

85



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO  
PARA LA RED CARRETERA NACIONAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

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

P R E S E N T A :

**RAFAEL ROBERTO RAMIREZ WATANABE**



DIRECTOR DE TESIS: ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO

MEXICO, D. F.

2000

284564



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA  
DIRECCION  
60-1-016/98

Señor  
**RAFAEL ROBERTO RAMIREZ WATANABE**  
Presentes

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

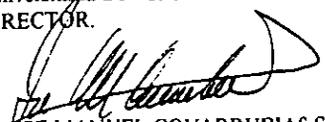
**"ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO PARA LA RED CARRETERA NACIONAL"**

- I. **INTRODUCCION**
- II. **GENERALIDADES**
- III. **CONSIDERACIONES BASICAS PARA LA CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS**
- IV. **ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO**
- V. **SISTEMAS DE INFORMACION DE APOYO A LA ADMINISTRACION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA**
- VI. **EVALUACION Y PERSPECTIVAS AL AÑO 2006**
- VII. **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

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

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitario a 30 de enero de 1998.  
EL DIRECTOR.



ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS  
JMCS/GMP\*lmf

---

## INDICE

---

RECONOCIMIENTOS	IV
INTRODUCCION	V
<b>CAPITULO 1. GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
1.1. Desarrollo Histórico de la Red Carretera Nacional	11
1.2. Historia de la Conservación de la Red Carretera en México	15
1.2.1. La Tendencia Actual en las Carreteras Mexicanas	19
1.3. Legislación de la Conservación y Mantenimiento de la Red Carretera Nacional	21
1.3.1. Normas de Conservación de Carreteras	21
1.3.2. Programas de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes	23
1.3.3. Programas Anuales de Trabajo del Sector Comunicaciones y Transportes	25
1.3.4. Programa Nacional de Conservación de Carreteras Federales 1997	27
1.3.5. Otros Programas	28
<b>CAPITULO 2. CONSIDERACIONES BASICAS PARA LA CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS</b>	<b>29</b>
2.1. Elementos de una Carretera	30
2.2. Elementos de un Puente	33
2.3. Factores a Considerar para la Conservación y Mantenimiento de Carreteras	36
2.4. Fallas en los Pavimentos y Puentes Carreteros	37
2.4.1. Fallas en Pavimentos Flexibles	37
2.4.1.1. Desprendimientos	37
2.4.1.2. Agrietamientos	39
2.4.1.3. Deformaciones	41
2.4.1.4. Defectos Varios	44
2.4.2. Fallas en Pavimentos Rígidos	46
2.4.2.1. Desprendimientos	46
2.4.2.2. Agrietamientos	46
2.4.2.3. Deformaciones	48
2.4.2.4. Deterioros Varios	49
2.4.3. Fallas en Puentes Carreteros	49
2.5. Eficiencia y Eficacia en el Servicio de Conservación y Mantenimiento de Carreteras	52
2.6. Indicadores del Estado Superficial de una Carretera	53

2.6.1. Índice de Servicio	54
2.6.2. Índice Internacional de Rugosidad	55
2.6.3. Ciclo de Vida de un Pavimento	56
<b>CAPITULO 3. ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO</b>	<b>58</b>
3.1. Técnicas de Conservación y Mantenimiento de Pavimentos	59
3.1.1. Bases Asfálticas con Agregados de 1 ½" a Finos y Cemento Asfáltico del Núm. 6	60
3.1.2. Carpetas de ¾" a Finos con Asfaltos Rebajados y/o Emulsión	60
3.1.3. Carpetas de Arena con Cemento Asfáltico del Núm. 6	61
3.1.4. Carpetas de Arena con Cemento Asfáltico del Núm. 6 y Cal	61
3.1.5. Carpetas de ¾" a Finos con Cemento Asfáltico del Núm. 6	63
3.1.6. Carpetas de Arena con Emulsión	63
3.2. Estrategias de Conservación y Mantenimiento en Puentes	63
3.2.1. Concreto Lanzado	63
3.2.2. Placas de acero Pegadas	64
3.2.3. Inyección de Fisuras con Resinas Epóxicas	64
3.2.4. Presfuerzo Exterior	65
3.2.5. Cambio de Apoyos	65
3.3. Aplicación de Nuevos Materiales y Técnicas en la Conservación y Mantenimiento de Carreteras	66
3.3.1. Perfilado de Superficies de Rodamiento	67
3.3.2. Estabilización de Suelos	67
3.3.3. Reciclado de Capas Asfálticas	68
3.3.4. Pavimentos con Sección Invertida	69
3.3.5. Whitetoppin	70
3.3.6. Rolodren	72
3.3.7. Espuma Asfáltica	73
3.3.8. Concreto Polimérico	74
3.3.9. Cementos Asfálticos Modificados	75
3.3.10. Sistema Fricon	76
3.3.11. Hidrodemolición	77
3.3.12. Otras Técnicas	78
3.4. Estrategia Nacional de Conservación	79
3.4.1. Bases para una Estrategia Nacional	81
3.4.2. Componentes de una Estrategia Nacional	82
3.4.3. Estrategias de Conservación y Mantenimiento para la Red Carretera Nacional	82
3.5. La Conservación y el Medio Ambiente	85
3.5.1. Principales Medidas de Control Ecológico	86

<b>CAPITULO 4. SISTEMAS DE INFORMACION DE APOYO A LA ADMINISTRACION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA</b>	<b>88</b>
4.1. Sistemas de Información Geográfica (SIG)	91
4.2. Highway Design and Maintenance Standards Model III (HDMIII)	93
4.3. Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)	95
4.4. Sistema de Puentes de México (SIPUMEX)	99
4.5. Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER)	104
<b>CAPITULO 5. EVALUACION Y PERSPECTIVAS AL AÑO 2006</b>	<b>110</b>
5.1. Uso del Programa SISTER	110
5.2. Datos de Entrada	114
5.3. Estrategia de Mantenimiento Normal	119
5.4. Estrategia de Espera	120
5.5. Estrategia de Mantenimiento Reducido	121
5.6. Estrategia de Rehabilitación Rápida y Mantenimiento Reducido	122
5.7. Estrategia Propuesta Empleando el Programa SISTER	124
5.7.1. Desarrollo de la Estrategia 98T para la Conservación de la Red Carretera Federal	124
5.7.2. Resultados	125
5.8. Estrategia de Referencia	128
<b>CAPITULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>132</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>136</b>

---

## RECONOCIMIENTOS

---

Mi agradecimiento a todas las personas que, directa o indirectamente, hicieron posible este trabajo.

A Dios, por darme vida para llegar hasta aquí.

Con profunda admiración y eterno agradecimiento a mis padres Miguel Ramírez y Concepción Watanabe.

A mis hermanos Alejandro, Mary, Verónica y Conchita por su paciencia e interés demostrado hasta la culminación de este trabajo

A la memoria de mis abuelos Jorge, Juanita y Roberto que no pueden ver materializada esta tesis.

A mis tíos Martha y Rafael por haberme apoyado durante estos años. Gracias mil.

Al ingeniero Oscar E. Martínez Jurado quien tuvo la suficiente paciencia y tiempo para guiarme hasta culminar la presente tesis.

A la Universidad Nacional Autónoma de México que me ha permitido ser parte activa de ella y realizar en sus instalaciones mis estudios profesionales.

A la Facultad de Ingeniería por ser parte importante de mi formación profesional.

A mis profesores y amigos por compartir conmigo sus conocimientos y brindarme su apoyo, lo cual es invaluable.

A la licenciada Lilibian Romero por ser la principal motivadora y a quien agradezco su apoyo infinitamente. Muchas gracias.

Al personal de la SCT que me ha facilitado toda la información posible para poder desarrollar el tema, motivo de esta tesis.

Un reconocimiento especial a toda la gente de Ingeniería Rioboo en la planta Mariscalá.

A la ingeniera Alma Delia García por ser mi mentor en el departamento de ingeniería de costos.

A todos ustedes, muchas gracias.

R.R.W.

---

## INTRODUCCION

---

La conciencia de alteración a las condiciones y procesos naturales a producir con una nueva obra es un requisito indispensable a cumplir por un buen proyecto de ingeniería y no menos importante resulta la conciencia del nuevo proceso de adaptación que la obra recién construida seguirá con el permanente esfuerzo de la naturaleza para reconquistar su equilibrio. A las actividades que contrarrestan este esfuerzo se les conoce como mantenimiento.

Hasta hace poco el mantenimiento cobró gran importancia; ya que durante muchos años y en particular durante los años de la posguerra, en la que la economía mundial estaba en pleno crecimiento, era más interesante construir que reparar considerándose al mantenimiento como obra de segundo orden. Hoy día sucede lo contrario. Actualmente resulta más caro realizar obras nuevas; y si consideramos que vivimos en una sociedad en plena expansión demográfica, con grandes carencias y en crisis, nos daremos cuenta que es muy importante conservar lo ya existente y dedicar recursos tanto a la conservación como a las nuevas demandas de infraestructura.

Es por tanto de primera importancia construir obras que requieran del menor mantenimiento posible y que ese mantenimiento sea ejecutado con un procedimiento preestablecido, teniendo en consideración que si se llegara a tener un problema más serio, sea atendido antes de que el problema llegue a ser irreparable.

Hoy se sabe que las obras de conservación y mantenimiento no son ingeniería de segundo orden, pues se requiere de amplios conocimientos en la materia, de conocer las posibles técnicas a emplear y de mucho mayor ingenio que el empleado para el diseño o construcción de una obra nueva.

En México, en estos últimos años se han realizado y se están realizando obras de mantenimiento y reparación cuyo grado de dificultad y reto no han sido sencillos. Se

están empleando nuevas tecnologías en el subsector carretero y se han empezado a utilizar pavimentos rígidos donde por mucho tiempo se ha preferido el uso del asfalto. Por eso, contando con el apoyo, la voluntad y la firme decisión de la SCT, ha sido posible salvar y dejar en buenas condiciones de servicio muchas estructuras que muchos consideraban ya condenadas.

Esto es sólo un ejemplo que puede repetirse constantemente por lo que todos los responsables de las obras públicas deben cuidar que en todos los proyectos se respeten las reglas de estabilidad y resistencia y además se tomen en cuenta aspectos de ecología y de ahorro de combustible; estos dos últimos, también formas de conservación, tanto del medio ambiente como de la energía respectivamente.

Eso no es todo, hoy como nunca antes en la historia del ser humano, los avances de la ciencia y de la tecnología han modificado el comportamiento de la sociedad en general. La computación y la informática están presentes en todas las actividades cotidianas. Amas de casa, profesionistas e investigadores hacen uso de estos nuevos recursos de forma cada vez más frecuente. La ingeniería civil no se ha quedado atrás. En el mercado es posible encontrar infinidad de equipos y programas para las más diversas tareas ingenieriles.

Los procesos que hace algunos años demoraban varias horas o días, hoy pueden realizarse en cuestión de minutos arrojando resultados precisos y confiables. Pero esta información debe ser entendida como una herramienta que ayude al entendimiento y a la búsqueda de soluciones a los problemas cotidianos.

El desarrollo y aplicación de la computación no se ha detenido. En el subsector carretero, para coordinar, organizar y evaluar las labores de mantenimiento se han fomentado los sistemas de gestión vial, los cuales contienen toda la información actualizada sobre el estado que guarda la infraestructura y la historia de su mantenimiento, permitiendo evaluar la eficiencia de las labores y de los mismos sistemas.

Es claro que México cuenta ya con los principales ejes carreteros para que el país este comunicado y no se prevén grandes inversiones para la construcción de nuevas carreteras. Hoy día grandes sumas de dinero se están destinando a la conservación. Y ante

la gran cantidad de información por manejar, con la ayuda de la gestión vial podremos desarrollar una estrategia de nivel nacional y dar respuesta a las siguientes preguntas:

- ¿En qué puntos o tramos de la red es preciso realizar trabajos?
- ¿Qué tipo específico de trabajos requiere esa intervención y en que forma han de realizarse?
- ¿Cuándo deben ejecutarse los trabajos?

Ante estas interrogantes, el presente trabajo establece que el uso de un sistema de gestión vial es y será una condición indispensable para poder ejecutar adecuadamente una estrategia de conservación que sea permanente y sustentable para la red carretera nacional.

---

CAPITULO 1  
GENERALIDADES

---

La conservación de carreteras va más allá de un mero mantenimiento de las mismas. Existe una gran cantidad de maneras de definir y entender las intervenciones efectuadas a las carreteras después de su construcción inicial. Varias veces ha quedado manifestado el grado de confusión semántica al respecto utilizándose indistintamente las palabras "mantenimiento" (rutinario y periódico), "rehabilitación", "reconstrucción", "renovación", "refuerzo", "reciclaje", etc., variando el contenido de las palabras de una región a otra, e incluso de un experto a otro.

A manera de ejemplo, se presentan las siguientes definiciones de los términos de conservación y mantenimiento que provienen de publicaciones relacionadas con el tema, preparadas por diversas entidades, entre ellas, el Banco Mundial<sup>1</sup>.

**Conservación vial.** La conservación es el amplio conjunto de actividades destinadas a asegurar el funcionamiento adecuado a largo plazo de una carretera o una red de carreteras al menor costo posible. Uno de los objetivos primordiales de la conservación es evitar la pérdida innecesaria del capital ya invertido, mediante la protección física de la infraestructura básica y de la superficie de la carretera. La conservación procura específicamente, evitar la destrucción de partes de la estructura de las carreteras y la necesidad de una posterior rehabilitación o reconstrucción. La conservación incluye actividades como el mantenimiento y el refuerzo de la superficie, incluyendo el agregado de capas adicionales sobre el camino, sin alterar la estructura existente.

**Mantenimiento de carreteras.** Lo definimos como el conjunto de acciones necesarias para conservar una carretera en las condiciones de servicio para las que fue construida en todas las partes que la constituyen, tales como estructuras de pavimento,

---

<sup>1</sup> Caminos. Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales. CEPAL, 1992. Pp. 38-41

superficie de rodamiento, acotamientos, drenaje, puentes, taludes y cortes, derechos de vía, señalamiento vertical y horizontal.

**Mantenimiento rutinario.** Es la reparación de pequeños defectos en la calzada y en el pavimento, nivelación de superficies sin pavimentar y de acotamientos, mantenimiento regular del drenaje, taludes laterales, bordes, dispositivos para el control del tránsito y otros elementos, limpieza del derecho de vía, control del polvo y de la vegetación, limpieza de la nieve o arena y mantenimiento de zonas de descanso y aditamentos de seguridad.

**Mantenimiento periódico.** Todas las actividades de conservación son periódicas, no obstante, suelen denominarse así el tratamiento de la superficie y su renovación.

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas, ha definido a la conservación de carreteras como aquellas actividades regulares y periódicas dirigidas a mantener las calzadas, hombros, acotamientos, taludes, drenajes y demás estructuras y equipos situados dentro de la zona de dominio de la carretera en un estado tan próximo como sea posible a su estado inicial o renovado. La conservación comprende operaciones menores y reparaciones dirigidas a la eliminación de la causa de defectos, evitando así la repetición de esfuerzos de mantenimiento estériles.

Sería inútil transcribir la gran cantidad de definiciones existentes, por lo que resulta conveniente establecer lo que entenderemos como conservación de carreteras.

Se puede definir a la conservación de carreteras, como el proceso dinámico, formado por actividades constantes consistentes en reponer el desgaste normal de las carreteras, proporcionándoles las características que tuvieron cuando se terminó su construcción, restituyendo los elementos que fueron dañados por el uso, por los agentes naturales o por alguna otra causa, efectuando obras que se omitieron durante su construcción y se requieren para su correcto funcionamiento, y que no implican cambiar condiciones básicas de diseño, adecuándolas constantemente para que siempre satisfagan las necesidades cambiantes de comunicación con niveles de servicio satisfactorios.

A fin de cuentas, la finalidad de la conservación es lograr que la carretera preste el servicio para el que fue construida, prolongando la vida de la misma:

- Preservando el patrimonio carretero nacional.
- Proporcionando condiciones de seguridad y comodidad para el traslado de pasajeros, y
- Facilitando el intercambio de bienes y servicios entre las diversas regiones del país.

Los beneficios que se obtienen de la conservación son innegables, pudiendo resaltar como los más importantes:

- Menores costos de operación de los vehículos.
- Menores costos futuros de mantenimiento.
- Ahorro en tiempo tanto para transporte de pasajeros como de carga.
- Menores costos por accidentes.
- Estimulo para el desarrollo económico, y
- Mayor comodidad y conveniencia para el usuario.

Por sus características especiales, las carreteras quedan expuestas al ataque permanente de los agentes naturales y al efecto de las cargas que soportan sus elementos estructurales. Por eso, es necesario someterlas a una vigilancia continua y concederles especial atención a fin de mantenerlas en las mejores condiciones de servicio, por lo que los trabajos de conservación deben ser considerados desde que se efectúa su localización, ya que entre varias alternativas de ruta, debe elegirse aquella que ofrezca la mayor seguridad y ventajas para su futuro mantenimiento, aun cuando el costo inicial no sea precisamente el menor.

El estado en que se encuentren las carreteras, influirá en forma decisiva en los costos de operación, que incluyen el desgaste y consumo de combustible y su natural influencia en los precios de los artículos que se transportan, pero sobre todo en la seguridad, comodidad y tiempo de los usuarios.

Para tener el sistema de carreteras del país en buenas condiciones de operación, se requiere de diversas labores de conservación que se agrupan en los seis conceptos fundamentales siguientes:

- 1.- Mantenimiento de la superficie de rodamiento.
- 2.- Limpieza y reposición de acotamientos.
- 3.- Desazolve y reparación de obras de drenaje.
- 4.- Recargues y estabilización de taludes.
- 5.- Limpieza de zonas laterales.
- 6.- Señalamiento.

Actualmente la Red Carretera Nacional está bastante completa, por lo que la tarea urgente es mejorar el esquema para su conservación, esquema que debe considerar las condiciones básicas que se enuncian a continuación:

- Debe garantizar la conservación adecuada de la red vial a un costo razonable.
- Debe velar para que la red vial pueda mantenerse a largo plazo.
- Debe tender a optimizar la relación entre los costos y los beneficios del sistema de transporte por carretera.
- Debe racionalizar el uso de recursos.
- Debe reducir al máximo los efectos dañinos al medio ambiente.

En México, el transporte carretero moviliza el 98% de los pasajeros y el 60% de la carga en el ámbito nacional, siendo comprensible la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera.

Ahora bien, considerando que la red principal fue construida utilizando normas y técnicas que en la actualidad han sido superadas por las cargas de diseño autorizadas y por el incremento considerable en el número de vehículos que actualmente circula en ellas, podemos darnos cuenta de que sus características geométricas y estructurales son obsoletas en función de las necesidades del transporte moderno, de manera que la

conservación de la infraestructura carretera se debe convertir en una preocupación primordial.

Las opciones técnicas para la conservación parecen más variadas hoy en día. Gracias a investigaciones recientes, ahora comprendemos mejor el proceso físico del deterioro de las carreteras y se han encontrado los medios de mantenerlas transitables a un costo más bajo que antes. Recordemos, si una vivienda no es sometida a reparaciones regulares se deteriora inexorablemente, y el hecho salta a la vista con el correr del tiempo. El buen funcionamiento de las máquinas depende aún más del mantenimiento, como puede verificarse con los vehículos motorizados o los ascensores. Omitir el mantenimiento conduce pronto a un funcionamiento defectuoso, a la paralización completa o a peligros aún mayores. En contraste, cuando se trata de carreteras, la conservación no parece ser a primera vista una necesidad apremiante. Las carreteras, especialmente las pavimentadas tienen cierto aire de nobleza y su deterioro es casi imperceptible, incluso varios años después de su construcción. Es por ello que en la mente de muchos puede asentarse la idea de que una carretera es algo definitivo y que puede perdurar para siempre.

Primeramente, se ha presentado un elemento de descuido, debido a la construcción de nuevas obras en busca del desarrollo general del país; por lo que los presupuestos dedicados a la conservación no se han incrementado correspondientemente y por lo tanto el estado de la red carretera muestra deterioros importantes. En segundo lugar, la red carretera ha crecido muy por encima de lo que es posible administrar con métodos tradicionales, fundamentados en el sentido común o en la experiencia y en el conocimiento regional o nacional de quienes han de tomar las decisiones.

Desafortunadamente, los hombres de vocación política y muchos técnicos aprecian en forma especial la buena acogida pública que suele tener la aparición de nuevas obras en comparación con el escaso lucimiento que proporcionan las obras de conservación.

Este nulo atractivo de la conservación reside en el hecho de que no tiene por objetivo sino mantener lo que ya se tiene sin satisfacer los deseos de progreso. La mera preservación del acervo ya alcanzado da una sensación de estancamiento. En un mundo en que todo evoluciona con rapidez, se presume que el que no avanza, retrocede. Sin embargo, la ausencia de labores de conservación es una forma encubierta de retroceso. El acervo se va consumiendo y desgastando paulatinamente aunque la manifestación de ese desgaste tarde en hacerse evidente. Paradójicamente, el interés por la conservación se manifiesta cuando precisamente por falta de ésta, las carreteras llegan a tal grado de deterioro que provocan serios trastornos en el tránsito.

Por desgracia, las actividades de conservación no son sencillas. Si existe una actividad verdaderamente compleja en el campo vial es precisamente la conservación. No cualquier técnico está en condiciones de reconocer oportunamente las necesidades, determinar los trabajos a ejecutar y asignar los recursos necesarios para obtener el máximo rendimiento de ellos.

Por eso, la conservación de carreteras requiere la intervención de los profesionales más capacitados, más preparados y más emprendedores en el área vial, profesionales que deben atender problemas de conservación como son:

- Falta de fondos para efectuar las labores de mantenimiento.
- Ejecución deficiente de los trabajos de conservación.
- Falta de planificación de las actividades de conservación.
- Falta de maquinaria en condiciones de operar.
- Mantenimiento deficiente de la maquinaria.
- Trabas burocráticas y administrativas.
- Bajos salarios y baja motivación del personal de los organismos viales.
- Reiteración del ciclo eterno de: construcción de carreteras - ausencia de conservación - destrucción - reconstrucción, entre otras.

## EL "MILAGRO" DE LAS CARRETERAS INDESTRUCTIBLES EN EUROPA<sup>2</sup>

Muchos pueblos y pequeñas ciudades de Europa, sobre todo en Bélgica y Francia, están conectados por carreteras que fueron pavimentadas en los años treinta o cuarenta y llevan funcionando cincuenta años o más, sin jamás haber sido reconstruidas o rehabilitadas. En ciertas regiones rurales, estas carreteras continúan siendo adecuadas para satisfacer las necesidades actuales. Según los ingenieros viales no necesitarán de ningún tipo de reconstrucción o rehabilitación en un futuro previsible.

¿Cómo es posible que una carretera pavimentada tenga una vida de cincuenta o sesenta años y siga siendo apta para muchos años más? ¿No es sabido que después de 8, 10, 15 ó 20 años hay que reconstruir, demoliendo las partes del pavimento y de la estructura básica que estén destruidas y reemplazándolas por partes nuevas? ¿Acaso no se desintegran los pavimentos después de algún tiempo? ¿Se trata de un milagro?

La respuesta es que ha habido conservación. Antes de la primera pavimentación hecha hace cincuenta o sesenta años atrás, hubo una preocupación por que existiera un buen drenaje. Luego, los ingenieros no esperaron hasta que el pavimento original se desintegrara. Después de algunos años y a un costo relativamente bajo, aplicaron una segunda capa de pavimento sobre la primera que, aunque ya estaba un poco desgastada, no presentaba aún mayores fallas. Algunos años después, cuando esas capas aún conservaban un estado aceptable, agregaron una tercera capa de pavimento sobre las dos existentes, que estaban fatigadas pero aún sin fallas estructurales. Así, se ha continuado en ese esquema de refuerzo hasta el día de hoy, combinándolo con otras medidas de conservación. Según los ingenieros, estas carreteras que ya tienen hasta quince o más capas asfálticas y un espesor de hasta 40 centímetros, son prácticamente indestructibles. En ellas nunca se ha practicado una faena muy costosa de demolición o de levantamiento de los tramos destruidos. Siempre se ha conservado lo existente, usándolo como base para un refuerzo de la superficie a un costo relativamente bajo.

<sup>2</sup> Caminos. Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales. CEPAL, 1992. Pp. 25

Por supuesto, esta manera de lograr que las carreteras sean indestructibles no se ha podido aplicar siempre ni en todas partes, porque muchas veces el incremento del tránsito ha hecho necesario construir una carretera de mayor capacidad y con otra clase de diseño. Lo que se quiere destacar es el contraste entre un esquema de conservación verdadero como el ejemplo europeo y lo que se acepta como el ciclo normal de los caminos. Para la descripción del llamado ciclo normal de los caminos, utilizaremos el ejemplo de las carreteras pavimentadas con asfalto, que son muy comunes en México; y aunque existen ciertas diferencias entre las carreteras de asfalto y las de concreto hidráulico o las que no tienen pavimento alguno, en ninguno de los casos debemos permitir el deterioro excesivo o la destrucción de su estructura básica.

Estudios en el campo vial realizados por la CEPAL en países latinoamericanos han identificado claramente cuatro etapas que son (Fig. 1.1)<sup>3</sup>:

#### **Fase A. La construcción.**

Cuando la obra está recién terminada la carretera entra en servicio. El día de la entrega la carretera suele encontrarse en excelentes condiciones y satisface en 100% las necesidades de los usuarios (Punto A).

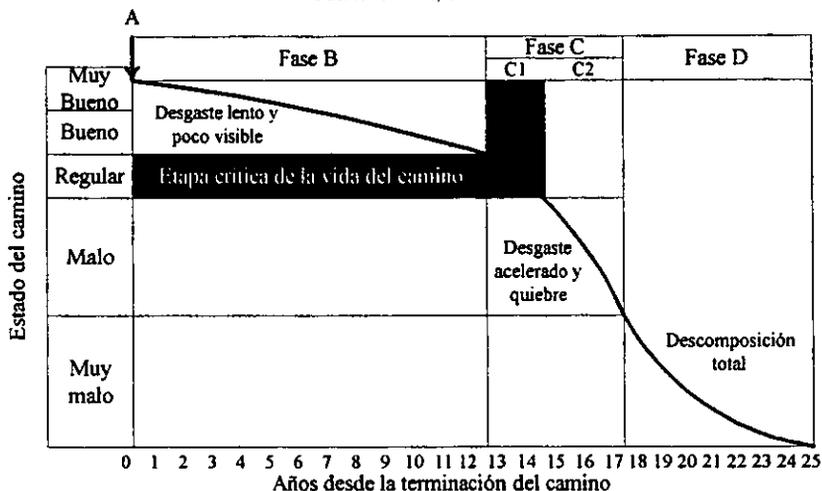
#### **Fase B. El desgaste lento y poco visible.**

Durante algunos años, la carretera experimenta desgaste y debilitamiento lento, principalmente en el pavimento, y en menor grado, en el resto de su estructura, producido por la gran cantidad de vehículos que circulan por él, aunque también por influencia del clima, del agua, de la radiación solar, la oxidación, los cambios de temperatura y otros factores. La velocidad de desgaste depende también de la calidad de la construcción inicial. Para frenar este proceso es necesario aplicar con cierta frecuencia diferentes medidas de conservación, principalmente en el pavimento y en las obras de drenaje. Además, hay que efectuar operaciones rutinarias de mantenimiento.

Durante toda la fase B, la carretera se mantiene aparentemente en buen estado y el usuario no percibe el desgaste; a pesar del aumento gradual de fallas menores aisladas, el camino sigue sirviendo bien a los usuarios (Sector B).

Fig. 1.1 EL DETERIORO DE LOS CAMINOS CON EL TRANSCURSO DEL TIEMPO

Fuente: CEPAL, 1992



Nota: La curva presentada se basa en un pavimento de asfalto. La curva del deterioro para otro tipo de carreteras tiene una forma diferente a la presentada; sin embargo, el mensaje de la figura es igualmente válido para carreteras de cualquier tipo.

En la figura se define como estado del camino lo siguiente:

**Muy bueno** Caminos nuevos o caminos que corresponden por su estado a un camino nuevo.

**Bueno** Caminos pavimentados en su mayor parte libres de defectos, que sólo requieren un mantenimiento de rutina y quizás un tratamiento de la superficie. Caminos sin pavimentar necesitan solo nivelación rutinaria y reparaciones localizadas

**Regular** Caminos pavimentados que presentan defectos y una resistencia estructural reducida. Requieren renovación o refuerzo de la superficie, sin necesidad de demoler la estructura existente.

**Malo** Caminos pavimentados que presentan defectos de estructura y que requieren rehabilitación inmediata, previa demolición parcial. Caminos sin pavimentar que requieren rehabilitación y trabajos de drenaje.

**Muy malo** Caminos pavimentados que presentan graves defectos en la estructura y que requieren una reconstrucción, previa demolición de la mayor parte de la estructura existente. Caminos sin pavimentar requieren obras de reconstrucción e importantes trabajos de drenaje.

### Fase C. Deterioro acelerado y quiebre.

Después de varios años de uso, el pavimento y otros elementos de la carretera están cada vez más agotados y entra en una etapa de deterioro acelerado resistiendo cada vez menos el tránsito (sector C). Al inicio de esta fase, la estructura básica de la carretera aún sigue intacta, las fallas en la superficie son menores y el usuario tiene la impresión de que la carretera aún se mantiene bastante sólida; sin embargo, no es así (sector C1).

Avanzando un poco más en la fase C, se pueden observar cada vez daños más visibles en la superficie y en la estructura básica. En otras palabras, cuando el pavimento de una carretera presenta graves fallas que se pueden detectar a simple vista, se puede asegurar que la estructura básica también está seriamente dañada. Estos daños comienzan siendo puntuales y luego se van extendiendo hasta que finalmente afectan la mayor parte de la carretera (sector C2).

La fase C es relativamente corta, ya que comprende un periodo de entre dos y cinco años. En un esquema sano de conservación, la superficie de la carretera debe reforzarse al inicio esta fase C. (sector C1). Los objetivos de este refuerzo son los siguientes:

- Detener el deterioro acelerado del camino.
- Conservar totalmente la estructura básica existente.
- Asegurar la capacidad del camino de modo que pueda ser apto para el tránsito durante otro periodo prolongado.

Al inicio de la fase C (sector C1), normalmente basta con reforzar la superficie de la carretera, lo que supone un costo relativamente bajo. Una vez efectuado un refuerzo adecuado, la carretera vuelve a estar en condiciones y puede resistir al tránsito durante algunos años más. Sin embargo, como las fallas no son detectables a simple vista, generalmente no se interviene en el momento preciso y el deterioro se agudiza. Si avanzamos dentro de la fase C (sector C2) y dejamos pasar el momento óptimo de intervención, el simple refuerzo de la superficie ya no es suficiente. Primero deberán

repararse los daños que se han producido en la estructura básica, lo que significará demoler y levantar las partes dañadas, reemplazándolas por partes nuevas; posteriormente se colocará el refuerzo sobre la superficie total de la carretera.

Si no se interviene durante la fase C, en la carretera se produce una falla generalizada tanto del pavimento como de la estructura básica, y aunque los vehículos siguen circulando y al principio lo hacen sin ningún problema, paulatinamente los usuarios van experimentando una cantidad creciente de molestias a causa de las irregularidades de la superficie: baches, grietas, depresiones y deformaciones. Al finalizar la fase C y durante la fase D, sólo cabe reconstruir completamente la carretera, a un costo que puede equivaler entre 50 y 80% del valor de una obra completamente nueva.

#### Fase D. Descomposición total.

Constituye la última etapa de la existencia de una carretera y puede durar varios años. Durante ese periodo, lo primero que se observa es la pérdida de pavimento. Cada vez que pasa un vehículo pesado se desprenden trozos de asfalto (sector D). El paso de los vehículos se dificulta, la velocidad promedio de circulación baja bruscamente y la capacidad del camino queda reducida a sólo una pequeña parte de la original. Los vehículos comienzan a experimentar daños en los neumáticos, ejes, amortiguadores y en el chasis. Los costos de operación de los vehículos suben de manera considerable y la cantidad de accidentes graves también aumenta.

### 1.1. DESARROLLO HISTORICO DE LA RED CARRETERA NACIONAL

La historia de la red carretera del país inicia formalmente en 1925, cuando la Comisión Nacional de Caminos inició la construcción de carreteras. En esas fechas se contaba únicamente con 28,000 km de brechas y veredas no aptas para la circulación de automóviles.

Al principio se construyeron los caminos que respondieron a la necesidad de unir la región central con la frontera norte del país y a necesidades completamente regionales, originando una red radial formada por grandes ejes troncales que enlazaron a las principales ciudades del país.

De 1925 a 1930 se construyeron 1,426 km, enlazando a Acapulco, a Puebla y a Pachuca con el Distrito Federal, a Monterrey con Nuevo Laredo y a Mérida con Puerto Progreso y Valladolid.

**Tabla 1.1 EVOLUCION DE LA INFRAESTRUCTURA  
CARRETERA EN MEXICO**

Fuente: Subsecretaría de Infraestructura, S.C.T  
Datos estimados a 1998

AÑO	TOTAL (km)
1930	1,426
1940	9,929
1950	21,422
1960	41,951
1968	65,235
1970	71,520
1973	154,673
1975	174,463
1976	193,400
1980	213,000
1983	219,600
1985	231,900
1986	235,400
1988	241,100
1992	243,856
1995	303,262
1998	322,857

De 1930 a 1940 se llega a 9,929 km quedando comunicadas 23 importantes ciudades del país de más de 50,000 habitantes. En este periodo destaca la construcción de los tramos: México - Cd. Victoria - Nuevo Laredo; México - Jalapa - Veracruz; México - Toluca - Guadalajara; Chihuahua - Cd. Juárez; Saltillo - Piedras Negras; Monterrey - Reynosa y Aguascalientes - San Luis Potosí - Tampico.

De 1940 a 1950 se integraron 12,530 km para dar un total de 21,422 km, con lo cual quedó comunicado el 20% del territorio nacional. Entre las carreteras destacan la Panamericana (Cd. Juárez - Cuauhtémoc); México - Nogales; Durango - Torreón; Mérida - Campeche y Veracruz - Coatzacoalcos.

De 1950 a 1960 se construyeron 20,529 km para dar un total de 41,951 km con lo cual se completó la red troncal básica vinculando el 33% del territorio nacional. Destaca la terminación de las carreteras: San Luis Potosí - Piedras Negras; Coatzacoalcos-Salina Cruz y Coatzacoalcos - Villahermosa.

De 1960 a 1970 se integraron 29,569 km para dar un total de 71,520 km. Este periodo se caracteriza por la construcción de una gran cantidad de carreteras alimentadoras y de interconexión con la red troncal.

De 1970 a 1983 la red carretera se incrementa notablemente, hasta alcanzar un total de 219,600 km. Destaca la construcción de la Carretera Transpeninsular y una gran cantidad de caminos de mano de obra con los que se integró a una gran parte de la población de las zonas rurales del país.

Hoy día, el sistema carretero nacional, tiene una longitud de 322,857 km de los cuales 48,103 km corresponden a la red federal; 6,276 km a carreteras de cuota; 63,405 km a carreteras estatales; 158,285 km a caminos rurales y 53,062 km a brechas.

Hay que resaltar que, de los 48,103 km que constituyen la red carretera federal, el 53% tiene más de 30 años de servicio mientras que sólo el 11% tiene menos de 15 años. Esta red fue diseñada y construida utilizando normas y técnicas que en la actualidad han sido superadas por las cargas de diseño autorizadas, por lo que sus características geométricas y estructurales son obsoletas en función de las necesidades actuales del transporte moderno. De los 63,405 km de carreteras estatales, aproximadamente 28,500 km que están pavimentados se encuentran en similares condiciones, ya que el 75% de dichos caminos fue construido antes de 1965, aunque en la mayoría de ellos, la intensidad del tránsito no es tan elevada como en la red troncal federal. Del total de caminos rurales, existe un alto porcentaje construido hace más de 20 años, muchos de los

cuales han superado la etapa para la que fueron diseñados y requieren mejoras substanciales para soportar mayores cargas y un volumen de tránsito más intenso.

