



**Certificación ISO 9001:2000 ‡
Laboratorios acreditados por EMA §**

SISTEMA DE EVALUACIÓN DE PAVIMENTOS VERSIÓN 2.0

Juan Manuel Orozco y Orozco
Rodolfo Téllez Gutiérrez
Ricardo Solorio Murillo
Alfonso Pérez Salazar
María Ariadna Sánchez Loo
Sandra Torras Ortiz

**Publicación Técnica No 245
Sanfandila, Qro, 2004**

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Sistema de Evaluación de Pavimentos
Versión 2.0

Publicación Técnica No 245
Sanfandila, Qro, 2004

Este trabajo fue elaborado por el M en I Juan Manuel Orozco y Orozco; M en C Rodolfo Téllez Gutiérrez; M en C Ricardo Solorio Murillo; Ing Alfonso Pérez Salazar; Ing María Ariadna Sánchez Loo e Ing Sandra Torras Ortiz. Básicamente consistió en la actualización del SEP versión 1.0, publicada en el 2002.

Para su desarrollo se contó con la colaboración permanente y sugerencias, tanto de personal de la Dirección General de Servicios Técnicos, como de la Dirección General de Conservación de Carreteras, de la Subsecretaría de Infraestructura de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Los autores desean hacer patente su reconocimiento a los valiosos comentarios y sugerencias del Dr Octavio Rascón Chávez, Director General del Instituto Mexicano del Transporte, así como al apoyo de Felisa Ramos Alonzo, de la Universidad Tecnológica de Querétaro (UTEQ), en la elaboración del documento final.

Índice

Resumen		v
Abstract		vii
Resumen	Ejecutivo	ix
Capítulo 1.	Antecedentes	1
Capítulo 2.	Introducción	3
Capítulo 3.	Módulo Datos Generales	9
Capítulo 4.	Módulo Índice Internacional de Rugosidad (IRI)	13
Capítulo 5.	Módulo Coeficiente de Fricción (CF)	19
Capítulo 6.	Módulo Estructural	27
Capítulo 7.	Módulo Acciones de Conservación, y sus Costos	35
Capítulo 8.	Conclusiones	57
Glosario		59
Bibliografía		63

Resumen

En este trabajo se desarrolló la versión 2.0 del *Sistema de Evaluación de Pavimentos (SEP)*, mejorándose el Sistema de Administración de Pavimentos (SIMAP) desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) en diferentes etapas durante los años 90's.

Con base en la experiencia, aplicaciones y restricciones o fallas de las primeras versiones, tanto el IMT como la SCT decidieron diseñar un nuevo sistema, a fin de que el Sector Comunicaciones y Transportes, y en especial las áreas de infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos y Dirección General de Conservación de Carreteras, contaran con una herramienta sencilla y de uso práctico para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier método adecuado de administración de la conservación. Además, con los resultados de ambos una vez integrados, o sea el Sistema de Evaluación de Pavimentos y luego el Sistema de Administración de la Conservación, el Sector estuviera en condiciones de priorizar y presupuestar anualmente todas y cada una de las acciones de conservación requeridas.

El sistema considera segmentos con una longitud de 1 km, además de algunas mejoras en los módulos de Datos Generales, y el Estructural; se adicionan los módulos de Fricción, Índice Internacional de Rugosidad, y Acciones de Conservación y Costos, considerando exclusivamente la conservación periódica y la reconstrucción, sin tomar en cuenta la conservación rutinaria ni la modernización de carreteras.

Abstract

This paper presents the development of the *Pavement Evaluation System*, an improved version of IMT past developments on pavement management-related systems. Based on self-experience, actual applications and some restrictions of the initial versions, the IMT and the SCT decided to create a new system, in order to provide an easy-to-use tool for supporting the road maintenance activities carried out by the Transport and Communications Sector (specifically SCT *Dirección General de Servicios Técnicos* and *Dirección General de Conservación de Carreteras*). Using the system pavement evaluation results as input data, managers can assign priorities and budgets every year using an appropriate Maintenance Management System.

The new system involves the use of 1 km long road segments and improvements were made to the General Data and Structural Adequacy modules. Additionally, the system now provides modules or subsystems for analyzing skid resistance, road roughness in terms of the International Roughness Index and maintenance tasks and their costs. The system only covers periodic maintenance and reconstruction; routine maintenance and highway upgrading, structural and capacity improvements are not included as part of the analysis.

Resumen ejecutivo

En este trabajo se desarrolló la versión 2.0 del *Sistema de Evaluación de Pavimentos (SEP)*, mejorándose el Sistema de Administración de Pavimentos (SIMAP) desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte en diferentes etapas durante los años 90's. Con base en la experiencia, aplicaciones y restricciones o fallas de las primeras versiones, tanto el IMT como la SCT decidieron diseñar un nuevo sistema, a fin de que el Sector Comunicaciones y Transportes, y en especial las áreas de infraestructura, Dirección General de Servicios Técnicos, y Dirección General de Conservación de Carreteras, contaran con una herramienta sencilla y de uso práctico para evaluar los pavimentos flexibles de la red federal de carreteras, y con los resultados del sistema en cuestión, los usuarios pudieran según su criterio, utilizar cualquier procedimiento adecuado de administración de la conservación. Además, con los resultados de ambos ya integrados, como es primero el Sistema de Evaluación de Pavimentos y luego el Sistema de Administración de la Conservación, el Sector se encontrará en condiciones de priorizar y presupuestar anualmente todas y cada una de las acciones de conservación requeridas.

Las distintas versiones del SIMAP, que datan de los años 90's, contemplaban segmentos o tramos de estudio con longitud de 5 km. En algunas aplicaciones específicas, como en el estudio que se realizó en 1997-1998 en el estado de Puebla se observó que los tramos evaluados eran demasiado extensos para considerarse representativos de las condiciones particulares existentes en toda la longitud de carretera estudiada.

En virtud de lo anterior, la Dirección General de Servicios Técnicos y el Instituto Mexicano del Transporte tomaron la decisión de que el nuevo sistema utilizara segmentos de estudio con una longitud "estandarizada" de 1 km.

En el módulo Datos Generales, además de los parámetros de entrada del sistema anterior, y en combinación con la experiencia mexicana y de otros países, se tomó la decisión de considerar para efectos de daño al pavimento y cuantificación de ejes equivalentes acumulados, los autobuses foráneos de pasajeros, y la clasificación completa de los camiones de carga desde dos hasta múltiples ejes.

Las diferentes versiones del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos contemplaban una calificación subjetiva "sintiendo" el pavimento en evaluación, la cual asignaba valores de 5 para un camino excelente, y 0 para uno intransitable según la metodología de la AASHTO. El nuevo Sistema de Evaluación de Pavimentos toma como obligatoria la determinación del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), midiendo con aparatos o equipos apropiados la rugosidad

acumulada en 1 km, y considerando el valor máximo 3,5 m/km como límite para calificar un buen o mal pavimento. Se hace notar que este valor es solamente a título de sugerencia, pudiendo el usuario modificarlo hacia abajo si se quiere ser muy estricto o hacia arriba si se desea ser más benevolente.

En este sistema, el módulo o subsistema Capacidad Estructural que evalúa el pavimento y su resistencia de soporte, bajo la acción del tránsito repetido se modificó sustancialmente, considerando ahora dos tipos de deflexión: la permisible o tolerable y la deflexión real bajo carga. En los casos en que la medición real sea menor de la permisible, el segmento estudiado se almacena y puede esperar al siguiente año para su próxima evaluación. En el caso contrario, si la deflexión real bajo carga medida en el campo excede la tolerable (que está en función de los espesores reales del pavimento al momento de la evaluación), el sistema sugerirá la necesidad de un refuerzo con base en sobrecarpetas o, en ciertos casos extremos, llegar al reciclado o reconstrucción del tramo si la carpeta ya se encuentra agrietada.

El sistema ahora contempla un módulo de Fricción, que valora la resistencia al deslizamiento de los vehículos en operación sobre una carretera. En pavimentos para aeropuertos, este parámetro era considerado obligatorio por la normativa internacional. Para el caso de vías nuevas y existentes de altas especificaciones y alta velocidad, tanto la SCT como el IMT consideraron la conveniencia de incluirlo. Este módulo estima un mínimo coeficiente de fricción para la condición más crítica, que es cuando el pavimento está mojado; sin embargo, en virtud de que se ha observado que deterioros como el llorado de asfalto o el pulido del agregado que forma el sello o la carpeta pueden llegar a propiciar condiciones peligrosas para la operación del transporte en la carretera; el sistema también incluye un mínimo coeficiente de fricción a cumplir en condiciones de pavimento seco.

El módulo Acciones de Conservación y sus respectivos costos no contempla la conservación rutinaria, pues se refiere a acciones simples y permanentes que la dependencia responsable del mantenimiento de carreteras debe considerar anualmente como rubro fijo, que sólo resulta afectado por la inflación anual. Tampoco toma en cuenta la modernización de caminos, ya que ésta corresponde a otra dependencia (Dirección General de Carreteras Federales de la SCT) y se deriva de otros problemas, por ejemplo, la congestión del camino cuando el flujo vehicular excede la capacidad disponible, y se requiere adición de nuevos carriles o la ampliación de los existentes.

El Sistema de Evaluación de Pavimentos sí involucra la conservación periódica y la reconstrucción, proponiendo a nivel de sugerencias ciertas estrategias o acciones de mantenimiento. Para tales acciones el sistema cuantifica a precios vigentes los costos involucrados, asignando factores de inflación o actualización de precios en función del período o años de diseño elegidos.

Finalmente, es importante hacer notar que con los resultados obtenidos del manejo cuidadoso de este Sistema de Evaluación de Pavimentos, los tramos de

carretera estudiados estarán evaluados desde el punto de vista “pavimento” para que el usuario, utilizando con buen criterio esos resultados, obtenga un primer panorama global. Al unir resultados de este método con un Sistema de Administración de la Conservación, por ejemplo, el SISTER o el HDM-4, los funcionarios responsables del mantenimiento en el Sector estarán en posibilidad de priorizar la conservación en la red federal de carreteras, aumentando la longitud de carreteras en buen estado, y minimizando los tramos de carreteras en malas condiciones. Adicionalmente, se estima que con el uso periódico y constante de este sistema, el Sector podría integrar una valiosa base de datos con un historial permanente y actualizado, que podrá explotarse para múltiples usos y beneficios adicionales con el objetivo primordial de contar en el país con un transporte competitivo y eficiente, y de preservar la valiosa infraestructura carretera de la que México dispone actualmente.

1 Antecedentes

En los inicios del Instituto Mexicano del Transporte como centro de investigación y desarrollo tecnológico aplicado al transporte, se tomó la determinación de que uno de sus primeros trabajos a desarrollar fuera un sistema de administración o de gestión de pavimentos flexibles que pudiera ser de utilidad y proporcionara, simultáneamente, una herramienta útil al Sector Comunicaciones y Transportes, específicamente a las dependencias involucradas con la evaluación y conservación de los pavimentos que conformaban la red federal de carreteras en México a principios de los 90's.

En virtud de lo anterior, durante 1990 el Instituto Mexicano del Transporte se dedicó a desarrollar lo que se llamó la primera fase del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), Conservación, parte conceptual que fue publicada por primera vez en el Documento Técnico No 3. La citada parte conceptual contempló los siete módulos o subsistemas siguientes: Datos Generales (DATOGEN); Índice de Servicio Actual (ISA); Capacidad Estructural (CAPES); Inventario de Deterioros (INVEDET); Características Geotécnicas (CARGEOT); Historial de Reparaciones (HISTOREP), y Resultados Finales (REFIN), que era un módulo que ligaba y en el que interactuaban todos los módulos anteriores.

El Documento Técnico No 3, que involucraba la parte conceptual técnica original, fue complementado con dos Documentos Técnicos adicionales, números 4 y 5, que incluyeron respectivamente, un Manual de Campo que en forma simple y breve describía y proporcionaba los seis formatos básicos para que el usuario en el campo pudiera obtener valores precisos de las variables involucradas en los subsistemas, además de un Manual del Usuario que explicaba la forma de captura de datos y manejo de la información en la parte de cómputo, para poder procesar el citado sistema en computadoras del tipo PC disponibles en el IMT y los Centros SCT en esas fechas.

En el transcurso del año de 1993, el IMT se ocupó a desarrollar el módulo económico que contempló tanto la parte conceptual teórica como el manual del usuario, involucrando principalmente los costos de operación de los usuarios, correspondientes a la flota vehicular de carga que circulaba por el país en la red federal de carreteras a mediados de los 90's. El desarrollo del citado módulo económico y su manual del usuario correspondiente, se publicó en el Documento Técnico No 9.

