

- b) Directamente sobre la superficie de la carretera, empleando una zapata de mayor tamaño que la anterior, sobre la superficie mojada del pavimento.**

**(Ver detalles del procedimiento de prueba en el Apéndice D.)**

**Se puede observar que no existe correlación entre ambos procedimientos, por lo que la microtextura parece ser, en general, independiente de la macrotextura.**

**Estas prácticas puntuales son de escasa utilidad para determinar el estado de una red de carreteras, ya que presentan limitaciones de uso por su lentitud, por interferir en el tránsito y por su pequeña representatividad espacial; sin embargo, son las más difundidas en México, principalmente por organizaciones como el IMT. Para la conservación integral se tiene que recurrir a auscultaciones con equipos de alta velocidad y gran rendimiento, que permitan recoger, con la frecuencia necesaria, información del estado de toda la red.**

**Para medir directamente la fricción, se tiende cada vez más a utilizar equipos de mayor rendimiento, acoplados a un vehículo o remolcados. Entre éstos, existen diferentes tipos, según las características de la rueda de medida:**

- Rueda oblicua (respecto al sentido de la marcha).**
- Rueda bloqueada.**
- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento fijo.**
- Rueda parcialmente bloqueada, con grado de deslizamiento variable.**

**Los equipos de rueda oblicua determinan el coeficiente de rozamiento transversal. Uno de los equipos más utilizados de este tipo es el SCRIM (Sideway Coefficient Routine Inventory Machine), de origen británico y extendido por diversos países de Europa (Inglaterra, Francia, Italia, Alemania, España, etc.). La velocidad relativa de la rueda de estos equipos respecto al**

pavimento es del orden de la velocidad del vehículo, multiplicado por el seno del ángulo de deriva; 20°, en el caso del SCRIM.

Los equipos de rueda bloqueada pueden medir el coeficiente de rozamiento a gran velocidad, pero no sirven para la auscultación continua de los pavimentos de la red, pues el neumático de ensayo se desgasta muy rápidamente y, por ello, se reserva para ensayos puntuales, como, por ejemplo, en pavimentos de aeropuertos.

Los equipos de rueda parcialmente bloqueada suelen operar con un deslizamiento comprendido entre el 10% y el 20%. Como la velocidad de deslizamiento es el producto de la velocidad de desplazamiento del vehículo por el porcentaje de deslizamiento, en realidad mide la fricción a baja velocidad y, por tanto, como en el caso de los equipos de rueda oblicua, estos equipos son sensibles principalmente a la microtextura.

Existen también equipos de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento variable, que se emplean para diversos estudios de medida de fricción; por ejemplo, para determinar el valor máximo del coeficiente de rozamiento en una determinada modalidad de frenado.

Otro aspecto por el que se diferencian los equipos de medida de fricción es por el tipo de neumático de la rueda de medida (diagonal o radial; estriado o con dibujos). Los neumáticos de los equipos para medir la resistencia al deslizamiento deben cumplir unas características precisas especificadas en normas. Para evitar cambios importantes debidos al envejecimiento del caucho, deben fabricarse en cantidades relativamente pequeñas, por lo que su costo es elevado.

En México, Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) cuenta con equipo para determinar el coeficiente de fricción para la auscultación sistemática de los

**pavimentos de los aeropuertos nacionales en las pistas, las zonas de rodaje y las plataformas, tanto en pavimentos secos como en pavimentos húmedos, debiendo cumplir éstos con normas internacionales.**

**Los coeficientes obtenidos con los diversos procedimientos y equipos de medida de la resistencia al deslizamiento presentan naturales diferencias, incluso con aparatos del mismo tipo, debido a las numerosas variables que intervienen. Un factor importante es la velocidad a que se realiza la medida, ya que prácticamente no puede interpretarse el coeficiente de resistencia al deslizamiento sin conocer esta velocidad. Sin embargo, existe una correlación de cada equipo entre lo que mide y el estado del pavimento.**

## **Capítulo VI: HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.**

### **VI.1. SISTEMA INTEGRAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS (SICC).**

El SICC es un sistema que permite coordinar, controlar, evaluar, y optimizar recursos para los programas de conservación de carreteras. Es pues como el "Banco Mundial" ha llamado a la conjunción del SISTER, SIPUMEX y SIMAP. En el diagrama de flujo (ver fig. 10), se puede apreciar cómo se puede obtener un programa de inversiones a partir de estos tres sistemas.

### **VI.2. SISTEMA MEXICANO DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS (SIMAP).**

Aquí, a través del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, que se ha difundido con las siglas SIMAP, se presenta un método adaptado a las condiciones y recursos nacionales, para detectar y manejar las necesidades de mantenimiento, refuerzo y, en su caso, reconstrucción.

Partiendo de una idea original del Ing. Alfonso Rico Rodríguez, desarrollada y promovida en diversos foros nacionales y extranjeros a partir de 1970, al crearse el Instituto Mexicano del Transporte se implantó y desarrolló la primera fase del SIMAP, con el apoyo de la Ingeniería de Sistemas para darle la forma de un programa de cómputo. A través de la Coordinación de Infraestructura del

Instituto, intervinieron directamente en su elaboración los ingenieros Alfonso Rico R., Juan M. Orozco y O., Rodolfo Téllez G., Alfredo Pérez G. y Agustín Reyes R.

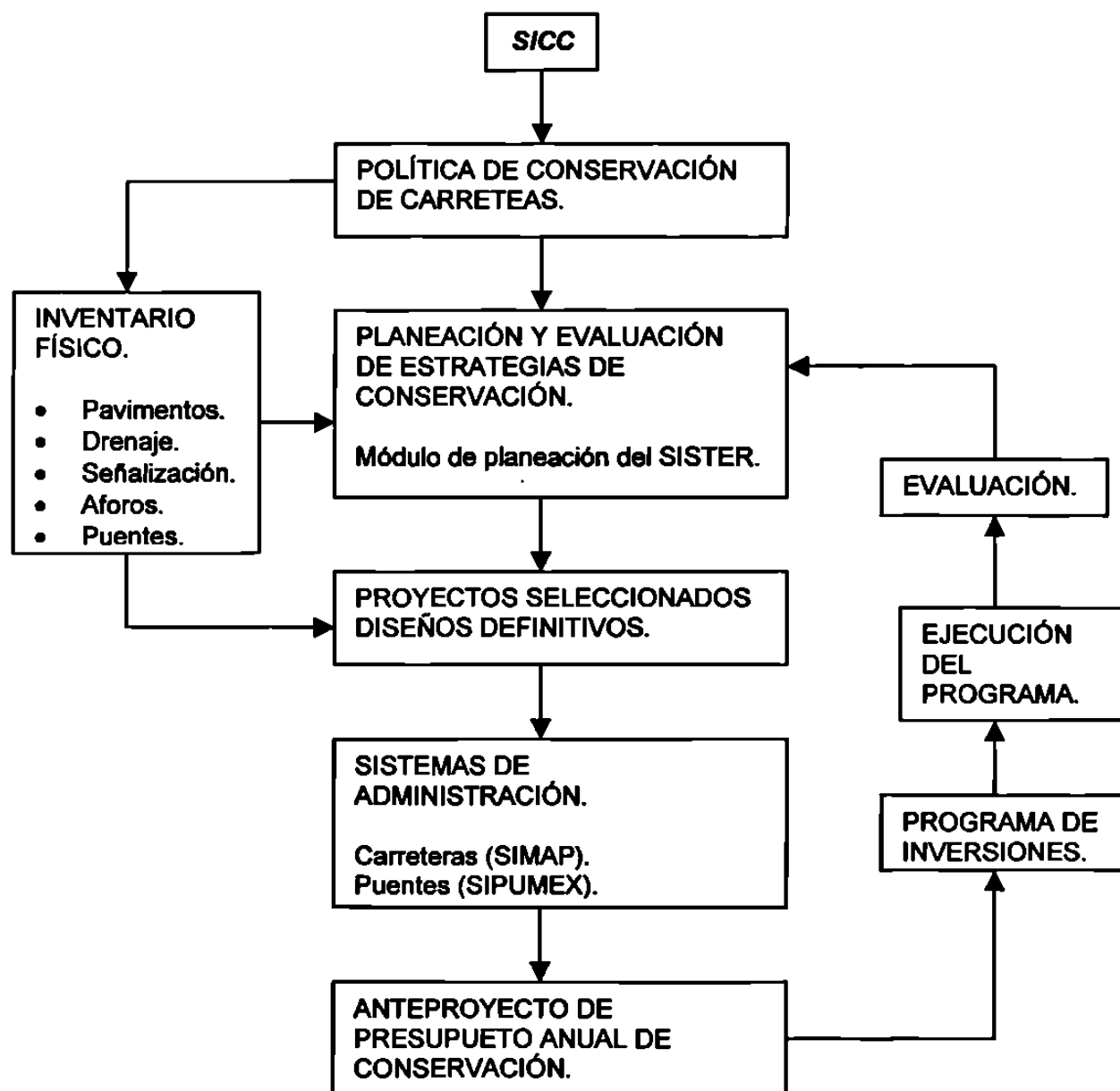


Figura 10. Estructura del SICC.

Básicamente, la primera fase consistió en la elaboración de un primer volumen, que contiene la parte conceptual o medular, que describe lineamientos generales, definiciones, equipo de cómputo, banco de datos, formatos,

**evaluación, recomendaciones y la mecánica de ingeniería para el desarrollo de los siete subsistemas o módulos que conforman el SIMAP.**

**El segundo volumen describe en detalle el “Manual Operativo de Campo”, que pretende ser una ayuda para los ingenieros de campo responsables de obtener la información necesaria para conformar los datos que se requieren de entrada al sistema de cómputo.**

**Por último, se desarrolló una tercera publicación que también forma parte del SIMAP titulada “Manual del Usuario” la cual lleva de la mano al técnico para instalar el sistema, capturar la información de los formatos de campo, consultar la información capturada en los subsistemas, analizar un segmento de carretera para obtener recomendaciones de mantenimiento, gráficas de deflexiones, relación de segmentos que requieren reparación urgente, así como imprimir formatos y resultados finales.**

#### ***VI.2.1. Bases conceptuales.***

**El sistema mexicano se fundamenta en tres puntos básicos:**

- a) Ha de aceptarse algún tipo de correlación entre la evolución del estado superficial del pavimento y su condición general, de manera que, cuanto más pobre sea la calidad superficial y más rápidamente se deteriore, peor debe ser la condición estructural. Esta es una conclusión de carácter cualitativo.**
  
- b) Ha de aceptarse que la deficiencia estructural puede correlacionarse con alguna medida hecha desde la superficie del pavimento. La deflexión parece ser el concepto que mejor sirve para estos fines. Esta es una conclusión de carácter cuantitativo y se acepta que la magnitud de la deflexión mide el defecto estructural, aunque no lo analice ni lo localice.**

- c) Cuando las deflexiones muestren deficiencia estructural en el pavimento, sólo la exploración directa permitirá el diagnóstico y la ubicación precisa de dichos daños estructurales.**

**El principal objetivo de este Sistema, para la Administración de los Pavimentos en la red troncal carretera, es posibilitar el poner en marcha de una manera simple y fácil, un mantenimiento ordenado y sistemático de los pavimentos existentes; con su priorización detallada y con la participación intensa y coordinada entre todos los elementos involucrados. El sistema debe permitir implantar un plan de conservación preventiva.**

**El Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos se puede definir como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afecten la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos y que permitan una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles. Se considera al SIMAP, en su fase I específicamente, como la herramienta actual necesaria para ejecutar los trabajos de conservación correctos según las necesidades existentes en el lugar y el momento precisos.**

**El sistema está compuesto básicamente por siete subsistemas: el DATOGEN que registra y archiva datos generales de ubicación y de tránsito; el ISA que procesa los índices de servicio actuales de las carreteras en estudio; el CAPES que procesa deflexiones obtenidas en el campo para obtener refuerzos necesarios; el INVEDET que maneja los inventarios de falla o deterioros de tramos evaluados; el HISTOREP que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento menor/mayor efectuadas; el CARGEOT que se encarga de procesar las características geotécnicas de las estructuras del pavimento y sus alrededores; y por último, el REFIN que se encarga de**

**procesar la interacción de resultados de los seis primeros subsistemas para llegar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir.**

***VI.2.2. Equipo de cómputo.***

**El Sistema Mexicano para Administración de Pavimentos (Fase I) puede ser usado en cualquier microcomputadora personal IBM, de los modelos PC/XT, PC/AT, PS/2 o compatibles.**

**Es recomendable contar con disco duro (20 megabytes) para estar en posibilidad de manejar un mayor número de datos y, al mismo tiempo, de ganar rapidez de ejecución; sin embargo, es posible utilizar una máquina con dos drives para discos flexibles de 5¼ ó 3½.**

***VI.2.3. Banco de datos.***

**Su objetivo prioritario deberá ser el de ayudar a los responsables a administrar los problemas operacionales con herramientas destinadas a satisfacer necesidades bien definidas.**

**Se trata de poner un número de datos (sólo los necesarios para simplicidad del sistema) en forma adaptada a la disposición de los responsables, desarrollando sistemas lógicos de colección, archivo y tratamiento de la información, puestos al día permanentemente.**

**Se hace notar que en esta primera etapa o plan piloto, se limitará su utilización al mantenimiento de los pavimentos.**

***VI.2.4. Recomendaciones específicas.***



1. La creación de *nomenclatura* para la identificación de las carreteras se considera indispensable, tanto para uniformizar los criterios en el nivel nacional, como para facilidad y eficiencia en el proceso de puesta en acción de programas de cómputo, por lo que se sugiere utilizar las coordenadas geográficas para orígenes-destino.
2. Se recomienda agilidad y velocidad en el proceso de manejo de datos, para contar en todo momento con una consulta ágil por parte de los usuarios y las autoridades responsables.
3. Deberá contarse con dos tipos de archivo: *Fijo*, para datos iniciales que no cambian y *Variable*, para datos producto de los subsistemas móviles.
4. La retroalimentación será indispensable en todos los pasos o etapas del sistema, para así disponer de resultados o datos que se requiera consultar, permanentemente actualizados.

Lo anterior tendrá un valor significativo en la etapa de seguimiento e implantación.

5. Se considera preferible introducir el Banco de Datos por etapas, en principio, *Modular*.

#### *VI.2.5. Evaluación sistemática.*

Consiste básicamente en poder contar con un conjunto de acciones que puedan vigilar periódicamente la evolución del comportamiento de los pavimentos de la red básica.

Se involucran los resultados obtenidos en los pasos descritos anteriormente, más el seguimiento y sus recomendaciones de evaluación sistemática.