También la red rural padece un importante rezago. La conservación de este tipo de caminos de bajo costo requiere de un menor esfuerzo para construirlos, pero mayor ímpetu y esmero en la conservación, por lo que la mayoría se encuentran en malas condiciones de servicio, haciéndose necesaria una reconstrucción general de la red.

Nuestro país se enfrenta a la escasez de recursos económicos lo que se traduce en severas limitaciones, tanto para conservar la red como para incrementar la infraestructura básica que posibilita nuestro desarrollo. El monto de recursos destinados a la conservación, no ha permitido construir los espesores de mezcla asfáltica que se requieren, obteniéndose duraciones inferiores a las del ciclo de reposición para carpetas y sellos asfálticos.

En lo referente a maquinaria, las asignaciones anuales para adquisiciones y reconstrucción son decrecientes. La capacidad es insuficiente, el equipo es antiguo, obsoleto y con altos costos de operación y mantenimiento, debiéndose asignar importantes recursos a la compra de refacciones, de tal forma que se ha dado el caso en que la inversión en refacciones es mayor que la destinada a obra.

La falta de recursos financieros oportunos hace que la red opere con bajos índices de servicio produciéndose un importante incremento en el costo del transporte y en la seguridad del usuario. Otro aspecto crítico es el estado de los puentes, que han rebasado su vida útil; en algunos casos dañados por el intemperismo y en otros por efectos sísmicos, hidráulicos o accidentes vehiculares.

Ante esta problemática existe la imperiosa necesidad de obtener soluciones en forma inmediata, ya que los mayores retos a los que hay que enfrentar son el tamaño de la red y el establecimiento de criterios para administrar la conservación y los procedimientos tecnológicos apropiados a los recursos y necesidades del país.

Esta problemática se ha incrementado impulsada también por el creciente tránsito que se refleja en las siguientes cifras: en 1925, la población era de 7 millones con 40 mil

vehículos automotores; en 1950, la población creció a 26 millones y los vehículos a 300 mil. Lo anterior significa que en 25 años el número de vehículos se multiplicó 7.5 veces. En 1980 la población rebasó los 70 millones y los vehículos los 5.5 millones; en otras palabras, entre 1950 y 1980, el número de habitantes aumentó a 2.7 veces y el de vehículos a 19.3 veces. Hoy día, la población nacional se estima en 90 millones de personas, mientras que los vehículos automotores se aproximan a los 7 millones. Las previsiones estimadas señalan que al final del año 2000 se tendrá una población de 110 millones de habitantes y un número de vehículos cercano a los 15 millones.

La tarea del pasado fue construir un sistema de carreteras; la tarea de hoy es conservar este sistema y adaptarlo a las necesidades de los usuarios, aunque es sabido que resulta más fácil hacer algo nuevo que conservar lo ya existente en buen estado de funcionamiento.

## 1.2. HISTORIA DE LA CONSERVACIÓN DE LA RED CARRETERA EN MEXICO

Los caminos existen desde tiempos inmemorables y constituyen un medio fundamental para la movilidad de las personas. La importancia que revisten está fuera de discusión. Todo el mundo sin excepción se beneficia de una u otra forma de su existencia y muchos los usan de modo frecuente. Aún aquellos que los usan poco, perciben el papel que desempeñan en el transporte de personas y bienes. Por eso, los caminos suscitan el interés generalizado de los distintos segmentos del cuerpo social, aunque no todos los valoren de igual modo.

En nuestras carreteras, la conservación ha tenido más o menos la misma evolución que la construcción de éstas, siempre con tendencia a mejorar. Sin embargo, ha sido más lento y menos efectivo el proceso para implantar las nuevas técnicas que para enfrentar los problemas derivados del crecimiento de la red y del tránsito, tanto en volumen como en peso por eje y número de ejes, influyendo definitivamente la falta de recursos.

En los años cincuenta y a un ritmo cada vez más rápido se invirtió una porción importante de recursos estatales a la construcción de redes viales y de infraestructura de transporte. Los recursos empleados provenían de los impuestos recaudados, pero también de préstamos nacionales e internacionales. El objetivo de ese gigantesco esfuerzo consistía en crear una base sólida para el desarrollo económico y social del país. Pero no hubo mayor preocupación por el costo ni por las demás exigencias que supondría en el futuro la conservación de la nueva infraestructura.

Ahora bien, estos últimos años, parece haberse perdido el gran impulso caminero de otras décadas, y agregado a la gran extensión de las redes, ha inducido el deseo de sistematizar la atención que se otorga a la red carretera, buscando una organización de trabajos que conduzca a criterios de mantenimiento preventivo en lugar de correctivo y proporcione elementos de decisión y de jerarquización de inversiones conectados al estado real de las carreteras con el carácter más objetivo posible para que las operaciones por ejecutar y las inversiones por realizar se jerarquicen fuera de factores subjetivos de experiencia u opinión, provocando la aparición de sistemas de gestión o de administración de pavimentos, de los cuales hablaremos posteriormente.

En México, las extensas redes carreteras existentes fueron construidas en su mayor parte durante los últimos 40 años, forman parte del patrimonio nacional y están destinadas a responder a las exigencias que plantea el desarrollo económico del país. Dicho patrimonio es el conjunto de todos los elementos que pueden utilizarse, directa o indirectamente para la satisfacción de las necesidades de la población. Está formado por dos componentes fundamentales: el patrimonio natural y el patrimonio que resulta del trabajo humano. El primero está constituido por elementos que entrega directamente la naturaleza sin intervención del hombre, tales como el agua, el paisaje, los minerales y los bosques. El segundo lo constituyen los elementos aportados por el trabajo del hombre, fruto de los esfuerzos y sacrificios hechos por las generaciones humanas. Tales elementos se han ido incorporando en uno u otro momento de la historia al patrimonio nacional.

La red carretera se ha financiado mediante los aportes de varias generaciones. El Estado ha recaudado dichos aportes, destinando un porcentaje muy importante de ellos a la construcción de las redes viales, formando e incrementando así el patrimonio nacional; en este caso, de carreteras, el cual ha superado en valor al sistema de energía eléctrica, de comunicaciones o el de las instalaciones portuarias. Este patrimonio nacional de caminos es uno de los pilares del desarrollo socioeconómico, y es además un elemento que está prestando permanente servicio a la sociedad.

Pero como ya vimos, la red vial se está deteriorando a un ritmo crecientemente acelerado debido a las grandes deficiencias que presenta su conservación. Gradualmente y en forma casi inadvertida, se está perdiendo el patrimonio nacional de las carreteras. El Estado ha sido el gran proveedor de estas para ponerlas a libre disposición de toda la comunidad nacional a través de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, quien ha asumido la responsabilidad de conservarlas y mantenerlas en óptimas condiciones de servicio, labor que realiza por medio de su Subsecretaría de Infraestructura y, en particular por su Dirección General de Conservación de Carreteras y los Centros SCT.

La SCT se encarga de atender directamente la conservación, reparación, reconstrucción modernización o reparación de 118,000 km de la red carretera nacional, realizando sus actividades de conformidad con programas y presupuestos definidos. Los kilómetros restantes son atendidos por CAPUFE, el Fideicomiso 195 CONACAL y las empresas que administran carreteras concesionadas.

El Sector Comunicaciones y Transportes, está conformado por organismos descentralizados (CAPUFE, CONACAL, entre otros), los cuales cuentan con autonomía de gestión, patrimonio y régimen jurídico propio, manteniendo relaciones con la cabeza del Sector para armonizar sus acciones y establecer congruencia en sus objetivos y metas. Por otra parte, los Centros SCT, órganos desconcentrados de la Secretaría, están subordinados a la cabeza del Sector, la cual determina su organización, facultades, competencia y presupuesto.

Desde su fundación, la SCT ha dado importancia a la conservación de carreteras; pero desgraciadamente, estas labores han sido realizadas por diferentes departamentos y direcciones. Los organismos encargados de la conservación han pasado de una secretaría a otra dificultando la continuidad de los trabajos y recibiendo recursos cada vez más insuficientes. Es por eso que en el Plan Nacional de Desarrollo y en el Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes para el periodo 1995-2000, se otorga una alta prioridad a la conservación, reconstrucción y ampliación de la infraestructura carretera. Tal prioridad se ha reflejado en la necesidad de definir el campo de acción de la Dirección General de Conservación de Carreteras (DGCC) y de los Centros SCT; para lo cual se publicó el Reglamento Interior de la Secretaría en el Diario Oficial de la Federación el 21 de junio de 1995.

En el artículo 16 del mencionado Reglamento, se asignaron a la DGCC atribuciones orientadas a definir su participación en la política y los programas de transporte carretero, en la normatividad, supervisión, asesoría y capacitación. Igualmente, se establece su función de conservar en condiciones óptimas de funcionamiento la red carretera y los puentes federales, mediante el desarrollo de programas de conservación, reconstrucción, modernización y ampliación, asentando los lineamientos, normas y criterios, asesorando a los organismos y dependencias estatales en los programas respectivos. Por otro lado, en el artículo 36, se establecen las funciones de los Centros SCT, consistentes en vigilar, promover, supervisar y ejecutar los programas de la Secretaría en la entidad federativa de su adscripción, formulando un programa de actividades acorde con las estrategias, políticas, lineamientos y prioridades nacionales.

CAPUFE (Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos) fue creado por Decreto Presidencial el 27 de junio de 1963, con el fin de administrar y explotar las vías de cuota y puentes federales que opera, llevando a cabo su conservación, reconstrucción y mejora. La construcción de estas vías de cuota dio inicio con la autopista México-Cuernavaca, inaugurada el 30 de noviembre de 1952. CAPUFE ejecuta obras de reconstrucción de pavimentos, reparación y refuerzo de estructuras y ampliación a

terceros carriles en zonas de ascenso pronunciado, mientras que en los puentes trabaja en su modernización estructural a base de preesfuerzo exterior. Su relación con la Secretaría es únicamente de coordinación para armonizar sus acciones y establecer congruencia de objetivos y metas, ya que cuenta con autonomía de gestión, patrimonio y régimen jurídico.

Por su parte, el Fideicomiso 195 CONACAL (Comisión Nacional de Caminos Alimentadores y Aeropistas), tiene la labor fundamental de promover, concertar y coordinar la cooperación de los sectores público, privado y social en las acciones de planeación, construcción, mantenimiento, mejoramiento y modernización de las carreteras alimentadoras, caminos rurales y aeropistas en toda la República Mexicana.

Creado el 7 de octubre de 1971, reforzó a partir de 1989, la tarea de construcción de la red de caminos que habían desarrollado antes la Comisión Nacional de Caminos, el Comité Nacional de Caminos, la Comisión Nacional de Caminos Vecinales; el Programa de Caminos Rurales de Acceso, el de Caminos de Mano de Obra, así como la Dirección General de Carreteras Alimentadoras. CONACAL empezó a canalizar recursos a la tarea de conservación en 1991. Desde 1992, el Fideicomiso se encargó de los trabajos de mantenimiento y reconstrucción de la red rural y en 1993, inició el Programa de Conservación y Reconstrucción de Caminos Rurales.

### 1.2.1. LA TENDENCIA ACTUAL EN LAS CARRETERAS MEXICANAS

De seguir mal la conservación de carreteras, el Banco Mundial estima que la tendencia apuntará hacia el deterioro progresivo de la red vial, y para explicarlo mejor ha destacado los siguientes grupos<sup>1</sup>:

Grupo 1: "Caminos destruidos"

Son caminos pavimentados que no han sido conservados adecuadamente y tienen una estructura sumamente dañada. A muchos de estos caminos, se les reparó superficialmente para remediar sus problemas más obvios y para facilitar temporalmente su uso; sin embargo, estas medidas no remediaron las fallas estructurales. Para caminos como estos, sólo cabe la reconstrucción parcial o completa a un costo equivalente a más de 50% del valor de un camino completamente nuevo.

#### Grupo 2: Caminos en "punto crítico"

Existe una cantidad de caminos que están llegando a un punto crítico en su vida útil y que necesitan obras de refuerzo de superficie para poder mantener intacta su estructura básica varios años más. Estas obras tienen un costo de entre 5 y 20% el valor de un camino nuevo. Si no se hacen los refuerzos necesarios para evitar la destrucción de su estructura básica, pasarán paulatinamente al grupo uno. A pesar del desgaste, muchos de los caminos correspondientes a este grupo tienen un aspecto bastante aceptable, por lo que la gran mayoría de los usuarios no perciben lo crítico de la situación.

#### Grupo 3: Caminos en "desgaste acelerado"

Existe una gran cantidad de caminos que deberán ser reforzados en algunos años más. Como consecuencia del insuficiente mantenimiento actual, o de las deficiencias técnicas de su construcción inicial, o una combinación de ambas, estos caminos sufren un proceso de desgaste acelerado y necesitarán que se refuerce la superficie en un tiempo más corto de lo previsto. Los caminos con estas características tienen un aspecto bueno y sólo los especialistas e ingenieros viales pueden detectar ese desgaste acelerado.

#### Grupo 4: Caminos "asegurados"

Son caminos que están incluidos en un programa de conservación adecuado, que ha sido adaptado a las variables de tránsito, clima, tipo de camino y otras. La

---

\* Caminos Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales. CEPAL, 1992. P. p. 25-29

conservación de estos caminos cuenta con un financiamiento asegurado a largo plazo; las actividades de conservación se efectúan en forma profesional y con altas normas técnicas.

### 1.3. LEGISLACIÓN DE LA CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED CARRETERA NACIONAL

De acuerdo con nuestra legislación, las vías generales de comunicación están bajo la responsabilidad del Estado. De dicha legislación derivan las funciones de planeación, programación, asignación de presupuesto, regulación y control del transporte carretero, así como la vigilancia, construcción y conservación de las carreteras federales que debe realizar la SCT; es por eso que por medio de normas, planes y programas de trabajo se posibilita el crecimiento y se definen las acciones a realizar en la búsqueda de eficiencia y eficacia en el Sector Comunicaciones y Transportes.

#### 1.3.1. NORMAS DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS<sup>5</sup>

En 1967, la Secretaría de Obras Públicas llevó a cabo un estudio que culminó con la publicación de las "Normas y Procedimientos de Conservación y Reconstrucción de Carreteras", las cuales forman parte de las "Reglas para la Formulación e Integración de las Normas y Especificaciones de la Obras Públicas".

El libro ocho abarca lo relacionado con la administración del mantenimiento de carreteras, definiéndose criterios de trabajo precisos a seguir de manera minuciosa en todo el país. Estas normas establecen que a partir de la administración del mantenimiento de carreteras hay que definir el comportamiento presente y futuro de la capacidad estructural, índice de servicio, índice de deterioro, seguridad y calidad de los materiales,

para lo cual se pretende el empleo de información que ayude a programar los trabajos de reconstrucción, rehabilitación y mantenimiento de caminos de manera adecuada determinándose un sistema formado por:

- Un inventario de carreteras (rutas, caminos, ramales, subramales, sub-subramales y secciones).
- Una calificación de las partes que integran la red, tanto longitudinalmente (sección, tramo, etc.), como de sus elementos (corona, drenaje, señalamiento, etc.).
- Una clasificación de obras a ejecutar de acuerdo a:
  - 1.- La importancia o prioridad del tramo.
  - 2.- La magnitud del daño sufrido y la urgencia de su reparación.
  - 3.- La disponibilidad de recursos para su atención.
  - 4.- La ejecución de obras de conservación de carreteras.

Sin embargo, en 1995, la antigüedad de estas normas y las grandes obras de infraestructura de transporte construidas evidenciaron la necesidad de actualizar la normatividad técnica aplicada por la SCT, por lo que, le fue encomendado al Instituto Mexicano del Transporte el desarrollo del proyecto llamado "Normas SCT de Proyecto, Construcción y Conservación de la Infraestructura del Transporte" o simplemente "Normas SCT", que toman en cuenta los avances tecnológicos, el nuevo equipo, los diferentes procedimientos de construcción y el progreso de la Secretaría en experiencia y tecnología.

Esta normatividad está comprendida en 4 grandes grupos, que constituyen los libros siguientes:

- 1.- Ordenamientos Generales.
- 2.- Proyecto.
- 3.- Construcción, y
- 4.- Conservación.

Las normatividad general, se complementa con una serie de manuales y, para el caso de la conservación, el libro 4 comprende:

- Conservación de Carreteras y Areas Operacionales de Aeropuertos.
- Conservación de Vías Férreas.
- Conservación de Obras Maritimas y Portuarias.
- Conservación de Edificios.

En relación con los manuales, están considerados 14 que son: Ecología; Terracerias; Obras de drenaje; Estructuras; Pilotes, tablestacas, cajones y cilindros de cimentación; Obras diversas; Materiales pétreos graduados; Pavimentos flexibles; Pavimentos rígidos; Sistema de Administración de Pavimentos; Procedimientos de supervisión; Señalamiento; Procesos administrativos y; Procedimientos para la integración de precios unitarios, costos horarios y ajustes de costos.

### 1.3.2. PROGRAMAS DE DESARROLLO DEL SECTOR COMUNICACIONES Y TRANSPORTES<sup>6</sup>

En cumplimiento con lo dispuesto en el artículo 26 de la Constitución de la República y por el artículo 5º de la Ley de Planeación, se creó el Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes, documento que recoge las aspiraciones y demandas de la sociedad, y precisa objetivos, estrategias y prioridades para lograr el desarrollo integral del país.

El Programa establece las estrategias sectoriales fijadas y sus objetivos se derivan de los grandes propósitos nacionales plasmados en el Plan Nacional de Desarrollo<sup>7</sup>, que norma obligatoriamente los programas institucionales y sectoriales.

<sup>6</sup> Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes. "Infraestructura Carretera", Méx., 1996, Pp. 1-21.

<sup>7</sup> Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000. Poder Ejecutivo Federal, Méx. 1996.

Después de reconocer los logros alcanzados, el programa hace un examen cuidadoso del desenvolvimiento del país, destaca problemas, rezagos e insuficiencias, precisando los retos principales y orientando la formulación de estrategias generales de acción para lo cual establece los principios y lineamientos para canalizar las tareas que mejoren la calidad y la capacidad de la estructura del transporte.

El Programa es fundamento para los diversos programas que la SCT tiene bajo su responsabilidad directa en materias de conservación, modernización y construcción de obras de infraestructura. Es también el marco de referencia para los programas institucionales de mediano plazo y los operativos anuales que habrán de formular los organismos del Sector conteniendo metas, acciones y compromisos. El documento también constituye la base para concertar acciones en cooperación con los gobiernos de los estados y con los distintos sectores sociales, incluyendo los que involucran inversiones de capital privado, definiendo la estrategia a seguir por la administración pública en cada una de las actividades del sector, a fin de lograr su funcionamiento integral y coherente en todos los ámbitos de la vida nacional.

Definido esto, hagamos un análisis del Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000 en materia de conservación y mantenimiento de carreteras. Primeramente, el Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes establece que la conservación de carreteras debe ser una prioridad para el buen desarrollo del país y es parte fundamental del cuidado del patrimonio nacional. Después de presentar un panorama global actualizado de los diversos modos de transporte y detallar los problemas y dificultades que enfrenta cada uno; establece objetivos y formula una serie de actividades a realizarse en el subsector carretero.

Las acciones durante el periodo 1995-2000 buscan mejorar la conservación de la red carretera a través de:

- Establecer e instrumentar una estrategia de tipo integral y multianual para conservar la red federal y reducir la proporción de caminos en mal estado para el año 2000.

- Sistematizar la inspección oportuna de los puentes de la red federal programando acciones que eviten su deterioro; ampliar puentes angostos y sustituir vados.
- Adecuar la programación de los recursos destinados a la conservación y reconstrucción, para maximizar su aprovechamiento.
- Diseñar e instrumentar mejores métodos de evaluación y seguimiento de conservación.
- Fomentar la descentralización de las funciones, las responsabilidades, los recursos humanos y materiales y los presupuestos que maneja la SCT para la conservación y construcción de carreteras hacia los gobiernos de los estados y municipios.
- Fomentar una mayor participación de los particulares en la conservación, a través de programas de contratación multianual y de reestructurar los sistemas de conservación.
- Diseñar e implantar nuevas fórmulas que promuevan la participación privada en la operación, conservación y prestación de servicios conexos en autopistas de cuota.
- En las autopistas operadas por CAPUFE, fortalecer los programas de conservación rutinaria, rehabilitación y conservación mayor para asegurar su buen estado.
- Introducir tecnologías de punta en los trabajos de conservación y mantenimiento de las autopistas.
- Reforzar los programas especiales para la conservación de caminos rurales con uso intensivo de mano de obra local.

### 1.3.3. PROGRAMAS ANUALES DE TRABAJO DEL SECTOR COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

De acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Vías Generales de Comunicación en su artículo 8, el Sector Comunicaciones y Transportes debe formular programas de trabajo, con un estricto apego al Presupuesto de Egresos de la Federación y con total concordancia con la estrategia, prioridades y lineamientos establecidos por el Plan Nacional de Desarrollo y el

Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes. Los Programas de Desarrollo del Sector son bastante extensos y establecen un marco normativo muy grande, por lo cual se crearon los Programas Anuales de Trabajo de la SCT, que no son otra cosa que el compromiso anual de acciones a realizar por la SCT en el sector.

Con base en los lineamientos estratégicos establecidos en el PND, y a partir del Programa de Desarrollo del Sector, se establecen tareas con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados para dicho año, para lo cual la SCT lleva a cabo una serie de acciones a través de sus entidades coordinadas. El objetivo del Programa de Trabajo es continuar avanzando en el mejoramiento de la calidad de los servicios de comunicaciones y transportes, ampliar su cobertura y aumentar su competitividad. Para el año 1996 no fue publicado dicho programa debido a la aparición del Programa de Desarrollo del Sector 1995-2000, por lo que para ejemplificar este tipo de programas, comentaremos los programas correspondientes al año 1995<sup>8</sup> y 1998<sup>9</sup>.

En 1995, el documento presentó 178 acciones por realizar. Las referentes a la conservación y mantenimiento de carreteras fueron:

- Con respecto al Programa Nacional de Conservación de Carreteras se acuerda la realización de la conservación empleando tecnología de punta y contratando la conservación multianual la red. Se fijan los alcances de los trabajos de conservación de carreteras y puentes determinando el número de kilómetros a mejorar.
- En lo referente al Programa de Carreteras Alimentadoras y Caminos Rurales se encomendaron los trabajos a CONACAL. También se indicaron los kilómetros a conservar. Por medio del Programa de Crédito Externo se buscó canalizar recursos para la conservación de carreteras.
- Se determinó que CAPUFE atendería la conservación de carreteras a su cargo.

Para 1998, el Programa constó de 130 cuartillas, a través de las cuales la SCT sentó las bases para que durante los tres primeros años del sexenio se acelere la

<sup>8</sup> Programa de Trabajo para 1995. Sector Comunicaciones y Transportes. pp. 6-9

modernización del sector; mientras que durante la segunda mitad, las acciones se enfocarán a la construcción de más infraestructura, a consolidar el marco regulatorio y a intensificar la promoción de la competencia y la inversión privada.

Las labores destinadas a la conservación y mantenimiento son:

- Se destinarán 679.1 millones de pesos a la conservación rutinaria de casi 42 mil km de la red carretera federal.
- Se prevén acciones para mejorar las condiciones físicas de la infraestructura intensificando las campañas de carácter preventivo.
- La conservación atenderá de manera rutinaria 42 mil km de la red federal ; de forma periódica 6,574 km ; reconstruirá 1,211 km y 175 puentes ; y se eliminarán 238 puntos en los que se registraron más de 3 mil accidentes al año.
- Se invertirán 1,646 millones de pesos para atender 57,118 km de caminos rurales.

#### 1.3.4. PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS FEDERALES 1997

Este programa contempla la realización de 605 obras, donde la Dirección General de Conservación de Carreteras distribuye el presupuesto asignado por la SCT en diversos programas que son:

• Programa de Reconstrucción de Tramos	40%
• Programa de Reconstrucción de Puentes	5%
• Programa de Conservación Periódica	18%
• Programa de Conservación Rutinaria	21%
• Programa de Modernización y Construcción	2%
• Programa de Atención a Puntos Conflictivos	6%

<sup>9</sup> Programa de Trabajo para 1998. Sector Comunicaciones y Transportes. Periódico el Financiero 3 y 5 de febrero de 1998

- Compra de Asfaltos, Aditivos y Emulsiones 3%
- Estudios y Proyectos de Ingeniería y Supervisión 3%
- Capacitación, Adquisiciones y Gastos de Administración 2%

Las acciones a desarrollar fueron:

- Disminuir el gasto en reconstrucción al prever el refuerzo del gasto presupuestal en los programas de conservación.
- Mejorar el esquema para conservar las carreteras por medio de contrataciones multianuales para atacar a fondo y con efectividad las necesidades de la red federal.
- Desconcentrar las funciones de la Dirección para permitir que las labores sean más ágiles y oportunas al ser realizadas directamente por los Centros SCT.
- Descentralización de la conservación de las carreteras federales mediante mecanismos concertados con los gobiernos de los estados, ya que obedece a prioridades de cada entidad federativa y no a prioridades nacionales.
- El papel de la DGCC cambia de coordinadora de la ejecución a rectoría; esto es, normar, inspeccionar y apoyar.

### 1.3.5. . OTROS PROGRAMAS

CAPUFE, elaboró el Programa Estratégico CAPUFE 1995-2000, por medio del cual formula y establece las bases para el desarrollo de una estrategia de modernización<sup>10</sup> a adoptar en la búsqueda de una mejora constante en sus niveles de productividad que posibiliten un mejoramiento integral en la prestación de los servicios carreteros en términos de precio, calidad y una imagen, diversificando de mayor impacto y cobertura, que sea reconocida por el usuario y en lo general por toda la sociedad.

<sup>10</sup> Federalismo y Desarrollo Núm. 55. "Retos y Perspectivas de CAPUFE". Méx. 1996. Pp. 48-57

---

## CAPITULO 2

### CONSIDERACIONES BASICAS PARA LA CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

---

El deterioro causado por los agentes naturales es común a todas las obras de ingeniería y es el resultado de un proceso mediante el cual la naturaleza trata de revertir el procedimiento artificial de elaboración de los materiales de construcción y llevarlos nuevamente a su estado original. De esta manera el concreto, piedra artificial formada por agregados pétreos unidos con cemento y agua, por efecto de los cambios de temperatura, el intemperismo y otros agentes, se agrieta, se desconcha y tiende a convertirse otra vez en arena, grava y cemento separados. De la misma forma, el acero, formado por hierro con un pequeño agregado de carbono, es un material artificial inexistente en la naturaleza que, por efecto de la oxidación tiende a convertirse en un material más estable.

Examinando con mayor atención las causas que provocan los daños en las carreteras, se desprende que son ineludibles. La acción agresiva de los agentes ambientales forma parte del marco de referencia en que la ingeniería debe desenvolverse y, si tomamos en cuenta que la infraestructura debe estar al servicio del transporte, la tendencia creciente del peso y número de los vehículos debe considerarse también componente obligado del citado marco. Por esta razón, las entidades responsables de la operación de las carreteras, deben considerar la conservación como parte obligada de su quehacer a fin de mantener los niveles adecuados de seguridad y de servicio de las estructuras. Para establecer cuáles son las reparaciones críticas y qué debe hacerse para llevarlas a cabo, no debemos olvidar que las fallas pueden ser el efecto de otros problemas que no son evidentes a simple vista. Es posible que sean causadas por un material defectuoso, por excesiva humedad, o puedan ser originados parcial o totalmente por vehículos pesados.

Las fallas pueden ser corregidas temporalmente dando tratamiento al efecto del problema, pero la cura permanente está en corregir la causa del mismo.

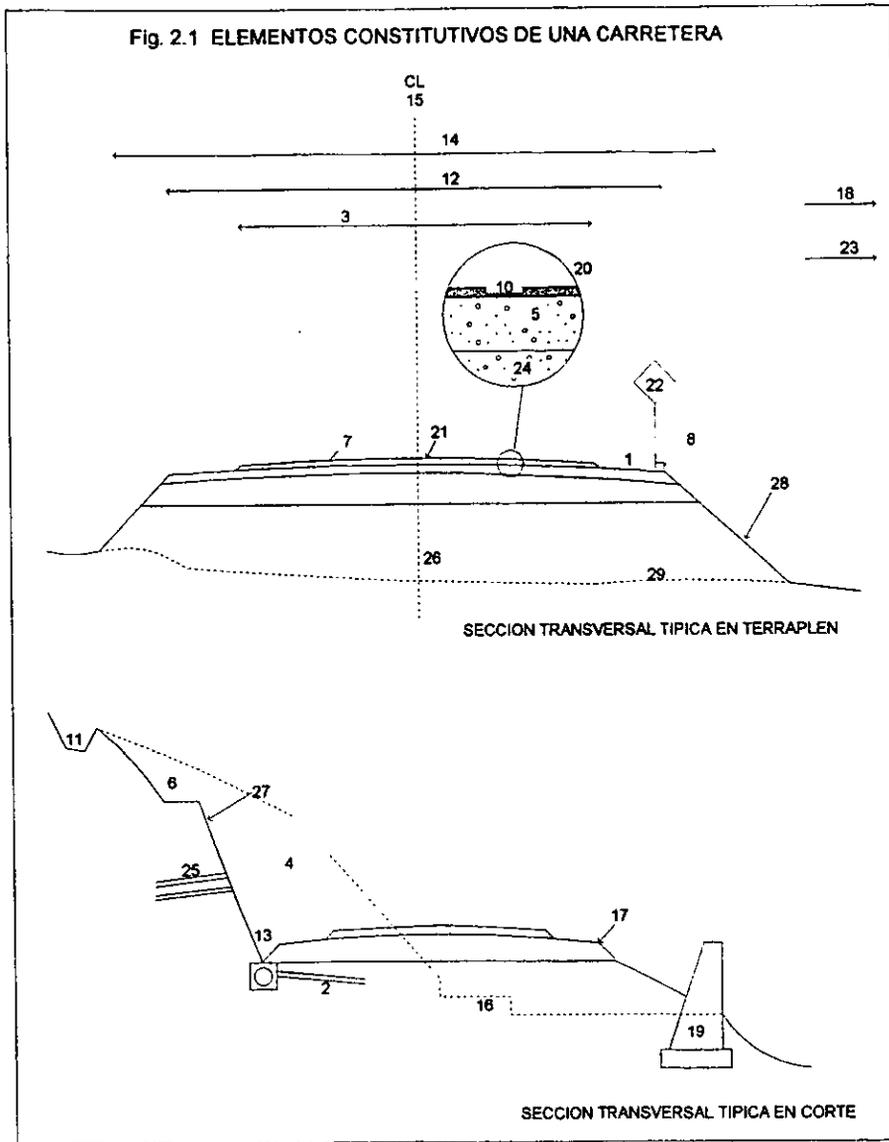
## 2.1. ELEMENTOS DE UNA CARRETERA

Una mejor comprensión de cómo funcionan las carreteras, ayudará a establecer la naturaleza y urgencia de los trabajos a efectuar en los diversos elementos que las componen.

Elementos de una carretera son, entre otros:

1. **Acotamientos.** Faja lateral del camino que indirectamente aumenta su capacidad. Auxiliar valioso en casos de emergencia.
2. **Alcantarillas.** Estructuras que permiten el paso del agua debajo de una obra vial.
3. **Ancho de calzada.** Parte de la corona destinada al tránsito de vehículos pudiendo estar constituida por uno o más carriles.
4. **Area de corte.** Parte del terreno natural que se extrae para alojar la carretera.
5. **Base.** Proporciona un elemento resistente que transmite a la sub-base y a la sub-rasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.
6. **Berma.** Obra que se construye con el fin de dar mayor estabilidad a los taludes y que se puede definir como un bordo artificial de tierra.
7. **Bombeo.** Pendiente transversal que se le da a la superficie de rodamiento para evitar la acumulación de agua sobre el camino.
8. **Bordillo.** Elemento construido sobre los acotamientos junto a los hombros que encauza el agua que escurre por la corona evitando erosiones en el talud del terraplén.
9. **Capa sub-rasante.** Forción subyacente a la subcorona, tanto en corte como en terraplén. Su espesor es comúnmente de 20 cm y está formada por suelos seleccionados para soportar las cargas transmitidas por el pavimento.

10. **Carpeta.** Capa resistente que proporciona una superficie de rodamiento adecuada que resiste los efectos abrasivos del tráfico vehicular.
11. **Contracuneta.** Zanjas de sección trapezoidal que se excavan arriba de la línea de los cerros de un corte para captar los escurrimientos del terreno natural.
12. **Corona.** Superficie del camino terminado comprendida entre los hombros del mismo.
13. **Cunetas.** Zanjas que se construyen a uno o ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes de corte.
14. **Derecho de vía.** Superficie de terreno requerida para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y el uso adecuado de una vía de dominio público; sus dimensiones son fijadas por la autoridad.
15. **Eje del camino.** Línea imaginaria que divide el camino en toda su longitud.
16. **Escalones de liga.** Se forman en el área de desplante de un terraplén, cuando las pendientes transversales del terreno son menores que la inclinación del talud a fin de obtener una liga adecuada entre ellos y evitar que el terraplén se deslice.
17. **Hombros.** Aristas superiores de los taludes del terraplén y los interiores de las cunetas, limitando el ancho de corona.
18. **Instalaciones marginales.** Obras que se realizan fuera del derecho de vía para dar servicio a los usuarios o habitantes de la comunidad y que influyen en la operación de la carretera.
19. **Muros de contención.** Cuando la línea de cerros del terraplén no llega al terreno natural, es necesario construir muros de retención que brinden seguridad a la carretera y cuya ubicación y altura resultan de un estudio económico.
20. **Pavimento.** Conjunto de capas materiales compactadas que permiten transmitir adecuadamente las cargas de los vehículos a las capas inferiores y al terreno natural. Lo integran la sub-base, la base y la carpeta.



- 21. Rasante. Línea imaginaria sobre la superficie de rodamiento que corre a lo largo del eje de la carretera.
- 22. Señalamiento. Elementos que tienen por objeto prevenir a los usuarios de la existencia de peligros o prohibiciones que limitan sus movimientos sobre el camino proporcionándoles la información necesaria que facilite su viaje.

23. **Servicios y accesos.** Obras e instalaciones que se realizan fuera del derecho de vía con la finalidad de ayudar al usuario a tener un mejor viaje.
24. **Sub-base.** Capa de materiales compactados que permite reducir el costo del pavimento cuando es de espesor considerable.
25. **Subdrenes.** Elementos del drenaje que desalojan las aguas subterráneas a través de los taludes de corte abajo de las cunetas.
26. **Subrasante.** Línea imaginaria que marca el eje del camino a la altura de la capa subrasante.
27. **Talud de corte.** Superficie inclinada respecto a la horizontal que resulta como consecuencia de extraer el material natural en una obra de ingeniería.
28. **Talud del terraplén.** Inclinación del paramento de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente.
29. **Terracerías del terraplén.** Conjunto de diferentes capas de material compactado que proporcionan un soporte adecuado a las capas superiores, sirviendo de cimentación a las mismas.

