

48
Zei



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

“ANALISIS DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMI-
ENTO DE PAVIMENTOS CARRETEROS CON
UN ENFOQUE DE CICLO DE VIDA DE
PROYECTO”

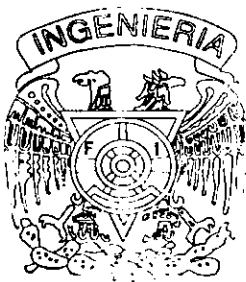
TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO CIVIL

presentan

Incluye un CDrom
JESUS SANTIAGO SALAS FLORES
JUAN CARLOS MONTES MALFAVON

Director de Tesis: Ing. Oscar E. Martínez Jurado



México, D. F.

1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Handwritten signature



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central

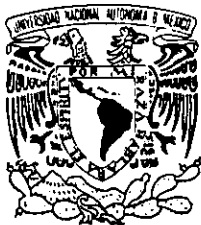


UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

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
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/149/98

Señores

JUAN CARLOS MONTES MALFAVON

JESUS SANTIAGO SALAS FLORES

Presente

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 desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ANÁLISIS DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS CARRETEROS
CON UN ENFOQUE DE CICLO DE VIDA DE PROYECTO"**

INTRODUCCION

- I. GENERALIDADES**
- II. TIPOS DE PAVIMENTOS**
- III. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE PAVIMENTOS CARRETEROS**
- IV. SISTEMAS DE INFORMACION DE APOYO PARA LA CONSERVACION DE CARRETERAS**
- V. TECNICAS PARA LA CONSERVACION Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS CARRETEROS**
- VI. ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACION DE PAVIMENTOS Y SU IMPORTANCIA**
- VII. PERSPECTIVAS A FUTURO EN LA NECESIDAD DE UNA CULTURA DE CONSERVACION**
- VIII. CONCLUSIONES**
- IX. AUDIOVISUAL**

Ruego a ustedes 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.

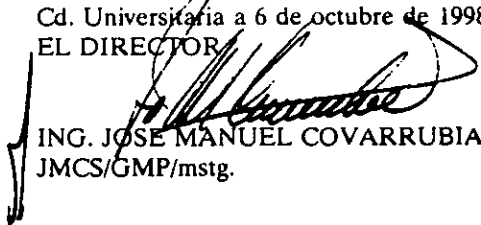
Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberán prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria a 6 de octubre de 1998

EL DIRECTOR


ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS
JMCS/GMP/mstg.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/149/98

ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO
Presente.

El señor **JUAN CARLOS MONTES MALFAVON** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 30 de septiembre de 1998
EL DIRECTOR

ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*mstg



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/149/98

ING. OSCAR E. MARTINEZ JURADO
Presente.

El señor **JESUS SANTIAGO SALAS FLORES** de la carrera de **INGENIERO CIVIL**, me ha solicitado designar al profesor que le señale Tema de Tesis para su Examen Profesional.

En atención a esa solicitud ruego a usted se sirva formular el Tema solicitado y enviarlo a esta Dirección para comunicarlo oficialmente al interesado.

Doy a usted de antemano las más cumplidas gracias por su atención y le reitero las seguridades de mi consideración más distinguida.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 30 de septiembre de 1998
EL DIRECTOR

ING. JOSÉ MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/GMP*mstg

A Dios, por permitirme concluir una etapa más en mi vida.

A mis padres Martha Malfavón Contreras y Daniel Montes Juárez, por darme la vida y enseñarme que todo es alcanzable si uno es constante, no importa lo difícil que sea. Gracias por su tiempo, apoyo incondicional y sobre todo por su cariño.

A mis hermanos Miguel Angel y Daniel Alejandro, por su ayuda durante todos estos años y por brindarme el aliento que necesitaba para seguir adelante.

A mis tíos José, Carlos y Eduardo Malfavón Contreras, los cuales me han apoyado siempre y lo siguen haciendo.

A mi amigo Jesús Santiago Salas Flores, por su empeño y dedicación en el desarrollo de este trabajo.

Al Ing. Oscar E. Martínez Jurado por todo su tiempo y apoyo en la realización de este trabajo.

A todos mis profesores; pero sobre todo a los de la Facultad de Ingeniería, por regalarme generosamente sus conocimientos.

Al Ing. René Sánchez Torres y al Arq. Jorge Becerra López, por apoyarme en todo momento.

A el alto y sublime Señor de mi vida, Dios, quien me permite la vida, el razonamiento y ahora el completar esta etapa de mi vida, a cada instante de mi vida siempre te agradeceré todo lo que me permites Señor.

A mi Padre, David Salas Ramírez, por su inigualable ejemplo de dedicación y constancia, sin cuyo ejemplo nunca hubiera logrado concluir esta carrera, muchas gracias.

A mi Madre, Teodora Flores Aguirre, por su amor y cariño, por su apoyo incondicional, muchas gracias, este triunfo es de ustedes.

A mi hermano, Javier Salas Flores, por todo tu apoyo, el cual nunca podré pagarle y de cuyo ejemplo me siento orgulloso, muchas gracias.

A mi hermana, Gisela Salas Flores, sin cuya presencia en mi vida, no podría tener hoy la dicha de concluir esta etapa, muchas gracias.

A mi hermano, Daniel Salas Flores, quien ha sido una gran bendición en mi vida, tu alegría me reconforta, tu ejemplo aun cuando eres pequeño me anima, muchas gracias.

A mi querida Adriana García Rivera, cuyo amor y comprensión me han ayudado a terminar esta etapa de mi formación, muchas gracias.

A Juan Carlos Montes Malfavón, gran amigo, en las buenas y las malas, y con quien he compartido una etapa más, este trabajo, muchas gracias.

Al ingeniero Oscar E. Martínez Jurado, muchas gracias por su apoyo, su tiempo y dedicación para la realización de este trabajo.

A todos los profesores que han intervenido en mi formación, desde la infancia hasta la Universidad, muchas gracias.

A todas aquellas personas que hicieron posible este trabajo muchas gracias por su ayuda.

INDICE

Introducción.....	VII
Capítulo I. Generalidades.....	1
I.1 Concepto de proyecto de inversión en Infraestructura.....	2
I.2 El ciclo de vida de un proyecto.....	3
I.2.1 Etapas de la fase de planeación.....	5
I.2.2 Estudios o análisis que se realizan en la fase de planeación.....	7
I.3 La Globalización y el Desarrollo Sustentable.....	9
I.4 Desarrollo de la Infraestructura Carretera en México.....	16
I.4.1 Evolución de la Infraestructura Carretera.....	16
I.4.2 Situación Actual.....	24
I.4.3 Diagnóstico.....	26
I.5 Clasificación y tipos de caminos.....	31
Capítulo II. Tipos de pavimentos.....	35
II.1 Pavimento.....	36
II.2 Pavimentos flexibles.....	38
II.3 Pavimentos rígidos.....	49
II.4 Métodos de diseño de pavimentos.....	55
II.5 Procesos constructivos.....	58
II.6 Comparación entre pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico.....	62
Capítulo III. Factores que intervienen en el deterioro de pavimentos carreteros.....	65
III.1 Indicadores del estado de un pavimento carretero.....	66

III.2 Factores que afectan la vida útil de los pavimentos carreteros.....	74
III.3.1 Tránsito.....	74
III.3.2 Tiempo y medio ambiente.....	80
III.3.3 Calidad de los materiales.....	84
III.3.4 Deficiencias en conservación y rehabilitación.....	90
Capítulo IV. Sistemas de información de apoyo para la conservación y mantenimiento de carreteras.....	95
IV.1 Sistema de Posicionamiento Global y Sistema de Información Geográfica (SPG y SIG).....	97
IV.2 Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP).....	104
IV.3 Sistema de Puentes de México (SIPUMEX).....	111
IV.4 Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER).....	120
IV.5 Catálogo de deterioros en pavimentos carreteros.....	126
Capítulo V. Técnicas para la conservación y rehabilitación de pavimentos carreteros.....	183
V.1 Diferencia entre conservación y rehabilitación.....	184
V.2 Diferentes técnicas que se emplean para la conservación y rehabilitación....	187
V.3 Descripción de cada una de las técnicas.....	190
Capítulo VI. Estrategias para la conservación de pavimentos y su importancia.....	213
VI.1 Principios de la selección de estrategias.....	214
VI.2 Aplicación del SISTER al caso de México.....	219
VI.3 Estrategia de referencia: política actual.....	221
VI.4 Mantenimiento normal.....	224
VI.5 Mantenimiento reducido.....	232
VI.6 Rehabilitación rápida y mantenimiento reducido.....	237
VI.7 Importancia de las estrategias.....	245
VI.8 Selección de estrategias para rehabilitación de pavimentos de concreto.....	251

Capítulo VII. Perspectivas a futuro en la necesidad de una cultura de mantenimiento y conservación.....	259
VII.1 Definición de una cultura de mantenimiento y conservación.....	260
VII.2 La calidad como fundamento de la cultura de mantenimiento y conservación	262
VII.3 Los costos, justificadores de la cultura de mantenimiento y conservación.....	264
VII.4 Los costos de operación vehicular, principal justificador para una cultura de mantenimiento y conservación.....	266
VII.5 Gráficas.....	274
Capítulo VIII. Conclusiones.....	285
Capítulo IX. Audiovisual (CD incluido)	
Bibliografía.....	293

En el nuevo orden económico mundial denominado globalización, los países que prosperarán serán aquellos con una mano de obra altamente calificada y educada para fabricar productos de muy buena calidad a costos competitivos. Aquellos que cuenten con sistemas de comunicación avanzados y sobre todo los que construyan, mantengan y operen una infraestructura de carreteras altamente eficiente.

El Banco Mundial señala que la inversión en infraestructura aumenta la productividad, reduce los costos de producción y mejora los niveles de vida ya que esta inversión crece en relación directa al producto interno bruto (PIB). Esto es, un incremento del 1% de inversión en infraestructura, representará un crecimiento igual al 1% del PIB. Dentro de la infraestructura, la del transporte jugará un papel muy importante para lograr un desarrollo sostenido. Su impacto en la economía de un país es indiscutible.

La Importancia de las Carreteras

Siendo las carreteras la columna vertebral de la infraestructura del transporte, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicas.

La tendencia de considerar sólo el costo inicial de construcción para la selección de alternativas, conlleva a la toma de decisiones que muchas veces no son las más favorables. Por este motivo es imperativo considerar los costos totales durante la vida de un pavimento bajo el concepto de un análisis de costo de vida.

Con el presente trabajo, pretendemos demostrar la relevancia del análisis del costo de ciclo de vida como herramienta para la toma de decisiones en la inversión de proyectos de carreteras; además de que nos hemos propuesto demostrar la importancia de la conservación, en el caso particular de los pavimentos carreteros.

En busca de este objetivo global, hemos estructurado el trabajo en 8 capítulos, con un noveno denominado apoyo audiovisual. El título de esta tesis: "Análisis de estrategias de mantenimiento en pavimentos carreteros con un enfoque de ciclo de vida de proyecto", se desarrolla durante el trabajo, de tal manera que el lector pueda comprender los aspectos básicos del tema en los 4 primeros capítulos, para posteriormente enfocarse al análisis propiamente dicho de las alternativas existentes en cuanto a conservación.

Los aspectos básicos considerados en el desarrollo de esta tesis se presentan en el capítulo I, en donde se define el concepto de proyecto y el concepto de ciclo de vida de un proyecto de infraestructura. Posteriormente describimos los cambios mundiales que ha sufrido la economía y que han dado lugar a la llamada globalización, la cual se explica de manera general, sin perder de vista que esta nueva situación en el orden mundial termina por generar diversos cambios internos dentro de cada país; por otra parte hablamos sobre el desarrollo sustentable concepto también reciente que se ha venido tomando en las diferentes esferas de la vida de cada país de diversas maneras.

Una vez que se ha explicado a grandes rasgos la situación global, se presenta la situación actual de la infraestructura carretera, en nuestro país, para lo cual se presenta una reseña cronológica del crecimiento de dicha infraestructura; para finalmente explicar las condiciones prevalecientes en cuanto a la conservación de la misma.

Para finalizar este capítulo se ha incluido la clasificación y tipos de caminos que se maneja en México, con la finalidad de que cuando se haga referencia a los mismos se tenga una noción clara de cada uno de ellos.

El capítulo II de este trabajo busca profundizar de manera especial en los conceptos básicos sobre los pavimentos, de tal manera que el lector pueda comprender de manera adecuada las diferentes capas que forman un pavimento, los tipos de pavimentos, sus aspectos de diseño así como los procedimientos constructivos que normalmente se siguen en los proyectos de carreteras

En el capítulo III, se presentan los diversos factores que intervienen en el deterioro de un pavimento carretero, para lo cual primeramente se explican los criterios que se toman en cuenta para la valoración de un pavimento, es decir para saber el grado de deterioro del mismo. Una vez conocido el grado de deterioro, se describe cada factor que puede causar deterioro del pavimento, sin olvidar que estos pueden interactuar en más de una ocasión.

El capítulo IV, se presentan de manera particular las novedosas herramientas que se empiezan a utilizar para la conservación y rehabilitación de los pavimentos: los Sistemas de Información, tales como los Sistemas de Posicionamiento Global (SPG), de Información Geográfica (SIG), el Sistema de Puentes de México (SIPUMEX), el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP) y el Sistema de Simulación de Estrategias (SISTER), los cuales se han empleado en nuestro país recientemente con pocos resultados.

Por otra parte, se presenta dentro de este capítulo un catálogo de deterioros de pavimentos carreteros, cuyas aplicaciones resultan importantes como parte de los sistemas de información, ya que este tipo de catálogos permiten visualizar e identificar los deterioros que se pueden presentar y tener un inventario sobre los mismos, para poder estimar las medidas necesarias de mantenimiento para prevenir o dar solución a los problemas que se susciten por tales deterioros en los pavimentos.

El capítulo V de esta tesis comprende la explicación detallada de las técnicas que actualmente se utilizan para dar solución a los deterioros carreteros, tanto en pavimentos asfálticos como en rígidos; buscando en todo momento mostrar las bondades y defectos de cada técnica.

Una vez que se han comprendido las condiciones en las que se encuentra la infraestructura carretera de México, que es y como se diseña un pavimento, como se califica un deterioro de un pavimento, que lo genera y se conocen las herramientas tecnológicas para la solución de los deterioros, en el capítulo VI, se procede al análisis de una serie de estrategias de mantenimiento, generadas a través de la simulación de estrategias en un programa de cómputo denominado SISTER; los resultados proporcionan una serie de datos muy útiles en la toma de decisiones. Este proceso permitirá en un futuro inmediato alcanzar una optimización de los recursos del país, así como el uso cada vez mayor de alternativas de solución mucho más importantes

El capítulo VII de este trabajo pretende crear al lector una cultura de conservación, la cual es sumamente necesaria, no solo en las carreteras, sino en todos los ámbitos. Por lo que buscamos que se entienda claramente que la inversión en la conservación representa grandes beneficios económicos para el país; para ello, hacemos uso de los costos de operación vehicular, los cuales justifican numéricamente esta cultura. Además de esto tomamos en cuenta la cultura de calidad, como parte integrante de la cultura de conservación; ya que la calidad no es un accidente, sino que es producto de nuestro trabajo, esfuerzo y dedicación.

En el capítulo VIII, presentamos las conclusiones producto de esta investigación y las cuales representan únicamente nuestro punto de vista sobre el tema.

El capítulo IX, consiste en una presentación resumida de la tesis en general, con diapositivas en POWER POINT 97, las cuales se encuentran divididas por capítulo y se ubican en la carpeta TESIS del CD que se anexa; para facilitar el uso de dichas presentaciones, puede hacer uso de las instrucciones del archivo LEAME ppt., de la misma carpeta.

Por otra parte, el CD contiene el Programa OFFICE 97, el cual puede instalar en su equipo si así lo requiere. La clave del CD para la instalación del software es:

0401-0545167



CAPITULO I

GENERALIDADES

I.1 CONCEPTO DE PROYECTO DE INVERSION EN INFRAESTRUCTURA.....	2
I.2 EL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO.....	3
I.2.1 ETAPAS DE LA FASE DE PLANEACION.....	5
I.2.2 ESTUDIOS O ANALISIS QUE SE REALIZAN EN LA FASE DE PLANEACION.....	7
I.3 LA GLOBALIZACION Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE	9
I.4 DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MEXICO	
I.4.2 EVOLUCION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA.....	16
I.4.3 SITUACION ACTUAL.....	24
I.4.4 DIAGNOSTICO.....	26
1.5 CLASIFICACION Y TIPO DE PAVIMENTOS.....	31

I.1. CONCEPTO DE PROYECTO DE INVERSION EN INFRAESTRUCTURA

⇒ **Proyecto** (Lat. "Projectare" = echar adelante de):

- Designio o intención de ejecutar algo
- Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de una obra y de su coste.
- Planta y disposición que se forma para un tratado o para la ejecución de una cosa importante.
- Cualquier propósito de acción definida y organizada de manera racional.
- Búsqueda de una solución inteligente al planteamiento de un problema tendente a resolver, entre muchas, una necesidad humana.

⇒ **Inversión** (Lat. "Inversio, invertere" = volver a otra parte, verter")

- Aumento de la capacidad de producción.
- Arriesgue de capital para recuperarlo con una ganancia en el tiempo por venir.
- Acción de invertir capitales en un negocio para desarrollarlo e incrementar los medios de producción.
- Cantidad de dinero que se utiliza en algo capaz de sufrir depreciación para así recuperarse y poder utilizarse nuevamente en otra cosa igual o diferente para volverse a depreciar así y recuperar lo otorgado más una cantidad extra.
- Acción de inmovilización de ciertos recursos con el objeto de conseguir beneficios en un futuro, siempre y cuando, éstos se obtengan en un periodo razonable de tiempo.

Con lo que un **proyecto de inversión** se puede definir de la siguiente manera:

- Un conjunto de elementos técnicos, económicos y de mercado que constituyen un plan, éste se basa en aportaciones de capital (las cuales se arriesgan con la previsión del regreso de éstas mas ciertas creces) que faciliten el adquirir insumos y suministros de distinta índole, para así tener una solución "inteligente" de un problema tendiente a satisfacer, entre muchas, una necesidad humana.
- Un plan que, si se le asigna una determinada cantidad de capital y se le proporcionan elementos de varios tipos, podrá producir un bien o un servicio, útil al ser humano o a la sociedad en general.
- Un conjunto de información útil y objetiva, articulada en forma metodológicamente satisfactoria formando un contexto armónico y coherente, tan simple y conciso como sea posible, para fundamentar una decisión sobre la conveniencia de realizar una determinada inversión.

⇒ **Infraestructura** (Lat. "Infra" = debajo de, y del latín "Structura" = que sirve de sustentación, soporte de un cuerpo u obra):

- Debajo de la estructura, debajo de lo que forma a la sociedad, debajo de lo que da sustento u orden a un elemento.

- Conjunto de fuerzas productivas y de relaciones de producción que constituyen la base material de la sociedad y sobre la que se levanta la superestructura (ideología e instituciones)
- Son obras de gran envergadura, éstas tienen como fin el proporcionar un servicio o un producto que necesita grandes inversiones para concretarse, por lo general se habla de vías de comunicación, presas, puertos, aeropuertos, vías férreas, etc. Es la sociedad en general la que utiliza estas obras para el progreso en las actividades socio-económicas. Las obras de infraestructura son la base del desarrollo de un país, ya que ofrecen las condiciones necesarias para la generación de la riqueza del mismo.
- Una obra de infraestructura es aquella que genera un servicio a una comunidad, estado o país completo, ésta va encaminada a cubrir las necesidades sociales, pero con la característica, de que sirve como medio para la producción de otros bienes, por ejemplo, una inversión en una carretera aumenta la capacidad de transporte, este aumento ayuda a que en una determinada zona, lleguen equipos necesarios para la elaboración endémica de un producto y su transportación, que antes sin la vía de comunicación era imposible o se tenía que pagar un precio muy alto para poderla transportar o traer el equipo necesario, encareciendo y en algunos casos, haciendo incosteable el producto, asimismo una vía de comunicación abre la posibilidad de explotar zonas que brinden servicios turísticos, etc.

Partiendo de las definiciones anteriores se puede concluir que **un proyecto de inversión en infraestructura** es:

- Un plan que conjunta elementos técnicos, económicos, de mercado y sociales. Este plan se basa en aportaciones de capital, las cuales pueden ser puestas en su totalidad por el gobierno, por capitales privados o una combinación de los dos, Por lo general estas inversiones se arriesgan con la esperanza de recuperarlas conjuntamente con buenas ganancias en el futuro (que sean altamente rentables) para el caso de la inversión privada, un beneficio socioeconómico en la parte que concierne al gobierno, o una mezcla de los dos en un esquema de concesión. La inversión en el proyecto busca la satisfacción de una necesidad social por medio de una obra, siendo ésta parte de la base material de la sociedad sobre la que se levanta la superestructura (ideología e instituciones) de un país.

Finalmente cabe señalar que debido a que el Ingeniero Civil es el que lleva a cabo dichos proyectos de infraestructura, es de gran relevancia que conozca y aplique el concepto de proyecto de inversión en infraestructura, ya que dichos proyectos deben ser eficaces y económicos; es decir, que deben satisfacer las metas para las cuales fueron concebidos y tener el menor costo de construcción, mantenimiento y operación, aunque en estas obras de infraestructura también deben tomarse en cuenta los beneficios sociales y la velocidad del progreso que no son fácilmente cuantificables.

I.2 EL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO

Las necesidades sociales, por lo general en esencia son las mismas, éstas no cambian con el tiempo, por ejemplo la necesidad de abastecimiento de agua potable en las poblaciones, es la misma a través de la historia, lo único que cambia son los volúmenes de agua de acuerdo al número de habitantes de cada población. Otro aspecto que cambia

es el lugar y la distancia en donde podemos encontrar el recurso para extraerlo; es decir que a través del tiempo se ha ido alejando el lugar de obtención de los recursos, lo que representa cierta dificultad para poder satisfacer la necesidad.

Las obras de infraestructura se realizan para satisfacer parcial o totalmente las necesidades socioeconómicas; estas obras son proyectos de inversión.

Desde su concepción hasta su puesta en marcha u operación; inicio y fin, respectivamente, un proyecto de inversión pasa por una serie de fases intermedias altamente interdependientes las cuales reciben el nombre de "ciclo de vida de un proyecto". Dichas fases son las siguientes:

- ⇒ Fase de **planeación**
- ⇒ Fase de **diseño**
- ⇒ Fase de **construcción**
- ⇒ Fase de **operación y mantenimiento**

FASES DE UN PROYECTO DE INGENIERIA

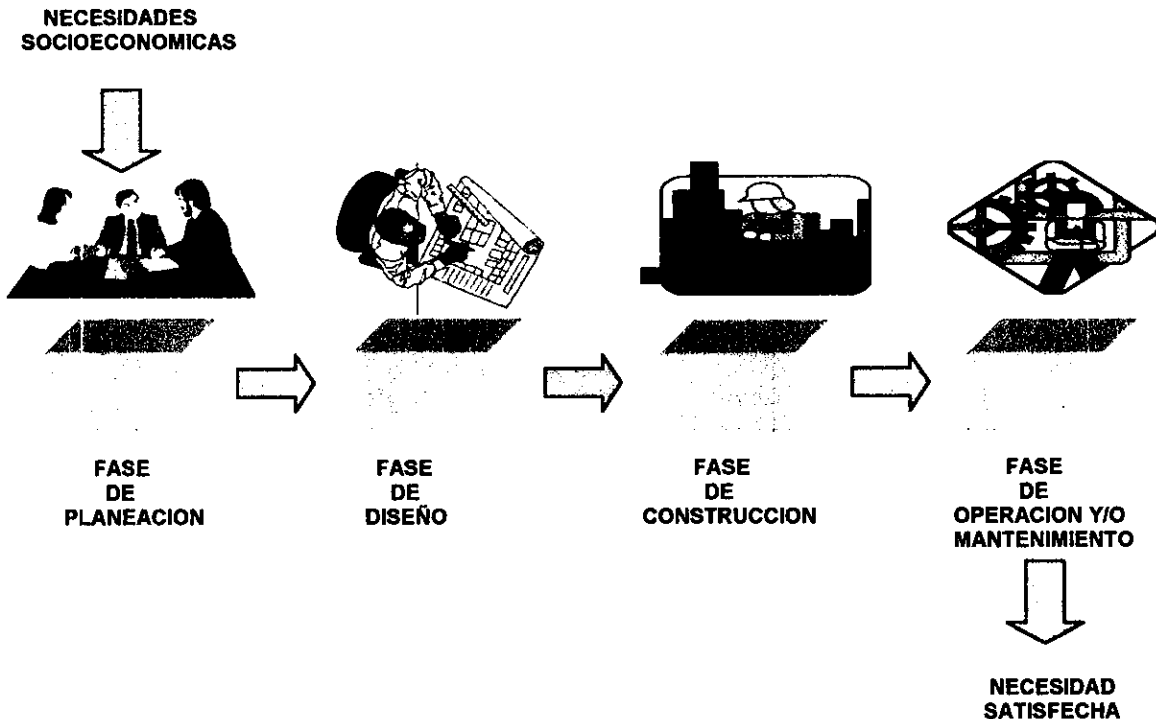


Figura I.1

En la fase de **Planeación** es donde se evalúan los proyectos de acuerdo a las necesidades que van a ser satisfechas para seleccionar que proyecto se ejecutará entre un conjunto de éstos, se realiza una discriminación por medio de tres etapas principales: Gran Visión, Prefactibilidad y Factibilidad, en las cuales se realizan estudios socioeconómicos y de mercado, técnicos y organizacionales (administrativos, legales y fiscales). El producto final de esta fase es el tener la decisión de que proyecto o proyectos son los que se van a ejecutar.

La fase de **Diseño** tiene por objetivo definir el satisfactor desde el punto de vista técnico. El resultado de esta fase son los planos ejecutivos así como las especificaciones técnicas, métodos y procedimientos constructivos. El prediseño y el diseño definitivo tienen distintos costos y tiempos de realización. Por ejemplo, en una licitación para proyecto de concesión, la Secretaría a cargo puede dar el diseño definitivo o en su caso un prediseño o datos generales del proyecto; si fuera este último el caso, las empresas que participarán en la licitación tendrán que incurrir en un costo para generar el prediseño y la empresa ganadora generaría el diseño definitivo.

La fase de **Construcción** es aquella donde se concreta el satisfactor a través de todos los procesos manuales y mecánicos; siguiendo las especificaciones técnicas arrojadas por el diseño y con el tiempo designado en la programación de la misma. El resultado que se obtiene de esta fase es el satisfactor en operación; lo que implica que dependiendo del tipo de obra, ésta podrá requerir de pruebas y ajustes para su buena operación; por ejemplo, al terminar la obra civil de una carretera, prácticamente esta puede operar, en cambio, en un sistema de generación de energía eléctrica los generadores, las compuertas y los sistemas electromecánicos en general, deben ser probados y calibrados o ajustados para su correcta operación.

La siguiente fase es la de **Operación y/o Mantenimiento**; el objetivo de esta fase es satisfacer la necesidad conforme a lo planeado, diseñado y construido, y mantener en buenas condiciones el satisfactor o las instalaciones que producen el satisfactor.

De esta manera se garantiza que el satisfactor llegue a cubrir la vida útil para la cual fue diseñado. El resultado que se obtiene en dicha fase es la Necesidad Satisfecha.

Esta fase se presenta como Operación "y/o" Mantenimiento debido a que existen proyectos que pudieran no tener prácticamente operación, es decir, que la operación se limita prácticamente a la administración y controles sencillos, como es el caso de la mayoría de las carreteras de nuestro país, en donde CAPUFE (Caminos y Puentes Federales) administran el proyecto; u otro caso particular el de una carretera concesionada, donde una empresa o el fideicomiso se encarga de la operación.

En cambio existen otros proyectos que requieren una operación especializada como en el caso de una hidroeléctrica, donde se tiene una tecnología especializada que opera una casa de máquinas, con tableros de control, generadores, turbinas, compuertas, etc.

I.2.1 ETAPAS DE LA FASE DE PLANEACION

A continuación se describe en que consiste cada una de las etapas principales de un proyecto y los estudios que se realizan en éstas en la fase de planeación de un proyecto de ingeniería en general.

Etapas I: Gran Visión o Perfil del Proyecto

Esta etapa se elabora a partir de la información existente, el sentido común y la opinión que da la experiencia. En este nivel solo se presentan cálculos globales de las inversiones, costos, gastos y los ingresos (sin entrar en investigaciones profundas), se eliminan los proyectos que no son viables (aquellos que demandan recursos imposibles de destinar), estos resultados se obtienen de realizar los siguientes análisis o estudios:

Estudio Socioeconómico / Estudio de Mercado
Estudio de recursos Potenciales (No financieros)
Estudio Técnico o Tecnológico de los Satisfactores
Estudio Económico
Estudio Financiero.

En esta etapa el grado de aproximación en la estimación de inversiones, costos y gastos puede tener un error de más o menos el cien por ciento.

Etapa II : Prefactibilidad o Previabilidad o Anteproyecto

En esta etapa se profundiza la investigación de fuentes secundarias y primarias del mercado, esto para el sector privado, para proyectos de infraestructura, el criterio es el estudio de las necesidades socioeconómicas actuales y futuras, para una obra concesionada se deben satisfacer criterios mixtos: cubrir una necesidad socioeconómica al satisfacer una demanda que sea lo suficientemente grande para que la empresa recupere la inversión y logre la ganancia que determinan los inversionistas. Es en esta etapa donde se detalla la tecnología que se utilizará en maquinaria y equipo, los métodos constructivos, los programas de obra adecuados, los costos totales y la rentabilidad económica del proyecto, basados en criterios técnicos, financieros, económicos, etc. En esta etapa el nivel de porcentaje de aproximación en el costo de la obra varía alrededor del ± 20 al ± 30 %. Los estudios o análisis que se desarrollan en esta etapa son siete:

Estudio Socioeconómico / Estudio de Mercado
Estudio de Recursos Potenciales (No financieros)
Estudio Técnico o Tecnológico de los Satisfactores
Estudio de Localización y tamaño del Proyecto
Estudio Administrativo
Estudio Económico
Estudio Financiero.

Etapa III : Factibilidad o Viabilidad o Proyecto Definitivo

Este estudio contiene básicamente toda la información del anteproyecto, sólo que aquí son tratados los puntos finos del proyecto, es decir que este estudio tiene por objetivo profundizar en los análisis realizados en la etapa anterior.

En este estudio se reúnen los suficientes elementos de juicio para tomar una decisión definitiva de aceptar y por lo tanto continuar el proceso de desarrollo del proyecto, o rechazarlo y cancelarlo.

La información detallada proviene de los siete estudios (Socioeconómico o de Mercado, Recursos Potenciales, Tecnológico, Localización y Tamaño, Administrativo, Económico y Financiero), estos estudios deben estar al detalle con un margen de aproximación de ± 5 %, esto es tomando en cuenta algún imprevisto. Si la aproximación tuviera un mayor margen, se crearían grandes implicaciones, sobre todo con la obtención de recursos financieros.

1.2.2 ESTUDIOS O ANALISIS QUE SE REALIZAN EN LA FASE DE PLANEACION

1.- Análisis Socioeconómico / Estudio de Mercado

Este análisis consta de la determinación y cuantificación de la demanda y oferta, el análisis de los precios, el estudio de la comercialización, el crecimiento de mercado, etc. Se verifica si existe mercado viable para el producto o servicio que se pretende elaborar u ofrecer, se ve que posibilidad real tiene el producto o servicio de penetrar un mercado determinado.

Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Numero de gentes que necesita el satisfactor, actividades donde se utiliza, tendencias de crecimiento, mercado potencial.
- b) Características propias del satisfactor.
- c) Competencia, precios, "canales de distribución", nuevos proyectos

2.- Análisis de los Recursos Potenciales (no financieros)

Es un análisis que se realiza para saber de que se dispone para satisfacer la necesidad. El abasto suficiente en cantidad y calidad de materias primas es un aspecto vital en el desarrollo de un proyecto.

Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Bancos de material
- b) Cantidades disponibles
- c) Proveedores
- d) Accesos
- e) Sustitutos

3.- Análisis Técnico o Tecnológico de los Satisfactores

El objetivo de este análisis se basa principalmente en la verificación de la posibilidad técnica de construcción de la obra y la tecnología con que se cuenta para la misma.

Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Programas de obra detallados
- b) Descripción - justificación de las técnicas y tecnologías a utilizar
- c) Costos de licenciamiento tecnológico
- d) Garantías

4.- Análisis de Localización y Tamaño del Proyecto

Los objetivos de este análisis es el determinar el lugar y la dimensión óptima, los equipos, las instalaciones y la organización requeridos para realizar la construcción de una obra o la producción de un producto o servicio en general a proporcionar.

Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Localización de los recursos
- b) Localización de "el mercado"
- c) Disponibilidad de recursos humanos
- d) Leyes aplicables
- e) Incentivos Fiscales

5.- Análisis Administrativo (Organización, Legal y Fiscal)

El estudio de organización no es suficientemente analítico en la mayoría de los estudios, lo cual puede impedir una cuantificación correcta, tanto de la inversión inicial como de los costos de administración. En la fase de anteproyecto no es necesario profundizar totalmente en el tema, pero cuando se lleve a cabo el proyecto definitivo, lo más recomendable es encargar el estudio a empresas especializadas. Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Recursos humanos necesario para la etapa de diseño, para la etapa de construcción y para la etapa de operación y mantenimiento
- b) Estudios legales y fiscales

6.- Análisis Económico

El análisis económico tiene por objetivo ordenar y sistematizar la información de carácter monetario que proporcionan las etapas anteriores y elaborar cuadros analíticos que sirven de base para el análisis financiero. Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Estimación de los ingresos
- b) Estimación de las inversiones
- c) Estimación de costos y gastos del proyecto

7.- Análisis Financiero

El análisis financiero es una herramienta utilizada dentro de la planeación. Sirve para decidir si se entra o no a una obra, por métodos de evaluación que toman en cuenta el valor del dinero a través del tiempo, como son la tasa interna de retomo y el valor presente neto, normalmente no se encuentran problemas en relación con el mercado o la tecnología disponible que se empleará en la construcción de la obra que brindará un servicio o producto; por tanto, la decisión de inversión casi siempre recae en el análisis financiero, de lo anterior radica su importancia. Los estudios que se realizan en este análisis son los siguientes:

- a) Tasa Interna de Retomo (TIR)
- b) Valor Presente Neto (VPN)
- c) Periodo de Recuperación de la Inversión a una tasa "X".
- d) Análisis de sensibilidad
- e) Análisis de riesgo

1.3 LA GLOBALIZACION Y EL DESARROLLO SUSTENTABLE

GLOBALIZACION

Aun cuando se considera como un proceso reciente, la globalización consideran algunos estudiosos da inicio poco después de la segunda guerra mundial, proceso promovido por los Estados Unidos, país el cual busca colocar sus excedentes tanto de producción como de tecnología en el mundo a través de sus empresas, este ejemplo es seguido en forma paulatina por los demás países, principalmente los europeos. En fechas más recientes el proceso globalizador ha tenido un auge impresionante debido en gran manera a los avances tecnológicos.

Hacia los años ochenta la globalización económica ya parecía implicar una mejor ruta para alcanzar la modernidad y la eficiencia, en sustitución de las teorías que, como el proceso de sustitución de importaciones, impulsaban el desarrollo de lo Estados en términos nacionalistas, soberanos y autónomos. La globalización propone reemplazar esos modelos supuestamente agotados por otros de tipo más universal, que induzcan la inserción de una economía nacional en el concierto de los países que rigen la economía mundial. Los pasos a seguir son:

1o.) La apertura de los mercados de bienes y servicios mediante la reducción graduada de los aranceles y otras barreras comerciales, y

2o.) La apertura graduada del mercado financiero nacional a las inversiones extranjeras.