El sistema en estudio deberá registrar en subsistemas lo siguiente: monitoreo, registro fotográfico, estructura reforzada, materiales utilizados, incidentes en el proceso de construcción, capacidad estructural (lecturas periódicas de deflexión), inspecciones visuales (avance de deterioros), calidad de rodamiento (ISA), evolución gráfica, además de las alternativas de rehabilitación, selección de estrategias y retroalimentación.

La implantación se logrará cuando se vigile la evolución, el comportamiento de los tramos y su velocidad de degradación, para así programar nuevas acciones en el tiempo preciso y prolongar la vida útil del pavimento más allá del proyecto, con productividad y repercusión en los costos futuros de mantenimiento.

#### *VI.2.6. Formatos requeridos.*

El manual operativo de campo describe con detalle y simplicidad el método para obtener datos o parámetros en el tramo bajo estudio, así como el llenado de los seis formatos indispensables para poder entrar al sistema de cómputo.

#### *VI.2.7. Mecánica de desarrollo de los subsistemas.*

*Subsistema DATOGEN (Datos Generales).* Este primer subsistema se alimenta de los datos vaciados en el formato No. 1: origen-destino de la carretera en estudio, origen-destino del tramo por evaluar, kilometrajes de inicio y fin del subtramo específico y las coordenadas geográficas correspondientes, en grados y minutos.

Fundamentalmente, el subsistema actúa como un archivo fijo y permanente, con opción a la actualización de los datos para hacerlo flexible para el usuario. Asimismo, proporcionará datos de entrada al siguiente subsistema, para alimentarlo con datos del Tránsito Promedio Diario Anual, en ambas

direcciones, su clasificación desde dos ejes o más, el peso promedio de los vehículos pesados, la carga máxima por eje para compararla con la permisible legal y la tasa de crecimiento, en porcentajes.

Por otro lado, registra y procesa el número de carriles de la carretera en estudio, y el porcentaje anual de accidentes, lo que relacionará con el estado superficial del pavimento y, por último, el período de diseño, que usualmente realizará los cálculos para 20 años como máximo.

*Subsistema ISA (Índice de Servicio).* El módulo o subsistema ISA se alimenta de datos obtenidos en el campo, sobre la condición del pavimento al momento de evaluarlo, a través de parámetros o calificaciones subjetivas (panel valuator con vehículo) o valores medidos (perfilógrafo o rugosímetro).

Su función más importante consiste en determinar tramos por arriba o por abajo del límite permisible (en México se utiliza el valor de 2.0 de la escala 0 – 5 de la AASHTO).

Los tramos que resultan con valores superiores al límite no requieren atención urgente, recomendándose solamente una evaluación periódica para darles seguimiento, lo que el programa ilustrará gráficamente, hasta llegar al fin de la vida útil del pavimento.

Los tramos que resultan con valores menores al permisible sí requieren atención inmediata y pasan a ser procesados en los subsistemas siguientes (deflexiones, deterioros, etc.). Es importante hacer notar, que al inicio de la utilización del sistema podrán ser muchos los tramos que requieran atención inmediata; pero conforme se implante el sistema, este número o longitud de la red irá reduciéndose, facilitando así a los usuarios, el prestar atención al resto de la red y extenderlo a redes no troncales.

**Subsistema CAPES (Capacidad Estructural).** El módulo de capacidad estructural utiliza valores de deflexiones obtenidos en el campo de los tramos con atención urgente. El subsistema procesa estadísticamente los valores de entrada para obtener una deflexión promedio y característica, incluyendo sus factores de ajuste.

Con los resultados obtenidos, el programa analiza deflexiones menores o mayores de lo permisible (1 mm) y utilizando en tráfico convertido a ejes equivalentes, calculará si es el caso, los espesores de refuerzo del pavimento, proporcionando alternativas desde tres hasta 20 años de extensión de la vida útil, abanico de posibilidades que proporciona al usuario opciones en función de la disponibilidad de recursos.

Se hace notar la importancia de "homogeneizar tramos" para permitir medir tramos cortos representativos y extender resultados a longitudes homogéneas más largas.

Los tramos con deflexiones mayores al límite permisible requieren de un análisis más profundo para conocer las causas que provocan tal deficiencia estructural; panorama que podrá ser dilucidado al procesar los módulos subsiguientes.

**Subsistema INVEDET (Inventario de Deterioros).** Los datos básicos de entrada al programa son los provenientes del campo y vaciados en el formato No. 4. Fueron pensados de la manera más simple para su fácil identificación y cuantificación por parte del usuario. Procesa las fallas o deterioros más comunes en los pavimentos de concreto asfáltico, y en función de su longitud o porcentaje de área, profundidad y severidad estimada, el programa compara tales valores con especificaciones o recomendaciones nacionales, para así determinar si son o no aceptables.

En el caso de resultar aceptables o tolerables, el programa pasa a analizar los datos provenientes del siguiente subsistema. Cuando resultan “inaceptables”, el sistema buscará automáticamente el archivo del subsistema REFIN para localizar:

1. El deterioro inaceptable, 2. Las posibles causas y, 3. Las soluciones más recomendables de reparación, cubriendo aspectos de mantenimiento preventivo y/o correctivo. A la fecha se analizan en el subsistema en forma detallada 11 deterioros, 31 causas posibles de falla y 28 recomendaciones de solución, y se piensa implantar en otra etapa posterior este subsistema con el “Catálogo de Deterioros” que publicó el IMT.

*Subsistema HISTOREP (Historial de Reparaciones).* El subsistema HISTOREP utiliza datos de entrada provenientes del formato No. 5; y básicamente informa el historial de las reparaciones efectuadas de mantenimiento menor y mayor de los últimos cinco años, mismo que servirá al usuario para conocer las intervenciones y su periodicidad, a lo largo de la vida útil del pavimento.

Relaciona las deflexiones características críticas obtenidas del subsistema CAPES, con las fechas más recientes de intervención, esto es, de tres años a la fecha, para así investigar en su archivo y recomendar soluciones de estudio inmediato.

*Subsistema CARGEOT (Características Geotécnicas).* Analizará todos y cada uno de los parámetros obtenidos en el campo, sobre las características geotécnicas esenciales y que influyan terminantemente en el comportamiento y duración del pavimento; tales como: temperaturas, precipitaciones pluviales, topografía del terreno, drenaje, subdrenaje, y espesores reales existentes, así como espesores de grava equivalente requeridos, si es el caso, etc.

El proceso se realiza por análisis y comparación de valores con normas o recomendaciones vigentes en el sector.

*Subsistema REFIN (Resultados Finales).* El subsistema REFIN, llamado así por procesar resultados finales, se encarga de realizar la interacción de resultados parciales, de los seis subsistemas preliminares, DATOGEN, ISA, CAPES, INVEDET, HISTOREP y CARGEOT, para llegar a obtener recomendaciones de mantenimiento preventivo o correctivo terminales, en función de las evaluaciones, mediciones y observaciones realizadas y procesadas modularmente en cada subsistema.

#### *VI.2.8. Implantación del SIMAP.*

En 1992, se contrató a una empresa de consultoría para hacer amigable el sistema, agregándole un módulo gráfico y la capacidad de alimentar la base de datos, en los subsistemas DATOGEN, ISA, INVEDET e HISTOREP, sin incorporar al sistema las bases de datos de los subsistemas CARGEOT y CAPES, por no ser del giro de la empresa.

A la fecha, los datos incorporados en los subsistemas ISA e INVEDET son obsoletos, por pertenecer al inventario realizado en 1991, y ya no se utilizan.

#### *VI.2.9. Relación necesaria entre SISTER y SIMAP.*

A pesar que el SISTER es una herramienta de planeación, y el SIMAP es una herramienta de diseño con un módulo económico, existen datos coincidentes para ambos sistemas, por lo que es fundamental hacer coincidir los cadenamientos, aprovechando los datos comunes de las bases de datos respectivas.

### **VI.3. SISTEMA SIMULADOR DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO CARRETERO (SISTER).**

El programa de conservación de carreteras de la Red Federal, se formuló con base en el Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero **SISTER**, el cual permite describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución de la red y proporcionar todos los resultados financieros y económicos necesarios para evaluar dichas estrategias. El programa permite definir simultáneamente los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de la carretera, tanto estructuralmente como de la superficie. Se establece así la crónica de los trabajos y la evolución del estado de la red.

El sistema fue elaborado por una empresa de consultoría francesa, adaptando un modelo matemático desarrollado en ese país a las condiciones particulares de México. Su elaboración se concluyó en junio de 1993; sin embargo, se necesita alimentar una base de datos complementaria sistematizando su actualización, así como llevar controles estadísticos para poder determinar las "curvas de deterioro" de los pavimentos de México (curvas que permiten conocer cómo se deterioran los pavimentos a través del tiempo). Actualmente se lleva a cabo esta actividad mediante una matriz realizada con base en la experiencia en México de la empresa **BCEOM**. En sí, casi la totalidad de los sistemas de planeación de carreteras conocidos toman en cuenta la forma de cálculo de las curvas de deterioro y los costos de operación del modelo desarrollado por el Banco Mundial **HDM** (Highway Design and Maintenance), que en el caso de los costos de operación, son calculados en el subsistema **VOC** (Vehicle Operating Costs) con datos estadísticos de países como Burkina Faso, Kenia, Brasil, etc.); no obstante, el programa de obras 1995 de la **DGCC** se elaboró con base en el **SISTER**, con un inventario físico de la Red Federal desarrollado en los 31 Centros **SCT** denominado "inventario a pie" (FyR 13). En

el presente subtema se explicarán los resultados más importantes del sistema, las recomendaciones necesarias para su total implantación y su utilización como una herramienta de planeación en la DGCC.

El Sistema, permite clasificar la red carretera en función a su estado físico en: "bueno", "regular", "malo" y "pésimo", según la base de datos del SISTER. Para finales de 1994, estas cifras fueron de 18, 25, 29 y 28% respectivamente (FyR 13).

Como se puede observar, hay una mejora substancial con respecto a 1993, en el estado bueno y regular; sin embargo, el estado pésimo se ha incrementado, localizándose en tramos con poco aforo vehicular, como se analiza más adelante.

El Sistema no va a permitir simular el comportamiento de la red federal al final de un horizonte de planeación (regularmente 15 años) obteniéndose los kilómetros que se tendrán en estado "bueno", "regular", "malo" y "pésimo", así como los "costos a los usuarios" al transitar por las carreteras, según el estado físico de la red. La base de datos del sistema se compone fundamentalmente de las siguientes variables:

1. La ruta (se tienen aproximadamente 450 rutas).
2. El número de ruta.
3. El kilómetro inicial.
4. El kilómetro final.
5. La zona de clima (toma en cuenta dos: clima tropical y resto del país).
6. La zona de costo (el sistema contempla cinco).
7. El código de decisión (se pueden tener hasta diez prioridades, las que servirán para involucrar factores políticos, sociales y/o económicos. Actualmente el sistema considera tres prioridades: 1. Ejes principales, 2. Ejes secundarios, y 3. Trabajos en proceso).



9. El número de carriles.
10. El Tránsito Promedio Diario Anual "TPDA" (considera una tasa de crecimiento del mismo).
11. El número de vehículos pesados.
12. La nota de calidad (a partir de la cual, se evalúa el Índice Internacional de Rugosidad "IRI"; y que toma en cuenta las condiciones de drenaje y estructura del pavimento del terreno de apoyo, además del estado de la superficie de rodamiento).

El sistema permite calcular los "costos de operación" de los usuarios, que como su nombre lo indica, son los costos en los que el usuario incurre al transitar por la carretera; en consecuencia, a mayor deterioro de la carretera (que es directamente proporcional al Índice Internacional de Rugosidad) éstos tenderán a incrementarse. Para el cálculo de los costos de operación se deberían considerar diversas variables tales como:

- Consumo de gasolina promedio.
- Velocidad promedio.
- Duración de llantas.
- Consumo de lubricantes.
- Incremento del deterioro carretero (según las curvas de deterioro).
- Precio de combustibles, lubricantes, llantas, etc.
- Costo de oportunidad del tiempo.
- Mantenimiento preventivo y correctivo de los vehículos, etc.

(Aquí no se toman en cuenta los costos de los accidentes vehiculares por tramo carretero.)

Para el cálculo de estos costos, el SISTER considera unas "curvas de costos de operación" que están en función tipo y volumen de tránsito y del estado de la

superficie de rodamiento. Cabe señalar que el Sistema no considera los “costos de operación” de los vehículos ligeros.

Es importante enfatizar que el Sistema tampoco considera el tránsito de vehículos ligeros al calcular el deterioro del pavimento a través del tiempo, ya que éstos no tienen injerencia sobre la estructura del pavimento.

### *VI.3.1. Resultados del Sistema.*

La salida del sistema consiste en una relación de tramos a conservar o rehabilitar, considerando los techos presupuestales de los siguientes 15 años. Estas cifras se clasifican en tres rubros básicos, que son:

1. Conservación rutinaria.
2. Conservación periódica.
3. Rehabilitación y reconstrucción. (Como se puede observar, no toma en cuenta los conceptos de construcción, modernización, puentes, estudios y proyectos, ingeniería y supervisión, edificación y capacitación, por lo que éstos se deberán considerar aparte.)

Para el presupuesto 1995, se eligió la “Estrategia 54” (FyR 13) proporcionada por el Sistema, de la cual se presenta un informe ejecutivo (ver tabla 6).

Siguiendo la Estrategia 54, para el año de 1995, se estimó que el estado físico de la red federal sea el que se muestra en la figura 11.

De manera similar, para el período 1996 – 2009, con el nivel de inversiones que se ilustra en la gráfica inferior, se esperaba a partir del año 2000, que no se presentaran tramos de red en estados malo ni pésimo, como se puede ver en la gráfica del estado de la red federal 1994 – 2009 (ver fig. 12 y 13).

Tabla 6. Informe ejecutivo de la "Estrategia 54". Nota: Todos los resultados de la Estrategia 54 se encuentran en pesos constantes a octubre de 1994.

