de carreteras, las mediciones se realizan a intervalos desde 50 hasta 200 m, mientras que para una evaluación de red de carreteras, pueden ir desde 500 m hasta 5 km, dependiendo de la longitud por evaluar.¹⁴

La utilización del deflectómetro de impacto presenta algunas limitaciones para la medición de deflexiones, siendo la más importante la pendiente longitudinal ya que el equipo no puede realizar mediciones en pendientes mayores del 5 %.

Los resultados obtenidos producto de este ensayo son las deflexiones alcanzadas tanto en la placa de impacto como en los geófonos ubicados a determinadas distancias, para registrar la respuesta de disipación de la carga en la profundidad.

A través de la distancia de separación entre los geófonos, se define la capacidad estructural del pavimento, resaltándose que el nivel de deflexiones y la pendiente de la cuenca de deflexión indica la resistencia del pavimento.

14 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.16

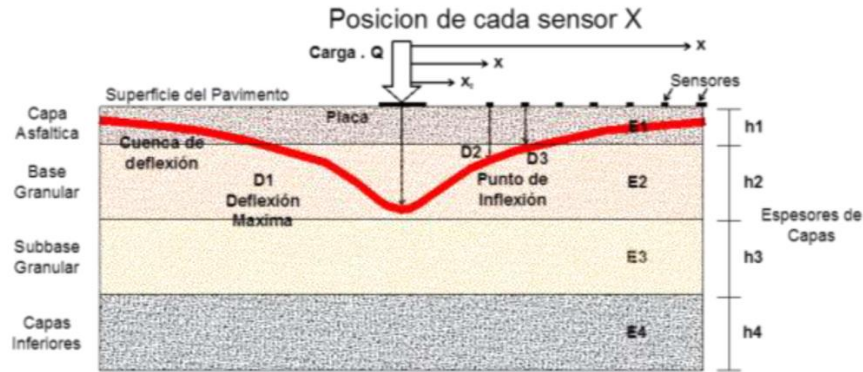


Ilustración 16 Cuenca típica de deflexiones en la evaluación del pavimento mediante deflectómetro de impacto

Una vez realizado el ensayo con ayuda de programas de cómputo que analizan las deflexiones obtenidas y con base en los espesores del pavimento, se definen los módulos de elasticidad de los materiales en cada capa del pavimento. A esta forma de análisis se le denomina "retrocálculo".

El "retrocálculo" es una solución inversa del problema del cálculo de las deflexiones de superficie en una estructura de pavimento para la cual: la carga, las propiedades elásticas de los materiales y el espesor de las capas se conocen.

El principio de la técnica de retrocálculo es que un conjunto inicial de valores característicos del módulo de elasticidad de las capas se ajusta continuamente hasta la cuenca de deflexión estimada, para que se aproxime lo suficiente a la cuenca de deflexión medida

Existen diversos programas con los cuales se puede realizar el proceso de "retrocálculo", como el ELMOD6 (Evaluation of Layer Moduli and Overall Design) creado por la empresa Dynatest. Fundamentalmente este programa se basa en los modelos de un pavimento con un sistema de capas elásticas usando la solución de las ecuaciones de Odemark-Boussinesq, que incorpora soluciones para materiales con propiedades no lineales (comúnmente exhibidos en sub-rasantes compuestas de materiales cohesivos)

En la ilustración 17, se muestra el rango de valores típicos de módulo elástico que es posible obtener con la aplicación del Deflectómetro de Impacto "FWD", para cada una de las capas del pavimento y de la capa sub-rasante.

Material	Módulos (Ksi MPA)
Bituminosas a 68° F (20 °C)	400 - 1000 (3,800 - 7,000)
Concreto delgado	1,500 a 2500 (8,000 - 1,500)
PCC	3,000 - 600 (20,000 - 40,000)
Base Granular / Subbase	15 - 150 (100 - 1,000)
Subrasante	5 - 50 (30-300)

Ilustración 17 Rango de valores típicos de módulo elástico

Además del deflectómetro de impacto, en México, se ha utilizado por muchos años para la evaluación estructural de un pavimento la herramienta denominada Viga Benkelman, la cual se coloca en la superficie de un pavimento flexible y se mide la recuperación elástica (deflexión) de la estructura, por efecto de la aplicación de una carga en un eje tándem de 8.2 ton cuando posteriormente se retira del lugar de medición.

Este aparato consta de una estructura de aluminio que se coloca en el pavimento, con un brazo que se extiende y cuyo extremo se ubica entre las ruedas traseras de un vehículo con eje tándem y peso de 8.2 ton.

La viga tiene una articulación que permite una acción de pivote con el brazo extendido y cuenta con un medidor de deformación con el cual se determina la deflexión del pavimento, cuando las llantas se retiran del extremo del brazo. Adicionalmente, se mide la temperatura en la superficie del pavimento, para efectuar una corrección por temperatura en el valor obtenido.¹⁵



Ilustración 18 Evaluación estructural de un pavimento flexible mediante la Viga Benkelman

15 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.14

4 Procedimiento de evaluación

La evaluación de un pavimento tanto en nuestro país como a nivel mundial se realiza para obtener una serie de indicadores de servicio, a fin de "alimentar" un Sistema de Gestión que utilice una entidad privada o gubernamental para administrar una red, con el objetivo de identificar los trabajos que requieren atención inmediata, así como la programación de recursos.

Cuando la evaluación de un pavimento se realiza en un tramo específico se revisan sus condiciones de servicio y su capacidad estructural, para formular medidas de conservación que aumenten su nivel de servicio o corrijan alguna deficiencia.

Los principales indicadores del estado de un pavimento son: capacidad estructural, comportamiento, deterioro, fricción, costos de mantenimiento y costos de operación, cada uno de estos indicadores se comporta de manera diferente por lo que cada uno de ellos alcanza un nivel de rechazo distinto respecto al tiempo, siendo la rehabilitación el factor común que ayudará al pavimento a incrementar el ciclo de vida de la estructura, durante la vida de diseño del pavimento estos factores alcanzarán más de una vez niveles de rechazo, requiriéndose programar diversas acciones de rehabilitación que ayuden al pavimento a seguir prestando un servicio cómodo para el usuario.¹⁶

Lo anterior se puede apreciar en las siguientes gráficas:

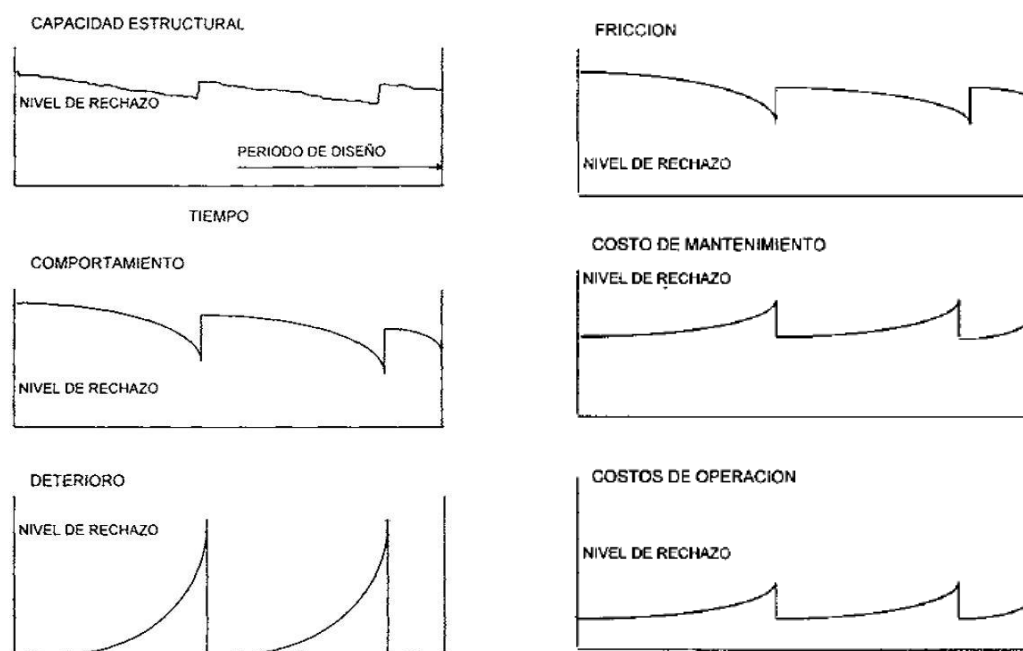


Ilustración 19 Principales parámetros indicadores del comportamiento del estado de un pavimento