La segunda fase del SIMAP, desarrollada durante 1995, contempló ciertas modificaciones que pretendían hacer más eficiente el sistema original y a la vez

más sencillo para el manejo cotidiano de los usuarios en sus centros de trabajo; modificaciones que involucran, entre otras las coordenadas geográficas para ubicación de los tramos en estudio; la inclusión del Índice Internacional de Rugosidad (IRI), como medida cuantificable del estado real de la superficie de rodamiento de la carretera; la adopción del concepto de grava equivalente para dar idea del estado estructural del pavimento en evaluación; actualización de los costos reales de operación de los usuarios; la modernización de formatos, etc, y una presentación más amigable el sistema en general, en cuanto a procedimientos de informática. Por lo anterior, se publicó en 1995 el Documento Técnico No 15, haciéndose notar que durante el mismo año se incluyó la segunda fase del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos como un elemento de apoyo a lo que se llamó la Estrategia Nacional para la Conservación de Carreteras, publicada como Documento Técnico No 11 del IMT.

Con base en la evolución del sistema desde sus inicios en 1990 y hasta 1997, el Instituto Mexicano del Transporte decidió, junto con la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, realizar una aplicación real del sistema a nivel macro, tomándose la determinación de estudiar toda la red federal de carreteras del estado de Puebla, que cubrió aproximadamente 1 300 km de evaluación detallada y diagnóstico para fines de jerarquización y priorización de las acciones de conservación y sus presupuestos económicos en los siguientes años para la citada entidad. Por ello, en 1998 el IMT y el Centro SCT de Puebla tomó la decisión de editar todos los resultados obtenidos, como un buen “estudio de caso” en la Publicación Técnica No 109.

1 Introducción

Tomando en consideración la experiencia sobre Sistemas de Administración de Pavimentos de otros países, y en muchos de ellos atendiendo la obligatoriedad de etiquetar éstos a los préstamos internacionales de recursos para ser aplicados en el mantenimiento y cuidado de las carpetas asfálticas, experiencia que data de 10 años a la fecha y es congruente con la práctica mexicana desarrollada con el SIMAP, se ha observado que dichos sistemas deben ser “dinámicos”. Esto es, con el transcurso del tiempo y con base en las condiciones cambiantes para cada caso particular, los Sistemas de Administración de Pavimentos tienen que actualizarse permanentemente.

Por lo anterior, durante el año 2000, técnicos de la SCT e investigadores del IMT, empezaron a cuestionarse sobre la conveniencia de modernizar y actualizar las fases I y II previas del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP). Adicionalmente, debido a los resultados en el caso de estudio de la red federal del estado de Puebla (1 300 km), y principalmente a los problemas detectados tanto en la evaluación como en el diagnóstico e implantación del sistema, se tomó la decisión de rediseñar el sistema vigente.

El nuevo Sistema de Evaluación de Pavimentos pretende actualizar, afinar, modernizar y simplificar un sistema tal, que contemple la participación y sugerencias de los principales usuarios potenciales; esto es, de los ingenieros de campo de la Dirección General de Servicios Técnicos a través de sus Unidades Regionales y Unidades Generales de Laboratorios, así como de los ingenieros responsables de la conservación, tanto de las oficinas centrales de la Dirección General de Conservación de Carreteras como de las Residencias Generales de Conservación en los 31 Centros SCT.

Las principales modificaciones que se incluyen en el nuevo Sistema de Evaluación de Pavimentos son las siguientes:

- i. El sistema contempla para estudio “segmentos” con longitud de 1 km, lo que amplía la cobertura o capacidad del sistema para manejar con precisión, eficiencia y rapidez, del orden de 45 000 segmentos para archivo, evaluación y estudio. Las etapas previas del sistema contemplaban “segmentos” de 5 km, lo cual fue considerado por la experiencia de gabinete y campo, y en muchos casos por la variación en topografía, suelos, hidráulica, etc, como poco representativo. Esta modificación complica la parte informática, puesto que se tiene que manejar un sistema con capacidad suficiente para procesar absolutamente toda la red federal (45 000 km), o en su defecto redes parciales que involucren cada entidad en particular. Sin embargo, dados los avances de

la informática en años recientes, el citado escollo pasa a ser irrelevante, estableciéndose de común acuerdo entre la SCT y el IMT la gran conveniencia de que el nuevo sistema tenga suficiente capacidad para manejar esos órdenes de magnitud.

- ii. En las fases previas del sistema (I y II), se manejó la cuantificación de vehículos con base en el tránsito diario promedio anual (TDPA), utilizándose la clasificación que publica año con año la SCT, a través de la Dirección General de Servicios Técnicos en sus aforos viales permanentes, y suponiendo tasas de crecimiento del tránsito con base en datos históricos.

En este sistema, se pretende mejorar la cuantificación de los volúmenes de tránsito, considerando exclusivamente los vehículos más frecuentes en las carreteras mexicanas, tanto de transporte de pasajeros como, especialmente, de carga. Para lo anterior, el Instituto Mexicano del Transporte, con el valioso apoyo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tanto económico como de recursos humanos, desde 1991 ha realizado en el campo estudios muy completos de pesos y dimensiones, pudiendo afirmarse que actualmente se está comenzando a conocer la realidad del tránsito carretero a todo lo largo y ancho del país.

Debido a lo anterior, ya es posible cuantificar y plasmar en el sistema no solamente el total de vehículos que circulan diariamente en una carretera y su clasificación tradicional, esto es, vehículos ligeros, autobuses y varios tipos de transportes de carga. El Sistema de Evaluación de Pavimentos ofrece ahora la posibilidad, además de lo anterior, de cuantificar con precisión los vehículos de carga vacíos, las unidades de carga parcialmente cargadas, los transportes que van cargados conforme a reglamento y los que van sobrecargados en porcentajes hasta del 20%.

Con ello, el sistema será capaz a través de mecanismos adecuados de diseño, de calcular los ejes equivalentes de carga en la fecha de la evaluación del pavimento, y con sus tasas de crecimiento respectivas procesar y obtener el gran total de ejes equivalentes de carga que golpearán sistemáticamente en millones de ciclos a la sección estructural del pavimento, hasta llevarla a la fatiga pudiendo predecirse en determinados momentos la vida remanente del pavimento en cuestión.

- iii. Con relación al estado físico de la superficie de rodamiento de un pavimento, evaluado a través del índice de servicio actual (ISA) en la fase I del SIMAP, se hace notar que el antiguo sistema y todavía hoy vigente método de calificación que implantó la AASHO en los 60's, es una medida conservadora y hasta cierto punto válida, con el defecto de que es una calificación "subjetiva".

Tomando en consideración las innovaciones tecnológicas en la materia, y que es mucho más conveniente y preciso "cuantificar" el estado actual de la superficie de rodamiento que "sentirlo", el IMT, la SCT y algunos consultores

privados han adquirido recientemente equipos de medición eficientes que pueden medir y cuantificar el IRI, recorriendo los tramos en estudio a la velocidad de operación o de proyecto de cada tramo carretero (equipos tales como el Mays-Meter, RSP perfilómetro láser Dynatest, y otros).

El valor del índice internacional de rugosidad (IRI) se deberá medir con equipo y personal de la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT, comprometiéndose la dependencia a recorrer toda la longitud de la red federal de carreteras año con año. El sistema, ahora es capaz de registrar y archivar todos los valores medidos en el campo, kilómetro a kilómetro, proporcionando un primer listado de valores del IRI en toda la longitud de la red.

Se establece un valor límite o umbral del IRI, que por cierto el usuario puede variar a su criterio; en principio, se tomó la decisión de que el sistema seleccione tramos que cumplen o no con un valor de 3,5 m/km; esto es, el segundo resultado del sistema a este nivel será proporcionar un listado de tramos de toda la red que están por debajo de ese valor límite, archivándolo en su base de datos, y recomendando su evaluación al año siguiente (IRI solamente). Asimismo, se obtiene con el índice internacional de rugosidad especificado un tercer listado de todos y cada uno de los tramos que “no cumplen”, o sea los tramos que presentan rugosidad con valores superiores a los 3,5 m/km, mismos que el sistema señalará en segmentos de 1 km que requieren evaluación adicional con otros parámetros, y que por supuesto necesitan intervención inmediata ese año, para los que posteriormente se listarán y cuantificarán las acciones de conservación.

- iv. El Sistema de Evaluación de Pavimentos contempla una modificación significativa en cuanto a los parámetros y determinación de la capacidad estructural del pavimento.

Para los tramos que están listados y que requieren intervención, determinados según se describe en el párrafo *iii*, producto de la evaluación con el IRI, el usuario debe proceder a la evaluación con base en medición de deflexiones en 25 puntos de cada segmento con longitud de 1 km. Por su parte, el Sistema de Evaluación de Pavimentos en sus fases I y II, sólo contemplaba medición de deflexiones bajo carga estándar, con equipo de viga Benkelman o Dynaflect.

El Sistema de Evaluación incluye adicionalmente equipos más modernos ya en uso, y que proporcionan buenos resultados tales como los FWD –equipos de deflexión por impacto dinámico, tipos KUAB o Dynatest producidos en EUA y Australia respectivamente, lo que amplía el abanico de equipos disponibles; el nuevo sistema tiene capacidad de archivar y procesar datos de esta naturaleza para cualquiera de ellos que se seleccione.

Adicionalmente, se incluye el parámetro denominado “deflexión tolerable o permisible”, mismo que el sistema determina con base en los espesores reales del tramo de pavimento en estudio.

El software involucrado está diseñado para que con los parámetros anteriores de entrada, deflexión característica o de diseño bajo carga real, deflexión permisible o tolerable con base en espesores reales del pavimento, y con el índice de tránsito de diseño pueda hacer la comparación entre ambas deflexiones, arrojando dos listados como sigue: un primer resultado, que proporciona al usuario todos los tramos que presentan deflexiones reales bajo carga “menores” a la deflexión permisible o tolerable, y un segundo listado, que contiene los tramos críticos que no cumplen y que requieren conservación porque presentan deflexiones reales bajo carga, “mayores” a la deflexión tolerable.

- v. El Sistema de Evaluación de Pavimentos contempla como innovación un nuevo parámetro que no había sido considerado; esto es, el coeficiente de fricción o textura del pavimento, cuyo valor determina la buena o mala adherencia entre la llanta del vehículo y la superficie de rodamiento, estableciendo que la situación más crítica o desfavorable es la condición de “pavimento mojado”.

En el medio aeroportuario, y dada la importancia que se da a la seguridad del usuario en el transporte aéreo, además de la exigencia de cumplir con la normativa internacional, la medición de este importante parámetro desde hace 20 años se lleva a cabo periódicamente en los pavimentos que conforman el sistema terrestre aeroportuario, y que cubren el rodamiento de aeronaves tanto en las operaciones de despegue como de aterrizaje en pistas, rodajes y plataformas de operación, debiendo cumplirse con valores límite de coeficiente de fricción ordenados por las autoridades nacionales e internacionales.

En virtud de lo anterior, y conscientes de que en el transporte terrestre hubo un rezago al respecto, tomando en consideración que a la fecha el país cuenta ya con una importante extensión de más de 6 000 km de carreteras de altas especificaciones, construidas con el tradicional pavimento flexible asfáltico y pavimentos rígidos de concreto hidráulico, de común acuerdo la SCT y el IMT tomaron la decisión de hacer obligatorio y de cuantificar el parámetro de fricción, mismo que el sistema captura, almacena y procesa, y del que provee resultados para que exista una toma de decisiones adecuada al respecto por parte de los ingenieros responsables de la conservación.

En principio, se sugieren los siguientes valores límite: mínimo coeficiente de fricción para pavimento seco de 0,8 y mínimo coeficiente de fricción para pavimento mojado, de 0,5.

- vi. Es importante hacer notar que el Sistema de Evaluación de Pavimentos constituye una base fundamental, y proporciona datos que alimentarán a

cualquier Sistema de Administración de la Conservación; en otras palabras, la nueva versión aquí contemplada orienta a los usuarios a qué “nivel” de conservación se debe intervenir.

Esto es, el sistema “sólo propone” estrategias de intervención, correspondiendo al Sistema de Administración de la Conservación que tenga en uso o que elija la SCT, el análisis de las mismas en virtud de que la selección final es un asunto de carácter económico-presupuestal.

Por tratarse de pavimentos flexibles, la gran mayoría que atiende el Sector, se pensó en que las alternativas de solución de los tramos evaluados con el nuevo sistema contemplen 5, 10 y 15 años solamente, calculándose el costo presupuestal de cada intervención para que posteriormente el Sistema de Administración de la Conservación elegido pueda jerarquizar y analizar el reparto de los recursos con base en la rentabilidad de la inversión; esto es, costo/beneficio de cada obra en particular, y bajo las restricciones presupuestales impuestas.

- vii. Se resalta que ciertas acciones del mantenimiento o conservación de los pavimentos flexibles en la red federal de carreteras mexicanas son de carácter rutinario y permanente, acciones que junto con su costo involucrado, la Dirección General de Conservación de la SCT y sus Residencias Generales de Conservación en los 31 Centros SCT, definitivamente deben contemplar por separado en otro rubro, tanto de acciones a llevar a cabo, como del momento oportuno de ejecución y de los costos involucrados, por ser de carácter rutinario y de un nivel menor.