OBRA	DESCRIPCIÓN	PRESUPUESTO '95	META '95
		MDNP	Km
	CONSERVACIÓN RUTINARIA.	280	
A1	Conservación rutinaria de los alrededores de las carreteras.	68	40280
A2	Conservación rutinaria de los pavimentos.	147	25662
A3	Calavereo y bacheo con mezcla en frío.	65	9296
	CONSERVACIÓN PERIÓDICA.	246	
P5	Base de roca triturada estabilizada con asfalto (18 cm).	142	3293
P6	Carpeta de concreto asfáltico hecho en planta (5 cm).	29	397
P7	Carpeta de concreto asfáltico hecho en planta (3 cm).	75	778
	RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN.	417	
R1	Rehabilitación de acotamientos ambos lados (con TSS).	3	47
R2	Rehabilitación de acotamientos ambos lados (sin TSS).	35	772
R3	Rehabilitación total del pavimento, base asfáltica + TSD.	69	283
R7		177	384
R8		73	140
R9		60	47
	Obras en proceso, construcción, modernización, etc.	1238	
	SUMA.	2181	

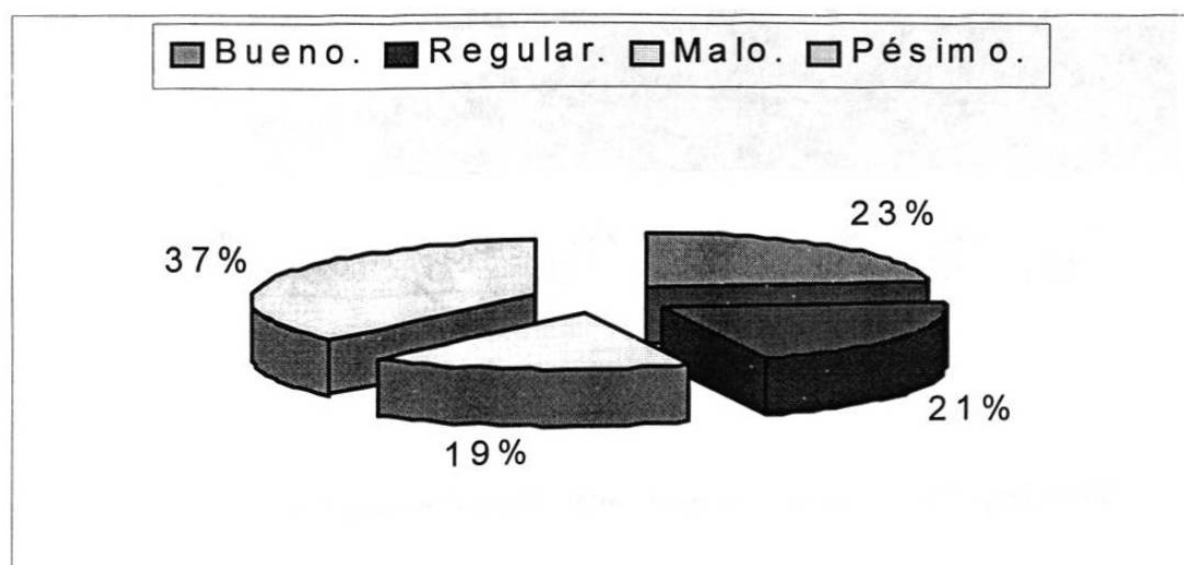


Figura 11. Estado físico de la red federal a finales de 1995.

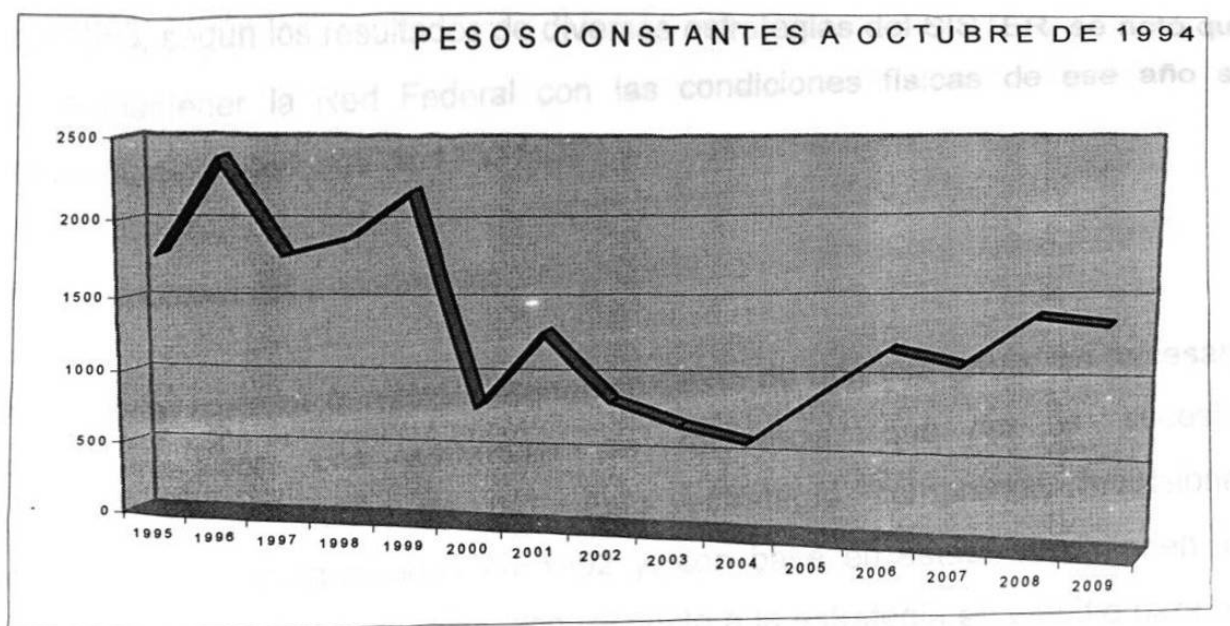


Figura 12. Presupuesto preventivo en Millones de Nuevos Pesos.

Es importante resaltar que el nivel de inversión disminuye a partir del año 2000, con base en que se tiene que reconstruir un menor número de tramos, por el estado que guarda la Red Federal.

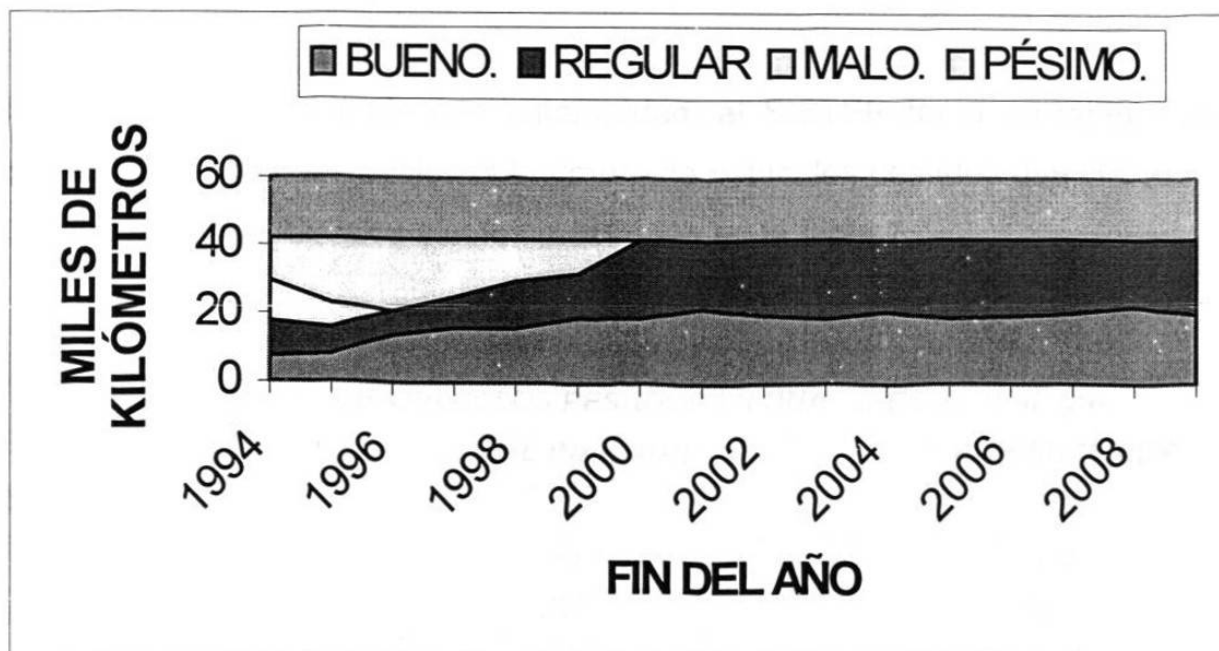


Figura 13. Estado físico de la red carretera federal, "Estrategia 54" del SISTER.

En 1993, según los resultados de diversas estrategias del SISTER, se notó que para mantener la Red Federal con las condiciones físicas de ese año se requería de inversiones de 1300 MDP.

### *VI.3.2. Indicadores económicos.*

Para poder calcular la relación Beneficio/Costo de una estrategia, es necesario compararla con una estrategia de referencia, que en lo sucesivo denominaremos "Estrategia 00". Esta estrategia comprende inversiones similares a las programadas en 1992 y, con base en éstas, se obtienen los beneficios y costos adicionales, con respecto a la estrategia en estudio para así poder calcular la relación Beneficio/Costo de la nueva estrategia.

La elección de estrategias radica en la rentabilidad económica de cada estrategia.

### *VI.3.3. Clases de tránsito.*

Como se ha mencionado con anterioridad, el SISTER toma en cuenta cinco clases de tránsito, en función del número de vehículos pesados que circulan por la carretera, los intervalos son los mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Número de vehículos pesados en una dirección al día.

<b>NÚMERO DE VEHÍCULOS PESADOS EN UNA DIRECCIÓN AL DÍA</b>		
<b>CLASE DE TRÁNSITO</b>	<b>LÍMITE INFERIOR</b>	<b>LÍMITE SUPERIOR</b>
TP0	0	75
TP1	76	300
TP2	301	1000
TP3	1001	2000
TP4	2001	6000
TP5	6001	50000

Como se puede observar en la figura 14, el sistema puede proporcionar el estado físico de la red, clasificado en función del tipo de tránsito, de donde se desprende que el 88% del estado malo y el 83% del estado pésimo se encuentra distribuido en los tramos con tránsito pesado más bajo, TP0, TP1 y TP2, con lo cual los trabajos de reconstrucción para estos tramos son, desde el punto de vista económico, poco rentables, por los escasos beneficios y altos costos.

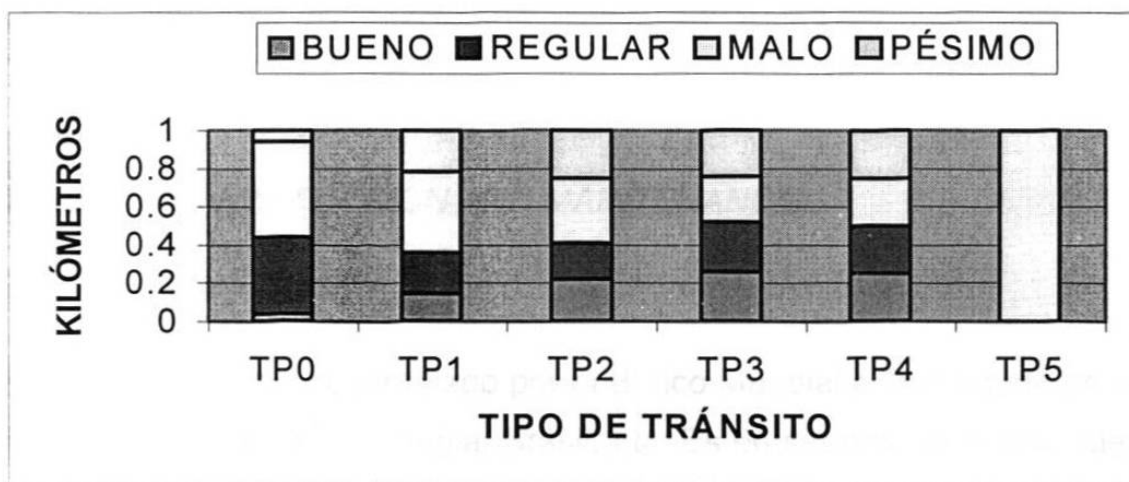


Figura 14. Clasificación del estado físico de la red federal por clase de tránsito.

Es importante, tener claro que una vez terminados de reconstruir, los tramos en estado malo y pésimo con tipo de tránsito 3, 4 y 5, es indispensable reconstruir los tramos con tránsitos TP2, TP1 y TP0, aún dada su poca rentabilidad económica, ya que, de lo contrario, estos tramos quedarán inservibles; como se puede observar en la "curva de deterioro de los caminos" citada más adelante en este subtema.

Resulta interesante resaltar que el 80% del tránsito pesado que circula por la Red Federal lo hace únicamente por 26600 km, lo que conduce a establecer estrategias de conservación con rutas prioritarias establecidas en el SISTER, por medio de jerarquizaciones.

No basta contar con los recursos económicos suficientes, sino optimizar su aplicación en obras altamente rentables. Calculando el Valor Presente Neto de los beneficios y costos, el SISTER establece trabajos en tramos de manera general, que optimizan la inversión en conservación, en el largo plazo. Graficando estos valores, se puede concluir que cualquier punto, por debajo de la curva formada, implica que se está invirtiendo dinero de una manera ineficiente. Restaría elaborar esta curva con diversas estrategias de mantenimiento carretero, con la base de datos del sistema actualizado durante 1994.

#### *VI.4. HDM (HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE).*

El HDM es un modelo desarrollado por el Banco Mundial e implantado en varios países como Burkina Faso, Kenia, Brasil, etc. Es en sí un modelo equivalente a la conjunción del SIMAP y SISTER. En 1991, la SCT decidió no implantarlo por el gran número de variables de entrada que maneja, haciéndolo inoperante para las condiciones de México. Sin embargo, actualmente existen nuevas versiones del HDM (como el HDM – 4) e incluso se sabe de la existencia de ciertos programas europeos con características similares (por ejemplo: *Proyecto FORCE* (First OECD Research Commom Experiment); los franceses VISAGE, SIMULIKRN y GIRR; de Suecia están SNRA, HITPS y PMS; NETTER-PMS, CHART, MARCH de Inglaterra; etc.), los cuales deberán evaluarse para determinar su posible utilización dentro de nuestro país.

##### *VI.4.1. HDM-4.*

Método original de HDM-111 mejorado y ampliado en tres áreas: análisis del proyecto; análisis de la programación de trabajo y, planeación estratégica.

Incluye el análisis del congestionamiento del tránsito, los pavimentos de concreto, el drenaje, el medio ambiente y los efectos en la seguridad; determina los costos de operación de vehículos, los accidentes carreteros y los tiempos de recorrido del usuario; obtiene los efectos de las emisiones de vehículos de transporte y finalmente predice cifras de accidentes viales, junto con los costos asociados.

Estimación de estrategias de conservación en el mediano y largo plazos incluyendo diferentes escenarios presupuestales (5 – 40 años).

La red carretera es caracterizada en longitudes de diferentes categorías definidas por parámetros como la clase de camino, el tipo de superficie, la condición del pavimento o el flujo vehicular del tránsito.

Utiliza el IRI para medir la rugosidad y efectuar el análisis, en el nivel de proyecto.

Predice el deterioro del camino, tanto en pavimentos flexibles o rígidos como en caminos sin pavimentar.