¹⁶ Careaga Cabra, Jaime. *Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación*. Instituto Tecnológico de la Construcción. México. Tesis. 1997 p.11, 12.

Por lo tanto, la evaluación de un pavimento consiste en la medición de los indicadores antes mencionados los cuales deben realizarse de forma periódica con el objeto de reunir la información necesaria que ayude a realizar las siguientes acciones:

1. Recabar información necesaria de la estructura de pavimento con la finalidad de saber cuál es su estado y si está cumpliendo con los criterios diseño en base a los que fue proyectado.
2. Pronosticar el comportamiento futuro del pavimento, con el objetivo de programar y las acciones de conservación y rehabilitación que ayuden a prolongar su vida útil.
3. Adquirir información que permita evaluar y mejorar las técnicas de conservación y rehabilitación presentes y futuras.
4. En el caso de que la evaluación se haga para una red, se deberá reunir información que ayude a su actualización y mejoramiento de los programas de conservación y rehabilitación.

A continuación se describen, de manera breve, los procedimientos y criterios que usualmente se aplican en México para la evaluación de pavimentos, según la Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México editada por la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Evaluación Funcional de los pavimentos.

Índice de Servicio Actual (ISA)

El concepto de Índice de Servicio Actual o "Serviciabilidad" de un pavimento fue introducido por la American Association of State Highway Officials (AASHO) en el año de 1961, a partir de los resultados obtenidos de las investigación realizadas en los tramos de pruebas construidos por dicho organismo con el objetivo de conocer en escala real el comportamiento de los pavimentos.

La metodología empleada para la evaluación del ISA, consiste en reunir a un grupo de personas que calificarán de acuerdo a su juicio el grado de confort y seguridad que perciben al transitar por un camino, para ello el grupo deberá recorrer a la velocidad de operación y en un mismo tipo de vehículo, el tramo a evaluar, anotando su calificación por cada kilómetro recorrido, conforme la escala que se indica a continuación:

Calificación	Nivel de Servicio
5	Muy bueno
4	Bueno
3	Regular
2	Malo
1	Muy malo
0	Intransitable

Ilustración 20 Escala de calificación del índice de servicio actual

Cada miembro del grupo deberá recorrer por separado el tramo, con la finalidad de que cada uno emita su calificación, sin dejarse influenciar por los demás evaluadores. Una vez que todo el grupo haya emitido su calificación, éstas se deberán promediar, obteniéndose el Índice de Servicio Actual.

Esta técnica de evaluación de la superficie de las carreteras se utilizó por varios años en nuestro país, sin embargo, en la actualidad se encuentra en desuso debido a que este Índice se obtiene de manera subjetiva.

Fallas o Deterioros

Para evaluar las fallas de un pavimento de manera visual, se deberá realizar un levantamiento de los deterioros que presente la superficie de rodadura mediante recorridos a pie para revisar kilómetro por kilómetro la carretera en estudio.

Como ya se mencionó, a lo largo de este documento, las fallas pueden deberse a diversas causas siendo las más comunes las de tipo funcional y estructural, éstas se encuentran en función del clima, el drenaje, la calidad de los materiales y procedimientos de construcción con los que fueron ejecutados.

Durante la inspección del tramo a evaluar se deberá definir el tipo de falla que se presenta en el pavimento así como el origen de sus deterioros, calificándose conforme al grado de deterioro observado y determinándose el porcentaje de área dañada, con relación al área total del pavimento, anotando los resultados en un Formato Tipo que estará en función del tipo de pavimento a inspeccionar, en la ilustración 21 se muestra un formato para el levantamiento de daños en un pavimento flexible.

Como se observa en dicha ilustración, los deterioros se agrupan de acuerdo a lo indicado en la ilustración 5, para el caso de evaluar un pavimento hidráulico se deberá seguir la estructura de la ilustración 6.

HOJA 1	No. Carretera _____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS	Nombre _____
	Tramo _____
	Sección _____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA SUPERFICIES CON PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO	
FECHA DEL LEVANTAMIENTO (DIA/MES/AÑO) _____	
CALIFICADORES (Iniciales) _____	
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO - Antes _____ °C después _____ °C	
FOTOGRAFIAS, VIDEO O AMBOS (F, V, A) _____	
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD
	BAJO MODERADO ALTO
AGRIETAMIENTO	
1. AGRIETAMIENTO POR FATIGA (metros cuadrados)	_____
2. AGRIETAMIENTO TIPO BLOQUE (metros cuadrados)	_____
3. AGRIETAMIENTO LATERAL (metros)	_____
4. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL	
4a. Rodada Longitud sellada (metros)	_____
4b. Fura de la rodada Longitud sellada (metros)	_____
HOJA 2	No. Carretera _____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS	Nombre _____
	Tramo _____
	Sección _____
LEVANTAMIENTO DE DETERIOROS PARA SUPERFICIES CON PAVIMENTO DE CONCRETO ASFALTICO	
FECHA DEL LEVANTAMIENTO (DIA/MES/AÑO) _____	
CALIFICADORES (Iniciales) _____	
TEMPERATURA DEL PAVIMENTO - Antes _____ °C después _____ °C	
FOTOGRAFIAS, VIDEO O AMBOS (F, V, A) _____	
TIPO DE DETERIORO	NIVEL DE SEVERIDAD
	BAJO MODERADO ALTO
DEFORMACIONES DE LA SUPERFICIE	
9. RODERAS - REFERASE A LA HOJA 3	
10. DESPLAZAMIENTO (Número) (metros cuadrados)	_____
DEFECTOS DE LA SUPERFICIE	
11. SANGRADO (metros cuadrados)	_____
12. AGREGADO PULIDO (metros cuadrados)	_____
13. DESPHENUMIENTO (metros cuadrados)	_____

Ilustración 21 Ejemplo de un formato tipo para el levantamiento de deterioros de pavimento flexible

La severidad de los daños se clasifica en tres niveles: bajo, moderado y alto, de acuerdo a la magnitud de los deterioros observados, asimismo se debe definir la extensión que abarca cada daño, según la unidad de medición que se haya determinado para cada deterioro, los parámetros de daños y la calificación se puede determinar utilizando cualquiera de los distintos catálogos de fallas en pavimentos que existen como el catálogo "DISTRESS IDENTIFICATION MANUAL for the Long-Term Pavement Performance Program" de la FHWA de los EUA., el catálogo de fallas de pavimentos elaborado por la Dirección General de Conservación de Obras Públicas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en 1984, el catálogo de deterioros en pavimentos flexibles de carreteras mexicanas elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte en 1991, y los catálogos de deterioros de pavimentos flexibles y rígidos elaborados por el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica en 2002, entre otros.