En virtud de lo anterior, el Sistema de Evaluación de Pavimentos desarrollado en este trabajo no contempla la conservación rutinaria ni la modernización de carreteras (que corresponde a otra dependencia y a otras necesidades); en cambio, definitivamente sí contempla la conservación periódica y los segmentos de vías estudiados que requieren reconstrucción. Esto es, los resultados finales del nuevo sistema incluyen los tramos que necesitan intervención, qué hay que hacer y cuánto cuesta.

- viii. Con relación al módulo económico que se manejó en las fases I y II, se hace notar que el nuevo sistema de evaluación contempla una modificación importante:

Se actualizan los costos reales de conservación a los años 1999 y 2000, y se prevén tasas de inflación anuales para que automáticamente el sistema contemple su actualización correspondiente.

- ix. Con los resultados parciales y finales que proporciona el Sistema de Evaluación de Pavimentos, el usuario está en posibilidad de obtener acciones de conservación convenientes para el corto y mediano plazos, que junto con su evaluación económica y contemplando la disponibilidad de recursos y su rentabilidad, la Secretaría a través de sus funcionarios responsables estará en

posibilidad de tomar las decisiones sobre qué acciones ejercer en el siguiente año presupuestal, incluyéndolas en su solicitud anual.

3 Módulo Datos Generales

Dentro del Sistema de Evaluación de Pavimentos, el usuario deberá llenar como primer paso un formato llamado *Datos Generales*, que contendrá como su nombre lo indica, parámetros de entrada comunes a la carretera por evaluar.

El sistema está diseñado para subdividir la carretera en estudio, o subtramos en estudio, en segmentos con longitud estandarizada de un kilómetro (1 km).

El formato en cuestión contiene los siguientes parámetros de entrada:

- Fecha de evaluación
- Origen y destino de la carretera
- Origen y destino del tramo
- Origen y destino del subtramo (km inicial - km final)
- Coordenadas geográficas – origen y destino
- Número de carriles
- Periodo de diseño en años
- TDPA en ambas direcciones
- Tasa de crecimiento anual (%) del TDPA
- Clasificación detallada del tránsito

En este módulo se capturan datos relacionados con el tránsito vehicular, del cual para esta nueva versión, sólo se considerarán los transportes pesados; esto es, autobuses foráneos de pasajeros, y vehículos de carga, como los C2, C3, T3S2, T3S3 y T3S2R4, entre otros. Las unidades ligeras se consideran de poca influencia en el daño acumulado a los pavimentos, y no se toman en cuenta.

Por otro lado, en cuanto al porcentaje de vehículos, el usuario tendrá dos opciones; una, reportar sólo el porcentaje de transportes vacíos y cargados (formato 3.1, simplificado – obligatorio); y dos, si cuenta con la información, el porcentaje preciso de los vehículos de carga que transitan vacíos, parcialmente cargados con el 20, 40, 60, 80 y 100%, respecto al volumen reglamentario, así como los sobrecargados hasta en 20% (formato 3.2, detallado –opcional).

Formato 3.1 Simplificado, obligatorio

FORMATO DATOS GENERALES (simplificado)



Origen de la carretera: _____ Origen del tramo: _____ Subtramo km inicial: _____ Coordenadas geográficas origen: _____	Fecha : _____ Destino de la carretera: _____ Destino del tramo: _____ Subtramo km final _____ Coordenadas geográficas destino: _____
Crecimiento tránsito anual: _____ % Carga legal por eje sencillo: _____ ton Temperatura promedio anual: _____ °C Precipitación promedio de lluvia: _____	Periodo diseño : _____ años No. de carriles: _____ Origen de los datos: _____ Temperatura máxima anual: _____ Temperatura mínima anual: _____

Tipo de vehículo	TDPA		Porcentaje de vehículos	
	Composición vehicular		Cargados	Vacios
B				
C2				
C3				
T3S2				
T3S3				
T3S2R4				

Formato 3.2
Detallado, opcional.

FORMATO
DATOS GENERALES
(detallado)



Origen de la carretera: _____	Fecha : _____
Origen del tramo: _____	Destino de la carretera: _____
Subtramo km inicial: _____	Destino del tramo: _____
Coordenadas geográficas origen: _____	Subtramo km final: _____
	Coordenadas geográficas destino: _____
Crecimiento tránsito anual: _____ %	Periodo diseño : _____ años
Carga legal por eje sencillo: _____ ton	No. de carriles: _____
Temperatura promedio anual: _____ °C	Origen de los datos: _____
Precipitación promedio de la lluvia: _____	Temperatura máxima anual: _____
	Temperatura mínima anual: _____

TDPA		Porcentaje de vehículos cargados						
Tipo de vehículo	Composición vehicular	Respecto al peso bruto vehicular reglamentado por el tipo de carretera						
		0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%
B								
C2								
C3								
T3S2								
T3S3								
T3S2R4								

4 Módulo Índice Internacional de Rugosidad (IRI)

Características superficiales

Los objetivos principales de la superficie de rodamiento en pavimentos para carreteras son proporcionar al usuario características de comodidad, seguridad y durabilidad.

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

Se estiman de importancia para caracterizar a los pavimentos, desde el punto de vista de su superficie:

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

Introducción

En la ingeniería de carreteras, la calidad del pavimento se analiza determinando la regularidad superficial, que tiene que ver con las irregularidades verticales acumuladas a lo largo de un kilómetro, con respecto a un plano horizontal en un pavimento. Éstas se deben principalmente a dos causas: la primera, al procedimiento constructivo, y la segunda al daño producido a la carretera misma por el tránsito vehicular. En ocasiones, dichas irregularidades son una combinación de ambas; así por ejemplo, las diferentes capas que constituyen un pavimento suelen presentar afectaciones debidas a asentamientos o acomodos de los materiales que las constituyen, y son 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. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil a un índice estandarizado.

En el pasado, el equipo y método más utilizado para cuantificar la regularidad de un perfil ha sido una regla de 3 m que permite medir las irregularidades en el

punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de referencia).

Actualmente, se utilizan equipos más modernos, tales como el perfilógrafo longitudinal, ya sea de la magnitud de 3 o 7 m y 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 se usa actualmente en el 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.

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

El propósito del sistema es analizar la red por segmentos de 1 km, y establecer sus características de regularidad superficial. Se realiza la medición del IRI para cada segmento.

Para este caso, se decide en principio un valor límite de IRI igual a 3,5 m/km, de acuerdo con lo recomendado en la Tabla 4.1, que proporciona valores internacionales, y a la experiencia nacional. Sin embargo, debe mencionarse que dicho valor de umbral se puede modificar de acuerdo con las características de la red analizada, y con la experiencia del administrador o responsable de la misma.

En muchos casos, el TDPA presente en el tramo analizado puede utilizarse como criterio para la elección de un valor límite de IRI, ya que el tránsito constituye un indicador de la importancia de la carretera y, por tanto, del nivel de deterioro tolerable en la misma.

Tabla 4.1

Límites permisibles del IRI (m/km)

País	Autopista libre	Carretera nacional	Autopista de cuota
Bélgica	2,5	3,5	2,0
España	2,5	3,0	2,5
Francia	2,0	2,8	2,0
Portugal	2,2	3,5	2,0
Italia	2,0	3,0	2,0

En la fig 4.1 se presenta una correlación entre los tipos de superficie de rodamiento y el rango de los IRI medidos. Dicha tabla fue propuesta por el Banco Mundial como parte de la Guía para la Realización y Calibración de Mediciones de Regularidad en Carreteras.

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

Fig 4.1

Recomendaciones del TRB para la selección de valores máximos admisibles de IRI en función del TDPA

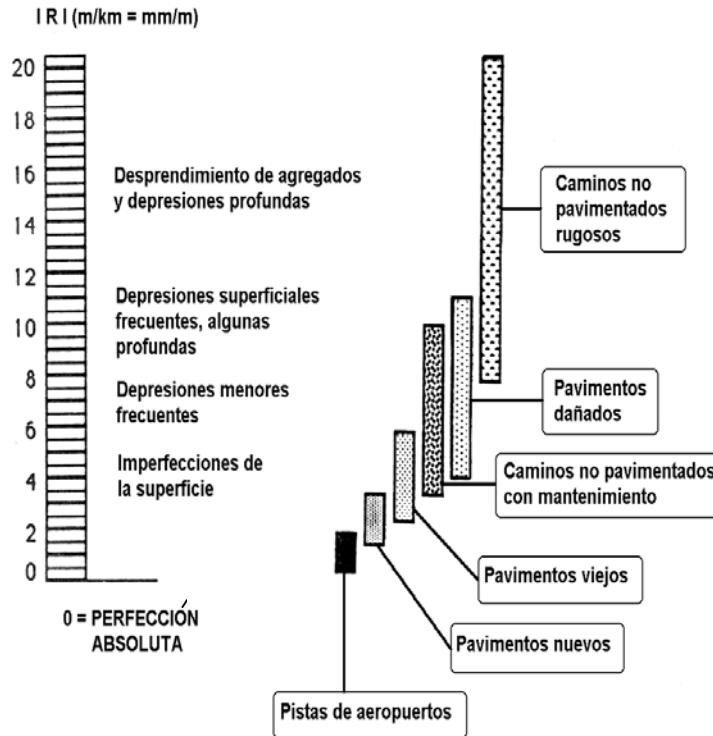


Fig 4.2

Escala del IRI, según el Banco Mundial

Una vez que se haya capturado la información correspondiente al módulo de IRI, el sistema presentará un listado como el que se ejemplifica en la tabla 4.2, en donde se puede observar para cada uno de los segmentos estudiados su respectivo valor de IRI; por otro lado, se generará un listado correspondiente a aquellos segmentos que están por debajo del límite de IRI establecido (tabla 4.3); consecuentemente se archivarán en un listado, recomendando su evaluación para el próximo año. Finalmente, se mostrará un listado de los segmentos (tabla 4.4) que excedan dicho valor de umbral, y que por supuesto requieren de una conservación a corto plazo, siendo precisamente estos segmentos los que se analizarán desde el punto de vista estructural, en el módulo Capacidad Estructural.

Tabla 4.2

Listado de los segmentos estudiados

MÓDULO I R I
DATOS DE ENTRADA



Segmento	Número	Velocidad	I R I
22+000-23+000	1	80	2,8
23+000-24+000	2	80	2,9
24+000-25+000	3	75	3,7
25+000-26+000	4	70	3,5
26+000-27+000	5	80	3,9
27+000-28+000	6	70	3,8
28+000-29+000	7	75	2,9
29+000-30+000	8	80	2,8
30+000-31+000	9	75	3,1
31+000-32+000	10	75	3,6
32+000-33+000	11	80	3,4
33+000-34+000	12	75	3,6
34+000-35+000	13	80	3,8
35+000-36+000	14	78	3,9
36+000-37+000	15	80	4,1
37+000-38+000	16	77	4,2
38+000-39+000	17	76	3,5
39+000-40+000	18	80	3,7
40+000-41+000	19	80	3,1
41+000-42+000	20	80	2,9

Tabla 4.3

Listado de los segmentos que sí cumplen con el límite establecido por el usuario (en este caso 3,5 m/km)

**MÓDULO I R I
sí cumplen**



Segmento	Número	Velocidad	I R I
22+000-23+000	1	80	2.8
23+000-24+000	2	80	2.9
28+000-29+000	7	75	2,9
29+000-30+000	8	80	2,8
30+000-31+000	9	75	3,1
32+000-33+000	11	80	3,4
40+000-41+000	19	80	3,1
41+000-42+000	20	80	2,9

Tabla 4.4

Listado de los segmentos que no cumplen con el límite establecido por el usuario

**MÓDULO I R I
no cumplen**



Segmento	Número	Velocidad	I R I
24+000-25+000	3	75	3,7
25+000-26+000	4	70	3,5
26+000-27+000	5	80	3,9
27+000-28+000	6	70	3,8
31+000-32+000	10	75	3,6
33+000-34+000	12	75	3,6
34+000-35+000	13	80	3,8
35+000-36+000	14	78	3,9
36+000-37+000	15	80	4,1
37+000-38+000	16	77	4,2
38+000-39+000	17	76	3,5
39+000-40+000	18	80	3,7

5 Módulo Coeficiente de Fricción (CF)

En la presente versión del Sistema de Evaluación de Pavimentos se contempla un nuevo módulo, denominado Coeficiente de Fricción (CF), en el cual será obligatorio determinar valores para cada segmento que se evalúe dentro de la red federal y autopistas.

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

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

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

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

Uno de los equipos más sencillos que proporcionan una medida adecuada del coeficiente de fricción, es el péndulo del TRRL (Transport and Road Research Laboratory), mostrado en la Fig 5.1 y que se describe a continuación.