Con la liberalización de las economías antes nacionales, se genero una simbiosis entre la globalización de los mercados y el progreso tecnológico; es decir, la apertura de los mercados facilitó la difusión de las tecnologías, de ahí que países como Japón, apoyados en un acelerado cambio tecnológico, pudieron concurrir ventajosamente a los mercados globalizados. Hoy día es una premisa que las actividades intensivas en conocimientos y tecnología constituyan la punta de lanza del comercio internacional.

La "globalización" ha pasado a ser un término de moda, como lo afirman algunas publicaciones, pero si bien nadie, al parecer, sabe muy bien qué es la globalización, aunque todo el mundo habla de ella. Se nos dice que "es la creación de un mercado mundial en el que circulen libremente los capitales financiero, comercial y productivo".

El énfasis, lo realmente decisivo, estaría en la libre movilidad de los capitales. Se afirma también que "es el inicio de una nueva etapa en la historia del capitalismo".

Como se mencionó antes, el termino globalización en si mismo implica varias cuestiones, dentro de las que se presentan los siguientes aspectos respecto a la misma, tan variados como autores existen:

1. La globalización implica "considerar el mundo como el mercado, fuente de insumos y espacio de acción, tanto para la producción como para la adquisición y la comercialización de productos".

2. Características de la globalización serían el aumento del comercio exterior y de la exportación de capitales, el menor uso de materias primas y la mayor "desmaterialización" del producto. Asimismo, los aspectos de la revolución tecnológica, así como los procesos de automatización y robotización de la producción.

3. Para otro autor, notas distintivas de la globalización son: la gran movilidad del capital financiero, la apertura comercial, la inversión externa, la desagregación de los procesos productivos y el control empresarial a distancia y "en tiempo real" mediante el avance cibernético.

Mientras para algunos la tendencia es hacia la construcción del Estado mundial, para otros lo que tiende a imponerse es una "sociedad empresarial". En ella las políticas económicas estatales cuentan cada vez menos, "las realidades se imponen contra todas las teorías económicas" y, dada su complejidad, éste sería un sistema en el que "no es posible la predicción". Según esa interpretación, "la economía funciona, no según la racionalidad de los economistas, sino de los empresarios". La complejidad del sistema resulta evidente si se toma en cuenta que confluyen cuatro economías: la microeconomía de los individuos y de las empresas, la macroeconomía de los Estados nacionales, la economía propia de las empresas transnacionales y, por último, la economía mundial.

El estado actual deberá permitir a países pobres las alternativas y propuestas realizables ante el reto de la globalización. No se trata sólo de conceptuar qué es lo posible, también de delimitar el horizonte de las imposibilidades actuales. En el nivel global, la perspectiva alternativa que puede y debe ofrecerse es la de un mundo convertido efectivamente en un solo mundo. Implica un nuevo orden económico internacional, que supere el abismo que separa al primer del tercer mundo.

El proceso de "globalización" y el papel del mercado

Como fenómeno de mercado, la globalización tiene su impulso básico en el progreso técnico y, particularmente, en la capacidad de éste para reducir el costo de mover bienes, servicios, dinero, personas e información. Esta reducción de la "distancia económica" ha permitido aprovechar las oportunidades de arbitraje existentes en los mercados de bienes, servicios y factores, disminuyendo (aunque no eliminando) la importancia de la geografía y la efectividad de las barreras de política. En la etapa actual, el proceso de "globalización" se caracteriza, además, por un notable incremento en la capacidad de las firmas para fragmentar geográficamente los procesos productivos, lo que ha tenido como contrapartida un crecimiento sostenido del comercio (especialmente de manufacturas) y las inversiones internacionales (figura 1.2).

Para algunos autores la globalización es un fenómeno que lo abarca todo, por lo que en la práctica lo asimilan con la gradual desaparición del Estado - Nación. Otros autores todavía advierten alguna función para las políticas nacionales, limitadas ahora a promover la construcción de un "Estado competitivo". Según esta visión, los límites a la efectividad de las políticas públicas estarían dados por su "capacidad efectiva para promover un clima de inversión relativamente favorable para el capital transnacional". En las antípodas de los primeros están quienes subrayan las especificidades en las políticas y arreglos institucionales y regulatorios nacionales como características dominantes de un sistema internacional todavía basado en la supervivencia del Estado - Nación.

La visión de la globalización como un fenómeno que lo abarca todo tiene el atractivo de la simplicidad: el mercado domina y la adaptación es el curso razonable de acción en un marco de selección Darwiniana expresada a través de la búsqueda de la "competitividad". Sin embargo, esta visión parece más una recomendación normativa respecto al mundo "deseable" que una descripción, aún estilizada, de la realidad.

LA "GLOBALIZACION": ALGUNOS INDICADORES

AÑO	PRODUCCIÓN MUNDIAL 1983=100	COMERCIO MUNDIAL TOTAL 1983=100	COMERCIO MUNDIAL DE MANUFACTURAS 1983=100	INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA MUNDIAL 1983=100	PARTICIPACIÓN DE LOS PED EN EL COMERCIO MUNDIAL DE MANUFACTURAS %	PARTICIPACIÓN DE LOS PED EN LA INVERSIÓN EXTRANJERA DIRECTA MUNDIAL %
1983	100.0	100.0	100.0	100.0	13.1	24.2
1984	103.8	105.8	102.8	116.1	12.7	20.8
1985	107.5	106.2	102.8	119.0	12.0	23.6
1986	111.3	117.4	125.7	192.5	13.1	14.7
1987	113.8	137.8	153.3	298.0	14.7	11.6
1988	118.8	157.0	176.6	367.4	15.6	15.7
1989	122.5	170.3	188.5	470.6	18.2	14.7
1990	125.0	192.3	216.4	493.0	17.9	14.8
1991	123.8	197.5	223.5	392.9	19.6	26.5
1992	125.0	213.1	244.4	396.9	20.8	30.1
1993	127.5	212.5	246.7	460.7	23.8	36.0
1994	131.3	237.7		468.1		39.3

Figura I.2 Fuente: Gundlach y Nunnenkamp (1996)

Las otras dos visiones tienen el atractivo de incorporar la heterogeneidad y las especificidades nacionales como atributos del escenario internacional contemporáneo. Pero, ¿cuál es el peso relativo de la diversidad frente al fenómeno reconocido de la "globalización"? Dos factores son decisivos en este sentido, a saber: el tipo de transacciones involucradas (las características del mercado) y las características del Estado - Nación sobre las que dichas transacciones influyen (figura I.3).

La conveniencia de un análisis sobre las formas específicas en que el proceso de globalización afecta el funcionamiento de los mercados y la efectividad de las políticas públicas es incluso evidente en el ámbito del mercado financiero, donde la erosión de las barreras geográficas y de política ha avanzado de manera más notable. Aún cuando las restricciones a la capacidad de los gobiernos para desarrollar políticas monetarias y fiscales independientes es evidente, el examen empírico muestra la existencia de márgenes de acción remanentes y de diferencias en el grado de autonomía de que disfrutaban las distintas autoridades nacionales.

GLOBALIZACION: UN FENOMENO DIVERSO

CARACTERISTICAS	MERCADOS O ATRIBUTOS
Alta Movilidad	Información Capital de cartera Tecnología
Muy móvil	Bienes Capital humano desde los países pobres
Semi-móvil	Inversión en plantas Capital gerencial Principios de regulación y manejo de las empresas
Casi inmóvil	Capital humano de nivel medio Principios regulatorios y esquemas organizacionales básicos
Inmóvil	Infraestructura Principios profundos y consideraciones de soberanía

Figura I.3 Fuente: Gundlach y Nunnenkamp (1996)

Cohen (1996) subraya que la disciplina (macroeconómica) impuesta por la integración de los mercados financieros es menor de lo que parece por, al menos, tres razones. La primera es que las políticas fiscales y monetarias tienen un impacto limitado sobre las variables reales de la economía en el largo plazo, aún en circunstancias en que la movilidad del capital es imperfecta. La segunda es que la movilidad del capital aún dista de ser perfecta, como lo demuestran las investigaciones empíricas sobre el grado de sustituibilidad existente entre distintos activos nacionales. En tercer lugar, y dentro de ciertos márgenes, las autoridades aún enfrentan *trade-offs* entre su autonomía de política y el grado de inestabilidad cambiaria resultante. De hecho, a menos que las autoridades tengan una preferencia absoluta por la estabilidad del tipo de cambio, normalmente es posible conservar cierto grado de autonomía en el manejo de las políticas macroeconómicas a cambio de un cierto rango de volatilidad cambiaria.

Por consiguiente, aún en áreas directamente afectadas por el vasto proceso de globalización financiera las autoridades nacionales conservan grados de autonomía. Esta autonomía, sin embargo, no se distribuye de manera homogénea: algunos Estados nacionales (y sus autoridades públicas) disponen de ella en mayor dosis que otros. La cuestión relevante desde el punto de vista de las políticas no es, por consiguiente, si el proceso de globalización plantea restricciones (sobre lo cual no existe duda alguna), sino qué factores explican las diferencias nacionales y cuál es el carácter preciso del *trade off* que enfrenta cada autoridad pública. El grado de independencia (y reputación) de la autoridad monetaria, las características estructurales de la relación entre el sector bancario y el industrial, la situación de las cuentas externas y otros atributos tales como el tamaño y el grado de apertura de la economía han sido identificadas como variables que influyen sobre el grado de autonomía de políticas de las autoridades nacionales.

En resumen, la globalización como fenómeno de mercado ha tenido un impacto considerable sobre el funcionamiento de los mercados y la efectividad de las políticas públicas nacionales. Sin embargo, las autoridades siguen disponiendo de grados variables de autonomía expresados en distintos *trade offs* de política.

Pero la globalización no es únicamente un fenómeno impulsado por el mercado. Las políticas (la remoción de las barreras que los separan y la armonización de prácticas e instituciones nacionales disímiles) también juegan un papel importante. Con frecuencia, la armonización o la remoción de regulaciones es una respuesta a las presiones del mercado. Pero en ocasiones son las decisiones de política las que promueven y aceleran la integración de los mercados y, por consiguiente, el movimiento hacia la globalización.

Las oportunidades de la globalización

Los costos y tensiones que el proceso de globalización impone sobre las economías nacionales son bien conocidos. Los más visibles son la limitación en la efectividad de las políticas nacionales y el conflicto que plantea la fractura existente entre las estructuras de gobierno (de base predominantemente nacional) y la naturaleza "global" de ciertos flujos e interacciones económicos. Sin embargo, el proceso de "globalización" también ofrece nuevas oportunidades para las economías nacionales.

Por una parte, el proceso de globalización plantea la oportunidad de mejorar las condiciones de acceso a mercados que anteriormente se hallaban más fragmentados. Los flujos de información, tecnología y capital de cartera han sido los que más han incrementado su movilidad y, por consiguiente, constituyen los mercados donde más han mejorado las condiciones de acceso para economías con menor capacidad relativa de

generación endógena. Sin embargo, las condiciones para aprovechar estas oportunidades están heterogéneamente distribuidas entre países. Un aspecto central, por consiguiente, reside en identificar los atributos que mejoran dicha capacidad y permiten revertir los aspectos negativos heredados de comportamientos pasados (*path dependency*).

Un ejemplo de lo que aquí se señala lo plantea uno de los rasgos típicos del proceso de globalización reciente, cual es la mejora en la capacidad de las firmas para fragmentar los procesos productivos en localizaciones geográficamente dispersas. En efecto, la notable reducción de los costos del transporte y las comunicaciones ha facilitado la división del proceso productivo, permitiendo la participación de un mayor número de localizaciones geográficas según las ventajas que cada una aporta a la cadena de valor agregado. Este hecho ha ampliado las oportunidades para que economías individuales participen más activamente de las redes internacionales de producción administradas por las grandes compañías multinacionales. Este proceso se ha acompañado de un *boom* de inversión extranjera directa y de la proliferación de nuevas formas de asociación no accionaria entre firmas. Como Oman (1994) señala, sin embargo, la posibilidad de participar en dichas redes de producción depende de la efectividad con que la economía receptora responda a las demandas de estabilidad macroeconómica, disponibilidad de infraestructura, y calificación y adaptabilidad de la mano de obra, atributos intrínsecos al nuevo patrón de organización de la producción.

El proceso de globalización también crea nuevas oportunidades en tanto incrementa la competencia, sienta las bases para el establecimiento de nuevas alianzas empresarias y sociales y contribuye a la desarticulación de los oligopolios establecidos. Si estos últimos bloqueaban la modernización, desarrollaban un comportamiento del tipo *rent-seeking* y "explotaban" al resto de la comunidad, las nuevas coaliciones pueden generar resultados más favorables que el *status quo*. Del mismo modo, la globalización puede permitir, bajo determinadas circunstancias, mejorar la calidad de las políticas domésticas aumentando el costo de implementar políticas insustentables.

Estas oportunidades, sin embargo, son sólo potenciales. En efecto, no hay ninguna garantía *a priori* de que el resultado de las nuevas coaliciones será superior al pre-existente. En este sentido, resulta ilustrativa la revisión que hace Armijo (1996) del impacto diferencial de distintas formas de ingresos de capitales sobre el crecimiento económico, los gobiernos en el poder y la democracia (figura 1.4). Aún cuando sus conclusiones sean debatibles, los ejemplos ilustran la diversidad de resultados posibles.

Del mismo modo, no es seguro que aún cuando la globalización haga muy costosa la implementación de políticas insustentables en el mediano y largo plazo las nuevas políticas serán superiores a las que se aplicarían en un contexto de mayor autarquía. La versión simplista de este argumento puede encontrarse en la afirmación de una influyente publicación internacional de que "cuanto más eficiente es el mercado global de capitales, más probable es que retribuya las políticas económicas sanas y huya frente a los errores" (The Economist, 1995). Sin embargo, en la práctica existe una evidente ambigüedad sobre lo que constituyen "políticas erróneas" y "políticas correctas", especialmente cuando el objetivo de las mismas no es especificado.

CONSECUENCIAS PROBABLES DE DISTINTAS FORMAS DE INGRESO DE CAPITALES EXTRANJEROS

CLASE DE INGRESO DE CAPITAL	RIESGO DE CRISIS DE BALANZA DE PAGOS	CONTRIBUCIÓN PROBABLE AL CRECIMIENTO ECONÓMICO	IMPLICACIONES PARA EL GOBIERNO EN EL PODER	IMPLICACIONES PARA LA DEMOCRACIA
Ayuda externa al gobierno	Bajo	Bajo/Moderado	Fortalece al gobierno	Fortalece la influencia externa
Inversión extranjera directa	Bajo	Moderado/Alto	Fortalece la influencia externa	Hace más difícil la transición y la consolidación de la democracia
Préstamos bancarios de largo plazo al gobierno (y bancos locales)	Moderado	Bajo/Moderado	Fortalece al gobierno	Fortalece al gobierno
Préstamos bancarios de largo plazo a las grandes empresas locales	Moderado	Moderado/Alto	Fortalece a las grandes empresas locales	Promueve la liberalización política pero no necesariamente la democracia
Préstamos de cartera al gobierno (y bancos locales)	Alto	Bajo/Moderado	Fortalece al gobierno	Fortalece al gobierno. Una crisis de balanza de pagos debilita la autonomía local de política
Préstamos de cartera a las grandes empresas locales	Alto	Moderado/Alto	Fortalece a las grandes empresas locales	Promueve la liberalización política pero no necesariamente la democracia. Una crisis de balanza de pagos debilita la autonomía local de política

Figura I.4 Fuente: Armijo 1996

La globalización es un proceso vigoroso pero pleno de contradicciones. La más importante es la creciente disparidad entre las estructuras políticas basadas en el Estado nación y el carácter crecientemente global de las interacciones y flujos que vinculan a las distintas economías nacionales. La consiguiente disminución de la "autonomía" plantea desafíos a la noción misma de soberanía política. No obstante, este último principio sigue siendo uno de los elementos organizadores fundamentales de la acción pública.

Para finalizar se puede concluir que la globalización es un concepto que se utiliza convencionalmente para designar la internacionalización de los fenómenos económicos y sociales. Este es un fenómeno que esta invadiendo los rincones más apartados del planeta y del cual desconocemos sus límites, pero si bien esto es cierto, representa una prueba para las naciones del orbe que les permitirá mejorar las condiciones de vida dentro de las mismas bajo un esquema de desarrollo sostenido y sustentable.

DESARROLLO SUSTENTABLE

La noción de desarrollo sustentable tiene su origen más remoto en el debate internacional iniciado en Estocolmo y consolidado en Río (1992). Desde luego, el desarrollo sustentable asume importancia en el momento mismo en que los centros de poder mundial declaran la ineficacia del Estado como motor del desarrollo y proponen su reemplazo por el mercado, mientras declaran también la falla de la planificación gubernamental.

Se identifica a este con la conservación del stock de recursos y de la calidad ambiental para la satisfacción de las necesidades básicas de las generaciones actuales y futuras. Pero si bien este es el concepto mayormente difundido, con un enfoque ambientalista, el desarrollo sustentable como un enfoque de crecimiento sostenido que permita librar los rezagos en diversos ámbitos (económicos, sociales, culturales, etc.) entre las llamadas naciones del primer mundo y las del tercer mundo o subdesarrolladas, que la sustentabilidad del desarrollo requiere precisamente de un mercado regulado y de un horizonte de largo plazo para las decisiones públicas, es otro de las muchas definiciones que se le dan a este término, pero es en este dentro del cual debemos de enfocar nuestra visión como generadores de la infraestructura de nuestro país.

Aunado a esto hay que destacar que la situación actual nos obliga a tener muy en cuenta que el desarrollo sustentable se deberá dar en un entorno mundial tendiente a la globalización, el cual obliga a las empresas nacionales a modernizarse y ser competitivas ante la apertura, no solamente para tener presencia dentro del mercado interno sino hacer una realidad la "aldea global" y poder tener presencia fuera de nuestro país, además el estado deberá consolidar su papel de organismo regulador, tanto dentro como fuera de sus fronteras, no con fines proteccionistas sino como verificador de las reglas que se aplicaran, las cuales permitan una real competitividad.

El enfoque de desarrollo sustentable como base de las acciones del Estado deberán de lograr disipar las tensiones sociales que se generen dentro del marco de globalización, además que deberán garantizar que las inversiones que hoy se hagan en infraestructura realmente se realizan teniendo muy en cuenta la recuperación de las inversiones para generar más inversión, de la conservación de la infraestructura para garantizar su correcta vida útil, así como la transparencia en la asignación de recursos financieros limitados, así como recursos naturales.

Podría decirse que convivimos todavía con dos realidades contrapuestas. Por un lado, todos concuerdan que el estilo actual se ha agotado y es decididamente insustentable, no sólo desde el punto de vista económico y ambiental, sino que, principalmente, en lo que se refiere a la justicia social.

En efecto, el agotamiento del estilo vigente, particularmente en los países del Sur, implica el reconocimiento de que este es el resultado de insuficiencias *estructurales* de las estrategias de crecimiento adoptadas en esos países, estrategias en las cuales el alto dinamismo económico ha sido acompañado de igualmente elevados niveles de desigualdad social, agravadas en la última década por procesos de exclusión absoluta.

No cabe duda que entre la época de "Una Sola Tierra" y la actualidad del "Desarrollo Sustentable" el mundo ha cambiado sensiblemente su percepción respecto de la crisis. Ya no se la puede reducir a una cuestión de mantener limpio el aire que respiramos, el agua que bebemos o el suelo que produce nuestros alimentos. Carece de sentido, a esas alturas del debate, oponer el medio ambiente al desarrollo, pues el primero es simplemente el resultado del segundo. Los problemas ecológicos y ambientales son los

problemas del desarrollo, los problemas de un desarrollo desigual, para las sociedades humanas, y nocivo, para los sistemas naturales.

PARTICIPACION DE LA INGENIERIA CIVIL EN LA BUSQUEDA DE UN DESARROLLO SUSTENTABLE

Mucho se ha hablado sobre este tema en los diferentes medios profesionales, en especial en aquellos que intervienen directamente en las diversas actividades de crecimiento nacional; uno de estos es la ingeniería civil, actividad que tiene una gran importancia en el desarrollo de cualquier país.

La ingeniería civil, como motor de desarrollo, genera la infraestructura que requiere el país, para lo cual necesita de los recursos para llevar a cabo esta tarea; como se menciono en el primer punto de este capítulo, los recursos son muy variados, pero en general serán limitados. Todo esto obligara al ingeniero civil a tomar sus decisiones dentro de un contexto de recursos limitados para una población en constante crecimiento. Hasta ahora el desarrollo sustentable se ha manejado en el ámbito del medio ambiente, pero cada día más profesionales se dan cuenta de que se debe considerar en todos los aspectos que implican desarrollo. Así para el ingeniero civil el mantener los recursos naturales, implicara no solo el no ocuparlos, sino el emplearlos de manera ordenada y programada teniendo en cuenta sus posibilidades de rehuso futuro o de renovación de recursos.

Todo lo anterior se engloba dentro del medio ambiente, pero además de esto el ingeniero civil realiza obras con recursos financieros limitados, se enfrenta día a día con el paradigma de realizar más con menos, respetando la ecología y optimizando los recursos financieros. De tal manera que hoy en día se deben realizar las cosas teniendo muy en cuenta que estas satisfagan las necesidades presentes y futuras sin que implique inversiones desequilibradas. Para explicar mejor esto bastaría citar un pequeño ejemplo en la construcción de las carreteras, si pensamos en realizar la misma de manera que su inversión inicial sea mínima, descuidando la calidad del trabajo, a lo largo del ciclo de vida del proyecto se tendrán grandes inversiones para su mantenimiento y conservación lo cual repercutirá en su rentabilidad o aun más en la simple recuperación de las inversiones haciendo más difícil el problema.

Para solucionar este tipo de cuestiones el ingeniero ahora tiene que pensar en el proyecto con el enfoque de ciclo de vida, para realizar soluciones adecuadas durante el mismo teniendo presente que para poder mantener un verdadero desarrollo se tienen que realizar trabajos con calidad hoy y que implique la menor cantidad de desembolsos futuros, pero sin olvidar que estos últimos serán necesarios y que se pueden prever y recuperar.

1.4 DESARROLLO DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA EN MÉXICO

1.4.1 EVOLUCION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA

El año 1925 aparece como el punto de partida en la historia de la construcción de carreteras en México. El crecimiento del parque de automóviles, el impulso de la industria automotriz y el establecimiento de nuevas instituciones fueron factores decisivos para la creación de vías de comunicación que enlazarán las principales ciudades del centro y el norte del país, así como los litorales del Golfo y del Pacífico.

En 1925 México contaba con 28,000 km de brechas y veredas, por los que difícilmente podían circular los 40,000 vehículos de combustión interna que existían en el país. Los primeros pasos para resolver aquella situación se recorrieron con la promulgación de una ley que establecía el impuesto sobre el uso de la gasolina y la creación de la denominada Comisión Nacional de Caminos.

En abril de 1926, el Presidente Plutarco Elías Calles aprobó la Ley de Caminos y Puentes, que vino a definir las características de aquellos y determinó la constitución de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

No obstante, hasta 1930 fue la Comisión Nacional de Caminos el organismo encargado de llevar a cabo la construcción de 1,426 km de carreteras, en colaboración con los gobiernos de los estados, titulares de la gestión de las vías secundarias.

Para aquel año, la fase armada de la Revolución había concluido, y México afrontaba la necesidad de comunicarse. Carente de adecuadas técnicas de planeación, las inversiones se realizaban mediante el análisis individual de cada proyecto, sin establecer la relación necesaria con la situación económica del país.

En principio, se tendieron aquellos caminos que respondían al propósito de unir la Ciudad de México con la de Juárez y otros puntos de la frontera norte, así como Veracruz y Acapulco. Pese a que estas primeras obras obligaron a la construcción de tramos de enlace con algunas de las principales áreas metropolitanas, aún estaban lejos de conformar una red planificada. En aquel momento se computaban en México 45 localidades de más de 15,000 habitantes.

En diciembre de 1932, por acuerdo del entonces presidente Pascual Ortiz Rubio, se fundó el Sistema de Cooperación Federal con los Estados. Con él cada entidad, apoyada por la Junta Local de Caminos respectiva y en base a un sistema financiero basado en la aportación federal y estatal bipartita, realizó y conservó nuevos caminos.

El mismo acuerdo transformó la Comisión Nacional de Caminos en la Dirección Nacional de Caminos, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas.

Entre 1925 y 1940 fueron construidos 9,929 km de carreteras, que enlazaron a 23 ciudades de más de 15,000 habitantes.

En la década siguiente, de 1940 a 1950, quedaron integrados 11,500 kilómetros más, destacando la popular Carretera Panamericana, que une Ciudad Juárez, Chihuahua, con Ciudad Cuauhtémoc, Chiapas, y las de México – Nogales, Durango – Torreón, Mérida – Campeche y Veracruz – Coatzacoalcos.

En los años 50 el país comenzó a dotarse con vías de alta capacidad, con la creación de la autopista México – Cuernavaca, financiada mediante la fórmula del peaje y puesta en servicio en noviembre de 1952. A ello se sumaron 22,500 nuevos kilómetros de carreteras, destacando la de San Luis Potosí a Piedras Negras, Coatzacoalcos a Salina Cruz y Coatzacoalcos a Villahermosa.

Las labores de conservación y mantenimiento quedaron encomendadas en 1958 al organismo Caminos Federales de Ingresos, que en 1963 cambió su nombre por el de Caminos Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE).

En 1960 el 27% del país era accesible por automóvil, y la red contaba ya con 45,089 km; en esta década empiezan a construirse enlaces transversales entre los ejes principales, lo

que la hace más versátil; además de permitir el flujo entre las regiones sin necesidad de pasar por la zona central del país. La red carretera une esta época las principales poblaciones del país.

En el decenio de 1970 -1980, de acuerdo a la longitud de la red carretera, que va de 71,520 km a 212,626 km, se puede apreciar el incremento considerable en inversión carretera además del papel estratégico que se observa en el transporte de carga y pasajeros por vía terrestre, de estas inversiones destaca la Carretera Transpeninsular que daba acceso a Baja California. Para 1982 la Red Carretera Nacional contaba con un total de 213,702 km

En 1989 México contaba ya con 238,000 km de carreteras, las cuales 45,000 km eran federales, 1,000 km de autopistas de cuota, 59,000 carreteras alimentadoras, 98,000 km de caminos rurales y 35,000 brechas mejoradas. El 33% de la longitud total se encontraba pavimentada, el 52% revestida y el 15% restante era de terracería.

La crisis económica sufrida en el país entre 1982 y 1988 afectó severamente a las infraestructuras de transporte por carretera, impidiendo su crecimiento, modernización y conservación, y provocando un gran deterioro de la red troncal.

A comienzos de 1989, los 45,000 kilómetros de la red de carreteras federal estaban totalmente pavimentados; sin embargo, el 55 % de los mismos superaba su vida útil, al contar con más de 30 años de servicio. Solo el 15% de esta red contaba con menos de 15 años de operación.

No obstante todo lo anterior, es importante señalar el salto enorme en cuanto a cantidad de kilometraje se refiere de 1990 a 1995 que va de 239,298 a 303,262 km para confirmar nuevamente la importancia del sector carretero en el desarrollo del país.

DESARROLLO DE LA RED CARRETERA EN MEXICO

AÑO	TOTAL (km)
1930	1,426
1935	5,237
1940	9,929
1945	17,404
1950	21,422
1955	27,276
1960	45,089
1965	59,497
1970	71,520
1975	186,218
1980	212,626
1985	231,900
1990	239,298
1995	303,262

Figura I.5

FUENTE: Programa Nacional de Autopistas 1989 - 1994.
SCT 1995

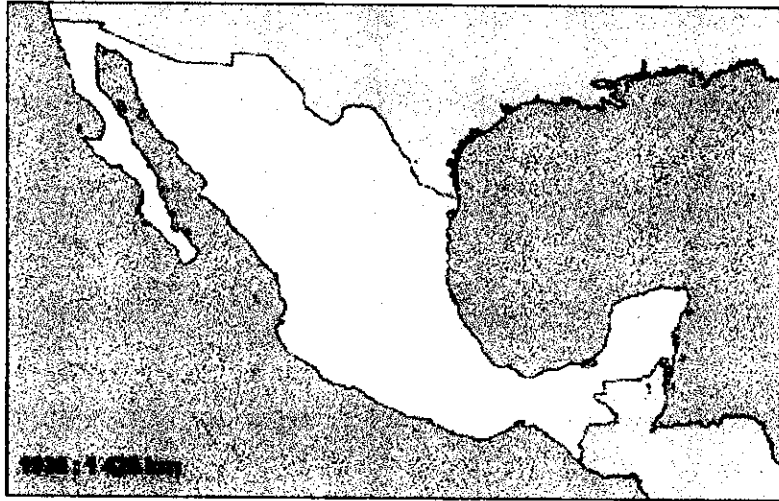


Figura I.6

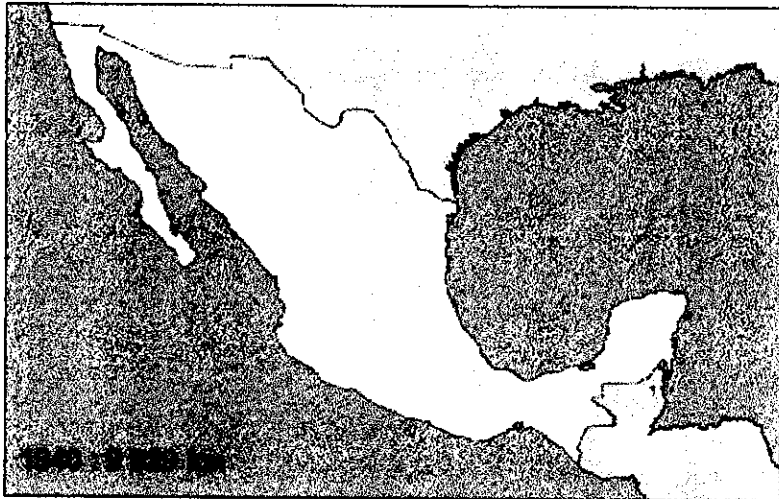


Figura I.7

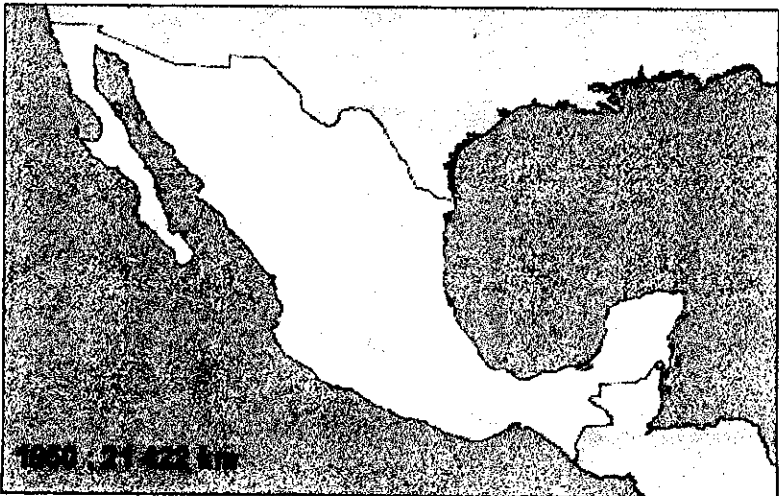


Figura I.8

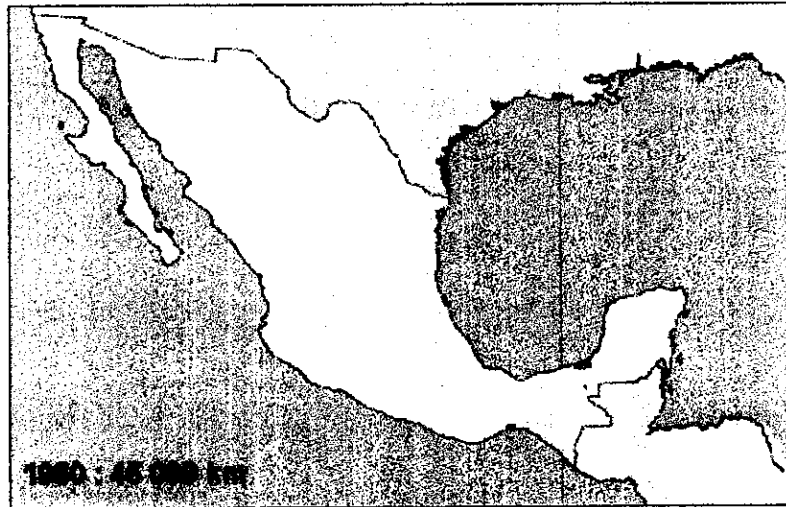


Figura I.9

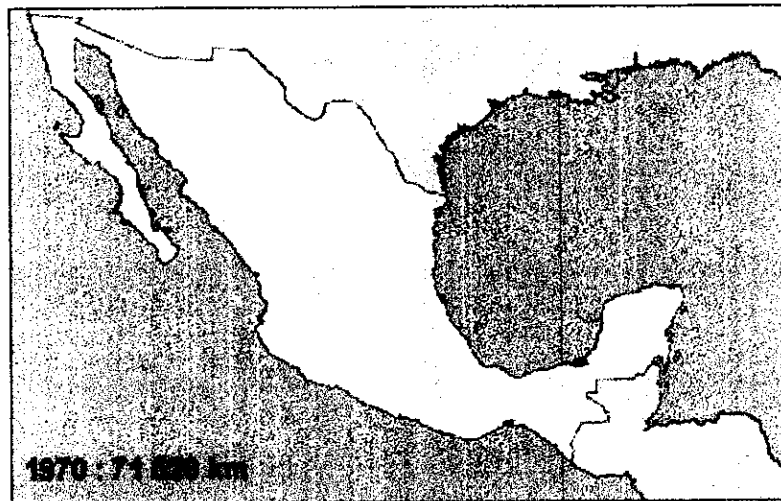


Figura I.10



Figura I.11

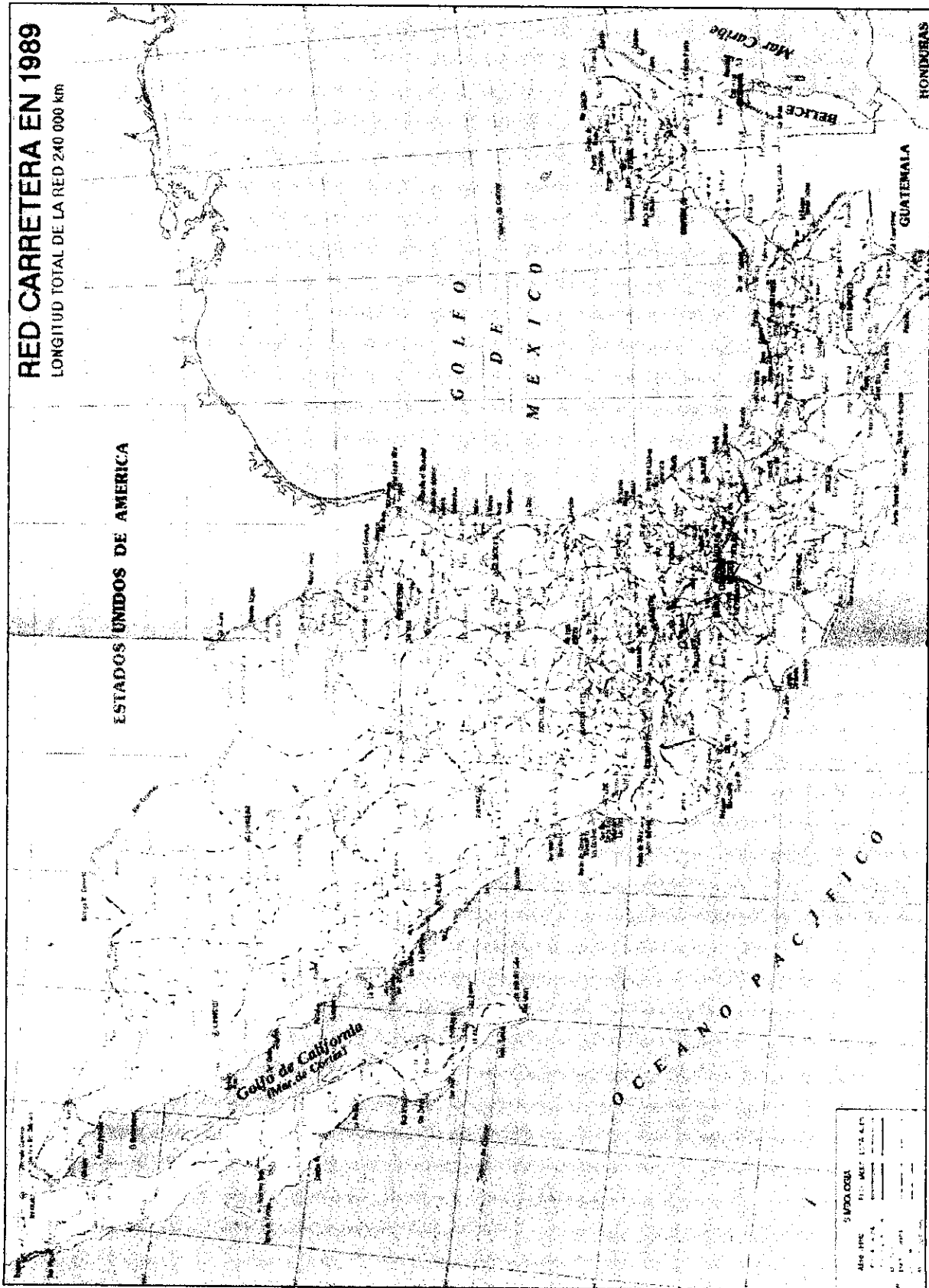
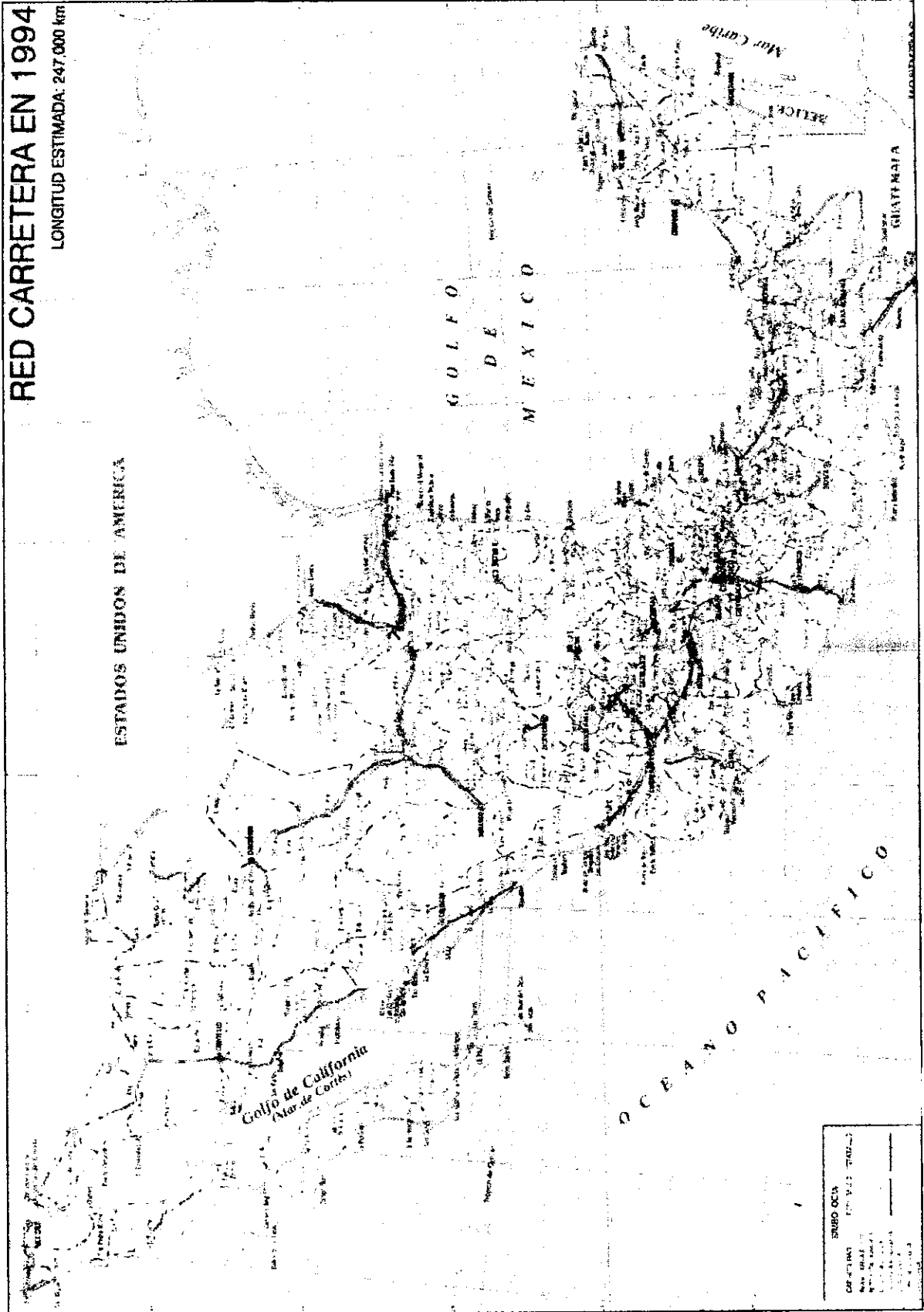