Profundidad de Rodera (PR)

Para medir la profundidad de la deformación permanente o "rodera" en México, se utiliza una regla metálica de aluminio con longitud de tres metros que se coloca en sentido transversal de la carretera, midiendo la profundidad de la rodera en la zona de mayor profundidad, con un micrómetro de vernier, en centímetros con aproximación de un milímetro.

Cuando se requieren evaluar longitudes de carretera mayores como las de una red de carreteras, se utiliza un Perfilógrafo transversal láser, montado en un vehículo del tipo "multifunción" que apoyado con un sistema de cómputo, puede obtener información continua en recorridos que se realizan a la velocidad de operación de la carretera sin afectación al tráfico.

Para las carreteras en nuestro país; se han determinado de acuerdo con las hipótesis de los métodos de diseño, que el valor máximo de rodera utilizado para establecer que el pavimento ha fallado es de 2.5 cm.

Regularidad Superficial (IRI)

El confort al transitar por una superficie de rodadura se analiza determinando la regularidad superficial de un pavimento, que tiene que ver con las irregularidades verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro, con respecto a un plano horizontal en un pavimento.

Los factores principales que contribuyen al deterioro de la superficie de rodamiento de un pavimento dañando la regularidad de un pavimento son:

1. Procedimiento constructivo
2. Cargas vehiculares

En ocasiones, dichas irregularidades son una combinación de ambos factores; así por ejemplo, las diferentes capas que constituyen un pavimento suelen presentar afectaciones debidas a asentamientos o acomodados de los materiales que las constituyen y son, en función de las cargas que circulan sobre el pavimento. También, pueden tener su origen en un deficiente proceso constructivo, la regularidad superficial se define normalmente, por un índice que se refiere a una determinada longitud de carretera.

En el pasado, el equipo y método más utilizado para cuantificar la regularidad de un perfil había sido una regla de 3 m que permitía medir las irregularidades en el punto medio de la regla respecto a los dos extremos. En la actualidad, se utilizan equipos más modernos, tales como el perfilógrafo longitudinal que mediante un sistema gráfico o computarizado, determina la magnitud de las irregularidades en el 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 americano), que actualmente se usa en nuestro país. Todos ellos se caracterizan por desplazarse a velocidades de operación de los demás vehículos en las carreteras, no interfiriendo con el flujo vehicular; las velocidades de operación van desde los 20 hasta los 80 km/h.

Estos equipos, determinan la regularidad superficial en base a la metodología fijada por el Banco Mundial, el cual propuso el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) basado 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. El propósito de este sistema es analizar la red por segmentos de 1 km y, establecer sus características de regularidad superficial realizando la medición del IRI para cada segmento.

En este caso, se decide en principio un valor límite de IRI igual a 3.5 m/km, de acuerdo con lo recomendado por el Banco Mundial, sin embargo, debe mencionarse que dicho valor de umbral en México se restringe a un valor de 2.8 m/km.



Ilustración 22 Escala del IRI, según el Banco Mundial

Resistencia al Derrapamiento (CF)

La resistencia al derrapamiento o el coeficiente de fricción se determina en forma directa, midiendo la fricción entre la superficie del pavimento mojado por considerarse la condición más crítica (debido al reconocimiento de la importante influencia que genera el agua en la adherencia), y una llanta de dimensiones y dureza especiales.¹⁷

El coeficiente de fricción es un índice que contribuye a incrementar la seguridad vial en las carreteras, ya que en función de los resultados de su evaluación, se determinan acciones de corrección y mejoramiento de la infraestructura vial.

Existen distintos equipos y procedimientos de ensayos para determinar la resistencia al deslizamiento, dentro de los más conocidos, a nivel internacional, se encuentran: el SCRIM, el Mu-Meter, el DFT y el Grip Tester, para mediciones continuas de alto rendimiento, mientras que para mediciones puntuales se utiliza el Péndulo Inglés (TRRL).

El coeficiente de fricción es usado, principalmente, en la aplicación de Sistemas de Gestión de Pavimentos, en evaluación de la superficie de rodadura para definir la conservación de carreteras, así como para la aceptación de capas asfálticas y de concreto hidráulico recién construidas.

¹⁷ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.11, 12

En la normativa SCT se indica un valor mínimo de coeficiente de fricción de 0.6, determinado a una velocidad de operación del equipo de 75 km/h, en condiciones de pavimento húmedo, para aceptación y pago de las capas construidas, aunque en otros países la velocidad de operación del equipo es de 65 km/h.¹⁸

Microtextura y Macrotextura

La Microtextura (textura del agregado) corresponde a la textura superficial o irregularidades propias de la superficie de las partículas del material pétreo, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulido que afectan a la adherencia.

La magnitud de la Microtextura depende de la rugosidad inicial en la superficie del agregado y de la capacidad del agregado, de acuerdo a sus características mineralógicas, de mantener su rugosidad contra el pulimento debido al paso repetido de vehículos, observándose que en agregados calizos el problema de pulimento es más notable que para agregados de origen volcánico.

Por otra parte, la Macrotextura (textura del camino) se refiere a la textura superficial del pavimento, proveniente del efecto conjunto de las partículas de los agregados pétreos que sobresalen de la superficie. La Macrotextura inicial está determinada por el tamaño, forma y granulometría del agregado usado, además de las técnicas de construcción empleadas en la colocación de la superficie de rodamiento del pavimento.

La Macrotextura es importante para proporcionar canales de salida de agua en la interacción neumático-pavimento, evitando de esta forma que cause el efecto llamado "acuaplaneo", además de que mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento, al reducir las proyecciones del agua y producir una reflexión difusa.

Se presenta en dos formas:

1. Macrotextura Positiva, que es típicamente la que se obtiene a través de los tratamientos superficiales (riegos de sello).
2. Macrotextura Negativa, que se obtiene con la aplicación de las mezclas drenantes. (tipo CASAA y SMA).¹⁹

18 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.12

19 Ídem.

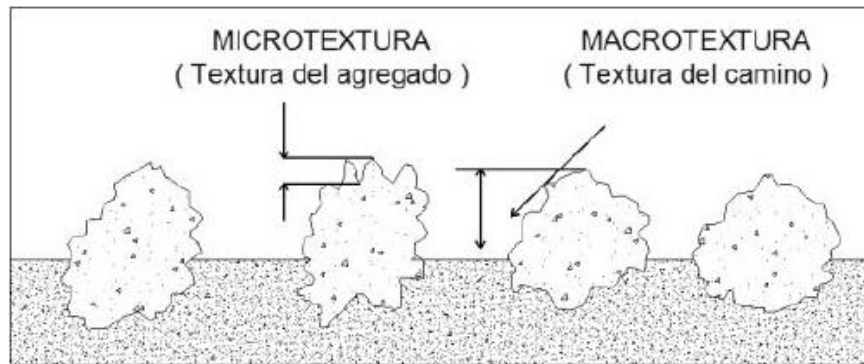


Ilustración 23 Esquema de las condiciones de micro y macro textura de un pavimento asfáltico

Ambas ofrecen, en diferente grado, las ventajas mencionadas; en cambio, son muy diferentes en lo referente al ruido. La Macrotextura positiva aumenta el ruido del paso de vehículos, mientras que las mezclas drenantes (Macrotextura Negativa) llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en el contacto rueda-pavimento, sino también el producido por el motor, por absorción acústica.