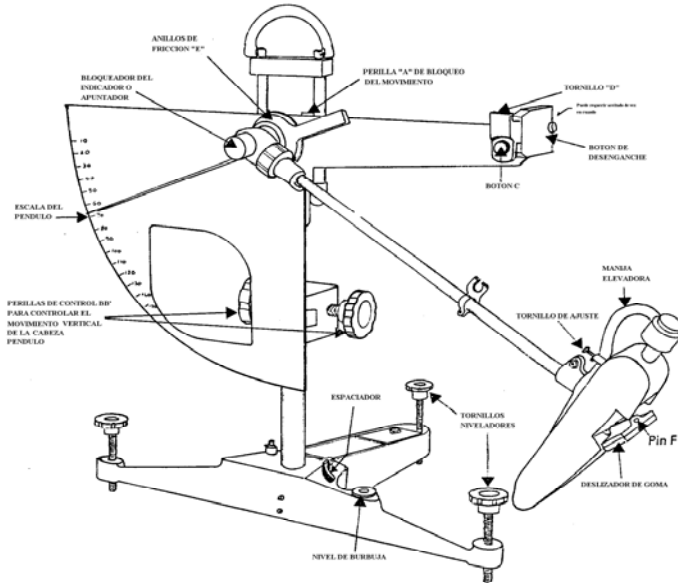


Fig 5.1

Péndulo de fricción del TRRL

Este aparato sirve para obtener un coeficiente de fricción que mantiene correlación con la fuerza de fricción real, y ayuda a valorar las características deslizantes de la superficie de un pavimento.

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

Los valores de fricción para un pavimento mojado (tabla 5.1) y seco (tabla 5.2), obtenidos con el péndulo TRRL, y producto de la experiencia europea, sirven como apoyo para sugerir un valor de referencia con respecto a la fricción.

Tabla 5.1

Límites permisibles del coeficiente de fricción para pavimento mojado

Vehículo Pavimento	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0,50	0,45	0,45	0,50
Flexible	0,50	0,50	0,45	0,45
Poroso	0,45	0,45	0,40	0,40
Lechadas	0,50	0,55	0,55	0,45
Sellos	0,50	0,45	0,45	0,40

Tabla 5.2

Límites permisibles del coeficiente de fricción para pavimento seco

Vehículo Pavimento	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Rígido	0,80	0,85	0,80	0,80
Flexible	0,80	0,85	0,85	0,85
Poroso	0,75	0,85	0,85	0,85
Lechadas	0,80	0,90	0,80	0,85
Sellos	0,85	0,90	0,75	0,80

Con base en los valores recomendados en las tablas 5.1 y 5.2, se sugiere para el caso de evaluación en carreteras mexicanas, aplicar los siguientes valores mínimos del coeficiente de fricción:

- a) Pavimentos flexibles en condiciones secas: 0,80 mín
- b) Pavimentos flexibles en condiciones húmedas: 0,50 mín

Se hace notar que considerando la “condición crítica” para el caso de mantenimiento de carreteras, y debido principalmente a requerimientos de seguridad de los usuarios, en el caso de los pavimentos mexicanos el sistema tomará como valor para separar tramos que cumplen y que no cumplen, solamente el valor de 0,5 del coeficiente de fricción en pavimento mojado. Debido a lo anterior, este módulo proporcionará un listado que muestre todos los segmentos evaluados y sus correspondientes coeficientes de fricción obtenidos (Tabla 5.3). A continuación aparecerá un segundo listado con los segmentos de longitud de 1 km que sí cumplen con el valor citado de 0,5 (tabla 5.4), con la leyenda “*Dejar en espera y evaluar al año siguiente*”; finalmente, se proporcionará un tercer listado conteniendo los segmentos de 1 km que “no cumplen” con el mínimo coeficiente de fricción especificado (tabla 5.5); éstos requerirán alguna acción o tratamiento de mantenimiento para mejorar las condiciones de operación, por lo que el sistema proporcionará dichas acciones de conservación, y posteriormente calculará el costo correspondiente.

Tabla 5.3

Listado de segmentos en estudio

MÓDULO C F

DATOS DE ENTRADA



Segmento	Número	Temp°C del pavimento	Coefficiente fricción
20+000-21+000	1	35	0,5
21+000-22+000	2	40	0,6
22+000-23+000	3	35	0,4
23+000-24+000	4	30	0,4
26+000-27+000	5	41	0,4
27+000-28+000	6	38	0,5
28+000-29+000	7	35	0,3
29+000-30+000	8	37	0,3
30+000-31+000	9	30	0,5
31+000-32+000	10	36	0,6
32+000-33+000	11	34	0,4
33+000-34+000	12	31	0,6
34+000-35+000	13	25	0,6
35+000-36+000	14	25	0,5
36+000-37+000	15	29	0,6
37+000-38+000	16	33	0,4
38+000-39+000	17	37	0,5
39+000-40+000	18	31	0,6
40+000-41+000	19	30	0,4
41+000-42+000	20	31	0,5

Tabla 5.4

Listado de segmentos que sí cumplieron con el mínimo coeficiente de fricción establecido


MÓDULO C F		
sí cumple		
		
Número	Temp °c del pavimen	Coeficiente fricción
1	35	0,5
2	40	0,6
6	38	0,5
9	30	0,5
10	36	0,6
12	31	0,6
13	25	0,6
14	25	0,5
15	29	0,6
17	37	0,5
18	31	0,6

Tabla 5.5

Listado de segmentos que no cumplieron con el mínimo coeficiente de fricción establecido

MÓDULO C F
no cumplen



Segmento	Número	Temp °C del pavimento	Coeficiente fricción
22+000-23+000	3	35	0,4
23+000-24+000	4	30	0,4
26+000-27+000	5	41	0,4
28+000-29+000	7	35	0,3
29+000-30+000	8	37	0,3
32+000-33+000	11	34	0,4
37+000-38+000	16	33	0,4
40+000-41+000	19	30	0,4

Entre las acciones más comunes a recomendar para mejorar la fricción, se incluyen:

- a) Para el caso de carreteras de la red federal, la aplicación de un tratamiento superficial mediante carpeta de un riego, con material pétreo y emulsión de liga. Para el caso de autopistas, se sugiere una microcarpeta

- b) Para el caso de autopistas con pavimentos rígidos de concreto hidráulico se recomienda el ranurado longitudinal mediante una fresadora, con ranuras de 0,5 cm de ancho y 0,5 cm de profundidad, espaciamiento de 1 cm para un drenaje superficial eficiente y no permitir la acumulación de láminas de agua que puedan provocar el fenómeno de acuaplaneo

6 Módulo Estructural

En este apartado se presentan las técnicas para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos asfálticos, así como el diseño estructural de las sobrecarpetas para refuerzo en pavimentos débiles o deteriorados (sólo superficialmente, sin grietas de fatiga), de tal manera que se incremente la rigidez de los pavimentos existentes para que puedan resistir el tránsito a lo largo de su vida útil. Adicionalmente, este módulo proporciona a nivel de sugerencia, el diseño de la reconstrucción del pavimento existente para los casos en que resulte inaceptable o impráctico seguir reforzando el pavimento con sobrecarpetas.

Es importante señalar que este módulo analiza aquellos segmentos que tienen una regularidad superficial deficiente, de acuerdo con los criterios establecidos en el módulo correspondiente de este documento; es decir, sólo aquellos tramos que presenten un índice internacional de rugosidad mayores de 3,5 m/km (o el que especifique el usuario para casos particulares), serán considerados en el programa para evaluación de capacidad estructural.

La evaluación estructural involucra la determinación de la aptitud de un pavimento para soportar el tránsito sin presentar deformaciones acumuladas mayores de 3,5 cm al final de su vida útil. La evaluación estructural se estima tanto en la condición presente del pavimento como en su vida de servicio futura (considerada), todo ello con respecto al flujo cotidiano.

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

- a) Magnitud de la deflexión real de la sección existente
- b) Índice de tránsito, con base en tasas de crecimiento y los ejes equivalentes –presentes y futuros– acumulados en el período de diseño (pudiendo ser 5, 10 o 15 años)
- c) Espesor real de la carpeta existente, igual a cero si está agrietado por fatiga
- d) Deflexión tolerable para extender la vida de la carpeta existente hasta el final de la vida útil esperada
- e) Condición de la carpeta. Si la carpeta ya está agrietada por fatiga, su vida remanente es nula, y multiplicada por cualquier factor seguirá siendo nula. En este caso deberá retirarse o colocar un white-topping

En dicha evaluación se realizan mediciones en campo de la deflexión que el pavimento presenta, bajo la aplicación de una carga estándar y con el procedimiento propuesto por el Instituto Norteamericano del Asfalto. Para este caso se realizarán 25 determinaciones para cada segmento de 1 km que no cumplen con el mínimo de IRI establecido por el usuario. Con estos resultados capturados en el programa, formato 6.1, se efectúa un análisis estadístico, definiendo el 80 percentil (δ_{80}) de las deflexiones reales en campo para obtener la deflexión característica o representativa del diseño en el pavimento en estudio.

Formato 6.1

Captura de lecturas de deflexión real en campo y cálculo del 80 percentil para deflexión característica

**FORMATO
DATOS GENERALES**
(simplificado)



Fecha : _____	Origen de la carretera: _____
Destino de la carretera: _____	Destino del tramo: _____
Origen del tramo: _____	Subtramo km inicial: _____
Subtramo km final: _____	Coordenadas geográficas origen: _____
Coordenadas geográficas destino: _____	
Crecimiento tránsito anual: _____ %	Periodo diseño : _____ años
Carga legal por eje sencillo: _____ ton	No de carriles: _____
Temperatura promedio anual: _____ °C	Origen de los datos: _____
Precipitación promedio de la lluvia: _____	Temperatura máxima anual: _____
	Temperatura mínima anual: _____

Segmento

Periodo crítico Sí
No

Lectura de deflexión (mm) o (plg)

n1=	n6=	n11=	n16=	n21=
n2=	n7=	n12=	n17=	n22=
n3=	n8=	n13=	n18=	n23=
n4=	n9=	n14=	n19=	n24=
n5=	n10=	n15=	n20=	n25=

δ_{80} %=

La deflexión tolerable (δ_{tol}) se establece de acuerdo con los criterios del Departamento del Transporte del Estado de California, con base en el espesor de carpeta existente sin agrietamiento y el índice de tránsito de diseño.

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

En la tabla 6.1 se presenta el listado de los tramos que no cumplieron con el IRI, a los cuales se les realizaron mediciones de deflexión con viga Benkelman.

Tabla 6.1

Lista de los segmentos en los cuales se midió la deflexión

MÓDULO DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL



Segmento	Número	Temp °C del pavimento	δ_{80}	δ_{tol}
24+000-25+000	3	30	1,1	1,2
25+000-26+000	4	31	0,96	1,2
26+000-27+000	5	33	1,15	1,2
27+000-28+000	6	32	1,3	1,2
31+000-32+000	10	30	0,87	1,2
33+000-34+000	12	30	0,95	1,2
34+000-35+000	13	30	1,3	1,2
35+000-36+000	14	31	1,4	1,2
36+000- 37+000	15	30	1,6	1,2
37+000- 38+000	16	33	1,5	1,2
38+000- 39+000	17	32	0,9	1,2
39+000-40+000	18	32	1,6	1,2

Cuando las deflexiones reales medidas en el campo, caracterizadas por el 80 percentil, son mayores a la deflexión tolerable, el programa procede a realizar el diseño de la sobrecarpeta de refuerzo para el periodo de diseño que se requiera, sólo si la carpeta no está agrietada por fatiga. Si lo está, hay que desintegrarla mediante una recuperadora.

La determinación de los espesores requeridos de refuerzo se realiza de acuerdo con el método vigente de diseño de sobrecarpetas, emitido por el Departamento del Transporte del Estado de California, que considera para el análisis el índice de tránsito el espesor de carpeta existente (si no está agrietada), y la vida útil que el usuario pretenda para su camino. En las tablas 6.2 y 6.3 se muestran los segmentos que presentaron deflexiones menores y mayores a la tolerable.

Tabla 6.2

Segmentos con deflexiones reales de campo menores a la tolerable (sí cumplen con rigidez estructural)

**MÓDULO DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL
sí cumplen**



Segmento	Número	Temp °C del pavimento	δ_{80}	δ_{tol}
24+000-25+000	3	30	1,10	1,2
25+000-26+000	4	31	0,96	1,2
26+000-27+000	5	33	1,15	1,2
31+000-32+000	10	30	0,87	1,2
33+000-34+000	12	30	0,95	1,2
38+000- 39+000	17	32	0,90	1,2

Tabla 6.3

Segmentos con deflexiones reales en campo mayores que la tolerable (no cumplen con rigidez estructural)

**MÓDULO DE CAPACIDAD ESTRUCTURAL
no cumplen**



Segmento	Número	Temp°C del pavimento	δ_{80}	δ_{tol}
27+000-28+000	6	32	1,3	1,2
34+000-35+000	13	30	1,3	1,2
35+000-36+000	14	31	1,4	1,2
36+000- 37+000	15	30	1,6	1,2
37+000- 38+000	16	33	1,5	1,2
39+000-40+000	18	32	1,6	1,2
41+000-42+000	20	27	1,6	1,2

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

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

Adicionalmente el programa jerarquiza los tramos considerando al tránsito diario promedio anual (TDPA), priorizando las acciones de intervención de la siguiente manera:

Para TDPA menores de 500 vehículos, se consideran soluciones económicas e incluso pueden colocarse en espera, en el caso de que por cuestiones presupuestales así se requiera ($IRI \geq 5$).