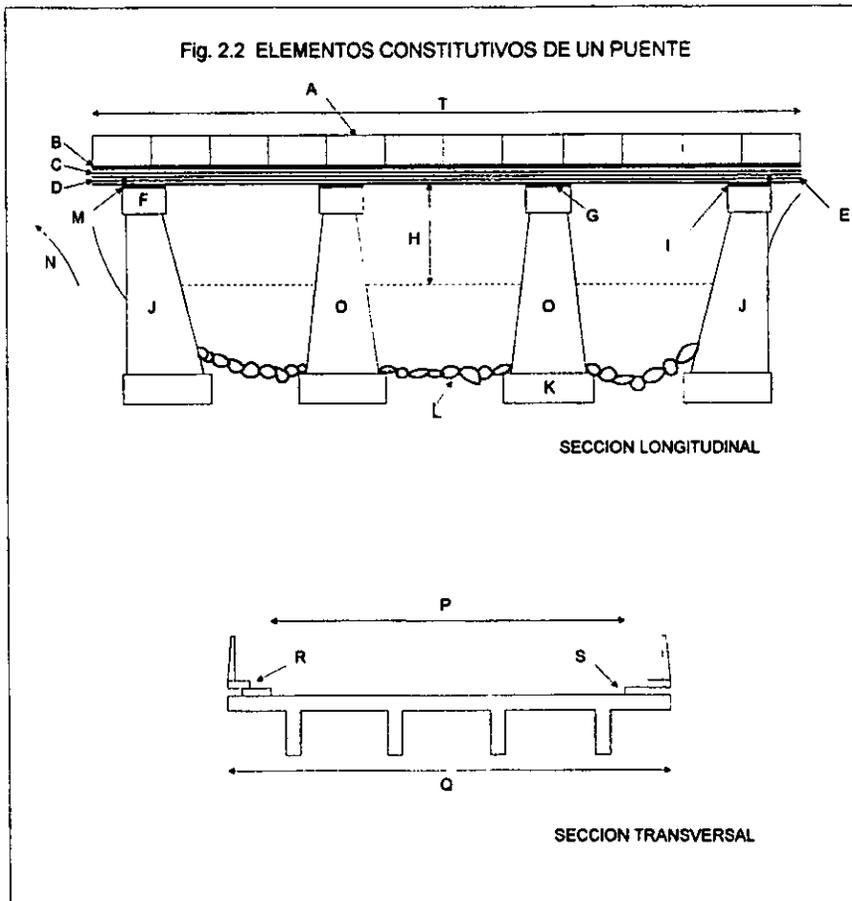
## 2.2. ELEMENTOS DE UN PUENTE

Los puentes son aquellas estructuras de una vía de comunicación que sirven para salvar un curso de agua, una depresión del terreno u otra vía de comunicación y se componen de cuatro diferentes partes que son:

- a) **Subestructura:** Son los apoyos en sí. Se encarga de transmitir las cargas a la infraestructura. Cada apoyo se compone de corona, cuerpo y cimiento y su función es darle soporte al sistema primario.
- b) **Superestructura:** Es la parte destinada a transmitir las cargas a los apoyos. Comprende el tablero y el sistema primario. El tablero es la parte del puente que recibe

directamente las cargas debidas al tránsito, así como también el peso del pavimento, las banquetas, las guarniciones, el barandal y otras instalaciones. El sistema primario está formado por los elementos que soportan directamente al tablero, el cual esta generalmente formado por sistemas de traveses, armaduras, arcos o cables.

- c) Infraestructura: Lleva las cargas al suelo de cimentación.
- d) Elementos de protección: Son los parapetos, terraplenes de acceso y zampeados.



Elementos de un puente son:

- A. Parapetos. Son barreras que se colocan a todo lo largo de los bordes extremos del sistema de piso y proporcionan protección para el tránsito y los peatones.

- B. **Pavimento.** Proporciona el piso para el tránsito de los vehículos y se coloca en la cara superior de la losa estructural. Generalmente es asfáltico.
- C. **Revestimiento definitivo.**
- D. **Subbase.**
- E. **Vigüeta I.** Elemento estructural que descansa sobre los apoyos y les transmite verticalmente su propio peso y el de la carga.
- F. **Losa de concreto.**
- G. **Placa de apoyo.**
- H. **Espacio libre.** Distancia libre vertical entre la superficie de rodamiento y una estructura superior, medido en el punto que de la menor dimensión.
- I. **Pernos de anclaje.** Elementos que unen a la subestructura con la infraestructura.
- J. **Estribos.** Partes de la subestructura de un puente, situados en los extremos de este, cuya finalidad es transmitir las cargas al terreno y soportar los empujes del material que contienen. Son una combinación de pila y muro de contención.
- K. **Cimentación.** Proporciona el apoyo adecuado para el puente y puede estar constituida por zapatas, pilas, pilotes, cilindros, etc.
- L. **Zampeados.** No son propiamente mamposterías, se forman con piedras de 30 a 40 cm de tamaño unidas con morteros de bajas proporciones. Evita la socavación y generalmente lleva un dentellón hacia el lado de aguas arriba.
- M. **Diafragma.** Contiene a la terracería y sirve de contraventeo.
- N. **Terraplenes de acceso.** Macizo de tierra que se levanta para hacer una plataforma que sirva de asiento a la estructura de un puente.
- O. **Pila.** Parte de la subestructura que recibe la acción de dos tramos de la superestructura y tiene como función transmitir las cargas al terreno y repartirlas en tal forma que no excedan la capacidad de carga admisible al terreno.
- P. **Ancho de la superficie de rodamiento.** Distancia mínima libre horizontal que la estructura permite entre las guarniciones del puente.
- Q. **Ancho superestructura.**

- R. **Banquetas.** Porción de la vía destinada al tránsito de peatones.
- S. **Guarnición.** Escalones que evitan la salida de los vehículos fuera de la estructura.
- T. **Longitud del puente.** Longitud en metros de la superficie de rodamiento soportada por la estructura del puente.

### 2.3. FACTORES A CONSIDERAR PARA LA CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

Existen varios factores importantes a considerar en la conservación y el mantenimiento de las carreteras:

- a) El general, que toma en cuenta factores como el tipo de camino, su importancia y la rentabilidad del mismo; es decir, los beneficios aportados al país.
- b) El particular, relacionado directamente con el tipo de camino, su alineamiento vertical y horizontal, el tipo de material sobre el que se ha construido y con el que se construyó, los procedimientos de construcción usados, el tipo de lugar, la climatología, y
- c) El estado de la superficie de rodamiento y el tipo y número de vehículos que transitan sobre ella; es decir, el deterioro de la carretera a causa del tráfico.

Otros factores a considerar también son:

- La importancia social y/o económica de los puntos que comunica la carretera.
- El estado actual de la sección estructural de la carretera, reflejada en la condición de la superficie de rodamiento y que se mide con una revisión que va desde la superficie de rodamiento hasta el terreno natural, incluyendo obras de drenaje y subdrenaje.
- La cantidad y el tipo de vehículos obtenido por aforos representativos y confiables.
- El medio ambiente; es decir, la topografía, el clima, la geografía, la geología, etc.

## 2.4. FALLAS EN LOS PAVIMENTOS Y PUENTES CARRETEROS

Se requiere que al revisar o analizar una estructura carretera, se detecten las fallas que existan o puedan existir y una vez localizadas, se efectúen estudios para conocer sus alcances o las causas que las provocaron, a fin de ejecutar las acciones correspondientes. Una falla se define como el resultado apreciable de la intervención de varios factores sobre la estructura conduciendo a una reducción de su capacidad de servicio. Se pueden originar por varias razones como son mal diseño, mala construcción, empleo de materiales inadecuados y específicamente por consolidación o por esfuerzos cortantes en las terracerías, subrasante o alguna capa del pavimento. Una falla puede ser de dos tipos:

- **Funcional:** Se puede observar como un defecto en la superficie del pavimento. Al circular sobre ella hay incomodidades, pero no impide la circulación de los vehículos. En este caso es necesario tomar las medidas pertinentes para evitar un mal mayor.
- **Estructural:** Son fallas que pueden presentarse sin que por algún tiempo nos demos cuenta de su existencia; pero que, inevitablemente provocan graves daños, reduciendo la capacidad de carga y propiciando deformaciones o destrucción generalizada. La falla inicial puede extenderse hasta destruir por completo la estructura si no se toman las medidas convenientes.

### 2.4.1. FALLAS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES

#### 2.4.1.1. DESPRENDIMIENTOS:

- a) **Baches:** Son oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial de los agregados originada por el paso de los vehículos. Se deben a falta de resistencia de la carpeta, espesor deficiente, drenaje deficiente, desintegración causada por tránsito o puntos débiles en la superficie.

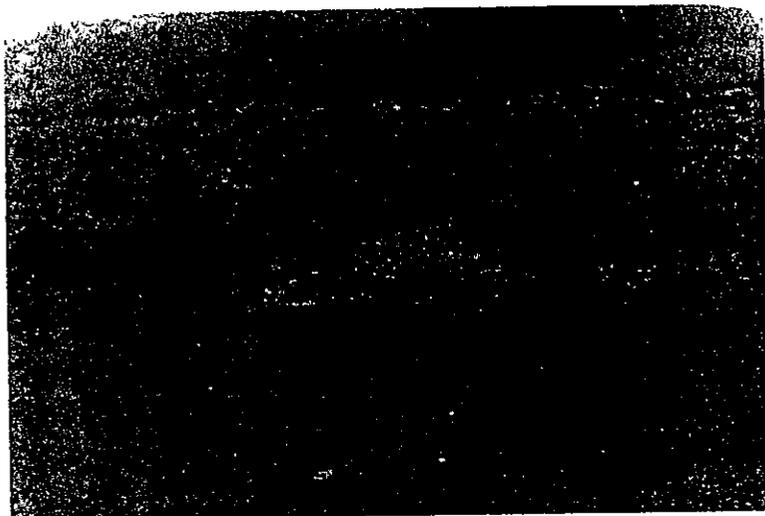


Foto 1. ASPECTO DE UN BACHE

- b) Identación: Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo desgaste en la superficie. La causan las huellas de tractores o equipo pesado de construcción, ponchadura de llantas, o accidentes de tránsito.
- c) Levantamiento por congelación: Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de las capas del pavimento. La causan las heladas, los ciclos de congelamiento y descongelamiento o la expansión de las capas inferiores.
- d) Desprendimiento de agregados. Pequeñas depresiones en forma de cráter, dejando huecos en la superficie de rodamiento. El desprendimiento de agregados se debe a: falta de afinidad con el asfalto, escasez de asfalto o expansión del agregado grueso.
- e) Desintegración : Deterioro de la carpeta en fragmentos con pérdida progresiva de los materiales que la componen. Se origina por fin de la vida útil de la carpeta; tránsito; contaminación, envejecimiento y fatiga o desintegración de los agregados.
- f) Erosión: Agrietamiento transversal en los acotamientos formando oquedades que destruyen los taludes del terraplén y desintegran la carpeta reduciendo su ancho. Es causada por el viento, la lluvia, falta de protección de los taludes, mala compactación, escasez de drenaje superficial, los ciclos de hielo y deshielo, o el crecimiento de hierba.



Foto 2. EROSION

- g) Pulido de superficie: Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento produciendo áreas lisas. Es causado por tránsito intenso, o agregados no apropiados.

#### 2.4.1.2. AGRIETAMIENTOS:

- a) Grietas de reflexión: Grietas longitudinales y transversales que reflejan juntas de un pavimento al ser reencarpetado. Causas probables son movimiento del pavimento subyacente, liga inadecuada entre capas, o contracciones de capa subyacente.
- b) Agrietamiento piel de cocodrilo: Fisuras en la superficie de la carpeta formando polígonos de hasta 20 cm. Causas que lo originan son soporte inadecuado de la base.

debilidad de la estructura del pavimento, sollicitaciones de tránsito, fatiga, envejecimiento o escasez de espesor de la carpeta.

- c) Agrietamiento parabólico: Grietas con forma de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito. Se originan por carpeta débil, zonas de frenaje de las ruedas o efecto en el arranque de las ruedas.

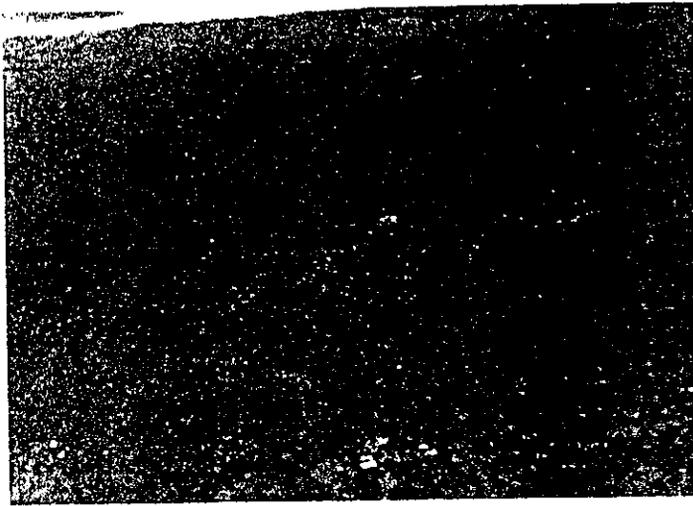


Foto 3. AGRIETAMIENTO DE LA CARPETA ASFALTICA

- d) Grieta errática o en zigzag: Agrietamiento en desorden de la carpeta siguiendo patrones longitudinales en forma errática o en zigzag. Causas probables son acción del hielo, cambios de temperatura, base defectuosa, o terraplenes con taludes inestables.
- e) Grietas finas: Pequeñas fisuras superficiales muy próximas que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta. Son causadas por envejecimiento, oxidación, o exceso de finos en carpeta.
- f) Grieta transversal: Agrietamiento de la carpeta siguiendo un patrón perpendicular al eje del camino. Se origina por acción del tránsito, o espesor insuficiente de la carpeta.
- g) Agrietamiento tipo mapa: Forma de desintegración de la superficie de rodamiento con patrón semejante a un mapa, con polígonos mayores a 20 cm. Es causado por mala calidad en alguna capa estructural, tránsito, fatiga, o espesor escaso de la carpeta.

- h) Grieta transversal: Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino. Las causas que los originan son la acción del tránsito pesado, o un espesor insuficiente de la carpeta asfáltica.
- i) Agrietamiento longitudinal: Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino. Se genera por asentamiento de capas por tránsito, espesor insuficiente, contracción de materiales de la capa de rodamiento, asentamientos de capas interiores, o drenaje insuficiente.

#### 2.4.1.3. DEFORMACIONES:

- a) Corrugaciones. Ondulaciones de la carpeta asfáltica en sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternados, con una separación menor a 60 cm entre ellas. Se generan por unión deficiente entre mezclas asfálticas y/o base, tránsito intenso, bases de mala calidad, o mala calidad de los materiales.



Foto 4. CORRUGACIONES EN UN PAVIMENTO ASFALTICO

- b) Roderas o canalizaciones: Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas de los vehículos. Las causas probables son baja estabilidad de la carpeta, carpeta mal compactada, o consolidación de una o varias de las capas subyacentes.



Foto 5. RODERAS

- c) Crestas longitudinales masivas: Montículos o crestas en sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 crestas a lo largo de ciertos tramos. Causas probables son liga inadecuada entre capas asfálticas, pésima estabilidad de la mezcla asfáltica, ligante de mala calidad, flujo de la mezcla por acción de derrame de diesel o tránsito intenso muy canalizado.
- d) Protuberancias: Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones. Son originadas por

acción del tránsito intenso, estabilidad inadecuada, liga deficiente entre capas, compactación inadecuada, o acción de heladas.

- e) Desplazamiento transversal de la sección del pavimento : Protuberancias prolongadas de magnitudes considerables en la dirección del tránsito, al borde de la carretera causando destrucción a corto plazo. Las causas son asentamientos longitudinales, sobrecargas, nula estabilidad de la carpeta, o nulo soporte lateral o confinamiento.



Foto 6. DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DEL PAVIMENTO

- f) Burbuja: Ampolla de tamaño variable en la superficie de rodamiento, pudiendo ser originada por presiones de vapor o aire en zonas de la capa de rodamiento, debilidad en espesor o consistencia, o liberación de cal en bases estabilizadas.
- g) Asentamientos. Areas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño en el sentido transversal o longitudinal al eje del

camino. Se originan por el peso propio de la sección del pavimento, cargas excesivas o superiores a las de diseño, drenaje deficiente o compactación inadecuada.

#### 2.4.1.4. DEFECTOS VARIOS

- a) Llorado de asfalto: Liberación del asfalto hacia la superficie de la carpeta, formando una capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas. Se origina por exceso de asfalto, excesiva compactación de mezclas ricas, o sobredosificación de riego de liga.
- b) Afloramiento de humedad: Aparición de zonas húmedas en la superficie con o sin encharcamiento. Las causas probables son deficiencia de drenaje o de subdrenaje, zonas mal compactadas, o bases saturadas.
- c) Marcado de huella: Impresión en relieve en la superficie de rodamiento. Se origina por superficies de rodamiento débiles o suaves, exceso en el contenido de asfalto, o estacionamiento prolongado de vehículos pesados.
- d) Contaminación de agregados: Inclusión de materiales diferentes a los agregados especificados y propiedades mecánicas. Es causado por la dosificación inapropiada, un control de calidad pobre, o la contaminación de los bancos de agregados.
- e) Expulsión de finos: Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas. Se origina por el exceso de finos en capas de la sección del pavimento, o la acción de tránsito intenso.
- f) Crecimiento de hierba. Jardín que crece entre la carpeta asfáltica y las cunetas. Se debe a drenaje deficiente, conservación inadecuada, o falta de sellado de grietas.
- g) Borde longitudinal o elevación diferencial de la carpeta entre carriles. Cambio brusco del perfil transversal de la superficie de rodamiento entre tendido de capas. Se debe a la deficiencia en procedimientos constructivos, deficiencia de control de calidad, o asentamientos longitudinales.

Tabla 2.1 PRINCIPALES FALLAS EN PAVIMENTOS

TIPOS DE FALLA	EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	EN PAVIMENTOS RIGIDOS
Desprendimientos	Baches Identación Levantamiento por congelación Desprendimiento de agregados Erosiones Pulido de superficie Desintegración	Despostillamientos de las losas en las juntas Descascaramientos o desintegraciones superficiales del concreto Rompiamiento de la losa en fragmentos Desintegraciones del concreto
Agrietamientos	Agrietamiento longitudinal Grieta transversal Agrietamiento piel de cocodrilo Grietas finas /Grietas por corrimientos de la carpeta Agrietamiento parabólico Agrietamiento tipo mapa Grieta errática o en zigzag Grietas de reflexión	Grietas longitudinales Grietas transversales Grietas de esquina o diagonales Grietas por restricción
Deformaciones	Burbuja Roderas o canalizaciones Corrugaciones  Protuberancias  Asentamientos Crestas longitudinales masivas Desplazamiento transversal de la sección del pavimento	Asentamientos Ondulaciones o alabeos de la losa Dislocamientos de las losas (desniveles) Movimientos de fragmentos de las losas por ruptura de las mismas
Deterioros varios	Llorado de asfalto  Afloramiento de humedad  Marcado de huella Contaminación de agregados Expulsión de finos Crecimiento de hierba Obstrucciones de drenaje Azolve en drenaje Borde longitudinal o elevación diferencial de la carpeta entre carriles	Juntas con exceso de sellante o con defectos de acabado Acción de bombeo en las juntas o grietas de las losas Superficies lisas o derrapantes

h) Obstrucción de alcantarillas o drenaje. Hierba silvestre que invade y crece obstruyendo el flujo de agua y el señalamiento. Es frecuente el desprendimiento de rocas sobre la carretera y acotamientos, impidiendo el flujo del agua, repercutiendo en el comportamiento del pavimento. La causa es la conservación inadecuada.

## 2.4.2. FALLAS EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

### 2.4.2.1. DESPRENDIMIENTOS

- a) Desportillamiento de las losas en las juntas. Se deben a la expansión excesiva del concreto y en algunas ocasiones provocan el levantamiento de la losa.
- b) Descascaramiento superficial del concreto. Se debe a la mala fabricación de la mezcla y defectos en el acabado final del concreto.
- c) Deterioros por actividades químicas. Son causadas por el sílice y otras sustancias contenidas en los materiales pétreos que reaccionan con los álcalis del cemento.

### 2.4.2.2. AGRIETAMIENTOS

- a) Losa dividida o fracturada. La losa es dividida en 4 o más pedazos, debido a sobrecarga y soporte inadecuados.

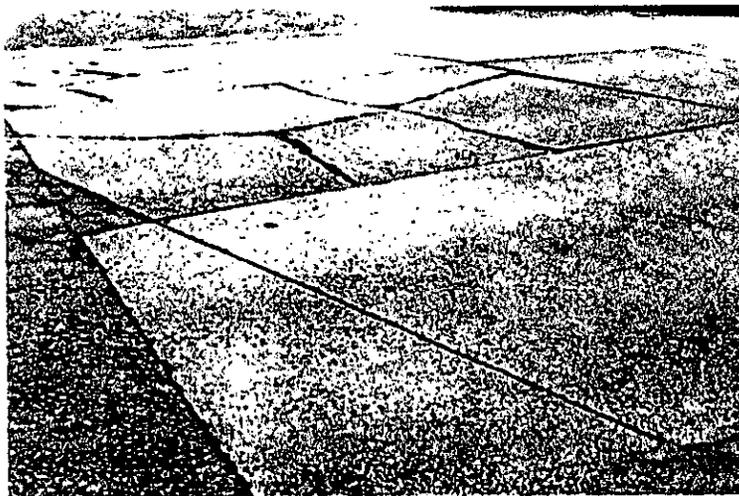


Foto 7. LOSAS FRACTURADAS

- b) Quebrantamiento, cuarteo en mapa y en escamas. Red de rajaduras delgadas a través de la superficie superior del pavimento causada por acabado en exceso, acción de la sal y construcción deficiente.
- c) Fractura de esquina. Fisura que cubre menos de la mitad de la losa y que intercepta la junta extendiéndose verticalmente a través de la losa. Es causada generalmente por la pérdida de soporte y las cargas reiterativas.
- d) Grietas diagonales. Se deben a los efectos del tránsito pesado en las losas que no están bien apoyadas en la base, también pueden ser por fallas estructurales del concreto por mal diseño o por efectos de mala construcción.
- e) Grietas transversales. Se presentan debido a la falta de juntas transversales o a contracciones del concreto al colocar volúmenes elevados de concreto, también se deben a sobrecargas en el pavimento y por falta de apoyo de la losa sobre la base.



Foto 8. GRIETAS TRANSVERSALES

- f) Grietas longitudinales. Contracciones del concreto que surgen con losas demasiado anchas, por falta de juntas longitudinales o por materiales expansivos en la sub-base.



Foto 9. GRIETAS LONGITUDINALES

- g) Punzadas. Quebradura localizada en pedazos de la losa, causada por carga pesada, espesor inadecuado, pérdida de sostén o deficiencia del concreto.
- h) Fisuras de contracción. Fisuras que no se extienden de un extremo a otro ni completamente a través de la losa. Son debidas principalmente a un curado deficiente.

#### 2.4.2.3. DEFORMACIONES:

- a) Alabeo de losas. Se debe al efecto de cambio de temperatura, del peso mismo de las losas y a las restricciones al movimiento de las losa en la superficie de apoyo.

- b) Asentamientos o dislocamientos de las losas. Falta de apoyo de las losas de concreto ya sea por mala calidad de la sub-base, base, baja compactación, terracerías inestables, inadecuada transferencia de esfuerzos en las juntas o por socavación de la base.
- c) Losas fracturadas y movimiento de los fragmentos. La losa se divide en varios pedazos debido a sobrecarga y soporte inadecuado.

#### 2.4.2.4. DETERIOROS VARIOS

- a) Superficie lisa o derrapante. Se debe principalmente a defectos de acabado y a los agregados que se pulen fácilmente.
- b) Juntas con exceso de material sellante o expulsión del mismo. Surgen por la dosificación incorrecta del material de sello y a la expansión excesiva de las losas.
- c) Agregado pulido. Agregado liso que causa una reducción considerable en la adhesión de neumáticos al pavimento, debido al desgaste causado por el tránsito.
- d) Bombeo. Expulsión del material debajo de la losa, causado por la deflexión de la losa, que actúa en el agua localizada debajo del pavimento.

#### 2.4.3. FALLAS EN PUENTES CARRETEROS

- a) Daños en dispositivos de apoyo. Los elementos de apoyo resultan puntos críticos ya que a través de ellos se transmiten cargas a la subestructura.
- b) Flechas, desplomes y hundimientos. Pueden presentarse desniveles verticales por efecto de las cargas y por el acomodo de los suelos de la cimentación del puente.
- c) Corrosión. La corrosión provoca falta de movilidad en los elementos del puente y la desintegración de su acero.
- d) Daño por impacto vehicular. Golpes que reducen la capacidad estructural del puente.

e) Socavación. Ocurre cuando los pilotes quedan expuestos, pudiendo presentarse pérdida de sección a través del descostramiento y desconchamiento.

**TABLA 2.2. FALLAS COMUNES EN PUENTES CARRETEROS**

TIPO DE FALLA	CAUSA POSIBLE
Deflexiones y movimientos indeseables	Deficiencias estructurales debidas a sobrecarga, subdiseño, condiciones del suelo, contracción plástica, etc.
Agrietamiento	Grietas estructurales causadas por sobrecarga y/o subdiseño Grietas por flexión o tensión Grietas de cortante o tensión diagonal Grietas de rajadura en zonas de anclaje de estructuras y en apoyos. Grietas por contracción y esfuerzos térmicos Grietas por temperatura Grietas por movimientos diferenciales Grietas no estructurales por curado insuficiente Grietas por contracción o asentamiento plástico Grietas no estructurales causadas por pobre ejecución de la obra Trabajos pobres de encofrado, juntas de construcción inapropiadas, cargas excesivas de construcción. Corrosión del refuerzo Ingreso de cloruro Carbonatación Pobre sistema de drenaje Corrosión del acero postensado
Astillamiento, aplastamiento, posible corrosión de las barras	Impacto vehicular Movimientos restringidos
Escamamiento	Medio ambiente Ataque sulfatos Erosión climática
Alabeo, plegadura o distorsión	Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño, pobre ejecución de obra y/o impacto vehicular
Corrosión severa y posible herrumbe	Medio ambiente
Herrumbe o astillamiento de la pintura	Medio ambiente
Herrumbe en pernos y juntas	Medio ambiente, pérdida de tuercas en pernos
Grietas a lo largo de las juntas	Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño y/o pobre ejecución de la obra
Filtración	Sellos gastados
Junta suelta, rota y/o gastada	Daño estructural debido a sobrecarga, subdiseño y/o fatiga
Indeseable posición excéntrica o girada de los apoyos	Daño estructural debido a subdiseño y/o pobre ejecución de obra
Colocación equivocada de los apoyos	Pobre ejecución de la obra
Apoyos gastados	Daño estructural debido a sobrecarga y/o fatiga

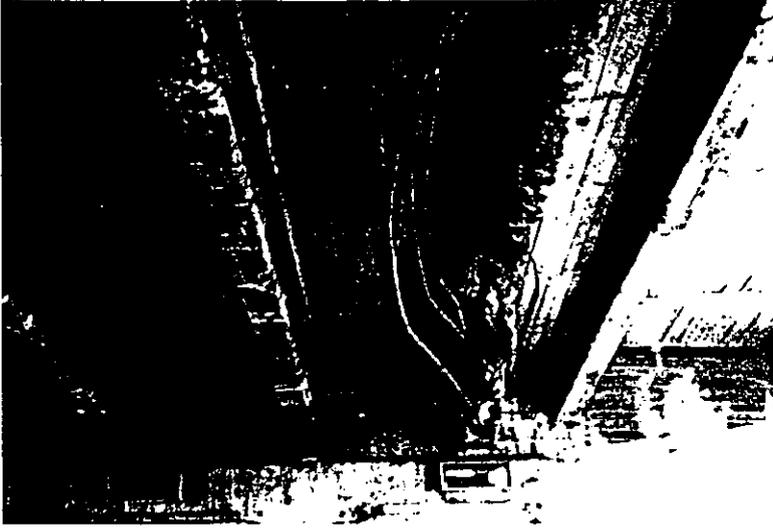


Foto 10. TRABE FUERA DE SERVICIO

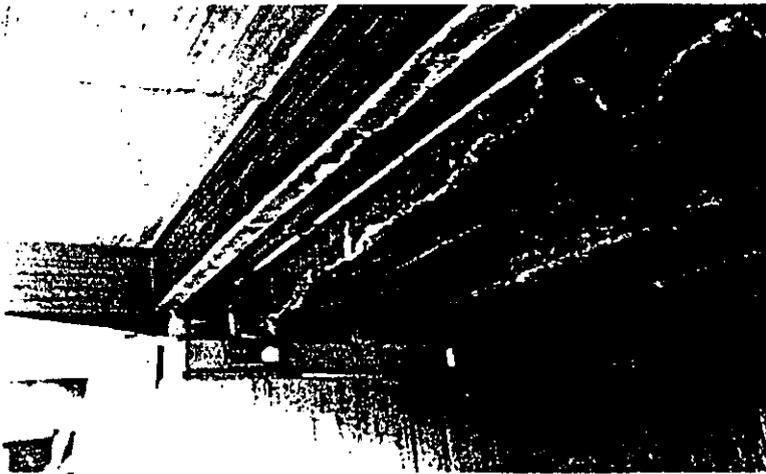


Foto. 11. DAÑO EN TRABE DEBIDO AL IMPACTO DE UN CAMIÓN

- f) Obstrucciones en el cauce del río. Pueden generar erosión, causando el debilitamiento de las pilas o cimientos, dando como resultado un daño estructural serio.
- g) Estado del drenaje. Obstrucciones en los tubos de descarga de diámetro pequeño, canalones largos, desagües horizontales con pendientes inadecuadas y cambios de dirección bruscos. En las rejillas de acero abiertas, pueden acumularse materias extrañas y elementos corrosivos sobre miembros estructurales.

## 2.5. EFICIENCIA Y EFICACIA EN EL SERVICIO DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

La eficiencia y la eficacia son dos conceptos que suelen confundirse. Pero se trata de dos conceptos completamente diferentes, por lo que resulta adecuado aclarar su significado.

Eficiencia es el buen uso de los recursos, es decir, que se obtenga de ellos el mayor aprovechamiento. En el caso de las carreteras, la eficiencia significa gastar lo menos posible para resolver los problemas de las carreteras.

Eficacia es el logro de metas y objetivos. Esto implica alcanzar los propósitos de una institución. En el caso de las carreteras, eficacia significa tener la red en buen estado y ser capaz de rehabilitar las carreteras que se han deteriorado.

Para lograr un servicio de conservación eficaz y oportuno, hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- a) Estudiar detalladamente las particularidades de construcción de las carreteras, así como las reconstrucciones llevadas a cabo, y
- b) Reconocer cuidadosamente las carreteras para detectar fallas. Una falla de apariencia insignificante puede con el tiempo, originar la destrucción de la carretera.

Hoy, el desafío es mantener a las carreteras en buen estado, con un gasto racionalizado a través de una buena gestión y empleando tecnología adecuada.

Recordemos que el sistema de transporte por carretera consta de dos elementos principales: el VEHICULO y el CAMINO. Como la dependencia entre ambos es recíproca, ninguno de ellos tiene sentido sin el otro.

Para que el sistema funcione de manera óptima, cada elemento debe tender a reducir sus costos lo más posible. Por una parte, los fabricantes de automóviles compiten en el mercado con modelos cada vez más livianos y económicos, con menor consumo de combustible y mayor durabilidad. Los dueños de los vehículos se preocupan por adquirir aquellos que son económicos, asegurándose que los motores funcionen bien y evitar el consumo innecesario de combustible; además desean que existan suficientes carreteras para poderse desplazar a diferentes lugares. En cuanto a calidad, espera que todas las carreteras estén pavimentadas y en buen estado.

El deterioro de una carretera se traduce en sobrecostos del transporte, como son el excesivo consumo de combustible ante la mayor exigencia de potencia, el mayor desgaste de los vehículos y la reducción en la velocidad de operación.

## 2.6. INDICADORES DEL ESTADO SUPERFICIAL DE UNA CARRETERA

Los indicadores del estado superficial de una carretera son el marco de referencia para poder establecer si la estructura tiene las características funcionales y de resistencia adecuadas para la operación eficaz y eficiente del transporte dentro del sistema vial. Para medir el deterioro en una carretera, en México se emplean indicadores del estado superficial, conocidos como el índice de servicio (empleado por la A.A.S.H.T.O.; American Association of State Highway and Transportation Officials), el índice internacional de rugosidad (sugerido por el Banco Mundial), y el ciclo de vida de una carretera. De esta forma, el estado de la red está caracterizado por dos notas: una de calidad, representativa de su estado estructural y una nota de rugosidad, representativa de su nivel de servicio al usuario.

### 2.6.1. INDICE DE SERVICIO

El índice de servicio es el marco de referencia para poder establecer si la estructura tiene las características funcionales y de resistencia adecuadas para la operación del transporte dentro del sistema vial; esto es, la máxima carga a que puede ser sometida sin afectarla estructuralmente.

El índice de servicio se mide de acuerdo al confort del usuario y su seguridad al transitar en una carretera indicando las condiciones superficiales y estructurales del pavimento que sirvan a estudios detallados.

Para obtener este índice de servicio, se requiere la presencia de 4 evaluadores, forzosamente uno con experiencia a bordo de un vehículo con buena suspensión, buena alineación y dirección estable.

Estos evaluadores hacen recorridos continuos a la velocidad normal de operación en el tramo y van registrando en un formato, la calificación estimada por cada observador. Las calificaciones promedio servirán para decidir la intervención de los tramos.

El estado del pavimento se evalúa de acuerdo con la siguiente escala de calificaciones para cada estado del pavimento<sup>1</sup>:

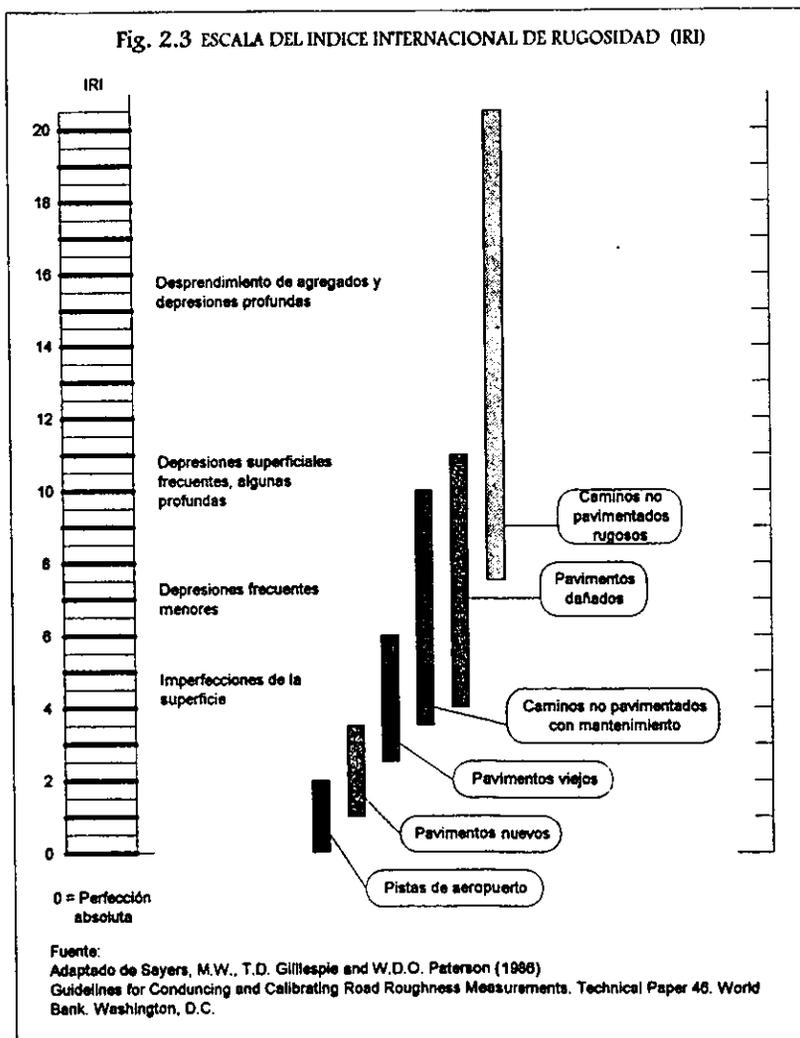
CALIFICACION	ESTADO DEL PAVIMENTO
0 - 1	Intransitable
1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Excelente

Además, es necesario hacer una evaluación basada en estudios de laboratorio para saber con más precisión el estado real que guarda la carretera.

<sup>1</sup> SISTEMA MEXICANO PARA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS. Primera fase. Documentos Técnicos no. 3 y 4. Instituto Mexicano del Transporte. Querétaro, México, 1991.

2.6.2. INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI)

El Índice Internacional constituye una medida de rugosidad, entendida como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad del viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino (Fig. 2.3).



Por tanto, el IRI puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo ; su unidad de medida es m/km.

La condición ideal en una carretera es una empresa no solo imposible, sino también indeseable. Imposible, porque el nivel de recursos necesario para colocar toda una red nacional en los más altos niveles de índice de servicio (en los más bajos niveles del índice internacional de rugosidad) resultará siempre inalcanzable. Indeseable, porque aunque ese costo pudiera erogarse, resultaría excesivo y poco rendidor de frutos.