La Microtextura se evalúa a través del coeficiente de fricción aplicando el Mu-Meter, el Péndulo Inglés u otros equipos ya comentados, mientras que la Macrotextura puede ser evaluada a través de la prueba del círculo de arena (mancha de arena).²⁰

Evaluación Estructural de los pavimentos.

La evaluación estructural de un pavimento se puede realizar mediante una inspección destructiva y una no destructiva, la primera representa la exploración de la estructura de pavimento mediante sondeos lo cual significa la destrucción del pavimento; mientras que la evaluación no destructiva se realiza mediante equipo de auscultación capaces de evaluar las respuestas de una estructura de pavimento frente a una carga y verificando las características de los materiales que componen las capas de los pavimentos.

En México, durante muchos años, se ha utilizado un dispositivo denominado "Viga Benkelman", que determina la capacidad estructural de un pavimento en el campo, determinándose, en la superficie de un pavimento flexible, la recuperación elástica (deflexión) de la estructura por efecto de la aplicación de una carga en un eje tándem de 8.2 ton; cuando posteriormente se retira del lugar de medición.

La Viga Benkelman es una estructura de aluminio que se coloca en el pavimento, con un brazo que se extiende y cuyo extremo se ubica entre las ruedas traseras de un vehículo con eje tándem y peso de 8.2 ton, este dispositivo cuenta con una articulación que permite una acción de pivote con el brazo extendido y cuenta con un medidor de deformación, con el cual se determina la deflexión del pavimento, cuando las llantas se retiran del extremo del brazo. Adicionalmente se mide la

²⁰ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.13

temperatura en la superficie del pavimento, para efectuar una corrección por temperatura en el valor obtenido.

La determinación de deflexiones generalmente se realiza a cada 20 m, en la rodada derecha del carril de la carretera, cubriendo un tramo de prueba de 500 m de longitud. Las deflexiones obtenidas, se manejan estadísticamente para obtener su valor promedio y su desviación estándar, con estos valores se determina la "deflexión característica" a través de una fórmula de inferencia estadística.

En una evaluación con Viga Benkelman se acostumbra efectuar un tramo de prueba por cada cinco kilómetros o menos, si en la detección de deterioros se delimita un tramo homogéneo menor.

Los métodos de análisis por deflexiones con Viga Benkelman aplicables en México, han sido: el del Instituto del Asfalto y el del Estado de California, ambos de los EUA, en los que también es necesario realizar el análisis de tránsito que pasa por la carretera en estudio.²¹

Una alternativa para evaluar la capacidad estructural del pavimento en el sitio, es el "Deflectómetro de Impacto", FWD (Falling Weight Deflectometer) o HWD (Heavy Weight Deflectometer), en el siguiente capítulo se describirán más a detalle.

El procedimiento de evaluación de este equipo depende de las condiciones específicas del pavimento y de la longitud por estudiar; por ejemplo, para estudios de rehabilitación de carreteras, las mediciones se realizan a intervalos desde 50 hasta 200 m, mientras que para una evaluación de red de carreteras, pueden ir desde 500 m hasta 5 km, dependiendo de la longitud por evaluar.²²

Determinación de la Estructura de Pavimento

Ejecución de Sondeos

Tradicionalmente se realizan sondeos de exploración directa para medir los espesores de las capas en la estructura del pavimento, determinar en cada capa su grado de compactación y la humedad existente, así como recabar muestras que posteriormente son analizadas en el laboratorio para conocer sus propiedades mecánicas y características de calidad, para deducir de esta información las características estructurales.

Es importante señalar que este procedimiento generalmente resulta costoso, requiere de un tiempo considerable y es de carácter destructivo. Además es importante considerar que se requiere cerrar un carril de la carretera en operación para realizar este trabajo, colocar bandereros y señalamiento de protección para evitar accidentes.

21 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.14

22 Ídem

Por ello, es común que en la evaluación de la estructura del pavimento mediante sondeos a cielo abierto, se utilice el criterio de realizar un sondeo a cada kilómetro, alternando los sondeos en el carril derecho de un sentido y otro de la circulación. Adicionalmente se intercala, entre sondeo y sondeo, la realización de calas en la orilla de la capa asfáltica, para determinar los espesores de la estructura del pavimento. De esta forma se logra contar con datos de los espesores de la estructura a cada 500 m.

Generalmente el procedimiento para la ejecución de un sondeo en pavimentos, es el siguiente:

1. Controlar y canalizar el tránsito con bandereros, así como colocar señalamiento de protección en la zona cercana al lugar donde se realiza el sondeo.
2. Obtener una muestra de la capa o las capas asfálticas existentes o en su caso, de la losa de concreto hidráulico, mediante el uso de una perforadora. De esta manera se obtienen muestras de la o las capas asfálticas o de concreto hidráulico, para su análisis en el laboratorio y se determinan sus espesores, en centímetros con aproximación al milímetro.
3. Se marca en el pavimento el área para la ejecución del sondeo, que generalmente tiene una sección de 40 cm de ancho por 80 cm de largo y se ubica en el carril de circulación a una distancia de 60 cm, entre la orilla de la capa asfáltica hasta el centro del ancho del sondeo.
4. Se recorta o induce un aserrado con equipo portátil en las marcas que delimitan el área del sondeo, hasta una profundidad del espesor de la capa asfáltica o de concreto hidráulico existente, para facilitar su remoción.
5. Con herramienta manual o con equipo neumático de corte, se desintegra y retira la capa asfáltica o de concreto hidráulico y se descubre y limpia la superficie de la primera capa que sirve de asiento a la capa superior.
6. En la capa descubierta se procede a efectuar una cala para determinar el grado de compactación y la humedad del material pétreo existente, con una profundidad del espesor de la capa descubierta, conforme al procedimiento que se indica en el Norma M.MMP.08/03 Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica, de la SCT. El nivel inferior de la capa analizada se define cualitativamente por el tipo de material, el color, la graduación de las partículas y su acomodo, en comparación con las que presente la capa subyacente.
7. A continuación, se efectúa un recorte y disgregación del material pétreo en la capa descubierta, con herramienta de mano, para obtener una muestra alterada que se recupera en una bolsa o recipiente de muestreo, para ser analizada en el laboratorio.
8. Una vez tomada la muestra, se continúa sacando el material excedente de la capa descubierta en toda el área del sondeo, hasta descubrir y limpiar la superficie de la siguiente capa.
9. Los pasos 6, 7 y 8 se vuelven a realizar en cada una de las capas subyacentes que se van descubriendo, para obtener la compactación, humedad y recabar la muestra de material pétreo para su análisis en el laboratorio.
10. Generalmente el sondeo se realiza hasta lograr definir toda la estructura del pavimento y además la capa de desplante o capa subrasante. En algunas evaluaciones especiales, puede

ser necesario que adicionalmente se obtenga información del material de la capa inferior a la capa subrasante, para tener más certeza sobre la calidad de las terracerías.

11. Cuando el sondeo está concluido, con una regla se procede a medir el espesor de cada una de las capas del pavimento, en centímetros y con aproximación de un milímetro.
12. Se procede a rellenar el sondeo por capas, con el material remanente de cada capa, compactándolo con pisón de mano, hasta llegar al nivel de desplante de la capa asfáltica. Para rellenar la parte faltante de la capa asfáltica, se utiliza mezcla asfáltica recién producida y se compacta hasta lograr igualar el nivel de la superficie de rodadura.
13. Finalmente, se limpia todo el material suelto en la superficie donde se realizó el sondeo y se retira el señalamiento de protección.²³

Es importante comentar que todas las muestras de materiales que se recaben de un sondeo, que se envían al laboratorio para determinar su calidad, deben ser adecuadamente identificadas, para evitar confusiones de su procedencia. De igual manera, en el laboratorio deben ser registradas en un libro de control de muestras, para su manejo interno y la formulación del informe de calidad correspondiente.