Figura I.12



RED CARRETERA EN 1994
LONGITUD ESTIMADA: 247,000 km

Figura I.13

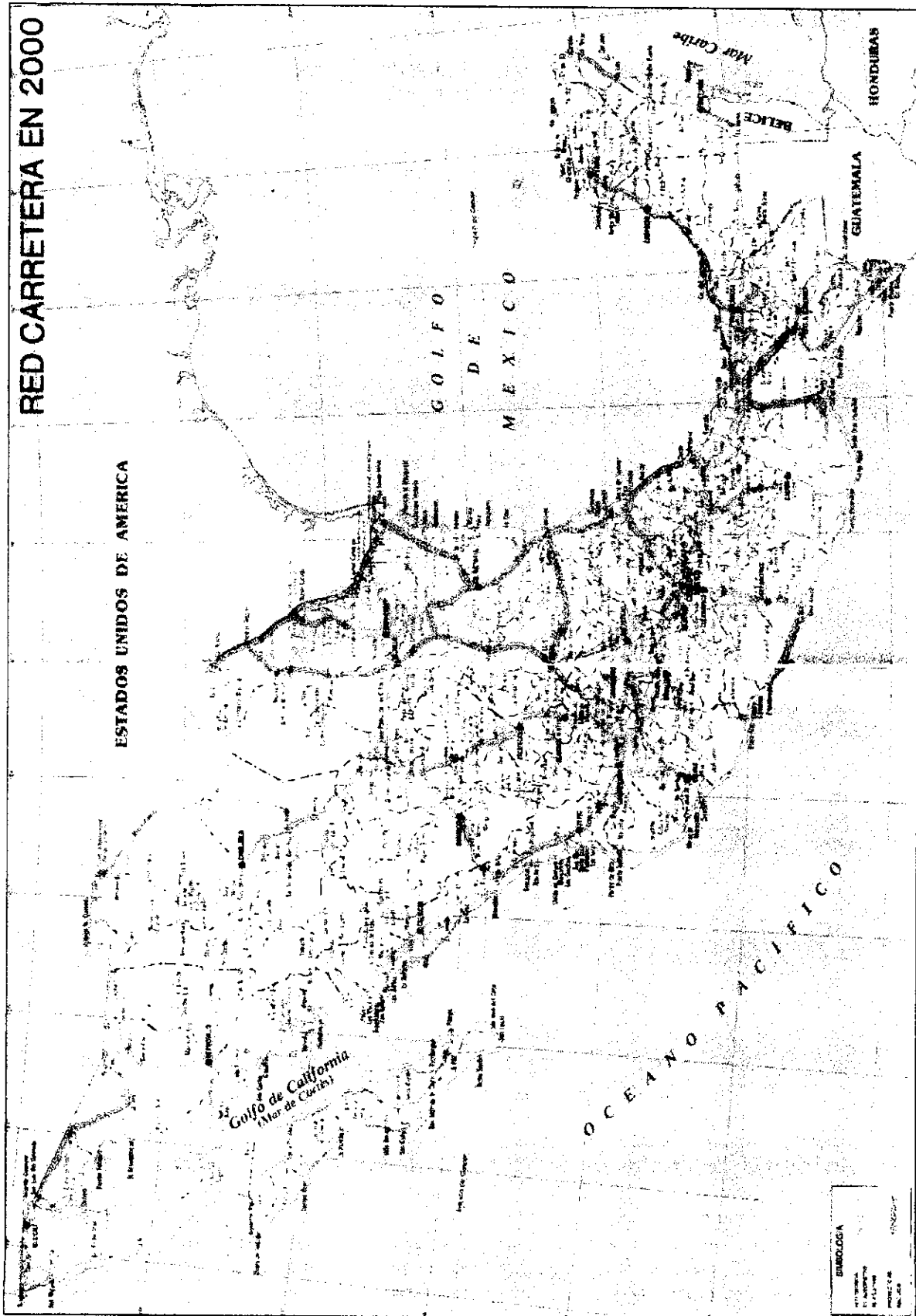


Figura I.14

1.4.2 SITUACION ACTUAL

El sistema nacional de carreteras constituye el principal medio de desplazamiento de personas y bienes y es, al mismo tiempo, un instrumento primordial para la integración social, económica y cultural de la nación.

En este sistema se sustentan, en gran medida, las cadenas de producción y distribución de mercancías en todo el territorio, al igual que los sectores generadores de divisas, como el exportador y el de turismo. Representa, también, un importante instrumento de desarrollo social, pues comunica a poblaciones aisladas y dispersas, y facilita el acceso de sus habitantes a los servicios básicos.

Con una extensión de 303,262 kilómetros, las carreteras enlazan a las capitales de los estados; cabeceras municipales; zonas urbanas y rurales; puertos; fronteras y aeropuertos, así como a los principales centros de producción y consumo. La mayor parte del flujo terrestre de pasajeros y carga circula por este sistema, que atiende el 98.5 por ciento del movimiento doméstico de pasajeros y más del 85 por ciento del de carga terrestre.

Esta infraestructura se ha desarrollado durante las últimas décadas y constituye hoy parte fundamental del patrimonio nacional, cuya preservación y aprovechamiento es de interés primordial para el país.

SISTEMA NACIONAL DE CARRETERAS			
Clasificación	Pavimentadas (km)	No pavimentadas (km)	Total (km)
Red federal	47,960	651	48,611
Libre (A cargo de la SCT)	42,2771/	651	42,928
Autopistas de cuota	5,683	0	5,683
A cargo de Capufe	1,420	0	1,420
Concesionadas a particulares	3,176	0	3,176
Concesionadas a gobiernos de los estados	1,087	0	1,087
Red estatal	44,458	12,201	56,659
Libre	43,853	12,201	56,054
Autopistas de cuota	605	0	605
Caminos rurales	3,527	143,929	147,456
A cargo de la SCT	1,845	73,433	75,278
A cargo de gobiernos de los estados	1,127	25,307	26,434
A cargo de otros	555	45,189	45,744
Brechas	0	50,536	50,536
TOTAL	95,945	207,317	303,262

Figura 1.15 Fuente: SCT. Dirección General de Evaluación

La red federal de carreteras, está constituida por 42,928 kilómetros de caminos libres y 5,683 kilómetros de autopistas de cuota. El 98.7 por ciento de ella se encuentra pavimentada.

Dentro de esta red se han identificado 10 ejes troncales que comunican las principales zonas de producción industrial y agropecuaria, así como las más importantes localidades urbanas y centros turísticos a lo largo y ancho del país. En estos ejes, existen tramos con volúmenes diarios de tránsito que oscilan entre 2 mil y 30 mil vehículos.

Por su parte, la infraestructura estatal consta de 56,054 kilómetros libres y 605 de cuota.

PRINCIPALES EJES TRONCALES

1. México-Guadalajara-Tepic-Mazatlán-Guaymas-Hermosillo-Nogales, con ramales a Lázaro Cárdenas y Tijuana.
2. México-Querétaro-San Luis Potosí-Salttillo-Monterrey-Nuevo Laredo, con ramales a Reynosa y Piedras Negras.
3. Querétaro-Irapuato-León-Lagos de Moreno-Aguascalientes-Zacatecas-Torreón-Chihuahua-Ciudad Juárez.
4. Acapulco-Cuernavaca-México-Pachuca-Tuxpan-Tampico-Matamoras.
5. México-Puebla-Coatzacoalcos-Campeche-Mérida-Cancún-Chetumal, con ramales a Oaxaca y Chiapas.
6. Mazatlán-Durango-Torreón-Salttillo-Monterrey-Reynosa-Matamoras.
7. Manzanillo-Guadalajara-Lagos de Moreno-San Luis Potosí-Tampico.
8. Acapulco-Cuernavaca-Puebla-Veracruz.
9. Veracruz-Tampico-Monterrey.
10. Tijuana-Santa Rosalía-La Paz-Cabo San Lucas (Transpeninsular).

Figura I.16 Fuente: SCT. Subsecretaría de Infraestructura

Además, el sistema nacional de carreteras cuenta con 147,456 kilómetros de caminos rurales, de los que alrededor del 50 por ciento son atendidos por la SCT. Por último, se tienen identificados más de 50 mil kilómetros de brechas que, por sus características, sólo son transitables en determinadas épocas del año.

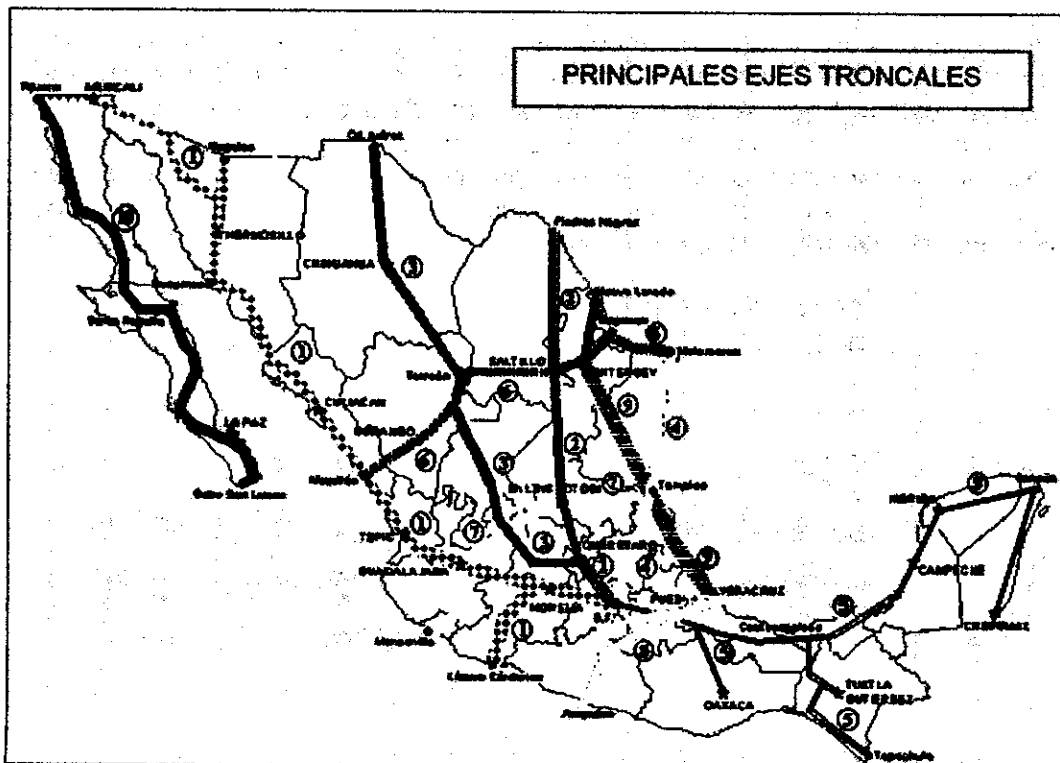


Figura I.17 Fuente: SCT Subsecretaría de Infraestructura

1.4.3 DIAGNOSTICO

Red Federal libre

La red federal libre a cargo de la SCT tiene 40,109 kilómetros de carreteras de dos carriles, 2,619 de cuatro carriles, y 200 de más de cuatro carriles de circulación.

El 53 por ciento de estas carreteras tiene más de 30 años de servicio, mientras que tan sólo el 11 por ciento se construyó hace menos de 15 años. Con el paso del tiempo, los volúmenes de tránsito han aumentado gradualmente, de tal forma que hoy el 21 por ciento de la red soporta tránsitos superiores a 5 mil vehículos diarios.

Del total de la red, aproximadamente el 50 por ciento atiende los grandes flujos del movimiento troncal nacional, en tanto que el resto cumple una función de carácter regional.

Un elemento a considerar es que los pesos y dimensiones de los vehículos autorizados para circular por las carreteras libres han crecido significativamente, sin que se hayan modificado en forma paralela las características estructurales y geométricas de los caminos. Por ejemplo, en 1960 el automotor más grande y pesado era de tres ejes y 10 toneladas, lo que contrasta con los vehículos de nueve ejes y 66.5 toneladas autorizados en 1994.

De otra parte, el mal estado de los pavimentos genera un sobre costo de operación de los vehículos que, según estudios del Instituto Mexicano del Transporte, se estima en alrededor de 6 mil millones de pesos anuales, derivado del incremento en el consumo de combustibles, lubricantes, llantas y refacciones, así como por el acelerado deterioro de la flota vehicular.

Durante los últimos años, las inversiones destinadas a la conservación, reconstrucción, modernización y ampliación de la red federal libre han sido insuficientes, dada su gran extensión, su estado físico, el constante incremento de los volúmenes de tránsito y los efectos recurrentes de fenómenos naturales. Como consecuencia de lo anterior, esta infraestructura ha experimentado un progresivo deterioro. Si bien, a partir de 1993 los niveles de inversión han evitado mayores daños a su estado físico, ello no ha permitido recuperar los rezagos acumulados en este importante renglón.

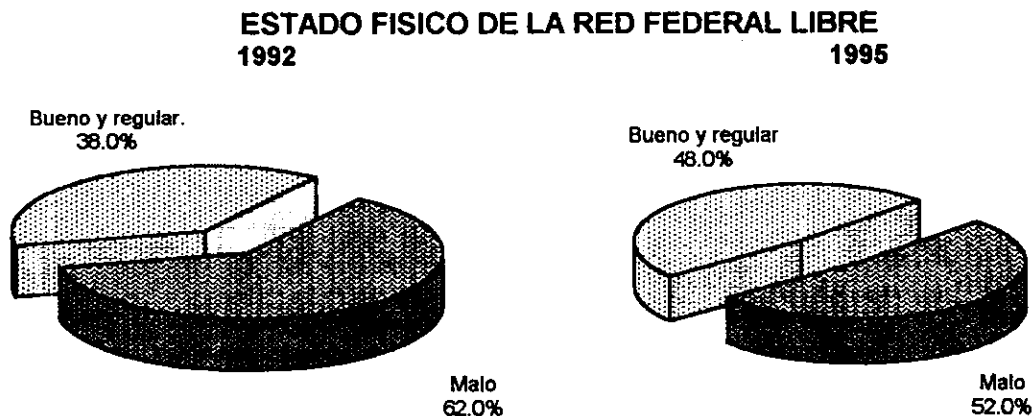


Figura I.18 Fuente: Dirección General de Conservación de Carreteras

La situación de los puentes carreteros merece especial atención. De los 6,346 puentes en la red federal, alrededor de 200 requieren ser reforzados y rehabilitados para continuar garantizando una circulación segura y permanente.

Las carreteras federales presentan otros problemas. Algunos de ellos inciden en la seguridad de los usuarios. Destacan en este sentido la obsoleta geometría de algunos tramos, que se manifiesta en curvas cerradas y pendientes pronunciadas, y la existencia de entronques a nivel entre vías transitadas.

Por lo que se refiere a la señalización, su escaso mantenimiento, la falta de oportunidad en la reposición de señales, así como la ausencia de ellas en determinados sitios conflictivos, se traduce en punto crítico para la seguridad.

Es de mencionarse que el uso indebido del derecho de vía en las carreteras se ha convertido en un factor de riesgo que afecta la seguridad en el transporte y dificulta los trabajos de su modernización, conservación y mantenimiento, así como el desarrollo ordenado de los servicios conexos.

A partir de la década de los ochenta, las inversiones asignadas a la construcción de nuevas carreteras han conducido tan sólo a un crecimiento marginal de la red federal libre. Además, han tendido a diluirse en un considerable número de obras en las que se avanzó con lentitud. Dado que la expansión sostenida de esta infraestructura se ha dificultado, su cobertura es todavía insuficiente a lo largo de las fronteras y de algunos ejes transversales de comunicación. Contribuye, en este sentido, la falta de libramientos que den continuidad al tránsito interurbano y de accesos que mejoren la conexión de las carreteras con la vialidad urbana, y con puertos marítimos y enlaces fronterizos.

En lo que toca a la modernización de la red, las inversiones tampoco han sido suficientes para ampliar la capacidad y mejorar la seguridad en los niveles deseados. El cuadro siguiente presenta una visión de los tramos que, a lo largo de los diez ejes troncales del sistema, requieren en mayor medida ser modernizados.

De los 7,217 kilómetros pendientes de modernizar dentro de los ejes troncales, hay alrededor de 3 mil kilómetros a los que debe darse atención preferente en razón de sus actuales condiciones de servicio y de su utilización creciente, prevista para el corto plazo. De igual manera, existen tramos que, a pesar de no pertenecer a los ejes troncales, también requieren de acciones de modernización en el futuro cercano.

Por último, desde el punto de vista institucional, es de reconocer la presencia de otros factores que afectan el desarrollo de los programas carreteros, como lo son la falta de personal calificado; la desactualización de las normas técnicas; la insuficiencia de estudios básicos y proyectos ejecutivos; y el debilitamiento de los sistemas de planeación, control y supervisión de obras.

EJES TRONCALES Y TRAMOS POR MODERNIZAR				
Eje	Longitud en kilómetros			Tramos por modernizar
	Total	Modernizada	Faltante	
México-Guadalajara-Tepic-Mazatlán-Guaymas-Hermosillo-Nogales, con ramales a Lázaro Cárdenas y Tijuana	3,036	1,976	1,060	Entronque San Blas-Villa Unión (227 km) San Luis Río Colorado-Sonoyta (200 km) Santa Ana-Caborca-Sonoyta (254 km) La Rumorosa-Tecate (54 km) Pátzcuaro-Uruapan (56 km) Uruapan-Lázaro Cárdenas (269 km)
México-Querétaro-San Luis Potosí-Salttillo-Monterrey-Nuevo Laredo, con ramales a Reynosa y Piedras Negras	1,816	1,094	722	San Luis Potosí-Puerto México (393 km) Salttillo-Castaños (170 km) Monclova-Sabinas (90 km) Agujita-Allende (55 km) Allende-Nava (14 km)
Querétaro-Irapuato-León-Lagos de Moreno-Aguascalientes-Zacatecas-Torreón-Chihuahua-Cd. Juárez	1,610	1,293	317	Aguascalientes-Zacatecas (111 km) Ent. Ramón López Velarde-Cuencamé (206 km)
Acapulco-Cuernavaca-México-Tuxpan-Tampico-Matamoros 1/	1,044	202	842	Pirámides-Tehuacán (185 km) Tuxpan-Tampico (193 km) Tres Marias-Estación Manuel (47 km) Est. Manuel-Soto La Marina (148 km) Soto La Marina-Matamoros (269 km)
México-Puebla-Coatzacoalcos-Campeche-Mérida-Cancún-Chetumal, con ramales a Oaxaca y Chiapas	2,806	1,607	1,199	Agua Dulce-Cárdenas (82 km) Villahermosa-Cd. del Carmen (168 km) Cd. del Carmen-Champotón (147 km) Campeche-Mérida (192 km) Cárdenas-P. Nezahualcóyotl (132 km) Ocozacoautla-Las Cruces (67 km) Las Cruces-Arriaga (47 km) Cancún-Chetumal (379 km)
Mazatlán-Durango-Torreón-Salttillo-Monterrey-Reynosa-Matamoros 1/	753	388	365	Mazatlán-Durango (294 km) Reynosa-Matamoros (71 km)
Manzanillo-Guadalajara-Lagos de Moreno-San Luis Potosí-Tampico 1/	908	381	527	Lagos de Moreno-San Luis Potosí (130 km) San Luis Potosí-Cd. Valles (259 km) Cd. Valles-Tampico (138 km)
Acapulco-Cuernavaca-Puebla-Veracruz 1/	446	344	102	Atlixco-Alpuyeca (102 km)
Veracruz-Tampico-Monterrey 1/	737	192	545	Cardel-Nautla (122 km) Nautla-Poza Rica (97 km) Est. Manuel-Cd. Victoria (162 km) Cd. Victoria-Linares (164 km)
Transpeninsular de Baja California	1,738	200	1,538	R. Sánchez Taboada-Gro. Negro (592 km) Guerrero Negro-La Paz (770 km) La Paz-Entronque Aeropuerto San José del Cabo (176 km)
TOTAL	14,894	7,677	7,217	

Figura 1.19 Fuente: SCT. Dirección General de Servicios Técnicos

Autopistas de cuota

La red de autopistas de cuota, conformada por las que opera Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (Capufe) y las concesionadas, tiene una extensión total de 5,683 kilómetros, de los cuales 867 son de dos carriles; 4,795 de cuatro; y 21 de seis o más carriles de circulación.

Durante los últimos años, se avanzó sustancialmente en la integración de esta red mediante concesiones en que se cuenta con una importante participación del sector privado.

Las autopistas de cuota representan en la actualidad un elemento fundamental para el transporte y la comunicación nacional. Sus trazos, características geométricas y condiciones de servicio ofrecen al usuario grandes ventajas en tiempos de recorrido, seguridad y costo.

La red de autopistas de cuota operada por Capufe, desarrollada a lo largo de 40 años, tiene una extensión de 1,420 kilómetros e incluye los tramos más transitados, como lo son las autopistas México-Querétaro-Irapuato y México-Puebla-Orizaba. En general, la situación de esta red es satisfactoria, aunque existen algunos rezagos en mantenimiento mayor, señalización y servicios a los usuarios.

Esta infraestructura también presenta, en algunos tramos, problemas operativos derivados de sus altos niveles de ocupación. En consecuencia, se observan congestionamientos recurrentes en algunas casetas de cobro y falta de capacidad en tramos con pendientes ascendentes. En parte, estos problemas se han resuelto en los últimos años mediante la construcción de terceros carriles, de algunos entronques y de obras complementarias en zonas de casetas.

Por su parte, las autopistas concesionadas iniciaron su operación con tarifas muy altas. En promedio, hacia diciembre de 1994 las cuotas cobradas a los automóviles fueron 157 por ciento superiores a las de Capufe; 154 por ciento en el caso de los autobuses; y 125 por ciento más elevadas tratándose de camiones.

Los volúmenes de tránsito reales han sido, en promedio, inferiores a los previstos en los títulos de concesión: 16 por ciento en el caso de automóviles; 27 por ciento en lo que toca a autobuses; y 70 por ciento en lo que respecta a camiones.

Además, los costos de construcción de las autopistas concesionadas superaron las previsiones, debido principalmente a la realización de obras inducidas no consideradas en el proyecto original; a costos adicionales en la liberación del derecho de vía; y, en algunos casos, a cambios en los volúmenes de proyecto.

Como resultado del efecto conjunto de los incrementos en los costos de construcción, los bajos ingresos obtenidos y el mayor peso de las cargas financieras, varios de los proyectos han tenido que ser reestructurados financieramente.

La reestructuración de los proyectos que presentaron estos problemas, comenzó en 1994. Las dificultades que enfrentó la economía en su conjunto durante 1995 llevaron al alza a las tasas de interés y al tipo de cambio, y al retroceso generalizado de la actividad económica, por lo que fue necesario profundizar y ampliar las medidas de reestructuración.

Como parte de este proceso y a fin de aliviar la situación del autotransporte y aprovechar mejor la infraestructura, en diciembre de 1995 la SCT, los concesionarios y las autoridades fiscales acordaron la reducción de cuotas en 28 autopistas que mostraban los niveles tarifarios más elevados. Esto se llevó a cabo a través de una disminución en la cuota y de un acreditamiento fiscal equivalente al 40 por ciento de la tarifa correspondiente. La reducción representó, en promedio, un 60 por ciento de ahorro respecto a las tarifas anteriores. Pero esto no funcionó a las empresas concesionarias por

lo que se tuvo que aplicar el programa de recuperación – consolidación de las autopistas concesionadas.

El gobierno federal anunció el 22 de agosto de 1997 haber tomado posesión, control y administración de 23 de las 52 autopistas concesionadas, con base en una indemnización de 60,000 millones de pesos para cubrir créditos.

De esa cantidad 40,000 millones de pesos se destinaron al pago de deuda con bancos y 20,000 millones se destinaron a cubrir pasivos a favor de las empresas constructoras.

Para cubrir indemnizaciones, el gobierno utiliza recursos fiscales por 19,000 millones de pesos a un plazo de 45 años y el resto de los recursos provendrá de los ingresos generados por el flujo vehicular.

Con ello, a partir del 1° de septiembre de 1997 bajaron 15% las tarifas para automovilistas y 35% para el autotransporte.

El paquete de rescate financiero involucra a constructoras como ICA, TRIBASA, GMD, Protexa y a los gobiernos de Sonora, Tamaulipas, Querétaro, Tabasco y Coahuila.

El rescate no consideró a 29 autopistas concesionadas, debido a que estos proyectos si tienen viabilidad financiera para sus concesiones o porque parte de sus pasivos se encuentran colocados entre inversionistas extranjeros a través de bonos de deuda.

Se precisó que la operación de las autopistas quedó en manos de empresas especializadas en su administración, las cuales contratan el mantenimiento de las mismas y buscan darle valor a esos activos a través de acciones como el establecimiento de gasolineras, paradores y hoteles entre otros servicios necesarios.

Por último, es de señalar que, la capacidad institucional de la SCT para dar seguimiento a la operación, conservación y gestión financiera de los proyectos concesionados no se ha desarrollado a la velocidad que el crecimiento de la red de autopistas de cuota demanda.

En la siguiente tabla se muestra el resumen del programa:

PROGRAMA DE CONSOLIDACION DE AUTOPISTAS CONCESIONADAS	
Autopistas que serán rescatadas	23 de un total de 52
Pago total de indemnizaciones	\$ 60,000 millones de pesos
Destino de la indemnización	Sólo adeudos con bancos y constructoras
Recursos que aporta el gobierno	\$19,000 mp (con base a estimaciones conservadoras a 45 años)
Perdida para los concesionarios	\$24,000 mp (no sujetos a indemnización)
Acciones sobre tarifas	Reducción del 15% para automovilistas y 35% para transporte de carga
Empresas concesionarias afectadas	ICA, Tribasa, GMD, Protexa, Alfa, Gutsa
Gobiernos estatales que pierden concesión	Sonora, Querétaro, Coahuila, Tamaulipas, Durango y Tabasco

Figura I.20 Fuente: SCT, 1997

Caminos rurales

Los 147,456 kilómetros de caminos rurales constituyen un activo de gran importancia regional y local, ya que a través de ellos es posible la comunicación permanente entre los centros de población y producción en el medio rural; el acceso de amplios grupos de la población campesina a servicios básicos de salud y educación; así como a mayores oportunidades de empleo y desarrollo en general.

Durante el periodo 1989-1994, los montos de inversión y los mecanismos de financiamiento fueron insuficientes para impulsar su evolución en el grado requerido por los habitantes de las comunidades rurales, no obstante que la Secretaría de Desarrollo Social ha participado con importantes recursos para este propósito.

El problema presupuestal es particularmente agudo en los rubros de conservación, reconstrucción y modernización de estos caminos, pues sus modestas especificaciones

geométricas y de construcción requieren de atención permanente. Aunado a lo anterior, las acciones de mantenimiento y las decisiones de construcción de obras nuevas, muestran un excesivo control centralizado que dificulta la oportunidad y pertinencia de las obras.

1.5 CLASIFICACION Y TIPOS DE CAMINOS

En la práctica mexicana se pueden distinguir varias clasificaciones de los caminos, atendiendo a su función, transitabilidad, administración, características técnicas y a su importancia.

Clasificación por su **función**:

- Caminos de función social. Tienen como finalidad unir regiones apartadas con centros de integración regional para incorporar al desarrollo nacional a grupos o sectores sociales marginados. Su rentabilidad se basa en el índice de servicio, es decir el costo de la obra entre el número de habitantes beneficiados.
- Caminos de penetración económica. Este tipo de caminos busca generar un auge económico, al ayudar a desarrollar alguna actividad productiva (agricultura, ganadería, minería, etc.) o varias de ellas. Su rentabilidad se determina de acuerdo a un índice de productividad, resultado de dividir los beneficios entre el costo total de la obra.
- Caminos en zonas de pleno desarrollo. Se trata de carreteras o autopistas de altas especificaciones que tienen como finalidad unir directamente dos regiones desarrolladas o con auge económico, Su índice de rentabilidad se mide con una Tasa Interna de Retorno (TIR), esto es, en cuanto tiempo se recuperará el monto invertido.

Clasificación por **transitabilidad**:

La clasificación por transitabilidad corresponde a las etapas de construcción de la carretera y se clasifican de la siguiente manera:

- Terracerías: cuando se ha construido la sección de proyecto hasta su nivel de subrasante, transitable en tiempo de secas.
- Revestida: cuando sobre la subrasante se ha colocado ya una o varias capas de material granular y es transitable en todo tiempo.
- Pavimentada: cuando la subrasante se ha construido ya totalmente el pavimento.

La clasificación anterior es casi universalmente usada en cartografía y se representa así:

Terracerías
Revestido
Pavimentado

Clasificación por **administración**:

Por el aspecto administrativo las carreteras se clasifican en:

- Federales: cuando son costeadas íntegramente por la Federación y se encuentran por lo tanto a su cargo. (Carreteras libres)
- Estatales: cuando son construidos por el sistema de cooperación a razón del 50% aportado por el Estado donde se construye y el 50% por la Federación. Estos caminos quedan a cargo de las Juntas Locales de Caminos.
- Vecinales o rurales: cuando son construidos con la cooperación de los vecinos beneficiados pagando éstos un tercio de su valor, otro tercio lo aporta la

Federación y el tercio restante el Estado. Su construcción y conservación se hace por intermedio de las Juntas Locales de Caminos.

- De Cuota: los cuales quedan a cargo de la dependencia oficial descentralizada denominada Caminos Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos siendo la inversión recuperable a través de cuotas de paso.