Observaciones generales.

1. Los sistemas HDM-4 y sueco están todavía en desarrollo.
2. El sistema inglés sólo se utiliza en la India y en Malasia.
3. Los sistemas francés y finlandés son bastante complicados, pues requieren, en los módulos de análisis, mucha experiencia en el uso del sistema, como si fueran una "caja negra".
4. PIARC considera que cualquiera de los cinco sistemas expuestos son útiles y proveen resultados confiables, cuando se emplean adecuadamente por expertos.



- 5. En el futuro, se percibe que el HDM-4 será el sistema más flexible y "amigable" entre los analizados.**
- 6. Entre los costos globales involucrados, la obtención de datos en el campo repercute del 1 al 2% del presupuesto total de conservación.**
- 7. Excepto el sistema francés, los demás consideran en su metodología los "costos de operación".**
- 8. "Sistema Ideal".**

#### **Características.**

- Confiabilidad de los datos de entrada y de salida.**
- Flexibilidad y sencillez del sistema (Use friendly).**
- Costos de operación del sistema, del 1 al 2% del presupuesto de conservación.**
- El Modelo económico del sistema deberá basarse en la optimización matemática.**
- Deben incluirse los costos de operación de usuarios.**
- Es importante contar con el valor presente neto y tasa de retorno o equivalente.**
- Los modelos deben utilizarse entre los diferentes niveles de la organización o dependencia.**
- La asignación de recursos entre diferentes regiones, tipos de camino y varias actividades de mantenimiento.**
- Se han de considerar los factores políticos, económicos e ingenieriles, en el proceso de toma de decisiones.**
- HDM-4 es el que más se acerca al sistema ideal, pero hay que recordar que aún está en desarrollo y no existe prueba actual de su funcionamiento práctico.**

**Capítulo VII: PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS  
ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LAS CARPETAS  
ASFÁLTICAS EN LAS CARRETERAS.**

**VII.1. NECESIDAD DE UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE CONSERVACIÓN.**

Para llegar al convencimiento de la necesidad de reunir las tareas de la conservación carretera en un conjunto sistematizado, al que pueda darse el nombre de una estrategia, parece conveniente ponderar los siguientes hechos:

- En primer lugar, se presenta el arrastre de la historia dentro de la que se generó la red básica mexicana.
- En segundo lugar, existe el hecho innegable de que la conservación de la red nacional frecuentemente ha quedado preferida en relación a una dedicación preponderante a tareas de construcción de nuevas obras; fenómeno generalizado en todos los países que buscan acceso a un rápido desarrollo, aunque no se ignore el hecho de que trabajar para lo nuevo tiene muchos aspectos más gratificantes que conservar lo ya adquirido. No hay que decir que aquí existe una fundamental ocasión de reflexión, en el nivel de criterio general.
- En tercer lugar, se da la circunstancia de que la red nacional carretera, aún considerada en su segmento básico, ha crecido muy por encima de lo que es posible administrar con métodos tradicionales, fundamentados

en la información por “comunicación personal”, por “sentido común” o por “experiencia” fundada en conocimiento regional o local.

- La gran extensión de la red y el enorme volumen de los recursos necesarios para su conservación, hacen también muy delicado y conflictivo el correcto empleo de tales recursos. Surge ahora, en mucha mayor medida que antaño, la necesidad de seleccionar y jerarquizar acciones, haciendo en cada tramo precisamente lo que el país requiera en ese tramo. Pasó el tiempo de las acciones de tipo general o de la selección de tales acciones por criterio personal. Hay que reconocer que el volumen de la información manejada está por encima de la capacidad de cualquier ser humano, para manejarla en forma selectiva y jerarquizada.

Todo lo anterior impone la necesidad de elaborar un sistema coherente, manejando la información con los recursos del cómputo y estableciendo mecanismos de selección y evaluación de carácter impersonal y sólo dependientes en lo general de los datos proporcionados por la información misma. Cada carretera y cada tramo característico debe ser tratado con el mismo criterio general, evitando todo tipo de desviaciones por inclinación personal o sentimiento.

## *VII.2. BASES PARA UNA ESTRATEGIA NACIONAL DE CONSERVACIÓN.*

Si se analiza de cerca la conceptualización de la tarea de la conservación de las carreteras, es posible llegar a la conclusión de que, independientemente de la importancia universalmente reconocida del problema, la política que ha de desarrollarse para resolverlo suele carecer de objetivos claros.

Todo ingeniero, economista o financiero, conectado con el caso, reconoce la importancia fundamental de una buena solución; pero si se pregunta el porqué, es frecuente obtener respuestas vagas del tipo de: “para que estén bien las carreteras”, “para facilitar el tránsito de los vehículos, para propiciar el buen transporte” y otras por el estilo.

La importancia del asunto es tal, que la ausencia de un objetivo esencial crea un vacío que ha de ser llenado inmediatamente de alguna manera. A llenar tal vacío suelen concurrir motivos menos relevantes para guiar las acciones de conservación y dirigir la asignación de sus recursos. Así, las acciones y quejas de las comunidades más activas, las de los grupos políticos locales más influyentes, la opinión general del público usuario, las manifestaciones de los medios informativos y otras, suelen ser importantes motivantes de acciones de conservación. Todo ello conduce a ciertos niveles de confusión y a vacilaciones en la aplicación de un verdadero concepto estratégico, a escala nacional.

En un país con las condiciones prevalecientes en México, donde se busca un desarrollo nacional armónico, la generación de la riqueza y su adecuada distribución social y la máxima activación económica, tanto en el interior como hacia el exterior, parece que el objetivo único de una política de conservación de la red básica de carreteras debe ser ***“OPTIMIZAR EL TRANSPORTE DE CARGA”***; a ello deben ceñirse todas las acciones de estrategia. El anterior objetivo, único que se ha propuesto, tiene la virtud adicional de la sencillez, pues las acciones con objetivos múltiples suelen caer en frecuentes dilemas que entorpecen la acción fundamental. Para lograr el objetivo enunciado, deben buscarse caminos apropiados; pero, si en busca de la perfección y del detalle, éstos son muchos, se correrá también el riesgo de caer en la confusión, la vacilación y la duda.

### ***VII.3. UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS.***

### ***VII.3.1. El paradigma para ordenar la importancia de las carreteras.***

El objetivo único de la conservación de la red productora de riqueza es favorecer en todo lo que sea posible el transporte de carga; y el medio para lograr tal fin, desde el punto de vista infraestructura, es disminuir en todo lo que sea posible los sobrecostos de operación vehicular. Para completar este criterio y con vistas a poder ordenar los caminos según su importancia para los fines perseguidos, se debe establecer un criterio calificador de dicha importancia.

Se hace énfasis en el transporte de carga, básicamente, porque es él quien propicia los mayores problemas en lo referente al estado superficial de las carreteras, debido a que la Ley de Pesos y Dimensiones vigente necesita urgentemente ser revisada y adaptada a las condiciones prevalecientes de la red nacional. Paralelamente, parece que es necesario, una vez que se hayan determinado los parámetros que caracterizan con mayor importancia a la superficie de rodamiento de estos caminos, (IRI, IFI, Catálogo de Deterioros), que los estudios y análisis para su determinación, sean oficialmente normalizados; ya que, aunque son bien conocidos los métodos y procedimientos necesarios para la obtención de dichos indicadores, muchas veces ésta se hace sin el cuidado adecuado (debido, entre otras cosas, a falta de equipo indicado y/o confiable, o a falta de personal capacitado para estas labores, etc.), lo que deriva en resultados que podrían ser incongruentes con la realidad; por ejemplo, un tramo que esté dentro del intervalo permisible de un determinado parámetro de evaluación, no necesariamente cumple satisfactoriamente con los demás elementos de juicio, y viceversa; por lo tanto, es realmente necesario exigir que los tramos analizados y que sean calificados como "en buen estado", estén dentro de los niveles permisibles del IRI, IFI y del Catálogo de Deterioros. De lo contrario, tendremos entonces, qué hacer una jerarquización de los tramos que no cumplan con estas características

fundamentales, para poder hacer así una asignación justa, tanto de las acciones de conservación que requieran en particular los tramos analizados, como de los recursos disponibles para tales fines.

En el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), el criterio escogido fue el de jerarquizar de acuerdo con el valor de la carga transportada por la carretera, en un período anual. De algún modo se acepta que el camino que transporta más valor de carga es el más influyente en la generación de riqueza nacional.

El valor de la carga que circula por una carretera en un año dado puede conocerse como uno de los productos derivados de lo que en el IMT se ha denominado el "Estudio de Campo para Determinar Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga".

En 1994, este estudio fue elevado a la categoría de permanente y anual, en la SCT y consiste en lo siguiente:

Se trabaja un cierto número de estaciones instaladas en puntos previamente seleccionados de la red, durante una semana cada una. En ese tiempo se pesan todos los vehículos circulantes durante las 24 horas de cada día, utilizando pesadoras dinámicas calibradas. Como en cada caso se conoce el vehículo que pasó y, por ello, su tara, es posible conocer el peso de la carga transportada.

A una muestra estadística de los vehículos de carga circulantes, que puede ser la totalidad de ellos, sin causar mayores problemas, se le detiene, midiendo dimensiones (para otros fines no discutidos en este trabajo) y se les interroga sobre la naturaleza de la carga que transportan. De esta manera se conocen el tonelaje de carga que lleva cada vehículo y el tipo de carga transportada.

Diversas instituciones nacionales publican datos de origen hacendario útiles a los fines que siguen. De ellas, el IMT ha seleccionado al Sistema de Información Comercial de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial del Gobierno Mexicano, que anualmente proporciona una relación del valor monetario unitario que corresponde a cada tipo de carga de un conjunto del orden de un centenar, en que pueden agruparse con aproximación suficiente a los fines perseguidos, todas las mercancías que circulan por el territorio nacional. Con esto podemos conocer el valor de la carga circulante en el lapso de prueba.

Se hace ver que para el grupo de estaciones no existe una correspondencia consistente entre el aforo vehicular y el valor de la carga transportada, y se pueden observar también las ingentes cifras monetarias involucradas en el transporte.

Si el paradigma de la conservación es el valor económico de la carga transportada por cada determinado corredor, resulta evidente que aquellos tramos de mayor importancia deberán conservarse con mayor calidad y, por lo tanto, con mayor inversión. Los tramos colocados más abajo en la escala de prioridades no podrán ser por ello eliminados de las acciones de conservación, pero será razonable que éstas se realicen en niveles de índice de servicio, ordenadamente más bajo. Obviamente, ésta será la labor básica de la aplicación de la Estrategia de Conservación Nacional. Por otro lado, este problema de jerarquización de calidad y dedicación de inversión, según la importancia económica, se presentará con cualquier otro criterio que se utilice para señalar esa importancia.

Se deberá considerar esta nueva variable dentro de las rutas prioritarias que maneja el SISTER (con base en un "código de decisión"), para mejorar la transitabilidad de las carreteras, en función al valor de la carga transportada, en lugar de tratar de minimizar los costos de operación de los vehículos pesados.

**VII.4. ASFALTOS.**

Dentro del tema de los asfaltos, podemos considerar que el mejoramiento del comportamiento de los pavimentos deberá estar sujeto a un programa de investigación que permita aumentar el conocimiento de las propiedades físicas, químicas, reológicas y mecánicas de los cementos y los concretos. Los resultados de la investigación deberán permitir:

- a) El desarrollo de nuevas especificaciones para ligantes asfálticos, desde el punto de vista del comportamiento esperado del pavimento, así como de los métodos y equipos de ensaye adecuados;
- b) Diseñar un sistema computacional para el diseño de mezclas asfálticas, con base también en el comportamiento esperado, incluyendo métodos y equipos de ensaye;
- c) Proponer un método para la evaluación de los asfaltos modificados.

Dado lo complejo de la química de los asfaltos, las especificaciones correspondientes actuales han sido desarrolladas hasta ahora tomando como base pruebas para la determinación de propiedades físicas, únicamente. Ejemplo de esas pruebas son las de penetración, viscosidad y ductilidad, que se realizan en condiciones de temperatura estándar. La correlación entre esas pruebas y el comportamiento de un pavimento es completamente empírica, por lo que se requiere que transcurra mucho tiempo antes de poderla validar adecuadamente. Un ejemplo de lo anterior lo constituye la prueba de penetración. Esta prueba da una indicación de la rigidez del asfalto, pero una relación entre penetración y comportamiento no se ha podido obtener por la



experiencia. Otra limitación de los ensayos actuales es que los resultados no cubren el rango completo de temperaturas típicas en pavimentos. Por ejemplo, aunque la viscosidad es una propiedad de flujo, el ensayo provee sólo información del comportamiento viscoso a altas temperaturas, ya que la prueba se realiza a 60 y 135°C. Del mismo modo, el ensayo de penetración sólo describe la consistencia del asfalto a temperaturas medias (25°C). El comportamiento elástico del asfalto, a bajas temperaturas, no puede predecirse realísticamente a partir de esa información.

Por ejemplo, se ha reportado que las especificaciones actuales para asfaltos, basadas en viscosidad y penetración, pueden clasificar diferentes productos en una misma categoría, aún cuando tengan distintas características de comportamiento, en lo referente a deformación permanente y a fracturamiento por fatiga. Puede haber asfaltos con la misma consistencia a bajas temperaturas, pero diferentes a altas temperaturas. Algunos asfaltos únicamente pueden coincidir en el valor de la consistencia a 60°C. Como esos asfaltos se clasifican actualmente en una misma categoría, se puede esperar, erróneamente, que tengan las mismas características durante el proceso de construcción y el mismo comportamiento en condiciones climáticas diferentes.

Debido a lo anterior y a otras cosas, el programa SHRP propone una serie de nuevas especificaciones para asfaltos, modificados o no, basadas en la realización de ensayos de laboratorio relativamente novedoso. Estos ensayos permiten medir propiedades físicas del asfalto que están relacionadas directamente con su comportamiento real en el campo. La tabla 8, lista los nuevos equipos de prueba con una breve descripción de su utilización en las nuevas especificaciones.

Las nuevas especificaciones consideran las tres etapas críticas durante la vida del asfalto. Los ensayos realizados sobre el asfalto virgen original representan las etapas de su transporte, almacenamiento y manejo. La siguiente etapa es la

de producción de la mezcla asfáltica y construcción, que se simula con la *prueba de la película delgada*. La tercera y última etapa del asfalto, que corresponde a la vida útil del pavimento, se simula por medio del *Recipiente Hermético de Envejecimiento*. El uso de las nuevas especificaciones debe permitir la selección del asfalto adecuado, en función de las condiciones locales de temperatura, para obtener siempre un buen comportamiento durante las condiciones de trabajo del pavimento.