Los datos que deben considerarse para identificar una muestra, son:²⁴

- Número de muestra
- Nombre de la obra
- Número y ubicación del sondeo
- Localización del sitio de muestreo en la carretera
- Tipo de material
- Profundidad a la que se tomó la muestra
- Espesor de la capa
- Responsable del muestreo
- Fecha y hora de muestreo
- Uso a que se destina el material muestreado

Para mayor detalle sobre el muestreo de materiales pétreos para terracerías y pavimentos, pueden consultarse las Normas M.MMP.1.01/03 Muestreo de Materiales para Terracerías y M.MMP.4.04.001/02 Muestreo de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas, de la SCT.

Una alternativa que ayuda a la determinación de los espesores que conforman la estructura del pavimento es la evaluación con el Radar de Penetración Terrestre, el cual permite realizar las mediciones sin necesidad de cierres de carril y sin daños al pavimento, además que permite una evaluación continua y a velocidad de operación de la carretera.

23 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.19

24 Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.20

Determinación del Valor Soporte California (CBR)

Al diseñar un pavimento aplicando algún método, se requiere conocer la calidad que tendrán los materiales con base a su resistencia y si estos deberán ser empleados en las distintas capas que conformen su estructura, con el objetivo de proporcionar capas que ayuden a una distribución efectiva de esfuerzos a través de ellas para que en la subrasante que es la capa de apoyo del pavimento lleguen los mínimos esfuerzos.

En México, el ensaye que se utiliza para determinar la resistencia del material de la capa subrasante, así como de los materiales pétreos de las capas intermedias del pavimento flexible y de la capa de apoyo del pavimento rígido es el CBR y se puede obtener en el laboratorio reproduciendo las condiciones de acomodo y de humedad del sitio en donde fue tomada la muestra.

Sin embargo, en el laboratorio resulta complicado y requiere mucho tiempo lograr reproducir las condiciones reales existentes del material por analizar, por lo que, alternativamente se dispone de un ensaye para determinar el CBR en el sitio, el cual se realiza de acuerdo con lo indicado en la Norma M.MMP.1.12/08 Valor Soporte de California (CBR), de la SCT.²⁵

Los valores de CBR cercanos a 0% representan a suelos de pobre calidad, mientras que los más cercanos a 100% son indicativos de la mejor calidad. Es posible en ocasiones obtener registros de CBR mayores a 100%, típicamente en suelos ensayados en condición en seco.

En la versión de CBR de laboratorio, los especímenes de suelo se compactan con el equipamiento del ensayo Proctor, utilizando moldes de 6" de diámetro y martillo grande. La velocidad de penetración del pistón durante el ensayo es constante e igual a 1.27 mm/min.

Además de todas estas consideraciones, en el ensayo de CBR se pueden variar tanto la condición de hidratación, como el número de sobrecargas anulares ASTM D1883, a fin de reproducir condiciones de saturación del suelo y observar su comportamiento.

Determinación de la Calidad de Materiales Existentes en Pavimentos

Las muestras de materiales recabadas en cada una de las capas del pavimento, de todos los sondeos realizados, se envían adecuadamente identificadas, para evitar errores, a un laboratorio para que se determinen las características de calidad y de desempeño que les correspondan, de acuerdo con su ubicación en la estructura en estudio.

Dependiendo de la función que el material de cada capa tenga en la estructura, en el laboratorio se determinan las pruebas o ensayos de calidad, conforme se describe en la ilustración 24, indicándose su referencia en la normativa SCT.

²⁵ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.22

Los procedimientos de prueba que se aplican en México son los que están contenidos en la normativa SCT, que pueden consultar tanto en la página electrónica de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes como en la del Instituto Mexicano del Transporte.²⁶

Característica de Calidad y Referencia en la Normativa SCT	Losa de Concreto Hidráulico	Capa Asfáltica	Base y Subbase	Capa Subrasante
Contenido de Asfalto		x		
Peso Volumétrico de la Capa Asfáltica en el Lugar	x	x		
Porcentaje de Vacíos		x		
Resistencia a la Compresión Axial	x			
Peso Volumétrico Seco Máximo MMMP-1-09/03 Compactación AASHTO		x	x	x
Grado de Compactación MMMP-1-08/03 Masas Volumétricas y Coeficientes de Variación Volumétrica			x	x
Contenido de Agua (MMMP-1-04/03 Contenido de Agua)		x	x	x
Valor soporte de California (CBR) y expansión MMMP-1-011/08 Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en Laboratorio			x	x
Composición Granulométrica MMMP-1-06/03 Granulometría de Materiales Compactibles para Terracerías MMMP-4-04-002/02 Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas		x	x	x
Equivalente de Arena MMMP-1-04-004/02 Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas			x	
Desgaste Los Ángeles MMMP-1-04-006/02 Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales para Mezclas Asfálticas			x	
Límite líquido y Límite Plástico MMMP-1-07/03 Límites de Consistencia			x	x

Ilustración 24 Pruebas de laboratorio que se aplican en México para determinar las características de los materiales muestreados en pavimentos existentes

²⁶ Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México*. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014 p.22

5 Criterios de rehabilitación y conservación

La Evaluación de los pavimentos permite establecer los programas de conservación y rehabilitación de un camino o una red, los resultados obtenidos de dicha auscultación permiten conocer el estado físico de cada tramo y clasificarlos, determinando sus niveles de atención con base en esto, las entidades gubernamentales o privadas, determinan las acciones de conservación, previa la formulación de estudios y proyectos ejecutivos correspondientes de cada tramo o subtramo, para asegurar condiciones óptimas de funcionamiento en cuanto a servicio y seguridad para los usuarios.

Al igual que los procedimientos y técnicas de evaluación han cambiado a lo largo del tiempo, en función de los avances tecnológicos que se van desarrollando día a día, en la evaluación de pavimentos a nivel mundial, los criterios de rehabilitación y conservación no han sido la excepción y estos se han ido ajustando con relación a las nuevas tecnologías.

En lo que respecta a México, en la década de los cincuenta, los criterios únicamente tomaban en cuenta los trabajos realizados en campo y las decisiones se basaban exclusivamente en los resultados obtenidos producto de dichos levantamientos sin embargo, los organismos encargados de la conservación y rehabilitación de carreteras empezaron a observar que, la toma de decisiones debe basarse no solo en la información de campo, sino que también debe existir una planeación estratégica que defina los objetivos de conservación y rehabilitación para las condiciones presentes y futuras de un pavimento, con el propósito de minimizar los costos correspondientes a los ciclos de vida de un pavimento y maximizar sus beneficios.

Una apropiada conservación de las carreteras contribuye a un transporte confiable a costo reducido, dado que existe una liga directa entre la condición de una carretera y el costo de operación vehicular (COV).

Una carretera conservada inapropiadamente puede representar un incremento en el riesgo de la seguridad para el usuario, trayendo como consecuencia un mayor número de accidentes, con el costo asociado tanto humano como de propiedad.