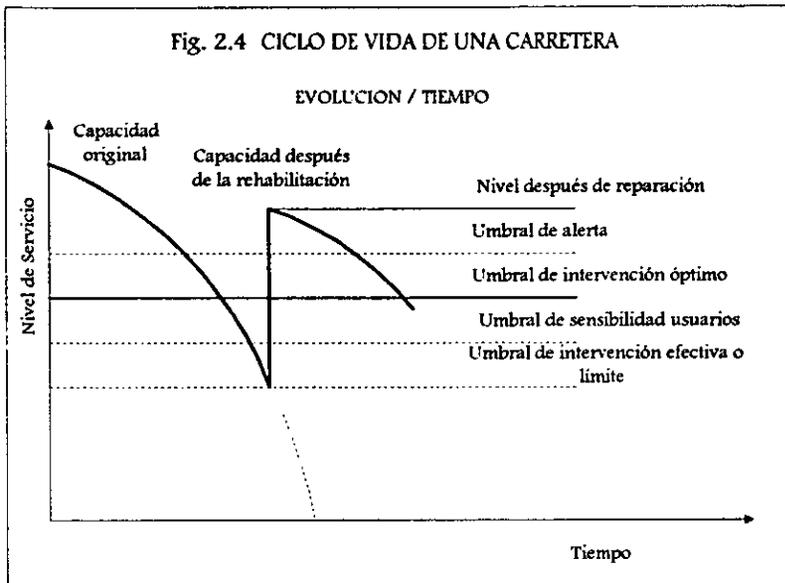
No debe olvidarse que la relación entre el costo de una acción de conservación y su ahorro en los costos de operación vehicular, tiene que ser un mecanismo evidente de control en cuestiones de gasto público. Lo esencial radica en el costo nacional total. Si la acción de conservación, conduce a un abatimiento del costo total nacional, será justificable desde el punto de vista económico; pero justificable no quiere decir posible ya que deben existir recursos suficientes.

### 2.6.3. CICLO DE VIDA DE UN PAVIMENTO

Una obra va sufriendo deterioros al través de los años, presentando diferentes condiciones de servicio a lo largo de su ciclo de vida. Este deterioro puede expresarse gráficamente. La Fig. 2.4, nos muestra que la curva de deterioro empieza en un punto alto y luego desciende gradualmente hasta llegar a un punto bajo. El organismo encargado debe intervenir antes de la descomposición total del camino, mediante su rehabilitación o reconstrucción. Después de efectuada la medida, la carretera vuelve a ser muy buena, hecho que queda representado por una subida abrupta de la curva, hasta un nivel alto.

Con el correr del tiempo, todo el proceso se repite y la curva toma la forma de una sierra invertida, en la cual los dientes representan las intervenciones al camino.

Los dientes pueden estar más o menos distantes uno del otro, representando la rapidez del deterioro y dependiendo del volumen del tránsito, del clima, de la calidad de la construcción original y del mantenimiento que se efectúa. Los espacios entre dientes pueden ser más o menos profundos, lo que representa la política de intervención; ésta puede ser de conservación o de rehabilitación/reconstrucción.



Existen además un número infinito de curvas y ciclos que representan las distintas decisiones que se adoptan en la práctica, constituyendo una "colección de sierras".

La utilización de estas gráficas permite vigilar la evolución y el comportamiento de los tramos y su velocidad de degradación para programar las nuevas acciones en el tiempo preciso y así prolongar la vida útil del pavimento más allá del proyecto y con productividad y repercusión en los costos de mantenimiento futuros.

Pero después de 4 o 5 rehabilitaciones, el daño que se ha causado a la obra es tal, que lo más conveniente es una reconstrucción, pues la eficiencia de la rehabilitación es cada vez menor.

---

## CAPITULO 3

### ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO

---

La conservación tiene por objetivo lograr que las carreteras presten el servicio para el que fueron construidas, bajo condiciones de seguridad y confort, prolongando la vida de la misma.

Para lograr esto, se realizan diferentes actividades para eliminar los defectos y problemas que se presentan ya que de no resolverse provocan el deterioro del camino.

Tales actividades se clasifican de la siguiente forma:

#### 1. Superficie de rodamiento y acotamientos

- Calafateo de grietas.
- Renivelación y reconstrucción de la carpeta.
- Bacheo.
- Barrido
- Reparación y reconstrucción de terraplenes.
- Remoción de derrumbes.

#### 2. Obras de drenaje

- Limpieza y desasolve de cunetas y contracunetas.
- Limpieza y desasolve de alcantarillas.
- Reparación de cunetas, contracunetas y lavaderos.
- Reparación de losas y tubos
- Reparación de guarniciones y zampeados.

#### 3. Taludes

- Afinamientos.
- Recargue y protección.
- Extracción de derrumbes.

#### 4. Zonas laterales del derecho de vía

- Deshierbe, desenraice y limpieza
- Reparación y/o reposición de cerca
- Reparación y/o reposición de barrera central.
- Reparación y/o reposición de defensa metálica.

#### 5. Señalamiento vertical

- Limpieza
- Reparación y/o reposición
- Repintado.

#### 6. Señalamiento horizontal

- Repintado de rayas.
- Limpieza y/o reposición de vialetas.
- Limpieza y/o reposición de fantasmas.

#### 7. Estructuras

- Limpieza y/o reparación de puentes
- Limpieza y/o reparación menor de pasos peatonales.

Cabe recordar que en toda actividad de conservación es necesaria la planeación para coordinar, controlar y programar la ejecución de los trabajos de acuerdo con los niveles de inversión, la disponibilidad de fondos y las prioridades establecidas en una estrategia para conservar y reconstruir la red.

### 3.1. TÉCNICAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS

Hoy día hay que orientar las técnicas de conservación y mantenimiento al mejoramiento y optimización de los materiales regionalmente disponibles. Es por ello que el desarrollo de estas técnicas se enfoca en ligar la maquinaria y el equipo de

construcción con el tratamiento de materiales mediante un determinado proceso constructivo. De esto, se desprenden las siguientes técnicas<sup>1</sup> :

### **3.1.1. BASES ASFÁLTICAS CON AGREGADOS DE 1 ½" - FINOS Y CEMENTO ASFÁLTICO DEL NUM. 6 (ELABORADAS EN PLANTA)**

Estas bases se han utilizado en diversas autopistas y carreteras con el mismo nivel de calidad de una carpeta de ¾" a finos. Se han usado en la rehabilitación de las autopistas México - Cuernavaca, México - Querétaro, México - Puebla y otras.

Esta mezcla asfáltica de textura abierta no requiere tiempo de reposo y puede abrirse al tránsito de vehículos inmediatamente después del compactado. En el caso de que se tarde más de un año en construir la carpeta, las bases deben sellarse.

### **3.1.2. CARPETAS DE ¾" - FINOS CON ASFALTOS REBAJADOS Y/O EMULSIÓN (ELABORADAS CON MEZCLA EN EL LUGAR O ESTABILIZADORA)**

Las carpetas asfálticas con mezcla en el lugar son construidas mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos con un material asfáltico.

Los materiales asfálticos que se emplean son asfaltos rebajados o emulsiones de rompimiento medio o lento. Antes de proceder a la construcción de la carpeta se debe impregnar la base, dejarla secar y vigilar que no haya material encharcado. Posteriormente, se aplica un riego de liga en toda la superficie.

Después de que el material asfáltico adquiera la viscosidad adecuada, se efectúa la mezcla y tendido de los materiales pétreo y asfáltico, usando motoconformadoras.

<sup>1</sup> XII Reunión Nacional de Vías Terrestres. Memoria "Nuevo Enfoque en la Conservación de Obras Viales". Pp. 115-140. S. L. P., Méx. 1996

Después de tendida la mezcla se efectúa la compactación mediante rodillos lisos. Sobre la carpeta terminada se debe de aplicar un riego de sello.

Debido al costo y a la dificultad para cumplir con las especificaciones, las mezclas en el lugar con asfaltos rebajados tienden a desaparecer y las que se elaboran con emulsión se usan cuando no se cuenta con plantas de concreto asfáltico.

### 3.1.3. CARPETAS DE ARENA CON CEMENTO ASFÁLTICO DEL NÚM 6 (ELABORADAS EN PLANTA)

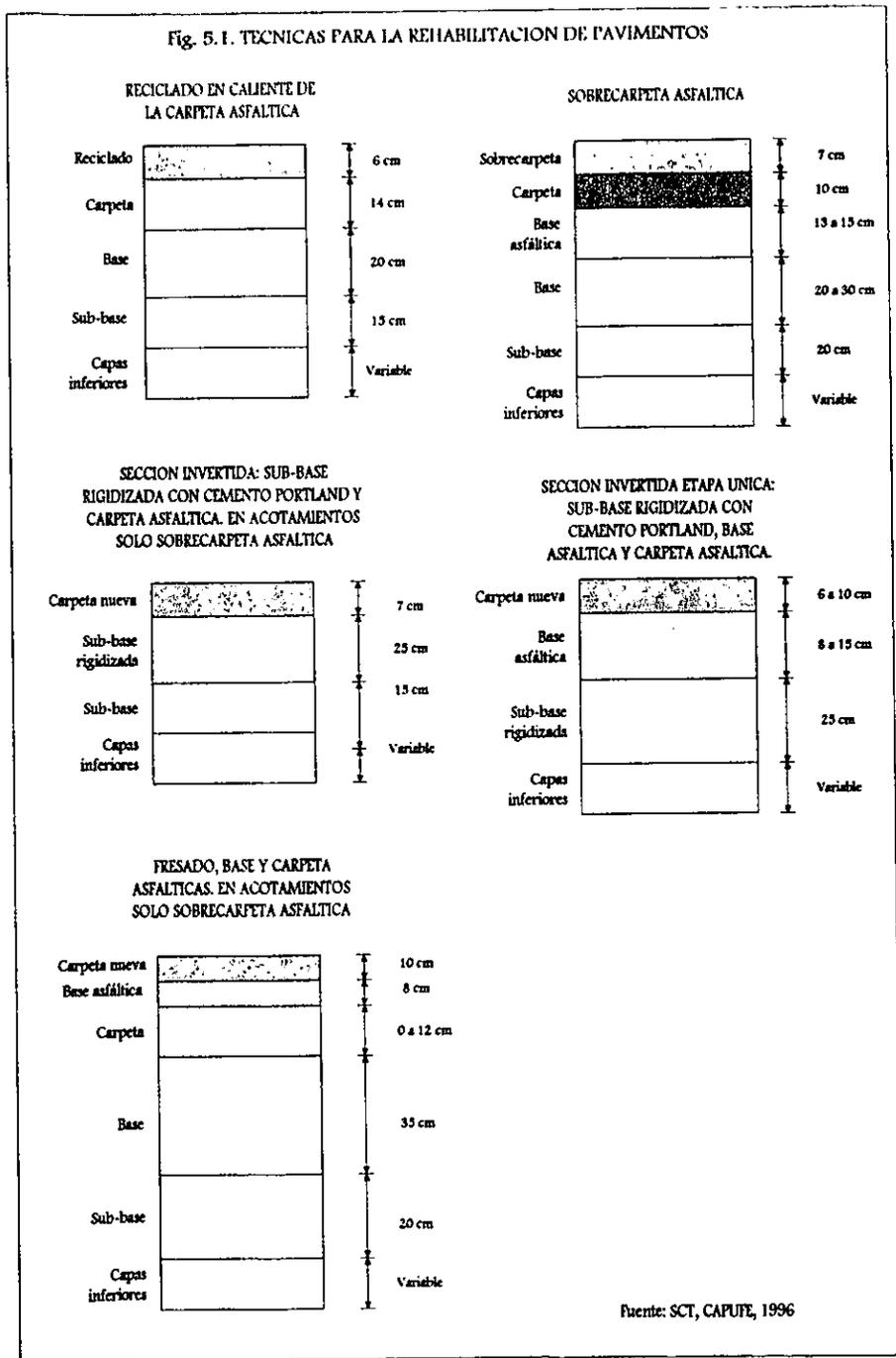
En el sureste mexicano, donde escasean los materiales para producir agregados pétreos de trituración total o parcial para la construcción de carpetas asfálticas con materiales de  $\frac{3}{4}$ " a finos y que se tienen acarrees considerables, el costo de las obras se incrementa.

Por esta situación se han utilizado los materiales existentes en la zona, como son las arenas mal graduadas y los bancos de conchas de diversas especies marinas (conchuelas). La experiencia utilizando este tipo de arenas ha llevado a elaborar mezclas estables y de muy buen comportamiento.

### 3.1.4. CARPETAS DE ARENAS CON CEMENTO ASFÁLTICO NÚM 6 Y CAL (ELABORADAS EN PLANTA)

La incorporación de cal en las mezclas de arena con cemento asfáltico aumenta la estabilidad inicial. Cuando se incorpora cal se debe usar una planta mezcladora de bachas, debido a que el extractor de una planta de producción continua permite la fuga y eliminación de gran parte de la cal. En pruebas Hubbard Field practicadas a mezclas de diferentes edades, la resistencia que se obtiene a la edad de 3 días en muestras sin cal, es similar a la que se obtiene a la edad de 3 horas en muestras con el 2% de cal.

Fig. 5.1. TECNICAS PARA LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS



### 3.1.5. CARPETAS DE ¾" - FINOS CON CEMENTO ASFÁLTICO DEL NÚM 6 (ELABORADAS EN PLANTA)

Estas carpetas son las que más se utilizan en nuestro país. Se elaboran en planta y su colocación se lleva a cabo por medio de extendedoras (finisher). Una vez tendida la mezcla, se procede a compactar mediante equipo de rodillo liso. Finalmente, para cerrar la textura de la superficie de rodamiento, se utiliza un rodillo neumático.

### 3.1.6. CARPETAS DE ARENA CON EMULSIÓN (ELABORADAS CON MEZCLA EN EL LUGAR O ESTABILIZADORA)

Cuando no se cuenta con planta, este tipo de carpetas son las que se construyen en la carretera mediante el mezclado, tendido y compactación de arena con emulsión. Una vez acamellonado el material, se extiende sobre la carretera, procediéndose a incorporar la emulsión por medio de una petrolizadora. El mezclado puede efectuarse en el lugar mediante el uso de una motoconformadora o de preferencia con una instalación fija, usando una estabilizadora. Una vez elaborada la mezcla y el barrido de la superficie, se procede a ejecutar el riego de liga, tender la mezcla por medio de motoconformadoras y compactar. Una vez terminada esto, se aplica el riego de sello.

## 3.2. ESTRATEGIAS DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO EN PUENTES

### 3.2.1. CONCRETO LANZADO

Consiste en la colocación de una capa adicional de concreto, con el fin de alojar y/o proteger un refuerzo adicional o para proteger una estructura. Se puede emplear, por

ejemplo, para agregar un refuerzo por la parte inferior de una losa del puente o proteger una estructura.

El problema de este sistema es que aumenta el peso y hay que revisar todos los elementos estructurales debido a este incremento.

### 3.2.2. PLACAS DE ACERO PEGADAS

Consiste en el pegado de placas de acero a estructuras de concreto, reforzando localmente las partes que así lo requieren. Para esto, se han desarrollado métodos de cálculo y técnicas de obra para su colocación. Este sistema puede ser interesante cuando la superficie a adherir no es muy grande. Hay que destacar que :

- El acero que se agrega es de capacidad limitada.
- Como pegamento se emplea resina epóxica de manejo delicado. Además se requiere que el espesor del pegamento sea uniforme.
- El sistema está limitado a la capacidad que tiene el pegamento para transmitir fuerza entre el concreto y la placa o la resistencia del concreto para transmitir fuerzas de cizallamiento ; algunas veces el concreto es deficiente y su resistencia de un valor reducido.

### 3.2.3. INYECCIÓN DE FISURAS CON RESINAS EPÓXICAS

La finalidad de este sistema es rellenar una fisura con resina, sin embargo, si subsisten las acciones que dieron origen a las fisuras, estas se volverán a producir en el mismo lugar o a un lado. Aparte de inyectar la fisura, se debe resolver el problema de escasa resistencia con refuerzo o presfuerzo.

Las fisuras se pueden inyectar cuando son mayores a 0.2 o 0.3 mm. Por debajo de este tamaño se aplica en la superficie una pintura epóxica para que no penetre la humedad. Las fisuras que se inyectan se tapan previamente con un sello exterior, dejando una boquilla por la que se manda la resina ; por otra parte, de acuerdo al espesor de las grietas se debe especificar la fluidez de la resina.

#### 3.2.4. PRESFUERZO EXTERIOR

Consiste en la adición de cables exteriores que proporcionan una fuerza que se opone a la carga exterior. Para transmitir este presfuerzo a las estructuras, se manejan bloques donde se alojan los anclajes y otros bloques desviadores en donde se hacen los cambios de curvatura. Estos se fijan a las nervaduras perforándolas y pasando barras de presfuerzo.

La ventaja es que no se agrega peso adicional y por eso no es necesario reforzar ni la subestructura, ni aumentar las cimentaciones, salvo que exista algún otro problema.

#### 3.2.5. CAMBIO DE APOYOS

Esta operación se efectúa como parte de una campaña de mantenimiento o como parte de una rehabilitación. Lo más lógico es que el cambio de apoyos forme parte del proyecto original de cada puente, para así prever los espacios necesarios para los gatos y que los elementos resistan la operación. Cuando no se previó esto desde el principio, la adición de elementos extra puede ser en algunos casos costosa. Es muy importante revisar :

- a) Que no se presenten condiciones de inestabilidad al apoyar el tablero sobre los gatos para la maniobra de levantamiento.
- b) Calcular, con la mejor precisión las cargas reales.

- Cargas muertas.

- Cargas vivas con impacto, esto si el cambio se hace con circulación.
- c) Revisar cuidadosamente las zonas de apoyo del gato (arriba y abajo). Eventualmente se deben prever adecuaciones y reforzamientos locales.
- d) Revisar la resistencia y la estabilidad de los elementos en los que se apoyan los gatos.

### 3.3. APLICACIÓN DE NUEVOS MATERIALES Y TÉCNICAS EN LA CONSERVACIÓN Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

El interés mundial por rehabilitar las obras dañadas ha propiciado el desarrollo de numerosas tecnologías disponibles en el mercado. Sin embargo, hay que entender que el problema no se resolverá con la aplicación indiscriminada de esas novedades. El problema de la conservación es complejo y su solución debe darse en tres vertientes: la financiera, la organizacional y la técnico-económica. Es en esta última en la que tiene lugar la implantación de la nueva tecnología, pero para que sea provechosa, debe darse sobre la base de sistemas de administración de la conservación que permitan racionalizar y optimizar las acciones a realizar.

La industria química moderna está desarrollando nuevos productos que modifican sensiblemente tanto a los materiales, como la concepción misma de las estructuras. Sin embargo, aún se requieren grandes avances en las normas de ensaye de materiales, en las especificaciones y el control de calidad para que la práctica actual, pueda adaptarse a las necesidades de las modernas obras de carreteras. La investigación actual y futura de los materiales ayudará a mejorar el comportamiento de los materiales bajo las sollicitaciones de tráfico y en las condiciones climáticas del lugar de modo rentable y con atención al medio ambiente. Las condiciones económicas son fundamentales y en ellas intervienen tanto el costo como la durabilidad de las diferentes opciones, misma que se pretende aumentar. La optimización de las soluciones comprende un estudio global del diseño, la subrasante, el drenaje, los materiales disponibles y el proceso de construcción así como la

consideración del mantenimiento, la rehabilitación, el refuerzo o la reconstrucción del pavimento. Por ello, la investigación de los materiales está cada vez más ligada a esos aspectos. Recordemos que las condiciones ambientales y económicas de nuestro país, hacen importante reutilizar materiales, de lo cual se derivan las siguientes técnicas<sup>2</sup> :

### 3.3.1. PERFILADO DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO

Esta técnica se aplica cuando se requiere hacer un corte en frío de un espesor parcial de la capa asfáltica superior para corregir deformaciones y eliminar el material deteriorado manifiesto por agrietamiento y desgranamiento superficial, para reponer y/o reforzar la capa asfáltica con un espesor adicional. Para este propósito se emplean máquinas perfiladoras diseñadas para efectuar el corte en frío hasta una profundidad de 10 cm, mediante un rotor que hace el corte fresando la superficie.

Terminado el perfilado de la superficie se liga y se procede a construir sobre la superficie expuesta la capa asfáltica que repondrá el espesor desbastado con el grosor necesario para el refuerzo del pavimento. La principal característica de estas aplicaciones es la rapidez con que es posible realizar los trabajos y la no modificación significativa de la elevación de la nueva superficie de rodamiento.

### 3.3.2 ESTABILIZACION DE SUELOS

En esta técnica, los suelos provenientes de depósitos naturales y los existentes en las capas construidas con anterioridad, son mejorados en su calidad en el lugar, con la adición de productos estabilizantes como cal hidratada, cemento portland y productos asfálticos.

<sup>2</sup> XII Reunión Nacional de Vías Terrestres. Memoria "Nuevo Enfoque en la Conservación de Obras Viales". Pp. 115-140. S. L. P., Méx. 1996

Para esto se utilizan máquinas recuperadoras, las cuales están dotadas de un rotor diseñado para hacer un corte en frío a una profundidad de 10 a 50 cm, según sus características de peso y potencia. Con este corte en frío se disgrega el material incorporándose agua de compactación y los productos estabilizantes fluidos, como los productos asfálticos, ya sean rebajados o emulsificados.

La incorporación de los productos estabilizantes granulares, se realiza por separado, extendiéndolos en la capa a tratar, justamente antes que la máquina estabilizadora. La homogeneización de la mezcla suelo-producto estabilizante se logra, por pasadas adicionales del equipo recuperador sobre el material previamente cortado en frío y disgregado.

Esta aplicación permite aprovechar materiales naturales que no cumplen los requerimientos de calidad, pero por el mejoramiento de que son objeto se habilitan para usos con mayores exigencias. La reutilización de los materiales existentes reduce la necesidad de explotar nuevos bancos de materiales que deterioran el medio ambiente reduciendo los costos. Con la estabilización de suelos, se evita disminuir el ancho de corona y sacrificar los gálidos de las estructuras de paso superior, al evitar elevar la superficie de rodamiento. Su uso es apropiado para aumentar la capacidad estructural del pavimento para el tránsito presente y su evolución en un plazo previsible.

### 3.3.3. RECICLADO DE CAPAS ASFÁLTICAS

La técnica tiene por objeto restituir las propiedades de los materiales que componen las capas asfálticas de los pavimentos flexibles para que sean capaces de servir un nuevo ciclo de vida. Consiste, en llevar a cabo el corte de las capas superiores del pavimento y su disgregado, previos a su calentamiento y mezclado con nuevos agregados, cemento asfáltico y agentes rejuvenecedores del asfalto. Posteriormente se procede a la formación y compactación en el lugar. El calentamiento y el mezclado de los materiales existentes con

los nuevos agregados, cementos asfálticos y los agentes rejuvenecedores, se hace en una planta estacionaria.

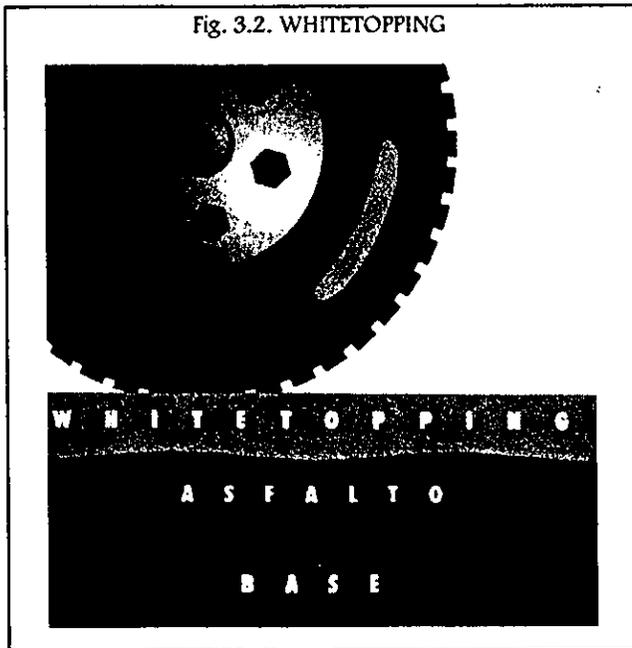
### 3.3.4. PAVIMENTOS CON SECCIÓN INVERTIDA

La técnica es una solución alterna para estructurar pavimentos que consiste en colocar una subbase de mayor rigidez que la base. Al aumentar la rigidez en la subbase, las deformaciones verticales en el pavimento y las deformaciones de tensión en la carpeta se disminuyen considerablemente. Esto se debe al efecto de confinamiento que induce una subbase más rígida, se disminuyen las deformaciones laterales. Los pavimentos de sección invertida tienen las siguientes ventajas:

1. Al rigidizar con cemento portland la subbase, se logra una zapata continua de cimentación, que absorberá las deformaciones y esfuerzos, transmitiendo menores presiones a la subrasante.
2. La base distribuirá las grietas que se generan en la subbase rigidizada, impidiendo que se reflejen en la capa superior de concreto asfáltico, que es de un espesor promedio de 5.0 cm, para hacer trabajar las capas inferiores y disminuir los esfuerzos de tensión.
3. La subbase rigidizada impide el ascenso de finos y ayuda a conducir al exterior el agua que pudiera provenir de la base.
4. La base se construye con materiales totalmente triturados y de textura abierta, los cuales proporcionan gran capacidad de carga por el alto grado de permeabilidad entre sus partículas, que desarrollan una fricción alta a pesar de la humedad que hubiere.
5. La vida económica del proyecto se mantendrá con el mínimo de gastos de mantenimiento, sólo se requerirán riegos de sello en la superficie de rodamiento para dar la rugosidad que exige la seguridad del usuario.

### 3.3.5. WHITETOPPING

Dentro del esquema del desarrollo tecnológico de procedimientos, existe un sistema conocido como Whitetopping, que consiste en la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico sobre un pavimento asfáltico existente.



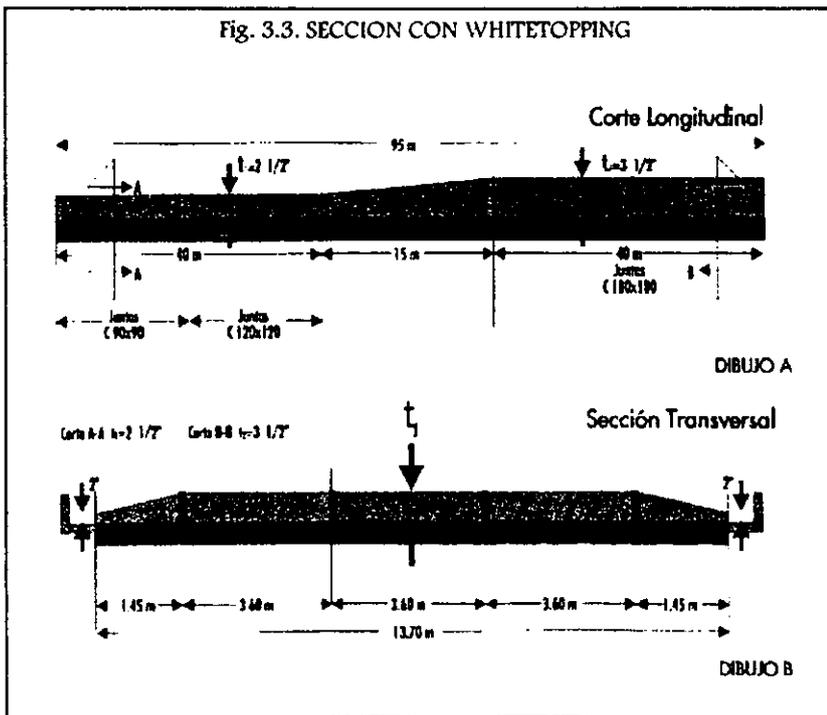
Una sobrecarpeta resulta competitiva económicamente cuando más del 2 o 3 % del área total requiere bacheo.

Las sobrecarpetas se utilizan para corregir deficiencias funcionales y/o estructurales de los pavimentos.

Existen cuatro formas básicas de construir una sobrecarpeta de concreto:

- Ligadas al pavimento existente. Se busca que trabaje de manera continua e integral con el pavimento existente.

- Colocadas directamente, sin preparación. Se busca que el comportamiento de la nueva capa trabaje de manera independiente al pavimento existente, buscando que ésta última sirva como capa de apoyo de la nueva sobrecarpeta.
- Sobrecarpeta de concreto desligada del pavimento existente. Consiste en una capa de pavimento de concreto simple, sin refuerzo o también del tipo continuamente reforzado o presforzado.
- Sobrecarpetas de concreto hidráulico en pavimentos asfálticos ya deteriorados. Esta resulta de particular interés en los casos en que se pretenda prolongar o restaurar la capacidad estructural del pavimento.



La decisión de colocar una sobrecarpeta atiende a las siguientes consideraciones:

- Disposición de recursos económicos.
- Aspectos constructivos.

1. Control de tráfico.
  2. Disposición de materiales y equipo.
  3. Clima.
  4. Obras asociadas y/o restricciones.
  5. Espesores de acotamientos, extensión de sus taludes.
  6. Interrupciones de tránsito vehicular y costos de tiempos horas-hombre
- La vida útil requerida en la nueva sobrecarpeta.

Aspectos que regirán la nueva sobrecarpeta son:

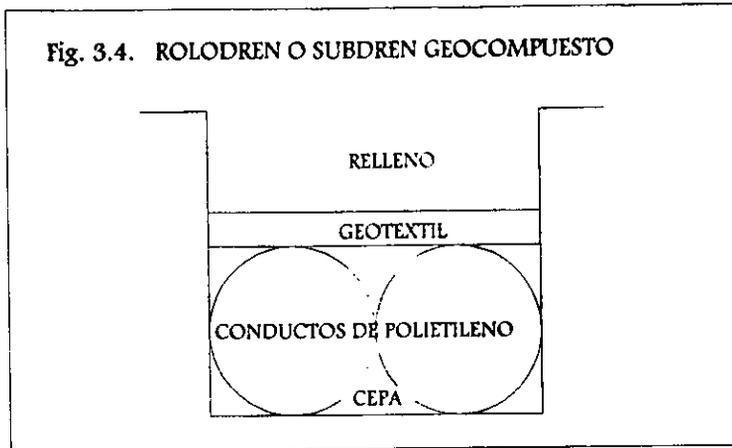
- Deterioro en los pavimentos existentes
- Diseño del pavimento existente
- Cargas de tráfico futuras
- Clima local
- Situación del drenaje actual

En el año de 1993 se realizó la rehabilitación del pavimento del libramiento Ticumán en el estado de Morelos, con una longitud de 8.35 km con esta tecnología, el cual se encuentra instrumentado y se lleva un seguimiento de su comportamiento.

### 3.3.6. ROLODREN

El subdrenaje debe ser atendido a riesgo de padecer las consecuencias de no hacerlo. El criterio que ha seguido la DGCC es resolver problemas de subdrenaje antes de resolver problemas en la superficie de rodamiento. Recientemente se han estado construyendo subdrenes compuestos prefabricados constituidos por un conducto o serie de conductos de formas diversas fabricados a partir de polietileno de alta densidad que se recubren con un geotextil de poliéster no tejido. El sistema se conoce como rolodren y a diferencia del sistema tradicional no requiere de tubería perforada, material de filtro, ni plantilla de

arena. La zanja se rellena con el material producto de la excavación, la que se realiza con una máquina zarjeadora que puede tener anchos tan reducidos como de 30 a 50 cm, minimizando el volumen de excavación que requiere el sistema convencional.



Este uso se traduce en ahorro de tiempo y recursos, sin menoscabo de la calidad. Para evaluar sus bondades y adoptarlo como una alternativa ventajosa, se tiene en observación este sistema en un tramo del camino Janos - Agua Prieta, en Sonora y en el entronque Portezuelo - límite de Hidalgo/San Luis Potosí, en el estado de Hidalgo.

### 3.3.7. ESPUMA ASFALTICA

Un aglutinante ideal es uno cuyas propiedades (viscosidad y tensión superficial), aun frío y con agregados húmedos pueda usarse, reteniendo una plasticidad deseable de la mezcla para uso fácil. Esto puede lograrse espumando el asfalto, expandiendo su volumen y disminuyendo su viscosidad.

Para producir la espuma se inyecta aire y agua fría en condiciones controladas (1 a 2 por ciento del peso del asfalto) a asfalto caliente (160°C) en una cámara de expansión

diseñada especialmente para este efecto. El asfalto cuando está espumado expande 10 a 15 veces su volumen original y permanece en ese estado de 30 a 60 segundos. Esta espuma es entonces inyectada por boquillas especiales a los pétreos, mismos que están a la temperatura ambiente.

Este procedimiento se puede aplicar tanto en la recuperación de pavimentos como en la formación de carpetas. La estabilización con espuma restaura in situ la integridad estructural de los pavimentos. Una vez compactado, el material estabilizado alcanzará en solo unos días resistencias comparables a las mezclas asfálticas elaboradas en caliente. El proceso es rápido en ejecución y permite acceso al tráfico inmediatamente. También conserva los recursos disponibles, reutilizando los materiales existentes y resulta ser muy eficiente.

En México se está aplicando esta tecnología en el tramo La Ventosa - Tepanatepec, en el estado de Oaxaca.

### 3.3.8. CONCRETO POLIMÉRICO

El concreto polimérico está formado a partir de diferentes agregados unidos por una resina sintética. Es un concreto libre de cemento y su fabricación es bastante sencilla.

Fácilmente cualquier material puede usarse como agregado, inclusive desperdicios, si cumplen con bajo contenido de humedad y no influyen negativamente en el curado de la resina.

Este concreto no es afectado fácilmente por los agentes contaminantes ambientales.

Como aglutinante se emplean diferentes resinas sintéticas: acrílicas, epóxicas, poliéster insaturado y otras, aunque por razones de costo y funcionalidad, las resinas de poliéster insaturado son las más utilizadas.

Las piezas de concreto polimérico se fabrican vaciando la resina líquida en el recipiente de una mezcladora y se adicionan pigmentos y aditivos. Después se incorporan los diferentes agregados. Finalmente se añade el agente de curado y se vierte en moldes que pueden ser de madera, metal, poliuretano o plástico reforzado con fibra de vidrio.

La resina inicia su proceso de fraguado desde la incorporación del agente de curado y a medida que transcurre el tiempo, la masa se torna más espesa hasta alcanzar su estado final, después de lo cual debe desmoldarse.

Por lo general requiere menos de una hora para fraguar desde la preparación de la mezcla hasta el desmolde de la pieza y en sólo 24 horas alcanza más del 90% de sus propiedades mecánicas.

El costo de los materiales utilizados en su fabricación es mayor que el del concreto de cemento; sin embargo, su costo total se reduce considerablemente dado el menor tiempo de fabricación, la inferior cantidad de moldes y dimensiones, así como el peso de las piezas, lo que abate tiempo de producción, transporte, instalación, reparación y mantenimiento.

Se ha aplicado en el revestimiento de puentes, rampas y caminos de concreto. La Federal Highway Administration implantó el uso de este concreto en el revestimiento de carreteras con resultados satisfactorios, pues su aplicación es tan rápida que sólo es necesario detener el tráfico unas cuantas horas.

### 3.3.9. CEMENTOS ASFÁLTICOS MODIFICADOS

En 1992 se dio inicio a un estudio de algunos modificadores de asfalto, como la glisonita, el chemcrete, los polimeros y el hule molido. Para el año de 1994 se realizaron los primeros tramos de prueba empleando esta técnica en la autopista Querétaro-Irapuato. Estos tramos presentaban serios deterioros debidos a fallas de tipo estructural en su pavimento.

Una vez elaborado el cemento asfáltico modificado, es importante tener los cuidados necesarios para que el aditivo no se segregue o separe de la mezcla. Es importante mantenerlo a una temperatura adecuada que por lo general es 20° C más elevada que las temperaturas de manejo del cemento asfáltico normal. Si no va a utilizarse de inmediato o si va a permanecer almacenado más de 24 horas hay que mantenerlo en circulación. La elaboración y tendido de una mezcla, no difiere de la elaboración de una mezcla común, a excepción de las temperaturas, que deben ser 20° C más elevadas que las de una mezcla normal, con lo que se ha observado que disminuyen los problemas de manejo en la colocación de la mezcla.