Para TDPA de 500 a 5000 vehículos, se pueden considerar soluciones combinadas de acuerdo con las condiciones de regularidad superficial y capacidad estructural presentes ($3,5 \leq IRI \leq 5$).

Para TDPA mayores de 5000 no se pueden tolerar estrategias de espera, dados los sobrecostos de operación y molestias que se generarían por la utilización del tramo, bajo estas condiciones; por lo que se presentan mensajes que indican la prioridad de atender a los tramos que muestran estos niveles de tránsito ($IRI \leq 3,5$).

A continuación se presenta un diagrama de flujo (figura 6.1) del algoritmo que el sistema utiliza para proponer los espesores de sobrecarpeta de concreto asfáltico cuando las determinaciones de la deflexión se hacen con viga Benkelman.

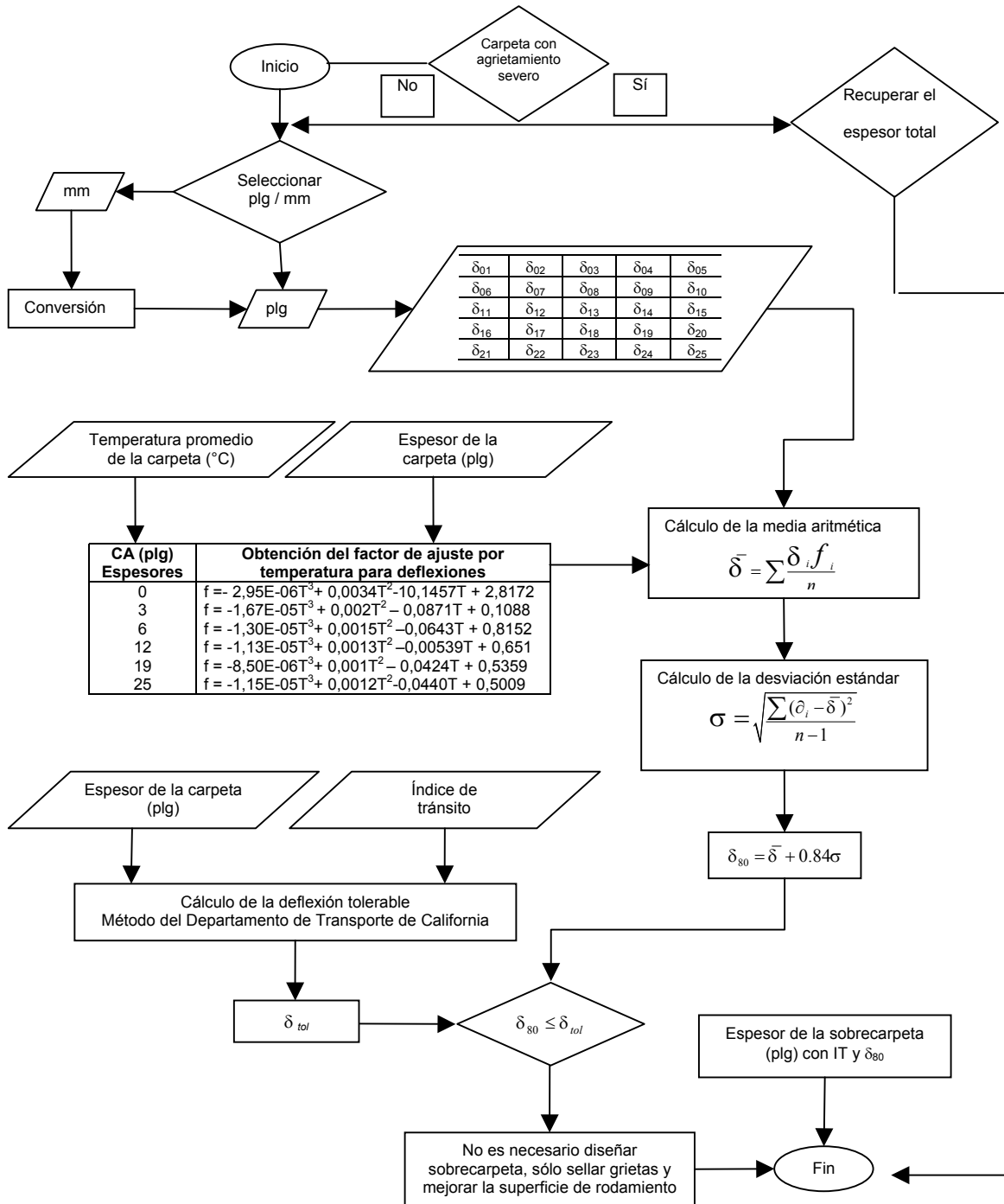


Fig 6.1
Diagrama de flujo para el diseño de sobrecarpetas

7 Módulo Acciones de Conservación y sus Costos

7.1 Conservación

7.1.1 Generalidades

A lo largo de la vida útil de un pavimento se van presentando distintos grados de deterioro debidos a múltiples causas, principalmente a la acción del tránsito y a las condiciones climáticas entre otros, lo que hace necesario llevar a cabo trabajos de conservación con el fin de mantener en buen estado tanto la superficie de rodamiento como la capacidad estructural para la que fue diseñado, minimizando los sobrecostos de operación en los que incurriría el transporte al transitar por carreteras en mal estado superficial.

La estrategia de conservación (trabajos a realizar y momento para su realización) constituye una parte integral del diseño del pavimento, que en ningún caso puede ser olvidada.

Los trabajos de conservación se divide en tres partes: conservación rutinaria, conservación periódica, y reconstrucción.

La conservación rutinaria se refiere a los trabajos que se realizan de manera continua durante todos los años para seguridad de los usuarios, y funcionalidad hidráulica de la carretera. Algunos ejemplos son el bacheo aislado, la limpieza y desazolve de cunetas, chapeo del derecho de vía, limpieza y reposición de señales, repintado de marcas de pavimento, y limpieza de alcantarillas.

La conservación periódica se entiende como las acciones planeadas y previstas en el diseño cada determinado tiempo, con el objetivo de proteger la estructura del pavimento, o rescatar la calidad de rodamiento. Acciones típicas son los tratamientos superficiales, las microcarpetas, las sobrecarpetas, la recuperación en caliente, el fresado superficial, la texturización etc.

La reconstrucción, como su nombre lo indica, implica volver a construir parcial o totalmente la sección estructural del pavimento, a fin de que cuente con la capacidad estructural adecuada para resistir el tránsito por acumularse, sin que existan modificaciones geométricas en la sección transversal. Acciones típicas son el White-topping, la recuperación, la modificación de materiales, la estabilización, la transformación en concreto compactado, etc.

Dentro del Sistema de Evaluación de Pavimentos se involucra exclusivamente la conservación periódica y la reconstrucción, quedando fuera de sus alcances la conservación rutinaria por ser independiente de las condiciones superficiales y estructurales en que se encuentre un pavimento, y la magnitud de la acción es constante a lo largo del tiempo, además de depender mucho más de las condiciones topográficas y climáticas.

Se hace notar que el sistema se enfoca tanto al estado superficial de un pavimento como al desempeño de su estructura, con base en la medición de una serie de parámetros, y los resultados que arroja están en función del nivel de deterioro que presenta.

7.1.2 Deterioros

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

Los principales deterioros agrupados son los siguientes:

Por desprendimiento:

- Indentación de objetos duros en la superficie de rodamiento
- Levantamiento por congelamiento
- Desprendimiento de agregados
- Pulido de superficie
- Desintegración de la capa de rodadura
- Exudación de asfalto

Por deformaciones:

- Burbuja
- Roderas o canalizaciones
- Ondulaciones transversales o corrugaciones
- Protuberancias
- Defectos constructivos

- Crestas longitudinales masivas
- Desplazamiento transversal de la sección del pavimento

Por tipo o grupo de agrietamiento:

- Fisuras
- Agrietamiento piel de cocodrilo
- Agrietamiento tipo mapa
- Grieta transversal
- Grieta longitudinal

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

7.1.3 Acciones de conservación

Para cada uno de los subtramos en estudio con longitud estándar de 1 km, y que requieran de un análisis más detallado, será necesario recopilar en campo información adicional que permita determinar con precisión la magnitud de los daños, y con base en ello sugerir las posibles acciones que puedan contrarrestarlos.

Las acciones genéricas de conservación que se incluyen en el Sistema de Evaluación de Pavimentos, son las siguientes:

- Bacheo de caja
- Tratamiento superficial
- Slurry –Seal
- Microcarpeta
- Carpeta de un riego open-graded
- Renivelación de la superficie de rodamiento
- Sobrecarpeta para rigidización o refuerzo

- Recuperación parcial o total de pavimento

El riego de sello consiste en colocar una película delgada de asfalto (emulsión) y encima de ella una capa de material graduado. Fundamentalmente se utiliza para sellado de grietas, en especial cuando aparece agrietamiento generalizado, malla de gallinero o piel de cocodrilo; cuando existen problemas de pulimento en la superficie de rodamiento; o cuando se presentan zonas con asfalto llorado. El objetivo principal es mejorar la textura de la superficie de rodamiento aplicando una capa con mejor índice de fricción entre llanta y pavimento. Existen otras clases de riego de sello de mejor calidad y más resistencia, como la lechada asfáltica, riego con cemento asfáltico, también denominado Slurry-seal, empleadas en carreteras de altos volúmenes vehiculares, en carreteras de altas especificaciones.

Las carpetas a base de riegos son superficies asfálticas de espesor no mayor a 3 cm que alcanzan este grosor mediante la aplicación de uno o más riegos, y colocando material graduado de diferentes tamaños.

La sobrecarpeta tendida sobre la superficie de rodamiento, y elaborada con mezclas bien diseñadas de concreto asfáltico en frío o en caliente, tiene por objeto principal reforzar estructuralmente la sección del pavimento. Esta acción comúnmente toma la decisión de ejecutarla en períodos cada 5, 7 o 10 años, con el fin de prolongar la vida útil de todo el pavimento. Por razones constructivas, es conveniente tender sobrecarpetas de refuerzo con un máximo de espesor de 10 cm por capa, con el propósito de alcanzar la compactación especificada.

Por lo anterior el Sistema de Evaluación de Pavimentos, sólo maneja espesores que van de los 3 cm hasta los 10 cm, con valores intermedios cada 0,5 cm. Para espesores de refuerzo mayores, el sistema recomienda reconstruir parcial o totalmente.

La renivelación es el tendido de una capa de mezcla asfáltica cuyo espesor varía a lo largo del tramo, aunque se considera que no debe ser superior a los 3 cm. Esta solución se adopta cuando existen problemas de deformaciones longitudinales y/o transversales, siempre y cuando las capas inferiores cuenten con una capacidad estructural adecuada, y si hay carpetas, estas no presentan agrietamiento.

La recuperación de pavimento consiste en el levantado de parte o de toda la sección estructural del pavimento, pudiendo si es el caso, llegar hasta la subrasante, para nuevamente tender y compactar cada una de las capas con el material recuperado y estabilizado con cal, cemento hidráulico o asfalto.

Finalmente, se hace notar que el sistema calcula el nivel de intervención; de acuerdo con la vida útil que el usuario quiera agregar al pavimento, propone los tramos que requieren intervención, las acciones que se pueden llevar a cabo para alcanzar ese horizonte, y el costo correspondiente.

7.2 Costos de conservación

Cada una de las intervenciones que se efectúen a una carretera, evidentemente traen implícitamente asociado un costo, que dependerá de la magnitud de la acción de mantenimiento y del precio de los insumos para poder llevarla a cabo (personal, equipo, maquinaria y materiales).

El sistema calcula el monto de la inversión necesaria para todas las acciones propuestas, con el fin de que el usuario cuente con información suficiente que le permita tomar una mejor decisión.

7.2.1 Determinación de costos

Para determinar el costo de cada una de las acciones mencionadas, se tomaron en cuenta dos condiciones que permitirán una idea bastante precisa de su magnitud: proyección y costos locales.

Costos locales

La Dirección General de Conservación de Carreteras, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, ha elaborado un Catálogo de Conceptos de Conservación, el cual incluye 63 acciones divididas en Terracerías, Estructuras y Obras de Drenaje, y Pavimentos; para cada una establece un precio a costo directo, e incluye el análisis del precio unitario correspondiente, además de costos horarios y especificaciones particulares, entre otros.

El sistema incluye la parte correspondiente a las acciones de conservación periódica y reconstrucción de tramos del Catálogo de Conceptos, ya que se trata de valores promedios en el país y forma parte del Tabulador de Costos Directos de la SCT.

De esta forma, se evita que el usuario tenga necesidad de obtener e introducir los costos de cada uno de los insumos que se requieren para ejecutar una acción de conservación, lo que minimiza las posibilidades de error, mejora la eficiencia del sistema y reduce el tiempo de respuesta.