Clasificación por *características técnicas*:

Esta clasificación permite distinguir en forma precisa la categoría física del camino, ya que toma en cuenta los volúmenes de tránsito sobre el camino al final del período económico del mismo (15 años) y las especificaciones geométricas aplicadas. En México, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), clasifica técnicamente a las carreteras de la manera siguiente:

• Tipo Especial	
Velocidad de proyecto	120 km/h
Velocidad de operación	100 km/h
Tránsito Diario (prom. Anual)	Más de 3000 vehículos
Tránsito Horario (max. Anual)	Más de 360 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	50%
Superficie de rodamiento	Pavimentada, generalmente carpeta de mezcla en planta
Obras de drenaje	De concreto o mampostería
Puentes	Definitivos, de concreto o acero
Señales	Metálicas reflejantes
Entronques o cruzamientos	A desnivel
Obras complementarias	Definitivas, de concreto o mampostería
Pendiente máxima	4%
Ancho de corona	Variable
Ancho de carpeta	Una o dos bandas de 7.3 m
Grado de curvatura máxima	4°00'

• Tipo "A" o de primer orden	
Velocidad de proyecto	60 a 100 km/h
Velocidad de operación	50 a 90 km/h
Tránsito Diario (prom. Anual)	De 1500 a 3000 vehículos
Tránsito Horario (max. Anual)	De 180 a 360 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	40 a 50%
Superficie de rodamiento	Pavimentada, puede ser mezcla en planta de uno o más riegos
Obras de drenaje	De concreto o mampostería
Puentes	Definitivos, de concreto o acero
Señales	Metálicas, a veces reflejantes
Entronques o cruzamientos	A nivel o desnivel
Obras complementarias	De concreto, mampostería o naturales
Pendiente máxima	4 a 6%
Ancho de corona	De 8 a 9 m
Ancho de carpeta	De 6.10 m
Grado de curvatura máxima	8 a 26°

• Tipo "B" o de segundo orden	
Velocidad de proyecto	50 a 80 km/h
Velocidad de operación	40 a 70 km/h
Tránsito Diario (prom. Anual)	De 500 a 1500 vehículos
Tránsito Horario (max. Anual)	De 60 a 180 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	30 a 40%
Superficie de rodamiento	Pavimentada, generalmente carpeta de un riego
Obras de drenaje	Definitivas, de concreto o mampostería
Puentes	Definitivos, de concreto o mampostería
Señales	Metálicas
Entronques o cruzamientos	A nivel
Obras complementarias	Definitivas, de concreto o mampostería
Pendiente máxima	4.5 a 6.5%
Ancho de corona	De 7 a 8 m
Ancho de carpeta	De 5 a 6.10 m
Grado de curvatura máxima	11 a 35°

• Tipo "C" o de tercer orden	
Velocidad de proyecto	35 a 70 km/h
Velocidad de operación	30 a 60 km/h
Tránsito Diario (prom. Anual)	De 50 a 500 vehículos
Tránsito Horario (max. Anual)	De 6 a 60 vehículos
Porcentaje de vehículos pesados	30 a 40%
Superficie de rodamiento	Pavimentada
Obras de drenaje	Generalmente definitivas
Puentes	Definitivos, en algunos casos provisionales
Señales	Metálicas con pintura no reflejante
Entronques o cruzamientos	A nivel
Obras complementarias	Generalmente naturales
Pendiente máxima	5 a 7%
Ancho de corona	De 6 a 7 m
Ancho de carpeta	De 5.5 m
Grado de curvatura máxima	16 a 60°

Con el objeto de adaptarse a la medida del servicio que se requiere, se llegó a adoptar nuevos tipos de caminos más modestos, los tipo "D" y "E" cuyas especificaciones son:

	Tipo "D"	Tipo "E"
Velocidad de proyecto	30 a 60 km/h	30 a 60 km/h
Superficie de rodamiento	No pavimentada	No pavimentada
Pendiente máxima	5 a 13%	6 a 15%
Ancho de corona	De 6 m	De 4 m
Ancho de calzada	De 5.5 m	De 4 m
Grado de curvatura máxima	11 a 62°	11 a 62°

Clasificación por su *importancia*.

- Carreteras troncales. Son las que se pueden considerar interestatales o de largo itinerario.
- Carreteras alimentadoras o secundarias. Son aquellas que funcionan como tributarias de las troncales y a su vez tienen ramales en toda la región a que dan servicio.
- Carreteras terciarias. Son ramales con acceso a las carreteras troncales y alimentadoras que sirven a pequeñas regiones y además tienen poco tránsito.

CAPITULO II

TIPOS DE PAVIMENTOS

II.1 PAVIMENTO.....	36
II.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	38
II.3 PAVIMENTOS RIGIDOS.....	49
II.4 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS.....	55
II.5 PROCESOS CONSTRUCTIVOS.....	58
II.6 COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS ASFALTICOS Y DE CONCRETO HIDRAULICO.....	62

II.1 PAVIMENTO

Hasta los años 70's se consideraba que todas las capas que quedaban arriba de la capa subrasante, formaban al pavimento y que ni las terracerías, ni la capa de subrasante, ni el terreno natural, no formaban parte del mismo; por esta razón era común que un grupo de ingenieros se encargaba del diseño geométrico que incluía las terracerías y otro grupo se dedicaba al diseño del resto de las capas. La experiencia ha demostrado que se puede tener un pavimento muy bien formado desde la capa subrasante, con los mejores materiales y el mejor control de calidad al construirse y por el hecho de tener unas terracerías inestables puede fallar, por lo cual ahora se habla de *sección estructural del pavimento*, la cual está formada por el terreno natural, el cuerpo del terraplén, la capa subrasante y las diferentes capas que constituían lo que anteriormente se llamaba pavimento: sub-base, base y carpeta, incluyendo el riego de sello (para el caso de pavimento asfáltico). Es importante señalar que en algunas secciones estructurales de pavimento, pueden no requerirse de algunas de las capas antes mencionadas.

Funciones de la sección estructural del pavimento

La sección estructural del pavimento debe ser una estructura que proporcione una superficie de rodamiento de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito, intemperismo y otros agentes erosivos o perjudiciales y que se transmitan a las terracerías y al terreno natural los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito, de tal forma que no sobrepasen los esfuerzos que resisten las diferentes capas si llegan a la falla.

En otras palabras, la sección estructural debe tener las siguientes funciones:

- 1) Proporcionar la textura apropiada al rodamiento.
- 2) Resistir la acción de las cargas propiciadas por el tránsito tanto en su magnitud como en su intensidad, sin sufrir cambios volumétricos o llegar a la falla.
- 3) Ser estable ante los agentes del intemperismo.
- 4) Reunir las condiciones adecuadas de permeabilidad para no disminuir la resistencia de algunas capas.
- 5) Minimizar tanto los gastos de construcción (Costo inicial), como los de conservación y operación durante el ciclo de vida impuesto para el proyecto.
- 6) Proporcionar al usuario un tránsito seguro, cómodo y económico.

Existen básicamente dos tipos de pavimentos, los llamados **flexibles** y los **rígidos**, existe además una tercera clasificación llamada semirígidos pero esta última no es común en la literatura afín.

Como ya se menciona antes las terracerías no constituían parte del diseño del pavimento, pero bajo el enfoque de sección estructural de pavimento estas se consideran, y creemos conveniente definir sus características en este punto y definir posteriormente las capas que constituyen un pavimento de manera tradicional.

Cuerpo del terraplén

Las terracerías generalmente comprenden al cuerpo del terraplén, a la capa subyacente y a la capa subrasante; el cuerpo del terraplén deberá construirse de materiales adecuados, que tengan pocos cambios volumétricos bajo variaciones de humedad y sirva para elevar el nivel hasta el adecuado para alcanzar la rasante del proyecto.

Para el cuerpo del terraplén, las normas que se siguen actualmente establecen que se pueden usar ciertos materiales de dudosa calidad (arcillas hasta con $LL \leq 100\%$ y $VRS_{est} \geq 10\%$) y de cualquier tamaño.

Como se sabe, el efecto de los materiales finos plásticos al darles una compactación, es el de aumentar su fuerza de expansión o su deformabilidad, por lo tanto, es necesario evitar emplear estos materiales en la construcción del cuerpo del terraplén.

Cuando el camino se encuentra a nivel del terreno natural o en sección de corte y aún en terraplén, y el terreno en el que se va apoyar es de muy mala calidad (p.e. pantanos), también se llega a usar una capa de mejoramiento llamada subyacente, con objeto de reducir los efectos perjudiciales de ese suelo natural como son deformaciones y expansiones, o reducir espesores de pavimento. Esta capa generalmente se construye entre la capa de subrasante y el cuerpo del terraplén o el terreno natural.

Para la construcción del cuerpo del terraplén de una obra vial, dependiendo del tipo de terreno en que se construya, se utilizan materiales provenientes de los cortes o de préstamos.

Capa sub-rasante

La capa sub-rasante es una capa de transición entre el terreno natural o el cuerpo del terraplén y el pavimento. Cuando el material del terraplén es de buena calidad, únicamente se conforma y compacta, usándose como capa sub-rasante. En el caso de que el terreno sea roca, se usa una capa subyacente y la sub-rasante para absorber las irregularidades que resulten al efectuar el corte. Las finalidades de esta capa son las siguientes:

- A. Resistir los esfuerzos que se transmiten del pavimento debidos al paso de los vehículos.
- B. Tomar los esfuerzos que le transmita el pavimento, y hacerlos llegar a las terracerías o terreno natural de tal forma que estas lo resistan fácilmente, es decir, sin deformarse plásticamente.
- C. Servir como capa de transición entre el pavimento y las terracerías, esto es, debe evitar que se contamine la parte inferior del pavimento con los materiales que forman las terracerías o terreno natural
- D. Reducir los espesores en las capas de pavimento, con el ahorro que esto implica, sobre todo si se trata de terracerías de baja calidad y/o mal drenaje y subdrenaje.
- E. Uniformizar los espesores requeridos del pavimento o al compensar la variación de resistencia en las terracerías.

A esta capa se le piden requisitos que deberá de cumplir tales como:

- $LL \leq 100\%$ y $VRS_{est} \geq 10\%$
- Tamaño máximo de los materiales empleados de 75 mm (3")

Para la construcción de la capa sub-rasante, en general, se utilizan materiales de banco que tengan las características adecuadas para las funciones que vayan a tener en la estructura vial. Si el material que se extraiga de los cortes cumple con las especificaciones necesarias, pueden utilizarlo tanto en ellos (escarificado, conformado y compactado) como en los terraplenes contiguos, para construir esta capa sub-rasante.

II.2 PAVIMENTOS FLEXIBLES

La superficie de rodamiento de estos pavimentos es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, y que la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura.

Una estructura de pavimento flexible comúnmente se define a partir de la subrasante y dicho pavimento puede estar formado de dos o más capas. Las capas después de la subrasante son las siguientes:

⇒ Capa de sub-base

Es una capa de transición entre la base y la subrasante, a la que se le atribuye, una función económica cuando no es necesario usar un material de mayor calidad y por consecuencia de mayor costo. Esta capa puede servir para absorber las deformaciones de las terracerías, debidas a cambios volumétricos por efectos de humedad y efectos de rebote elástico. Otra de las funciones puede ser desalojar el agua que se infiltre en el pavimento y a su vez impedir la ascensión de la misma procedente de las terracerías por el fenómeno de capilaridad (capa rompedora de capilaridad).

El material que se use en esta capa debe ser procesado, extendido y compactado según las especificaciones propias de cada proyecto.

⇒ Capa de base

Esta capa es la porción del pavimento flexible inmediatamente debajo de la carpeta (capa de rodamiento). Se construye sobre la capa de sub-base o, si ésta no se usa, directamente sobre la subrasante.

Su principal función es como una porción estructural del pavimento, cumpliendo la labor de soportar las cargas que le trasmite la carpeta y abatir los esfuerzos inducidos por las cargas rodantes, de tal manera que ellas lleguen a las capas subyacentes con la magnitud que estas resistan, el incremento en su resistencia se logra gracias a la trabazón entre partículas dada su forma angulosa.

Otra función de la capa base, puede ser la de drenar el agua que se infiltre de la carpeta e impedir la ascensión capilar del agua natural. Por último cabe mencionar que esta tiene objetivos económicos, pues al aumentar el espesor de esta capa se pueden reducir espesores en la carpeta, que es más costosa, lo que redundaría en un ahorro bastante considerable.

La base comúnmente consta de agregados como roca triturada, escoria triturada o grava triturada o sin triturar y arena, o la combinación de estos materiales. Los agregados pueden usarse tratados o no, con aglomerantes estabilizadores como el cemento Portland, puzolanas, asfalto o cal.

En general, las especificaciones de los materiales de la capa base son considerablemente más estrictas que las de la capa sub-base para resistencia, estabilidad, dureza, tipos de agregados y graduación.

⇒ Carpeta

Los vehículos ruedan sobre esta parte del pavimento. Sus funciones son las de soportar los efectos del tránsito y contar con una textura y color apropiados, es decir deberá ser antiderrapante y antideslumbrante.

Por otra parte la carpeta deberá ser tan impermeable como se pueda, es decir, la carpeta no es totalmente impermeable, pues se tendría un exceso de asfalto, lo que implicaría que la carpeta fuera inestable y se deforme al paso de los vehículos.

Toda carpeta es resultado de una mezcla de materiales pétreos y asfálticos adecuadamente tratados, que posteriormente se extienden y compactan.

En el caso de pavimentos flexibles, esta capa esta constituida básicamente por un aglutinante de asfalto. Las especificaciones de construcción exigen que antes de colocar una carpeta se aplique material líquido asfáltico sobre las capas de base de agregado sin tratar, como una capa primaria (Riego de sello), y en las capas tratadas y superficiales como una capa de liga.

La estructura de un pavimento flexible se puede proyectar para que resista, sin romperse o deformarse en forma perjudicial, cualquier densidad de tránsito y cualquier carga por eje que se le aplique, existiendo una gran cantidad de combinaciones que permiten un proyecto económico para tales condiciones.

Las carpetas asfálticas empleadas en los pavimentos flexibles se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Tratamientos superficiales:
 - 1. Simple o de un riego
 - 2. Doble o de dos riegos
 - 3. Triple o de tres riegos
- b) Macadam asfáltico
- c) Mezcla en el lugar
 - 1. Elaborada con motoconformadora
 - 2. Elaborada con mezcladora ambulante
- d) Mezcla en planta (dosificada por volumen)
- e) Concreto asfáltico (dosificado por peso en planta, y empleando cemento asfáltico y agregados calientes)
- f) Stone Mastic Asphalt (dosificado por peso en planta, y empleando cemento asfáltico, agregados calientes y fibras celulósicas)

A continuación se explican brevemente cada una de ellas, pero antes habrá que señalar que estas se podrán aplicar solo cuando se cuente con una base debidamente conformada, compactada, impregnada y seca. El riego de impregnación consiste en aplicar un riego de producto asfáltico de fraguado medio a razón de 1.5 l/m^2 , esta actividad se realiza después de que la capa de base se ha barrido y se le ha retirado todo el material suelto; después de aplicado el riego se espera uno o dos días a que el material penetre y seque. Se recomienda emplear los productos asfálticos siguientes para las bases que presenten cierta textura, a saber: el FM-2 en bases de textura abierta, el FM-1 en las medias y el FM-0 en las cerradas.

Tratamiento superficial simple

Sobre la base de pavimento ya conformada, compactada, impregnada y seca se da un riego de producto asfáltico tipo FR-3 a razón de 1.5 a 2 l/m^2 , inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas $3/8"$ a $\#8$ a razón de 6 a 8 l/m^2 ; se rastrea para uniformizar la superficie y se plancha con equipo de 5 a 8 ton, para finalizar se deberá barrer el material pétreo sobrante a fin de que no se formen ondulaciones de la carpeta. Se recomienda esta solución para caminos con 200 vehículos por día.

Tratamiento superficial doble

Sobre la base del pavimento ya conformada, impregnada y seca, se dará primeramente un riego de producto asfáltico FR-3 a razón de 2 l/m² e inmediatamente se cubre con material pétreo clasificado entre las mallas ½" y ¼", a razón de 12 a 14 l/m², se rastrea y se plancha con aplanadora liviana de 5 a 8 ton, dos o tres días después se barre y se aplica nuevamente el producto asfáltico FR-3 a una razón de 1.5 l/m², se agrega material pétreo clasificado entre las mallas ¼" y #8, a razón de 2 l/m², se rastrea y se plancha con equipo similar al ya empleado. Tres días después puede abrirse al tránsito. En cada una de estas soluciones se deberá barrer el material pétreo sobrante; esta solución en particular se recomienda para tránsito inferior a 600 vehículos por día o para 200 en zonas de alta precipitación pluvial.

Tratamiento superficial triple

También llamado de tres riegos sigue un procedimiento constructivo similar al ya mencionado en los dos anteriores, pero con una secuencia particular. Esta secuencia inicia con la colocación de una capa de riego con material asfáltico FR-3 a una razón de 1.5 l/m² sobre la cual se aplica material pétreo clasificado entre las mallas 1" a ½" a razón de 20 a 22 l/m², se rastrea y se plancha. Dos o tres días después se barre el material sobrante y se coloca una carpeta de dos riegos sobre la primera. Esta solución soporta sin problemas 1000 vehículos por día.

% que pasa la malla

Agregado	2"	1 ½"	1 ¼"	1"	¾"	½"	⅜"	¼"	NÚMERO	NÚMERO	NÚMERO
	50.4	38.1	32	25.4	19	12.7	9.5	6.3	4	8	40
Núm. 1	----	----	100	95 min.	----	5 máx	----	0	----	----	----
Núm. 2	----	----	----	----	100	95 min.	----	5 máx	----	0	----
Núm. 3A	----	----	----	----	----	100	95 min.	----	----	5 máx	0
Núm. 3B	----	----	----	----	----	----	100	95 min.	----	5 máx	0
Núm. 3C	----	----	----	----	----	100	95 min.	----	5 máx	0	----

Además:

Desgaste Los Angeles 30% máximo
 Intemperismo acelerado 12% máximo
 Partículas alargadas 35% máximo

Figura II.1 Granulometría y especificaciones recomendadas para tratamientos superficiales y riegos de sello

Macadam asfáltico

El macadam asfáltico o de penetración es una carpeta asfáltica que consiste de capas sucesivas de piedras progresivamente más pequeñas de abajo hacia arriba, limpias y angulosas. Cada capa se extiende y se acuña mediante compactación por vibración después de lo cual se baña con producto asfáltico.

Es necesario contar con una buena base ya que siendo esta solución un producto con muchos vacíos, principalmente en la parte inferior de la capa, si la base se reblandece, el paso constante de los vehículos obligara a que la base se incruste en la carpeta provocándose una deformación perjudicial.

Mezcla en el lugar

La mezcla asfáltica en el lugar o en el camino se lleva a cabo revolviendo los agregados pétreos con el producto asfáltico mediante el uso de motoconformadoras o empleando mezcladoras ambulantes. Los procedimientos a seguir se explican después.

MALLA	ZONA 1	ZONA 2
25 mm (1")	100	---
9.5 mm (3/8")	50-100	100
4.76 (Núm. 4)	26-70	70-100
0.42 mm (Núm. 40)	4-12	12-45
0.074 mm (Núm. 200)	0-5	5-18
% Contracción lineal	3 máximo	2 máximo
Desgaste Los Angeles	40% máximo	40% máximo
Partículas alargadas	35% máximo	35% máximo
Equivalente de arena	55% máximo	55% máximo

Figura II.2 Especificaciones para agregados de mezclas en el lugar

Mezcla en planta con dosificación por volumen

Se llevan a cabo generalmente calentado el asfalto y muchas veces calentando también el agregado pétreo. Como la dosificación de los agregados se hace por volumen, no resulta una mezcla de alta calidad a no ser que el control sea extremadamente riguroso. Debido a la incertidumbre en la dosificación, estas mezclas resultan casi iguales a las elaboradas en el camino con mezcladoras ambulantes.

Concretos asfálticos

Los concretos asfálticos son mezclas elaboradas por peso en plantas estacionarias, calentando los agregados y empleando en su elaboración cementos asfálticos. Los concretos asfálticos, debido a la precisión de su dosificación resultan de alta calidad. El agregado pétreo para la mezcla es secado y calentado entre 133°C y 177°C en la planta antes de entrar en la mezcladora. Después de calentado, el agregado se cribará en los tamaños especificados, que se depositarán en compartimentos, listos para ser mezclados con el cemento asfáltico. Una vez calentados y separados los diversos tamaños de agregado, se procederá a pesarlos exactamente, proporcionado sus cantidades de acuerdo con lo anteriormente explicando, de manera que la mezcla resultante se ajuste a la granulometría especificada. El material pétreo dosificado se introduce en la mezcladora y a continuación se añade el cemento asfáltico para proceder al mezclado. El cemento asfáltico se calienta en pailas o tanques apropiados que produzcan calentamiento uniforme. No deberá calentarse a más de 177°C. La cantidad de cemento asfáltico la fija el laboratorio.

La temperatura de la mezcla al salir de la mezcladora estará comprendida entre 135°C y 177°C. El tiempo de mezclado se cuenta desde el momento en que se termine de introducir el cemento asfáltico hasta que la mezcla salga de la mezcladora. En el caso de plantas de mezclado continuo, el tiempo de mezclado, en segundos, vendrá dado por la siguiente expresión:

$$T = \frac{\text{Capacidad total de la planta en kilos}}{\text{kilos por segundo que salen de la planta}}$$

MALLA	% Que pasa
25 mm (1")	100
9.5 mm (3/8")	65-100
4.76 mm (Núm. 4)	48-70
0.42 mm (Núm. 40)	18-25
0.074 mm (Núm. 200)	5-10
% Contracción lineal	2 máximo
Desgaste Los Angeles	40% máximo
Partículas alargadas	35% máximo
Equivalente de arena	35% máximo

Figura II.3 Especificaciones para agregados para concreto asfáltico

VALOR DE:	HASTA 2000 VEHICULOS PESADOS POR DÍA	MAS DE 2000 VEHICULOS PESADOS POR DÍA		
Estabilidad Marshall	450 kg mínimo	700 kg mínimo		
Flujo en mm	2.0 a 3.0	2.0 a 4.0		
*Vacíos en la mezcla respecto al volumen del espécimen (%)	3 a 5	3 a 5		
Vacíos en el agregado (VAM), respecto al volumen del espécimen de mezcla	Tamaño máximo	%	Tamaño máximo	%
	Núm. 4	18	Núm. 4	18
	1/4"	17	1/4"	17
	3/8"	16	3/8"	16
	1/2"	15	1/2"	15
	3/4"	14	3/4"	14
	1"	13	1"	13
% de compactación	95 mínimo			
Permeabilidad	Menor a 10%			

*Los vacíos en las bases asfálticas son de 3 a 8%

Figura II.4 Especificaciones para mezcla de concreto asfáltico

Stone Mastic Asphalt

El SMA también conocido como Stone Matrix Asphalt, es una técnica de pavimentación empleada con mucho éxito en Europa, desarrollada en Alemania, en donde durante la época de nevadas los pavimentos anteriores sufrían grandes desgastes a causa de las llantas con clavos. Para contrarrestar este efecto se desarrolla el SMA resultando ser una mezcla óptima de agregado grueso con una pasta tipo "mastic" formada por un filler, arena, cemento asfáltico y fibras de celulosa.

El SMA requiere de un agregado grueso (70-80% retenido en la malla No. 8) y de un contenido de cemento asfáltico entre 6 y 7% así como de fibras celulósicas como aditivo para estabilizar y reforzar la mezcla.

Con el alto contenido de agregados gruesos, se crea una estructura de esqueleto cerrado e interconectado que transfiere la carga "grano a grano" y ayuda a disipar el impacto al subsuelo. El tamaño de los agregados gruesos permite además una estructura de textura abierta y gracias a las fibras celulósicas de Viatop, una impermeabilidad de la capa de pavimento, esto ya que se tiene un mayor contenido de aglutinante asfáltico.

Ofrece las siguientes ventajas:

- ✓ Alta resistencia al desgaste en tráfico pesado y altas temperaturas
- ✓ Alta flexibilidad, no se agrieta en temperaturas bajas
- ✓ Alta resistencia al desprendimiento de los agregados
- ✓ No permite el paso del agua
- ✓ Buena resistencia a derrapones y al acuaplaneo

- ✓ Alta duración
- ✓ Bajo ruido
- ✓ Muy económico

Las características de este pavimento así como de su procedimiento de diseño y constructivo se ampliarán en el Capítulo V.

STONE MASTIC ASPHALT		0/11 S	0/8 S	0/8	0/5
1. Agregados					
Fracción	mm	0/11	0/8	0/8	0/5
< 0.09 mm	% por peso	9-13	10-13	10-13	10-13
> 2 mm	% por peso	75-80	75-80	70-80	60-70
> 5 mm	% por peso	60-70	> 55	50-70	< 10
> 8 mm	% por peso	> 40	< 10	< 10	----
> 11.2 mm	% por peso	< 10	----	----	----
Arena triturada y arena natural		> 1:1	> 1:1	> 1:1	> 1:1
2. Asfalto					
Asfalto tipo		B65	B65	B80	B80
Contenido de asfalto % por peso		6.5-7.5	7.0-7.5	7.0-7.5	7.2-8.0
3. Estabilizadores: fibras Arbocel					
Contenido en la mezcla % por peso		0.3-1.5	0.5-1.5	0.3-1.5	0.3-1.5
4. Mezcla					
Especimen Marshall					
Temperatura de compactación °C		135 ± 5	135 ± 5	135 ± 5	135 ± 5
Contenido de vacíos % por volumen		3.0-4.0	3.0-4.0	2.0-4.0	2.0-4.0
5. Carpeta					
Espesor cm		3.5-4.0	3.0-4.0	2.5-3.5	1.5-2.5
Peso Kg/m ²		85-100	70-100	60-85	35-60
Grado de compactación %		> 97	> 97	> 97	> 97
Contenido de vacíos % por volumen		<6.0	<6.0	<6.0	<6.0

Figura II.5 Norma alemana ZTV Asphalt stb 94

	NORMAL	0.5% FIBRAS ARBOCEL EQUIVALENTE A 0.75% DE VIATOP 66
Concreto asfáltico		
Cemento asfáltico %	5.8	6.5
Estabilidad Marshall (kg)	960	800
Flujo (1/10 mm)	29	35
Estabilidad dinámica-tiempo/mm	1050	2625
Abrasión (cm ²)	2.39	1.83
Stone Mastic Asphalt		
Cemento asfáltico %	6.4	6.8
Estabilidad Marshall (kg)	960	720
Flujo (1/10 mm)	37	36
Estabilidad dinámica-tiempo/mm	389	3316
Abrasión (cm ²)	1.83	0.85
Open Graded		
Cemento asfáltico %	4.6	5.2
Estabilidad Marshall (kg)	565	440
Flujo (1/10 mm)	31	22
Estabilidad dinámica-tiempo/mm	292	1557
Abrasión (cm ²)	5.58	6.55

Figura II.6 Efecto del Arbocel (la fibra de Viatop) para diferentes mezclas

La estructura de un pavimento flexible se muestra en la siguiente figura:

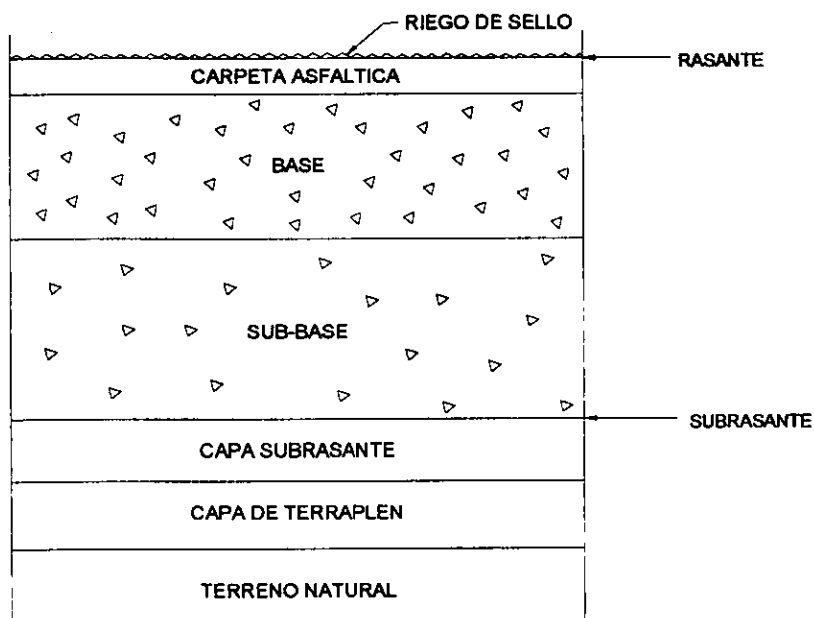


Figura II.7 Estructura de un pavimento flexible

Además de lo ya mencionado existen otras alternativas para el mejoramiento de las superficies de rodamiento a base de carpetas asfálticas, esto gracias a los adelantos tecnológicos de los últimos años, los cuales se mencionan brevemente a continuación:

Pavimentos con base en mezclas porosas

En Europa, Japón y Estados Unidos la utilización de mezclas porosas o drenantes en la superficie de los pavimentos ha contribuido a mejorar la comodidad y seguridad de la circulación en tramos carreteros con precipitaciones continuas, ya que permiten la entrada del agua a la carpeta porosa y la conducen hacia las zonas laterales, con lo que evitan la formación de una película de agua sobre la superficie del pavimento y el consecuente riesgo de acuaplaneo de los vehículos.

Estudios realizados por la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), han determinado que el fenómeno de acuaplaneo en una superficie mojada se produce, cuando un vehículo circula a 75 km/hr sobre un pavimento construido con mezcla densa; en contraste, cuando el pavimento tiene una superficie porosa, el acuaplaneo se presenta hasta los 115 km/hr.

Las carpetas porosas pueden definirse como mezclas asfálticas con un contenido de huecos suficientemente alto (16-25%) para permitir que el agua de lluvia se filtre a través de ella con rapidez y pueda ser evacuada hacia los acotamientos, cunetas u otros elementos de drenaje, evitando su permanencia en la superficie de la capa de rodadura, incluso bajo precipitaciones intensas y prolongadas.

En estas mezclas, la escasez de agregado fino debido a la falta de mortero las hace mucho más vulnerables a los efectos de disgregación, lo que ha de ser compensado con una película de asfalto de mayor espesor y mejor calidad alrededor de los agregados.

Para esas aplicaciones, los asfaltos modificados por la adición de polímeros han mejorado las propiedades de susceptibilidad térmica, adhesividad y envejecimiento de las mezclas porosas. En España, por ejemplo, más de la mitad de las carpetas porosas se han construido con este tipo de asfaltos.

En general las mezclas porosas en carreteras tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Proporcionan una mayor resistencia al deslizamiento a altas velocidades
- ✓ Ofrecen una elevada resistencia al deslizamiento bajo lluvia y eliminan o reducen considerablemente la posibilidad de que se produzca el fenómeno de acuaplaneo
- ✓ Reducen la cantidad de agua proyectada por el paso de los vehículos
- ✓ Mejoran la visibilidad del pavimento mojado
- ✓ Tienen un adecuado comportamiento mecánico
- ✓ Sus pavimentos generan una rodadura cómoda y silenciosa

Como limitaciones pueden citarse:

- ⊗ Es probable que su vida útil sea menor que la de una mezcla densa
- ⊗ Con el tiempo pierden porosidad
- ⊗ Su resistencia a los disolventes y derivados del petróleo es menor
- ⊗ Necesitan un soporte adecuado (impermeable, con buenas características geométricas, etc.)



Figura II.8 Carpetas porosas, efecto drenante
Fuente: Mario C. Arriaga P. Investigador del IMT

Pavimentos con sección invertida

La técnica representa una solución alterna para estructurar pavimentos, que consiste en colocar una sub-base de mayor rigidez que la base. Los resultados de las simulaciones con el método del elemento finito indican que es una solución viable que puede dar una vida útil mayor que la que corresponde a una estructura tradicional de pavimento.

Al aumentar la rigidez en la sub-base, las deformaciones verticales en el pavimento y las deformaciones de tensión en la carpeta se disminuyen apreciablemente. Esto se debe al efecto de confinamiento que induce una sub-base más rígida en la base, lo cual se traduce en una disminución de deformaciones laterales.

Los pavimentos de sección invertida tienen las siguientes ventajas:

- ✓ Al rigidizar con cemento portland la base, se logra una verdadera zapata continua de cimentación que absorberá la mayor parte de las deformaciones y esfuerzos inducidos por el tránsito, transmitiendo menores presiones de contacto en la capa sub-rasante
- ✓ La capa de sub-base rigidizada con cemento portland impide el ascenso de "finos" de la parte inferior y además ayudara a conducir al exterior el agua que pudiera provenir de la capa de base totalmente triturada construida sobre esta capa
- ✓ La base de pavimento en este caso se constituye con materiales totalmente triturados, de textura abierta, que proporciona una gran capacidad de carga por el alto grado de trabazón y permeabilidad entre sus partículas, las cuales desarrollan una fricción alta a pesar de la humedad que hubiere
- ✓ Esta capa de base distribuirá las grietas que se generan en la sub-base rigidizada, impidiendo que se reflejen en la capa superior de concreto asfáltico, que es de espesor reducido del orden 5.0 cm, para hacer trabajar las capas inferiores y disminuir los esfuerzos de tensión
- ✓ La vida económica del proyecto se mantendrá con el mínimo de gastos de mantenimiento, solo se requerirán riegos de sello en la superficie del pavimento para dar la rugosidad que exige la seguridad del usuario

Aditivos para asfalto

Uso de azufre en pavimentos asfálticos

El azufre se ha usado en forma exitosa como un aditivo con varias funciones en la construcción de pavimentos. El azufre se obtiene fácilmente, siendo un producto secundario o un producto de desecho en muchos procesos industriales, y también se extrae directamente de las minas. Aunque no compite en costo con el asfalto convencional se espera que con el tiempo, al llegar ha ser más abundante, su costo disminuya.

El azufre puede emplearse ya sea mezclado con asfalto o bien como aglutinante combinado con plastificadores apropiados. De modo experimental, se han utilizado como aglutinante en tres formas distintas:

- ✓ Mezclas para pavimentos de arena, asfalto y azufre (AAA)
- ✓ Asfalto extendido con azufre (AEA)
- ✓ Azufre plastificado (Sulphlex)

Un proceso del uso de azufre con objeto de mejorar agregados minerales pobremente graduados, desarrollado por Shell Canada, y patentado bajo el nombre comercial de Thermo-Pave, se probó en varios proyectos piloto en ese país. El Thermo-Pave es un material para pavimentos mezclado en caliente y se compone de arena, asfalto y azufre. En estado caliente, el material tiene baja consistencia (alta manejabilidad) y puede colocarse en el sitio, en forma similar al concreto con base en cemento Portland, o bien colocarse con equipo adecuado para esparcir asfalto. La mezcla fraguada al enfriarse, desarrolla una resistencia comparable con la del concreto asfáltico. Además cabe señalar que no requiere de compactación una vez colocado.

Una pequeña porción de azufre que se emplea en el Thermo-Pave, se disuelve y se dispersa en el bitumen. El grueso del azufre derretido actúa como un agente estructurador al llenar los huecos entre las partículas de arena impregnadas de asfalto. Cuando enfría, el azufre se solidifica en esos huecos, trabándose con las partículas de arena e impartiendo gran estabilidad mecánica a la mezcla. Esto reduce los requisitos de calidad del agregado, permitiendo el diseño de mezclas de calidad mediante el empleo de

materiales económicos como arenas de un solo tamaño. El contenido de azufre oscila entre 8 y 14% de peso en la mezcla total.

Por otra parte los resultados de investigaciones realizados por la Federal Highway Administration y otras instituciones, indican que el asfalto extendido con azufre puede usarse para producir la calidad igual o posiblemente mejor que la proporcionada por el cemento asfáltico. El azufre incrementa la estabilidad de la mezcla, dependiendo de la cantidad que se utilice para extender el asfalto. La cantidad de azufre empleada sin adición de plastificantes varía desde un 50% por peso total del aglutinante hasta un mínimo de 20%. Una mezcla de asfalto extendido con azufre, en la que el 20% del peso del asfalto se reemplaza con azufre, tiene aproximadamente la misma estabilidad que una mezcla de cemento asfáltico. Sin embargo al aumentar la proporción de azufre, la estabilidad se incrementa de modo notable. Es importante mencionar que una alta estabilidad implica, por regla general, una fragilidad no deseada.

El intervalo óptimo de la relación temperatura a viscosidad para el azufre, es entre 260 y 300°F (127 a 149°C). En este intervalo, su viscosidad es parecida a la del agua. Cuando el azufre se combina con el asfalto para formar asfalto extendido con azufre en este intervalo, la viscosidad de la mezcla es menor que la viscosidad del concreto asfáltico, permitiendo así un mezclado y una compactación a bajas temperaturas.

El equipo y operaciones de construcción que se utilizan con el concreto asfáltico (CA) son los mismo que para el asfalto extendido con azufre (AEA), excepto para la operación de mezclado. El equipo de acarreo, esparcimiento y compactación, no necesitan modificación para manipular el AEA; sólo la planta de mezclado en caliente requiere un pequeño cambio.