Tabla 8. Breve mención de los equipos de prueba que propone el Programa SHRP para evaluar las propiedades del asfalto.

<b>PROPIEDAD</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>PROPÓSITO</b>
Deformación Permanente y Fracturamiento por Fatiga.	Horno para la prueba de la película delgada; recipiente hermético de envejecimiento. Reómetro de corte dinámico.	Simulan el envejecimiento del asfalto. Mide las propiedades del asfalto a temperaturas intermedias y altas.
Flujo.	Viscosímetro rotacional.	Mide las propiedades del asfalto a altas temperaturas.
Fracturamiento por Bajas Temperaturas.	Reómetro para flexión en vigas. Equipo de tensión directa.	Miden las propiedades del asfalto a bajas temperaturas.

Sin duda, en lo que a asfaltos se refiere, se están proponiendo procedimientos y equipos que serán de mucha utilidad. Por ejemplo, en las nuevas especificaciones se proponen 21 tipos de ligantes asfálticos clasificados de acuerdo con los valores obtenidos en nuevos ensayos de laboratorio y a partir de la temperatura esperada en el campo. Sin embargo, aún cuando existe una aparente correlación entre los resultados de esos nuevos ensayos y el comportamiento esperado del pavimento, la validación definitiva del método propuesto dependerá del comportamiento observado en pavimentos reales. Además, los resultados que se obtienen en los ensayos relativos a mezclas asfálticas presentan todavía mucha dispersión experimental. Al respecto, se han reportado algunos casos de tramos experimentales, que presentaron prematuramente niveles elevados de deformación permanente.

*VII.4.1. S.M.A. con Viatop 66.*

Las carpetas asfálticas ultradelgadas son construidas según el sistema conocido mundialmente como "S.M.A. (Stone Mastic Asphalt) con Viatop 66"; el cuál nació en Alemania, para abatir los "altos costos de mantenimiento" provocados por las ruedas con clavos que se usan para mejorar la tracción en la nieve. Es el sistema estándar de construcción en Alemania y actualmente lo están usando 53 países, en los cinco continentes, para el mantenimiento de sus vialidades y para proteger su infraestructura caminera.

El S.M.A. con Viatop 66 es una estructura, resultado de una curva granulométrica con un alto porcentaje de finos que pasan la malla 200 y también con un alto porcentaje de asfalto.

El Viatop 66 es la combinación de unos pelets compuestos por un 34% de asfalto, y un 66% de fibra celulósica de origen vegetal.

Dentro de una mezcla asfáltica, el Viatop 66 actúa como un estabilizador mecánico y térmico. La estabilidad mecánica se logra por el entramado tridimensional que hacen las fibras de celulosa al juntarse con el asfalto, mismas que al mezclarse con la cantidad de finos, forman una fuerte masilla, que con gruesas capas cubrirá los pétreos, los mantendrá firmemente estabilizados en su lugar, y evitará el drenaje o escurrimiento del asfalto hacia la base. Lo anterior quiere decir que se trata de una carpeta perfectamente impermeable; así que también evitará el paso del agua, o cualquier otro elemento, hacia la infraestructura.

La estabilización térmica consiste en que estos tipos de carpetas conservan sus características fundamentales de flexibilidad, dureza e impermeabilidad, en temperaturas sumamente extremosas, que van desde los  $-36^{\circ}\text{C}$  (en el clima en

que nació), hasta los +50°C (temperatura ambiente cuando se tendió en el Valle de Mexicali, México).

Por ser carpetas ultradelgadas de larga duración y de un mantenimiento casi nulo, resultan desde un 30% hasta un 50% más económicas y consumen el 50% de asfalto (producto no renovable) por m<sup>2</sup>.

**Construcción de la carpeta tipo S.M.A.:**

- Por su baja compresibilidad y su alta estabilidad como estructura de desgaste y soporte, el S.M.A. puede ser tendido sobre superficies desgastadas o irregulares, debiéndose reparar previamente sólo los baches y las depresiones pronunciadas.
- La superficie del camino sobre la cual se va a trabajar deberá estar limpia, libre de polvos y completamente seca.
- Sobre un pavimento viejo deberá aplicarse un riego de liga en una proporción de 0.3 lts/m<sup>2</sup> máximo de FR-3 a una temperatura de 90 a 100°C, o con emulsión rebajada; en ambos casos, a juicio del laboratorio.
- La temperatura óptima para el tendido de la mezcla deberá ser a 145°C y no deberá colocarse por debajo de los 3°C de temperatura ambiente.
- La temperatura de compactación será a los 140°C ± 5°C con plancha de rodillos metálicos tipo tandem de 8 a 12 ton. No le deberá faltar agua a los rodillos de la plancha, porque la mezcla se adhiere al rodillo cuando está seco. No deberá usarse equipo neumático.
- Deberá disponerse de dos planchas por esparcidor, como mínimo, para asegurar una buena velocidad y continuidad en el tendido y compactado.

- **La plancha de rodillo metálico deberá ir enseguida del esparcidor, con el rodillo de tracción en el sentido del tendido y el rodillo de viraje hacia atrás.**
- **Deberán evitarse el poreo, el rastrilleo y las reparaciones por defectos en el esparcidor o por marcado accidental con objetos o pisadas.**
- **El esparcidor deberá contar con su plancha de precompactado en óptimas condiciones de temperatura y limpieza, antes de cada arranque de tendido.**

#### **Procedimiento para tendido y compactado.**

- **Si al inicio del tendido de la carpeta, aparecen marcas o rayones en la mezcla recién tendida, éstos deberán porearse rápidamente, para evitar que se retire el compactado; ya que la temperatura de la mezcla disminuye muy rápidamente.**
- **La junta transversal se efectuará montando la regla del esparcidor 40 cm sobre la carpeta fría y una vez que el esparcidor avance unos 4-5 m, los rastrilleros detallarán la junta; evitando que se quede material sobre la carpeta fría y regresando estos excedentes a la zona de la carpeta caliente.**
- **Los niveles entre la carpeta fría y la caliente serán ligeramente de 1 cm mayor en la caliente que en la fría, para que el compactador los deje en el mismo nivel en la superficie.**

- Se evitará dejar valles en estas zonas; ya que, al compactar, éstos pueden quedar sin la suficiente densidad. Se deberá cuidar que la superficie sea completamente uniforme en los niveles.
- Para la junta longitudinal se procederá a sobreponer la frontera del esparcidor unos 10 cm sobre la carpeta fría y una vez que el esparcidor avance de 3-4 m, los rastrilleros procederán a quitar el material que quede sobre la carpeta fría, regresando ésta a la zona de la mezcla caliente. Con una pala cuadrada se quitará longitudinalmente el sobrante del material, hasta unos 2-3 m del borde de la carpeta fría. Se deberá evitar también que queden valles, colocando en éstos el material suficiente para que desaparezcan, al pasar el compactador. El compactador entra a compactar la junta, montado sobre la carpeta fría y traslapado  $\frac{1}{4}$  del ancho del rodillo sobre la carpeta caliente. A partir de aquí, seguirá con el procedimiento normal de compactación sobre la carpeta caliente.
- La nueva carpeta se abrirá al tránsito cuando su temperatura esté por debajo de los 40°C.

La estructura tridimensional de las fibras Viatop originan los efectos siguientes:

- El ligante mantiene una alta viscosidad, evitando el drenado del cemento asfáltico, durante el almacenamiento, transporte y tendido del S.M.A.
- Permite un contenido más alto de cemento asfáltico en la mezcla.
- Un mayor contenido de cemento asfáltico, estabilizado con las fibras celulósicas, permite una capa más gruesa alrededor de cada agregado pétreo, inhibiendo la oxidación, penetración de humedad, separación y ruptura prematura de los agregados.

- Las fibras celulósicas en el ligante asfáltico le proporcionan una gran estabilidad, en temperaturas frías o cálidas.

Para más detalles, ver tabla 9.

Tabla 9. Efecto del Arbocel (la fibra del VIATOP). Japón.

	<b>NORMAL</b>	<b>0.5% FIBRAS ARBOCEL EQUIVALENTE A 0.75% DE VIATOP 66.*</b>
<b>Concreto Asfáltico.</b>		
Cemento asfáltico (%).	5.8	6.5
Estabilidad Marshall (kg).	960	800
Flujo (1 / 10 mm).	29	35
Estabilidad Dinámica - Tiempo / mm.	1050	2625
Abrasión (cm <sup>2</sup> ).	2.39	1.83
<b>Stone Mastic Asphalt.</b>		
Cemento asfáltico (%).	6.4	6.8
Estabilidad Marshall (kg).	960	720
Flujo (1 / 10 mm).	37	36
Estabilidad Dinámica - Tiempo / mm.	389	3316
Abrasión (cm <sup>2</sup> ).	1.83	0.87
<b>Open Graded.</b>		
Cemento asfáltico (%).	4.6	5.2
Estabilidad Marshall (kg).	565	440
Flujo (1 / 10 mm).	31	22
Estabilidad Dinámica - Tiempo / mm.	292	1575
Abrasión (cm <sup>2</sup> ).	5.58	6.55
* Porcentaje sobre el peso total de la mezcla.		

Tipos de mezcladoras que pueden utilizar Viatop.

- Plantas de "bachas".
- Plantas continuas.
- Plantas mezcladoras con cambios frecuentes en sus programas de mezcla.
- Mezcladoras de alta capacidad de producción, debido a la alta confiabilidad y rapidez de trabajo que ofrece Viatop.
- Plantas mezcladoras totalmente automatizadas.

*Vii.4.2. Técnicas de aplicación de revestimientos superficiales.*

- Estructura en bigravillaje.

Consiste en verter sobre la calzada los materiales de grueso calibre, en número bastante pequeño; para que, después del desplazamiento debido al compactado y a la circulación, se toquen sin superponerse nunca. Y luego se cierra esta grilla con el agregado de materiales pequeños que se deslizan en ángulo en las juntas muy abiertas.

En realidad, no se forma un mosaico sino una trama de sostén. La gravilla fina se mezcla con el ligante y forma un mortero que se pone en encía. Ese tipo de estructuras son mucho más estables desde la puesta en obra. En efecto, se realiza así un cierre de las juntas con un mortero de materiales y no con un ligante cuyas calidades evolucionan con la temperatura del piso. En consecuencia, el mosaico es más estable, menos evolutivo. La "cabeza" de los materiales gruesos queda aparente y provoca un efecto de agujero que engendra un drenaje de las aguas de chorreo y evita el acuaplaneo.

- Estructura en sándwich (G.L.G.: Gravilla-Ligante-Granulado).

Para guardar las ventajas de la estructura de doble gravillaje sin esperar la consolidación definitiva por la subida de la encía del ligante, se debe poner el



ligante arriba de la grilla. Pero ésta debe estar más abierta aún que la del bigravillaje para que el ligante encuentre cómodamente los puntos de anclaje al piso, para sellar los materiales. El G.L.G. es el cierre sistemático de la grilla de gravilla gruesa, por un mortero formado de ligante y de gravilla fina, esparcidos por arriba.

El revestimiento se mantiene en pendiente y en curva cerrada, mismo si el ligante no pasó bajo la totalidad de la gravilla de la grilla. Esto permite tratar secciones muy ricas.

Es muy importante prestar mucha atención a la repartición transversal del ligante durante el esparcido. En efecto, éste será atrapado por la grilla. El menor defecto de peinado quedará marcado de forma indeleble por la presencia de rayas longitudinales.

Es una técnica muy interesante cuando es difícil obtener una puesta en mosaico o cuando se encuentra un obstáculo (cuando falta circulación sobre un camino comunal, sobre asfalto grueso, y por supuesto sobre un soporte blando y muy rico).

#### *VII.5. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS.*

En esta línea de investigación, el objetivo consiste en evaluar la práctica actual de las operaciones comunes de mantenimiento en los pavimentos. Lo anterior incluye técnicas de mantenimiento preventivo, técnicas para la evaluación de la condición superficial y estructural de un pavimento, dispositivos de seguridad para el control del tránsito durante las actividades de mantenimiento y señalamientos de protección para los trabajadores, así como técnicas para el control y manejo de nieve y hielo.

La DGCC está tratando de aprovechar las oportunidades que en materia de tecnología brinda el entorno, tal es el caso de gestionar la implantación de modernas unidades mecanizadas de bacheo, utilizar novedosas recuperadoras de caminos y aprovechar las últimas innovaciones tecnológicas en la aplicación de concreto hidráulico, rolodren y espuma asfáltica, entre otros, en la conservación de las carreteras.

Hay que tener presente que el mejoramiento de las técnicas de diseño, construcción y supervisión, es tan importante como la inversión. Por lo que es de suma importancia tomar las decisiones correctas de acuerdo con las circunstancias que se presenten. A continuación, se presentan algunas innovaciones tecnológicas (con esto quiero decir que, a pesar de que algunas de ellas ya tienen algún tiempo en el ámbito internacional de la conservación de carreteras, hay otras, en cambio, que pueden ser novedosas en nuestro país, o que podrían ser mejoradas en su aplicación de acuerdo con las necesidades propias de nuestras carreteras), de distintos géneros, las cuales se propone que sean analizadas cuidadosamente por las autoridades competentes, para su posible implantación en México:

#### *VII.5.1. Maquinaria.*

##### *VII.5.1.1. Unidades mecanizadas para bacheo.*

Ante la carencia de equipo apropiado por insuficiencia de recursos presupuestales, la Secretaría se ha visto precisada, a través de mucho tiempo, a realizar el bacheo con métodos de trabajo rudimentarios y obsoletos. Se utiliza un camión de volteo en el que se transporta la mezcla asfáltica, viajan a la intemperie seis personas que integran la cuadrilla de bacheo. En la misma caja de volteo se transportan carretillas, picos y palas, así como un depósito de 200 It con asfalto. Al llegar al lugar de trabajo, se limpia y eventualmente se

cuadra el bache con pico y pala (dar forma cuadrada al bache para evitar desprendimientos prematuros de la mezcla asfáltica que se colocará), a la vez que se calienta asfalto con una fogata hecha con leña y cuando se cree que el asfalto ha alcanzado una cierta temperatura, que no es posible medir por carecer de instrumentos, utilizando un bote pequeño con orificios en el fondo se hace el "riego de liga" (se coloca asfalto entre el material existente y el material nuevo). Finalmente, se aplica con pala la mezcla suficiente para cubrir el bache, acomodándola los peones con los pies. Ocasionalmente se compacta con pisón de mano o se pasan las llantas del camión. Con esto termina el trabajo de reparación de un bache.