La compactación debe realizarse en cuanto lo acepte la mezcla y casi siempre es inmediatamente después del tendido. Si las temperaturas mencionadas llegan a bajar en el transcurso del trabajo, el movimiento se dificulta en detrimento de los acabados. Con el uso de sensores electrónicos la calidad del acabado será constante.

Modificar un asfalto es mejorar sus propiedades físicas, químicas y reológicas para obtener una mejor adherencia con los materiales pétreos, mayor resistencia al envejecimiento, a los efectos del agua y agentes climatológicos; una mejor capacidad de soporte, así como el mejoramiento de las propiedades de elasticidad, flexibilidad, cohesión y viscosidad para lograr una mejor resistencia al esfuerzo cortante, a la deformación y a la fatiga. No obstante, los modificadores de asfalto no cambian las características del material pétreo, por lo que no debe esperarse que un material de mala calidad mejore sus características, su comportamiento será deficiente reflejándose en una menor vida útil.

### 3.3.10. SISTEMA FRICON

Ante la dificultad que significa anclar el presfuerzo externo a los puentes de concreto, un ingeniero civil mexicano ideó un sistema en el que se aplica el principio físico de la

fuerza de fricción entre dos superficies en contacto. A tal sistema se le puso el nombre de FRICON de FRicción y CONector.

El FRICON, es una simple ménsula de acero, contra la que se tensan y anclan los torones que constituyen a los tendones de presfuerzo. Estas ménsulas se instalan simétricamente y por pares en los extremos superiores de las almas de las trabes, para lo cual se practica en el concreto el número de perforaciones requeridas que corresponden con las que los FRICONES llevan en sus placas de base. Por tales perforaciones se hacen pasar elementos sujetadores, consistentes en un tramo de torón del mismo diámetro que el de los torones de tendón, que en un extremo llevan sujeto con cuñas un barrilete liso y en el otro un roscado de cuerda corrida con su respectiva tuerca.

A efecto de lograr el máximo coeficiente de fricción, la cara interna del FRICON lleva costillas transversales y se inyecta una capa de 13 mm de espesor de un mortero hidráulico de muy alta resistencia rápida y de volumen estable. Una vez que este alcanza un  $f_c$  mínimo de 250 kg/cm<sup>2</sup>, se procede al tensado de los sujetadores. En el anclaje fijo de cada torón se dejará un extremo o "cola" saliente de 6.0 cm de longitud y terminado el tensado de todos ellos, se cortarán los extremos sobrantes, dejando otra "cola" idéntica en la que se conecta el equipo para verificar o ajustar las tensiones del presfuerzo en el futuro.

### 3.3.11. HIDRODEMOLICION

Un problema que se presenta frecuentemente en los trabajos de rehabilitación estructural es la demolición de partes de concreto dañado. Esta demolición tiene que realizarse con cuidado para no afectar a las barras de refuerzo existentes, a las que generalmente deben anclarse nuevas varillas y no afectar el concreto sano. Estas demoliciones se han realizado mediante explosivos, productos químicos o más generalmente, en forma manual, presentando este último procedimiento el problema de lentitud. La hidrodemolición es

una técnica que permite la demolición rápida y segura del concreto dañado mediante la aplicación de chorros de agua a alta presión dirigidos contra la superficie, que producen un efecto dinámico destructivo. El método no causa ningún daño a las barras de refuerzo y las limpia de pegotes de concreto y de óxido. La profundidad de ataque puede controlarse automáticamente. La superficie resultante queda escarificada y rugosa para lograr una buena adherencia con el concreto nuevo. Los equipos utilizados son motores diesel, bombas de alta presión, una toma de agua provista de filtros y un robot de control remoto o local provisto de mangueras y eyectores programables. Todo el sistema depende de un control electrónico que permite incrementar la productividad. El sistema sustituye por lo menos a 30 operadores manuales.

### 3.3.12 OTRAS TECNICAS

Los graves y extendidos problemas observados en todo el mundo por la corrosión del acero y especialmente en las estructuras de concreto presforzado donde este fenómeno ha conducido a fallas súbitas, han incentivado la investigación de nuevos materiales de refuerzo inertes que no se corroan. Una primera opción estudiada son los aceros inoxidable galvanizados, limitados por su costo excesivo y porque requieren un cuidado minucioso para su manejo y colocación, ya que una pequeña desconchadura en la protección puede aumentar la corrosión al formarse un par galvánico de dos metales diferentes, dando resultados contraproducentes.

Se han utilizado también varillas de refuerzo recubiertas de resina epóxica de 0.3 mm-de espesor, en las que un pequeño daño puede producir una severa corrosión local, pero que tienen la ventaja de que en conjunto implican un sobre costo de solo 10% sobre el costo total de la obra.

En las estructuras presforzadas se está iniciando el empleo de cables de plástico reforzado con fibras de carbón. En Canadá se construyó recientemente un puente de 40

m de largo con vigas pretensadas con tendones de este tipo que ha sido instrumentado con sensores ópticos para observar su comportamiento a largo plazo.

## **ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA**

### **3.4. ESTRATEGIA NACIONAL DE CONSERVACIÓN**

La importancia de la red y las soluciones múltiples que se pueden aplicar, de las cuales se han descrito algunas, hacen de la planificación y de la programación de las obras un problema casi insoluble sin la ayuda de una herramienta informática potente. Las decisiones tomadas durante un año dado, tienen consecuencias sobre los niveles de servicio en los años siguientes, ya que programas de mediano plazo y las decisiones tomadas tienen influencia sobre el futuro.

Los responsables deben ser capaces de prever la evolución de la red sobre un periodo largo, teniendo en cuenta las obras previstas y medir las consecuencias futuras de sus elecciones presentes. Ante esto se presentan dos tipos de problemas:

1. Programar las obras anualmente teniendo en cuenta los apremios presupuestarios.
2. Predecir la evolución de la red en función de las asignaciones financieras y prever los recursos presupuestarios que permitan efectuar las labores de conservación o de mejoramiento de la red.

Recordemos que en la conservación se enfrentan dos principales problemas :

- Es urgente rehabilitar y/o reconstruir numerosas secciones de carretera ;
- Es financieramente imposible empezar inmediatamente todas las obras técnicamente necesarias.

En estas condiciones ¿cuáles son las obras de rehabilitación y/o reconstrucción importantes a programar para el año próximo, dentro de tres años o durante el próximo plan ?

Para estas necesidades de programación se recurría al método tradicional, consistente en sintetizar propuestas de acuerdo con el criterio de importancia económico

y/o político de las secciones de carretera y limitando el volumen de las obras a ejecutar de acuerdo a los apremios presupuestarios.

Definitivamente, este método tradicional no estaba basado en un procedimiento metódico, objetivo, racional y coherente. Para el gobierno, como para los organismos financieros exteriores, no es seguro que los fondos solicitados sean asignados a los tramos realmente prioritarios del conjunto de la red a mantener, a pesar de que la rentabilidad de cada tramo sea justificada.

Sabemos que la rehabilitación más justificada no es :

- La rehabilitación de la carretera más dañada
- El mantenimiento de la carretera más importante con el tránsito más pesado.

El criterio de prioridad de programación de las operaciones de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción no es solamente el estado de la carretera y el tránsito, sino también un compromiso técnico-económico.

Sistematizar la gestión de la red vial consiste esencialmente en :

- considerar el conjunto de la red a administrar gracias a un banco de datos viales ;
- estudiar una estrategia óptima de financiamiento de la red, simulando las consecuencias de varias alternativas ;
- adoptar un método racional de programación plurianual de las obras de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción.

El uso de un banco de datos viales permitirá conocer la red carretera a administrar, produciendo informes muy valiosos para caracterizar la importancia de la red, su calidad, su tránsito, su estado en conjunto o tramo por tramo. Como resultado obtendremos listados exhaustivos, estadísticos y una cartografía automática para mejorar y visualizar el conocimiento de la red carretera, que permitirá simular la degradación de las diversas carreteras según su naturaleza, estado, tránsito, condiciones meteorológicas, obras de mantenimiento ejecutadas, etc. La simulación prospectiva, constituye una herramienta formidable de gestión previsional. Un sistema de gestión vial permite

cuantificar los grandes desafíos de la salvaguarda de la infraestructura vial, simulando las diferentes alternativas de estrategia financiera y técnica de mantenimiento, evaluando las incidencias presupuestales óptima y previendo el futuro ruta por ruta. Sobre la base de una estrategia de mantenimiento dada, con el sistema de gestión vial, se puede producir una verdadera programación de las obras de mantenimiento vial. Así se pueden establecer propuestas de programación racionales, coherentes y exhaustivas. No se trata de imponer una solución a los responsables, sino ayudar en la toma de decisiones de forma imparcial.

#### 3.4.1. BASES PARA UNA ESTRATEGIA NACIONAL

Si analizamos de cerca la conceptualización de la tarea de la conservación, es posible llegar a la conclusión de que, independientemente de la importancia universal del problema, la política a desarrollarse debe tener objetivos claros. La ausencia de un objetivo crea un vacío que debe ser llenado. A llenar tal vacío suelen concurrir motivos poco relevantes para guiar las acciones y dirigir la asignación de sus recursos.

En un país como México, donde se busca un desarrollo armónico, la generación de riqueza, su distribución social adecuada y la máxima activación económica, parece que el objetivo único de la conservación debe ser *la optimización del transporte de carga*, a lo cual deben apegarse todas las acciones de la estrategia.

El objetivo anterior, además de ser único, tiene la virtud de ser sencillo, ya que las acciones múltiples suelen caer en dilemas que entorpecen la acción fundamental. Para lograr el objetivo enunciado, deben buscarse caminos apropiados, pero, si en la búsqueda de la perfección y del detalle son muchos, se corre también el riesgo de caer en la confusión, la vacilación y la duda. De esta manera, la base de la estrategia de conservación es la optimización del transporte de carga, eliminando todos los sobrecostos de operación de los vehículos que la infraestructura pueda ayudar a eliminar.

### 3.4.2. COMPONENTES DE UNA ESTRATEGIA NACIONAL

Una estrategia de conservación de nivel nacional tiene que abarcar temas que trasciendan necesariamente los aspectos técnicos del problema.

Se debe contemplar una vertiente económica con la cual sea posible convencer a las autoridades correspondientes de las ventajas, conveniencia y necesidad de erogar en estos rubros.

Predomina también un criterio puramente técnico - ingenieril y además una vertiente de carácter organizacional. Evidentemente, el primer paso para establecer cualquier estrategia de conservación es conocer el estado de cualquier tramo que desee conservarse. A dicho sistema se le conoce como "Sistema de Gestión".

Los objetivos generales son:

- Garantizar la seguridad de los usuarios.
- Proteger la inversión patrimonial.
- Predecir con suficiente anticipación el monto de los recursos necesarios para la conservación y rehabilitación de las obras.
- Garantizar la continuidad y la calidad de los servicios.
- Generar una base de datos con el inventario y la información obtenida de inspecciones.
- Optimizar los recursos.

### 3.4.3. ESTRATEGIA DE CONSERVACION Y MANTENIMIENTO PARA LA RED CARRETERA NACIONAL

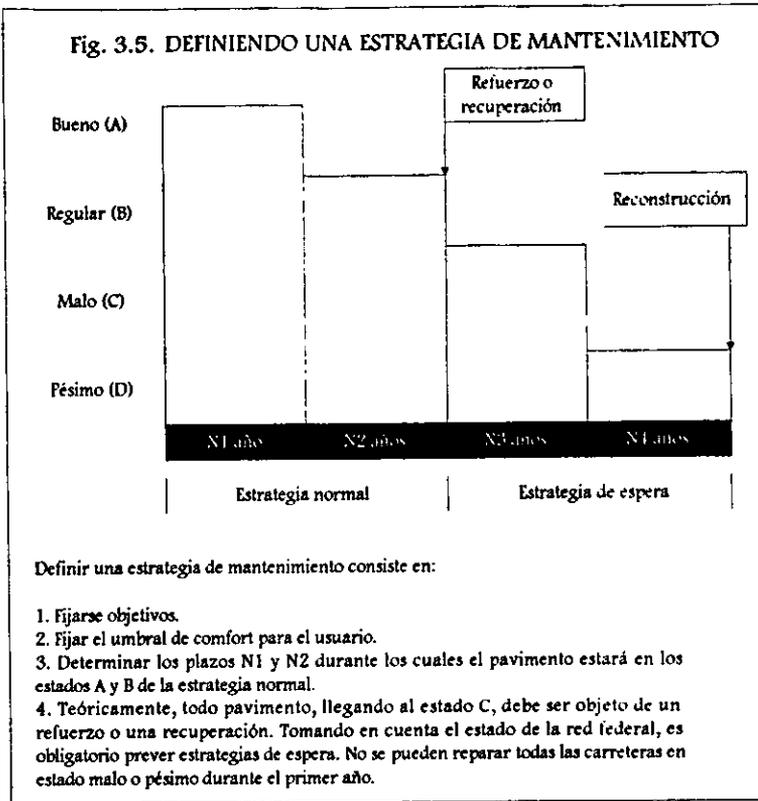
La elaboración de una estrategia consiste en definir simultáneamente el programa de obras pertinente y los parámetros de deterioro de la red relacionados con este programa. Por convención llamamos "estrategia" al conjunto de diversos escenarios que se aplican a

tramos de características diferentes. Existen tantos escenarios como combinaciones de valores para los parámetros característicos. Por ejemplo, si se definen tres zonas climáticas, seis clases de tránsito y cuatro prioridades, se construirán 72 escenarios que en conjunto constituirán una estrategia.

De lo anterior parece congruente establecer que para llegar a una estrategia nacional de conservación, se requiere :

1. La definición de un objetivo único de la conservación ; para muchos países éste consiste en “optimizar el transporte de carga.”
2. Un criterio único para lograr el objetivo anterior ; en este caso, la eliminación de sobrecostos de operación.
3. Un conjunto de apoyos que exigen :
  - a) Un sistema de administración de pavimentos ;
  - b) Una extensión del anterior que proporcione la relación entre diversas acciones de conservación, su vida útil y su costo total ;
  - c) Un estudio permanente del número, peso y dimensiones de los vehículos pesados circulantes ;
  - d) Un estudio permanente que permita conocer el valor económico y estratégico de la carga que transita por cada carretera de importancia, dentro del sistema nacional de corredores de transporte ;
  - e) El conocimiento de sobrecosto de operación de vehículos pesados en relación con la pendiente, la curvatura, la velocidad de operación y el estado superficial de las carreteras.
4. Una organización nacional (campo, gabinete y laboratorios) que permita llevar adelante estas tareas.

Definir una estrategia de mantenimiento consiste en : (i) fijar las frecuencias de realización de los diversos subprogramas de obras; determinar los plazos N1 y N2 para que la carretera estará en el estado A y luego en el estado B ; fijar los plazos N3 y N4, para los cuales se tolerará que la carretera este en los estados C y/o D (Véase la Fig. 3.5).



Ahora bien, la elaboración de una estrategia consiste en definir tanto el programa de obras como los parámetros de deterioro de la red relacionados con estos sistemas.

Es por esto que podemos concluir que la utilización de un sistema de gestión de carreteras es fundamental para eficientar los recursos asignados a la conservación de carreteras. Proporciona a los responsables de la administración de una red vial, los elementos necesarios para apoyar sus políticas de mantenimiento y de prever sobre un periodo definido su evolución, teniendo en cuenta las obras previstas y medir las consecuencias futuras de sus elecciones presentes.

Como veremos en el siguiente capítulo los sistemas de gestión suponen :

- Información de la red.
- La construcción de una base computarizada de datos.

- Un procedimiento de actualización del banco de datos.
- Un modelo de simulación de degradación específico de la red mexicana.

### 3.5. LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS Y EL MEDIO AMBIENTE

En los proyectos de las modernas vías terrestres, el concepto de ambiente se refiere al conjunto de sistemas naturales o ecosistemas modificados por el hombre. De esta forma, la variable ambiental es no sólo el estado de los ecosistemas, sino sus variaciones en el tiempo y con el clima, destacando los asentamientos humanos, con sus obras de infraestructura, equipamiento y servicios que necesariamente los acompañan.

Un impacto ambiental es toda modificación al ambiente ocasionada por la acción humana inducida y por la naturaleza misma; así como sus efectos sobre los sistemas naturales y el resto del ambiente.

La construcción y operación de los sistemas de transporte acarrean numerosos impactos al medio natural, ocasionados principalmente por su gran longitud, ya que afectan a la flora y fauna por los trabajos de desmonte y despalme, así como por la apertura de bancos de materiales, la instalación de patios para campamentos, talleres y plantas de trituración y fabricación de concretos, así como de patios de almacenamiento de agregados.

Flora y fauna se ven afectadas por la inadecuada disposición de los desechos sólidos, por el tránsito de vehículos y los asentamientos humanos que se posicionan irregularmente. Además los caminos constituyen barreras artificiales que afectan los desplazamientos de personas y de fauna.

El paisaje, el relieve y el drenaje superficial también se ven impactados con el desmonte y los movimientos de tierra, cortes y terraplenes, que en zonas de fuerte pendiente transversal pueden originar problemas de inestabilidad de taludes, erosión, modificación de los patrones de drenaje, azolvamiento y degradación del paisaje.

### 3.5.1. PRINCIPALES MEDIDAS DE CONTROL ECOLÓGICO

La SCT, ha desarrollado y aplicado diferentes instrumentos que mitigan los impactos ambientales. Para ello emplea Manifestaciones de Impacto Ambiental, Normas Técnicas de Control Ecológico para la Construcción de Carreteras, Especificaciones Técnicas Ambientales Generales y Particulares para Carreteras Alimentadoras y Caminos Rurales y tiene en preparación un Manual de Ecología. Algunas de las principales medidas que ha adoptado el Sector, para prevenir y mitigar los impactos ambientales son :

- Formular y aplicar las Manifestaciones de Impacto Ambiental cuando se exija.
- Desmontar únicamente las superficies indispensables para la construcción de las obras y para que en la operación no se obstruya la visibilidad.
- Conservar los estados herbáceos y arbustivos que protejan al bosque, eviten la erosión y sirvan como elemento de amortiguamiento y frenado de los vehículos que accidentalmente se salgan de la carretera.
- Depositar los desperdicios de cortes y derrumbes en bancos que se planeen cuidadosamente en ubicación y forma.
- Prohibir la excavaciones de préstamo lateral, salvo excepciones justificadas.
- Estabilizar los taludes de cortes y terraplenes tanto por medios mecánicos, como por medios vegetativos.
- Despalmar sólo las superficies necesarias y utilizar tal material cuando sea adecuado para arropar taludes y propiciar su vegetación, restaurar bancos de materiales y controlar la erosión.
- Restaurar las áreas usadas para campamentos, almacenes y bancos de materiales.
- Forestar con especies nativas cortinas rompevientos y ocultar vistas desagradables para mejorar el paisaje.
- Controlar las emisiones de gases y ruidos de los equipos y plantas de procesamiento.
- Prevenir y controlar los derrames de combustibles, materiales asfálticos y residuos.

- En terminales, campamentos y centros de trabajo donde no exista sistema municipal de alcantarillado sanitario, se deberán diseñar y construir sistemas adecuados para el tratamiento de aguas residuales.
- Cubrir los equipos de transporte y bancos de materiales térreos con lonas que eviten la emisión de polvos.

Se producen en nuestro país un buen número de impactos poco atendidos que causan un gran deterioro no solo a los ecosistemas, sino a la salud de la población y a la seguridad de la operación de los sistemas de transporte a los cuales no se les ha dado el cuidado necesario ya sea por ausencia o lo reducido del presupuesto para el mantenimiento de la red carretera, acelerando su deterioro, produciendo graves impactos ambientales por la erosión y las emisiones de polvo perjudicando la productividad del campo en su zona de influencia, perdiéndose el valor patrimonial de la nación.

La observación de la normatividad ecológica del Sector y las buenas prácticas de ingeniería, puede dar como resultado una reducción adecuada de los impactos negativos a los ecosistemas, la sociedad y su patrimonio, por eso se debe :

- Gestionar mayores recursos para la atención de la conservación de las redes carreteras alimentadoras.
- Promover el desarrollo y el empleo racional de nuevas tecnologías que contemplen la utilización de materiales no contaminantes y el reciclado de materiales industrializados.

---

## CAPITULO 4

### SISTEMAS DE INFORMACION DE APOYO A LA ADMINISTRACION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

---

Para llegar al convencimiento de la necesidad de reunir las tareas de conservación en un conjunto sistematizado al que pueda llamársele estrategia, es conveniente recordar lo siguiente:

- Se presenta el arrastre de la historia dentro de la que se generó la red carretera.
- Existe el hecho innegable de que la conservación de la red nacional frecuentemente ha quedado ignorada en relación con las tareas de construcción de nuevas obras, ya que se busca acceder a un rápido desarrollo.
- La red carretera nacional, 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 el conocimiento regional o local.
- La gran extensión de la red y el enorme volumen de 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 se requiere. Pasó el tiempo de las acciones de tipo general y su selección basándose en el 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.

La efectividad de un sistema de conservación de carreteras depende de su capacidad para manejar cada vez más y mejor información, la cual debe ser confiable, significativa, oportuna, accesible y económica.

A pesar de esto, la información por sí misma no garantiza una buena toma de decisiones, la cual depende también de la experiencia y el juicio ingenieril de los responsables, pero es precisamente la falta de buena información la que conduce a decisiones equivocadas, por lo que desde hace tiempo se emplean equipos y programas de informática para la captación de datos relacionados con la conservación.

El acelerado desarrollo de la computación ha conducido a numerosas aplicaciones entre las que destacan los *sistemas de información geográfica*, los cuales permiten la captación, el análisis, la recuperación y la presentación de datos que pueden graficarse automáticamente para producir mapas sobre temáticas diversas. Su banco de datos puede almacenar directamente información contenida en formatos, planos o videos.

Por otra parte, en la actualidad se impone la necesidad de tener un sistema coherente, que maneje la información por medio del cómputo y establezca mecanismos de selección y evaluación de carácter impersonal y sólo dependientes de los datos proporcionados por la información misma. Cada carretera y cada tramo característico debe ser tratado con el mismo criterio general, evitando desviaciones por inclinación personal o sentimiento.

Evidentemente, el primer paso para establecer en forma operativa cualquier estrategia es conocer el estado de cualquier tramo carretero que desee conservarse, por lo que es comprensible la necesidad de utilizar sistemas de información.

A un sistema que permita realizar acciones encaminadas al establecimiento de una estrategia de conservación suele denominarsele "*Sistema de Gestión de la Condición Estructural de la Carretera*" o de "*Gestión*".

Dichos sistemas permiten describir las estrategias de mantenimiento, simular la evaluación de la red y proporcionar estados financieros y económicos para evaluar las estrategias en el corto, el mediano y largo plazos.

Los datos acerca de aforos de tráfico, inventarios de señalamiento, accidentes, inspección de puentes, inventarios de cruces entre vías férreas y carreteras, condiciones de los pavimentos son sólo algunos de los datos que se generan y utilizan en el sector. El

manejo de tal cantidad de información escapa a la capacidad de cualquier persona, es por eso que es recomendable el empleo de sistemas computacionales que permitan interrelacionar la información por medio de bases de datos.

Los sistemas nos dan la oportunidad de:

- Considerar a la red como un conjunto a administrar gracias a un banco de datos.
- Estudiar una estrategia óptima de mantenimiento simulando las consecuencias de varias alternativas.
- Adoptar un método racional de programación plurianual de las obras por realizar.

Dicha base de datos permite:

- Conocer la red a administrar.
- Producir información para caracterizar la importancia de la red, su calidad, su tránsito, su estado tanto en conjunto como tramo por tramo.
- Producir listados estadísticos y cartografía automática para visualizar y mejorar el conocimiento de la red.
- Simular de manera informática la degradación de la red según su naturaleza, estado, tránsito, condiciones metereológicas, obras ejecutadas, etc.
- Programar las obras con una base técnica económica fundada e imparcial.

Los sistemas de gestión en el ámbito mundial, se han desarrollado a partir de investigaciones apoyadas por el Banco Mundial. Los datos y las relaciones derivadas de los mismos, han contribuido a establecer un modelo basado en esas investigaciones: el *Highway Design and Maintenance Standard Model (HDM)*, que hoy se encuentra en su tercera versión.

México no se ha quedado al margen de estos sistemas. De la búsqueda de una metodología que se adapte a las condiciones y recursos nacionales se han desprendido el *Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)*, el *Sistema de Puentes de México (SIFUMEX)* y el *Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER)*.

#### 4.1. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA<sup>1</sup>

En la actualidad, los procesos de planeación, organización, gestión y evaluación del transporte reclaman sistemas eficientes para el manejo y el análisis de la información, en términos de velocidad de procesamiento, capacidad de almacenamiento, versatilidad, certeza y confiabilidad. Para aspirar a cumplir con lo anterior, resulta indispensable disponer de los mecanismos que garanticen la generación y acopio de datos.

El acelerado desarrollo alcanzado por la tecnología computacional, no sólo en lo que respecta al equipo, sino también en la diversidad de campos de aplicación a los que se ha abierto, ofrece actualmente una herramienta diseñada específicamente para facilitar y apoyar las tareas relacionadas con el análisis espacial, conocida como Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los SIG son sistemas diseñados para la captura, almacenamiento, manipulación y análisis de información en donde la ubicación espacial constituye el elemento fundamental. El análisis conjunto derivado de la combinación de información gráfica en forma de mapas y atributos asociados da a los SIG su particular potencial de aplicación al sector transporte.

La utilización de los SIG en el transporte atiende a tres funciones primordiales:

- a) Integración de los datos.
- b) Análisis geográfico de la información.
- c) Despliegue y representación espacial de la información.

Tales características, despertaron el interés del Instituto Mexicano del Transporte por formular un estudio exploratorio con el propósito de profundizar en el universo de lo que son y lo que ofrecen los referidos sistemas al sector transporte para proponer, su utilización a las áreas del sector para cuyas actividades los SIG resultarán ser una herramienta verdaderamente útil en función de criterios como ahorro de tiempo, facilidad de manejo, efectividad de los procesos y confiabilidad de resultados; en pocas palabras, ganancia en eficiencia y efectividad en el trabajo.

<sup>1</sup> Los Sistemas de Información y el Transporte. Publicación Técnica 32. IMT, Méx. 1992. Pp. 1-39

Históricamente, el primer SIG nace a principios de los años sesenta en Canadá (Canadá Geographical Information System, CGIS) como respuesta a los problemas de competencia por el uso de suelo que dicho país enfrentaba.

Posteriormente, en los años ochenta, los SIG no sólo diversificaron sus campos de aplicación, sino que también trascendieron sus fronteras y arribaron a algunos países del mundo subdesarrollado.

En el caso particular de México, su introducción ha obedecido más a inquietudes individuales que a esfuerzos institucionales; sin embargo, su utilidad se ha difundido con impresionante rapidez y ha logrado despertar el interés de organismos públicos que los han incorporado como herramienta de trabajo. Son los casos de la Comisión Federal de Electricidad, el INEGI, Pemex, Sedue, Conasupo, el D.D.F., el I.N.I., además de diversas entidades estatales y municipales e instituciones académicas como los Institutos de Ingeniería y Geografía de la UNAM, el Colegio de México, la Universidad Autónoma Metropolitana, el Conalep, entre otros.

El horizonte de aplicación de los SIG se extiende a todos los modos de transporte abarcando un amplio espectro de posibilidades, que van desde el ámbito nacional hasta escalas locales, o bien, desde el nivel de detalle de algún elemento hasta la totalidad del sector, contando con la capacidad de responder a las necesidades particulares de los diversos agentes involucrados en el transporte.

Los SIG, si bien cuentan con versátiles funciones de integración y procesamiento de información en combinación con avanzadas formas de despliegue y representación, no garantizan por sí mismos la solución inmediata de los problemas abordados, por lo que es condición indispensable identificar y comprender las características de funcionamiento de los sistemas, a fin de definir su capacidad y potencial de utilización. Asimismo, es necesario cumplir satisfactoriamente con una serie de requerimientos de instrumentación.

Los SIG tienen ventajas comparativas sobre los sistemas genéricos de información, debido a que además de las funciones de organización y manejo de datos, incorporan al

análisis la variable espacio, mediante la referencia geográfica de localización, elemento clave que posibilita la integración de los distintos archivos y su representación territorial.

Los SIG, están diseñados para responder dos preguntas fundamentales:

- ¿Cuáles son las relaciones espaciales inherentes a los datos?
- ¿Cuáles son los datos de una localización específica?

#### 4.2. HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE STANDARS MODEL III<sup>2</sup>

El modelo de normas de diseño y mantenimiento de carreteras (HDM) es un conjunto de programas de computadora desarrollado por el Banco Mundial como una herramienta para evaluar la conservación vial desde un punto de vista financiero. Este modelo permite a los investigadores evaluar políticas, normas y programas de construcción y conservación de carreteras aplicando los resultados de las investigaciones empíricas a las relaciones físicas y económicas del deterioro de caminos. El modelo permite calcular la rentabilidad que resulta de la aplicación, durante un plazo de 15 o más años, de una determinada política de conservación a las carreteras.

El modelo<sup>3</sup> <sup>4</sup>contiene relaciones empíricas validadas estadísticamente que se emplean para simular la mayor parte de esos efectos. Con datos sobre los caminos existentes y su estado y estimaciones del volumen y composición del tráfico futuro, es posible evaluar distintas alternativas de mantenimiento para un enlace vial, un grupo de caminos con características semejantes o toda una red de caminos pavimentados o sin pavimentar.

El modelo permite calcular los costos globales de aplicar determinadas políticas de mantenimiento y construcción, los costos de funcionamiento de los vehículos y las

---

<sup>2</sup> The Highway Design and Maintenance Standard Model. Vol. I Description of the HDMIII World Bank. 1987

<sup>3</sup> El Deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo. Causas y Soluciones. Banco Mundial, 1988.

<sup>4</sup> Caminos. Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales. CEPAL 1992. Pp. 175-190.

corrientes cronológicas de los costos totales del ciclo de vida útil de los caminos actualizados empleando distintas tasas para llegar a los valores actuales netos o las tasas de rentabilidad internas.

Se requiere, como punto de partida, agrupar en diversas categorías los distintos tramos de la red que tengan características similares como son el clima, la topografía, el volumen de tránsito, el tipo de superficie de rodamiento, el tipo de diseño utilizado, la historia de las conservaciones aplicadas en el pasado, y el estado actual de los tramos. Cada parámetro debe definirse con cierto detalle, por lo que se requieren estudios previos. De no contar con todos los datos, puede recurrirse a estimaciones, aunque esto resta precisión a los resultados.

Con el HDMIII se puede establecer, de modo hipotético, el deterioro que irán sufriendo año por año las carreteras por efecto del tránsito y del clima previstos a lo largo de un periodo determinado de tiempo. En los años en que corresponda, se simula la aplicación de los trabajos físicos de conservación correspondientes a cada una de las alternativas que se evalúan.

Las opciones abarcan todas las modalidades técnicas actualmente en uso y se simula la evolución de las condiciones de la red vial a lo largo del periodo que interesa analizar.

El modelo permite también determinar los costos que implica la ejecución de las diversas opciones de conservación que se estudian. Considera como beneficios el ahorro en los costos de operación de los vehículos y la aplicación de una política adecuada, en comparación con los mayores gastos que implica no realizar ningún tipo de conservación. Una vez que se han calculado los costos y los beneficios de cada alternativa, el modelo puede estimar su rentabilidad.

Gracias a éstas y otras propiedades, el modelo puede procesar simultáneamente varias políticas diferentes de conservación aplicadas a toda la red vial, lo que posibilita elegir la mejor política de largo plazo para cada tipo de camino.

A pesar que el HDM y otros programas similares tienen importantes capacidades, también tienen numerosos inconvenientes. Entre tales inconvenientes deben mencionarse la gran cantidad de resultados que arroja y los esfuerzos y recursos adicionales requeridos para formular la política a aplicar de acuerdo a los resultados obtenidos.

Los resultados se presentan en forma de gráficas y se comentan verbalmente. De los mapas y gráficas, pueden desprenderse claramente la diferencia entre conservar adecuadamente la red y no hacerlo. La conservación adecuada ofrece un estado medio de la red muy superior al que se llega con la aplicación de otras políticas y los costos en que deben incurrir los usuarios son significativamente más bajos. Además los costos para el organismo vial son también menores, pues la buena conservación evita casi por completo la onerosa reconstrucción de los caminos.

#### 4.3. SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS<sup>5</sup>

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) es una metodología adaptada a las condiciones y recursos nacionales para detectar y manejar las necesidades de mantenimiento, refuerzo y en su caso, reconstrucción de los pavimentos.

El SIMAP permite disponer de un banco de información para que de manera simple y fácil se ponga en marcha un mantenimiento ordenado y sistemático de los pavimentos existentes con su priorización detallada y con la participación de todos los elementos involucrados, permitiendo implantar un plan de conservación preventiva. El Sistema se puede definir como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afectan la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos, permitiendo una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles.

El SIMAP está compuesto básicamente por 7 subsistemas:

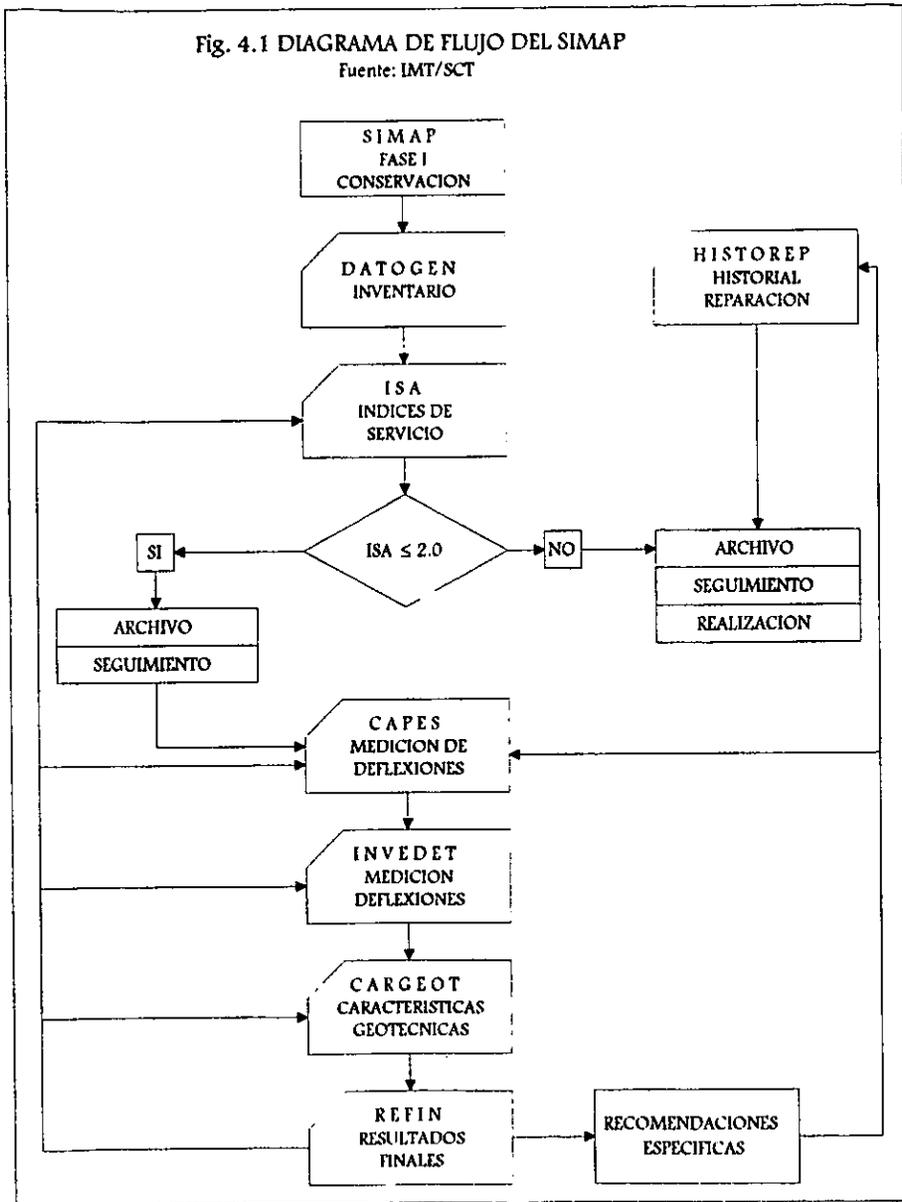
- 1) El DATOGEN que registra y archiva los datos generales de ubicación y de tránsito,
- 2) El ISA que procesa los índices de servicio actuales de las carreteras en estudio;
- 3) El CAPES que procesa deflexiones obtenidas en el campo para obtener refuerzos necesarios;
- 4) El INVEDET que maneja los inventarios de fallas o deterioros de tramos evaluados;
- 5) El HISTOREP que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento efectuadas;
- 6) El CARGEOT que se encarga de procesar las características geotécnicas de las estructuras del pavimento y sus alrededores y por último,
- 7) El REFIN que se encarga de procesar la información para llegar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir (Fig. 4.1).