La conservación y la rehabilitación son los procesos que usamos para retrasar o reajustar el proceso de deterioro en un pavimento. Las acciones de conservación, tales como: el sellado de grietas, sellado de juntas, riegos de taponamiento y bacheo, ayudan a retardar la tasa de deterioro, a través de la identificación y tratamiento específico para cada deficiencia que contribuye a la extensión del deterioro.

La rehabilitación, es el acto de reparar porciones de un pavimento existente para reajustar el proceso de deterioro, con el objetivo de corregir las fallas de tipo estructural y así aumentar la capacidad estructural del pavimento existente, mejorando su funcionalidad superficial.

Por ejemplo, removiendo y sustituyendo la capa de rodamiento de un pavimento se proporciona una nueva capa de rodamiento, en la cual comienza nuevamente el proceso de deterioro. Reconstruir un pavimento en su totalidad, no se considera como una "rehabilitación", sino más bien una nueva construcción, debido a que los métodos usados son, generalmente aquellos desarrollados para la construcción de un pavimento.

Es por ello que la conservación no puede ser vista como un proceso independiente, sino como parte de un sistema que inicia desde la planificación de las redes carreteras del país, por lo tanto será importante cubrir los siguientes objetivos:

1. Predicción de las necesidades de conservación en función del comportamiento de los niveles de servicio de un pavimento.
2. Planeación, dirección y control de las acciones de conservación, tomando en cuenta procedimientos y tiempos de ejecución, a fin de realizar el presupuesto correspondiente.
3. Evaluar los métodos y materiales utilizados, con el propósito de implementar técnicas eficaces y económicas.

Para lo anterior, será fundamental conocer estos aspectos:

1. Configuración de los factores físicos y operacionales que conforman la red de carreteras, en donde se definan los parámetros actuales de cada tramo, a fin de conocer su estado y así presupuestar el monto y tipo de trabajos requeridos.
2. Conocimiento de los recursos disponibles para la conservación y en función de esto programar los trabajos a ejecutar, equipo, materiales, volúmenes de obra generados, definiendo los criterios de calidad o niveles de conservación deseados.

De acuerdo a los aspectos antes mencionados, así como a la información recopilada en los procesos de evaluación, se deberán establecer los criterios a seguir para establecer las estrategias más convenientes de acuerdo los siguientes puntos:

1. Establecimiento de prioridades. Con el análisis de la información recopilada, producto de las campañas de evaluación de pavimentos, se sabrá el estado actual de una carretera o una red y en función de esto se conocerá cuales tramos requieren conservación, rehabilitación o reconstrucción, determinándose estrategias para su reparación considerando los factores que motivaron su deterioro y las acciones que deben implementarse para su reparación, para esto será fundamental tomar en cuenta el tránsito presente y futuro. Los criterios de rehabilitación y conservación dependerán de cada organismo, pudiendo citarse la metodología del Instituto del Asfalto, del Departamento de Carreteras de California, el cual utiliza matrices de decisiones (ver ilustración 25), en función de factores tales como: tránsito, nivel de deterioro de pavimento (ver ilustración 26 y 27).

2. Planeación estratégica como una herramienta fundamental en la conservación de carreteras. Si bien la conservación puede aminorar la tasa de deterioro, no puede detenerlo. Es por ello que eventualmente los efectos del deterioro necesitan ser revertidos a través de añadir o recolocar material a la estructura del pavimento existente, lo que se denomina como rehabilitación.

A semejanza de la conservación, la rehabilitación de un pavimento se lleva a cabo cuando las consideraciones del diseño se acercan a sus niveles máximos y mínimos contemplados, en donde además se presenta el proceso que se lleva a cabo para definir el tipo de rehabilitación a realizar en cuanto a estrategia más efectiva en relación al costo de la misma.

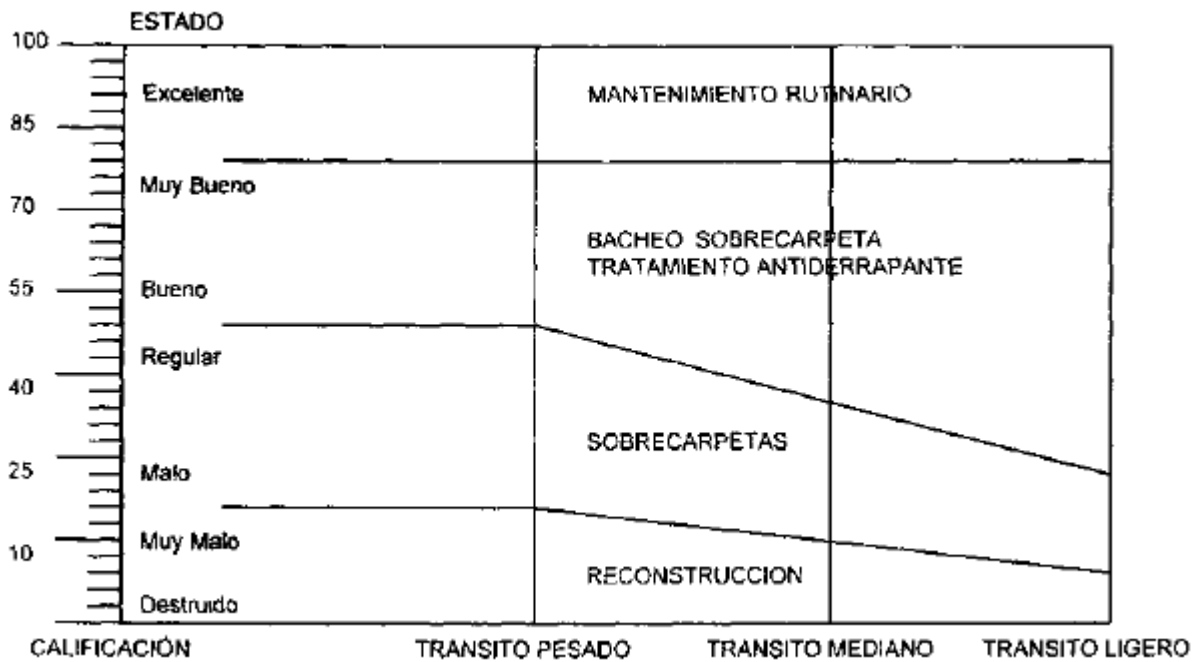
Su ocurrencia en el tiempo puede ser diferida cuando se tienen niveles de conservación adecuados, su importancia estriba en que podría ser denominada la última llamada de atención al aumento de los costos de conservación y a la posible pérdida del pavimento. La aplicación de una rehabilitación en el tiempo adecuado redundará en beneficios gracias al aumento en la vida útil del pavimento.