Las técnicas para mezclar el azufre con el asfalto demandan gran energía cortante. Algunos procesos patentados usan molinos coloidales; otros, emplean tornillos helicoidales o mezcladores estáticos. En el método ideado por el U. S. Bureau of Mines, el azufre y el asfalto se introducen por separado en la artesa de mezclado, y la acción cortante del agregado proporciona la energía necesaria para mezclar el azufre con el asfalto. Aunque hay muchas técnicas disponibles para producir el AEA, todas comparten el hecho de que el mezclado se realiza en la artesa o poco antes de que el aglutinante se introduzca en ella.

Los aglutinantes del AEA no deben almacenarse más de una hora, pues el azufre disperso comenzará a depositarse de manera inmediata, a menos que se agite mecánicamente. El almacenamiento a altas temperaturas facilita la generación de gases H_2S y SO_2 con los consiguientes problemas de seguridad. El asentamiento del azufre disperso puede retardarse por medio del proceso patentado Pronk, el cual consiste en introducir muy pequeños retardantes de silicones en el AEA.

Una ventaja importante de los aglutinantes del AEA es la económica: sustitución del caro asfalto por azufre. Otra ventaja es que la introducción del azufre mejora las propiedades del asfalto. Las estabilidades Marshall y Hveem, así como los módulos de resistencia se incrementan. Los modelos de diseño estructural indican que los aglutinantes del AEA permiten el uso de secciones más delgadas que las permitidas usando solamente asfalto, para lograr igual o mejor comportamiento de largo plazo.

Tanto la mezcla de AEA como la AAA contienen cantidades importantes de cemento asfáltico en el aglutinante, por lo que la FHWA a patrocinado investigaciones sobre la posibilidad de reemplazar el asfalto en la construcción de pavimentos. El mayor éxito de estas investigaciones ha sido en el campo de los aglutinantes de azufre plastificado, comúnmente llamados aglutinantes Sulphlex.

El término azufre plastificado se refiere al producto de la reacción del azufre con un solo modificador químico, o como en el caso del Sulphlex, con varios. El azufre plastificado es un material completamente diferente; posee las útiles propiedades ingenieriles mostradas

por el azufre polimérico que se forma al calentar el elemento azufre por encima de 130° C. Al enfriarse rápidamente, el azufre polimérico exhibe propiedades plásticas deseables a temperaturas ordinarias, pero muy pronto regresa a la forma cristalina frágil, en especial si se le somete a esfuerzos. El objetivo de la plastificación es la estabilización del azufre polimérico por medio de agentes químicos modificadores, de tal manera que sus cualidades plásticas se mantengan, de modo indefinido, a temperaturas ordinarias.

Los aglutinantes Sulphlex se componen de 60 a 70% en peso de azufre y de 40 a 30%, respectivamente, de una mezcla de plastificadores. Algunos plastificadores típicos son el tolueno vinílico, obtenido del petróleo, el alquitrán mineral o de hulla y el dicitopentadieno obtenido como producto secundario en la refinación de la gasolina y en la producción petroquímica. Todos son derivados del carbón.

Los aglutinantes Sulphlex, se formulan para reemplazar el asfalto en las mezclas para pavimentos, pero deben tratarse en las especificaciones para pavimentos como aglutinantes completamente distintos del asfalto. Todos los aglutinantes Sulphlex, independientemente del tipo de mezcla para pavimento a que se den lugar (flexible, rígida o intermedia), se usan de la misma manera que el asfalto. Las mezclas se producen en caliente y se colocan con equipo convencional de construcción de pavimentos asfálticos.

Espuma de azufre para prevenir afloraciones de hielo

Un área de interés en lugares sujetos a permafrost es el uso de espuma de azufre como protección contra las afloraciones en la construcción de caminos. En las regiones de sujetas a permafrost, se necesita arena y grava para suministrar una base estable de carga y aislamiento térmico, con objeto de proteger el permafrost subyacente. En ocasiones se requiere de capas de grava de 5 pies (1.53 m) o más.

Algunos ensayos han demostrado que 7 pies de grava pueden reemplazarse con 3 o 4 pulgadas de espuma de azufre y una cubierta de 3 pies aproximadamente de grava. De esta manera, el uso de espuma de azufre presenta la oportunidad de minimizar las necesidades de grava, así como satisfacer ciertos aspectos de económicos y de control ambiental.

Uso de cal hidratada en pavimentos asfálticos

La cal hidratada se usa con profusión en mezclas calientes, con agregados marginalmente aceptables. La cual se comporta como un aditivo químico más que como taponador de huecos, incrementando así la resistencia y la estabilidad de la mezcla asfáltica al hacerla más resistente al agua. La cal tiende a endurecer la mezcla, permitiendo una compactación más rápida y una mayor densidad.

Uso de caucho en superficies asfálticas desgastables

Se dispone de numerosos productos diseñados para encauchar nuevas superficies de concreto asfáltico. Alguno de estos productos se incluyen en la mezcla del mismo; otros, se aplican a la superficie del pavimento después de colocar y compactarse a éste. Se trata de materiales diseñados especialmente para mejorar las cualidades de los pavimentos de mezclas calientes, reduciendo la susceptibilidad a la temperatura, disminuyendo la tendencia a fluir, mejorando la flexibilidad y la adhesión entre los agregados, disminuyendo la disgregación y mejorando el control de los huecos. Las superficies asfálticas encauchadas se usan principalmente, en áreas críticas como cubiertas de puentes e intersecciones urbanas de alto total, las cuales son susceptibles de desgastarse bajo condiciones severas de tránsito.

II.3 PAVIMENTOS RIGIDOS

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

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

⇒ Capa sub-base

De las mismas características que para pavimentos flexibles

⇒ Losas de concreto hidráulico

Las losas de concreto hidráulico se construyen sobre la sub-base y proporcionan la superficie de rodamiento.

El concreto hidráulico es un material pétreo artificial, que se elabora mezclando parte de agua y Cemento Portland, con arena y grava en proporciones tales que se produzcan la resistencia y densidad deseadas.

Las principales propiedades que se deben observar en las gravas y las arenas son: dureza, plasticidad, sanidad, forma de la partícula y granulometría.

El cemento Portland debe cumplir ciertos requisitos físicos y químicos que se resumen a continuación en las siguientes tablas.

El agua que se utilice para la fabricación del concreto deberá ser agua limpia y clara; de ser posible se debe emplear agua potable.

Es importante señalar que también pueden utilizarse aditivos para concreto que se tienen en el mercado para diferentes usos, pudiendo ser: retardantes, o acelerantes de la resistencia; para reducir la cantidad de agua sin disminuir fluidez, etc.

Además se puede utilizar acero de refuerzo así como elementos que permitan controlar los efectos de la temperatura sobre el concreto.

Requisitos Químicos	I	II	III	IV	V
Bióxido de silicio (SiO_2), mínimo porcentaje		21.0			
Oxido de aluminio (Al_2O_3), máximo porcentaje		6.0			
Oxido Férrico (Fe_2O_3), máximo porcentaje		6.0		6.5	
Oxido de magnesio (MgO), máximo porcentaje	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
Trióxido de Azufre (SO_3):	2.5	2.5	3.0	2.3	2.3
Pérdida por calcinación, máximo porcentaje	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
Residuo insoluble, máximo porcentaje	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Silicato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), máximo porcentaje				35	
Silicato dicálcico ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), mínimo porcentaje				40	
Aluminato tricálcico ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), máximo porcentaje		8	15	7	5
Ferroaluminato tetracálcico más dos veces el aluminato tricálcico ($4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 + 2(3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3)$), máximo porcentaje					20

Figura II.9 Fuente: Ing. Fernando Olivera Bustamante

Requisitos Físicos	Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo V
Resistencia a la compresión en kg/cm² En cubos de mortero compuesto de una parte de cemento y dos punto setenta y cinco partes de arena graduada. (A los 27 días, será mayor o igual a:)	245	245		140	210
Resistencia a la tensión en kg/cm² En briquetas de mortero compuesto de una parte de cemento y tres partes de arena estándar en peso. (A los 27 días, será mayor o igual a:)	25	23		21	23
Calor de hidratación En calorías por gramo a las edades siguientes: Siete días, (máximo) Veintiocho días, (máximo)		70 80			
Contenido de aire del mortero, (% en volumen, no mayor de:)	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Falso fraguado, penetración final, (mínimo porcentaje:)	50	50	50	50	50

Figura II.10 Fuente: Ing. Fernando Olivera Bustamante

Juntas de contracción o control

En áreas de concreto, éste está sujeto a la contracción por bajas en la temperatura, provocando esfuerzos de tensión que se concentran en determinadas zonas, provocando que éste se agriete, dando como resultado una losa o pavimento agrietado irregularmente e inseguro para transitar.

Para corregir estos problemas, en las técnicas de diseño se han tomado en consideración, factores como el clima, el coeficiente térmico de los agregados, el coeficiente de fricción con la superficie de apoyo, etc., para predecir las distancias en donde los esfuerzos por contracción, sea probable que se presenten. El uso de pasajuntas para transferencia de cargas evita que se produzca una superficie de rodaje dispereja.

Para permitir un movimiento longitudinal sin restricción del pavimento, las pasajuntas deberán estar perfectamente cortadas y sin rebabas, por lo menos en una de sus extremos y con al menos la mitad de su longitud recubierta con grasa u otro material que impida la adherencia. Esto permite que los pasadores se deslicen con los movimientos del pavimento de concreto haciendo una acción de pistón con el concreto que lo envuelve.

Para que una junta de contracción con pasajuntas funcione correctamente, se deben satisfacer dos condiciones. La primera es que la contracción debe ocurrir en un lugar predeterminado. Esto se puede lograr realizando inmediatamente que sea posible un corte transversal a un tercio de la profundidad del espesor del pavimento, al centro de las pasajuntas ahogadas, en la localización exacta de la junta de contracción prevista.

La segunda condición es que todas las pasajuntas se encuentre en un mismo plano y paralelas entre si a la dirección longitudinal del piso o pavimento. Este requerimiento se satisface soldando en uno de los extremos de manera alternada, las pasajuntas en un soporte rígido (canastillas) y anclando firmemente ésta a la base en el lugar en donde se requiera la junta.

Juntas de expansión

En áreas grandes de pavimento de concreto éste tiende a expandirse por el incremento de la temperatura. Las técnicas de diseño contemplan la incorporación de espacios para

permitir los movimientos de expansión. Las pasajuntas permiten la transferencia de carga y evitan el escalonamiento entre losas.

La diferencia entre las juntas de expansión y las de contracción, es básicamente que la junta de expansión incluye un espacio formado en la losa en el momento de la construcción. En la junta de expansión un relleno de junta compresible tal como panel de fibra, corcho o cartón asfaltado, se coloca en toda la profundidad de la losa, previniendo la infiltración de humedad e incompresibles (arena, fragmentos de grava, etc.), permitiendo que el concreto se expanda sin fisurarse.

Al expandirse la losa, el lado libre de la pasajunta deberá tener la posibilidad de moverse libremente. Esto puede lograrse colocando una manga cerrada o cilindro llamado "capuchón" y este se colocará en el lado "libre" o suelto de cada pasajunta. La manga del lado libre del pasajunta deberá ensamblar perfectamente y ser paralela a la misma, permitiendo movimiento libre como un pistón, evitando la entrada de material dentro del capuchón.

La transferencia de cargas en las juntas de expansión puede obtenerse aún mejor si se manejan las pasajuntas, los capuchones y el material compresible en una sola unidad perfectamente ensamblada y colocada firmemente en el lugar requerido.

Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales se emplean para evitar la formación de grietas longitudinales irregulares, y para permitir la construcción de los carriles, pueden ser ranuras acuñadas, a tope, conformadas mecánicamente o aserradas. Para proteger de separación y falla a los carriles adyacentes, las barras o conexiones de unión, de acero, deben estar ahogadas en el concreto, transversalmente a la junta. La profundidad de las ranuras conformadas o aserradas no debe ser de menos de un cuarto del espesor de la losa del pavimento.

Pavimentos reforzados continuos

Este tipo de pavimento de concreto hidráulico se construye con refuerzo continuo de acero longitudinal sin juntas transversales de dilatación o contracción. De este modo, se permite al pavimento que sufra grietas, que se sostienen unidas por el refuerzo de acero. Regularmente, el agrietamiento comenzará pocos días después de la construcción, con la producción plena de agrietamiento en alguno de los primeros años. El acero para refuerzo en los pavimentos continuos, en general, está compuesto de varillas corrugadas, malla de barras o malla de alambre corrugado.

De los muchos factores que influyen en el tamaño y espaciamiento de las grietas, el más importante es el porcentaje de acero de refuerzo, que con frecuencia se especifica como una relación entre el área de sección transversal de acero longitudinal y el área de sección transversal de losa de concreto. En la práctica, en muchas ocasiones, se pide que el porcentaje de acero (ρ) varíe desde 0.5 hasta 0.7%. El acero en general se coloca a la mitad o ligeramente arriba de la mitad del peralte de losa de concreto. Con los métodos de construcción diseñados para el propósito, no se necesita refuerzo transversal para servir como barras de unión entre vías de tráfico y mantener cerradas las grietas longitudinales.

Pavimento de concreto compactado con rodillos (CCR)

La técnica de construir pavimentos de concreto compactado con rodillos (CCR), cobró fuerza en los inicios de los setenta, a pesar de no existir la suficiente información teórica acerca del comportamiento de este material y mucho menos del diseño. Lo anterior arrojó como resultado una gran cantidad de secciones de pavimentos de prueba indicativos de la inquietud por construir en forma práctica, tomando en cuenta tales circunstancias, es quizá el trabajo desarrollado en la Universidad de Purdue, uno de los primeros que

considera inicialmente estudios de laboratorio, que cubren proporcionamientos de mezclas, características de resistencia, propiedades elásticas, resistencia al congelamiento y deshielo, fatiga y aspectos constructivos en campo.

El CCR, es un concreto muy seco que se compacta en campo por medio de rodillos vibratorios (10 ton), con el objeto de lograr una alta densidad para relaciones de agua - cemento muy bajas. En laboratorio se han reportado densidades hasta de 2560 kg/cm^3 . Son precisamente las características anteriores las que permiten lograr un concreto con un ahorro significativo en el consumo de cemento.

Las características elásticas del CCR corresponden a las de los concretos convencionales de muy alta resistencia y las propiedades de fatiga estudiadas en laboratorio bajo compactación controlada señalan que el CCR puede proporcionar una vida más larga a la fatiga que la del concreto convencional (igual consumo de cemento), bajo los mismos niveles de esfuerzo.

Si consideramos lo anterior y el hecho de que el CCR puede ser colocado con equipo convencional para pavimentación asfáltica, debería de pensarse que el CCR, es una buena opción para construir pavimentos carreteros, y dependiendo de la investigación no esta muy lejano el día en que se logre una calidad de superficie similar a la que se obtiene con concretos de transición. Además el CCR representa una importante alternativa para la rehabilitación de caminos existentes.

Entre las ventajas que se tienen para el uso de esta alternativa encontramos las siguientes:

1. Costos más bajos que el asfalto, a mediano y largo plazo
2. Vida útil de al menos 20 años, libre de mantenimiento
3. Mayor luminosidad que el pavimento de asfalto
4. Mayor seguridad
5. Reduce el desgaste del automóvil y el consumo de combustible

En nuestro país la experiencia constructiva de este pavimento aun es limitada, pero como mencionara el asesor del Banco Mundial en el área de transporte Asif Faiz, durante la 4ª conferencia Internacional sobre Diseño y Rehabilitación de Pavimentos de Concreto, "México sólo necesita desear construir PCCR para realizarlos, sin necesidad de apoyo económico".

De momento el tramo experimental realizado en Baja California Norte nos señala las siguientes conclusiones:

- ✓ Los pavimentos de CCR, pueden construirse utilizando el equipo común y la mano de obra con que cuentan las compañías constructoras de pavimentos
- ✓ Utilizando consumos de cemento de 250 kg/m^3 se logran resistencias a flexión de (MR) de 43 kg/cm^2 , mismos que se obtienen en concretos convencionales con consumos de aproximadamente 400 kg/m^3
- ✓ El costo de los pavimentos de CCR es del 60 al 70% del costo de los pavimentos convencionales de concreto hidráulico y es aproximadamente igual al costo de los pavimentos de asfalto

Aditivos para pavimentos de concreto hidráulico

Para los pavimentos de concreto hidráulico se han empleado cenizas volantes y escoria granular molida, en sustitución parcial del cemento portland para el caso de mezclas de concreto. Estos materiales son benéficos desde el punto de vista de su capacidad para reaccionar con los productos del proceso de hidratación cemento/agua, lo cual ayuda a alargar el periodo de generación de resistencia. Se debe advertir que los efectos de

estos materiales dependen de la temperatura y el tiempo. Se ha usado ceniza volante para las mezclas del sistema de pavimentos de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como sustituto del cemento portland.

La ceniza volante generalmente se clasifica ya sea como tipo F o como tipo C. El tipo F no presenta propiedades cementantes y solo reaccionará con los productos de la hidratación cemento/agua. Por otro lado, el tipo C presenta algunas propiedades cementantes que le permiten reaccionar durante la hidratación temprana del concreto. Como resultado, se pueden usar en cantidades limitadas de ceniza volante tipo C en sustitución del cemento, sin afectar adversamente la resistencia temprana. El tipo F resulta útil para alargar los periodos de generación de resistencia y para combatir los efectos perjudiciales de los sulfatos.

Históricamente, la ceniza volante se ha empleado para reducir la cantidad de cemento en mezclas convencionales hasta un límite máximo de 20%. La sustitución por ceniza volante, también se puede hacer en mezclas de concreto del sistema de pavimentos de apertura rápida basado en cementos estándar. Sin embargo, a fin de mantener las tasas de generación de resistencia temprana, resulta más adecuado un valor máximo de sustitución de 10%. Este material se incluye normalmente con el cemento para la determinación de la relación agua/cemento de la mezcla.

La escoria granular molida (que se usa sobre todo en los estados que bordean la costa Este de los Estados Unidos) es otro aditivo con posibilidades para usarse en México. Hasta la fecha no se ha empleado en la producción de concreto con el sistema de pavimentos de apertura rápida. Sin embargo, se ha utilizado en la construcción general y ha servido para aumentar tanto la resistencia temprana como la resistencia a largo plazo. Este material depende en alto grado de la temperatura, sobre todo en las dosificaciones más altas. Es muy recomendable efectuar pruebas en las mezclas hechas con escoria granular molida, dentro de los intervalos de variación que se esperan de las temperaturas de la mezcla.

Aditivos inclusores de aire

El aditivo para concreto de uso más común es un agente inclusor de aire. Se recomienda que el aditivo cumpla con los requisitos establecidos en la norma ASTM C-260. La inclusión de aire en el concreto mejora la durabilidad al reducir los efectos negativos de la congelación y el deshielo. El volumen recomendado de aire incluido variará en función del rigor del medio ambiente y del tamaño máximo del agregado grueso que se use. En el caso del concreto empleado en el sistema de apertura rápida que no se use más de la cantidad recomendada de aire incluido ya que se puede reducir la resistencia temprana de la mezcla.

Aditivos reductores de agua

Los aditivos reductores de agua (tipo A) se derivan generalmente de lignosulfatos (sales). Un reductor de agua dispersará las partículas de cemento y con ello reducirá las aglomeraciones e inducirá una mayor hidratación del cemento. Este tipo de aditivo disminuirá la cantidad de agua necesaria para producir un cierto grado de trabajabilidad plástica del concreto. La reducción de agua podrá ser del 6 al 10% en la mayoría de los reductores de agua tipo A más conocidos.

En general, los cementos y los reductores de agua son compatibles entre sí. Sin embargo, no todos los reductores de agua reaccionarán con un cierto tipo de cemento para desarrollar las mismas propiedades de la mezcla. Resulta muy importante establecer la compatibilidad entre un reductor de agua y el cemento que se vaya a usar, a fin de obtener las propiedades deseadas de la mezcla. Las pruebas son imprescindibles para determinar el reductor de agua más adecuado.

La practica normal que se especifica en las empresas para aplicarse en las carreteras, ha sido la de usar reductores de agua con el fin de mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

Sin embargo, si el contenido de cemento tipo I el revenimiento previsto para la mezcla de concreto se mantienen constantes, el uso del reductor de agua traerá como resultado una mayor resistencia a través de una menor demanda de agua, es decir una menor relación agua/cemento. El uso de este tipo de aditivo puede mejorar una mezcla de concreto y permitir que los cementos tipo I funcionen muy bien en la pavimentación con concreto de resistencia rápida o del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida. La gran experiencia acumulada ha demostrado que los reductores de agua pueden de hecho, contribuir a alcanzar mejores resistencias tempranas.

En los casos en que las altas temperaturas de mezclado puedan incluir un fraguado prematuro que dificulte las operaciones de colocación y acabado, se puede tomar como posibilidad el uso de aditivos tipo D reductores de agua y retardantes del fraguado. El tipo D proporcionará un retraso limitado del fraguado inicial y proporcionará la plasticidad necesaria para las actividades de colocación y acabado. En términos generales, un aditivo tipo D no afectará en forma negativa la resistencia del concreto después de 12 horas.

Aditivos acelerantes

Los aditivos acelerantes se usan para inducir prematuramente el fraguado y el desarrollo de resistencia en una mezcla de concreto. Estos aditivos están generalmente formados por sales inorgánicas solubles o por compuestos orgánicos solubles. El acelerador más popular es la sal de cloruro de calcio (CaCl_2). Se ha usado en mezclas aceleradas para reparar baches en todo el espesor o en espesores parciales de pavimentos de concreto.

Se cree que los acelerantes afectan la rapidez de hidratación del concreto al afectar la rapidez de hidratación del C_3A . Como se sabe el C_3A es un catalizador del C_3S que afecta el desarrollo temprano y a largo plazo de la resistencia. Una dosis óptima de CaCl_2 (2% en peso de cemento) duplicará aproximadamente el valor de la resistencia a un día de una mezcla.

Algunos agregados son susceptibles a daños por ciclos de congelamiento y deshielo cuando está presente el CaCl_2 . Se recomienda hacer una evaluación de la durabilidad al usar aceleradores basándose en cloruro de calcio mezclados con agregados locales. Otra desventaja del CaCl_2 son sus efectos corrosivos sobre el acero de refuerzo. Cuando el tipo de pavimento implique la colocación de acero de refuerzo, se deberán de usar aditivos que no estén basados en cloruros o métodos alternos para lograr el desarrollo anticipado de la resistencia.

Aunque no se han usado con mucha frecuencia los aditivos acelerantes en proyectos de pavimentos de concreto con el sistema de pavimentos de apertura rápida a la fecha, su uso debe ampliarse con el tiempo. Generalmente se usarán los acelerantes con los cementos tipo I y tipo II. Se recomienda hacer ensayos completos de las propiedades del concreto tanto fresco como endurecido antes de especificar un diseño de mezcla en el que se emplee un aditivo acelerante.

De manera esquemática se presenta la estructura de un pavimento rígido, en su corte transversal en la siguiente figura:

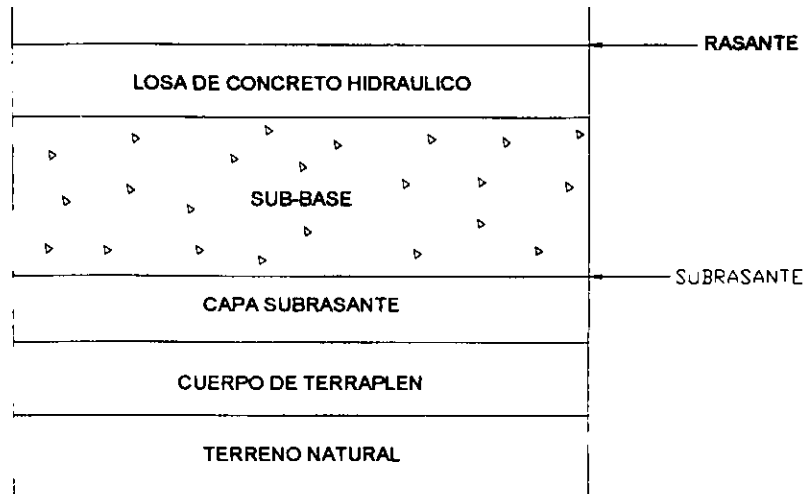


Figura II.11 Estructura de un pavimento rígido

II.4 METODOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS

Para el diseño de pavimentos existe una gran cantidad de métodos, más de veinte, de los cuales algunos son empíricos, otros empírico – teóricos, o bien apoyados en algún programa de cómputo, en los cuales se hace uso de muchas fórmulas, tablas y de nomogramas. Siendo así, para cada método, y dado un tránsito y sub-rasante, los resultados son diferentes haciendo que la experiencia y juicio del ingeniero sean determinantes en el diseño.

Las teorías empleadas para el diseño de pavimentos son varias, se han desarrollado básicamente durante este siglo conforme las necesidades en los mismos han aumentado y como se ha señalado, se requiere de varias consideraciones en su diseño.

En esta sección comentaremos algunos de los diferentes métodos de diseño que se emplean en pavimentos flexibles y rígidos, teniendo en cuenta que para garantizar una vida útil del proyecto adecuada se deberán realizar bien estos desde la misma etapa de planeación y de manera particular en la de diseño.

Habrá que tener muy en cuenta que el uso de un método proporcionara valores diferentes con respecto de otro método, pero no implicara que los resultados difieran de manera exagerada, por lo que el diseñador tendrá que tener una experiencia adecuada, ya que los espesores calculados deberán de ser congruentes en todo momento con las condiciones del proyecto. Este aspecto es importante cuando se hace uso de programas de cómputo ya que si bien las computadoras ahorran tiempo, pueden proporcionar resultados equivocados, dando lugar a una estructura de pavimento débil o bien sobrada, con sus efectos económicos asociados.

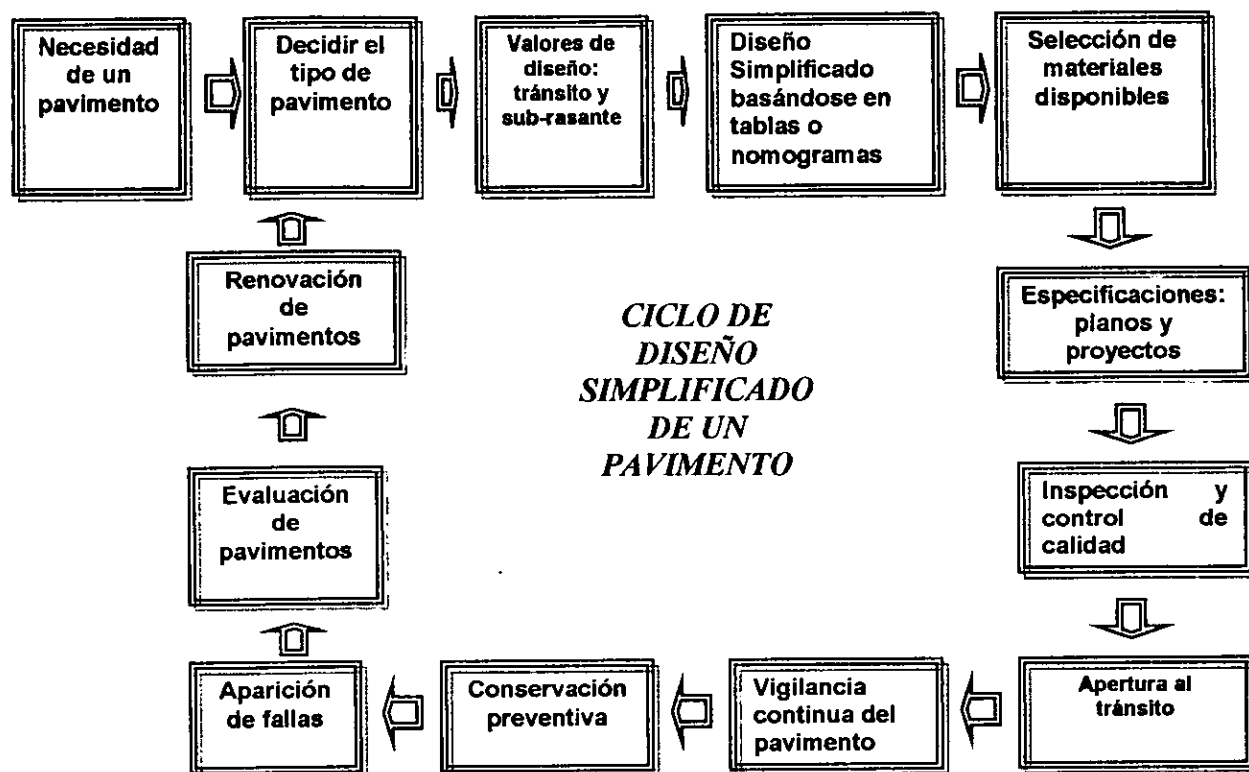


Figura II.12 Esquema de un diseño simplificado de pavimentos

Pavimentos flexibles

El procedimiento de diseño, según se plantea en Interim Guide for Design of Pavement Structures de la AASHTO, se basa en ecuaciones de diseño derivadas tomando en consideración los siguientes parámetros: índice terminal p_T de capacidad de servicio, cargas equivalentes sobre eje sencillo de 18000 lbs, y valor S de soporte del suelo. Este último basado en una escala empírica con valores de 0 a 10. $S= 3.0$ representa suelos arcillosos limosos del lecho del camino, usados en los ensayos de caminos de la AASHTO, y $S= 10.0$ representa una base de roca triturada que se emplea en los ensayos de caminos.

Las unidades de soporte del suelo, representadas por la escala para soporte, no tienen relación directa con ningún procedimiento de ensaye de suelos. Por tanto, es necesario establecer una correlación entre el soporte del suelo y algún procedimiento de ensayos a fin de que se utilice apropiadamente este método de diseño.

Además se incluye en la ecuación el llamado factor regional R , el cual toma en cuenta los factores climáticos y del ambiente, en condiciones diferentes de las de los ensayos de camino.

Otro factor a considerar en este método es el número estructural SN el cual es un número abstracto que expresa la resistencia estructural de pavimento requerido para una combinación específica del valor de soporte del suelo, total de cargas equivalentes sobre un eje sencillo, índice terminal de capacidad de servicio, y factor regional. El SN requerido debe convertirse a espesores reales de capa superficial, base y sub-base por medio de los apropiados coeficientes de capas, los cuales representan la resistencia relativa del material que se va usar en cada una de ellas.

Los coeficientes de capas se asignan a los materiales utilizados en la estructura del pavimento a fin de convertir los números estructurales a peso real. El coeficiente de capa para un material expresa la relación empírica entre SN y el espesor y es una medida de la capacidad relativa del material para funcionar como un componente estructural del pavimento.

El uso de gráficas de diseño para pavimentos flexibles se presenta como nomogramas para simplificar la aplicación de ecuaciones de diseño. Se presentan nomogramas con índices terminales diferentes de acuerdo al tipo de camino que se desee. Una vez seleccionado el nomograma se determina lo siguiente:

1. Los valores representativos de soporte del suelo S para la sub-rasante.
2. Las cargas totales o diarias equivalentes de un eje sencillo para la vía de tránsito durante el periodo de análisis de esté. Como la selección de los factores de equivalencia de tránsito que se van a usar para convertir de tráfico mixto a total de cargas equivalentes sobre eje sencillo, depende del número estructural SN, este se deberá suponer para la primera conversión.
3. El factor regional aplicable para la región.

En los nomogramas se establecen las relaciones entre estos parámetros y se determinan los espesores de pavimento para esas condiciones.

Como ya se menciona antes los métodos de diseño son muy variados, y en general presentan valores similares, por lo cual la elección del mismo será una parte importante en las decisiones que toma el ingeniero. La elección sin embargo caerá en alguno de los siguientes:

1. Métodos que parten de consideraciones teóricas y semiteóricas, utilizando valores de correlación de pruebas triaxiales
 - Kansas (E)
 - Texas (c y ϕ)
 - Hveem (R, función de Ph/Pv)
2. Procedimientos empíricos basados en una prueba arbitraria, tal como la de CBR
 - Cuerpo de Ingenieros
 - Road Research Laboratory
 - Wyoming, Kentucky
 - SOP
3. Métodos basados en pruebas de clasificación de suelos. Índice de grupo
4. Métodos con base en criterios obtenidos del tramo de prueba AASHTO
 - Shook – Finn
 - Boureau of Public Works
 - Instituto de Ingeniería, UNAM
5. Programas de cómputo

Pavimentos rígidos

En estos pavimentos al igual que en los flexibles, existe una gran cantidad de métodos para diseñar, pero se puede decir que se tienen mucho más dentro de las consideraciones de la teoría elástica, desarrolladas originalmente por H. M. Westergaard (1927), la teoría de éste ha tenido gran aceptación hasta nuestros días, y de ella se han derivado muchas otras modificaciones.

Más tarde se desarrolló la teoría de diseño por fatiga, apoyada principalmente en la construcción de tramos experimentales, en los cuales se investigó conjuntamente un gran

número de parámetros relativos a los materiales, tipo de cargas vehiculares y aspectos climáticos, siendo quizás el tramo de prueba AASHO (1950, ahora AASHTO), el mejor ejemplo, los métodos empíricos resultado de dicha investigación se siguen usando hasta hoy.

Otro principio de diseño considera una estructura múltiple de capas (multicapas) donde cada una es considerada homogénea y linealmente elástica con extensión lateral infinita, la sub-rasante es considerada infinita en la profundidad. Se recomienda este método en particular para el diseño de espesores en pavimentos de refuerzo continuo, aunque en algunos países europeos lo usan indistintamente para pavimentos flexibles o rígidos.

Desde la década de los setentas a la fecha se han escrito un buen número de artículos relacionados con el diseño de pavimentos rígidos con la teoría de elemento finito. En esta teoría se sigue considerando a las losas de concreto (elemento finito), como homogéneas, isotrópicas y elásticas en sus propiedades, asumiendo que la sub-rasante de apoyo se comporta como un líquido denso. El objetivo de este método es el de resolver una serie de ecuaciones que se plantean, en las cuales se relacionan los desplazamientos nodales, desconocidos de cada elemento finito del pavimento y las relaciones fuerza desplazamiento para todos los nodos en el modelo propuesto. A pesar de lo novedoso de este método, en la práctica no es muy usado principalmente porque a medida que se propone un modelo cada vez más completo de la estructura del pavimento, se aumenta el número de ecuaciones que se deben de resolver, requiriéndose de mucha capacidad de computadora así como de tiempo de máquina.

Existen en el mercado programas para el diseño de pavimentos rígidos, uno de estos es el conocido como PCAPAV, este programa permite diseñar pavimentos con y sin refuerzo, así como pavimentos continuamente reforzados. Los principios de diseño se basan en los criterios de fatiga y erosión, este último criterio aparece en 1984 y su objetivo es controlar las fallas, limitando la deflexión que se produce en las esquinas y orillas de las losas, efectos que se relacionan con la erosión de la sub-base y los hombros del camino.

El programa imprime si así se le solicita, además del espesor de diseño, los resultados de los análisis por fatiga y por erosión además de los datos relevantes. También si así se quiere, el programa obtiene el espesor de diseño más delgado que satisfaga los criterios de fatiga y erosión simultáneamente. Debe señalarse que el módulo de ruptura del concreto que se utiliza debe corresponder a la resistencia a la flexión a los 28 días, el programa disminuye este valor según un coeficiente de variación del 15%. Por otro lado el programa está limitado a diseñar espesores de pavimento de 4 a 14 pulgadas (10.2 a 35.6 cm), y los valores que acepta el módulo de reacción de la sub-rasante/sub-base (K), deben estar entre 50 y 700 libras por pulgada cúbica (1.4 a 19.3 kg/cm³). Si se requiere analizar las implicaciones económicas del diseño de espesores, se debe complementar el trabajo con otro programa llamado PAVECOST, el cual realiza un análisis del costo del ciclo de vida del pavimento.

II.5 PROCESOS CONSTRUCTIVOS

Los procesos constructivos empleados para cada una de las capas componentes de una sección estructural de pavimento se explican a continuación, para ello se hará referencia a los que se emplean de acuerdo con la capa en cuestión.

* Procedimiento constructivo para terracerías:

Cuerpo del terraplén.