El objetivo prioritario del sistema es ayudar a los responsables a administrar los problemas operativos con herramientas destinadas a satisfacer necesidades bien definidas poniendo sólo los datos necesarios en forma adaptada a disposición de los responsables, desarrollando sistemas lógicos de colección, archivo y tratamiento de la información, puestos al día permanentemente. Para uniformizar los criterios a escala nacional, facilitar y hacer más eficiente el proceso de corridas de programas de cómputo se hace uso de nomenclatura para identificar a las carreteras.

El sistema registra en subsistemas el monitoreo, el registro fotográfico, la estructura reforzada, los materiales utilizados, los incidentes en proceso, la construcción, la capacidad estructural, las inspecciones visuales, la calidad de rodamiento, la evolución gráfica, además de las alternativas de rehabilitación, selección de estrategias y retroalimentación. El manual operativo del SIMAP describe con detalle y simplicidad la metodología para obtener los datos o parámetros en el tramo en estudio, así como el llenado de los seis formatos básicos empleados para poder entrar al sistema. A continuación se describen dichos formatos básicos:

---

<sup>3</sup> Una Estrategia para la Conservación de la Red Carretera. Documento Técnico 11. IMT. Méx., 1995.



Subsistema DATOGEN (Datos Generales). Se alimenta de los datos vaciados en el formato origen-destino de la carretera y el tramo por evaluar, kilometrajes de inicio y fin del tramo específico y coordenadas geográficas correspondientes en grados y minutos.

Fundamentalmente actúa como un archivo fijo y permanente, con opción a actualizar los datos. También proporciona datos de entrada al siguiente subsistema para alimentarlo con el TPDA en ambas direcciones, su clasificación desde 2 ejes o más, el peso promedio de los vehículos pesados, la carga máxima por eje y la tasa de crecimiento en porcentajes.

**Subsistema ISA (Índice de Servicio).** Se alimenta de datos obtenidos en el campo, sobre la condición del pavimento al momento de evaluarlo, a través de parámetros o calificaciones subjetivas o valores medidos. Su función más importante consiste en determinar los tramos por arriba o por abajo del límite permisible del índice de servicio (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, mientras que los valores menores al permisible sí requieren atención inmediata y pasan a ser procesados por los subsistemas siguientes.

**Subsistema CAPES (Capacidad Estructural).** Utiliza valores de las deflexiones obtenidas en los tramos con atención urgente. Procesa estadísticamente los valores de entrada para obtener la deflexión promedio y característica, incluyendo sus factores de ajuste. Analiza deflexiones mayores o menores a las permisibles y calcula los espesores de refuerzo del pavimento, proporcionando opciones en función de la disponibilidad de recursos. Los tramos con deflexiones mayores al límite permisible requieren de un análisis más a fondo para conocer las causas de tal deficiencia estructural.

**Subsistema INVEDET (Inventario de Deterioros).** Los datos básicos de entrada son provenientes del campo. El subsistema procesa las fallas o deterioros más comunes en pavimentos de concreto asfáltico, comparando los valores con especificaciones o recomendaciones nacionales para determinar si son o no aceptables. En el caso de resultar aceptables o tolerables, el programa pasa a analizar los datos del siguiente subsistema. Cuando resultan inaceptables, el sistema busca en el archivo del subsistema REFİN las posibles causas del deterioro y las soluciones más recomendables de reparación.

**Subsistema HISTOREP (Historial de Reparaciones).** Informa básicamente sobre las reparaciones efectuadas en los últimos 5 años, lo que sirve para conocer las

intervenciones y su periodicidad a lo largo de la vida útil del pavimento. Relaciona las deflexiones características obtenidas del subsistema CAPES con las fechas más recientes de intervención, y así investigar en su archivo y recomendar soluciones de estudio inmediato.

**Subsistema CARGEOT (Características Geotécnicas).** Analiza todos y cada uno de los parámetros obtenidos en el campo sobre características geotécnicas esenciales que influyen terminantemente en el comportamiento y duración del pavimento analizando y comparando los valores con las normas y recomendaciones vigentes en el sector.

**Subsistema REFIN (Resultados Finales).** Se encarga de realizar la interacción de los resultados parciales de los 6 subsistemas preliminares para obtener recomendaciones de mantenimiento preventivo o correctivo terminales, en función de las evaluaciones, mediciones y observaciones realizadas y procesadas modularmente en cada subsistema.

No obstante su utilidad, los sistemas de administración de pavimentos son incapaces de ofrecer una imagen geográfica de la situación de la red, información que facilitaría plantear la estrategia de conservación y la programación de actividades a seguir y que es posible obtener con apoyo de un SIG. Por eso, el IMT sugiere incorporar como módulo adicional un SIG, para enlazar sus datos con un sistema de referencia locacional.

#### 4.4. SISTEMA DE PUENTES DE MÉXICO<sup>6 7</sup>

Hasta antes de 1982 no se contaba en México con ningún procedimiento definido para llevar a cabo sistemáticamente el mantenimiento de puentes de la Red Carretera Federal. Se daba atención a las estructuras conforme se detectaba que tenían problemas graves o cuando, a juicio del ingeniero residente, debían efectuarse trabajos de mantenimiento o

<sup>6</sup> Revista Ingeniería. Facultad de Ingeniería, UNAM. Marzo- Abril. Pp. 175-180

<sup>7</sup> Revista Ingeniería Civil núm 320. Dic. 1995. Pp. 27-33

reforzamiento. En 1981 las autoridades de la SCT tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- No se sabía si las estructuras podrían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales, de acuerdo con el Reglamento de Pesos y Dimensiones, publicado en 1980.
- Se desconocía el número de puentes existentes en la red.
- No se contaba con un sistema que permitiese efectuar de manera ordenada y metódica el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior, se decidió proceder a levantar un inventario nacional de puentes; tomándose en cuenta las consideraciones técnicas, geométricas y de ubicación de las estructuras, así como la naturaleza y magnitud de los daños que presentaban. El inventario fue terminado en 1982, obteniéndose que la Red Federal de Carreteras contaba con 4,500 puentes; pero el inventario tuvo muchos errores y omisiones, se le fue perdiendo confianza y finalmente se abandonó al no poder ser actualizado periódicamente.

En 1991, dió inicio una investigación a nivel mundial para saber si se contaba en algunos países con un sistema para el mantenimiento de los puentes y ver la posibilidad de que se implantara uno de ellos en nuestro país. Se encontró que en Dinamarca existía el sistema conocido con el nombre de DANBRO (Sistema de Mantenimiento de Puentes), desarrollado por el Directorado del Ministerio del Transporte, el cual era sencillo de aplicar, moderno, y se había adoptado también con buenos resultados en otros países como Arabia Saudita, China, Taiwan, Tailandia e Indonesia.

Conviene mencionar que por aquellos días no se contaba en México con ningún sistema que pudiera ser implantado para los fines correspondientes y el sistema DANBRO por sus características podía aplicarse a las necesidades prevalecientes en los puentes de México, por lo que en el año de 1992 fue firmado con el Directorado Danés de Carreteras la Primera Fase del Sistema de Puentes de México, SIPUMEX, cuyos objetivos fueron:

1. Garantizar que el mantenimiento de los puentes de la Red Federal se lleve a cabo de manera óptima.
2. Jerarquizar las necesidades de los proyectos de rehabilitación y de la ejecución de las obras.
3. Realizar una optimización de los presupuestos anuales.
4. Efectuar proyecciones presupuestales para un periodo de 5 años.

SIPUMEX permite tomar decisiones sobre la conservación y rehabilitación de los puentes con base en su estado físico y estructural, y su primera fase fue constituida por las siguientes actividades:

**Inspecciones principales.** Son inspecciones visuales de las estructuras para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. En estas inspecciones principales, se consideran la entidad federativa en que se ubica la estructura, la carretera, el kilometraje, el tramo, el año de construcción, el tipo de estructura, los materiales de que están construidas, el tránsito diario promedio anual, su clasificación, etc. En estas inspecciones se otorga una calificación a la estructura, con escala 0 a 5, siendo 0 cuando la estructura no presenta daños en ninguno de sus elementos, y 5 cuando se considera que está al borde de la falla.

**Inventario.** Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la Red Federal Carretera, resultando que el número de éstos era de 6,346, clasificándose por entidad federativa y especificando cuáles son peatonales.

Los principales problemas que presentan las estructuras consisten en:

- Agrietamiento de nervaduras y trabes por esfuerzo cortante y por flexión.
- Fallas de apoyos de concreto (mecedoras) con placas de plomo.
- Inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de la cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.

**Análisis beneficio-costos.** Se realiza en función de las alternativas de reparación, costos de operación, desviaciones del tránsito y costos de reparación.

**Inspecciones rutinarias.** Son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad diaria del tránsito.

**Mantenimiento menor y limpieza.** Ejecución de trabajos menores, tales como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes, reparación de parapetos.

**Evaluación de la capacidad de carga.** Es un análisis para evaluar la capacidad de carga remanente de las estructuras y su capacidad para satisfacer los requerimientos que les impone el paso de los vehículos.

**Inspecciones especiales.** Inspecciones detalladas con el uso de equipo especial, para determinar los daños y sus causas y programar los proyectos de rehabilitación.

**Jerarquización de los trabajos de rehabilitación.** Se establecen prioridades para los trabajos de refuerzo o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las inspecciones principales, con base en la condición de los puentes, capacidad de las estructuras para distribuir la carga y el tránsito diario promedio anual.

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la fase 2, cuyos trabajos finalizaron a finales de 1996. Esta segunda fase incluye las siguientes actividades:

**Sistema de archivo.** Manejará todo el sistema de archivo del SIPUMEX.

**Diseño y reparación de puentes.** Preparación de un manual de diseño de reparaciones con base en las inspecciones especiales.

**Diseño y especificaciones para puentes nuevos.** Incluye el ajuste a las normas de diseño existentes con base en la experiencia obtenida de las inspecciones.

**Rutas para el transporte pesado.** Establecimiento de rutas para vehículos pesados especiales, de modo que no provoquen daño a los puentes.

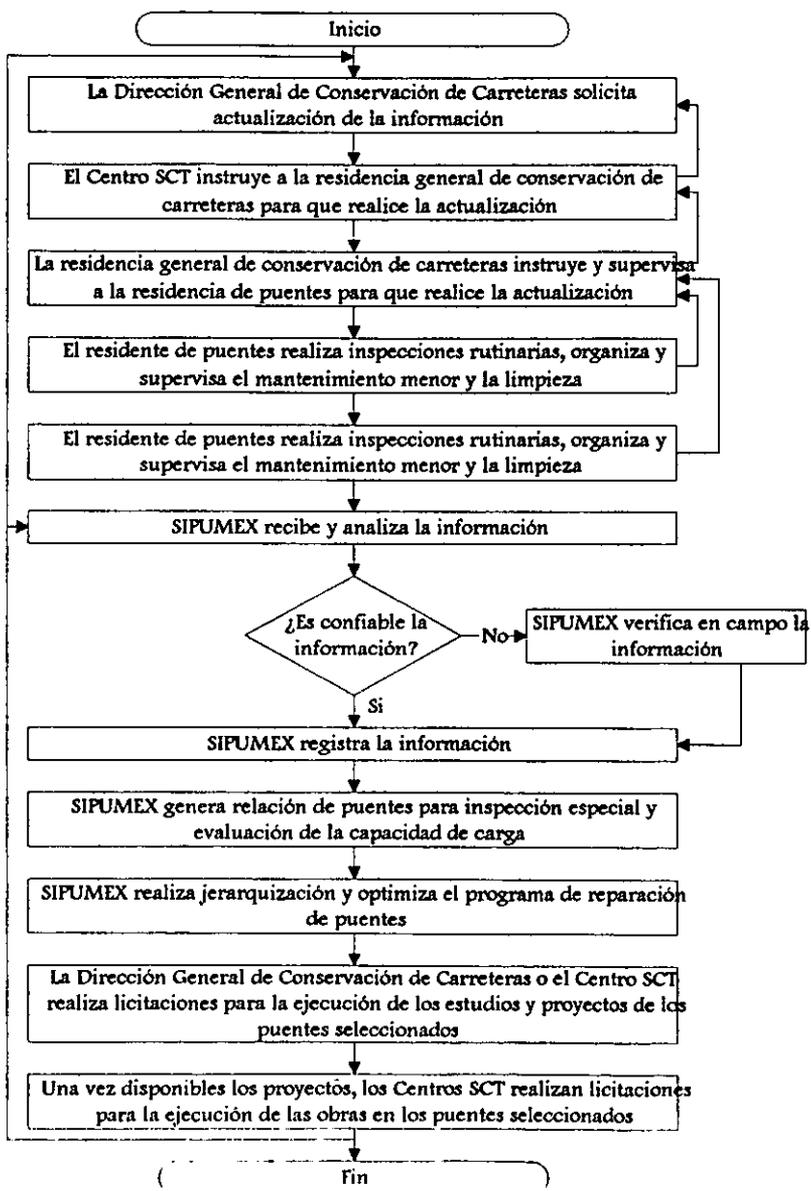
**Presupuesto y control de avance.** Sistema que elabora presupuestos y controla los avances de los trabajos.

**Mapa de puentes.** Sistema para localizar los puentes de la red en mapas.

**Libro de precios.** Elaboración de un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.

Fig. 4.2 DIAGRAMA DE FLUJO DE SIPUMEX

Fuente: DGCC/SCT



**Supervisión de obra.** Introducción de nuevos procedimientos de supervisión de obra, incluyendo manuales.

**Juntas asfálticas para puentes de concreto.** Entrenamiento en diseño y construcción de juntas de expansión para puentes.

**Fotografías.** Establecimiento de una base de datos que contendrá fotografías de los puentes, tomadas durante las inspecciones principales.

Para que el Sistema funcione adecuada y permanentemente, es necesario:

1. Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias Generales de Conservación de Carreteras.
2. Actualizar sistemáticamente la base de datos por lo menos una vez al año.
3. Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación.
4. Corregir errores y malas aplicaciones conforme se vaya adquiriendo experiencia.

A través de SIPUMEX la DGCC podrá contar con la organización efectiva para el mantenimiento de puentes con una filosofía y estrategias claras.

#### **4.5. SISTEMA DE SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO VIAL**

El Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER) ha sido desarrollado por una sociedad europea de ingeniería. Su finalidad es permitir describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución de la red y proporcionar todos los resultados financieros y económicos necesarios para evaluar las estrategias.

La originalidad del programa radica en el hecho de que define simultáneamente los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de la carretera, simulando el comportamiento de la red en el corto, mediano y largo plazo, de acuerdo con diferentes escenarios presupuestales.

El SISTER está al servicio de los responsables encargados de la definición de la política de mantenimiento permitiéndoles soportar sus proposiciones durante la

presentación a las autoridades políticas y argumentar con los organismos financieros nacionales e internacionales.

El programa no es ambicioso y pretende solamente ser una herramienta. No va a reemplazar la experiencia del hombre que va a diseñar sus propias estrategias en función de los techos financieros, de los apremios diversos y de los objetivos definidos. Es por eso que no puede ser utilizado por cualquier técnico; debe ser manejado solamente especialistas con experiencia en campo y capaces de realizar la síntesis de todos los fenómenos que son las causas de los defectos aparentes.

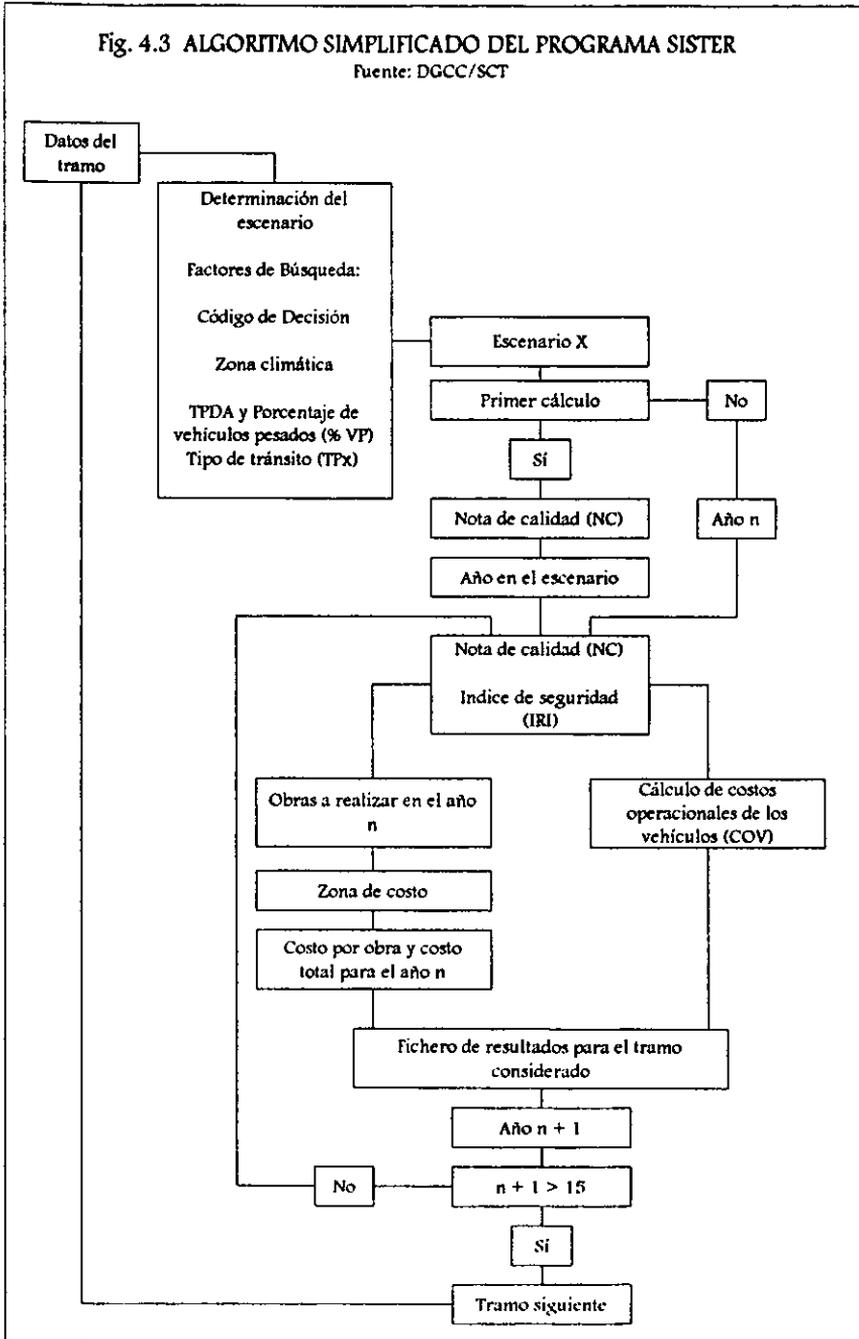
El programa recurre a la experiencia del especialista encargado y permite su adaptación rápida a situaciones particulares tanto técnicas como de investigación. Permite entonces verificar estrategias de mantenimiento definidas por el usuario y de medición de los efectos a largo plazo sobre la evolución técnica de la red, su nivel de servicio y de las necesidades presupuestarias.

Cada estrategia está compuesta por un cierto número de escenarios que se refieren a condiciones particulares como el clima, el nivel de tráfico y la política general en materia de rehabilitación. Así, dentro de una misma estrategia, resaltan los principios generales de la política vial y se pueden diferenciar los tratamientos particulares de grupos de tramos homogéneos.

La estrategia y cada uno de sus escenarios son descritos a lo largo de todo un ciclo de vida de la carretera, cuya duración es fijada para utilizarse en función de la estrategia y de las condiciones particulares de los grupos de trabajo homogéneos. Cada ciclo de vida se termina normalmente con una rehabilitación o al menos con un trabajo de refuerzo de la carretera. Cuando este año es alcanzado, el programa regresa sobre el primer año y no comienza el siguiente hasta el año del fin del proyecto. La red carretera es dividida en tramos homogéneos de acuerdo con varios parámetros, que están ligados en particular por su identificación administrativa, su zona geográfica, su nivel de tráfico, su estado actual, sus características geométricas y su código de decisión. Cada tramo carretero es una rama sobre la crónica de su estado resultante de un inventario previo muy reciente.

Fig. 4.3 ALGORITMO SIMPLIFICADO DEL PROGRAMA SISTER

Fuente: DGCC/SCT



Esta nota permite al programa poner al día el tramo en relación con su escenario teórico de evolución para la estrategia estudiada.

El modelo considera dos tipos de vehículos: los ligeros, combinación de vehículos particulares, camionetas, pick-ups, etc, y los pesados, combinación de autobuses, camiones simples y articulados, etc.

El estado de la red está caracterizado por dos notas: una nota de calidad representativa de su estado estructural y una nota de rugosidad representativa de su nivel de servicio al usuario.

Los costos de operación de los vehículos (COV) están estimados para permitir las comparaciones económicas de las estrategias consideradas. La variable explicativa principal es el estado de la superficie de la carretera, medido por la nota de rugosidad.

El SISTER no toma en cuenta la naturaleza del terreno (plano, lomerío, montañoso), considerándolo prácticamente plano, lo que evita la captura de esta información y también la división en tramos de la red demasiado pequeños.

El estándar técnico de la carretera esta tomado en cuenta en un cálculo normalizado que considera los valores promedio de la velocidad posible y de las características geométricas del trazado en planta y del perfil longitudinal de una carretera en terreno de lomerío para cada uno de los estándares elegidos.

El programa compara todas las estrategias generadas con una de referencia definida por el usuario, calcula el balance actualizado y la relación entre el beneficio en los COV y los costos adicionales de mantenimiento. Para caracterizar los tramos de carreteras y diferenciar los escenarios de degradación y los precios unitarios de obra, es necesario dividir el país en diferentes zonas.

Para los tres parámetros utilizados se define un código y un nombre y son:

- Zonas climáticas. Permite diferenciar la velocidad de degradación ligada a las condiciones climáticas y geotécnicas de la región, así como ajustar los escenarios de mantenimiento.

- Zonas de costos. Permite diferenciar zonas bien comunicadas, donde los precios son relativamente bajos y las zonas más aisladas, donde los precios son más elevados en razón de los costos de traslado de los materiales necesarios.
- Zonas administrativas o entidades responsables.

El tipo de decisión debe ser tomado de acuerdo al:

1. Mejoramiento previo de la carretera.
2. Mantenimiento normal inmediato.

Cada tipo de trabajo está caracterizado por un código y un nombre que permiten un punto de referencia en los siguientes módulos, ediciones claras y bien documentadas. Un código convencional localiza los precios unitarios según su modo de aplicación.

Por otra parte, es necesario diferenciar las carreteras según el nivel de tránsito que soportan, o si es necesario realizar los trabajos de reforzamiento antes de comprometerse con una política de mantenimiento normal.

Las estrategias son definidas por los parámetros siguientes:

- Identificación, código, nombre.
- Campo de aplicación, zona climática, clase de tráfico, decisión en cuanto al estatuto, a la prioridad, etc.
- Descripción año por año, año de reparación, nota de calidad de la estructura, nota de rugosidad, naturaleza de los trabajos.

Los precios unitarios son proporcionados en forma de precios base modificables en función al promedio de coeficientes estándares introducidos por el usuario.

Con el SISTER, el usuario describe las estrategias de mantenimiento que se desean probar y comparar. Existen tantos escenarios como combinaciones de valores para los parámetros característicos. Pero, cuando dos estrategias son muy semejantes, existe un procedimiento especial que permite derivar una estrategia de otra antes definida.

Antes de empezar el cálculo se verifica la coherencia de la estrategia. El programa describe la red troncal por tramo. Para cada uno de ellos busca el escenario

correspondiente a su zona climática y a su clase de tránsito, se divide en este escenario el año correspondiente al valor de las notas de calidad estimadas para el primer año, después la descripción hasta el último año.

El último año corresponde a una rehabilitación, que permite empezar de nuevo la descripción del escenario. Para cada año el programa prevé los valores de los parámetros útiles para la sucesión de los cálculos, esencialmente el tránsito, las notas de calidad, la naturaleza de los trabajos y sus códigos, así como los COV.

El programa permite también listar los trabajos considerados por orden de urgencia con el fin de preparar una programación plurianual.

Los resultados están almacenados en ficheros informáticos que pueden ser visualizados en la pantalla o impresos en forma de tablas o gráficas. Pueden también ser exportados a hojas de cálculo y/o hacia bases de datos para realizar tratamientos adicionales o preparar documentos con gráficas personalizadas.

Las tablas y las gráficas contienen las cantidades acumuladas de tres variables principales: kilometraje, costo de las obras y los COV. Las tablas pueden tener hasta 4 dimensiones definidas por el usuario (gráfica hasta tres dimensiones), lo que permite clasificar los resultados según una combinación de parámetros.

La información que se vaya teniendo se irá ampliando y confirmando con los años.

---

## CAPITULO 5

### EVALUACION Y PERSPECTIVAS AL AÑO 2006

---

Las labores relacionadas con la conservación de carreteras han sufrido una fuerte transformación al tenerse que racionalizar los recursos y hacer más eficientes las actividades por realizar. Es un hecho que a pesar de los esfuerzos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la red carretera se sigue deteriorando lo que ha puesto de manifiesto la necesidad de establecer prioridades en los programas anuales de la dependencia. Por tal motivo, la Dirección General de Conservación de Carreteras ha venido utilizando un programa informático especializado llamado SISTER.

#### 5.1. USO DEL PROGRAMA SISTER

Como ya fue descrito en el Capítulo 4, el SISTER<sup>1 2</sup>, permite preparar y comparar varias estrategias de mantenimiento carretero, prevé la evolución de la red, la programación de las obras y las consecuencias futuras que tendrán las elecciones presentes.

La finalidad de esta simulación informática es obtener presupuestos e indicadores económicos que permitan evaluar y comparar las estrategias de mantenimiento. Tales estrategias deben cumplir los siguientes objetivos:

- Constituir un marco económico para decidir niveles óptimos de financiamiento del mantenimiento y del estado de las carreteras en el conjunto del país, tanto a largo como a corto plazo.
- Permitir la programación y realización de los trabajos.

---

<sup>1</sup> XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito. Experiencia Mexicana en la Conservación de Carreteras.

<sup>2</sup> Capítulo 4, Subcapítulo 4.5. Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial, SISTER. Pp. 110-116

- Ofrecer métodos para preparar los programas anuales de trabajo del Sector y definir los requisitos en materia de recursos y presupuestos.
- Racionalizar y optimizar el reparto de fondos entre las diferentes labores de mantenimiento y las diferentes administraciones.
- Permitir el control de la realización de los trabajos y verificar su eficacia.

Las estrategias son generadas por la SCT, por medio del Departamento de Planeación y Estrategias y son avaladas por la Dirección General de Conservación de Carreteras.

Esta dependencia dio inicio en 1992 a un proyecto cuyo principal objetivo fue el establecimiento de varias estrategias alternativas de mantenimiento integral, compararlas por medio de simulaciones de la evolución de la red a largo plazo, y medir las consecuencias de la elección de una determinada estrategia en términos financieros, económicos y nivel de servicio al usuario.

El periodo de estudio fue de 15 años, del año 1992 al año 2006 e integraba a toda la red federal, sin incluir a las carreteras estatales ni a los ramales no registrados a cargo de la SCT. Este estudio permitió la generación de estrategias de tipo normal, reducido y de rehabilitación rápida, las cuales se describen más adelante.

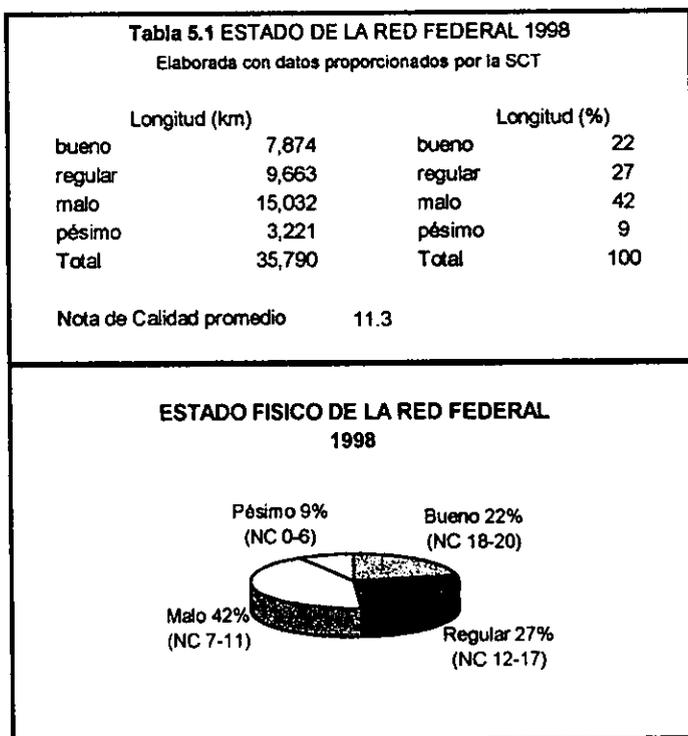
El SISTER no está limitado en cuanto al número de rutas y de tramos y se ha trabajado sin problema en una red de 42,000 km de longitud que incluye 450 rutas con tránsito variable y 1,574 secciones con tránsito diferente y 4,000 tramos.

Para el proyecto fueron definidas 87 rutas correspondientes a 25 itinerarios de mayor importancia y a 62 menos importantes. Cada tramo de la red pertenece a una ruta, por lo que es posible proporcionar resultados a nivel de cada ruta y asignar a ciertas rutas la estrategia deseada por medio de un factor de decisión.

El SISTER no tiene límite en el número de estrategias posibles de generar. Basta un cambio en los datos de entrada para que una estrategia existente se convierta en una estrategia totalmente nueva.

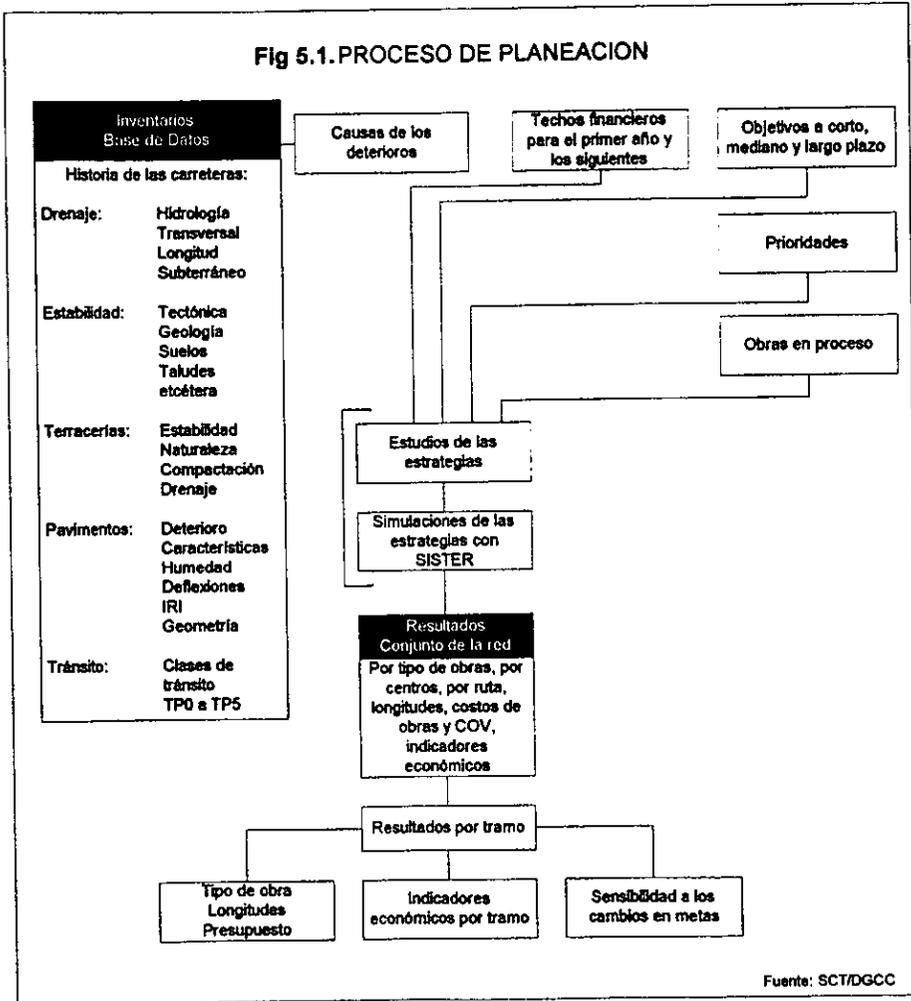
Como resultado de la simulación se obtiene una lista de obras deseables; misma que constituye un programa de estudios técnicos de primera prioridad para definir con precisión el tipo y el monto de las obras a realizar.

Para situarnos en el manejo del programa SISTER, revisemos el estado en que se encuentra la red carretera federal y hagamos una rápida evaluación de la misma. La Tabla 5.1., indica que la red se encuentra en un estado regular y malo principalmente (nota de calidad entre 10 y 12), equivalente al 69% del total de la red; el 9% se encuentra en estado pésimo, mientras el 22% tiene un estado bueno.



De esta forma, es fácil identificar que nuestros esfuerzos deben estar encaminados a eliminar ese 9% de la red en estado pésimo y a reducir el 42% que se encuentra en estado malo. Para entender como funciona el programa SISTER, revisemos su proceso de planeación definido en la figura 5.1., y hagamos las siguientes consideraciones:

1. Al contar con una base de datos viales<sup>3</sup>, es posible conocer las características de cada tramo y de cada carretera en particular.



2. Las investigaciones hechas por el IMT<sup>4</sup>, permiten conocer las causas de los deterioros en pavimentos. Dicha investigación se complementa con un examen y un análisis minucioso de cada problema, para tener un diagnóstico bien fundamentado.

<sup>3</sup> Cap. 3. Subcapítulo 3.4. Estrategia Nacional de Conservación. Pp. 85-86

<sup>4</sup> Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas. IMT. Publicación Técnica 21.

3. El Programa de Desarrollo del Sector<sup>5</sup> tiene por objetivo el establecimiento e instrumentación de una estrategia de tipo integral y multianual para conservar la red federal, reduciendo los caminos en mal estado en el año 2000. De este Programa ha emanado el Plan Nacional de Conservación de Carreteras Federales para 1997<sup>6</sup>.
4. Para el año 1998 el presupuesto destinado a la conservación de la red carretera fue de 679.1 millones de pesos, lo cual está establecido en el Programa de Trabajo del Sector<sup>7</sup> respectivo.
5. El SISTER tendrá como paso siguiente la simulación informática de la degradación de las carreteras a partir de la asignación presupuestal para el periodo de estudio previamente definido.

5.2. DATOS DE ENTRADA

El formato de entrada del SISTER debe llenarse para todos y cada uno de los tramos que conforman la red carretera y deberá contener los datos generales del tránsito, crecimiento, cargas que soporta, etc. El correcto llenado de este formato nos permitirá contar con documentos informáticos sobre la red carretera y estará constituido por la información estrictamente indispensable para conformar el banco de datos del SISTER (Tabla 5.2)

Tabla 5.2 DATOS GENERALES	
DATO	REGISTRA
Identificación	Ruta, Número de carretera, Centro SCT y km inicial y km final
Situación geográfica	Zona climática y zona de costo
Nivel de registro	Número de carriles, TPDA y % de vehículos pesados
Características geométricas	Nota de calidad y nota de rugosidad
Código de decisión	Políticas que pueden privilegiar tramos más importantes que otros.