Por otro lado, los trabajos de bacheo que representan la función sustantiva de la conservación periódica, son realizados con equipo (camión volteo fundamentalmente) que mayoritariamente por su edad, presenta con frecuencia fallas mecánicas con altos costos de mantenimiento correctivo, por estar en su mayoría fuera de su vida económica, provocando bajos niveles de eficiencia, tanto por costos excesivos de operación y mantenimiento, como por la calidad y duración del trabajo ejecutado.

Las ventajas para la Secretaría, con la utilización de las bacheadoras son:

- **Mayores niveles de eficiencia y calidad en los trabajos de bacheo, lo que redundará en mayor durabilidad.**
- **Versatilidad en el trabajo de bacheo, en la temporada de lluvias.**
- **Dignificación del trabajo de bacheo.**
- **Reducción de la plantilla de personal, en un nivel nacional.**
- **No tener que reemplazar camiones de volteo, para realizar los trabajos de bacheo.**
- **Mejora de la imagen de la Secretaría, ante los usuarios de las carreteras federales.**

La compra de las unidades mecanizadas para bacheo no va de acuerdo con la nueva misión de las DGCC, ni las nuevas tendencias de la contratación de la conservación, a menos que la Secretaría adquiera los equipos y disponga parte de éstos en los contratos de conservación rutinaria, para con esto asegurar alta calidad y bajo costo en las contrataciones.

Cabe aclarar que otra opción es que, en los contratos de conservación rutinaria, la Secretaría ponga como requisito que la empresa utilice esta tecnología de bacheo; para lo cual la DGCC deberá cerciorarse de contratar tramos de red y períodos de contrato extensos, para que el contratista pueda amortizar el valor del equipo; según este esquema, se presentarían dos dificultades fundamentales: el período de implantación de la nueva tecnología se extendería, ya que la contratación de la conservación rutinaria es gradual en lo que la SCT da de baja su maquinaria y reduce su plantilla de personal; y un segundo problema, consiste en modificar la actual Ley de Obra Pública, a fin de que se permita realizar contratos multianuales. En el largo plazo se considera esta segunda opción más rentable y acorde con la misión de la DGCC. Esta alternativa trae un importante beneficio social, que es el de evitar el desempleo en forma drástica, por la incorporación de nueva tecnología.

Sin embargo, al contratarse la conservación rutinaria, sin necesidad de normar la compra de estas unidades; las empresas, para obtener una ventaja competitiva, tendrán que analizar la compra de las máquinas, dada la competencia.

Los aparatos de mantenimiento están destinados a los trabajos de mantenimiento y de reparación de las calzadas, con revestimientos. Incluyen las esparcidoras de pequeño tamaño y gravilladoras y los "point á temps". Estos aparatos pueden poner en obra, según los casos, solamente las emulsiones o cualquiera de los ligantes calientes actuales.

Los "point á temps" clásicos han sido ideados para efectuar un trabajo en equipo. Se construyen tres tipos principales:

- Sobre chasis de automóvil.
- Amovible, sobre falso chasis, adaptable rápidamente sobre una plataforma o un camión de volteo.
- Sobre un vehículo remolcable.

Están equipados o no de un dispositivo de calefacción de gasolina. En caso de utilización de ligantes calientes, una bomba volumétrica asegura el esparcido y, eventualmente, la mezcla del ligante durante la calefacción.

Los "point á temps" automáticos pueden ser ideados para funcionar en marcha atrás o en marcha adelante (en el sentido de la circulación). Rincheval ha desarrollado una gama de productos llamada PEG/PEGASO o procedimiento de esparcido y gravillaje al servicio del mantenimiento. Permiten realizar, simultáneamente, el esparcido del ligante y de la gravilla, respetando las medidas y las cantidades exigidas.

Se pueden confiar al operador tres tipos de misión:

- El esparcido y gravillaje simultáneos, en marcha adelante (sentido de la circulación).
- El gravillaje clásico, en marcha atrás.
- El esparcido de emulsiones y ligantes calientes, en marcha adelante (en el sentido de la circulación).

*Familia PEG.* Los materiales están destinados a la aplicación de los revestimientos superficiales, con emulsión o con ligantes calientes, con un solo operador. Amovibles en camión de volteo o montados sobre chasis, permiten las operaciones de "point á temps" automático.

**Familia PEGASO.** La diferencia con la familia precedente consiste en que el conjunto de tareas se efectúa a partir de la cabina del chasis. El operador, gracias a un monitor táctil y una cámara de video de alta definición, efectúa solo todas las operaciones clásicas de mantenimiento.

#### **VII.5.1.2. Recuperadoras de caminos.**

A finales de 1992, la DGCC, adquirió 25 máquinas recuperadoras de caminos, con las que se reconstruyen tramos de la red federal.

Estas máquinas levantan un espesor determinado del cuerpo de la carretera, reciclan el material, agregándole producto estabilizador (generalmente asfalto) y colocan una nueva capa con el material mejorado; posteriormente se compacta y se le aplica un tratamiento superficial como una carpeta y/o un riego de sello.

Durante 1993 se observaron diversos problemas, como son:

- Falta de equipo, auxiliar y eficiente, en buen estado (compactador, pipa, camión volteo).
- Deficiente aprovisionamiento de materiales asfálticos.
- Deficiente utilización de las máquinas (días-máquina).
- En un turno de ocho horas, las máquinas trabajan, en promedio sólo tres o cuatro.
- No se ha aplicado con oportunidad un riego de sello, con lo que en algunos tramos se ha tenido problemas de penetración de agua en la base.
- Se reconstruyeron algunos tramos con este método, sin ser la opción más viable, ya que la carpeta se encontraba demasiado consolidada y para levantarla se requirió de un gran número de dientes de la

recuperadora, lo que incrementó considerablemente el costo por kilómetro (producto de falta de estudios de mecánica de suelos).

- **Por trámites administrativos de compra de bienes consumibles, disminuye el rendimiento.**
- **Los sueldos de los operadores de las máquinas son muy bajos y fijos, no importándoles los tiempos muertos.**
- **En algunos Centros SCT se asignaron dos máquinas recuperadoras; sin embargo, obtuvieron metas similares a otros que sólo contaban con una máquina.**

Para la planeación de las metas a alcanzar durante ese año, se tomaron rendimientos teóricos del fabricante, dado que en la SCT se desconocían rendimientos reales, no tomándose en cuenta una curva de aprendizaje, ni los posibles problemas que se presentaran, con lo que no se alcanzaron la metas planeadas.

La adquisición de las máquinas recuperadoras de caminos no se realizó de acuerdo con la misión de la Dirección General; sin embargo, es necesario implementar los nuevos adelantos tecnológicos, en el nivel mundial, en reconstrucción de carreteras y utilizar el equipo propiedad de la SCT, para lo cual la DGCC podría:

- **Contratar los tramos de "recuperación", especificando en el contrato, que la SCT proporcionará al contratista la máquina recuperadora, así como la asesoría técnica para su operación.**
- **La SCT deberá elaborar un proyecto para cada tramo que se pretenda recuperar, en los que se estudien varias alternativas de conservación periódica y/o rehabilitación, evaluándolas en función a su rentabilidad económica (TIR, VNP). No siempre la alternativa más cara resulta la más rentable.**

- Si se opta por recuperar el tramo carretero, se debe supervisar que inmediatamente se proteja la superficie reciclada (ya sea con un riego de sello y/o una carpeta según el proyecto).
- Se le deberá exigir al contratista que cuente con el equipo auxiliar necesario para realizar la obra, así como la liquidez suficiente para adquirir material y piezas de consumo del equipo.

#### ***VII.5.1.2.1. Recuperación de los pavimentos.***

La recuperación de los pavimentos es un proceso de corte que disgrega y mezcla en el mismo lugar la estructura del pavimento, incluyendo generalmente todo el espesor de la carpeta existente con una porción de base, con el propósito de reutilizar el material cortado para formar una base asfáltica o una base, estabilizado con cemento, o simplemente una base homogénea.

Para considerar la factibilidad de los trabajos, en la recuperación de pavimentos, se requiere invariablemente contar con un estudio del pavimento que incluya la calidad y espesores de los materiales existentes en toda la sección estructural del camino.

Anualmente, la DGCC formula el programa de Conservación de Carreteras con base en el sistema de simulación de estrategias de mantenimiento carretero (SISTER), el cual permite describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución de la red y proporcionar todos los resultados financieros y económicos necesarios para evaluar dichas estrategias. El programa puede prever a mediano y a largo plazo la evolución de la red, mediante la aplicación de una estrategia de mantenimiento vial, en la cual se definen los trabajos necesarios para alcanzar las metas físicas, considerando los apremios presupuestales. El sistema produce como ya se dijo, una estrategia que consiste en una relación de tramos con sus asignaciones.



Una vez definida la relación de tramos sujetos a rehabilitar, se pasa a la siguiente etapa, que consiste en efectuarles el estudio de pavimento y zonas que influyen en el comportamiento del camino, así como las condiciones del drenaje.

El estudio de pavimento determina los trabajos por ejecutar en la reconstrucción del camino, incluyendo lo que se realizará precisamente al pavimento.

Para el diseño de los espesores, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, contrató los servicios del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (UNAM), para que realizara la investigación relativa al diseño estructural de los pavimentos asfálticos, para cuando una de las capas está constituida por material recuperado.

El método se presenta en un programa de computadora, en el que el proyectista propone una solución y el programa verifica la vida previsible del camino, en términos de ejes estándar de 8.2 ton. El programa permite hacer ajustes en la solución, si la vida resultante es menor al tránsito del proyecto.

La vida previsible se obtiene en relación con los dos tipos de deterioro más importantes producidos por el tránsito: la deformación permanente en la rodada y el agrietamiento por fatiga.

Es importante destacar que al obtener la vida previsible por deformación se considera la deformación producida por el tránsito en las capas no estabilizadas, sin considerar las producidas en las capas asfálticas. La deformación plástica de las capas asfálticas debe ser reducida al mínimo, mediante la elección adecuada de los materiales y el diseño de la mezcla.

Se acepta que al final de la vida de proyecto, el nivel de servicio esté en la región de rechazo. Esto implica que al final de la vida de proyecto se tengan deformaciones permanentes del orden de 2.5 cm y agrietamiento extenso.

Entre los parámetros de diseño que intervienen en el programa, está el módulo de rigidez dinámico, del de la capa recuperada ( $M_r$ ).

Los módulos de rigidez de las capas no estabilizadas, base granular y capas subyacentes, se pueden estimar antes de la recuperación, empleando pruebas de deflexión. Para ello se determina la zona de deflexión completa y se ajustan las deflexiones teóricas contra las experimentales, empleando un procedimiento analítico de iteraciones.

Con cierto criterio se puede estimar el módulo de rigidez, a través de la ecuación empírica  $M_r = 120 \text{ CBR}^{0.7}$ , para las capas no estabilizadas.

El módulo de rigidez de las capas asfálticas, capas recuperadas y carpeta nueva, se pueden determinar por medio de pruebas dinámicas de laboratorio, reproduciendo las condiciones del lugar y midiendo las deformaciones elásticas.

Con el conocimiento de las bondades que ofrece el proceso de recuperación, así como de sus alcances, se puede asentar que en un 80% de los tramos que se van a reconstruir, sobre todo con volúmenes menores a 4000 vehículos diarios, en un ejercicio presupuestal, el sistema de recuperación de pavimento se recomienda en el estudio de pavimento respectivo.

De los trabajos previos que más han impactado en la calidad de la mezcla recuperada, y por ende, del comportamiento del pavimento, es el relativo al diseño de la misma.

**Los factores que influyen en el diseño de la mezcla: contenido de agua mezclado, contenido de agua de compactación y, por supuesto, la cantidad de cemento asfáltico, a través de la emulsión asfáltica.**

**La determinación del contenido de agua de mezclado óptimo servirá para conocer el cubrimiento del agregado por el asfalto. Además, ayudará para determinar si la emulsión asfáltica es apropiada para el agregado que se va a utilizar.**

**Una vez definido el contenido de agua de mezclado, se determina el contenido de agua óptimo de compactación, a través de la prueba propuesta por Dartor et al, en la Universidad de Illinois, más conocida como Marshall "modificada". En muchos casos, el contenido de agua de mezclado es mayor que el de compactación.**

**El contenido de agua óptimo determina el peso volumétrico máximo; como se recordará, este factor es una medida indirecta de resistencia.**

**Una vez determinados los contenidos de agua de mezclado y de compactación, se procede a conocer el contenido óptimo de asfalto, a través de la prueba Marshall "modificada". Este contenido óptimo de asfalto residual debe considerar los aspectos de estabilidad, flujo, porcentaje de vacíos, porcentaje de VAM y peso volumétrico; en condiciones saturadas y sin saturar, para la estabilidad y flujo.**

**De esta manera, se puede determinar si los materiales pueden ser reutilizados o si se requiere agregar material pétreo nuevo o aditivos líquidos o en polvo, para mejorar sus propiedades mecánicas.**

**Lo anterior es una gran ventaja al efectuar la recuperación; además, existe otra, la de homogeneizar la capa recuperada, respetar los niveles de banquetas por el**

paso de ciudades o puentes. Cuando existe exceso de asfalto, la recuperación es la mejor opción. Antes de llevar a cabo el proceso de la recuperación, se debe hacer acopio de todos los materiales requeridos en el tramo.

El proceso consiste en disgregar y mezclar en el lugar, la carpeta deteriorada y parte de la base, a las que se les puede agregar material pétreo nuevo o aditivos líquidos o en polvo, para mejorar sus características mecánicas. Todo el proceso se hace en frío.

En la aplicación de este sistema, en algunas ocasiones se ha abusado de sus alcances. Si el problema estructural está situado en las capas profundas (terracerías o subrasante) no es recomendable su aplicación, así mismo, si el daño se ubica en la parte superior de la carpeta. El campo de aplicación recomendado, lo constituyen aquellos pavimentos cuyo deterioro debe principalmente a la carpeta y a la base, por ejemplo:

- Carpetas viejas con agrietamiento.
- Carpetas con agrietamiento por fatiga, por falta de soporte en la base.
- Pavimentos con deformación debida a la carpeta y la base.
- Pavimentos con base de calidad deficiente.

Por lo anterior, se requiere contar rigurosamente con el estudio de evaluación del pavimento, previo a la ejecución de la obra. Este estudio deberá comprender las zonas aledañas al camino, así como el sistema de drenaje, entre otros.

El procedimiento tradicional consistía en remover con maquinaria pesada la carpeta asfáltica a tratar, para después cargar el material en camiones de volteo y transportarlo a la planta de asfaltos (en el caso de que se requiriese reutilizar el mismo), para después volver a incorporar el material al camino, para su

tendido y compactación, trayendo como consecuencia altos costos y pérdida de tiempo.