El acomodo de los materiales puede realizarse de tres maneras diferentes:

1. Cuando los materiales son compactables, se les debe dar este tratamiento con el equipo correspondiente según su calidad; en general, el grado de compactación de estos materiales en el cuerpo del terraplén será del 90%; el espesor de las capas será de acuerdo al equipo de construcción.
2. Si los materiales no son compactables, se forma una capa cuyo espesor sea casi igual al del tamaño de los fragmentos de roca; pero no menos de 15 cm; sobre esta capa debe pasar un tractor de orugas, tres veces por cada punto de la superficie con movimientos en zig zag; es conveniente que para mejorar el acomodo, se proporcione agua en una cantidad de 100-1 por m³ de material.
3. Si se requiere realizar rellenos en barrancas angostas y profundas, en donde no sea fácil el acceso del equipo de acomodo o compactación, se permite que el material se coloque a volteo, hasta una altura en que ya se pueda operar equipo.

Cuando el tráfico que soportara un camino es mayor a 5000 vehículos por día, los 50 cm superiores del cuerpo del terraplén, se construirán con material compactable y se les dará este tratamiento hasta un grado del 90% de PVSM; si el material con que se construyó la parte inferior también es compactable, la diferencia sólo será el grado de compactación que tendrán cada una de ellas.

Capa sub-rasante.

Para esta capa la compactación se debe realizar utilizando el equipo más adecuado de acuerdo a sus características. En forma general, se construye mediante dos capas de 15 cm de espesor mínimo.

Como en general los materiales que se encuentran cerca de la obra no cumplen con las características marcadas en las normas, se requiere estabilizarlos en forma adecuada, ya sea mecánica o químicamente; en otras ocasiones, para construir las terracerías, es necesario formar caja y sustituir al material extraído por otro de características adecuadas; a menudo éste es el caso para construir la capa subrasante en cortes.

A veces, se tiene que el material de los cortes es adecuado para utilizarse en la capa subrasante, por lo que este no debe de acarrear de préstamos de bancos, sino que se utiliza el mismo material, y para que no se tengan salientes en la cama de corte y que la compactación sea constante se escarifican 15 cm del material, se humedece en forma homogénea, se extienden dando el bombeo de proyecto y se compacta a 95% de su PVSM.

Procedimiento constructivo para bases y sub-bases:

Los procedimientos de construcción para las bases y sub-bases, incluyendo las etapas de muestreo y pruebas preliminares son en el siguiente orden:

1. Exploración: se requiere una exploración completa de la zona en que se pretende construir la obra vial, para la determinación de posibles bancos para pavimentación, para esto se hace uso de la fotografía aérea y de reconocimientos terrestres.
2. Muestreo, pruebas de laboratorio: Una vez localizados los posibles bancos de materiales, será necesario realizar sondeos preliminares, para tener idea de la calidad de los materiales, y si los resultados son positivos, se realizarán sondeos definitivos en mayor número que en los anteriores. Con estos sondeos se conocerá la extensión del banco.
3. Extracción y acarreo de materiales: para realizar la extracción de los materiales, se debe tomar en cuenta, que aquéllos que se encuentran en forma masiva se deben obtener con tamaños accesibles, que en obras viales son del orden de 75 cm como

máximo. Para ello primeramente se barrena la roca, se coloca dinamita y algún otro producto de nitrógeno que disminuya el costo, se colocan los estopines y se lleva a cabo la explosión. Además será necesario la posterior extracción de los fragmentos con equipo de acuerdo con la dificultad que se presenta por el tamaño. Generalmente antes de su transportación a la obra los materiales reciben un tratamiento especial, que van desde el cribado, trituración o bien estabilización con algún producto químico. El acarreo de los materiales tratados se realiza con el equipo acorde al tamaño de la obra, distancia de acarreo, condiciones topográficas y de acceso a la obra y tamaño de los materiales, una vez en la obra los materiales se acamellonan con el uso de motoconformadoras.

4. Tratamientos en la obra: los tratamientos pueden ser estabilizaciones mecánicas o químicas, para ello una vez acamellonado y medido el material, se forma una capa en parte de la corona de la obra y sobre ella se coloca el material que se va a mezclar en forma acordonada, si es necesario se disgrega para luego mezclarlos con motoconformadoras hasta homogeneizarlos, también se puede hacer uso de mezcladoras mecánicas para esta labor.
5. Compactación: enseguida se realiza la compactación del material, para lo cual se requiere humedecerlo con una cantidad de agua cercana a la óptima, el agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas del camión cisterna. La humedad se homogeneiza en todo el material por medio de motoconformadoras, una vez realizado esto se extiende el material, se compacta hasta alcanzar el grado requerido por el proyecto. Para aumentar la resistencia de estas capas se puede agregar cemento portland o bien cal, la compactación se realiza con máquinas de rodillos salientes, con pesos de 15 a 20 ton y con o sin unidad vibratoria.
6. Riego de impregnación o de liga: una vez seca la capa y con las condiciones de compactación requeridas, se procede a barrer la superficie ya sea manual o mecánicamente, para aplicar asfalto FM-1.

* Procedimiento constructivo para carpetas asfálticas:

Para este tipo de carpetas se sigue el siguiente proceso de construcción:

1. Se eligen los bancos de material pétreo, que en general serán de roca masiva como balasto, riolitas, andesitas, calizas o bien bancos de conglomerados; pero conviene que éstos tengan suficiente desperdicio para triturarse.
2. Se determina la granulometría requerida así como la determinación de contenido óptimo de asfalto, con base en estos datos se determina el abastecimiento de los materiales hacia la planta mezcladora.
3. Se realiza la extracción de materiales en banco, haciéndose necesario en la mayoría de los casos el uso de explosivos, y para su transportación de palas mecánicas, etc. Para el triturado y cribado del material se requiere de una trituradora de quijadas, una o dos de cono o de rodillos, criba y bandas, en esta etapa se hace necesario el almacenamiento de cuatro tipos de tamaños diferentes.
4. En la planta de mezclado, se realiza un primer proporcionamiento aproximado de pétreos en frío, por medio de cargadores frontales o utilizando las compuertas de las tolvas, auxiliadas por bandas.
5. Por medio de elevadores de cangilones, el material se lleva al cilindro de calentamiento y de secado, aquí los pétreos se calientan entre 150° y 170°C.
6. Una vez con la temperatura necesaria, el pétreo se eleva otra vez en cangilones a la unidad de mezclado, en donde, en primer término, se hace un cribado para alimentar a 3 o 4 tolvas con material de diferentes tamaños, se pesa la cantidad de cada uno de

- ellos requerida y se deposita en la caja mezcladora en donde se adiciona el cemento asfáltico, a una temperatura de 130° a 140°C. Se realiza la mezcla hasta su completa homogeneización y por último se hace el vaciado a los equipos de transportación.
7. Se transporta la mezcla procurando conservar una temperatura de 110° a 120°C. Al llegar el equipo de transporte al tramo, descarga su contenido en la máquina extendedora (finisher) que forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregaciones del material y dándole una pequeña compactación.
 8. A una temperatura mayor de 90°C, se debe iniciar la compactación de la franja para lo cual se hace uso de rodillos de aproximadamente 7 ton, para dar un primer armado y permitir posteriormente la entrada de equipo de 15 ton.

* Procedimiento constructivo para pavimentos rígidos:

1. Se eligen los bancos de los materiales pétreos (arena y grava), para lo cual es necesario realizar una exploración de la zona en donde se construirá la obra; que pueden ser playones de río o arroyo, depósitos de materiales, aglomerados o conglomerados o roca, se muestrean y se llevan al laboratorio para que se realicen las pruebas de clasificación necesarias, y con estudio económico se decide cuáles bancos se van a utilizar.
2. Se elige el tipo y marca de cemento Portland, así como los aditivos que se usarán y se encuentran las proporciones en que intervendrán: cemento, agua, arena y grava.
3. Se extrae el material de los bancos; si se trata de conglomerados o roca se deben usar explosivos y para cualquier material, dependiendo de los tamaños máximos, para cargarlos en los transportes se utilizan desde palas manuales hasta palas mecánicas.
4. Se realizan los tratamientos previos necesarios como cribado, triturado, lavado.
5. Se acarrean los materiales al lugar de mezclado, ya sea al pie de la obra si se utilizan mezcladoras, o bien a las plantas de mezclado.
6. Se realiza el mezclado de los materiales, para lo cual, se deberán llevar a cabo las correcciones necesarias, principalmente por la humedad que contienen los pétreos; asimismo, se hará la calibración de los envases o la velocidad de las bandas o abertura de compuertas, para que de acuerdo a la capacidad de la revoladora se realice la dosificación de los materiales, que puede ser por volumen o por peso.
7. La sub-base debidamente compactada e impregnada se humedecerá para que no absorba agua del concreto fresco, y una vez mezclados adecuadamente los ingredientes, se realiza el vaciado en el encofrado o moldes, los cuales se deben colocar con la debida anticipación y fijados a la sub-base de tal manera que no vayan a tener movimientos con la presión del concreto fresco. También con anticipación se debe colocar el acero necesario para las pasajuntas; este acero debe estar soportado, de tal forma que se encuentre a la mitad del espesor de la losa.
8. El concreto vaciado en el encofrado deberá acomodarse o compactarse por medio de vibradores de inmersión para darle la densidad adecuada; enseguida, se enrasa la mezcla por medio de un vibrador de superficie, con lo cual se da el espesor necesario y un primer acabado.
9. Se dará a la superficie el acabado necesario para que tenga el coeficiente de rugosidad que se requiere, lo cual se puede hacer por medio de cepillos, escobas o utilizando telas fibrosas. Existen también máquinas acanaladoras especiales, que realizan un trabajo muy fino en la superficie de rodamiento y que además de aumentar la fricción entre la llanta y la superficie, evitan el acuaplaneo, ya que el agua de lluvia, no drena con rapidez hacia los lados, es atrapada por lo pequeños canales al paso de los vehículos.

10. Se elaboran las juntas transversales de contracción, para lo cual, en los lugares señalados por medio de una cortadora de sierra se forman las muescas que servirán para debilitar la sección del concreto y obligarlo a que se agriete. El aserrado se debe realizar entre 24 y 36 horas después del colado, de tal manera, que al elaborarse la mueca no se provoquen desprendimientos de concreto a los lados de la sierra.

Se deberán sellar lo más pronto posible estas muescas para evitar que entren en ellas partículas que puedan provocar concentraciones de esfuerzo y posibles despostillamientos de las orillas de las losas. Para el sellado se pueden emplear materiales de tipo termoplástico, como el cemento asfáltico, que endurecen al enfriarse o los del tipo de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con polisulfuro o poliuretanos.

También se deben efectuar las juntas de expansión, colocando los materiales de relleno y el aserrado donde se requiera.

Las obras no se deben abrir al tránsito hasta que el pavimento alcance la resistencia de proyecto.

Estos son los procesos constructivos generales para pavimentos aún cuando la selección de un pavimento diferente requiere de otras consideraciones, pero de manera general seguirán un proceso similar.

Hay que recordar además que en la gran mayoría de estos casos la tecnología ha permitido grandes avances, proporcionando equipo muy variado y de alto rendimiento, el cual se deberá ajustar al caso particular.

II.6 COMPARACION ENTRE PAVIMENTOS ASFALTICOS Y DE CONCRETO HIDRAULICO

Históricamente la existencia de los dos tipos de pavimentos, en México, no se ha ignorado, de tal manera que se han construido pavimentos rígidos a mano desde los inicios de los primeros caminos revestidos, pero el hecho de que nuestro país fuese considerado como uno de los productores de petróleo importantes de América, permitió en gran medida ver a los pavimentos flexibles como la solución económica por excelencia, con el paso de los años y los cambios mundiales, han demostrado que la selección de un pavimento a otro no depende de la abundancia del petróleo, que si bien es importante, otros factores lo son mucho más, tal es el caso de los costos de operación vehicular, el ciclo de vida del proyecto, costos de conservación, etc, todo esto ha permitido un mejor análisis de las soluciones de pavimentación, y sin duda el tenerlas en cuenta permiten proporcionar una solución óptima.

En los anteriores apartados se han presentado de manera breve y resumida varios aspectos de los diversos pavimentos existentes, además de algunas ventajas que proporcionan así como sus principales características técnicas. En este punto pretendemos dar a conocer algunas de las diferencias principales entre los dos tipos de pavimentos, los flexibles y los rígidos, esto con el fin de proporcionar un mejor criterio de selección para los mismos, aun y cuando la decisión de un método en particular será condicionada a las características particulares del problema específico.

CONCEPTO	RIGIDO	FLEXIBLE
1. Calidad de rodamiento	Mayores problemas en el acabado superficial. Las juntas entre losas suelen ser fuente permanente de problemas. Este inconveniente se atenúa notoriamente en losas con acero de refuerzo, al aumentarse sensiblemente el espaciamiento entre juntas	Mayor facilidad para lograr una mejor superficie de rodamiento
2. Funcionalidad	Bajo altos niveles de tránsito este pavimento llega a ser más ventajoso. La falla más común se manifiesta por agrietamientos, los cuales no suelen afectar la funcionalidad	Cuando el tránsito es intenso suele ser común la formación de baches y roderas que afectan seriamente la funcionalidad del pavimento
3. Agrietamiento	Es más probable que en este caso se presenten grietas no controladas. Sin embargo, estas suelen ser de poca trascendencia	El agrietamiento suele influir mayormente en el comportamiento del pavimento, ocasionando incluso fallas del mismo por bombeo de las capas inferiores
4. Resistencia al derrapamiento	En ambos tipos de pavimento se requiere adoptar medidas especiales para disponer de una superficie antiderrapante. Sin embargo, la textura superficial del pavimento rígido suele ser más estable que la del flexible	
5. Facilidad de reparación	Requiere alta especialización	Es relativamente sencilla, sin embargo, en caminos de alto tránsito la operación del mismo se ve seriamente afectada
6. Visibilidad	En general la visibilidad es mejor que en el pavimento flexible	Presenta algunas deficiencias
7. Durabilidad	Sustancialmente mayor, presentando un promedio de 20 años con un mantenimiento de menores proporciones que el flexible	Tiene un promedio de 10 a 15 años de vida útil con un mantenimiento programado constante
8. Construcción por etapas	No aplicable a este tipo de pavimento, a menos que se recurra a capas bituminosas	Muy favorable
9. Costos	Los costos de construcción inicialmente son mayores, siendo en cambio menores los de conservación. La suma de ambos es motivo de análisis en cada caso	Posibilidad de diferir inversiones al construir por etapas. Se incrementan notablemente los costos de conservación y de operación si no presenta un mantenimiento adecuado
10. Confiabilidad	En condiciones críticas ó particularmente difíciles, ofrece mayores garantías que el flexible	

Figura II.13 Algunos aspectos comparativos

La figura anterior muestra solo algunos aspectos de los que se pueden considerar para la selección de un pavimento, pero no son realmente definitivos, ya que tenemos que ambas modalidades pueden ser aplicadas sin ningún problema en nuestro país, con tal que se proyecte o realicen convenientemente, teniendo esto en cuenta se puede asegurar que la decisión se tomara de acuerdo a alguno de los siguientes criterios:

- ✓ Criterio económico, que se refiere al costo inicial de cada alternativa, al costo de conservación de la misma en un determinado ciclo de vida y al costo de operación de

los vehículos que transiten sobre el pavimento considerado, con énfasis especial en los vehículos de carga

- ✓ Criterio de funcionalidad, entendiendo por tal, la desventaja o inconveniente que se tenga por las dificultades de tránsito que emanen de acciones de conservación importantes que generan interrupciones en la fluidez del mismo.

Los dos criterios anteriores requieren de un análisis amplio del problema pero aseguran una adecuada selección de la solución, que en el corto y largo plazo significan un ahorro económico sustancial. El Instituto Mexicano del Transporte (IMT) ha realizado diversos estudios en los cuales propone diferentes horizontes de proyecto (Ciclos de Vida) para caminos asfálticos y rígidos, teniendo en cuenta una serie de variantes que permiten simular de manera adecuada los caminos en condiciones futuras. Estos estudios han proporcionado una serie de resultados que pueden ser empleados como criterios de selección, y que de manera general proporcionan los siguientes resultados:

- ✓ La sección estructural de un pavimento deberá considerar desde las terracerías
- ✓ Se deberá tener en cuenta el crecimiento del tránsito a futuro dentro del proyecto
- ✓ Además se tomará en cuenta el crecimiento de la estructura del pavimento de tal manera que siempre se aprovechen las capas inferiores ya construidas
- ✓ Todo ahorro en el costo inicial de un proyecto resulta contraproducente a la larga
- ✓ Habrá que tomar en cuenta los costos que se generen a lo largo del ciclo de vida del proyecto
- ✓ Se deben tener presentes los trabajos de mantenimiento a futuro que permitan mantener la funcionalidad del camino

Todos estos aspectos económicamente favorecerán a alguno de los tipos de pavimentos, de acuerdo con las condiciones particulares del proyecto, y proporcionarán la solución óptima.

CAPITULO III

FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL DETERIORO DE PAVIMENTOS CARRETEROS

III.1 INDICADORES DEL ESTADO DE UN PAVIMENTO CARRETERO.....	66
III.2 FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS CARRETEROS	
III.2.1 TRANSITO.....	74
III.2.2 TIEMPO Y MEDIO AMBIENTE.....	80
III.2.3 CALIDAD DE LOS MATERIALES.....	84
III.2.4 DEFICIENCIAS EN CONSERVACION Y REHABILITACION.....	90

III.1 INDICADORES DEL ESTADO DE UN PAVIMENTO CARRETERO

Los principales indicadores son los siguientes:

- ✓ Capacidad estructural
- ✓ Rugosidad
- ✓ Deterioros superficiales
- ✓ Fricción
- ✓ Costo de mantenimiento
- ✓ Costos de operación

Dichos indicadores varían con el tiempo hasta alcanzar cada uno de ellos un nivel de rechazo prefijado, momento en que se define el fin de un ciclo de vida útil de un pavimento.

Esto puede solucionarse mediante acciones de rehabilitación, con las cuales es posible iniciar un nuevo ciclo en la vida del pavimento; por ejemplo, en el tiempo T1 de la figura III.1, vuelve a repetirse el proceso de degradación del pavimento, hasta cumplirse otra etapa en el tiempo T2, en que vuelve a repetirse el ciclo mediante la aplicación de nuevas acciones de rehabilitación. La figura manifiesta que durante la vida de diseño del pavimento una o más veces, los indicadores pueden alcanzar niveles de rechazo, requiriéndose acciones de rehabilitación para que el pavimento pueda seguir prestando un servicio adecuado.

Los indicadores de la capacidad estructural, comodidad de rodamiento, deterioros superficiales y fricción están ligados a problemas de capacidad estructural, comodidad y seguridad, mientras que el costo de conservación y costo de operación, son indicadores de orden económico que también pueden utilizarse para definir cuando ha concluido la vida útil de un pavimento.

Los costos de conservación corresponden a todos los trabajos realizados para conservar el pavimento, cuyo monto se incrementa año tras año, a medida que aumentan los deterioros superficiales en el pavimento y disminuye la comodidad de rodamiento.

Los costos de operación son efectuados por el usuario y corresponden a insumos de combustible, llantas, refacciones, etc., mantenimiento del vehículo y su depreciación, tiempo de recorrido, accidentes, etc., los cuales están ligados con el estado del pavimento. A medida que el pavimento se deteriora en mayor grado con el transcurso del tiempo, se reduce la velocidad de operación del vehículo, y el recorrido se toma incómodo e inseguro, además de que aumentan las interferencias con los trabajos de conservación, que cada vez deben ser realizados con mayor frecuencia, lo que se traduce en congestionamientos, accidentes y en mayor costo para los usuarios.

Por lo tanto el conocimiento de ambos tipos de costos en el transcurso del tiempo, constituye otro indicador más del comportamiento de un pavimento, y pueden ayudar a definir la política a seguir.

Para la determinación del daño de un pavimento carretero, es necesario llevar a cabo una evaluación de las condiciones funcionales y estructurales que presenta el mismo, a fin de posteriormente seleccionar la reparación apropiada, para lograr esto se establecen parámetros que nos ayudarán en la toma de decisiones.

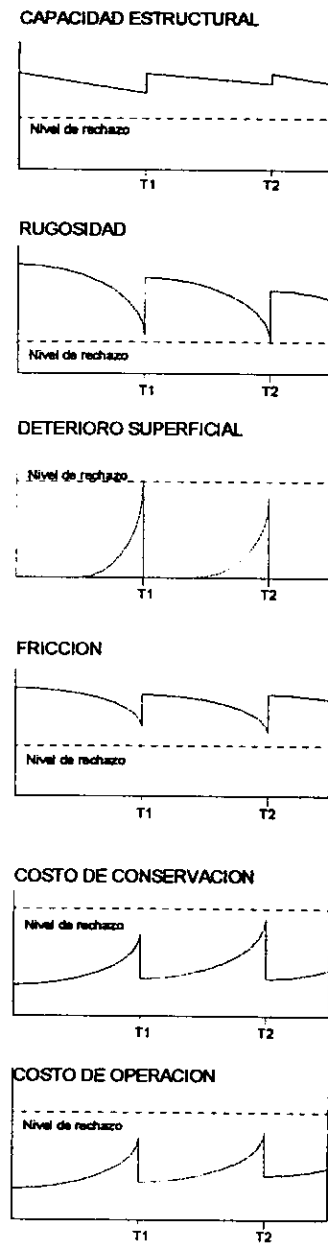


Figura III. 1 Principales parámetros indicadores del estado de un pavimento.
Hass y Hudson

El deterioro funcional se define como cualquier condición que afecte adversamente al usuario de carreteras.

El deterioro estructural de un pavimento se define como cualquier condición que reduce la capacidad para soportar cargas. La capacidad estructural declina con el tiempo y con el tráfico.

La evaluación de los pavimentos, consiste en la medición de la evolución de los indicadores mencionados en forma periódica, para poder realizar a tiempo las acciones siguientes:

- Proporcionar la información necesaria para poder comprobar el cumplimiento de las premisas y predicciones del proyecto, y en su caso poder modificar los criterios para actualizar el método o modelo de diseño.
- Predecir el comportamiento futuro del pavimento, para programar las acciones de conservación y rehabilitación, así como los fondos necesarios para ello.
- Obtener información que permita mejorar las técnicas de construcción, conservación y rehabilitación.
- Recabar la información necesaria para actualizar los programas de mejoramiento de la red.

El proceso de evaluación requiere la medición periódica o monitoreo de un pavimento. A continuación se presentan en forma resumida las variables que interesa conocer:

1. Estructurales

- a) Procedimientos destructivos. Se refieren a la destrucción del pavimento y resistencia de los materiales que lo constituyen. Puede determinarse mediante la ejecución de pruebas destructivas que requieren de calas, pozos y trincheras, de las cuales pueda obtenerse en forma directa el número de capas y su espesor individual, así como el muestreo de los materiales que la constituyen, para determinar las características mediante pruebas de campo o laboratorio.

Las pruebas que comúnmente se realizan en los materiales de capa subrasante y pavimento, son las siguientes:

- I. Valor relativo de soporte
- II. Pruebas de placa
- III. Módulo dinámico complejo
- IV. Módulo de resiliencia
- V. Rigidez a la flexión
- VI. Tensión indirecta estática o dinámica
- VII. Modulo de rigidez
- VIII. Deformación viscoelástica

La primera prueba puede ejecutarse tanto en campo como en laboratorio y su utilización es sumamente amplia hoy en día, a pesar a que se le consideran bases empíricas.

Las pruebas de placa se aplican en campo y su uso también es amplio.

Las pruebas III, IV, V, VI y VII permiten determinar en el laboratorio, las propiedades elásticas, gracias a la deformación de esfuerzos y deformaciones unitarias bajo esfuerzos repetidos; la prueba que ha tenido una mayor aplicación actualmente es la del módulo de resiliencia.

Por lo que respecta a la prueba VIII, se utiliza para determinar el comportamiento viscoelástico de los materiales, introduciendo en su ejecución la influencia del tiempo en la magnitud y desarrollo de las deformaciones ocurridas; se considera además la influencia de la temperatura en el comportamiento de los materiales.

Debe decirse finalmente que el análisis de los valores obtenidos en las pruebas ejecutadas, deben someterse a la aplicación de factores de seguridad, para tomar en cuenta la falta de uniformidad de los materiales, errores en el procedimiento de prueba, etc.

b) Procedimientos no destructivos. Es altamente recomendable investigar la capacidad estructural de un pavimento existente sin destruir o alterar sus elementos componentes, para lo cual se han desarrollado pruebas que se realizan en la superficie del pavimento, cuyos resultados se relacionan de alguna manera con las propiedades estructurales del pavimento, y que se denominan pruebas no destructivas, debido a que no se altera la estructura del pavimento. Estas pruebas se clasifican en las dos categorías siguientes:

- Mediciones de respuesta a una carga estática o a una sola aplicación de una carga que se mueve lentamente.
- Respuesta a una carga dinámica o repetida.

La respuesta del pavimento a la acción de una carga estática o que se mueve lentamente, se obtiene por lo general, midiendo la deflexión producida por la carga en el pavimento, siendo los dispositivos mas utilizados los siguientes:

- Viga Benkelman,
- Deflectómetro viajero,
- Deflectómetro Lacroix

El primer dispositivo tiene una amplia difusión debido a su facilidad de manejo, bajo costo y fácil interpretación; sin embargo es complicado su uso cuando interviene en carreteras de alto volumen de tránsito, debido a su lentitud. El deflectómetro viajero desarrollado por la División de Carreteras de California, opera bajo el mismo principio, aunque de manera automatizada y utilizando dispositivos electrónicos, es capaz de efectuar de 1500 a 2000 mediciones por jornada de trabajo, viajando a una velocidad del orden de 1 km/h. La versión europea de este dispositivo lo constituye el deflectómetro Lacroix, que se desplaza a una velocidad tres veces mayor, y puede proporcionar del orden de 2000 mediciones diarias.

En cuanto a la respuesta a cargas dinámicas, se han desarrollado pruebas vibratorias que consisten en aplicar fuerzas sinusoidales de varias frecuencias, y analizar posteriormente las características de propagación de las ondas producidas y captadas en geófonos y de esta manera, de acuerdo con la teoría elástica, pueden determinarse módulos dinámicos de las diferentes capas que constituyen el pavimento, pudiendo valuarse además las deflexiones producidas en el pavimento.

Los dispositivos más frecuentemente usados dentro de esta categoría son los siguientes:

- Dynaflect,
- Vibrador Shell,
- Road-Rater,
- WES

Para operar estos equipos es muy importante asegurarse de que se encuentran apropiadamente calibrados, de que la fuerza aplicada al pavimento sea la registrada y que existe una correcta correlación de las deflexiones registradas. A este respecto, normalmente se emplean las deflexiones con Viga Benkelman

2. Estado superficial del pavimento

En este aspecto esta involucrado un estudio de la historia de la calidad de rodamiento del pavimento durante un periodo de tiempo y del tránsito acumulado en el mismo lapso, lo que puede ser determinado mediante mediciones periódicas de dicha calidad de rodamiento. Este concepto está ligado con nivel de servicio, que describe las condiciones de operación desde el punto de vista del usuario.

El nivel de servicio de un pavimento es en gran parte una función de su rugosidad. La rugosidad en un pavimento debe entenderse como un fenómeno manifestado en la superficie del pavimento y experimentado por el usuario cuando viaja sobre una carretera. La rugosidad es una función del perfil longitudinal de la superficie del pavimento, de las características del vehículo, incluyendo llantas, suspensión,, carrocería, asientos, etc., y de la sensibilidad del usuario ante la velocidad y la aceleración; en otras palabras, depende del perfil real de la superficie del pavimento, de los aspectos dinámicos del vehículo y de la respuesta humana.

Por lo tanto para medir el nivel de servicio, se puede emplear el llamado *Indice Internacional de Rugosidad* o bien el *Indice de Servicio*.

El **Indice Internacional de Rugosidad (IIR)**, es una medida cuantitativa que mide la regularidad de la superficie de rodadura. Se define generalmente como la distorsión de gran longitud de onda de la superficie, incluyendo levantamientos y expansiones, estas pueden ser provocadas por grietas transversales deterioradas, grietas longitudinales, baches, aspereza por desmoronamiento en los bordes de la carpeta, aspereza por astillamiento y los desperfectos de juntas transversales y longitudinales y grietas.

El **Indice Internacional de Rugosidad** se mide en m/km y los valores que se utilizan para su calificación varían entre el cero (0) y el doce (12).

El **Indice de Servicio (IS)** se emplea para medir la calidad del flujo vehicular; es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los conductores y/o pasajeros. Estas condiciones se describen en términos de factores tales como velocidad y el tiempo de recorrido, libertad de maniobras, la comodidad, la conveniencia y la seguridad vial.

De los factores que afectan el nivel de servicio, se distinguen los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones de velocidad, en el volumen, en la composición del tránsito, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los extremos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamiento, las pendientes, los deterioros, etc.

Los niveles de servicio se miden por medio de letras o bien de números, a continuación presentamos lo que significa cada uno de ellos:

Nivel de Servicio "5 ó A"

Representa una circulación a flujo libre; los usuarios, considerados en forma individual, están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. Poseen una altísima libertad para seleccionar sus velocidades deseadas y maniobrar dentro del tránsito. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado por la circulación al conductor, pasajero o peatón es excelente.

Nivel de Servicio "4 ó B"

Esta dentro del rango de flujo estable, aunque se empiezan a observar vehículos integrantes de la circulación. La libertad de la selección de las velocidades deseadas sigue relativamente inafectada, aunque disminuye un poco la libertad de maniobrar en

relación con la del nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia es algo inferior al del nivel A, porque la presencia de otros comienza a influir en el comportamiento de cada individuo.

Nivel de Servicio "3 ó C"

Pertenece al rango de flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en el que la operación de los usuarios individuales se ve afectada en forma significativa por las interacciones con los otros usuarios. La selección de la velocidad se ve afectada por la presencia de otros, y la libertad de maniobrar comienza a ser restringida. El nivel de comodidad y conveniencia desciende notablemente.

Nivel de Servicio "2 ó D"

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas, y el conductor o peatón experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo. Los pequeños incrementos del flujo generalmente ocasionan problemas de funcionamiento.

Nivel de Servicio "1 ó E"

El funcionamiento está en el, o cerca del, límite de su capacidad. La velocidad de todos se ve reducida a un valor bajo, bastante uniforme. La libertad de maniobra para circulación es extremadamente difícil, y se consigue forzando a un vehículo o peatón a "ceder el paso". Los niveles de comodidad y de conveniencia son muy bajos, siendo también grande la frustración de los conductores o peatones. La circulación es normalmente inestable, debido a que los pequeños incrementos del flujo o ligeras perturbaciones del tránsito producen colapsos.

Nivel de Servicio "0 ó F"

Representa condiciones de flujo forzado. Esta situación se produce cuando la cantidad de tránsito se acerca a un punto que excede la cantidad que puede pasar por él. En estos lugares se forman colas, donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables.

Esta medida cualitativa está íntimamente relacionada con la cantidad de vehículos y en general con las condiciones del tráfico, pero también con las condiciones físicas de la vía, ya que si está tiene demasiados deterioros dificultará, como consecuencia la circulación vehicular haciendo que disminuya rápidamente el nivel de servicio. Con este criterio se toman decisiones referentes a la conservación de carreteras, tomando este dato como parámetro de referencia, ya que se consideraran las acciones e inversiones en mantenimiento para un determinado nivel de servicio.

Ver figura III.2

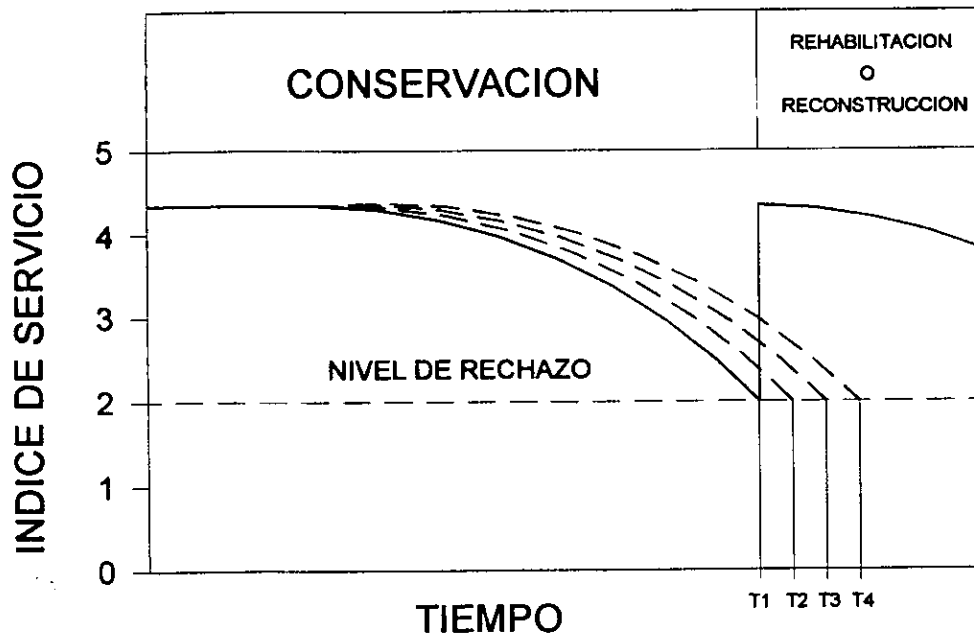


Figura III.2 Variación del índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento.

De acuerdo a la figura III.2 podemos establecer que las calificaciones que pueden emitirse para el índice de servicio son las siguientes:

Índice de Servicio	Estado Superficial del Pavimento
5	Muy bueno
4	Bueno
3	
2	Regular
1	Malo
0	Muy Malo

3. Seguridad

Se analizan varios factores que afectan la seguridad con que el usuario circula sobre un pavimento carretero. Uno de los factores principales lo constituye la resistencia al deslizamiento, sin embargo no deben despreciarse otros factores tales como los surcos, roderas y depresiones, en los que el agua de lluvia puede acumularse y producirse el fenómeno de hidroplaneo. Asimismo son importantes el color, las propiedades reflejantes y el señalamiento en la carretera.

La medición de la resistencia al deslizamiento puede realizarse mediante varios procedimientos, como por ejemplo el empleo de dispositivos de rueda bloqueada, rueda con deslizamiento parcial, ruedas desalineadas, así como dispositivos de péndulo.

La evaluación de la resistencia al deslizamiento para propósitos de conservación y mantenimiento deberá considerar el efecto del tiempo, tránsito y clima, por lo que se requiere de evaluaciones periódicas, con dispositivos de alto rendimiento, con el propósito de observar los siguientes factores: porosidad de la superficie, desgaste y pulimiento de agregados, surcos y depresiones, afloramiento de asfalto y contaminación de hule, aceite, etc.

Por lo que respecta a la investigación de surcos, roderas y depresiones, pueden valuarse mediante la colocación de reglas o perfilógrafos transversales, que permiten captar la sección transversal de la superficie del pavimento.

El grado de seguridad en una carretera, puede medirse con el llamado *Índice de seguridad*.

El **Índice de seguridad** es una medida cualitativa que describe las condiciones de seguridad en una carretera. Se basa en estadísticas cuantitativas sobre los accidentes en uno o varios puntos de la carretera en cuestión.

El índice de seguridad se mide de manera similar al índice de servicio; en este caso se usan números: 5,4,3,2,1 y 0, que van del mayor al menor nivel de seguridad.

Es importante señalar que el índice de seguridad puede incrementarse por medio de una conservación adecuada, lo que implica un cierto costo, que no es comparable con las pérdidas humanas.

Finalmente mencionamos algunos parámetros que corresponden a una vía en buen estado, la cual proporciona un nivel de seguridad elevado:

- IRI (índice de rugosidad internacional - mide la regularidad de la superficie de rodadura) menor que 3 m/km en pavimento asfáltico.
- Baches reparados antes de 24 horas.
- Sin depresiones o protuberancias superiores a 12 mm.
- Grietas selladas.
- Hombros o bermas bien conformados.
- Sistema de drenaje expedito para el escurrimiento de las aguas.
- Vegetación de menos de 15 cm en el entorno.
- Señalización completa y visible.