La Tabla 5.3. muestra el formato, así como un ejemplo del llenado del mismo.

<sup>5</sup> Cap. 1 Subcapítulo 1.3.2. Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000. Pp. 23-25

<sup>6</sup> Cap. 1, Subcapítulo 1.3.4. Programa Nacional de Conservación de Carreteras Federales 1997. Pp. 27

Ruta	No. Carr	km ini.	km fin.	Zona clima	Zona Costo	Cod. Dec.	Centro SCT	No. de Carriles	TPDA	% VP	Nota Calidad	Nota Rugs.
A	1	0	13	CL2	ZC4	1	BCA	4C	21292	11	15	5
A	1	13	16	CL2	ZC4	1	BCA	6C	21292	11	15	5
A	1	16	25	CL2	ZC4	1	BCA	2C	8030	7	16	4
A	1	25	64	CL2	ZC4	1	BCA	2C	3285	30	10	9
A	1	64	71	CL2	ZC4	1	BCA	2C	1217	26	3	14
A	1	71	95	CL2	ZC4	1	BCA	2C	1217	26	9	9
A	1	95	110	CL2	ZC4	1	BCA	4C	1217	126	9	9

**Abreviaturas:**  
 Núm carr. = Número de carretera  
 Cod. Dec. = Código de decisión  
 TPDA = Tránsito Promedio Diario Anual  
 VP = Vehículos pesados  
 Nota rugo = Nota de rugosidad

El usuario define e identifica el proyecto con:

- Su código y su nombre
- Los datos temporales
  - Año origen del proyecto
  - Duración total del proyecto (hasta 20 años)
  - Los periodos elementales para los cuales serán producidos los resultados
- El año de referencia para los datos del tráfico y tasa de crecimiento futuro promedio del tráfico (% por año)
- Datos concernientes a la moneda utilizada
- Estrategia que servirá de referencia para los cálculos económicos

La red carretera se divide en tramos homogéneos ligados por su identificación administrativa, su localización en zonas geográficas, su nivel de tráfico y su estado actual.

El estado de la red carretera está caracterizado por dos notas:

- La nota de calidad, representativa de su estado estructural<sup>8</sup>, medida de acuerdo al confort del usuario y su seguridad al transitar en una carretera. Se trata de la imagen del estado actual que sirve para situarse en la cronología de las estrategias de mantenimiento, y

<sup>7</sup> Cap. 1. Subcapítulo 1.3.3. Programa Anual de Trabajo de la SCT. Pp. 25-27

- La nota de rugosidad<sup>9</sup>, representativa de su nivel de servicio al usuario, obtenida como la suma de las irregularidades verticales a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo. Se trata de un parámetro determinante para calcular los costos del transporte y en consecuencia para la evaluación económica de las estrategias.

Otros datos de entrada definidos con SISTER son:

**Zonas de costos.** Esta noción permite diferenciar las zonas bien comunicadas donde los precios son bajos y las zonas más aisladas donde los precios son más elevados en razón de los costos de traslado de los materiales necesarios. Para cada zona de costo se aplica un factor a los precios unitarios de base (Tabla 5.4).

Código	Factor de Costos	Nombre
ZC1	1	ZONA DE COSTOS No. 1
ZC2	1.01	ZONA DE COSTOS No. 2
ZC3	0.9	ZONA DE COSTOS No. 3
ZC4	0.84	ZONA DE COSTOS No. 4
ZC5	1.17	ZONA DE COSTOS No. 5

**Zonas climáticas.** Esta noción permite diferenciar la velocidad de degradación de la carretera ligada a las condiciones climáticas y geotécnicas de la región y ajustar los escenarios de mantenimiento, constituyendo un parámetro de la degradación de las carreteras (Tabla 5.5).

Código	Nombre
CL1	ZONAS DESERTICAS Y TEMPLADAS
CL2	ZONAS COSTERAS

<sup>8</sup> Capítulo 2. Subcapítulo 2.6.1. Índice de servicio. Pp. 59-60

<sup>9</sup> Capítulo 2. Subcapítulo 2.6.2. Índice Internacional de Rugosidad. Pp. 60-61

Clases de tránsito. Esta noción se refiere al tránsito circulante sobre un carril, lo que permite argumentar el estudio de su degradación y calcular los costos (Tabla 5.6).

Clase de Tránsito	Número de vehiculos pesados en una dirección	
	Límite Inferior	Límite Superior
TPO	0	75
TP1	76	300
TP2	301	1000
TP3	1001	2000
TP4	2001	6000
TP5	6001	50000

Nota de calidad. El estado de la carretera es definido por un código y un nombre y por los limites inferiores y superiores de la nota de calidad (Tabla 5.7).

Clases de Estado de las Carreteras (/Nota de calidad)			
Código	Límite Inferior	Límite Superior	Nombre de la clase
EC1	18	20	BUENO
EC2	12	17	REGULAR
EC3	7	11	MALO
EC4	0	6	PESIMO

Estándares de las carreteras. El ancho de las carreteras tiene una influencia sobre los costos de mantenimiento siendo proporcionales al número de carriles (Tabla 5.8).

Código	Número de Carriles	Impresión Autoriza	Nombre
2C	2	*	CARRETERA DE DOS CARRILES
4C	4	*	CARRETERA DE 2 X 2 CARRILES
6C	6	*	CARRETERA DE 2 X 3 CARRILES
8C	8	*	CARRETERA DE 2 X 4 CARRILES

Zonas administrativas. Zonas de responsabilidad de los 32 Centros SCT con lo cual se pueden proporcionar resultados por entidad federativa.

Naturaleza de los trabajos. Cada tipo de trabajo está caracterizado por un código y un nombre que permiten tener un punto de referencia en los siguientes módulos, las ediciones claras y bien documentadas. Un código convencional localiza los precios unitarios según su modo de aplicación (Tabla 5.9.).

**Tabla 5.9. Naturaleza de las Obras**

Código	Definición De las Obras	Modo Cálculo
<b>Conservación Rutinaria</b>		
A1	Alrededores de la carretera	L
A2	Conservación Normal del Pavimento	1
A3	Calavereo y bacheo	1
<b>Conservación Periódica</b>		
P1	Renivelación + TSS	1
P2	Renivelación + TSS	1
P3	Renivelación + CA 3 cm	1
P4	Renivelación + CA 5 cm	1
P5	Bacheo TSS	1
P6	Bacheo + TSD	1
P7	Bacheo + CA 3 cm	1
P8	Bacheo + CA 5 cm	1
<b>Reconstrucción y Rehabilitación</b>		
R1	Rehabilitación de acotamientos con TSS	L
R2	Rehabilitación de acotamientos sin TSS	L
R3	Rehabilitación total de carril : BH + TSD	1
R4	Rehabilitación total de carril : BH + CA 3 cm	1
R5	Rehabilitación total de carril : BH + CA 5 cm	1
R6	Rehabilitación total de carril : BH + TSD	1
R7	Rehabilitación total de carril : BH + CA 3 cm	1
R8	Rehabilitación total de carril : BH + CA 5 cm	1
R9	Rehabilitación total de carril : BH + CA 8 cm	1

Factor de decisión. Permite aplicar políticas distintas a varias partes de la red privilegiando tramos considerados importantes y asignar una estrategia al resto de la red.

Precios unitarios. Los precios unitarios son proporcionados en forma de precios de base modificables en función de dos parámetros (zonas de costo y clases de tránsito) resultados promedio de coeficientes estándares introducidos por el usuario.

Costos de operación de los vehículos. Indica los coeficientes de las fórmulas que permiten el cálculo por tipo de vehículo y estándar técnico determinado (Tabla 5.10.).

Tipo de Vehículo.	Estándar de Carretera	Parámetros		
		A	B	C
PL	2C	1662.86	0.042639	0.23906
PL	4C	1662.86	0.042639	0.114049
PL	6C	1662.86	0.042639	0.114049
PL	8C	1662.86	0.042639	0.114049
VL	2C	773.98	0.041136	0.011629
VL	4C	773.98	0.041136	-0.07913
VL	6C	773.98	0.041136	-0.07913
VL	8C	773.98	0.041136	-0.07913

Categoría administrativa. Esta noción permite conocer la localización de los tramos y la edición de los resultados según la categoría administrativa oficial de la carretera.

### 5.3. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO NORMAL

Las estrategias de mantenimiento normal tienen como objetivo conservar la carretera en buen estado a largo plazo y consisten en una serie de obras programadas a lo largo de ciclos de vida relativamente cortos que corresponden a la vida útil de las carreteras. Al final de estos ciclos las carreteras se rehabilitan completamente.

La limpieza y la conservación normal del pavimento se prevén cada año; el bacheo es excepcional y es previsto un año antes del mantenimiento periódico consistente en tratamientos superficiales simples en las carpetas asfálticas y ajustan su frecuencia al nivel de tránsito.

Al final del ciclo de las carreteras se realiza una rehabilitación completa de estas, ya que los ciclos de vida terminan siempre con una nota de calidad igual a  $14^{10}$ , cerca del

<sup>10</sup> Fig. 2.3 Escala del Índice Internacional de Rugosidad (IRI) Pp. 62

límite inferior de la clase de estado regular. Estas obras conciernen a las carreteras en buen estado.

#### 5.4. ESTRATEGIA DE ESPERA

Las carreteras en estado pésimo, malo y regular merecen una atención previa antes de rehabilitarse, por lo que reciben un mantenimiento reducido que evita malgastar los recursos. Con la aplicación de una estrategia de espera se mantiene la carretera con un nivel reducido hasta el año previsto para una rehabilitación completa. A partir de esta fecha empieza el mantenimiento previsto a largo plazo. El mantenimiento consiste en obras esporádicas de limpieza, de conservación del pavimento y a veces de tratamientos superficiales. Después de su rehabilitación, la carretera sigue una política de mantenimiento normal.

Dos estrategias que ejemplifican esto son las llamadas estrategia 10 y estrategia 13. La estrategia 10 corresponde a periodos de espera más largos que la estrategia 13; lo que significa que la primera es menos ambiciosa que la segunda (Tabla 5.11).

Clase de Tránsito	Estrategia de Espera	
	No. 10	No. 13
T1	9-12	9
T2	8-11	9
T3	9	6
T4	6	5
T5	3	3

Las estrategias de mantenimiento normal y la política de rehabilitación permiten una recuperación de la red que depende del programa de rehabilitación que puede ser más eficaz a corto y largo plazo, pero también más costoso. De acuerdo con esto, entre 9 y 12 años se requieren para eliminar toda la red en estado pésimo o malo y la distribución

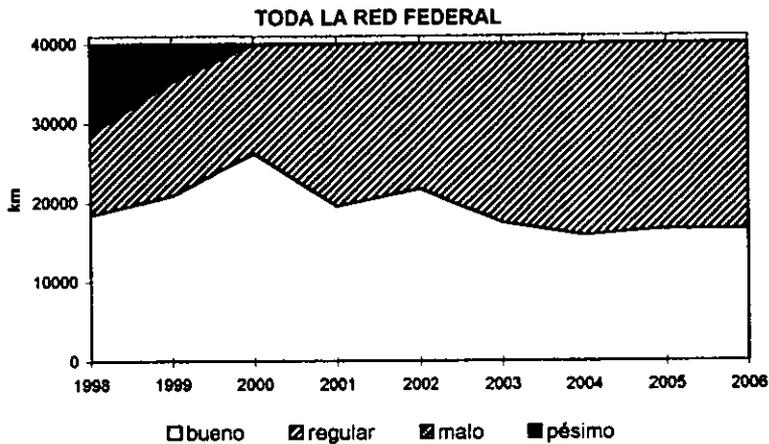
## CUADRO RESUMEN

### ESTRATEGIA 10

#### MANTENIMIENTO NORMAL - REHABILITACION EN 12 AÑOS

Período	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	cúmulo
<b>PRESUPUESTO PREVENTIVO (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	4990	5099	7028	6991	5878	29986
Promedio anual	1663	1700	2343	2330	1959	1999
<b>LONGITUD DE OBRAS (km)</b>						
Total del período						
Tratamiento superficial	12898	3108	6184	6894	11036	40118
Carpeta de concreto	0	171	491	537	28	1227
Rehabilitación	7603	8219	11179	10421	8220	45642
Promedio anual						
Tratamiento superficial	4299	1035	2061	2298	3679	13372
Carpeta de concreto	0	57	164	179	9	409
Rehabilitación	2534	2740	3726	3474	2740	15214
<b>COSTOS DE OPERACION DE LOS VEHICULOS (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	249237	269058	289037	300928	334241	1442501
Promedio anual	83079	89688	96346	100309	111414	96167
<b>BALANCE ECONOMICO (mil millones de pesos)</b>						
Ahorros netos por período						
Presupuesto	-2822	-2845	-4888	-4837	-4287	-19679
COV	-3649	6271	24118	55753	65164	147657
Razón Beneficios/Costos actualizados =			4.16			

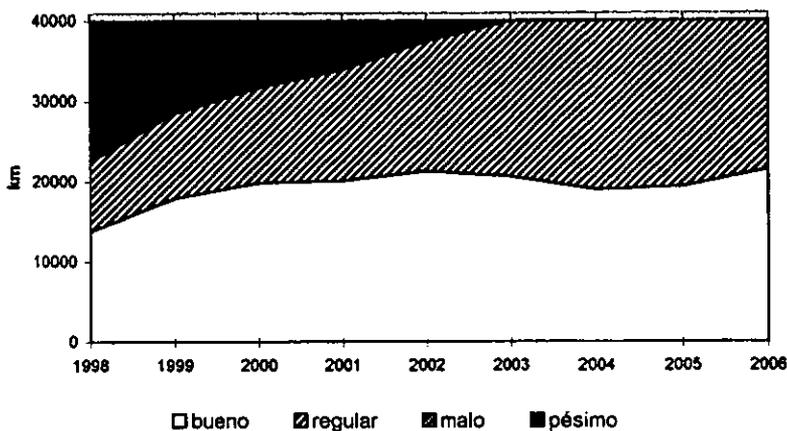
**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 13**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	18459	10144	23	11374	40000	46	25	0	28
1999	20865	14384	0	4751	40000	52	36	0	12
2000	26204	13672	0	124	40000	66	34	0	0
2001	19572	20428	0	0	40000	49	51	0	0
2002	21697	18303	0	0	40000	54	46	0	0
2003	17438	22562	0	0	40000	44	56	0	0
2004	15856	24144	0	0	40000	40	60	0	0
2005	16612	23388	0	0	40000	42	58	0	0
2006	16573	23427	0	0	40000	41	59	0	0

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 10  
TODA LA RED FEDERAL**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	13824	8722	23	17431	40000	35	22	0	44
1999	17922	10545	0	11533	40000	45	26	0	29
2000	19823	11883	0	8294	40000	50	30	0	21
2001	20095	13853	0	6052	40000	50	35	0	15
2002	21266	16229	0	2505	40000	53	41	0	6
2003	20589	19388	0	23	40000	51	48	0	0
2004	18951	21049	0	0	40000	47	53	0	0
2005	19352	20648	0	0	40000	48	52	0	0
2006	21539	18461	0	0	40000	54	46	0	0

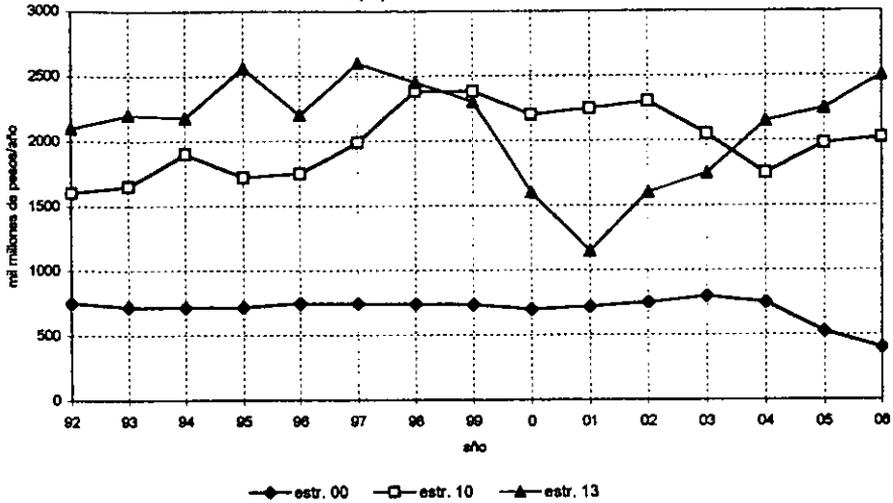
## CUADRO RESUMEN

### ESTRATEGIA 13

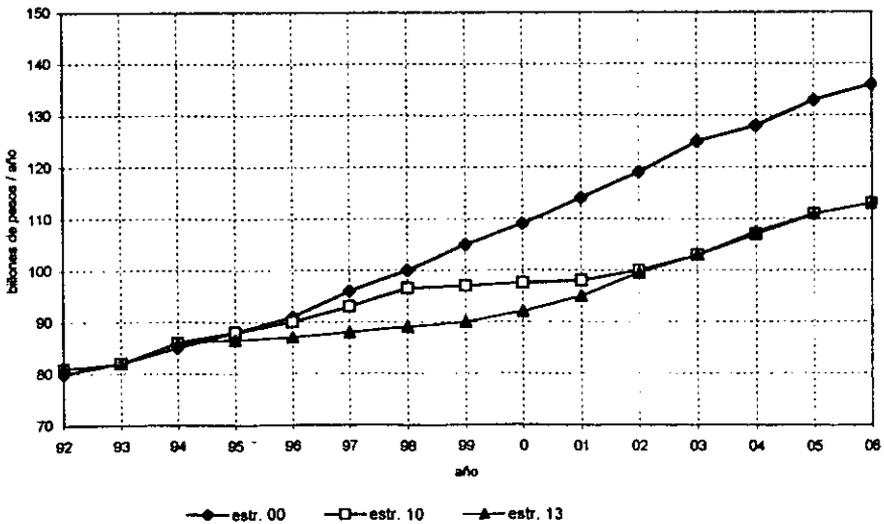
#### MANTENIMIENTO NORMAL - REHABILITACION EN 12 AÑOS

Período	92-94	95-98	99-00	01-03	04-08	cúmulo
<b>PRESUPUESTO PREVENTIVO (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	6507	6464	6922	4828	6831	31552
Promedio anual	2169	2155	2307	1609	2277	2103
<b>LONGITUD DE OBRAS (km)</b>						
Total del período						
Tratamiento superficial	11214	3240	7456	12488	9325	43721
Carpeta de concreto	0	171	491	537	28	1227
Rehabilitación	10892	10350	11174	5297	10196	47909
Promedio anual						
Tratamiento superficial	3738	1080	2485	4162	3108	14573
Carpeta de concreto	0	57	164	179	9	409
Rehabilitación	3631	3450	3725	1766	3399	15971
<b>COSTOS DE OPERACION DE LOS VEHICULOS (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	247425	261324	270866	298544	334765	1412924
Promedio anual	82475	87108	90289	99515	111588	94195
<b>BALANCE ECONOMICO (mil millones de pesos)</b>						
Ahorros netos por período						
Presupuesto	-4339	-4210	-4782	-2674	-5240	-21245
COV	-1837	14005	42289	58137	64640	177234
Razón Beneficios/Costos actualizados =			4.76			

**evolución del presupuesto anual**  
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO NORMAL (10 Y 13)



**evolución de los COV anuales**  
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO NORMAL (10 Y 13)



entre los estados bueno y regular se estabiliza en alrededor de 50% lo que es un objetivo razonable a largo plazo.

Las necesidades por cubrir se estiman entre unos 2,500 km (estrategia 10) y 3,500 km (estrategia 13) al año durante por lo menos 10 años. En ambas estrategias se prevé en 15 años la rehabilitación de alrededor de 40,000 km, sea por reconstrucción o rehabilitación de las carreteras.

La rentabilidad de estas estrategias es alta. La razón de los beneficios contra los costos actualizados sobrepasa 4, lo que pudiera parecer alto, pero que se explica por las pésimas condiciones actuales de la red y por la hipótesis implícita de que las carreteras rehabilitadas se mantendrán en buen estado.

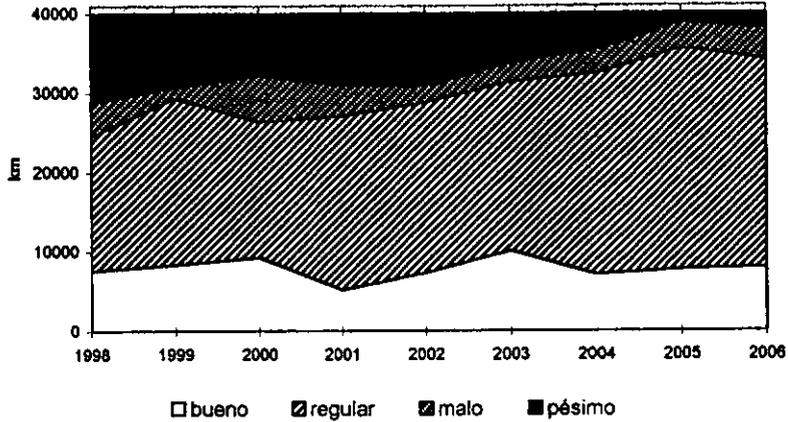
## 5.5. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO REDUCIDO

Para seguir una política de mantenimiento normal se ha diseñado una política de mantenimiento reducido que permita mejorar paulatinamente el estado de la red con gastos intermedios ubicados entre la política actual y el mantenimiento normal.

Las obras previstas contemplan un mantenimiento rutinario de limpieza casi normal con bacheos regulares. El mantenimiento periódico consta de tratamientos superficiales a intervalos regulares adaptados a la intensidad del tránsito con posibles carpetas asfálticas y renivelaciones para las carreteras con mayor tránsito.

Al final del ciclo de vida de las carreteras se realiza una rehabilitación completa para que estén en un estándar compatible con el nivel de tránsito. Los ciclos de vida se terminan con notas de calidad iguales a 1, lo que significa que se espera la degradación completa de la carretera antes de rehabilitarla. Analizando los resultados de la simulación, la estrategia de mantenimiento reducido no logra que desaparezca la red en estado malo y pésimo, pero la disminuye significativamente. Se prevé que la red en estado regular alcanzará las dos terceras partes del total en el año 2006.

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 20  
TODA LA RED FEDERAL**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	7616	16938	4236	11211	40000	19	42	11	28
1999	8406	20995	1370	9229	40000	21	52	3	23
2000	9281	17090	5854	7775	40000	23	43	15	19
2001	5170	21921	3915	8994	40000	13	55	10	22
2002	7343	21490	2071	9096	40000	18	54	5	23
2003	10106	21314	2326	6254	40000	25	53	6	16
2004	7127	25322	2996	4554	40000	18	63	7	11
2005	7760	27864	3202	1175	40000	19	70	8	3
2006	8046	26099	3848	2007	40000	20	65	10	5

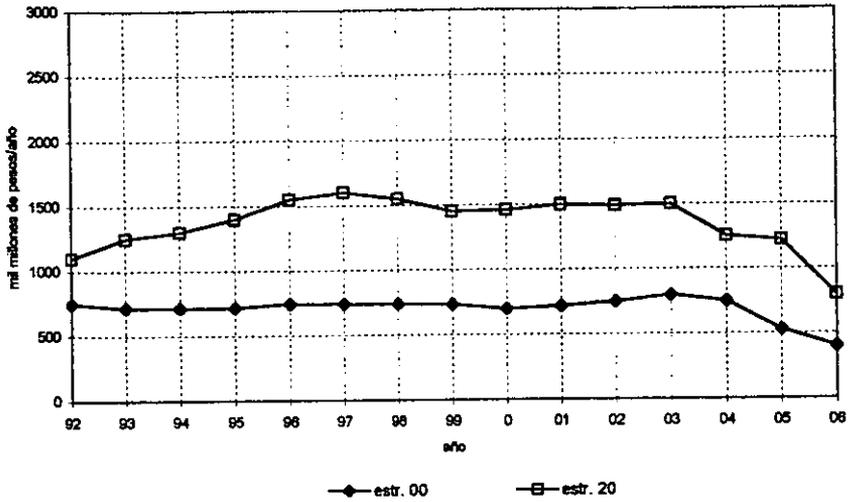
## CUADRO RESUMEN

### ESTRATEGIA 20

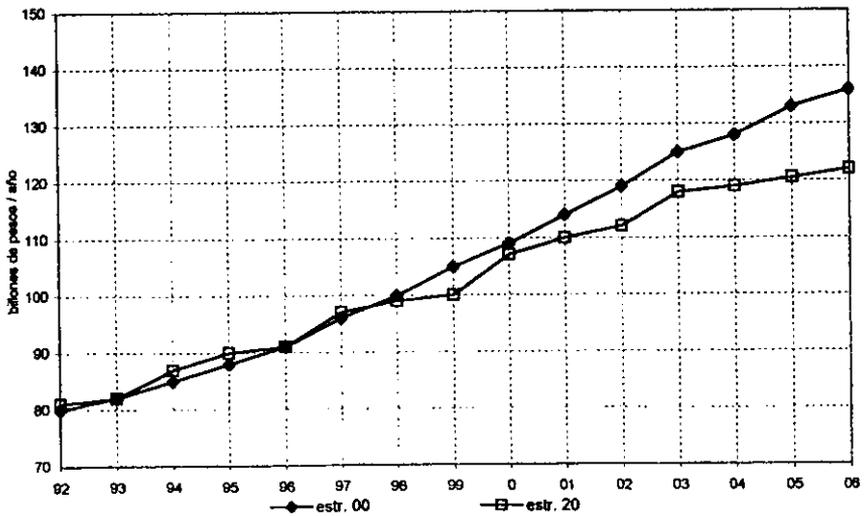
#### MANTENIMIENTO REDUCIDO

Período	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	cúmulo
<b>PRESUPUESTO PREVENTIVO (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	3728	4710	3978	4497	3375	20288
Promedio anual	1243	1570	1325	1499	1125	1352
<b>LONGITUD DE OBRAS (km)</b>						
Total del período						
Tratamiento superficial	23207	12583	14593	15699	22225	88307
Carpeta de concreto	0	0	0	64	0	64
Rehabilitación	2510	6291	4106	5227	1923	20057
Promedio anual						
Tratamiento superficial	7738	4194	4884	5233	7408	29435
Carpeta de concreto	0	0	0	21	0	21
Rehabilitación	837	2097	1369	1742	641	6688
<b>COSTOS DE OPERACION DE LOS VEHICULOS (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	248655	277156	304234	341422	384418	1535883
Promedio anual	82885	92385	101411	113807	121472	102392
<b>BALANCE ECONOMICO (mil millones de pesos)</b>						
Ahorros netos por período						
Presupuesto	-1560	-2456	-1836	-2343	-1784	-9979
COV	-3067	-1827	8921	15259	34989	54275
Razón Beneficios/Costos actualizados =			2.03			

**evolución del presupuesto anual**  
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO REDUCIDO (20)



**evolución de los COV anuales**  
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO REDUCIDO (20)



La rentabilidad de esta estrategia no es tan alta como la estrategia normal. La razón de los beneficios actualizados vale 2, lo que resulta claro por lo modesto de las obras y la lentitud de las rehabilitaciones.

#### 5.6. ESTRATEGIA DE REHABILITACION RAPIDA Y MANTENIMIENTO REDUCIDO

Para hacer frente a la situación actual sin sobregastar el presupuesto se adopta una estrategia de tipo mixto que parte de los siguientes objetivos:

- La red en estado bueno o regular debe rebasar el 50% del total a corto plazo (3 o 4 años)
- El nivel de gasto no debe ser más elevado que lo previsto en el mantenimiento normal
- La rehabilitación debe favorecer a las carreteras más cargadas.

Esta es una estrategia con un nivel razonable de gastos y una rentabilidad elevada donde, para compensar el alto costo de las rehabilitaciones, se prevé un mantenimiento de tipo reducido en toda la red, incluso a largo plazo. El nivel escogido depende de la clase de tránsito, con el propósito de mejorar la rentabilidad del programa.

Las rehabilitaciones se manejan a través de estrategias de espera. Las carreteras que no justifican un mantenimiento regular merecen una rehabilitación previa y antes de rehabilitarse deben recibir un mantenimiento reducido.

Las labores correspondientes a este tipo de estrategias consisten en obras esporádicas de limpieza y de conservación del pavimento hasta el año previsto para una rehabilitación completa. Después de su rehabilitación, la carretera sigue una política de mantenimiento como las demás.

Como ejemplo de lo anterior se han generado las llamadas estrategia 30 y la estrategia 31, donde la estrategia 30 tiene periodos de rehabilitación más largos que la estrategia 31.

De esto, llegamos a la conclusión que la primera estrategia es menos ambiciosa que la segunda (Tabla 5.12).

Tabla 5.12 PERIODOS DE ESPERA (AÑOS)		
Clase de Tránsito	Estrategia de Espera	
	No. 30	No. 31
T1	-	-
T2	6	3
T3	3	3
T4	3	3
T5	3	3

Las rehabilitaciones rápidas permiten mejorar significativamente la red carretera a corto plazo. En 1998 se esperaba que entre el 60% (estrategia 30) y el 70% (estrategia 31) de la red tendrían un estado bueno o regular. Pero a largo plazo, la situación no mejora comparada con la estrategia de mantenimiento reducido (estrategia 20). Un punto favorable es la casi desaparición de la red en estado pésimo a favor del estado malo.

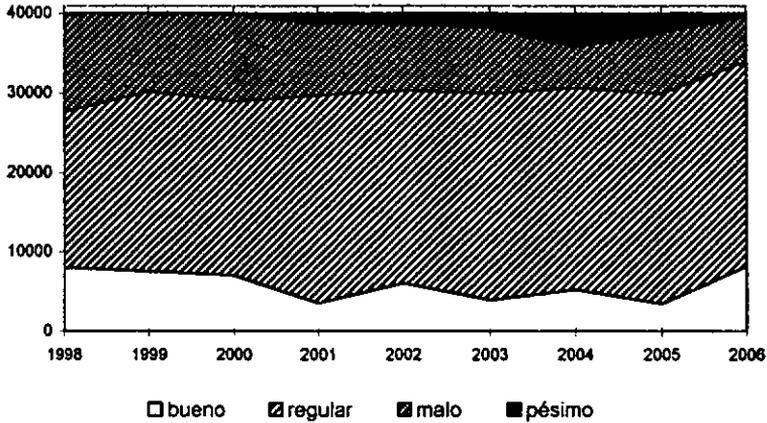
Después de tres años, todas las carreteras con clases de tránsito T5 y T4 estarían en estado bueno o regular, así como más de tres cuartos de la red con clase de tránsito T3. Después de seis años, la mitad de las carreteras con clase de tránsito T2 habrán sido rehabilitadas y se encontrarán en estado bueno o regular.

La razón de los beneficios sobre los COV actualizados al incremento de los costos de mantenimiento actualizados vale 6.6 y al ser mayor que el de las estrategias de mantenimiento normal, muestra el gran interés por las rehabilitaciones desde el punto de vista económico.

Después de la rehabilitación, los costos de transporte se reducen 33% y los ahorros amortizan rápidamente el costo de las obras. Otro factor positivo es la programación de las rehabilitaciones en relación con el volumen de tránsito.

La rentabilidad de las obras es directamente relacionada con el volumen de tránsito al rehabilitarse de manera prioritaria las carreteras con mayor tránsito lográndose una rentabilidad global..

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 30  
TODA LA RED FEDERAL**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	8031	19645	12324	0	40000	20	49	31	0
1999	7561	22673	9766	0	40000	19	57	24	0
2000	7018	21978	11004	0	40000	18	55	28	0
2001	3562	26169	8984	1285	40000	9	65	22	3
2002	6106	24266	8343	1285	40000	15	61	21	3
2003	3926	26012	8281	1782	40000	10	65	21	4
2004	5246	25448	5120	4186	40000	13	64	13	10
2005	3459	26501	7636	2404	40000	9	66	19	6
2006	8250	25790	5580	379	40000	21	64	14	1

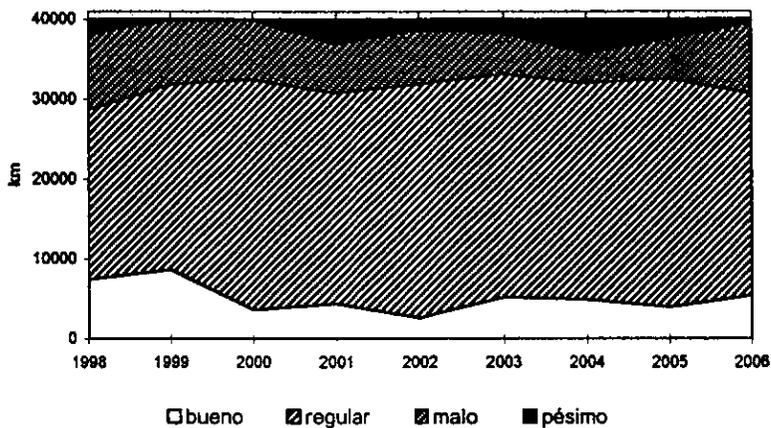
## CUADRO RESUMEN

### ESTRATEGIA 30

#### REHABILITACION EN 6 AÑOS + MANTENIMIENTO REDUCIDO

Período	92-94	95-98	99-00	01-03	04-08	cúmulo
<b>PRESUPUESTO PREVENTIVO (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	4849	5153	3599	4248	4312	22161
Promedio anual	1616	1718	1200	1416	1437	1477
<b>LONGITUD DE OBRAS (km)</b>						
Total del período						
Tratamiento superficial	20916	14175	14704	18843	16716	85354
Carpeta de concreto	44	28	207	1476	44	1799
Rehabilitación	4441	6354	4075	3544	3749	22163
Promedio anual						
Tratamiento superficial	6972	4905	4901	6281	5572	28631
Carpeta de concreto	15	9	69	492	15	600
Rehabilitación	1480	2118	1358	1181	1250	7387
<b>COSTOS DE OPERACION DE LOS VEHICULOS (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	244839	257265	284516	324550	364411	1475581
Promedio anual	81613	85755	94839	108183	121470	98372
<b>BALANCE ECONOMICO (mil millones de pesos)</b>						
Ahorros netos por período						
Presupuesto	-2681	-2899	-1459	-2094	-2721	-11854
COV	749	18064	28639	32131	34994	114577
Razón Beneficios/Costos actualizados =			6.63			

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 31  
TODA LA RED FEDERAL**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	7459	21258	9450	1833	40000	19	53	24	5
1999	8654	23221	8125	0	40000	22	58	20	0
2000	3579	28924	7497	0	40000	9	72	19	0
2001	4357	26427	6165	3051	40000	11	66	15	8
2002	2592	29281	6842	1285	40000	6	73	17	3
2003	5206	27937	5075	1782	40000	13	70	13	4
2004	4915	27115	3784	4186	40000	12	68	9	10
2005	3960	28576	5061	2404	40000	10	71	13	6
2006	5404	25272	8807	517	40000	14	63	22	1

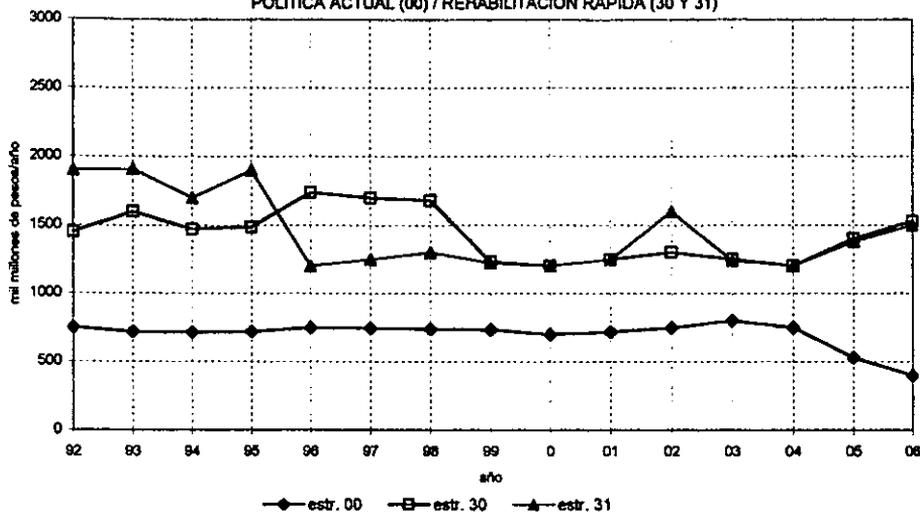
## CUADRO RESUMEN

### ESTRATEGIA 31

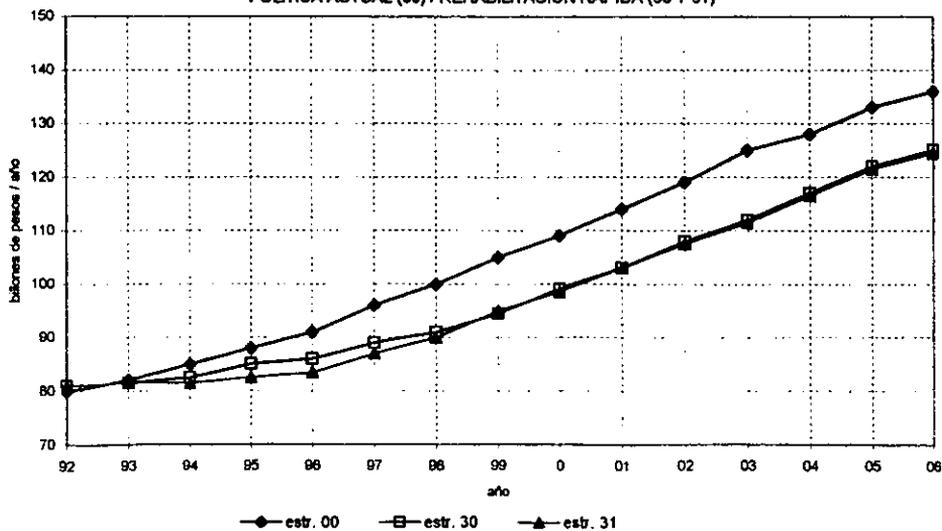
#### REHABILITACION EN 3 AÑOS + MANTENIMIENTO REDUCIDO

Período	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	cúmulo
<b>PRESUPUESTO PREVENTIVO (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	5762	4990	3510	4003	4167	22432
Promedio anual	1921	1663	1170	1334	1389	1495
<b>LONGITUD DE OBRAS (km)</b>						
Total del período						
Tratamiento superficial	17804	9629	15071	16178	17752	76434
Carpeta de concreto	44	28	207	1476	44	1799
Rehabilitación	6700	6530	3898	3248	2974	23350
Promedio anual						
Tratamiento superficial	5935	3210	5024	5393	5917	25479
Carpeta de concreto	15	9	69	492	15	600
Rehabilitación	2233	2177	1299	1083	991	7783
<b>COSTOS DE OPERACION DE LOS VEHICULOS (mil millones de pesos)</b>						
Total del período	242572	251115	283559	322941	387148	1467335
Promedio anual	80857	83705	94520	107647	122383	87822
<b>BALANCE ECONOMICO (mil millones de pesos)</b>						
Ahorros netos por período						
Presupuesto	-3594	-2738	-1370	-1849	-2576	-12125
COV	3016	24214	29596	33740	32257	122823
Ratio Beneficios/Costos actualizados =			6.62			

**evolución del presupuesto anual**  
POLITICA ACTUAL (00) / REHABILITACION RAPIDA (30 Y 31)



**evolución de los COV anuales**  
POLITICA ACTUAL (00) / REHABILITACION RAPIDA (30 Y 31)



## 5.7. ESTRATEGIA PROPUESTA EMPLEANDO EL PROGRAMA SISTER

Definido esto, y utilizando el programa SISTER, propongamos una estrategia de conservación para la red carretera federal. Esta estrategia será llamada “Estrategia 98T” y tendrá como finalidad la desaparición del estado pésimo de la red carretera en el año 2006.