Si bien podría pensarse que pueden existir diferencias significativas entre el costo promedio calculado por la Dirección General de Conservación de Carreteras y el costo local, debe de tomarse en cuenta que el Sistema de Evaluación de Pavimentos es una herramienta de planeación, y que la ejecución de las acciones se realizará durante el periodo presupuestal siguiente a partir del que fueron obtenidos los resultados (en el mejor de los casos), por lo que habrá variación entre lo estimado y lo real, simplemente por la inflación acumulada en el lapso citado.

Sin embargo, con la finalidad de que esta herramienta de trabajo dé un mejor apoyo al usuario, se decidió incluir un factor de actualización de costos que elimina la diferencia entre el monto promedio nacional y el local. Este valor de

actualización se puede obtener al comparar los resultados iniciales del sistema con los que maneja la residencia de Conservación, o en su defecto, calculando un costo unitario para extrapolarlo a los demás.

Proyección

Debido a que los resultados de las acciones propuestas por el sistema no se implantarán de manera inmediata, se vuelve necesario establecer un factor de proyección que determine los montos para el horizonte en el cual se pretende realizar los trabajos. Esta proyección considera los factores inflacionarios que se han presentado en México durante los últimos cinco años, de acuerdo con lo reportado por el Banco de México.

Existen dos posibilidades; la primera, es que la acción se ejecute de manera inmediata o casi inmediata a los resultados arrojados por el sistema, por lo que puede considerarse despreciable el factor inflacionario; y la segunda, es que la intervención se realice en un año posterior, siendo necesario incluir el factor inflacionario en la determinación del costo.

En este sentido, el Módulo Costos presenta una opción para la proyección del costo, que funciona de la forma siguiente:

El sistema pregunta en cuánto tiempo (en años) se pretende llevar a cabo la acción, tomando un valor de 0 (cero) en caso de que sea inmediato, así como valores de 1, 2, 3, etc, para la diferencia en años entre los resultados proporcionados por el sistema y la implantación de la acción.

Adicionalmente, es posible ajustar el factor de proyección o inflacionario, de acuerdo con las condiciones de la región, puesto que el incremento en los precios no necesariamente es uniforme en todo el territorio nacional; ni en todos los años, la estimación de la inflación por parte del Banco de México se realiza con base en la canasta básica.

7.2.2 Costos unitarios y alcances de acciones

La determinación de los costos unitarios de las acciones de conservación, no es parte propiamente de un sistema de evaluación de pavimentos; no obstante, con el fin de orientar a los usuarios, se muestran tablas con costos utilizados por la SCT, mismos que habrá que adecuar a la fecha de realización de los análisis correspondientes.

Para establecer tanto el costo como la magnitud de los trabajos, es necesario definir previamente qué tareas involucra cada una de las acciones de conservación señaladas en este módulo; para ello, se tomaron las especificaciones particulares estipuladas en el Catálogo de Conceptos de Conservación de la SCT, así como en las normas de construcción de la misma.

Posteriormente a la especificación, se presenta el análisis del costo unitario por metro cúbico para cada una de las acciones que contempla el Sistema de Evaluación de Pavimentos.

Al utilizar las escalatorias de la Subsecretaría de Infraestructura, se elimina la posibilidad de ajustar el “factor de proyección”, con un cargo adicional por razón de las condiciones de la región.

Riego de sello

Ejecución

La aplicación de carpetas de un riego se realiza conforme lo señalado en las normas para construcción e instalaciones, con la modificación de que al material pétreo se le dará un tratamiento previo de premezclado con emulsión catiónica de rompimiento rápido diluida, como se indica a continuación:

- a) El material pétreo a tratar se colocará en una plataforma de trabajo, fuera de la superficie de rodamiento de la carretera, y deberá estar en condiciones tales que no se contamine con las maniobras de premezclado
- b) El material pétreo será acamellonado de manera similar a como se elabora una mezcla asfáltica por el sistema de mezcla en el lugar
- c) La emulsión catiónica de rompimiento rápido se diluirá con agua en proporción en volumen de 40% de emulsión y 60% de agua, cuidando que sea a la emulsión a la que se le incorpore el agua y no en forma inversa; el agua a utilizar deberá estar exenta de contaminantes. Antes de aplicar al material pétreo la disolución obtenida, deberá tener una consistencia homogénea
- d) Sobre el material pétreo se aplicará la disolución de emulsión-agua, previamente calentada a una temperatura entre 30 y 40°C, en proporción aproximada de 140 l/m³ de material pétreo, cuidando que el residuo asfáltico de la mezcla sea de 2,5% en peso, o el que en su momento sea determinado por el laboratorio; se deberá observar que el mezclado se haga de manera que se obtenga un producto homogéneo
- e) El mezclado deberá realizarse en forma rápida, antes de que ocurra el rompimiento de la emulsión
- f) La aplicación del riego de sello se realizará de acuerdo con lo que se menciona en las normas para construcción e instalaciones de la Secretaría

Medición

Se hará de conformidad a lo dispuesto en las normas para construcción e instalaciones de la Secretaría.

Base de pago

El pago por unidad de obra terminada de aplicación del riego de sello con material premezclado, se hará al precio unitario fijado en el contrato por metro cúbico de cada uno de los materiales pétreos empleados; este precio incluye, además de lo indicado en las normas para construcción e instalaciones, lo que corresponda por valor de adquisición de la emulsión catiónica de rompimiento rápido y del agua para efectuar el premezclado; la carga, acarreo y descarga de la emulsión y del agua; la elaboración de la disolución emulsión-agua, su calentamiento e incorporación al material pétreo; la construcción de la plataforma para el trabajo de premezclado y, en general, todas las actividades, materiales y equipo necesarios para la correcta ejecución de los trabajos. Existe la posibilidad de contratar a precio alzado.

Análisis de precio unitario de riego de sello

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U	Total
Materiales					
Sello 3-A	Sello 3-A	m ³	1,00000	78,40	78,40
Acarreo 1er km	Acarreo 1er km tarifa SCT	m ³	1,00000	6,07	6,07
Acarreo km subs	Acarreo de km Subsecuentes, tarifa SCT	m ³ -km	44,0000	3,18	139,96
Emulsión asfáltica RR-2K	Emulsión catiónica de rompimiento rápido	Litro	56,0000	1,33	74,64
Flete de emulsiones	Flete emulsiones PEO	Litro	56,0000	0,22	12,54
<i>Total materiales</i>					311,61
Equipo					
Barredora autop	Barredora autopropulsada Mobil Sweet	Hora	0,01000	71,20	0,72
Camión volteo Merce	Camión volteo Mercedes Benz 7 m ³	Hora	0,07143	173,48	12,39
Cargador F-CAT 936	Cargador frontal CAT-936-B de 175 HP	Hora	0,01667	244,08	4,07
Compactador S/Neu	Compactador sobre neumáticos de 9 llantas autopropulsado	Hora	0,02222	203,64	4,52
Planta mezcladora E	Planta mezcladora marca Escudero modelo 80-100	Hora	0,01667	384,51	6,41
Esparcidor p/sello E	Esparcidor para sello marca Escudero	Hora	0,09091	736,09	66,92
<i>Total equipo</i>					95,02
Auxiliares					
Básico 016	Suministro y aplicación de emulsión de rompimiento rápido para riegos de liga	Litro	0,50000	3,30	1,66
<i>Total auxiliares</i>					1,66
Costo Directo					408,28

Costo directo: \$ 408,28/m³

Mortero asfáltico (Slurry Seal)

Esta acción no se encuentra en el Catálogo de Conceptos de Conservación, por lo que se incluye solamente el análisis del precio unitario. Debido a que la capa es muy delgada y el espesor único, el precio está en función del m² aplicado.

Análisis de precio unitario de mortero asfáltico (Slurry Seal)

Clave	Descripción	Costo U	Total
Materiales			
Calafateo grietas con mortero	Agregado para calafateo y emulsión asfáltica	0,03	0,03
Retiro del caucho existente y/o señalamiento	Extracción y acarreo de agua, y cepillo de raíz	3,14	3,14
Elaboración del mortero asfáltico	Agregado p/mortero, cemento Portland, emulsión asfáltica, aditivo ADP-1, extracción y acarreo de agua	12,89	12,89
<i>Total materiales</i>			16,06
Equipo			
Movimiento de material	Camioneta redilas	141,75	0,37
Retiro del caucho existente y/o señalamiento	Compresor P375W, bomba 4" gas	227,18	3,51
Limpieza para el calafateo	Compresor P375W	153,81	0,40
Barrido de la superficie, previa colocación mortero	Barredora automática Rosco RB-48	198,02	0,52
Acarreo local en formación de almacenes	Camión volteo c/caja gravera de 7 m ³	191,30	0,50
Carga, colocación y compactación del mortero asfáltico	Camión sellador Slurry, cargador 544 2.25 yd ³ , compactador PF-300B, pipa de 8,000 l, petrolizadora 5,900 l y tanque remolque de 45 m ³	1913,34	5,02
Limpieza final	Barredora automática Rosco RB-48	198,02	0,52
<i>Total equipo</i>			10,84

Clave	Descripción	Costo U	Total
Mano de obra			
Retiro del caucho existente y/o señalamiento	1 cabo, y 10 ayudantes generales	670,00	5,25
Calafateo grietas	5 ayudantes generales	1 024,75	0,38
Cribado y mezcla del agregado	20 cabos de oficios, 3 ayudantes generales	681,20	0,36
Acarreos locales en formación de almacén	1 cabo oficios, 3 ayudantes generales	946,61	0,35
Limpieza	1 cabo oficios, 6 ayudantes generales	1 561,46	0,60
Colocación de mortero asfáltico	1 cabo oficios, 2 tornilleros, 3 rastrilleros, 4 ayudante generales	2 507,38	0,93
<i>Total mano de obra</i>			<i>7,87</i>
Auxiliares			
Herramienta	10% de mano de obra	0,78	0,78
Señalamiento, seguridad e iluminación	3% del costo subtotal (\$23.96)	1,07	1,07
<i>Total auxiliares</i>			<i>1,85</i>
Costo directo			36,62

Costo directo: \$ 36,62/m²

Carpeta a base de riegos

Tanto la ejecución como la medición y la base de pago, son las mismas que para el riego de sello con la única salvedad de que la carpeta se formará con la sobreposición de tres riegos.

De la misma forma, el costo correspondiente se incrementa al triple, por lo que asciende a \$ 1 224,84/m³.

Sobrecarpeta de concreto asfáltico

Ejecución

Para la elaboración del concreto asfáltico para carpeta, se seguirá en todo lo que corresponda con lo señalado en las normas para construcción e instalaciones de la Secretaría.

Medición

Se efectuará conforme a lo indicado en dichas normas.

Base de pago

El pago por unidad de obra terminada de concreto asfáltico, compactado al grado mínimo que fije el proyecto y/u ordene la Secretaría; mínimo noventa y cinco por ciento (95%) del peso volumétrico seco máximo para la construcción de la capa de carpeta, se hará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico de la mezcla de cada banco en particular y utilizada en cada capa; este precio incluye lo que corresponde a cada trabajo específico, con lo señalado en las normas para construcción e instalaciones, incluyendo el acarreo del concreto asfáltico en la distancia entre el banco de extracción de los materiales pétreos para su elaboración y el sitio de aplicación de la mezcla. Asimismo, deberá comprender la adquisición del cemento asfáltico y su flete al lugar de aplicación, así como el producto asfáltico empleado en el riego de liga, su compra, flete, mermas y las maniobras realizadas durante su carga, descarga y aplicación, y en general todas las actividades, materiales y equipo necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

Análisis de precio unitario de sobrecarpeta

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U	Total
Mano de obra					
Banderero	Banderero	Jornal	0,00400	100,80	0,40
Cabo	Cabo	Jornal	0,00200	151,20	0,30
<i>Total mano de obra</i>					<i>0,70</i>
Herramienta					
Herramienta menor	Herramienta menor	(%) MO	0,05000	0,70	0,03
<i>Total herramienta</i>					<i>0,03</i>
Equipo					
Barredora autop	Barredora autopropulsada Mobil Sweet	Hora	0,02000	71,20	1,42
Compactador S/Neu	Compactador sobre neumáticos de 9 llantas autopropulsado	Hora	0,02000	203,64	4,08
Motoconformadora	Motoconformadora CAT. Modelo 120 G	Hora	0,00736	477,60	3,52
Vibrocompactador R	Vibrocompactador REX	Hora	0,01407	336,03	4,73
<i>Total equipo</i>					<i>13,74</i>
Auxiliares					
Básico 016	Suministro y aplicación de emulsión de rompimiento rápido para riegos de liga	Litro	5,30000	3,30	17,51
Básico 001	Mezcla asfáltica hecha en el lugar con agregado máximo de 19 mm (3/4") característica y grado de compactación según especificación.	m ³	1,10000	445,17	89,69
<i>Total auxiliares</i>					<i>507,19</i>
Costo directo					521,67

Costo directo: \$ 521,67/m³

Renivelaciones asfálticas

Ejecución

En las zonas de la superficie de rodamiento actual que hayan sufrido alguna deformación y/o desplazamiento, y que expresamente señale la Secretaría; para su corrección, se procederá conforme a lo señalado en las Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras.