III.2 FACTORES QUE AFECTAN LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS CARRETEROS

III.2.1 TRANSITO

Las deficiencias en cuanto al diseño por tránsito, se deben principalmente a dos motivos que son:

- Evaluación incorrecta del tránsito inicial
- Cambios e incrementos futuros

De esta manera para un adecuado diseño por tránsito, se tienen que tomar en cuenta las siguiente características:

- ✓ Tipos de vehículos.
- ✓ Disposición de las llantas. Número de llantas por eje y arreglos o espaciamiento de los ejes.
- ✓ Carga transmitida a la superficie de rodamiento.
- ✓ Número de repeticiones de carga por cada punto de la superficie de rodamiento.
- ✓ Velocidad permisible de tránsito.

A continuación se detallan algunas de estas características:

Tipos de vehículos

Para poder hacer una clasificación de los mismos, se hará uso del concepto TPDA (Tránsito Promedio Diario Anual) que es el número de vehículos que pasan por un lugar durante un año, dividido entre el número de días al año.

Para definir el tipo de vehículos que circulan por una vía terrestre se usa la siguiente clasificación:

1) Atendiendo a su clase:

CLASE	NOMENCLATURA
Automóvil	A
Autobús	B
Camión Unitario	C
Camión Remolque	CR
Tractocamión Articulado	TS
Tractocamión Doblemente Articulado	TSR y TSS

Figura III.3 Fuente: Diario Oficial de la Federación, 97-01-07

2) Atendiendo a su clase, nomenclatura, número de ejes y llantas:

AUTOBUS		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
B2	2	6
B3	3	8-10
B4	4	10
CAMION UNITARIO		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
C2	2	6
C3	3	8-10
CAMION REMOLQUE		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
C2 – R2	4	14
C3 – R2	5	18
C3 – R3	6	22
C2 – R3	5	18
TRACTOCAMION ARTICULADO		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
T2 – S1	3	10
T2 – S2	4	14
T3 – S2	5	18
T3 – S3	6	22
TRACTOCAMION DOBLEMENTE ARTICULADO		
NOMENCLATURA	NUMERO DE EJES	NUMERO DE LLANTAS
T2 – S1 – R2	5	18
T3 – S1 – R2	6	22
T3 – S2 – R2	7	26
T3 – S2 – R4	9	34
T3 – S2 – R3	8	30
T3 – S3 – S2	8	30

Figura III.4 Fuente: Diario Oficial de la Federación, 97-01-07

Al observar los datos de vialidad a nivel nacional, se puede afirmar que más del 50% de los vehículos que pasan por un lugar corresponden al tipo A, es decir más del 50% son automóviles o camionetas con capacidad hasta de 3 Ton. Y cada día la cantidad de automóviles que circulan por la carretera es mayor.

Esto repercute en la sección estructural ya que la capacidad del tránsito (es decir el volumen máximo de tránsito que admite un camino sin congestionarse), al incrementar el número de automóviles, tiende a saturar la sección, obligando a construir carriles adicionales; por otro lado el número de repeticiones de carga aunque ligeras, también incrementa propiciando un envejecimiento acelerado del pavimento.

Una alternativa adecuada para la solución de este problema, es propiciar el transporte masivo, teniendo en cuenta, que este sea cómodo, seguro y económico para el usuario, lo que tendría las siguientes consecuencias favorables para la red carretera:

- ✓ Descongestionaría la sección estructural
- ✓ Incrementaría la vida útil de la sección
- ✓ Se podrían aprovechar más adecuadamente los recursos para el sector transportes

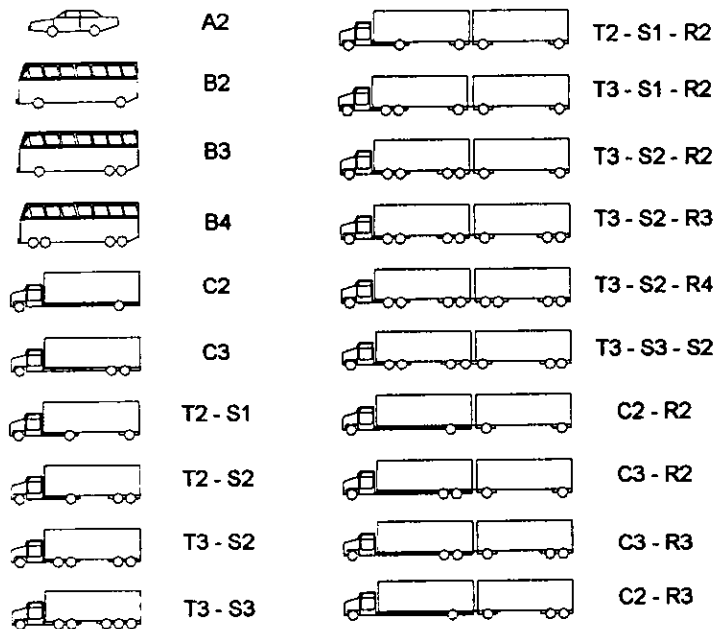
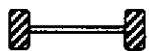
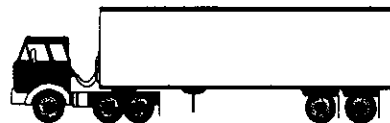


Figura III.5 Vehículos autorizados en la red principal

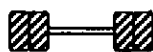
En la figura III.5, se pueden observar los vehículos autorizados para circular por la red principal; no podrán circular configuraciones vehiculares diferentes a las indicadas.

Disposición de las llantas y cargas correspondientes.

La disposición autorizada para los diferentes tipos de vehículos es la siguiente:



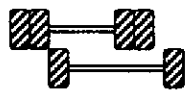
Eje sencillo con llantas sencillas



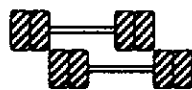
Eje sencillo con llantas dobles o cuatro llantas ó eje sencillo dual



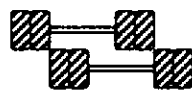
Motriz sencillo con llantas dobles o cuatro llantas



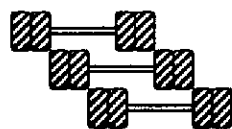
Motriz doble o tandem, seis llantas



Eje doble con llantas dobles u ocho llantas; eje doble dual en tandem



Motriz doble o tandem, ocho llantas



Eje triple con 12 llantas o eje triple dual

Pesos máximos autorizados por tipo de eje y camino (toneladas)

CONFIGURACION DE EJES	TIPO DE CAMINO			
	A	B	C	D
Eje sencillo, dos llantas	6.50	6.50	5.50	5.00
Eje sencillo, cuatro llantas	10.00	10.00	9.00	8.00
Eje motriz sencillo, cuatro llantas	11.00	11.00	10.00	9.00
Eje motriz doble o tandem, seis llantas	15.50	15.50	14.00	12.50
Eje doble o tandem, ocho llantas	18.00	18.00	16.00	14.00
Eje motriz doble o tandem, ocho llantas	19.50	19.50	17.50	15.50
Eje triple o tridem, doce llantas	22.50	22.50	20.00	18.00

Figura III.6 Fuente: Diario Oficial de la Federación, 97-01-07

El daño o fatiga que cause un eje sencillo, como se verá más adelante, al pasar por una sección, no será el mismo que el de un eje dual en tandem ó el de un eje triple dual. Por otro lado la influencia en la distribución de esfuerzos con la profundidad será mayor en los ejes triple ó doble que en el sencillo.

Efecto del incremento de las cargas.

En la siguiente tabla, se puede observar la evolución del incremento de las cargas autorizadas de algunos vehículos desde 1949 hasta 1997 para caminos tipo A:

PESOS MAXIMOS PERMISIBLES DE VEHICULOS CARGADOS AUTORIZADOS (ton)

CLASE	AGOSTO 1949	DICIEMBRE 1960	OCTUBRE 1980	ENERO 1997
B2	-----	-----	15.50	17.50
B3	-----	-----	23.50	26.00
B4	-----	-----	27.00	30.50
C2	13.00	9.30	15.50	17.50
C3	16.00	16.60	23.50	26.00
C2 - R2	29.00	-----	35.50	37.50
C3 - R2	-----	-----	43.50	46.00
C3 - R3	-----	-----	51.50	54.00
C2 - R3	-----	-----	-----	54.00
T2 - S1	21.00	18.80	25.50	27.50
T2 - S2	24.00	24.60	33.50	35.50
T3 - S2	27.00	29.90	41.50	44.00
T3 - S3	-----	-----	46.00	48.50
T2 - S1 - R2	-----	-----	45.50	47.50
T3 - S1 - R2	-----	-----	53.50	56.00
T3 - S2 - R2	-----	-----	51.50	60.50
T3 - S2 - R4	-----	-----	77.50	66.50
T3 - S2 - R3	-----	-----	69.50	63.00
T3 - S3 - S2	-----	-----	-----	60.00

Figura III.7 Fuente: Diario Oficial de la Federación

Es importante observar que los pesos máximos autorizados para circular por las carreteras ha crecido significativamente, sin que se hayan modificado en forma simultánea las características estructurales y geométricas de los caminos. Por ejemplo, como lo podemos ver en la tabla anterior, en 1960 el automotor más grande y pesado era de cinco ejes y pesaba 29.9 toneladas, lo que contrasta con los vehículos de nueve ejes y 66.5 toneladas autorizados en 1997.

También cabe mencionar que a últimas fechas se ha pedido una revisión de estos valores y un aumento de los mismos por parte de los transportistas.

Para entender la importancia del incremento de la carga en los tramos carreteros se incluye una breve explicación del *coeficiente de equivalencia de daño* el cual es utilizado

para el diseño de pavimento. Este coeficiente se basa en los resultados experimentales obtenidos por la AASHTO, y que se define de la siguiente manera:

$$F = [(Carga / eje real)/(carga/eje estándar)]^4$$

Fue en el año de 1951 y 1952, cuando se eligieron como cargas de un eje equivalente a las de 18,000 lb o sea 8.2 ton métricas y para eje en tandem a la correspondiente a 32,000 lb o sea 15 ton métricas por ser los dos pesos más usuales.

Para ejes sencillos si L_s es la carga por eje real la expresión se reduce a lo siguiente:

$$F = [L_s/8.2]^4 ; L_s \text{ en ton}$$

Para el caso de eje en tandem si L_T es la carga por eje real en tandem la expresión se convierte en lo siguiente:

$$F = [L_T/15]^4 ; L_T \text{ en ton}$$

También se puede afirmar que para igualdad de daño $L_T = 1.8 L_s$.

Para aclarar la importancia de este valor numérico se presenta a continuación un ejemplo sencillo.

Ejemplo.

Para las cargas de 8.2 y 2.7 ton determinar los coeficientes de equivalencia de daño.
 $L_s=8.2$ ton

$$F_1 = [8.2/8.2]^4 = 1 ; F_2 = [2.7/8.2]^4 = 0.012$$

$$F_2/F_1 = 1/0.012$$

$$F_2/F_1 = 83.33$$

De donde observamos que un eje de 8.2 ton produce el mismo daño que 83.33 ejes sencillos de 2.7 ton, con lo cual podemos darnos una idea de las consecuencias que genera el autorizar el incremento en el peso por eje.

De diferentes pruebas experimentales que se han realizado se observa un incremento exponencial para diferentes pesos en tandem, de estos resultados se explica convincentemente que causa más daño el paso de un solo vehículo pesado, que el paso de muchos vehículos pequeños, sin embargo otros estudios realizados indican que es más económico incrementar la carga transportada por vehículo.

Número de repeticiones de carga por cada punto de la superficie.

Además del peso por eje, se ha observado que en carreteras con más de 3000 vehículos pesados por día, la fatiga por los efectos de la repetición de carga dadas por el tránsito deteriora la sección estructural, entendiéndose por fatiga la falla de la estructura bajo la continua repetición de un esfuerzo.

Un esfuerzo pequeño propiciado por las cargas de los vehículos en comparación con aquel que hace fallar a la estructura con una sola aplicación, puede aplicarse muchas

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

veces sin daño, pero uno mayor causaría la ruptura con un número menor de aplicaciones; lo cual indica que una carpeta flexible ó rígida sujeta a una gran repetición de carga podrá comportarse mejor y deteriorarse menos si tiene la flexibilidad necesaria para absorber las deformaciones sucesivas que produzcan las cargas rodantes o una gran resistencia de manera que el esfuerzo propiciado por la repetición de cargas resulte pequeño comparado con el esfuerzo que tiene la sección estructural.

Velocidad permisible del tránsito.

La experiencia ha demostrado que las cargas de los vehículos con velocidad pequeña ó estática producen más deterioros que dichas cargas a mayor velocidad, lo cual se comprueba en los pavimentos pues se deterioran mas los carriles de ascenso que los de descenso, así como los pavimentos de aeropuertos que sirven como calles de rodaje, cabecera y/o plataformas.

Una cosa semejante sucede al cruzar un puente, la reacción natural del conductor al acercarse al puente o un paso a desnivel es frenar y por tanto produce mayor tracción y con ello mayor deterioro en dicha estructura de pavimento.

III.2.2 TIEMPO Y MEDIO AMBIENTE

El tiempo y el medio ambiente juegan en cualquier actividad humana factores importantes, y en las obras que realiza la humanidad estos factores pueden ser decisivos; en el caso particular de los pavimentos carreteros, tendremos condiciones climáticas que afectan la vida de los mismos a través del tiempo, estas condiciones son:

- ✓ Temperatura
- ✓ Lluvia
- ✓ Viento

Temperatura

La temperatura de cada región sin lugar a dudas afecta desde el diseño y selección del tipo de pavimento, hasta todos aquellos aspectos futuros de conservación y mantenimiento.

Los extremos de temperatura son definitivamente los que más impactan en la conservación de pavimentos carreteros pero si la solución existente de pavimento se realizo inadecuadamente en alguna de sus fases tendrá problemas aun en condiciones de temperatura óptimas para la solución.

Los extremos de temperatura están representados por temperaturas muy altas y por temperaturas de congelamiento. Con respecto a las temperaturas altas, pueden afectar la estabilidad de las carpetas asfálticas, pues cuando esta no es suficiente, la superficie de rodamiento sufre deformaciones por el arriñonamiento o corrimiento de las carpetas, este defecto se puede evitar o corregir, utilizando carpetas de mayor dureza que son menos sensibles a los cambios de temperatura, cuidando en todo caso que los módulos de elasticidad de la carpeta y de la base sean lo más aproximado posible.

En cuanto a las temperaturas de congelamiento, éstas afectan a las estructuras de las vías terrestres al congelarse el agua que hay entre las partículas, lo cual provoca que se pierda la compactación que tenían los materiales, al presentarse ese fenómeno, el volumen de agua aumenta y el problema se agudiza en primavera cuando se presenta el deshielo, ya que los suelos con menos compactación absorben el agua y baja considerablemente su capacidad de carga.

En las zonas en que se presenta este fenómeno, de congelamiento, se debe evitar que en las capas superiores de la estructura de una carretera se pueda tener agua capilar, para lo cual es necesario que en la profundidad que afecta este fenómeno se tenga una capa rompedora de capilaridad, es decir, material granular sin finos.

Lluvia

Con respecto a la precipitación pluvial, habrá que hacer hincapié en que la lluvia es una de las causas de deterioros más importante, y que está afectará más en lluvias extraordinarias que en lluvias de menor intensidad y de mayor frecuencia. Para analizar este aspecto, en primer lugar debemos ver el comportamiento general de un terraplén; cuando vertemos tierra en un lugar, esta tiende a asentarse poco a poco por la acción de su propio peso. A este fenómeno natural, que suele ser muy lento en el tiempo, lo llamamos consolidación. Como los asentamientos (disminución de volumen) pueden ser en algunos casos considerables, nos interesa reducir este proceso al mínimo. Lo que se hace es provocar una consolidación acelerada por medios mecánicos(apisonadoras y similares), a lo que denominamos compactación. Este procedimiento, que tiene por objeto reducir los vacíos entre los granos del suelo de forma que alcancemos una densidad máxima, tiene un grave inconveniente: es muy sensible a la humedad que exista en el terreno. Un exceso o una insuficiencia de agua pueden hacer que el proceso de compactación no sea el adecuado, con lo que se producirán inevitablemente asentamientos con el paso del tiempo, es decir, el consiguiente "ondulado" e incluso rotura de la carretera que vaya por encima del terraplén. Este hecho, que puede verse muy acelerado por la presencia de agua, a veces se complementa con otros.

Otro problema asociado a los terraplenes puede ser el que causa la falta de existencia de drenajes transversales o bien el mal funcionamiento o diseño de los mismos. La carga de agua acumulada sobre el terraplén, que actúa como una presa de tierras, hace que se creen a la larga caminos preferenciales de paso del agua a través de las partículas del suelo (filtraciones), lo que va provocando una pérdida de material, empezando por los finos (granos de menor diámetro, arcillas y limos) y después los de mayor magnitud, lo que terminará produciendo el colapso del terraplén; esto, por supuesto, si antes el agua no ha derrumbado por simple empuje lo que corta su camino.

El empleo de materiales inadecuados como soporte del terraplén, bien por su especial solubilidad en agua, bien por su pérdida de capacidad portante en presencia de la misma, completan las causas principales de rotura de las carreteras sobre terraplenes.

En las zonas de desmonte también puede ocurrir que caigan materiales sobre la calzada, debido a deslizamientos u otros, por lo que es preciso estudiar con precaución la inclinación de los taludes en el material a retirar, así como si esta acción no provoca erosión del suelo ante la falta de vegetación y la pendiente.

Otro grupo de causas de inutilización son las debidas a fallas en la estructura de pavimento. Este elemento, que suele ser el más costoso de los que componen este tipo de obras requiere de un diseño adecuado y sobretodo de una correcta ejecución durante su construcción además de una buena conservación. Un espesor insuficiente de pavimento, o una calidad no adecuada de éste, ocasionarán que el agua se filtre a través de él hacia el terraplén, con las consecuencias antes enunciadas. La mala conservación de cunetas y cauces es un factor determinante en este proceso. También ocurre a veces que los materiales que componen la carpeta, mal envueltos por los concretos asfálticos, al lubricarse por acción del agua y ser sometidos a tráfico intenso o pesado, se "salen" de la mezcla (se suele ver esta gravilla en los márgenes de las calles urbanas), lo que termina provocando la apertura de baches.

Este tema, muy complejo y objeto de muchos estudios, debido a sus claras repercusiones sociales, puede ser (y de hecho es) muchas veces objeto de demagogias de las más variadas tendencias. Son la mayor parte de las veces las decisiones políticas, que condicionan duramente la labor del ingeniero, anteponiendo la cantidad a la calidad, las responsables de la poca durabilidad de nuestras carreteras.

Vientos

En lo que se refiere a los vientos, y su importancia dentro del deterioro de los pavimentos, carreteros, estos afectan de manera particular generando erosión tanto en la estructura del pavimento como en el terreno circundante, y este a su vez hacia el pavimento; este fenómeno en nuestro país se presenta en diversas regiones con mayor o menor intensidad.

Los vientos se clasifican de la siguiente manera:

- Vientos alisios: son regulares, templados y húmedos; vienen del oriente y van de un trópico a otro. Durante el verano son formadores de lluvias.
- Vientos contra alisios: son regulares, calientes y húmedos; se dirigen al sudeste por encima de los alisios. Se sienten en las costas del Pacífico y en el noroeste de México.
- Vientos monzónicos: son periódicos, calientes y húmedos; soplando en el Golfo de México hacia las costas del norte; producen lluvias.
- Vientos ciclónicos del norte: son irregulares, fríos y húmedos; soplan del norte de México hacia el sudeste, produciendo lo que se conoce como "Nortes".
- Ciclones Tropicales: son vientos huracanados ocasionales; producen lluvias abundantes locales, que se localizan durante el verano y el otoño.
- Vientos locales: se conocen así a los vientos, brisas y terrales que soplan de la tierra al mar o viceversa; estos vientos son normales en las costas.

A continuación se hace referencia a los climas que prevalecen en el país y su importancia para el mantenimiento carretero, aun cuando además de estas condiciones afecten los cambios globales de temperatura que inducen fenómenos como el del "Niño".



En la figura III.8, se muestran las zonas climatológicas en que se divide nuestro país, en donde observamos 6 diferentes tipos, en donde además se tendrán condiciones particulares para ciertas regiones dentro de dichas zonas. En cada una de las regiones por ende tendremos condiciones de diseño de pavimentos diferentes las cuales se ven influenciadas por el clima y que exigen el uso de diferentes tecnologías, lo cual también aplica en la determinación de soluciones para deterioros en los pavimentos.

De acuerdo con lo que se señala en la clasificación mostrada, las características relevantes y trascendentes de estos climas son las siguientes:

- **Clima cálido húmedo:** Temperatura superior a 20°C con máximas de 40°C; precipitación pluvial mayor a 200 cm al año, se presenta en la parte norte del Istmo. Representa una región complicada para el diseño de pavimentos dadas las condiciones de lluvia y de temperatura.
- **Clima cálido subhúmedo:** Temperatura superior a 20°C con máximas de 40°C; precipitación pluvial superior a los 150 cm anuales, se presenta en el sur de la costa del Pacífico, desde Chiapas hasta Sonora, y en el Atlántico en Veracruz y parte de Tamaulipas, además de la península de Yucatán.
- **Clima templado húmedo:** Temperatura que oscila entre los 18°C y máximas entre 35°C y 40°C; precipitación pluvial media de 150 cm anuales; este clima se presenta en los estados de Chiapas, Tabasco y Veracruz.
- **Clima templado subhúmedo:** : Temperatura mínima de 12°C, máxima de 18°C y un promedio anual de 15.5°C; precipitación pluvial entre los 30 a 100 cm; el régimen pluviométrico es tropical con lluvias conveccionales en Verano y parte del Otoño. Este tipo de clima se presenta en los estados de Chiapas, Oaxaca y algunas regiones de Veracruz.
- **Clima seco:** Temperatura mínima entre los 15 y 25°C, y una temperatura máxima de 40°C en algunos estados del país; la precipitación pluvial es escasa con una media entre 60 y 90 cm por año. Este tipo de clima se presenta en parte de Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.
- **Clima muy seco:** Temperatura extrema con variaciones bruscas del día a la noche; durante el día se presentan temperaturas de hasta 47°C y durante la noche por debajo de los 0°C; la precipitación pluvial en estas regiones, es menor a 25 cm anuales. Este tipo de clima se presenta en gran parte de la península de Baja California, costas de Sonora, parte de Chihuahua, Coahuila y Zacatecas. Es uno de los climas más agresivos contra los pavimentos, no solo por lo ya mencionado, sino que además se conjuga el efecto erosivo de los vientos, lo cual agrava el problema.

Influencia de las características de plasticidad, resistencia y deformación de los materiales y su correlación con los efectos del medio ambiente.

El comportamiento de los materiales que forman una sección estructural, sujetos al tránsito de los vehículos, bajo la acción del medio ambiente como la lluvia, el cambio del nivel de aguas freáticas, la acción del intemperismo por cambios del clima, propician la

variación de las características de resistencia y deformación, como se verá a continuación:

- Durante muchos años fue una practica común que especialistas se encargaran por separado del diseño de una carretera, por un lado un grupo definía el proyecto geométrico y los materiales a emplear en el cuerpo del terraplén y/o la capa subrasante y por otra parte otro grupo definía las diferentes capas que formaban el pavimento.
- Hasta los años 80's se permitía emplear para formar el cuerpo del terraplén desde arcillas de alta plasticidad y los limos hasta los suelos orgánicos, con la única limitación de que su límite líquido no fuera superior a 100 y no se limitaban otras características como su resistencia y su deformación.
- Las características topográficas y geológicas de la República Mexicana, esencialmente está constituida por zonas montañosas o por planicies producto de la desecación de antiguos lagos, donde generalmente aparecen suelos blandos y/o activos (arcillas expansivas).
- En un gran porcentaje del país se presentan lluvias abundantes que incrementan los contenidos de agua de los diferentes materiales que forman la sección estructural tanto en la zona de montaña como en las zonas planas.

Este tipo de circunstancias llevo a una serie de consecuencias que se enuncian a continuación.

- Desde el punto de vista de proyecto geométrico exclusivamente, la solución más adecuada era definir una subrasante en la que para el caso de lomerío y/o montaña los volúmenes de corte y de terraplén se compensaran; en el caso de tener solo una sección en terraplén, en las zonas planas la alternativa era emplear préstamos laterales.
- Al tener libertad de emplear arcillas y/o limos de alta plasticidad en el cuerpo del terraplén, se podían usar las arcillas activas, las cuales sujetas a cambios de humedad, cambian tanto su volumen como su resistencia.

III.2.3 CALIDAD DE LOS MATERIALES

Las deficiencias en los materiales para la construcción de pavimentos carreteros, se deben principalmente a tres motivos:

- Propiedades intrínsecas inadecuadas
- Desconocimiento de su comportamiento
- Deficiencias en su procesamiento, manejo, tratamiento y colocación.

Para poder combatir estas deficiencias, es necesario que se conozcan a fondo las características de los materiales a utilizarse, para poder suponer cual será su comportamiento una vez utilizados. De esta manera se contará con los materiales adecuados y el control de calidad suficiente, para poder tener una carretera con las mejores especificaciones posibles de acuerdo a cada proyecto.

Para conocer las características de los materiales, se realizan pruebas que son mediciones de diferentes clases, que se hacen a especímenes elaborados siguiendo procedimientos estandarizados.

Las pruebas que se realizan a los materiales de construcción pueden dividirse en: pruebas de clasificación, de control y de proyecto.

Las pruebas de clasificación son aquellas que permiten identificar a los materiales y decidir si pueden utilizarse o no en algunas capas estructurales. Las pruebas de control son las que permiten verificar si la obra cumple con los requisitos de proyecto. Por último las pruebas de proyecto son las que permiten realizar la estructuración racional de la sección transversal de una carretera.

En nuestro país, estas pruebas se indican con todo detalle en las normas de algunas secretarías como: la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, las de la antigua Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas o las de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural.

A continuación sólo se harán descripciones generales de las pruebas más importantes y se explicarán sus significados.

Las principales pruebas de clasificación que se realizan a los materiales pétreos y suelos que se utilizan en una carretera son: granulometría, plasticidad, resistencia, expansión, valor cementante, densidad, adherencia con el asfalto, dureza y forma de la partícula.

Las pruebas más usuales que se realizan a los productos asfálticos son: destilación, penetración, viscosidad, punto de encendido, asentamiento en cinco días, de miscibilidad con cemento Portland, carga de la partícula y acidez. También se realizan pruebas al cemento Portland a la cal y al agua.

Granulometría

Sirve para determinar el porcentaje en peso, de las partículas de diferentes tamaños que lo forman. Para realizar esta prueba, se hace uso de tamices o mallas por las que se hace pasar el material, se pesan las partículas que se detienen en cada una de ellas y se encuentra el porcentaje respectivo con relación al peso seco total; después se calcula el porcentaje que pasa por las diferentes mallas.

La denominación de las mallas se hace de dos maneras: la primera de ellas indica la separación interior que hay entre los alambres y se usa para las mallas de 7.5 cm (3 in) a 6.4 cm (1/4 in); la segunda forma de denominar las mallas es asignándoles un número, que indica la cantidad de alambres o hilos que se tienen en una pulgada y se usa para las mallas de la No. 4 a la No. 200 que son las más utilizadas en suelos; aunque hay otras como la 325 que se utiliza en cementos Portland; en este segundo caso el calibre de los hilos está especificado.

Plasticidad

La plasticidad de un material se puede definir como la facilidad que presenta a remodelarse sin cambio de volumen y teniendo un mínimo de resistencia al corte. Por tanto en la plasticidad de un material, pueden intervenir sus características de humedad, peso volumétrico, sensibilidad de sus partículas, principalmente las finas, con respecto al agua y al porcentaje de estas dentro del total.

Para conocer la sensibilidad de los finos a cambiar sus características de consistencia en presencia del agua, se realizan pruebas de plasticidad, entre las que se encuentran los Límites Atterberg y la de contracción lineal. Estas pruebas se realizan sobre la porción de los materiales que pasan la malla No. 40.

Límites de Atterberg.

Corresponden a la humedad, o sea al porcentaje de agua con respecto al peso de los sólidos, en que los finos de los materiales pasan de una consistencia a otra; así el límite líquido (*L_f*) es la humedad correspondiente al límite entre el estado semilíquido y el

plástico, en esta condición el material tiene una resistencia mínima al esfuerzo cortante de 25 g por cm².

El límite plástico (L_p) es la humedad correspondiente al límite entre el estado plástico y el semisólido; a la diferencia entre el límite líquido y el plástico se le denomina índice plástico (I_p). Hay otros límites como el límite de contracción o el equivalente de humedad de campo, que son menos utilizados.

Para situar el material en el límite líquido se utiliza la Copa de Casagrande en la cual, la porción de material que pasa la malla No. 40 con ese contenido de humedad, debe cerrar íntimamente, a lo largo de 1 cm, una abertura realizada con una pequeña herramienta denominada ranurador, al proporcionar 25 golpes sobre la base del aparato.

Para que el material llegue al límite plástico, se elaboran rollitos de material, inicialmente en el límite líquido, que se rolan por medio de un vidrio pequeño, levantando 3 mm por medio de alambre, sobre otro vidrio base de mayores dimensiones; se dice que el material está en el límite plástico cuando los rollitos empiezan a agrietarse; este punto queda a juicio del laboratorista, por lo cual tiene una amplia variabilidad que influye en la obtención del índice plástico.

Prueba de contracción lineal

Es también una medida de la plasticidad de la porción de los materiales que pasa por la malla No. 40. En este caso, no se obtiene una humedad, sino una relación de longitudes. El material con humedad correspondiente al límite líquido, se coloca en un molde de dimensiones 2 x 2 x 10 cm y se introduce en un homo hasta peso constante, periodo durante el cual sufre una disminución de longitud, de acuerdo a sus características. El porcentaje de acortamiento sufrido con respecto a la longitud inicial, es la contracción lineal que se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Contracción lineal} = \frac{(\text{Long. Inicial} - \text{Long. Final}) * 100}{(\text{Long. Inicial})}$$

Resistencia y expansión

Para medir los parámetros de resistencia y expansión, se pueden utilizar diferentes pruebas como las triaxiales y las realizadas en consolidómetros; sin embargo una prueba muy usada para estos fines es la prueba Porter estándar. Con esta prueba se obtienen cuatro parámetros o características de los materiales que son: peso volumétrico seco (PVSM), humedad óptima (W_o), expansión (E) y valor relativo de soporte (VRS).

Prueba Porter Estándar.

Peso volumétrico seco máximo y humedad óptima

Para realizar esta prueba, en un molde metálico de cm de diámetro se colocan 4 kg de material húmedo y se les da una presión estática, (o sea, con una placa que cubre toda la sección del molde) de 140.6 kg/cm²; si al terminar de dar la presión la base metálica se humedece ligeramente, se dice que el peso volumétrico seco obtenido es el máximo (PVSM), y la humedad correspondiente es la óptima (W_o) de esta prueba; para su cálculo se hacen las mediciones necesarias. Si no se humedece la base, se repetirá la prueba con mayor humedad; pero si la expulsión es grande la cantidad de agua que se use, deberá ser menor.

Expansión

El espécimen en la condición de PVSM y W_o confinado en un molde, se introduce en un tanque de saturación y se le coloca un extensómetro en el que se hace una lectura inicial (L_i); por efecto del agua, mientras más plástico es el material, este aumenta de volumen, es decir, se expande; se observa así, hasta que la expansión sea imperceptible, con un

mínimo de 72 horas. Cuando las lecturas del extensómetro de un día para otro sean casi iguales, se hace en él la Lectura final (L_f), y se calcula el porcentaje de expansión de la manera siguiente:

$$\% \text{ Expansión (E)} = \frac{(L_i - L_f)}{\text{Espesor del espécimen sin saturar}} * 100$$

Prueba de valor cementante

Esta prueba se realiza para conocer si un material tiene suficiente aglutinamiento. Esta prueba se realiza con la porción de material que pasa la malla No. 4, de la siguiente manera:

En un molde cúbico de figura de 7.5 cm de lado,¹ se colocan tres capas de material con tal cantidad de agua, que al apretarse una porción, cerrando el puño de la mano, ésta se humedezca ligeramente. A cada capa, por medio de una placa con vástago, se le dan 15 golpes con una varilla de 900 g, desde una altura de 50 cm, por medio de una guía; los especímenes con todo y molde se introducen en un horno, en donde se secan hasta peso constante; se sacan del horno y cuando adquieren la temperatura ambiente, se descimbran y se llevan a la ruptura por medio de compresión sin confinar.

El valor cementante se calcula dividiendo la carga de ruptura entre el área, y se reporta la resistencia promedio en kg/cm^2 , cuando menos de 3 especímenes.

Pruebas de adherencia de materiales pétreos con el asfalto

Los materiales que van a estar en contacto con el asfalto como son los que se utilizan en carpetas asfálticas, bases negras o bases naturales, deben tener buena adherencia con el asfalto.

Esta característica se ve muy afectada, en forma negativa, cuando se tiene agua, de tal manera que aquellos materiales que son afines al agua (hidrófilos), en general tienen mala adherencia con el asfalto; es por ello que las pruebas que se realizan con este fin, se hacen en presencia de este elemento siendo la más usual:

Prueba de desprendimiento por fricción

En esta prueba se colocan 50 g de mezcla asfáltica en un frasco y se deja reposando por 24 h, al término de las cuales se sujeta a tres periodos de agitado de 5 minutos cada uno, al finalizar el agitado se saca la mezcla del frasco y se observa el porcentaje de desprendimiento de asfalto que sufrió el material pétreo. El agitado puede ser manual o mecánico; en el primer caso el tiempo de agitado es de 15 minutos, mientras que en el segundo caso es de tres horas (en 3 periodos de una hora).

Si el porcentaje de desprendimiento es menor del 25% se considera que el material tiene una adherencia aceptable.

Dureza

Para determinar la dureza de los materiales pétreos, se utilizan varias pruebas como son: de desgaste por medio de máquina "Los Angeles" de la "Deval" o la de durabilidad; también se pueden utilizar las pruebas de intemperismo acelerado, de densidad y de formas de partícula.

Desgaste

Las pruebas de desgaste consisten en colocar el material con una granulometría determinada, dentro de un cilindro de acero hueco junto con bolas de acero. Se hace girar el cilindro un determinado número de veces y al final se ve la cantidad de partículas finas que se produjeron, con lo cual se puede calcular el porcentaje de desgaste.

Forma de partícula

Esta prueba se lleva a cabo con el fin de conocer el porcentaje de partículas en forma de aguja (asciculares), o de laja que se tienen en el material, pues estas al recibir cargas tienden a romperse con facilidad y hacen que los materiales tengan menor resistencia.

Densidad

Es muy importante hacer notar que los materiales que tienen densidades menores a 1.8 (Peso Volumétrico suelto menor de 1500 kg/cm^3) en general presentan problemas al ser usados en alguna capa de la sección transversal de las carreteras, pues son deleznales, de baja resistencia y presentan rebote, lo cual se traduce en deformaciones o agrietamientos de la superficie de rodamiento, no siempre fáciles de corregir.

A continuación se hace una descripción rápida de las pruebas que se llevan a cabo en los materiales asfálticos.

Pruebas de destilación

Esta prueba se realiza a asfaltos rebajados y emulsiones, se coloca el material en un recipiente que se conecta a un refrigerante. El recipiente con el producto asfáltico se calienta, empezando a evaporarse los productos volátiles, los cuales al pasar por el refrigerante, se condensan y se reciben en una probeta, en el extremo de aquél. En la parte superior del recipiente se coloca un termómetro en el que se ve la temperatura a la cual cae la primera gota de la probeta, y posteriormente los volúmenes obtenidos a diferentes temperaturas; con este último dato y la temperatura de la primera gota, se puede conocer el tipo de rebajado de que se trate.