La simulación se llevará a cabo para los casi 42,000 km de la red carretera nacional para un periodo de análisis definido (9 años) a partir de la información contenida en la base de datos.

Para cada año, el programa prevé los valores de los parámetros útiles para continuar los cálculos, principalmente del tránsito, las notas de calidad, la naturaleza y código de los trabajos y los COV.

El programa describirá la red por tramo; buscará el escenario que corresponde a su zona climática y a su clase de tránsito.

Los resultados del cálculo a escala nacional se presentan globalmente para toda la red vial, aunque pudieran presentarse resultados por tramo y por estado; de la misma forma, a partir de la base de datos, SISTER generará distintos tipos de reportes para las alternativas posibles de mantenimiento de diferentes tramos para poder determinar las acciones económicas más convenientes a emprender en cada tramo.

### 5.7.1. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA “98T” PARA LA CONSERVACION DE LA RED CARRETERA FEDERAL

Objetivo:	Recuperación total de la red, por medio de la definición, comparación y selección de estrategias al año 2006.
Presupuesto inicial:	\$ 679.1 Millones de pesos para 1998.
Prioridades:	1.- Reducción de la proporción de caminos en mal estado.

2.- Maximizar el aprovechamiento de los recursos destinados a la conservación

3.- Establecer e integrar una estrategia para la conservación de la red.

Estrategia de referencia: Estrategia OO

Periodo de estudio: 1998-2006 (9 años).

Tramo en estudio: Toda la red federal, exceptuando las carreteras estatales y ramales no registrados a cargo de la SCT.

Restricciones: SISTER no identificará las necesidades de mantenimiento de puentes de gran tamaño.

Alcance del estudio: El estudio comprende 87 rutas correspondientes a 25 itinerarios de mayor importancia y 62 menos importantes.

### 5.7.2. RESULTADOS

La simulación se lleva a cabo para los casi 42,000 km de la red carretera federal. El programa describirá la red por tramo; buscará el escenario que corresponde a su zona climática y a su clase de tránsito.

Los resultados del cálculo a escala nacional se presentan globalmente para toda la red vial, aunque pueden presentarse resultados por tramo y por estado; de la misma forma, a partir de las base de datos, SISTER generará distintos tipos de reportes para las alternativas posibles de mantenimiento de diferentes tramos para poder determinar las acciones económicas más convenientes a emprender en cada tramo.

Estos resultados se presentan para cada estrategia por periodos de tres años, en términos de :

- Longitudes (km) por tipo de obra.
- Presupuestos por tipo de obra.

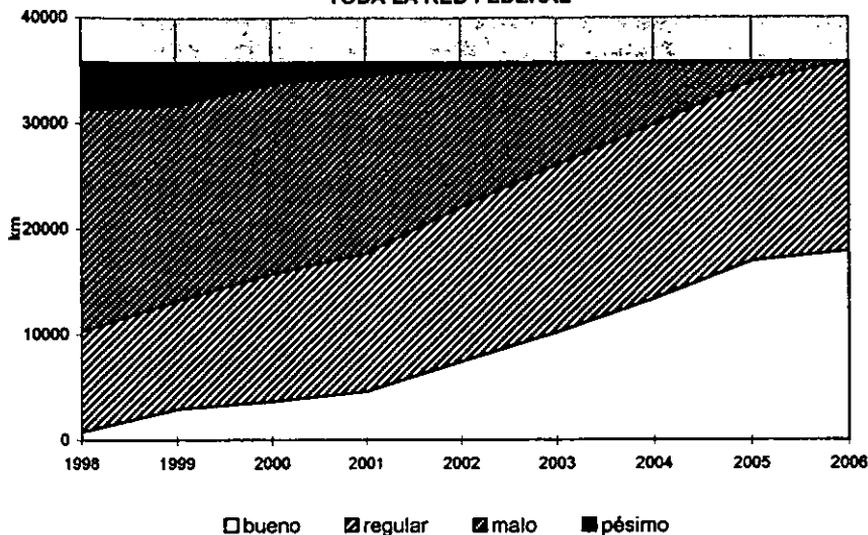
DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS						
Dirección de Planeación y Evaluación						
Departamento de Planeación y Estrategias						
ESTRATEGIA 98T						
Periodo	PRESUPUESTO Millones de Pesos			LONGITUD Kilómetros		
	1998-2000	2001-2003	2004-2006	1998-2000	2001-2003	2004-2006
Obras						
A1	250	250	252	23120	24120	25121
A2	1011	1011	1027	34740	35740	37750
A3	249	389	410	13510	14210	14723
P1	98	70	15	450	380	189
P2	720	805	529	10713	10820	7121
P3	324	79	11	3200	2300	1120
P4	160	112	180	519	501	578
P5	0	0	0	0	0	0
P6	0	46	98	0	12	51
P7	840	88	234	6690	34	2127
P8	0	0	0	0	0	0
R1	57	71	99	120	130	174
R2	0	920	710	0	2107	1823
R3	963	1015	1030	460	509	542
R4	612	722	902	329	381	408
R5	555	627	715	308	323	339
R6	789	827	1000	393	411	600
R7	0	0	963	0	0	490
R8	768	119	998	380	199	508
R9	0	0	0	0	0	0
Total	7396	7151	9173	94932	92157	93682

Adicionalmente, es posible presentar la evolución anual del estado de la red, la evolución de los presupuestos, la evolución de los costos del transporte y el resultado del análisis económico. Estos resultados arrojarán las acciones de que consta cada estrategia, así como su costo.

La "Estrategia 98T" destina importantes recursos a la reconstrucción de la red carretera. De la misma forma, la conservación periódica y rutinaria no dejarán de efectuarse.

Los resultados de nuestra simulación arrojan que la Estrategia 98T contempla inversiones que varían de 2,085 a 3,896 MDF, mediante las cuales sería posible realizar las obras especificadas para alcanzar la meta de 50% de la red en estado bueno y 50% de la red en estado regular.

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 98T  
TODA LA RED FEDERAL**

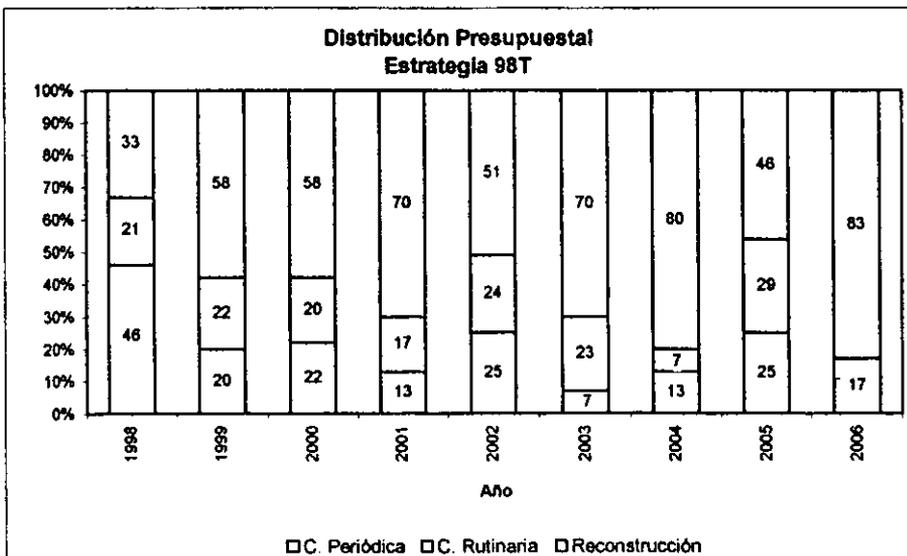


**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	793	9482	20983	4532	35790	2	26	59	13
1999	2943	10247	18590	4010	35790	8	29	52	11
2000	3647	12130	18003	2010	35790	10	34	50	6
2001	4630	13051	16850	1259	35790	13	36	47	4
2002	7452	14663	13120	555	35790	21	41	37	2
2003	10199	15881	9590	120	35790	28	44	27	0
2004	13357	16497	5891	45	35790	37	46	16	0
2005	16931	17009	1850	0	35790	47	48	5	0
2006	17895	17895	0	0	35790	50	50	0	0

Inversiones Requeridas (MDP)				
Precios de 1998				
Año	Conservación			Suma
	Reconstrucción	Periódica	Rutinaria	
1998	756	1062	481	2299
1999	1476	504	512	2492
2000	1512	576	517	2605
2001	2328	441	537	3306
2002	1136	566	533	2234
2003	1837	194	580	2611
2004	2204	420	568	3192
2005	968	552	565	2085
2006	3245	95	556	3896

Como resultado del análisis, se definen acciones a ejecutar. El monto sugerido para 1998 fue de 2,299 millones de pesos, pero debemos considerar como restricción la inversión destinada para ese mismo año, que fue de 679.1 millones, distribuidos en acciones de conservación y de reconstrucción. Por lo tanto, de acuerdo con esta cifra sólo podrían atenderse para el año 1998 en su totalidad las acciones correspondientes a la conservación rutinaria de la red. Esto es, para cubrir las necesidades del año 1998 se necesita una mayor asignación presupuestal.



5.8. ESTRATEGIA DE REFERENCIA

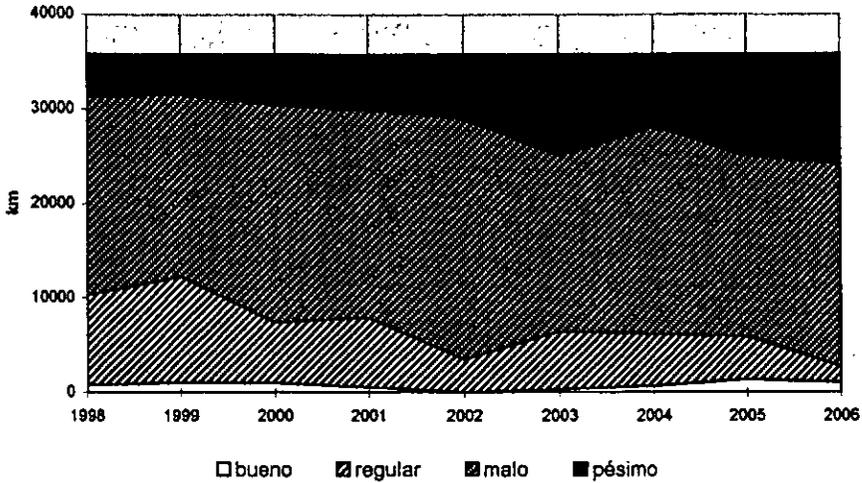
Toda estrategia de mantenimiento se compara contra una estrategia de referencia. Es por eso necesario simular utilizando el SISTER la política actual, lo que sirve para calibrar el modelo en términos de presupuesto. Esta política se ha denominado Estrategia de Referencia o Estrategia 00 y se elabora de tal forma que respete el presupuesto actual asignado. La frecuencia y la naturaleza de las obras se deriva de observaciones hechas a lo largo del proyecto, incluso de los programas de obra para cada año respectivo.

DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS						
Dirección de Planeación y Evaluación						
Departamento de Planeación y Estrategias						
ESTRATEGIA 00						
Periodo	PRESUPUESTO Millones de Pesos			LONGITUD Kilómetros		
	1998-2000	2001-2003	2004-2006	1998-2000	2001-2003	2004-2006
Obras						
A1	47	47	45	27994	28074	26803
A2	3	3	4	596	474	503
A3	221	227	221	22969	23639	21795
P1	48	31	4	238	172	11
P2	406	537	205	7145	9411	3851
P3	21	25	11	613	746	313
P4	96	88	195	492	352	841
P5	0	0	0	0	0	0
P6	0	46	91	0	266	569
P7	351	237	206	3903	2699	2297
P8	0	0	0	0	0	0
R1	0	0	0	0	0	0
R2	0	0	0	0	0	0
R3	0	0	0	0	0	0
R4	0	0	0	0	0	0
R5	0	0	0	0	0	0
R6	0	0	0	0	0	0
R7	0	0	0	0	0	0
R8	0	0	0	0	0	0
R9	0	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1193</b>	<b>1241</b>	<b>982</b>	<b>63950</b>	<b>65833</b>	<b>56983</b>

La estrategia 00 se caracteriza por los bajos niveles de inversión; por lo que es necesario destacar que:

1. No se hacen trabajos de rehabilitación, sino únicamente de renivelación y de reconstrucción de bases hidráulicas y carpetas asfálticas.

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No 00  
TODA LA RED FEDERAL**



**Todos los Centros SCT de la República**

Estado	Longitud (km) de carreteras por año y por estado				Total	Porcentaje en estado			
	bueno	regular	malo	pésimo		bueno	regular	malo	pésimo
1998	793	9482	20983	4532	35790	2	26	59	13
1999	1040	11264	19216	4270	35790	3	31	54	12
2000	1020	6392	23016	5362	35790	3	18	64	15
2001	512	7396	22020	5862	35790	1	21	62	16
2002	8	3521	25507	6754	35790	0	10	71	19
2003	291	6176	18600	10723	35790	1	17	52	30
2004	672	5495	21942	7681	35790	2	15	61	21
2005	1358	4533	19180	10719	35790	4	13	54	30
2006	1013	1661	21444	11672	35790	3	5	60	33

2. El mantenimiento se limita a obras de emergencia y mantenimiento curativo
3. Los ciclos de vida de las carreteras son muy largos

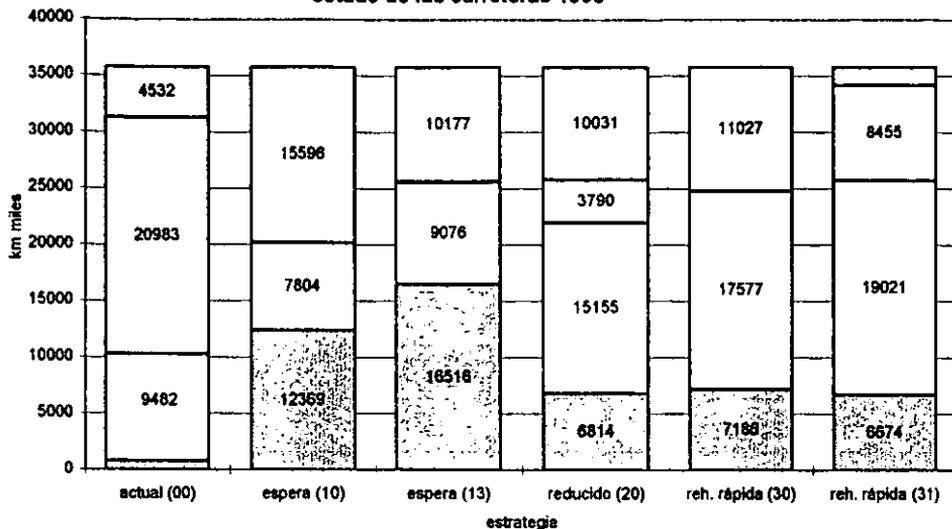
De acuerdo con estos criterios, las obras programadas pueden ser:

- Tratamiento superficial o colocación de carpeta asfáltica con una frecuencia ligada al nivel del tránsito (P2).
- Limpieza (A1).
- Bacheo de emergencia (A3).
- Tratamiento superficial o carpeta asfáltica con una renivelación o base hidráulica al final del ciclo de vida de las carreteras (P7).

Los resultados que arroja la simulación indican que la red se deteriorará paulatinamente durante el periodo 1998-2002 y más rápidamente después. Hacia el año 2006, la red en estado bueno y regular desaparecerán virtualmente (8%) y la parte más importante de la red (60%) estará en estado malo; lo demás estará en estado pésimo (33%). La aplicación del SISTER a partir de la generación de la Estrategia 98T y su comparación con la Estrategia de Referencia, nos permite hacer las siguientes recomendaciones:

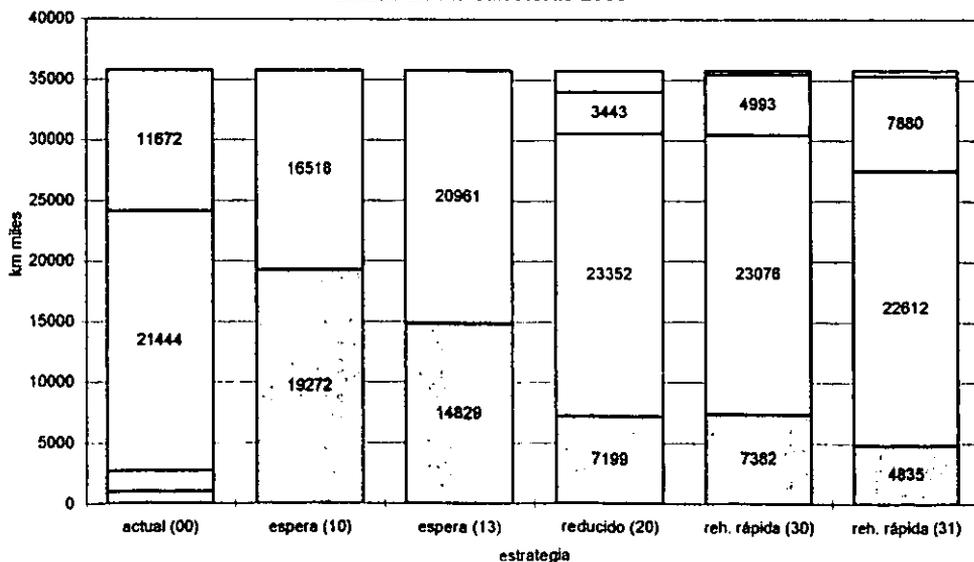
1. Al comparar las dos estrategias expuestas y hacer el análisis de la información, podemos concluir que con el presupuesto actual no es posible alcanzar a mantener la red carretera el estado que guarda en 1998.
2. La estrategia 98T permite una recuperación de la red y la velocidad de recuperación es muy rápida, aunque también resulta muy costosa.
3. Entre 5 y 8 años tardaremos para eliminar la red en estado pésimo y malo y la distribución entre los estados bueno y regular tenderá a 50% cada uno lo que parece ser un objetivo razonable a largo plazo.
4. Las necesidades de rehabilitación son entre 3,700 km y 8,864 km al año por lo menos durante 8 años. En 9 años se prevé la recuperación de carreteras malas o la rehabilitación de carreteras buenas.

estado de las carreteras 1998



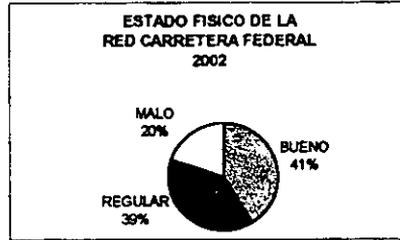
□ bueno □ regular □ malo □ pésimo

estado de las carreteras 2006

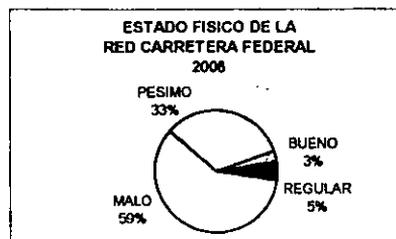
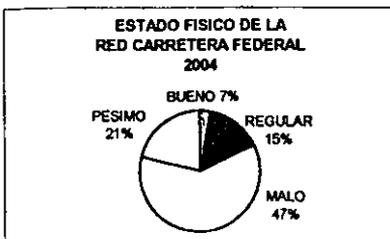
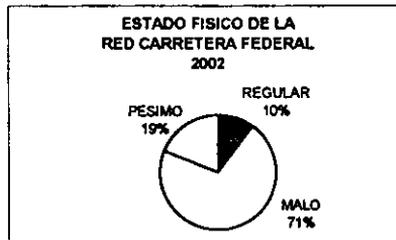
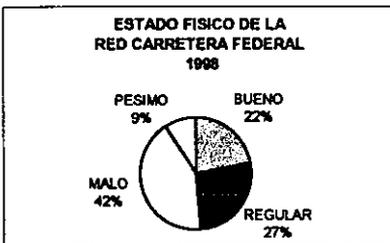


□ bueno □ regular □ malo □ pésimo

### ESTRATEGIA 98T



### ESTRATEGIA 00



5. Recordemos que la simulación es una técnica que imita la operación de un sistema real a lo largo del tiempo y con base en tal historia, se intentan extraer conclusiones válidas sobre el comportamiento o características del sistema real.
6. Las necesidades de la Estrategia 98T superan el presupuesto para el año 1998, por lo que nos lleva a darnos cuenta que los trabajos posibles a ejecutar son de conservación rutinaria para los 9 años siguientes.

---

## CAPITULO 6

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

---

Todas las carreteras tienen una grave falta de mantenimiento. Los Centros SCT no cuentan con el personal ni con el equipo que permita llevar a cabo todas las labores de mantenimiento necesarias. Esa falta de personal y de equipo ha obligado al residente general a utilizar métodos poco adecuados, pero rápidos de realizar.

Los datos actuales indican que la red se encuentra en un estado malo<sup>1</sup>. Por si esto fuera poco, los presupuestos asignados son insuficientes para mejorar su estado, tanto a corto como a largo plazo.

Ahora bien, la situación económica por la que atraviesa el país ha obligado a adecuar las políticas de construcción, conservación y rehabilitación de la red carretera por medio de la aplicación de actividades conjuntas que permitan aprovechar al máximo los recursos humanos, económicos y materiales de que se dispone. No es ningún secreto que la SCT ha sufrido un fuerte impacto en sus recursos debido a los bajos presupuestos asignados, mientras el tránsito sigue evolucionando en número y peso en forma desproporcionada. Los caminos deben modernizarse periódicamente para soportar el creciente tráfico y agilizarlo.

Para corregir esta situación, se han estudiado varias opciones financieras, técnicas e institucionales para mejorar la conservación y el estado de las carreteras, factor esencial para la recuperación económica y el desarrollo del país.

Debe existir un equilibrio entre el mantenimiento y las nuevas inversiones, ya que la política federal apunta hacia la reducción del gasto público. Y esto es notorio. Es fácil darse cuenta que en épocas de escasos recursos, la atención debe recaer en la rehabilitación y la conservación en lugar de iniciar nuevas construcciones.

---

<sup>1</sup>Capítulo 5. Tabla 5.4. Estado de la Actual de la Red Federal, Pp. 113

Esto no es todo. Se plantea que en el largo plazo, la SCT únicamente se encargue de la ejecución de las obras de emergencia<sup>2</sup>, para lo cual se deberán tener listos manuales de conservación, manuales de supervisión y control, así como realizar concursos rentables para el contratista, asignando la conservación a la iniciativa privada<sup>3</sup>, con lo que la SCT y en específico la Dirección General de Conservación de Carreteras reducirán al mínimo su personal y la maquinaria dedicadas a la conservación de la red. En consecuencia, es importante conocer de manera real y objetiva la red carretera para planear y programar correctamente los trabajos por realizar y determinar el presupuesto para cada estado.

Acorde con esto, se han efectuado inventarios a pie cuyo objetivo no ha sido sólo conocer la red, sino interesar a los residentes a profundizar en el conocimiento total de sus carreteras y no sólo las evalúen desde un vehículo donde no es posible conocer causas y efectos<sup>4</sup>. Por esta razón, la creación de un banco de datos viales no es un objetivo, sino una herramienta justificada para tener un sistema racional de mantenimiento de la red, que se enriquece por la adición de información actual y precisa, aunque no en exceso.

Como la información contenida en dichos bancos de datos viales es demasiada para emplear los obsoletos métodos tradicionales, se han tenido que buscar nuevas alternativas para su manejo, y es aquí donde se han venido utilizando los sistemas de gestión vial, los cuales permiten a los responsables tomar decisiones sobre una base técnico-económica, fundada e imparcial.

Un sistema de gestión permite cuantificar los grandes desafíos de la salvaguarda de la infraestructura vial, simulando diversas alternativas y evaluando las incidencias presupuestarias óptimas, previendo el futuro ruta por ruta. Ahora bien, hay que ser cautelosos, pues un sistema de gestión vial indica el estado de las carreteras y lo que habría que hacer para llegar a una cierta condición específica, pero por sí mismo no dice cuál es la condición deseable, ni indica el nivel de trabajo e inversión apropiados.

---

<sup>2</sup>Capítulo 1, Subcapítulo 1.2. Historia de la Conservación en México ; Pp.15-19

<sup>3</sup>Capítulo 1. Subcapítulo 1.3.4. Programa Nacional DGCC 1997 ; Pp.27-28

<sup>4</sup>Capítulo 2. Subcapítulo 2.6.1. Índice de Servicio ; Pp. 56-57

Por último, un sistema de gestión vial proporciona a quienes toman las decisiones finales en materia de inversión una clara apreciación de la importancia del tráfico que la carretera soporta, obteniéndose un criterio para jerarquizar inversiones y una orientación apropiada para establecer su tiempo de vida, nivel y condición que permitan eliminar sobrecostos de operación.

Descrito esto, las condiciones prevalecientes en México nos conducen a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Una historia artificial que imite la operación o desempeño de un sistema real permite extraer conclusiones válidas sobre el comportamiento o características de tal sistema.
- Con SISTER podremos tener información más exacta y accesible sobre la red, habilidad para evaluar en el tiempo el comportamiento de las estrategias seleccionadas y habilidad para mostrar el impacto de las distintas estrategias de mantenimiento.
- Permitirá la programación y la realización de los trabajos con fundamento en resultados de la simulación; esto es, una situación ideal y su vida útil.
- No se deberá construir infraestructura alguna para la cual no esté garantizado el flujo de recursos financieros para su mantenimiento a lo largo de toda la vida de servicio.
- Si se reduce la necesidad del mantenimiento y la vulnerabilidad de la infraestructura, se reduce el costo de operación lo que puede reportar ahorros de hasta siete u ocho veces el costo del mantenimiento.
- La utilización de un sistema de gestión vial permite efficientar los recursos asignados a la conservación de carreteras y desarrollar una estrategia nacional de conservación.
- Impartir conferencias a técnicos especialistas del área en todo el país, describiendo la necesidad del sistema, contenido, resultados y beneficios.
- Sería bueno difundir los tramos rehabilitados y describir su evolución a los organismos o sectores afines para que sirva de ejemplo y pueda convertirse en una posible adopción de los organismos descentralizados del Sector, como CAPUFE o los Centros SCT.

- Mayor investigación con nuevos equipos y tecnologías para estar actualizados en las evaluaciones y metodologías de diseño.
- La implantación de un modelo de gestión permitirá preparar los Programas Anuales de Trabajo del Sector y ayudará a definir los requisitos en materia de recursos y presupuestos.
- Existe un buen número de publicaciones sobre tecnología de caminos y su mantenimiento y con cierta frecuencia se organizan seminarios de gran interés para los ingenieros. Sin embargo, es conveniente no presentar más material para debates, sino recalcar la necesidad y urgencia de comenzar a conservar las carreteras con el establecimiento de una estrategia nacional de conservación para la red carretera.
- Como punto final, SISTER analizará la capacidad a incrementar, las estrategias alternativas, la identificación de una estrategia óptima, la toma de decisiones en base a atributos cuantificados, criterios y restricciones y a utilizar la retroalimentación que resulta de las decisiones tomadas con anterioridad.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

**Uso y Conservación de la Infraestructura del Transporte Carretero**

Revista Ingeniería Civil núm. 233  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Septiembre 1986. Pp. 71-79

**The Highway Design and Maintenance Standars Model Vol. 1**

Description of the HDMIII  
World Bank 1987

**El Deterioro de los Caminos en los Países en Desarrollo. Causas y Soluciones**

Estudio de Políticas del Banco Mundial  
Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento. Banco Mundial Estados Unidos, 1988

**Manual para Inspección y Conservación de Puentes**

Dirección General de Servicios Técnicos  
SCT. México, 1988

**Normas de Conservación de Carreteras**

SCT. México, Julio 1990

**Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de Carreteras Mexicanas**

Publicación Técnica núm. 21  
IMT. SCT. Sanfandila, Qro, 1991

**Cien Años de Comunicaciones y Transportes en México 1891-1991**

Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México, 1991

**Estado Superficial y Costos de Operación de Carreteras**

Publicación Técnica núm. 30  
IMT. SCT. Sanfandila, Qro, 1991

**Camino Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales**

Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL, 1992

**Las Carreteras en México 1891-1991**

Bernardo García Martínez  
SCT. México. 1992

**Los Sistemas de Información Geográfica y el Transporte**

Publicación Técnica núm. 32  
IMT, SCT. Sanfandila, Qro, 1992

**Concrete Paving Pavement Rehabilitation Strategy Selection**

American Concrete Pavement Asociation. U.S.A., 1993

**En Busca de una Estrategia**

Revista Ingeniería Civil Núm. 286  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, febrero 1993. Pp. 14-22

**Innovaciones Tecnológicas en Vías Terrestres**  
XI Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres  
AMIVT, A. C. México, Julio 1994

**Mejoras en los Proyectos y Materiales para Pavimentos**  
Revista Ingeniería Civil núm. 304  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Agosto 1994. Pp. 29

**Coloquio Franco Mexicano sobre el Mantenimiento de Carreteras y Obras Pesadas**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Ministerio Francés de Equipamiento,  
Transportes y Turismo; Banco Interamericano de Desarrollo; Cámara Nacional de la  
Industria de la Construcción  
México, Abril 1995

**Evaluación del Programa Emergente de Conservación de Caminos Rurales 1995 con  
uso intensivo de mano de obra**  
CONACAL SCT, 1995

**Sistema de Puentes de México**  
Revista Ingeniería Núm. 65  
Facultad de Ingeniería, UNAM  
México, Marzo - Abril 1995. Pp. 175-180

**Ley de Vías Generales de Comunicación**  
Diario Oficial de la Federación  
Poder Ejecutivo Federal  
México, 21 junio 1995

**Conservación. Estrategias para la Red Federal de Carreteras**  
Revista Ingeniería Civil Núm. 315  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Julio 1995. Pp. 9-14

**Técnicas para Mantenimiento de Carreteras**  
Revista Ingeniería Civil núm. 315  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Julio 1995. Pp. 15-21

**Nuevas Tendencias para el Desarrollo del Transporte**  
Tercer Seminario de Ingeniería Vial. Memoria  
AMIVT, A. C. México, 1995

**Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995-2000**  
Poder Ejecutivo Federal.  
México, 1995

**Seguimiento del Estado de las Carreteras para la Gestión de su Conservación**  
Investigación sobre Carreteras y Transporte por Carretera.  
Tomos I y II  
Banco Mundial, Madrid, 1995

**Una Estrategia para la Conservación de la Red Carretera**  
Documento Técnico núm. 11  
IMT, SCT. Sanfandila, Qro., 1995

**La Recuperación de Pavimentos en la Red Federal Carretera**  
Primer Seminario Técnico  
AMIVT, A. C. México, Febrero 1996

**Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial. Programa SISTER**  
Revista Ingeniería Civil núm. 324  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Abril 1996. Pp. 22-31

**Programa SISTER**  
Revista Ingeniería Vol. LXVI, Núm. 2  
Facultad de Ingeniería, UNAM  
México, Abril - Junio 1996. Pp. 55-64

**Retos y Perspectivas de CAPUFE**  
Infraestructura. Revista Federalismo y Desarrollo núm. 55  
México, Julio - Septiembre 1996. Pp. 48-55

**Tecnología y Desarrollo**  
XII Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres. Memoria  
AMIVT, A. C. México, Agosto 1996

**Mantenimiento de la Infraestructura**  
Revista Ingeniería Civil núm. 330  
Colegio de Ingenieros Civiles de México  
México, Octubre 1996. Pp. 7-11

**Desarrollo Tecnológico en las Vías Terrestres**  
XII Reunión Nacional de Ingeniería de Vías Terrestres  
AMIVT A. C. México, 1996

**Concreto Polimérico: Un Material Versátil**  
Revista Obras Núm. 293. Panorama de la Construcción  
México, Mayo 1997. Pp. 40-46

**Conservación y Desarrollo de la Infraestructura**  
Revista Vector de la Ingeniería Civil Núm. 3  
México, Julio de 1997. Pp. 8-15

**Experiencia Mexicana en la Conservación de Carreteras**  
XII Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito  
Buenos Aires. Septiembre - Octubre de 1997

**Aplicación del SIMAP a la Red Carretera Federal del Estado de Puebla**  
Boletín Notas núm. 41  
IMT, México, Julio 1998

**Sobre Modelos de Simulación**  
Boletín Notas núm. 43  
IMT, México, Noviembre 1998

**Conservación de Carreteras en México**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Subsecretaría de Infraestructura. Dirección General de Conservación de Carreteras  
México, 1998

**Modernización del Sistema Carretero Troncal**  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México, Octubre de 1998

**Información Técnica y Estadística publicada por la Dirección General de Planeación.**  
Dirección General de Planeación SCT