A fines de 1992, la DGCC, en su afán de abatir el costo de este proceso, adquirió 20 máquinas recuperadoras de caminos RR-250 y rentó con opción a compra 5 más, haciendo un total de 25 unidades de este tipo. Esto fue en razón de que con una máquina recuperadora se suplían en el lugar de la obra todas esas actividades inherentes a la recuperación, con una sola pasada.

Dicha máquina es autopropulsada, tiene un rotor o tambor de púas con puntas de carburo de tungsteno, lo que permite que el trabajo se efectúe rápidamente con un equipo mínimo y pocas interrupciones del tránsito vehicular. Por motivos económicos, para un ancho de corona de 3.5 m el grosor más apropiado para la recuperación de las capas de la estructura en un pavimento, se recomienda sea por lo menos de 152 mm (6 in) y a continuación se describen los pasos que deben seguirse en el proceso de recuperación de pavimentos:

- a) Hacer acopio de todos los materiales requeridos en el tramo, por ejemplo: Material pétreo (si es que el estudio lo recomienda), emulsión asfáltica, cal o cemento Pórtland (si existe problema de plasticidad o resistencia), agua, etc.
- b) Limpieza de maleza en acotamiento con motoconformadora.
- c) Se aplica y dimensiona la penetración y corte de la base y carpeta asfáltica, dependiendo del resultado del estudio de pavimento que se haya efectuado al respecto.
- d) Levantamiento, triturado y mezclado de la carpeta existente y del espesor de base utilizado con la recuperación de caminos.
- e) Se crea una base disgregada que requiere, en términos generales, ser mejorada de acuerdo con los análisis del laboratorio.
- f) De acuerdo con el estudio de laboratorio del material a recuperar, se incorporan los agregados necesarios; en caso de no contar con el

suministro directo de asfalto del autotanque, se empleará la petrolizadora.

- g) Si es el caso en que se le va a incorporar material nuevo, éste será con calidad de base, previamente deberá estar acamellonado, si el tránsito y el camino lo permiten.
- h) Con motoconformadora se mezcla el material recuperado y el material nuevo.
- i) Se le determina el contenido de agua de esa mezcla, si requiere agua de mezclado (según diseño de mezcla), se le incorpora con la pipa.
- j) Se pasa nuevamente la recuperadora, acoplada a la nodriza, para aplicarle la emulsión asfáltica. Para el caso en que la recuperadora no cuente con su bomba de asfalto, la incorporación de la emulsión asfáltica se hará con petrolizadora, nodriza con barra o carro tanque con barra, la cantidad de este producto se calcula en el diseño de la mezcla.
- k) Si no se le va a agregar material nuevo, cemento Pórtland o cal, la incorporación de la emulsión asfáltica se puede efectuar en el punto "c". La cantidad la determina el diseño de la mezcla.
- l) Una vez aplicada la emulsión asfáltica, se inicia el mezclado: se recomienda se realice con dos motoconformadoras, arrojando de las orillas hacia el centro. Se inicia la topografía respectiva, para conocer la volumetría de la capa recuperada.
- m) Se extiende con motoconformadoras, hasta alcanzar el contenido óptimo de agua para compactación. Si se requiere agua, se le adicionará con la pipa.
- n) Se afina el tendido con una motoconformadora.
- o) Se realiza la compactación de la capa recuperada y estabilizada con compactador vibratorio.
- p) Se compacta previamente con un rodillo liso, posteriormente con uno vibratorio y para finalizar con un compactador neumático.

- q) Una vez alcanzada la compactación estipulada en el diseño de pavimento, se procede a darle un riego de protección con emulsión diluida (60% emulsión y 40% agua), para poner en operación el tramo.
- r) Colocación del riego de sello premezclado, o en el mejor de los casos, el tendido de la carpeta con concreto asfáltico.
- s) Según las condiciones a que va a ser sujeta la nueva base asfáltica, se aplica rigurosamente una carpeta o riego de sello.

Los avances promedios diarios (4 horas efectivas) con la maquinaria mínima son de 400 m en una ala (carril de 3.5 m). Para el caso en que se utilice el equipo complementario, el avance diario es de 800 m en una ala. Se puede notar que el avance lo determina la recuperadora de caminos. Considerando una profundidad de corte de 12 cm.

El avance en una jornada, en este tipo de trabajos, con una máquina recuperadora RR-250, es de 400 a 600 m lineales por ala.

Alcances de la recuperación:

1. El objetivo fundamental en el proceso de la recuperación es precisamente la reutilización de los materiales que originalmente constituyen la carpeta y parte de las bases con el objeto de abatir los costos que se generan en la adquisición y acarreos de los mismos.
2. No cabe la menor duda de que, cuando un tramo está en servicio, los materiales que constituyen la sección estructural se degradan. Esta degradación no se desarrolla uniformemente, por lo que se presentan tramos en donde principalmente la carpeta ofrece diferente calidad de rodamiento. Al llevar a cabo la recuperación de pavimento, se logra homogeneizar la calidad de la parte tratada. No debe olvidarse que

previo al proceso de la recuperación se debe ejecutar todo lo relacionado al drenaje, así como un intenso sistema de bacheo.

3. Al llevar a cabo la recuperación del pavimento, en el proceso se puede adicionar material nuevo o aditivos líquidos o en polvo. La incorporación de estos aditivos proporcionan a la mezcla un mayor valor estructural.
4. En la red de carreteras no es poco común que algunos tramos ofrecen "llorado de asfalto", lo cual puede definirse como la liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica. Las causas probables pueden ser: exceso de asfalto en la carpeta, excesiva compactación de la mezcla rica en asfalto, temperatura de compactación muy elevada y/o sobredosificación de riego de liga. Se han desarrollado varias técnicas para resolver este problema, siendo el proceso de recuperación la más efectiva para eliminar el exceso de asfalto.
5. En algunos tramos que se pretenden reconstruir, el esfuerzo estructural del mismo, es mediante la colocación de sobrecarpetas. Los niveles alcanzados con este sistema han rebasado algunos niveles o exceso de carga, que se deben respetar, por ejemplo: nivel de la banquetta o guarniciones en el paso por las ciudades, reducción del ancho de la carpeta en los tramos, incremento del peso muerto debido a las sobrecarpetas en los puentes, etc. La recuperación de pavimentos ha sido la solución a estos problemas.

**Relación de maquinaria para llevar a cabo la recuperación de pavimentos:**

- 1 recuperadora de caminos.
- 1 compactador rodillo liso.
- 1 motoconformadora.
- 1 nodriza.



- **1 petrolizadora.**
- **1 camión de pipa.**
- **1 laboratorio móvil.**

**La maquinaria arriba señalada es la mínima necesaria para llevar a cabo la recuperación de pavimentos; no obstante lo anterior, si se desea optimizar el avance, es recomendable que se complemente con una recuperadora más, así como con otra motoconformadora.**

**Algunos aspectos que se deben considerar.**

**Antes:**

- a) Aún cuando se realice el estudio correspondiente y éste determine al espesor de corte, el cual se realizará en la base, los espesores de la carpeta generalmente varían; por lo que, los espesores de la base que se van a mezclar con la carpeta cambian. Lo anterior genera que las cantidades de agua como cantidad de cemento asfáltico residual de la mezcla sean diferentes, así mismo su granulometría de un cadenamiento a otro. Con ese precedente es necesario efectuar sondeos cada 200 m como máximo y de esta manera considerar esta variación de contenido de agua, cemento asfáltico y granulometría.**
- b) Si por alguna razón se requiere incorporar material nuevo a la mezcla recuperada, la granulometría del material por incorporar debe considerar la granulometría del material recuperado, que está en función de la granulometría residual y de la velocidad de la máquina recuperadora. Para una máquina RR-250 la velocidad se sugiere sea de 2 m/min.**

- c) Se deben obtener y enviar muestras representativas del material recuperado a los fabricantes de emulsiones, para que éstos diseñen la emulsión apropiada a esos pétreos.**

De esta manera se garantizará un buen cubrimiento y una buena adherencia con el pétreo.

**Durante:**

- a) El peso volumétrico debe ser el máximo posible, tomando en cuenta los equipos de compactación disponibles, siempre que no se llegue a volúmenes de vacíos demasiado bajos (3% mín.) en la mezcla compacta. Mejorar la compactación repercute en mezclas más densas, menos susceptibles de la humedad, con mayor módulo de rigidez y mayor resistencia al agrietamiento y a la deformación plástica.**
- b) Si el tramo que se va a recuperar presenta topografía accidentada, el avance de la recuperadora así como el de la nodriza deben ser, en el sentido descendente, con la finalidad de no forzar las máquinas mencionadas.**

**Después:**

- a) En virtud que los tramos sujetos a la ejecución están en operación, se requiere dar paso lo más pronto posible; lo anterior obliga a proteger el tramo recuperado; esta protección consiste en riegos de emulsión diluida con proporción de 60% de emulsión y 40% de agua. En la inteligencia que deberá colocarse la carpeta correspondiente en un tiempo no mayor a un mes.**

- b) Si se lleva algún control estructural, a través de pruebas no destructivas, por ejemplo: la Viga Benkelman; ésta debe aplicarse mínimo a los tres meses de haberse finalizado la recuperación. Este tiempo es el que requiere la mezcla recuperada para alcanzar su "madurez", representativa de su valor estructural.**

Puede afirmarse que la recuperación de pavimentos ha dado magníficos resultados, tanto desde el punto de vista funcional como económico, para las labores que la Secretaría aún realiza.

#### *VII.5.1.3. Norsemeter.*

Norsemeter es una compañía noruega líder en competencia mundial, dentro del proceso de interacción neumático-pavimento. Se ha enfocado al desarrollo de productos y servicios para la medición y análisis precisos de la fricción entre superficies de pavimentos y las características del neumático.

A través de esta tecnología, es posible ofrecer equipos con las siguientes características:

- Medida de la fricción, en cualquier condición de pavimento: seco, húmedo, con nieve, con hielo, etc.; a cualquier velocidad entre 20 y 130 km/hr; reportar el "máximo de fricción" a cualquier otra velocidad específica entre 0 y 500 km/hr (medidas en aeropuertos).
- Excelente correlación para el funcionamiento del sistema de frenos de aviones y automóviles.
- Puede reportar el IFI desde una sola corrida.
- Las mediciones no son influenciadas por temperatura, curvas, pendientes o lluvia-nieve, etc.
- Bajo costo operacional.

- **Sistema de autocalibración, sistema de diagnóstico interno y automático, y muy bajo mantenimiento.**
- **Puede ofrecer medidas basadas en el Fixed Slip Meted, en los nuevos estándares de la ASTM, en el Variable Slip Meted, o puede hacer un combinación de acuerdo con el diseño requerido.**

**Productos:**

**ROAR: Road Analiser and Recorder.**

- **Manejo de pavimentos en redes de caminos.**
- **Control de calidad de contratos de mantenimiento de pavimentos.**
- **Optimización y control de sal, arena y uso de químicos para operaciones en invierno.**
- **Control de calidad de contratos de mantenimiento de pavimentos en invierno.**
- **Investigación de accidentes en caminos.**

**RUNAR: Runway Analiser and Recorder.**

- **Despegue y aterrizaje de aeronaves.**
- **Operación en invierno.**
- **Mantenimiento de aeropistas.**
- **Investigación de accidentes en aeropuertos.**
- **Detección de contaminantes en aeropistas (plástico, hielo, nieve, etc.)**

**Servicios:**

- **Servicio posventa (mantenimiento del equipo, venta de refacciones, actualización de equipo, etc.).**
- **Servicio de medidas de fricción en caminos y aeropistas.**

- **Servicios de ingeniería (logística) y consultoría.**
- **Servicios relacionados con el proceso de interacción neumático-pavimento.**

*VII.5.1.4. Concreto hidráulico para la reconstrucción de carreteras federales.*

Dentro del esquema de desarrollo tecnológico de procedimientos, existe un sistema conocido como Whitetopping, que consiste en la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico sobre una carpeta de concreto asfáltico existente (requiriéndose renivelar y bachear la superficie previamente). Este sistema, que se ha utilizado desde mediados de siglo en Estados Unidos y en algunos países de Europa, ofrece mayor durabilidad que el pavimento flexible y minimiza los trabajos de mantenimiento. Se espera que esta alternativa sea capaz de manejar los tránsitos de proyecto con eficiencia y economía. En México se inició la práctica de este procedimiento en 1993.

La empresa Cementos Mexicanos (CEMEX) afirma, que un pavimento flexible (concreto asfáltico) en una carretera con más de 10000 vehículos por día, a 30 años, resulta 20% más costoso que si se hubiera construido con pavimento rígido (concreto hidráulico), debiendo destacar que, aún para carreteras de 1250 vehículos pesados por día, esta proyección en el mismo lapso de tiempo nos indica que el pavimento flexible resulta 10% más caro que el rígido, no olvidando el hecho de que si se le da un adecuado cuidado de conservación al concreto hidráulico, puede durar más de cuatro décadas. La diferencia substancial en los costos proyectados reside en los costos de conservación.

Con la experiencia en costo, se verifican los índices de rentabilidad, sin embargo el costo inicial de reconstrucción con concreto hidráulico es superior al de concreto asfáltico (70% aproximadamente), con lo que la DGCC se ve imposibilitada a reconstruir tramos con concreto hidráulico ya que las prioridades nacionales se lo impiden (cabe aclarar que la viabilidad de los

proyectos de concreto hidráulico dependerá en parte de la cercanía de la materia prima necesaria, ya que el costo de los acarreos influye significativamente dentro del costo total).

El concreto hidráulico no se puede aplicar indiscriminadamente en las carreteras de México; ya que en general, la capacidad de carga de las carreteras es inferior a las cargas extraordinarias actuantes, debido a las cargas de diseño con que fueron construidas las carreteras; de esta manera, al aplicar una capa de concreto hidráulico se rigidiza la estructura superficial, y ésta se podría quebrar, siendo muy costosa la reparación. Sin embargo, habrá que estudiar cada caso en lo particular, ya que bien es cierto que una losa de concreto distribuye la carga actuante sobre las capas inferiores.

El personal técnico de la SCT tiene que estudiar la viabilidad de concreto hidráulico sobre "tramos específicos" de la red federal, ya que empresas especialistas en concreto asfáltico aseguran que éste es más económico en el largo plazo, para bajos niveles de tránsito; con lo cual se debe analizar la factibilidad del mismo, con base en el presupuesto asignado y sobre una planeación de nivel nacional.

#### ***VII.5.1.5. HRM (Monitor de Alta Velocidad para Caminos).***

El monitor de alta velocidad para caminos mide los perfiles longitudinal y transversal del camino, mide la macrotextura, el gradiente, la pendiente transversal y la curvatura. Todas las mediciones las realiza a la velocidad del tráfico.

La información recogida se maneja usando un software que puede ser conectado con el sistema de mantenimiento de pavimentos del Departamento de Transportes (organismo inglés).