Medición

Se considera como unidad el metro cúbico de mezcla, con aproximación de un decimal. El volumen se determinará en los vehículos de transporte inmediatamente antes de su carga, extendiendo la mezcla en el interior de la caja para obtener mayor precisión.

Base de pago

El pago por unidad de obra terminada de renivelación se hará al precio unitario fijado en el contrato para el metro cúbico de mezcla. Este precio incluye lo que corresponda por la apertura de la caja perimetral y la remoción del material, su extracción, carga, acarreo, descarga y acomodo en el lugar que la Secretaría ordene dentro del derecho de vía; suministro, carga, acarreo y aplicación de los productos necesarios en su caso, para la compactación al grado mínimo que fije el proyecto y/u ordene la Secretaría; suministro, carga, acarreo y aplicación de los productos asfálticos para el riego de liga y la mezcla asfáltica, así como lo que corresponda de lo señalado en las normas para construcción e instalaciones, incluyendo las cargas, acarreos y descargas de la mezcla, de la plataforma al lugar de utilización, y los tiempos de los vehículos empleados en la transportación durante las cargas y las descargas, y en general, todas las actividades materiales y equipo necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

Análisis de precio unitario de nivelación

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U	Total
Equipo					
Barredora autop	Barredora autopropulsada Mobil Sweet	Hora	0,02000	71,20	1,42
Compactador S/Neu	Compactador sobre neumáticos de 9 llantas autopropulsado	Hora	0,02000	203,64	4,08
Motoconformadora	Motoconformadora CAT. Modelo 120 G	Hora	0,00736	477,60	3,52
Vibrocompactador R	Vibrocompactador REX	Hora	0,01407	336,03	4,73
<i>Total equipo</i>					13,74
Auxiliares					
Básico 016	Suministro y aplicación de emulsión de rompimiento rápido para riegos de liga	Litro	5,30000	3,30	17,51
Básico 001	Mezcla asfáltica hecha en el lugar con agregado máximo de 19 mm (3/4") característica y grado de compactación según especificación.	m ³	1,10000	445,17	489,69
<i>Total auxiliares</i>					507,19
Costo directo					520,93

Costo directo: \$ 520,93/m³

Reconstrucción

Esta acción incluye la recuperación y formación de una base estabilizada, y la colocación de una carpeta asfáltica. Debido a que ésta involucra todo lo descrito en la acción de sobrecarpeta de concreto asfáltico, sólo se presenta la descripción de la base estabilizada, tanto con cemento Portland como con asfalto.

De esta forma, el costo del metro cúbico de reconstrucción será la suma de la base estabilizada, más la carpeta de concreto asfáltico.

Recuperación y formación de base estabilizada con cemento Portland

Ejecución

En los subtramos que ordene la Secretaría, mediante el equipo adecuado con el que se logre efectuar las operaciones “in situ” que a continuación se indican, se cortará en frío el material que constituye el pavimento existente hasta la profundidad que señale el proyecto; con el mismo equipo, el material recuperado se disgregará y mezclará con el material para base hidráulica procedente de banco, para conformar el espesor establecido en el proyecto, posteriormente se homogeneizará, agregándole cemento Portland en la proporción que sea ordenada.

La mezcla obtenida será tendida en el ancho y en el espesor fijado de manera uniforme sobre la superficie tratada, de acuerdo con las indicaciones de la Secretaría, procediendo a perfilar y compactar hasta alcanzar el 100% del peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba AASHTO modificada, constituyendo la capa de base hidráulica, debiéndose restituir el alineamiento horizontal y vertical mediante un bombeo mínimo del 2% de la sección transversal del camino, y lo señalado en las normas.

Medición

Se considera como unidad el metro cúbico del material tratado, con aproximación a un decimal.

Base de pago

El pago por unidad de obra terminada de recuperación y base estabilizada, se hará al precio unitario fijado en el contrato para el metro cúbico del material tratado y que constituirá la capa que se estipule; este precio incluye lo que corresponda por utilización del equipo de corte en frío; adquisición y/o suministro del material pétreo de banco con calidad de base hidráulica con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros a finos, parcialmente triturado, así como su acarreo desde el centro productor hasta el lugar de su utilización; disgregado del material recuperado y mezclado de éste con el material con calidad de base hidráulica; en

su caso, extracción, carga, acarreo y aplicación del agua, así como permisos para la explotación de bancos de agua; incorporación del cemento Portland normal; tendido en el espesor y ancho señalado; utilización del equipo para perfilar y compactar el material al grado mínimo que fije el proyecto y/u ordene la Secretaría; afinamiento para dar el acabado superficial. Los cargos por empleo del equipo adicional necesario, herramientas y mano de obra; consumos y desperdicios; los tiempos de los vehículos empleados en los acarreos durante las cargas y descargas, y en general todas las actividades, materiales y equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

Análisis de precio unitario de base estabilizada con cemento Portland

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U	Total
Materiales					
Grava de 1 ½"	Grava de 1 ½"	m ³	0,62500	78,40	82,60
Acarreo 1er km	Acarreo 1er km tarifa SCT	m ³	0,62500	6,07	3,80
Acarreo km subs	Acarreo de km subsecuentes, tarifa SCT	m ³ -km	15,0000	3,18	47,71
Cemento gris en saco	Emulsión catiónica de rompimiento rápido	Litro	0,06500	1500,80	97,55
<i>Total materiales</i>					198,06
Mano de obra					
Ayudante general	Ayudante general	Jornal	0,03000	95,20	2,86
Banderero	Banderero	Jornal	0,00500	100,80	0,50
<i>Total mano de obra</i>					3,36
Herramienta					
Herramienta menor	Herramienta menor	(%) MO	0,05000	3,36	0,17
<i>Total herramienta</i>					0,17
Equipo					
Camión pipa 6 m ³	Camión pipa de 6 m ³ de capacidad	Hora	0,02000	244,23	4,88
Motoconformadora	Motoconformadora CAT. Modelo 120 G	Hora	0,00918	477,60	4,38
Recuperador de CA	Recuperadora de pavimento RR-250 Marca CAT.	Hora	0,03000	1554,25	46,63
Vibrocompactador R	Vibrocompactador REX	Hora	0,01560	336,03	5,24
<i>Total equipo</i>					61,13
Costo directo					262,72

Costo directo: \$ 262,72/m³

Recuperación y formación de base estabilizada con aglutinante asfáltico

Ejecución

En los subtramos que ordene la Secretaría, mediante el equipo adecuado con el que se logre efectuar las operaciones “in situ” que a continuación se indican, se cortará en frío el material que constituye el pavimento existente hasta la profundidad estipulada en el proyecto; con el mismo equipo el material recuperado se disgregará y mezclará con el material aglutinante del tipo, y en la proporción que sea ordenada, así como el agua necesaria.

La mezcla obtenida se tenderá en el ancho y en el espesor fijado de manera uniforme sobre la superficie tratada, de acuerdo con las indicaciones de la Secretaría, procediendo a perfilar y compactar el material hasta alcanzar el 100% del peso volumétrico seco máximo determinado con la prueba AASHTO modificada, debiéndose restituir el alineamiento horizontal y vertical con un bombeo mínimo del 2% de la sección transversal del camino y lo señalado en las normas.

Medición

Se considera como unidad el metro cúbico del material tratado, con aproximación a un decimal.

Base de pago

El pago por unidad de obra terminada de recuperación del material del pavimento existente, se hará al precio unitario fijado en el contrato para el metro cúbico del material tratado y que constituirá la capa que se estipule; este precio incluye lo que corresponda al uso del equipo de corte en frío; disgregado del material recuperado; en su caso extracción, carga, acarreo y aplicación del agua, así como permisos para la explotación de bancos de agua; suministro e incorporación del producto aglutinante especificado; homogeneización de la mezcla; tendido en el espesor y ancho señalado; empleo del equipo para perfilar y compactar el material al grado mínimo que fije el proyecto y/u ordene la Secretaría; afinamiento para dar el acabado superficial; cargos por la utilización del equipo adicional necesario, herramientas y mano de obra; consumos y desperdicios y los tiempos de los vehículos empleados en el servicio de transportación durante las cargas y descargas; así como el acarreo del material aglutinante, y en general todas las actividades, materiales y equipos necesarios para la correcta ejecución de los trabajos.

Análisis de precio unitario de base estabilizada con aglutinante asfáltico

Clave	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo U	Total
Materiales					
Emulsión CRM	Emulsión catiónica de Rompimiento medio	Litro	80,0000	1,40	112,00
Flete de emulsiones	Flete de emulsiones PEO	Litro	80,0000	0,22	17,92
<i>Total materiales</i>					<i>129,92</i>
Mano de obra					
Ayudante general	Ayudante general	Jornal	0,06250	95,20	5,95
Cabo	Cabo	Jornal	0,01111	151,20	1,68
<i>Total mano de obra</i>					<i>7,63</i>
Herramienta					
Herramienta menor	Herramienta menor	(%) MO	0,05000	7,63	0,38
<i>Total herramienta</i>					<i>0,38</i>
Equipo					
Recuperador de CA	Recuperadora de pavimento RR-250, Marca CAT.	Hora	0,03000	1554,25	46,63
Vibrocompactador R	Vibrocompactador REX	Hora	0,02006	336,03	6,74
Compactador S/Neu	Compactador sobre neumáticos de 9 llantas autopropulsado	Hora	0,00980	203,64	1,99
Recicladora de pav.	Recicladora de pavimentos	Hora	0,00425	987,52	4,20
Camión pipa 6 m ³	Camión pipa de 6 m ³ de capacidad	Hora	0,02000	244,23	4,88
<i>Total equipo</i>					<i>6,44</i>
Costo directo					202,37

Costo directo: \$ 202,37/m³

Adicionalmente a la determinación de los costos de las acciones propuestas por el sistema, se incluye el análisis detallado de la mano de obra y el costo horario de los equipos, haciéndose notar que todos los valores han sido gravados con un 12% de incremento debido a la inflación registrada en durante 1999 y el aumento salarial otorgado a principios del año 2000.

7.2.3 Costos totales de acciones

Con base en los costos unitarios de las acciones, se preguntará al usuario el ancho en el que se pretende implantar la acción de conservación, ya que en algunas ocasiones puede ser exclusivamente el del carril, el del carril más el hombro, o más de un carril para carreteras de cuatro o más de ellos.

Con la información citada, el sistema desplegará una pantalla en donde presenta cada uno de los conceptos que intervienen en el costo unitario de la acción específica, el ancho, espesor y volumen total, así como el monto de la realización de ese trabajo en particular.

Modificación de costos

Como se comentó, es factible que existan variaciones significativas entre los valores empleados en la estimación del costo de las acciones y la realidad en una zona determinada; por ello, el usuario podrá modificar las cantidades especificadas para mano de obra, materiales y equipo, buscando con ello que los resultados se ajusten a las condiciones locales.

Los rendimientos no podrán modificarse pues se considera que para el Catálogo de Conceptos de Conservación se efectuaron análisis detallados que permitieron llegar a esos estándares, y que en términos generales son aplicables en cualquier parte del país sin que existan variaciones significativas.

Vale la pena recalcar que en caso de que no se tenga información confiable de los costos locales será mejor aceptar los recomendados por el sistema, ya que se constituyen en un indicador válido del orden de la magnitud de la inversión requerida para conservar en buen estado las carreteras.

Ajustes inflacionarios

Existen varias posibilidades para utilizar los resultados que arroja el Módulo Costos del Sistema de Evaluación de Pavimentos, como son estimar de los recursos necesarios para el siguiente año presupuestal, a lo largo de un periodo específico, o para asignar los recursos con que ya se cuenta para la conservación de carreteras; por ello, será necesario incluir el factor inflacionario como un elemento adicional que permita tomar en cuenta los cambios en los montos en un lapso determinado.

En este sentido, el Módulo Costos presenta una opción para la proyección de erogaciones, que funciona de la forma siguiente:

El sistema pregunta en cuánto tiempo (en años) se pretende llevar a cabo la acción, tomando un valor de 0 (cero) en caso de que sea inmediato, así como valores de 1, 2, 3, etc, para la diferencia en años entre los resultados proporcionados por el sistema y la implantación de la acción.

Si se estima que la tasa anual inflacionaria considerada no es representativa de la situación futura, mediata o inmediata, el usuario puede modificarla a fin de ajustarse a las condiciones futuras, con mayor precisión.

Una vez que se hayan aceptado o modificado los costos unitarios y la inflación anual, el sistema despliega el monto total de la acción de conservación especificada para el segmento en análisis.

Costos por tramo

Los costos de las acciones para cada segmento serán almacenados en una base de datos, con la finalidad de agruparse y determinar el costo total de conservación para el tramo completo.

Esta base de datos podrá ser exportada a manejadores de bases de datos u hojas de cálculo, por lo que será factible realizar análisis específicos, reportes y/o presentaciones por parte del usuario, que permitan una mejor toma de decisiones.

8 Conclusiones

A nivel mundial, los recursos que se asignan a la conservación de carreteras siempre son escasos e insuficientes; esto es válido tanto para países desarrollados con grandes longitudes de carreteras construidas, como para los calificados como en desarrollo.