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO			DECISION (2)		
			T D P A		
INDICE DE SERVICIO	CONDICION (1)	DEFLEXION x 10 ⁻³ pulg. (MM)	> 5000	1500 a 5000	< 1500
< 2.5	INACEPTABLE	> 4 0 (1.0)	A	A	A
		< 4 0 (1.0)	A	A	A
	ACEPTABLE	> 4 0 (1.0)	A	A	B
		< 4 0 (1.0)	B	B	B
> 2.5	INACEPTABLE	> 4 0 (1.0)	A	A	B
		< 4 0 (1.0)	A	A	B
	ACEPTABLE	> 4 0 (1.0)	A	B	B
		< 4 0 (1.0)	B	B	B

Ilustración 25 Matriz de decisiones

CARRETERA _____	TRAMO _____
SUBTRAMO _____	ANCHO DE CORONA _____ ANCHO DE CARPETA _____
TIPO DE PAVIMENTO _____	FECHA _____
DEFECTOS:	CALIFICACIONES
Grietas transversales	0 - 5 _____
Grietas longitudinales	0 - 5 _____
Piel de cocodrilo	0 - 10 _____
Grietas de contracción	0 - 5 _____
Roderos	0 - 10 _____
Corrugaciones	0 - 5 _____
Desgranamientos	0 - 5 _____
Deformaciones plásticas	0 - 10 _____
Baches	0 - 10 _____
Exceso de asfalto	0 - 10 _____
Agregados pulidos	0 - 5 _____
Deficiencias de drenaje	0 - 10 _____
Calidad de rodamiento (0 es excelente y 10 es muy malo)	0 - 10 _____
	Suma de Defectos _____
Calificación de condición= 100 - Suma de Defectos	
= 100 - _____	
Calificación de Condición del Pavimento= _____	

Ilustración 26 Acciones recomendables en función del tránsito y estado del pavimento



DETERIORO	CAUSA GENERAL	CAUSA ESPECIFICA QUE LA PRODUCE
AGRIETAMIENTO O FRACTURAS	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	- CARGAS REPETIDAS (FATIGA) - DESLIZAMIENTOS (PRODUCIDOS POR ESFUERZOS AL FRENAR) - GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	- CAMBIOS TERMICOS - CAMBIOS DE HUMADAD - CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES
DEFORMACIONES	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	- RODERAS (POR CARGAS REPETIDAS) - FLUJO PLASTICO (CARGAS EXCESIVAS)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	- EXPANSION (PRODUCIDA POR ARCILLAS EXPANSIVAS O POR CONGELAMIENTO) - DEFORMACIONES POR CONSOLIDACION
DESINTEGRACION	SE ASOCIA CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES MAS QUE CON CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL NO SE CONSIDERA EN LA FASE INICIAL DE DISEÑO	

Ilustración 27 Deterioros típicos observados en los pavimentos flexibles y causas que lo producen

Los criterios de decisión que se utilicen para analizar las estrategias de conservación y rehabilitación repercutirán en la elección de la mejor alternativa técnica y económica para la conservación de los pavimentos, tal y como se muestra en la ilustración 28, es por ello que será primordial conocer los diferentes tipos de trabajos de conservación y rehabilitación que pueden proponerse para el planteamiento de estrategias a seguir²⁷ (ver ilustración 29).

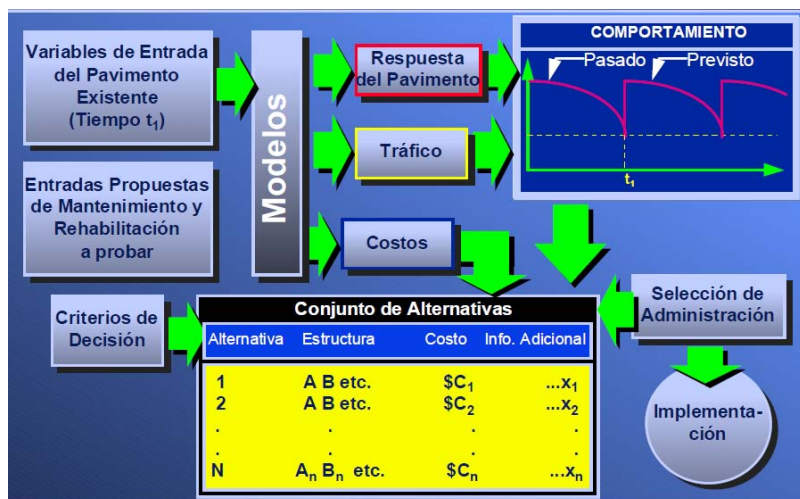


Ilustración 28 Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación

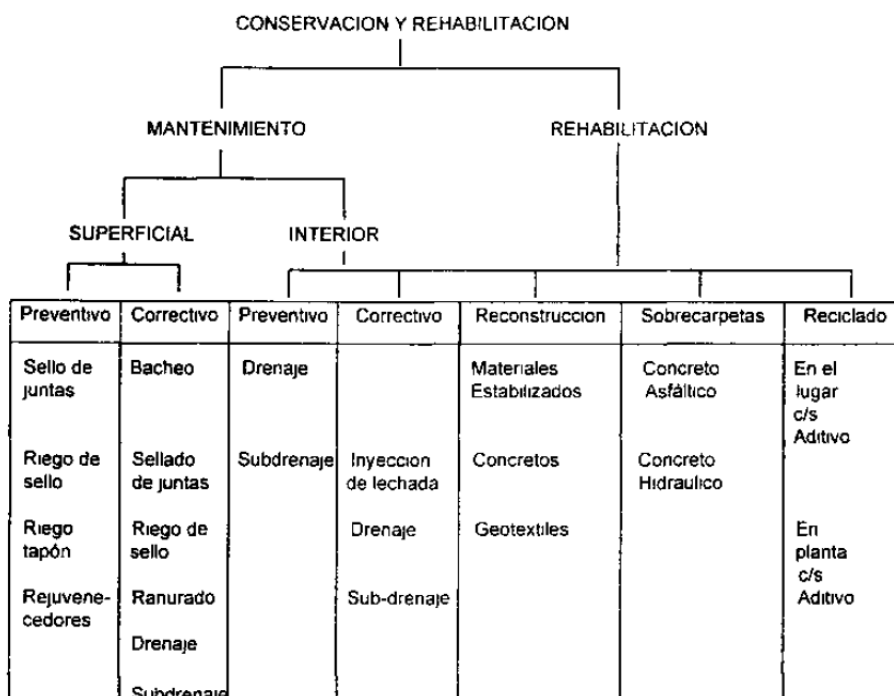


Ilustración 29 Criterios para la conservación y rehabilitación

27 Careaga Cabra, Jaime. *Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación*. Instituto Tecnológico de la Construcción. México. Tesis. 1997 p.31

6 Propuestas para una correcta conservación del pavimento

Las carreteras por si mismas constituyen un negocio de grandes dimensiones y un patrimonio, ya que involucran grandes sumas de dinero, el cual se derrama en diversos sectores de la economía y permite un desarrollo sustentable y sostenible en un entorno económico global muy competitivo. El no tener una conservación adecuada y a tiempo, generará la pérdida de la infraestructura de un país, es por ello que para realizar una correcta conservación se deberá cumplir lo siguiente:

- Organizar adecuadamente los fondos necesarios sobre una base permanente para la conservación de la red de caminos y para asegurar que estos fondos sean proporcionados anualmente.
- La reorganización de las entidades gubernamentales encargadas de proporcionar la conservación de las redes de carreteras, a través de establecer los sistemas de control efectivos, las políticas de mantenimiento y la supervisión de los trabajos realizados.
- Reorganizar la fuerza de trabajo de las organizaciones, a través de establecer los costos efectivos de la organización para determinar, posibles estrategias alternas para la conservación
- Fortalecer los mecanismos de planeación, con el objeto de establecer con certidumbre los planes y programas de aplicación de recursos y selección de alternativas de carácter técnico, a través del uso de Modelos de Gestión de la Conservación.
- Establecer programas de capacitación y entrenamiento a todos los niveles para los administradores, técnicos, ingenieros, operadores, mecánicos y personal de campo con la finalidad de concientizarlos sobre la importancia de la conservación y darles las herramientas del conocimiento.
- Capacitación y educación en conservación de pavimentos a las personas encargadas de la conservación y rehabilitación.
- Cambio radical hacia las nuevas tendencias de administración, principiando con una efectiva descentralización y fomentando los diferentes modelos de conservación en donde se involucre a la iniciativa privada.
- Establecer los mecanismos financieros de captación de recursos, ya sea vía nuevos impuestos, participación tripartita de: usuarios–iniciativa privada gobierno, o bien mecanismos del mercado de dinero. Bonos, acciones convertibles, etc.