## **VII.6. SOFTWARE.**

En lo relativo al software que puede ser utilizado como una práctica herramienta para el diagnóstico de las características que presenta la superficie de rodamiento, recomendamos analizar el "Pavement Evaluator", para su posible utilización dentro de este aspecto de la conservación de caminos.

### **VII.6.1. "Pavement Evaluator" (compatible con Windows).**

Qué pasa si...?

- La construcción resulta distinta a la especificada.
- El pavimento se deteriora más rápido de lo previsto.
- El plan original de mantenimiento resulta excesivo.
- Se postergan un año las intervenciones presupuestadas.
- El tránsito es menor de lo esperado.
- Transitan más vehículos pesados de lo proyectado.
- Se acorta el tiempo del proyecto.

Usted puede...

- Medir los riesgos en el diseño de sus pavimentos.
- Planificar sus actividades de mantenimiento y rehabilitación para el período de evaluación que desee.
- Adelantarse a los hechos si comprueba que las tendencias de comportamiento son distintas a lo esperado.

Principales aplicaciones:

- **Determinación de las cantidades de obra correspondientes a cada estrategia de mantenimiento y/o rehabilitación de pavimentos.**
- **Estimación de costos de mantenimiento y flujos de caja asociados.**
- **Cálculos de costos de operación de vehículos, en distintos escenarios de servicio del camino.**

#### *VII.6.2. SHRP (Strategic Highway Research Program).*

En lo que respecta a materiales asfálticos, el programa americano de investigación sobre carreteras, denominado SHRP, ha propuesto nuevos procedimientos de ensaye y especificaciones para asfaltos, que pretenden relacionarse directamente con el comportamiento esperado del pavimento. Sin embargo, la investigación realizada sobre el comportamiento de las mezclas asfálticas, que constituyen realmente la capa superior de los pavimentos flexibles, es muy limitada. De hecho, no existe un procedimiento definido para el control de deformaciones permanentes en la carpeta asfáltica. El programa SHRP propone recomendaciones al respecto, basadas en la selección de materiales y en las técnicas de diseño de la mezcla, usando criterios fundamentalmente empíricos.

La validación del programa de investigación SHRP depende del comportamiento observado, a largo plazo, de pavimentos de prueba completamente instrumentados. Los tramos que se están utilizando en el campo para seguir la evolución de variables están sujetos a todas las incertidumbres a que han venido estando sujetos los pavimentos en los últimos 200 años, lo que hace temer que exista, en este aspecto, una actitud optimista frente al futuro.

Los trabajos de SHRP en el laboratorio han producido ya algunos instrumentos y métodos de experimentación que parecen prometedores y ventajosos; también han arrojado cierta luz sobre la clasificación, la tipología y la utilización



conveniente de diferentes tipos de asfaltos y algunos nuevos. En general, estas técnicas de laboratorio ofrecen un panorama alentador; sin embargo, quizá se deba echar de menos un esfuerzo mayor dirigido hacia las mezclas asfálticas, que en la actualidad parecen un poco preferidas en comparación con el producto asfalto.

### VII.7. VARIOS.

#### *VII.7.1. Rolodren, espuma asfáltica y modificadores de asfalto.*

Otra innovación tecnológica es el "Rolodren", un sistema de subdrenaje para carreteras, compuesto por un corazón de polietileno y una cubierta de geotextil, que elimina la plantilla, la tubería perforada y el material de filtro, abatiendo sustancialmente los costos. La DGCC tiene en observación este sistema para evaluar sus bondades y en su caso, adoptarlo como una alternativa ventajosa.

La "Espuma Asfáltica" es una tecnología avanzada de mezcla en frío. El proceso para formar la espuma consiste en la inyección de agua y aire fríos en asfalto caliente, a través de una cámara de expansión. La espuma es aplicada a los pétreos que están a la temperatura ambiente por medio de boquillas. Los resultados de laboratorio que se han obtenido indican que se cumple con la calidad exigida en una carpeta de concreto asfáltico. Este procedimiento se puede aplicar tanto para la recuperación de pavimentos como en la formación de carpetas.

Los "Modificadores de Asfalto" son elementos que se incorporan a este material para mejorar su rendimiento, estabilidad, resistencia y durabilidad.

#### *VII.7.2. Geosintéticos.*

Fue a mediados de la década de los 70's que se introdujeron a escala industrial, los llamados tejidos técnicos, que se producen a través de la conjunción de la industria textil y química a partir del poliéster, poliamidas, polipropileno y, en general, elastómeros y polímeros, de los cuales surgieron los geotextiles, geomembranas y geomallas.

Los geotextiles son un producto textil destinado a usarse preferiblemente en contacto con el suelo. Las geomembranas son dos o más láminas de geotextil unidas por un aglomerante, generalmente asfalto, pudiéndose utilizar otro tipo de ligante. La geomalla se produce a partir de sintéticos o productos plásticos que les proporcionan rigidez para emplearse en suelos con diferentes granulometrías. Según el Subcomité D-35 de la ASTM, los geotextiles son membranas textiles permeables, usadas en el suelo, roca o cualquier material que forme una estructura.

Colocar el geotextil sobre el terreno natural y/o entre las bases y la carpeta, permite que se alcancen algunos de los siguientes beneficios: la construcción en época de lluvia, evita la pérdida de materiales de terracería como resultado del fenómeno de intrusión; se mejora la compactación del terraplén y por ende su resistencia; se mejora la capacidad de carga de la base o subbase, al lograrse un módulo de rigidez más adecuado; no se contamina el terraplén, lo que tiene como resultado que aumente su vida útil; se evita la ascensión capilar y, finalmente, puede ayudar a resolver la captación de flujos de agua internos para así poder abatir las presiones normales. Esta última aplicación se ha efectuado para resolver problemas de subdrenaje.

## **Capítulo VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

Parece desprenderse, de los análisis realizados, la idea de que no existe un procedimiento fundado en una teoría general, producto de un conocimiento metodológico seguro, que permita conservar los pavimentos flexibles. De hecho, parece que puede concluirse que no se conoce con el detalle suficiente el funcionamiento de los mismos.

El buen comportamiento de un pavimento flexible depende más de los materiales empleados en construirlo y de las condiciones de trabajo de los mismos, que del uso preferente de un determinado método de diseño. A este respecto, parece fundamental considerar la tecnología de pavimentos como una parte de la Geotécnica Aplicada.

Las condiciones particulares de México y probablemente de todo el mundo, parecen imponer la necesidad de dosificar el riego relativo, aceptando los mayores en las capas superiores y minimizándolo en las inferiores, a fin de llegar a operaciones de conservación y/o reconstrucción y refuerzo que ocurran superficialmente, creciendo la estructura hacia arriba, con pleno aprovechamiento de lo ya hecho.

Parece desprenderse de las condiciones actuales que el costo de operación del transporte y después el costo y frecuencia de las acciones de conservación y/o refuerzo deben ser el paradigma de diseño de los pavimentos flexibles, antes que el costo de construcción inicial. Obviamente, esta conclusión es tanto más

válida cuanto más ocupada sea la carretera y mayor sea la posibilidad de crecer en ocupación.

El comportamiento de los pavimentos flexibles depende, en gran medida, de condiciones no incluidas necesariamente en los métodos de diseño. La temperatura, las condiciones de drenaje regional, la Hidrología y otras pueden jugar papeles muy importantes y frecuentemente pueden ser objeto de consideración del responsable del diseño geométrico y geotécnico de la carretera, con muy adecuadas repercusiones en el estado final.

Del análisis comparativo de los resultados de los métodos de diseño, pueden observarse diferencias importantes para todos los niveles de tránsito. Estas diferencias tienden a agudizarse al aumentar la intensidad del tránsito.

La situación señalada en el punto anterior se considera una consecuencia de la falta de un planteamiento científico del problema y de las diferentes concepciones y experiencias de quienes propusieron los métodos.

En los métodos de carácter empírico, en boga, se observó que los elementos de cálculo no alcanzan a cubrir niveles de tránsito relativamente altos, pero ya presentes en el transporte actual. Este hecho confirma el origen empírico de estos métodos, pues en el momento de su nacimiento, la mayoría de los niveles de tránsito eran más bajos que los de hoy son familiares y, correspondientemente, existía menos conocimiento experimental al respecto.

Los cálculos comparativos realizados introduciendo los costos de construcción inicial, de todas las acciones de conservación y de la operación vehicular confirman y cuantifican la enorme importancia de los dos últimos y muy en especial del tercero. En algunos cálculos se ve que un gasto adicional de 50 o 60% en el pavimento inicial puede reducir el costo de operación, en 30 años, en 200 o más veces (FyR 13).

Las tendencias de la investigación actual, en lo que se refiere a métodos de diseño, indican una preferencia marcada por el desarrollo de métodos mecanicistas. Estos métodos utilizan las soluciones basados en las Teorías de la Elasticidad y Viscoelasticidad, que están edificadas sobre hipótesis simplificadoras que parecen no ser satisfactorias para quien tenga experiencia de materiales y de comportamiento de pavimentos. De hecho, es baja la confiabilidad actual de esos métodos.

Los criterios de deterioro aceptados actualmente incluyen el agrietamiento por fatiga y las deformaciones permanentes. Es usual relacionar el primero con la deformación unitaria máxima, a tensión, en el plano inferior de la capa asfáltica, y el segundo con la deformación unitaria máxima, a compresión, en la subrasante únicamente. Sin embargo, se considera que lo más razonable es realizar la acumulación de deformaciones debidas a cada una de las capas del pavimento.

### ***VIII.1. CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS.***

Se recomienda una lista de proyectos que deberá implementar las DGCC para mejorar su desempeño, clasificados en tres rubros: establecimiento de una cultura de planeación, nuevas políticas para la conservación, y cambio organizacional.

#### ***VIII.1.1. Programa de establecimiento de una cultura de planeación.***

- Lograr que la DGCC tome decisiones fundamentales en una planeación objetiva y con miras al mediano y largo plazo.

- **Establecer sistemas de información que faciliten la toma de decisiones por medio de datos confiables y actualizados.**
- **Establecer programas de simulación para determinar resultados finales de distintas alternativas en el mediano y largo plazo.**
- **Tomar como decisión final aquélla que resulte la mejor en el largo plazo, tanto en eficiencia como en una evaluación económica.**

**Específicamente:**

**Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero (SISTER).**

**Objetivo: optimizar la aplicación presupuestal y en función del estado físico de los caminos y sus volúmenes de carga, planear trabajos de conservación y reconstrucción.**

**Actividades:**

- **Efectuar un análisis estadístico, para poder calcular las “curvas de degradación” para los pavimentos.**
- **Incorporar los valores del Índice de Fricción Internacional (IFI) en la base de datos del SISTER (datos que deberá proporcionar la Dirección General de Servicios Técnicos y Concesiones).**
- **Incluir perfiles topográficos del camino dentro de las variables del SISTER para el cálculo de los costos de operación.**
- **Calcular por medio de modelos matemáticos, las tasas de crecimiento del tránsito, prestando especial importancia a los tramos de red federal paralelos a autopistas concesionadas (o a concesiones planeadas para el mediano plazo) y el impacto en el incremento del tránsito a causa de tratados comerciales en las rutas prioritarias.**

- Tomar en cuenta dentro de las variables del SISTER los programas prioritarios de transporte terrestre establecidos en los tratados comerciales.
- Sistematizar la actualización anual del inventario (utilizando una base de datos y no una hoja de cálculo como se pretende hacer).
- Capacitar a un grupo de ingenieros en vías terrestres en la operación del sistema para la generación de estrategias de mantenimiento carretero.
- Medir las deflexiones de los caminos con deflectómetros electrónicos.
- Con base en los estudios del IMT, referentes al “valor de carga transportada por ruta”, modificar el “código de decisión” de las rutas que maneja el SISTER, según el valor total de la carga que circula por cada ruta.
- Evaluar el nivel de inversión en el cual la red federal se mantendrá en las condiciones actuales.

#### **Sistema de Administración de Pavimentos (SIMAP).**

**Objetivo:** apoyar la toma de decisiones en torno al mantenimiento carretero, según su condición física, estructural y de servicio que debe prestar la red federal dentro del sistema carretero nacional.

**Actividades:**

**Desconcentrar la operación del SIMAP.**

- Capacitar a los ingenieros en vías terrestres de los Centros SCT (preferentemente a los Jefes de las Unidades Generales de Servicios Técnicos) y de la DGCC, en la importancia de la programación de las obras mediante la utilización del SIMAP como herramienta de diseño.

#### ***VIII.1.2. Nuevas políticas para la conservación.***

**Definir nuevas políticas para la conservación de carreteras, que permitan optimizar los recursos de la Secretaría, en beneficio de los usuarios de las carreteras.**

- **Incrementar la obra a contrato, reduciendo personal y maquinaria de la DGCC Y Centros SCT.**
- **Establecer nuevos parámetros de desempeño y una nueva actitud de servicio para el usuario.**
- **Adaptar la tecnología existente, en el nivel mundial.**

### ***VIII.1.3. Organización.***

**Mejorar la organización de la DGCC y los Centros SCT, para eficientar su operación, cumpliendo con su misión y objetivos estratégicos.**

- **Implantar una adaptación a la estructura organizacional.**
- **Desarrollar y evaluar habilidades.**
- **Modelar el clima laboral de la DGCC.**

**Es importante mencionar que, las ideas que a continuación se presentan, están fundamentadas en las reflexiones y conclusiones de este trabajo.**

**La presentación de estas ideas está organizada con base en el análisis de nueve problemas:**

- **Falta de recursos suficientes y oportunos.**
- **Errores en el proceso de programación y planeación.**
- **Falta de capacitación de personal (privado y público) para supervisar el mantenimiento enfocado al control.**



- **Actualización de las normas.**
- **Falta de cultura de mantenimiento.**
- **Inadecuados sistemas de gestión de mantenimiento.**
- **Corrupción.**
- **Bajos salarios, tanto del sector privado como público.**
- **Aspecto jurídico de los sistemas de gestión de mantenimiento inadecuado.**

**Cada uno de los problemas aquí mencionados fueron concienzudamente analizados.**

- **Problema 1.- Falta de recursos suficientes y oportunos.**

**Solución:**

**Programa de conservación multianual, sin importar los cambios de gobierno.**

**Implantación de estrategias de convencimiento a los políticos.**

**Ingreso, vía impuesto a los combustibles, a cambio de la eliminación de peajes y otros gravámenes fiscales, así como transferencia directa y etiquetada de los recursos a las dependencias responsables.**

- **Problema 2.- Errores en el proceso de programación y planeación.**

**Solución:**

**Desarrollar un sistema unificado para la evaluación de la red carretera y ejecutar una base actualizada de datos.**