En el caso específico de México, que pudiera ubicarse entre los dos niveles mencionados, la actual infraestructura carretera rebasa los 330 000 km, de los cuales más de 42 000 km corresponden a la red federal, donde la SCT proporciona mantenimiento; sin embargo, los recursos asignados para ello año con año, resultan insuficientes.

En virtud de lo anterior, la tendencia mundial obligó al desarrollo de los llamados Sistemas de Administración, o Gestión de Pavimentos con objeto de optimizar y eficientar tanto las acciones de conservación, como la priorización de recursos económicos disponibles. Para lograr tal optimización, la red carretera requiere de dos grandes pasos: un sistema que evalúe las condiciones del pavimento, y un sistema que administre su conservación; estrictamente en ese orden.

El Instituto Mexicano del Transporte, convencido de las bondades de los sistemas en cuestión, se dedicó desde 1990 a diseñar e implementar una herramienta sencilla y útil que pudiera cumplir con los fines descritos para condiciones mexicanas. Con el paso del tiempo y la experiencia adquirida, tanto la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, a través de las Direcciones Generales de Servicios Técnicos y de Conservación de Carreteras, así como de investigadores del IMT especialistas en el tema, se dieron a la tarea de actualizar el sistema .

El nuevo sistema en su versión 2.0, fundamentalmente involucra lo siguiente:

- a) Nuevos segmentos o tramos de estudio con longitud de 1 km
- b) Rugosidad medida sobre la carretera, que refleja la magnitud de las deformaciones acumuladas, a través del índice internacional de rugosidad
- c) Consideraciones de cargas y daños al pavimento provocadas sólo por vehículos pesados
- d) Mejoras en el criterio de la capacidad estructural de la sección del pavimento de la carretera, utilizando deflexión permisible o tolerable, versus deflexión real medida bajo carga

- e) La inclusión de un coeficiente de fricción crítico obtenido con equipos para pavimentos en condiciones mojadas o secas
- f) Consideración de acciones de conservación y sus costos, que corresponden a mantenimiento periódico y reconstrucción

Todo lo anterior, se estima proporcionará al usuario información básica y fundamental para que al interactuar y servir de datos de entrada a cualquier Sistema de Administración o de Gestión de la Conservación, la dependencia responsable del mantenimiento de carreteras, en este caso federales, se encuentre en posibilidad de cumplir el objetivo principal de priorizar las acciones de conservación, además de optimizar y eficientar los recursos disponibles para tal rubro.

La primera fase del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos publicada en los noventas; las modificaciones desarrolladas en 1993; la versión de 1995 y la más reciente en 1998, caso Puebla, junto con el rediseño desarrollado en el actual trabajo, definitivamente reflejan la “naturaleza dinámica” que se requiere en este tipo de sistemas. Es decir, ninguna metodología puede ser perfecta y permanecer sin cambios o mejoras permanentemente. En el caso de la operación del transporte carretero en México, y debido principalmente al crecimiento vehicular y la globalización de los mercados, es un hecho contundente la necesidad de actualizar estos sistemas por los fuertes cambios observados en los últimos 10 años.

Lo anterior repercute directamente en las condiciones existentes de las carreteras y su comportamiento a lo largo de la vida útil remanente. Por ello, es de vital interés diagnosticar permanentemente la condición o estado físico de los caminos, y poder con el uso de herramientas tales como los sistemas de evaluación y de gestión, proporcionar un mantenimiento adecuado que eficiente la operación del transporte en todos sentidos, optimizando los escasos recursos disponibles, y en especial minimizando sobre costos de operación.

Reconociendo la naturaleza dinámica de los sistemas de evaluación y gestión de pavimentos de la que ya se ha hecho mención, el Instituto Mexicano del Transporte continúa desarrollando proyectos en esta línea de investigación; entre los cuales destaca el Análisis Integral de la Conservación de infraestructura carretera, incorporando tecnologías como los sistemas de información geográfica y las herramientas de análisis incluidas en el HDM-4, además de evaluar la posibilidad de integrar al análisis los requerimientos de otras componentes de la infraestructura como puentes, señalamiento horizontal y vertical, así como accidentes, entre otros. Asimismo, se continúa estudiando la sensibilidad del modelo HDM-4, particularmente en lo que se refiere a los modelos de deterioro de pavimentos asfálticos y efectos ambientales.

9 Glosario

AASHO	American Association of State Highway Officials
AASHTO	American Association of State Highway Transportation Officials
Agregado	Material granular de composición mineral como arena, grava o roca triturada, utilizado para formar mortero o concreto, o sólo en bases granulares y balastos en vías férreas
Agregado fino	Agregado que pasa la malla No 4 (4,75 mm), retenido en la malla No 200 (0,075 mm)
Agregado grueso	Agregado retenido en la malla No 4 (4,75 mm)
Asfalto	Es un material aglutinante de color café oscuro a negro, el cual se obtiene de la destilación del petróleo; también puede encontrarse en yacimientos, en forma natural
Baches	Asentamientos puntuales u hoyos en forma de tazón de varios tamaños en la superficie del pavimento, generando una desintegración localizada del mismo
Camino revestido	Camino en el cual se ha colocado sobre la subrasante una o varias capas de material pétreo sin compactar, permeable, que puede ser transitada en cualquier época del año
Capacidad estructural	Número de aplicaciones de un eje normalizado de 8,2 t que el pavimento es capaz de soportar antes de acumular roderas de 2,5 cm
Carga estándar	Es la carga por eje sencillo igual a 8,2 t, utilizada para determinar las deflexiones en un pavimento; también es la carga de referencia para calcular el número de ejes equivalentes
Carga real	Es el peso bruto vehicular que transmite el vehículo al pavimento

Camino	Es la adaptación de una faja sobre la superficie terrestre que llena las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente, a fin de permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada estructuralmente
Carretera de cuota	Camino cuya utilización genera un cargo a los usuarios
Carretera estatal	Carretera a cargo de las Comisiones Estatales de Caminos
Coefficiente de fricción	Es la relación entre la fuerza normal aplicada por una llanta y la fuerza tangencial necesaria para deslizarla sin rodar
Concreto asfáltico	Es la mezcla de materiales granulares y cemento asfáltico como aglutinante
Deflexión	Es la deformación elástica máxima, producida por la carga estándar aplicada en la superficie del pavimento
Deflexión tolerable	Es la deflexión admisible en un pavimento, para que la carpeta resista sin agrietarse el número de ejes equivalentes previstos por acumularse en su vida de diseño
Deflexión real	Es la deflexión que se obtiene de mediciones en campo con la carga estándar
Estructura de un pavimento	Está compuesta por varias capas, de mayor a menor calidad, de arriba hacia abajo de la superficie de rodamiento. Entre ellas se encuentran: la sub-base, la base (con o sin estabilizar) y una capa de concreto asfáltico o hidráulico; o un tratamiento superficial
Falla estructural	Se presenta cuando el pavimento, o algunas de las capas que lo constituyen muestran deformaciones mayores de 2,5 cm por efecto de las cargas acumuladas que ha soportado; de manera tal que lo hacen incómodo de transitar, e interfieren con el drenaje transversal del bombeo
Falla funcional	Se presenta cuando el pavimento exhibe deformaciones de tal magnitud que el usuario siente incomodidad al circular sobre ésta, o interfiere con la función de drenaje
Fatiga	Es el agrietamiento de las capas cohesivas producido por la acción repetida de las cargas que circulan sobre él, deformándolo
FWD	Deflectómetro de impacto (<i>Falling Weight Deflectometer</i>)

Hidroplaneo	Fenómeno producido por la presencia de una lámina de agua entre la llanta y el pavimento impidiendo su contacto directo, por lo que la fricción entre ambas se reduce prácticamente a cero
Índice de tránsito (IT) de diseño	Es la representación del tránsito con respecto a los ejes equivalentes inferidos al pavimento. Equivale a: $9,0*(\text{ejes equivalentes}/10^6)^{0,119}$
IRI	Índice Internacional de Rugosidad
ISA	Índice de Servicio Real
Mays Ride Meter	Equipo de medición de la irregularidad superficial (IRI) de los pavimentos (de tipo respuesta)
Mezcla para pavimento recuperado	Es la mezcla del pavimento removido (previamente triturado) a la cual se adiciona cemento asfáltico, emulsión asfáltica, un agente rejuvenecedor o un agregado mineral, según sea requerido
Malla	Es un instrumento de aberturas cuadradas que se utiliza en el laboratorio para separar el material de acuerdo con su tamaño
Mortero asfáltico (slurry seal)	Mezcla de emulsión asfáltica y agregado mineral fino (arena) que se coloca extendiéndolo sobre una superficie asfáltica
Pavimento	Conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a las capas inferiores, distribuyéndolas. Este conjunto de capas termina en la superficie de rodamiento, o capa de rodadura
Periodo de diseño	Número de años desde la apertura de un camino al tránsito hasta el final de la vida funcional de un pavimento
Piel de cocodrilo	Grietas interconectadas que forman una serie de pequeños bloques semejantes a una piel de cocodrilo. Su presencia implica que la capa cohesiva superficial ha dejado de cumplir con su función de distribuir cargas

Roderas	Son canales o depresiones en pavimentos de concreto asfáltico, generadas por el paso de camiones. Su profundidad se utiliza como criterio para determinar la falla funcional de un pavimento (2,5cm)
Rugosidad	Irregularidad superficial de un pavimento, medida en un plano vertical
Segmentos	Unidad base de estudio del Sistema de Evaluación de Pavimentos, con una longitud de 1 km
Sobrecarpeta	Una o más capas delgadas de concreto asfáltico, tendidas sobre un pavimento existente
Subtramos	Conjuntos de segmentos con características geométricas y geotécnicas semejantes
Superficie de rodamiento	Cara expuesta del pavimento que está en contacto directo con los neumáticos; en general, debe cumplir con las siguientes características: presentar una irregularidad baja para las velocidades de operación, proporcionar comodidad al usuario, presentar una textura tal que incremente la resistencia al deslizamiento, tener un color que evite los reflejos de sol o luces artificiales durante la noche, plana para permitir el desalojo rápido del agua de lluvia
TDPA	Tránsito Diario Promedio Anual
Terracerías	La sección de proyecto hasta su nivel de subrasante
Textura del pavimento	Terminación que presenta la superficie un pavimento, la cual puede ser cerrada, abierta o semiabierta
Tramos	Longitud de carretera definida entre dos puntos de interés (localidades, entronques, etc)
Tratamiento superficial	Es una aplicación de material asfáltico y agregado mineral, que también puede aplicarse en varias capas
TRRL	<i>Transport and Road Research Laboratory</i>
Vida remanente	Es el tiempo durante el cual se acumularon las aplicaciones de los ejes equivalentes que el pavimento resistirá, funcionando adecuadamente después de la evaluación realizada

Bibliografía

AASHTO, *Guide for Design of Pavement Structures* (1994).

Asphalt Institute, *Thickness Design, Asphalt Pavements for Highways & Streets*, Serie de Manuales, No1 (1991).

Asphalt Institute, *Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation*, Serie de Manuales, No 17 (1983)

California Division of Highways, *Método de Prueba 356*, Materials and Research, Sacramento, CA, EUA (1978).

Experimento Internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento. Publicación AIPCR – 01- 04. T- 1995.

Rico R A, J M Orozco y O, R Téllez G y A Pérez G *Primera fase, Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)*, Documento Técnico No 3. Instituto Mexicano del Transporte, México (1990)

Rico R A, J M Orozco y O, R Téllez G y A Reyes R, *Manual del Usuario, Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)*, Documento Técnico No 5. Instituto Mexicano del Transporte, México (1990)

Rico R A, J M Orozco y O, R Téllez G y M Elizondo R, *Manual operativo de campo, Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)*, Documento Técnico No 4. Instituto Mexicano del Transporte, México (1990).

Rico R A, J M Orozco y O, R Téllez G y D Hernández. *Sistema de Evaluación de Pavimentos. Versión 1.0*, Publicación Técnica No 208. Instituto Mexicano del Transporte, México (2002).

Sayers, Michael W, Thomas D Gillespie, William D O Paterson. *Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements*. The World Bank.

Watanatada, Thawat, Clell G Harral, William D O Paterson. *The International Road Roughness Experiment*. Artículo Técnico No 45, Banco Mundial (1986).

Watanatada, Thawat, Clell G Herral, William D O Paterson. *The Highway Design and Maintenance Standards Model*. Banco Mundial.



‡ **Certificación ISO 9001:2000 según documento No 03-007-MX, vigente hasta el 24 de octubre de 2006 (www.imt.mx)**

§ **Laboratorios acreditados por EMA para los ensayos descritos en los documentos MM-054-010/03 y C-045-003/03, vigentes hasta el 9 de abril de 2007 (www.imt.mx)**

CIUDAD DE MEXICO

Av Patriotismo 683
Col San Juan Mixcoac
03730, México, D F
tel (55) 55 985610
fax (55) 55 986457

SANFANDILA

km 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
tel (442) 216 9777
fax (442) 216 9671

www.imt.mx
publicaciones@imt.mx