7 Conclusiones

1. El 50 % de las carreteras que conforman la red de carreteras de nuestro país fueron construidas sin apoyo de ningún diseño de pavimento y los materiales empleados en su construcción no cumplen con la normativa actual, por lo que la evaluación de pavimentos en esta red se vuelve fundamental para definir estrategias de conservación y rehabilitación.
2. La condición actual de la Red Mexicana señala que el 47 % se encuentra en buenas condiciones, 50 % en condición regular y un 3 % en mala, según las cifras del Instituto Mexicano del Transporte, siendo los principales factores de deterioro: la débil capacidad estructural y la fatiga que presentan los tramos, es por ello que será fundamental atender estos problemas antes de realizar cualquier estrategia de conservación.
3. La Red Mexicana presenta un grave problema de antigüedad, lo cual reduce su capacidad funcional y estructural, esto se incrementa al recibir cargas vehiculares mayores a las que fueron construidas.
4. La evaluación de pavimentos permite obtener parámetros que en conjunto con un Sistema de Administración de Pavimentos, incrementa y distribuye de forma correcta la asignación de recursos manteniendo a la red o al tramo bajo indicadores de calidad.
5. Mediante la evaluación de un pavimento podemos detectar como se ha desempeñado un diseño, a través de la medición de las distintas variables de desempeño como lo son: la capacidad estructural, índice de deterioro, índice de servicio, la seguridad, el costo y la conservación, entre otros.
6. Las técnicas de conservación y evaluación de pavimentos que se han empleado en los últimos años en México, están acordes con las técnicas modernas aplicadas a nivel mundial.
7. El establecimiento de prioridades y de una planeación estratégica constituye los factores determinantes para la elección de una alternativa de conservación y rehabilitación de pavimentos.
8. Es muy importante que el binomio proyecto conservación se determine desde el momento mismo que inicie la planeación de cualquier camino, a fin de mantener el patrimonio nacional en buen estado.
9. Generalmente el tránsito pesado que circula por las carreteras del país, lo hace violando las cargas permitidas, demandando por tanto que se proyecte, construya y mantengan altas especificaciones de comodidad, seguridad y resistencia, lo que requiere la aplicación de nuevos diseños. En lo que respecta a la conservación y rehabilitación se requiere contar con equipos, tecnología y materiales que puedan satisfacer las necesidades planteadas, requiriendo materiales más durables y con mínimos requisitos de conservación.

8 Bibliografía

- Catálogo de deterioros de pavimentos rígidos. Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica. Volumen No 12. 2002.
- Careaga Cabra, Jaime. Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación. Instituto Tecnológico de la Construcción. México. Tesis. 1997.
- Deformaciones Plásticas en Capas de Rodadura de Pavimentos Asfálticos. En: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-15.pdf?sequence=15>
- Diario Oficial de la Federación, Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT). Programa Nacional de Infraestructura 2014-2018
- Garnica Anguas, Paul. Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 108. Querétaro. 1998
- Garnica Anguas, Paul. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 170. Querétaro. 2002
- Garnica Anguas, Paul. Influencia de la succión en los cambios volumétricos de un suelo compactado. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 238. Querétaro. 2004
- Huang H. Yang. Pavement Analysis and Design. Pearson Education, Inc. Second Edition. United States of America. 2004.
- Olivera Bustamante, Fernando. Estructuración de vías terrestres. Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. México. Segunda Edición. México. 1999.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación de Carreteras en México. Dirección General de Servicios Técnicos. 2014.
- Strategic Highway Research Program. Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Program. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Publication FHWA-RD-03-031. United States. 2003.
- Téllez Gutiérrez, Rodolfo. Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexible de Carreteras Mexicanas. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica 21. Querétaro. 1991.
- Dahlhaus Parkman, Enrique, Apuntes de conservación y mantenimiento de vías terrestres, Especialidad en vías terrestres, UNAM, 2015

9 Anexo.- Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1 Capas que forman en general un pavimento flexible, En: <i>Estructuración de vías terrestres</i>	4
Ilustración 2 Capas que forman un pavimento rígido, En: <i>Estructuración de vías terrestres</i>	5
Ilustración 3 Curva de deterioros en las obras viales a través del tiempo, En: <i>Estructuración de vías terrestres</i>	7
Ilustración 4 Comportamiento de una pavimento debido al efecto de las rehabilitaciones durante su vida de servicio, En: <i>Estructuración de vías terrestres</i>	8
Ilustración 5 Deterioros en pavimento flexible, En: <i>Apuntes de conservación y mantenimiento en vías terrestres</i>	9
Ilustración 6 Deterioros en pavimento rígido, En: <i>Apuntes de conservación y mantenimiento en vías terrestres</i>	10
Ilustración 7 Esquema del equipo "multifunción", En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	12
Ilustración 8 Información obtenida al realiza una evaluación con el equipo multifunción, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	14
Ilustración 9 Medición de la profundidad de rodera mediante la regla de tres metros, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	15
Ilustración 10 Perfilógrafo Longitudinal de California, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	16
Ilustración 11 Resultados de la evaluación superficial de un pavimento mediante Perfilógrafo Longitudinal California, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	16
Ilustración 12 Evaluación del coeficiente de fricción mediante el equipo Mu-Meter.....	17
Ilustración 13 Péndulo de fricción británico, En: <i>Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México</i>	18
Ilustración 14 Deflectómetro de impacto HWD	19
Ilustración 15 Cortes esquemáticos de las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto..... En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	20
Ilustración 16 Cuenca típica de deflexiones en la evaluación del pavimento mediante deflectómetro de impact, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	21
Ilustración 17 Rango de valores típicos de módulo elástico, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	21
Ilustración 18 Evaluación estructural de un pavimento flexible mediante la Viga Benkelman, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	22
Ilustración 19 Principales parámetros indicadores del comportamiento del estado de un pavimento, En: <i>Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación</i> ...	23
Ilustración 20 Escala de calificación del índice de servicio actual.....	24

Ilustración 21 Ejemplo de un formato tipo para el levantamiento de deterioros de pavimento flexible, En: <i>Apuntes de conservación y mantenimiento en vías terrestres</i>	26
Ilustración 22 Escala del IRI, según el Banco Mundial, En: <i>Índice Internacional de Rugosidad en la Red Carretera de México</i>	29
Ilustración 23 Esquema de las condiciones de micro y macro textura de un pavimento asfáltico, En: <i>Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México</i>	31
Ilustración 24 Pruebas de laboratorio que se aplican en México para determinar las características de los materiales muestreados en pavimentos existentes, En: <i>Guía de Procedimientos y Técnicas de Conservación en Carreteras en México</i>	36
Ilustración 25 Matriz de decisiones, En: <i>Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación</i>	40
Ilustración 26 Acciones recomendables en función del tránsito y estado del pavimento, En: <i>Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación</i>	40
Ilustración 27 Deterioros típicos observados en los pavimentos flexibles y causas que lo producen, En: <i>Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación</i> ...	41
Ilustración 28 Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación, En: <i>Apuntes de conservación y mantenimiento en vías terrestres</i>	42
Ilustración 29 Criterios para la conservación y rehabilitación, En: <i>Evaluación del comportamiento de pavimento y criterios para su conservación y rehabilitación</i>	42