Penetración

Esta prueba se realiza en cementos asfálticos y en los residuos de la destilación de rebajados y emulsiones asfálticas. Esta prueba se realiza mediante el penetrómetro que consta de un vástago lastrado que pesa 200 g y en el extremo inferior tiene una aguja, se deja al vástago libre durante 5 s, al cabo de los cuales se ve en la carátula los décimos de milímetro que penetró la aguja, los cuales indican los grados de penetración.

Viscosidad

En esta prueba se trata de conocer la dificultad de un producto asfáltico, a pasar por un orificio de características especificadas.

Esta prueba se realiza con una aparato llamado viscosímetro, con el cual se ve el tiempo que tarda el producto asfáltico en llenar un matraz aforado de 60 cm^3 , después de pasar a la temperatura de prueba por el orificio "Furol". Este tiempo en segundos se denomina grados de viscosidad y la prueba se realiza a emulsiones, rebajados y cementados asfálticos.

Punto de encendido

Esta prueba se efectúa a cementos y rebajados asfálticos; a partir de sus resultados, se puede deducir el tipo de solventes que contiene el producto en estudio. Se utilizan para esta prueba, la copa Tag o la copa Cleveland y se calienta en ellas el producto hasta que se inflama al pasarles por la superficie descubierta un pequeño mechero encendido. Se reportan la temperatura de la primera flama y la de inflamación.

Prueba de asentamiento

Para esta prueba se colocan 500 g de emulsión en una cubierta que se tapaná herméticamente y se dejan reposar por cinco días, al final de los cuales se extraen con

cuidado con una pipeta los 50 g de la parte superior y por evaporación se calcula el porcentaje de cemento asfáltico; enseguida se extraen y se desechan los 400 g que siguen y, por último, se obtiene también por evaporación el contenido de cemento asfáltico de los últimos 50 g; el asentamiento en 5 días es la diferencia de los contenidos de asfalto que se obtuvieron de la parte inferior y la superior.

Prueba de miscibilidad con cemento Portland

Se agregan 100 g de emulsión asfáltica a temperatura de 25°C a 50 g de cemento Portland a la misma temperatura y se mezclan con una varilla durante un minuto, agregando enseguida 150 g de agua destilada, se continua mezclando durante 3 min. ; enseguida se enjuaga la mezcla con agua limpia. El porcentaje de asfalto agrumado con respecto al peso inicial de la emulsión es el resultado de la prueba.

Prueba de acidez y carga de la partícula

Con estas pruebas se decide si las emulsiones son aneómicas o cateónicas. La primera se efectúa utilizando papel tomasol y la segunda haciendo pasar una corriente eléctrica por la emulsión por medio de un potenciómetro.

Las pruebas de control son las que permiten verificar la calidad de las obras y de este manera, las que se utilizan para clasificación, también se utilizan para el control; es decir, en base a las pruebas de clasificación se realizan los proyectos y se formulan los procedimientos de construcción y para asegurar que se cumple con las condiciones marcadas, se vuelven a utilizar las mismas pruebas; sin embargo, se tienen pruebas específicas de control que son las que se utilizan para conocer el grado de compactación que se alcance en las diferentes capas de estructura de una obra vial, para ello se debe conocer el peso volumétrico de campo y los pesos volumétricos de laboratorio.

Para dimensionar las diferentes partes que constituyen las secciones de una carretera, desde el punto de vista de las cargas de tránsito, se utilizan diferentes pruebas de resistencia cuyos resultados se correlacionan con el comportamiento real de las estructuras para obtener los nomogramas de proyecto. Debido a que la geometría de la sección se basa en las especificaciones geométricas de cada tipo de obra, en general, con las pruebas de resistencia, se dimensionan las capas superiores y únicamente se revisan las inferiores, y en su caso se hacen las correcciones necesarias.

III.2.4 DEFICIENCIAS EN CONSERVACION Y REHABILITACION

Las carreteras se planean y se construyen para que cumplan con un ciclo de vida de proyecto, como cualquier otra obra de infraestructura. Por ello, el enfoque que se pretende para este punto será básicamente el hacer ver con claridad que si se descuida el aspecto de la conservación y rehabilitación de las obras, difícilmente se cumplirá con el ciclo de vida del proyecto, ya que son parte integrante y fundamental para que el mismo cumpla con los objetivos que se pretenden desde su planeación.

Al estar en operación una obra, se va deteriorando, presentando diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros que se van teniendo, al principio pueden ser pequeños, pero pueden ser la causa de problemas serios en la obra, que aceleren su deterioro, por lo que, para que una obra proporcione un servicio adecuado requiere de mantenimiento o conservación, que cuando menos asegure su vida de proyecto.

De acuerdo al índice de servicio que ya se explicó con anterioridad, el deterioro que se va obteniendo en las obras se puede observar en forma de calificación. Cuando una obra se pone a funcionar recién construida, debe tener una calificación de entre 4.5 y 5, la cual va disminuyendo conforme pasa el tiempo.

Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un valor de 3 o a 2, es decir uno de segundo orden, el tránsito se realiza con bastantes problemas, o sea la "comodidad" del viaje llega al mínimo; se dice que en ese momento la obra llega a su falla funcional. Si el camino sigue en servicio, se llega a la falla estructural, momento en el que prácticamente ya no se puede realizar el tránsito.

Para que una obra que con el tiempo se ha ido deteriorando no llegue a la falla estructural, es necesario que cuando se alcance la falla funcional, se rehabilite cuando alcance la calificación de 2 para los caminos secundarios o de 3 para los de primer orden y especiales o de preferencia un poco antes.

Cuando se lleva la historia de un camino, obteniendo año con año los índices de servicio, se tiene una curva como la mostrada en la figura III.9, con la cual se puede conocer aproximadamente el tiempo en que llegará a la falla estructural; pero también se pueden plantear diferentes rehabilitaciones, de tal forma que aumenten su vida útil, claro que después de varios trabajos de este tipo, llegará un momento en que este tan dañada la estructura que lo que se necesite sea una reconstrucción de la obra.

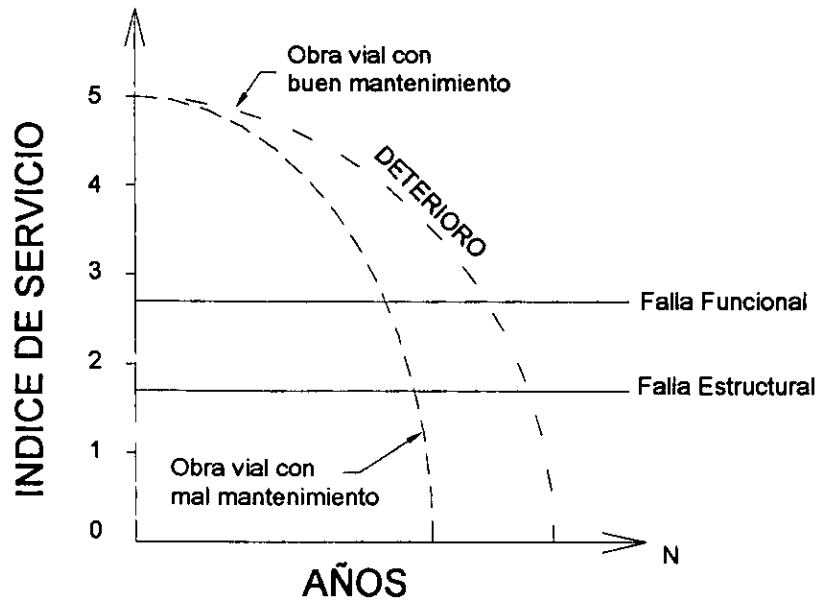


Figura III. 9 Esquema que muestra el deterioro que se va teniendo en las carreteras a través del tiempo y el efecto de una conservación buena y otra deficiente.

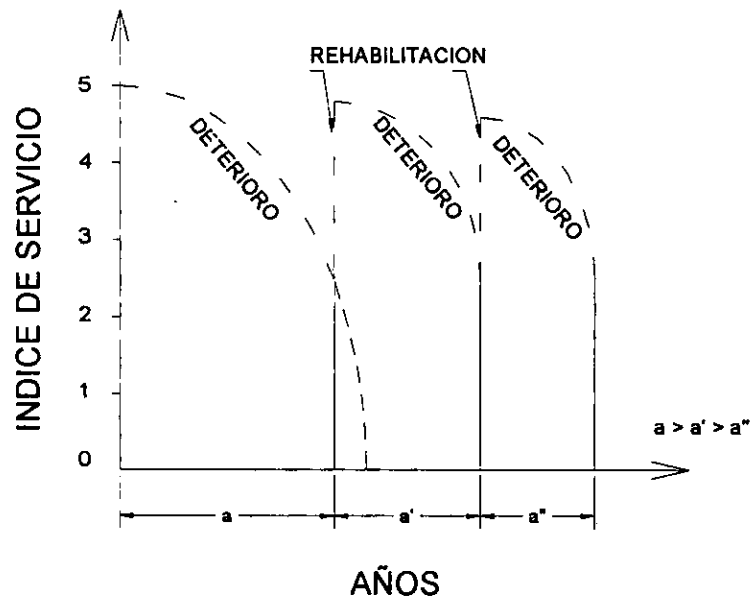


Figura III. 10 Esquema que muestra el efecto que tienen las rehabilitaciones en la vida de una carretera

Lo anterior se muestra en la figura III.10, en la que se indica que después de la puesta en servicio una obra, se va deteriorando hasta que en "n" años llega a su falla estructural; sin embargo, si cuando se tiene una rehabilitación de 2.5 se rehabilita, se aumenta su vida útil en "n" años más; este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; no obstante después de varias rehabilitaciones, el daño que se le ha causado a la obra es tal que lo más conveniente es una reconstrucción, pues como se ve en la gráfica, la eficiencia de la rehabilitación es cada vez menor.

Pavimentos flexibles

La construcción de las carreteras debe ser tal, que con una conservación normal y las rehabilitaciones programadas, soporte el tránsito, durante el tiempo que se le ha considerado de vida útil. Los tramos no deberán deformarse en forma apreciable, ni presentar grietas.

Sin embargo por diversos motivos, principalmente por escasez de fondos monetarios, la conservación que se da a estos pavimentos es bastante deficiente, de esta manera al paso de tiempo se dañan en forma considerable, por lo que se necesitan diferentes trabajos como son: Mantenimiento normal preventivo, reconstrucciones aisladas y rehabilitación y reconstrucción.

Mantenimiento normal preventivo

El mantenimiento normal se proporciona en aquellos tramos que no presentan deformaciones, ni agrietamientos fuertes. Se llevan a cabo por medio de riegos de sello, los cuales en promedio deben durar unos tres años, si se utilizan materiales pétreos adecuados.

Dentro de este tipo de conservación rutinaria, o normal, se encuentran todos aquellos trabajos de bacheo y renivelaciones ligeras que se requieran en un tramo.

Otro trabajo que entra dentro de este tipo de conservación, es el señalamiento, sobre todo el de las rayas que se pintan en la superficie de rodamiento para marcar los carriles y señalar las zonas en que se permite el rebase de vehículos.

Reconstrucciones aisladas

Se realizan en aquellos tramos que están dañados, pero que se localizan relativamente distantes unos de otros, es decir que no se tiene una falla generalizada en el camino. Estos tramos pueden tener longitudes de 50 a 300 m. Se puede tratar de renivelaciones con mezcla asfáltica, sobre encarpetamientos y aún de trabajos en capas de terracerías o algunas otras de las capas superiores.

Rehabilitación o reconstrucción

Cuando en un tramo importante de 5, 10 o más km se tienen fallas generalizadas predominando fuertes deformaciones y agrietamientos, se requiere rehabilitar al camino.

Cuando el camino se encuentra en muy malas condiciones y el tránsito se ha aumentado de un modo considerable, lo conveniente es realizar su reconstrucción, que a menudo requiere un retrazo topográfico para corregir el proyecto geométrico y adecuarlo a las nuevas condiciones.

Pavimentos rígidos

El mantenimiento de pavimentos rígidos es bastante simple si esta bien proyectado, es decir, si se han relacionado en forma conveniente los elementos correspondientes como son, entre otros: el tránsito y las resistencias del concreto y de la capa subrasante; de otra manera, lo más probable es que se presente la falla estructural y haya que desechar este pavimento.

Las principales actividades en el mantenimiento de pavimentos rígidos son: Limpieza de juntas; debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, es necesario que cuando menos cada 3 años se limpien, extrayendo de ellos tanto el sello anterior como cualquier material extraño; enseguida se vuelve a sellar la junta con material nuevo. Y la otra actividad de mantenimiento es la referente a la señalización del camino.

Efectos de la Conservación en la operación del transporte carretero

El punto de partida para el análisis de los efectos del mantenimiento, proviene de las investigaciones del Instituto Mexicano del Transporte. Dichas investigaciones han permitido relacionar el Índice Internacional de Rugosidad (IIR) de una carretera con el costo de operación o de los vehículos que transitan por ella, las investigaciones realizadas, han relacionado, además, este índice de rugosidad con el índice de servicio que se utiliza comúnmente en nuestro país para calificar el estado de conservación en que se encuentra una carretera.

El deterioro se traduce en sobrecostos del transporte carretero, explicables principalmente por el excesivo consumo de combustible ante la mayor exigencia de la potencia, por el mayor desgaste de los vehículos y la reducción de la velocidad de operación.

La figura III.11, muestra a manera de ejemplo, la variación del costo de operación de camiones de dos ejes, con respecto al índice de servicio, como factor del costo base y según se trate de caminos ubicados en terreno plano, lomerío o montañoso.

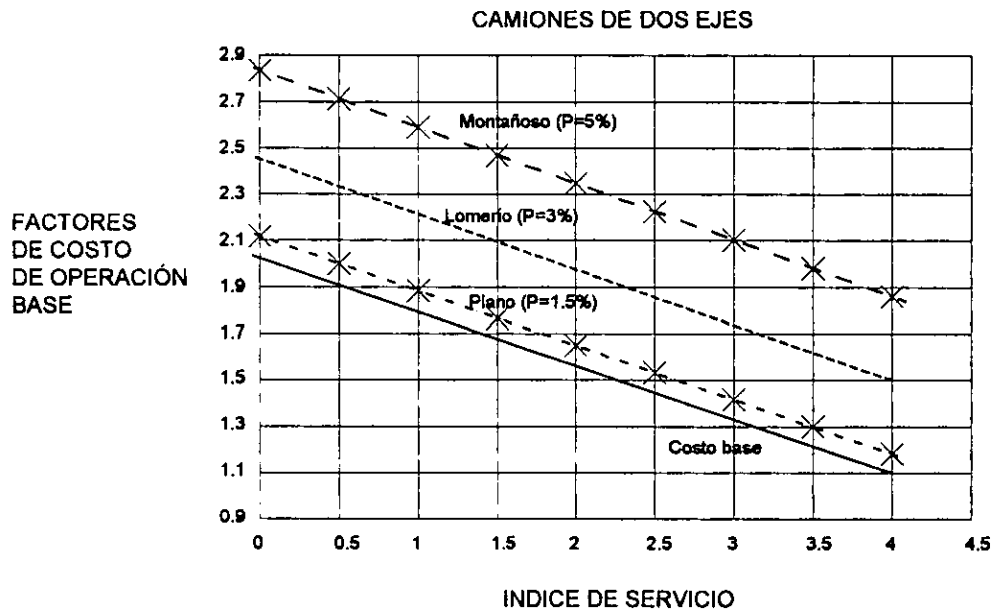


Figura III.11 Fuente IMT

De manera que con el costo base de operación por kilómetro por cada tipo de vehículo y con los datos específicos de cada tramo (longitud, volumen de tránsito esperado, composición vehicular, tipo de terreno en que se ubica e índice de servicio que presente), es posible calcular el costo de operación del transporte en todos y cada uno de los tramos de la red carretera federal.

También es posible calcular el costo de operación con un nuevo valor del índice de servicio, y por diferencia con el anterior, el ahorro en la operación que se obtendría de las acciones destinadas a levantar dicho índice de servicio en cada tramo de red.

El elemento clave del análisis radica entonces en definir la mejor relación posible entre el ahorro en la operación del transporte carretero, con el costo –significativamente inferior– de levantar el índice de servicio para el conjunto de todos los tramos de la red de carreteras federales.

Con ello se notaría visiblemente la conveniencia de contar con una red carretera en las mejores condiciones de servicio.

Situación de la conservación y mantenimiento en México.

Como ya se menciono anteriormente, el transporte carretero es el modo más importante, ya que moviliza el 98.5% de los pasajeros y más del 85% de la carga terrestre a nivel nacional, se comprende fácilmente la importancia estratégica que tiene para la economía del país la conservación de su infraestructura carretera y la necesidad de incrementar la longitud de dicha red.

De la longitud total del sistema carretero que es de alrededor de 303,000 km, siendo 42,928 km los que conforman la red federal, de los cuales el 53% tiene más de 30 años de servicio y sólo el 11% tiene menos de 15 años. Además fue diseñada y 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, por lo que sus características geométricas y estructurales son obsoletas en función de las necesidades del transporte moderno.

ESTADO FISICO DE LA RED FEDERAL LIBRE 1995

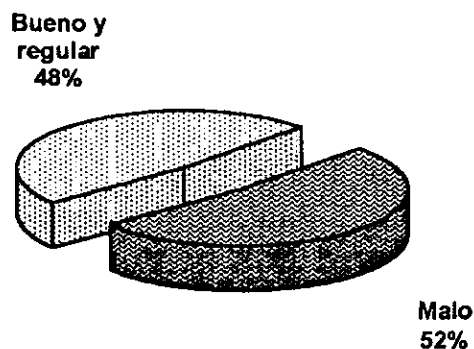


Figura III.12 Fuente: SCT. Dirección General de Conservación de Carreteras

El estado actual de la red federal requiere mejoramientos sustanciales para enfrentar el crecimiento de los volúmenes y de las cargas unitarias del tránsito, en el entorno actual de desarrollo de tránsito internacional inducido por el Tratado de Libre Comercio. Por ello, se pretende crear estrategias alternativas de mantenimiento, compararlas desde el punto de vista técnico y económico y recomendar para el futuro la más adecuada para las necesidades del país. Estas estrategias deben ser coherentes con el esfuerzo financiero que el gobierno debe ejercer y con las limitaciones externas de índole industrial e institucional.

Para llevar a cabo las estrategias de conservación adecuadas, se están empleando a nivel mundial, los llamados sistemas de información que se describen más adelante.

CAPITULO IV

SISTEMAS DE INFORMACION DE APOYO PARA LA CONSERVACION Y MANTENIMIENTO DE CARRETERAS

IV.1	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA (SPG Y SIG).....	97
IV.2	SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS (SIMAP).....	104
IV.3	SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO (SIPUMEX).....	111
IV.4	SISTEMA DE SIMULACION DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO VIAL (SISTER).....	120
IV.5	CATALOGO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS CARRETEROS.....	126

Un sistema de información es el valor agregado que se le da a las bases de datos aisladas; es decir, que el simple hecho de relacionar algunas bases de datos entre sí, ya lo hacen un sistema de información.

Los sistemas de información son valiosos instrumentos de apoyo a todas aquellas labores que llevan implícitas en su ejecución, la necesidad de un análisis de los elementos o variables que el problema o la actividad en cuestión, comprenda.

En México, el sistema nacional de carreteras constituye el principal medio de desplazamiento de personas y bienes como se puede observar en la siguiente tabla:

MODO	CARGA		PASAJEROS	
	Toneladas (millones)	%	Pasajeros (millones)	%
Carretero	356.5	60.0	2,636.1	98.5
Ferroviano	52.1	8.8	7.2	0.3
Marítimo	185.4	31.2	4.7	0.1
Aéreo	0.2	N.S.	29.1	1.1
TOTAL	594.2	100.0	2677.1	100.0

Figura IV.1 Fuente: Primer Informe de Gobierno, 1995
N.S. = No significativo

Por ello las carreteras son un instrumento primordial para la integración social, económica y cultural de la nación; por lo que es necesario conservar y reconstruir las carreteras existentes para abatir los costos de transporte, elevar la seguridad y la calidad de servicio, así como prolongar la vida útil del patrimonio vial federal. Para ello, se han desarrollado sistemas de información que garantizan el adecuado mantenimiento y rehabilitación tanto de pavimentos como de puentes.

Estos sistemas son desarrollados en muchas partes del mundo, sin embargo como en los países que son concebidos en su mayoría son países de primer mundo, los sistemas deben ser ajustados de acuerdo a las necesidades del país en que se utilicen.

Además para que dichos sistemas funcionen adecuadamente es necesario: actualizar sistemáticamente las bases de datos; contar con los recursos necesarios para mantener los sistemas en operación y finalmente corregir los errores de dichos sistemas en base a la experiencia que se vaya adquiriendo al paso del tiempo.

En México los sistemas de información utilizados en el sector comunicaciones y transportes son el SIG (Sistema de Información Geográfica), el SIMAP (Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos), el SIPUMEX (Sistema de Puentes de México) y el SISTER (Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial).

IV.1 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL Y SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICA

SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (SPG)

El uso de mapas como medio de información ha sido desde tiempos inmemoriales parte de la vida del hombre, pero esta se vio limitada en su avance por las dificultades que representa el expresar un lugar de dimensiones mayores en un pedazo de piel ó papel. Durante siglos la manera de resolver este dilema se hizo en muchos casos con poco éxito, pero a medida que se pudo superar esto, la cartografía tomo relevancia, ya que un mapa no solamente nos puede ser útil para ubicar algún sitio, sino además para señalar en él otros datos de importancia como son, por ejemplo, el tipo de vegetación predominante, las curvas de nivel de una montaña, etc.

La fusión de la fotografía y la aviación, que se inicio durante la Primera Guerra Mundial, aceleró la cartografía y le dio acceso a terrenos que hasta los topógrafos más intrépidos habían encontrado impenetrables. Ahora, variaciones de los satélites espaciales creados para reconocimiento militar permiten a los cartógrafos obtener en horas más mediciones e imágenes que las que habrían logrado en semanas o años o nunca.

Los topógrafos de la actualidad rara vez salen a trabajar sin instrumentos electrónicos, que los enlazan en todo momento con cuatro o cinco satélites de navegación del Sistema de Posicionamiento Global (SPG). Sus receptores portátiles de SPG son la más conocida de las nuevas tecnologías de mapeo. Desarrollado y operado todavía por el Departamento de Defensa estadounidense, el sistema de satélite que fija objetivos de misiles y rastrea tropas y embarcaciones con un margen de error de metros, cada vez es más usado por civiles, desde topógrafos hasta excursionistas. Existen versiones civiles simplificadas de estos receptores con un costo de unos cientos de dólares.

Los sistemas de detección a distancia de los nuevos satélites tienen una característica en común: sus datos e imágenes se recopilan y transmiten en forma digital. Esto significa que pueden almacenarse fácilmente en computadoras, procesarse y convertirse en mapas. Los conjuntos de datos digitales procesados de esta forma sirven como fundamento para muchos Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales se han convertido en otro negocio dinámico para pequeñas compañías de software.

En la elaboración de mapas por computadora podemos pensar en cada capa de datos como una hoja de plástico transparente con un conjunto específico de información. La primera hoja podrá ser un mapa de fronteras políticas y calles. Encima se podría colocar otras capas adaptadas al mapa base: niveles de educación, poder de compra, casi cualquier información demográfica que podamos desear.

De manera global el sistema consiste de tres segmentos: satélites, sistema de control y usuario. Consta de 18 satélites en operación que transitan a una altitud nominal de 20,183 km en 6 planos orbitales inclinados 55° con respecto al Ecuador. El período orbital es de 12 horas.

El sistema de control consiste de 4 estaciones de monitoreo y una estación maestra en Colorado, Estados Unidos. La misión de estas estaciones es monitorear el estado de los satélites y de sus órbitas así como el comportamiento de sus relojes atómicos.

Los usuarios, a través de receptores apropiados obtienen los códigos o las fases. De esta manera, con los rangos de cuando menos cuatro satélites junto con sus órbitas, el receptor puede determinar las coordenadas geocéntricas en tres dimensiones.

La precisión de estudios geodésicos y topográficos, así como la rapidez para realizarlos han sido revolucionados por las nuevas técnicas de posicionamiento global por medio de satélites (GPS), de tal manera que hoy en día se cuentan con los siguientes servicios:

- ✓ Levantamientos topográficos y geodésicos con GPS.
- ✓ Procesamiento de datos de GPS para estudios geodésicos de precisión.
- ✓ Localización geográfica de infraestructura con técnicas cinemáticas de GPS (poliductos, vías terrestres, facilidades críticas, etc.).
- ✓ Asesoría en la compra de equipo GPS.

Levantamientos y Mapeo

Levantamientos catastrales. Con precisiones relativas de 10^{-4} , procesamiento automatizado y ejecuciones rápidas.

Control geodésico. Con precisiones de entre 5×10^{-6} y 1×10^{-6} para distancias de 20 a 100 km

Monitoreo de la deformación local (subsistencia, deformación estructural, etc.). Con precisiones de 1 mm a 1 cm sobre distancias de varios kilómetros.

Monitoreo de la deformación global (tectónica de placas, etc.). Este tipo de estudios requiere precisiones de 10^{-7} a 10^{-8} a distancias intercontinentales. Se necesita modelación de las órbitas satelitales de los GPS, los retrasos en la propagación de las señales atmosféricas, etc.

Transporte y Comunicaciones

Localización de vehículos. Determinación de la ubicación del vehículo en tiempo real con el envío de la información a una estación central en casos de emergencia, misiones de rescate, etc.

Aplicaciones Marinas

Navegación marina. Herramienta ideal que provee posicionamiento continuo en dos dimensiones.

Estudios de oceanografía física. Proporciona los requerimientos para el posicionamiento durante trabajos marinos de campo.

Aplicaciones Aéreas.

Fotogrametría aérea. Los requerimientos para la navegación con una precisión de decenas de metros puede ser proporcionados fácilmente por GPS.

Mediciones gravimétricas aéreas. Además de proporcionar la exactitud necesaria, las mediciones de GPS pueden determinar la velocidad del sensor el cual es un parámetro útil para disminuir el número de datos.
Posicionamiento batimétrico y de radar. Determina con alta precisión la posición de los sensores.

Como podemos observar los SPG han abierto un nuevo horizonte a la humanidad, además de que le han permitido al ingeniero de hoy en día conocer con mayor precisión una mayor cantidad de fenómenos y sus interrelaciones. Para lograr esto habrá que hacer mayor hincapié en los Sistemas de Información Geográfica y su importancia para la ingeniería civil y en especial para el caso de deterioros en pavimentos.

SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG)

Inscritos en los campos de la Geografía y la Informática, los Sistemas de Información Geográfica son un instrumento tecnológico diseñado para manejar, analizar y representar gráficamente datos de espacios territoriales.

Adaptados en un principio para el manejo rápido de las cada vez más vastas series de datos geográficos, especialmente de aquéllas disponibles en formatos digitales, y asociados a las ventajas de la cartografía automatizada, los SIG han alcanzado significativos avances en 30 años de historia. Actualmente, un SIG se distingue de otros instrumentos computacionales similares por ser una herramienta tecnológica útil para inventariar información geográfica, analizar esa información y por último representarla gráficamente.

De acuerdo con las características anteriores, los SIG son instrumentos útiles para describir, explicar y predecir la forma en la que evolucionarán los patrones y procesos físicos o socioeconómicos que tienen una expresión territorial. Los SIG son el área común entre el procesamiento de información y la multitud de áreas que requieren técnicas de análisis espacial.

Técnicamente, los SIG se definen como una tecnología computacional compuesta por equipo (hardware), programas (software) y datos, empleada para capturar, editar y, lo más importante, analizar información geográfica.

La estructura y operación eficiente de todo Sistema de Información Geográfica gira alrededor de cuatro funciones principales, cada una de las cuales constituye un subsistema del SIG:

- 1) **Subsistema de entrada de datos.** Acopio y procesamiento de todo tipo de datos provenientes de formatos tan diversos como material cartográfico, imágenes de satélite, fotografías aéreas, fuentes estadísticas y textos, entre otros; esta función se apoya en el empleo de dispositivos periféricos de entrada tales como digitalizadores, escáneres (*barredores de imagen*), videodiscos, etc.
- 2) **Subsistema de archivo y acceso a datos.** Se organiza para permitir un acceso rápido a las bases de datos, así como su eficiente actualización y corrección. Ello se facilita por la posibilidad de almacenamiento temporal o permanente de información que ofrece el sistema.

- 3) **Subsistema de manejo y análisis de datos.** Realiza una gran variedad de tareas, por ejemplo, cambiar los niveles de agregación de la información, estimar parámetros y restricciones para la optimización de modelos de simulación espacio-temporales, analizar redes, sobreponer mapas y datos, cambiar escalas, efectuar análisis estadísticos y generar nueva información, entre otras.
- 4) **Subsistema de salida o reporte de datos.** Puede representar toda o parte de una base de datos original o procesada y expresarla en forma de diagramas, gráficas, tablas, mapas, textos, etc.

Dado que los SIG hacen posible el estudio de procesos espaciales y permiten realizar análisis de tendencias y elaborar proyecciones de esos mismos procesos, su campo de aplicación es muy amplio y comprende áreas muy diversas.

Algunos ejemplos, no sólo de la variedad de campos de aplicación de los SIG, sino de los casos en que esta tecnología ha sido puesta en práctica y ha avalado por sí misma su utilidad, son las evaluaciones de uso del suelo; el aprovechamiento y control de los recursos forestales; el seguimiento y medición de los cambios causados por el fraccionamiento de tierras o el equipamiento urbano; la planeación, la administración y el pronóstico de dotación de servicios urbanos, entre otros.

El Sector Transporte merece atención aparte, no sólo por ser el objeto de estudio de este trabajo sino por representar uno de los campos en donde los SIG han demostrado mejor su utilidad. Algunos campos de aplicación son los proyectos de construcción y mantenimiento de carreteras; el establecimiento de rutas e itinerarios en empresas de transporte; el análisis de flujos de transporte; el análisis de impacto ecológico; la identificación de rutas y tiempos de recorrido mínimos; las evaluaciones y proyecciones de demanda de transporte; los análisis de incidencia de accidentes, etc.

En el futuro, las aplicaciones de los SIG serán más amplias y variadas y su potencial analítico y representativo seguirá aumentando. Ello se debe a que los SIG han demostrado ser un instrumento de gran utilidad en un sinnúmero de campos y en especial en el apoyo a la toma de decisiones.

LOS COMPONENTES DE LOS SIG EN RELACION CON EL SECTOR TRANSPORTE

Los SIG cuentan con características específicas derivadas de cada uno de sus cuatro grupos de componentes, que son:

- ✓ Datos
- ✓ Hardware o equipo computacional
- ✓ Software o programas de cómputo
- ✓ Contexto organizacional y factor humano.

Algunos autores sostienen que los datos constituyen la parte más importante de todo SIG. De acuerdo con su carácter o expresión intrínseca, los datos se clasifican en: a) locacionales, b) no locacionales y c) temporales.

Los datos locacionales definen a los objetos o entidades en términos de su ubicación espacial con respecto a un sistema de coordenadas conocido. Los datos no locacionales o atributos se refieren a características o variables (nombres, cantidades, valores, clases, etc.) de las entidades o fenómenos espaciales que son independientes de su localización explícita. El tercer tipo de datos se refiere a la dimensión tiempo, de particular relevancia dentro de los SIG para examinar cambios en los patrones y procesos espaciales en un periodo determinado.

El transporte, al tener una expresión espacial definida, es un fenómeno geográfico dinámico y multirrelacionado, que surge como campo fértil de aplicación de los SIG en virtud de que la planeación, administración y evaluación de sus actividades demandan necesariamente la integración de datos locacionales y atributos a diferentes niveles y escalas, así como el manejo y análisis espacial de series de tiempo, todas ellas funciones que se facilitan mediante el empleo de un SIG adecuado.

El equipo computacional está integrado por elementos que se clasifican según las funciones que cumplen; en el transporte, conviene resaltar la capacidad de los SIG más avanzados para enlazarse directamente con otras computadoras e instrumentos de captura y registro automatizado, como pueden ser equipos de aforo vehicular, sistemas de control de carga y pasaje, mecanismos ópticos de registro, sistemas de posicionamiento global (GPS), sensores remotos y procesadores de imágenes de satélite, entre otros dispositivos que les confieren la posibilidad de manejar información prácticamente al día.

Los programas de cómputo varían en capacidad, diversidad y alcance, y suelen recurrir a técnicas que cambian, principalmente, según el tipo de registro y de estructuración de las bases de datos, que puede ser teselar o vectorial. Ambas formas de organización son independientes pero complementarias y se aplican según el propósito y las propiedades de la información.

En los registros de tipo teselar, o raster, el espacio geográfico se divide en teselas o celdas, habitualmente de forma regular, contiguas, exclusivas, indivisibles e independientes del fenómeno que representan; a ellas se les asigna un valor único por cada atributo. En el modelo vectorial, se supone que el espacio geográfico es continuo y que cumple con los postulados de la Geometría Euclidiana. Los rasgos del paisaje están representados por pares de coordenadas cartesianas que describen puntos, líneas y áreas.

Las diferencias citadas explican las ventajas relativas de cada tipo de formato para ciertos procesos relacionados con el análisis espacial. Por ejemplo, el trabajo con superficies geográficas opera de manera más eficiente con una estructura teselar, mas ello cambia cuando los elementos están organizados en forma de redes. Aunque en el mercado pueden encontrarse ya SIG equipados con mecanismos de conversión de estructuras vectoriales a teselares y viceversa, este problema todavía no está resuelto del todo. Por ello, para aplicaciones en el transporte, el SIG elegido debe ser de tipo vectorial, en virtud de que la actividad puede caracterizarse por medio de redes de vías interconectadas (carreteras, ferroviarias, aéreas, etc.), de puntos de enlace o nodos y de flujos de transporte diversos, todo lo cual define el patrón de estructuración territorial y la organización operativa del sistema de transporte. Por ejemplo, los análisis de morfología de las redes, de rutas óptimas, de flujos de transporte, de proyecto y trazo de nuevas vías, por citar algunos casos, requieren para el efecto de un sistema de tipo vectorial.

El cuarto y último componente de los SIG se refiere a la estructura de organización y el apoyo institucional y, por otra parte, al factor humano preparado tanto en la problemática del transporte como en el manejo de los sistemas de información geográfica.

A continuación se describirán brevemente algunas experiencias relacionadas con el uso de los SIG en los Estados Unidos en donde a nivel federal, la Oficina de Planeación de la Federal Highway Administration (FHWA) promovió y patrocinó el desarrollo de un SIG conocido como GRIDS (Geographic Roadway Information Display System), cuyo propósito es expresar y manejar cartográficamente los datos generados por un sistema establecido para dar seguimiento a la operación de las carreteras. El propósito de este SIG es aumentar la utilidad de estos datos en los análisis del transporte.

Por otra parte, la Oficina de Políticas de la FHWA utiliza un SIG para evaluar la situación de la red carretera y para estimar los impactos provocados por eventuales cambios en la política carretera. En este caso, el SIG permite responder con rapidez a las preguntas del Congreso, analizar los impactos provocados por los cambios de política propuestos y entregar resultados con oportunidad.

A nivel estatal, el Transportation Research Board ha identificado seis campos de trabajo de los Departamentos Estatales de Transporte en los que resulta factible y conveniente el uso de un SIG:

- administración de infraestructura carretera,
- proyecto geométrico de caminos,
- administración de proyectos,
- manejo de recursos para inversión,
- administración de recursos humanos,
- control de vehículos.

Por ejemplo, la experiencia del Departamento de Transporte de Pennsylvania (PennDOT) es muy ilustrativa porque no se limita a aplicaciones específicas de la herramienta, sino que aprovecha las diferentes funciones de los SIG para realizar tareas variadas. Así, sus módulos de consulta de datos son aprovechados para formular el Programa de Seguridad en Carreteras de la entidad y para la planeación de los servicios de atención médica y policiaca. La propiedad integradora de los SIG se emplea para correlacionar y agregar espacialmente la información que aporta el Sistema de Registro de Accidentes y el Sistema de Administración de Carreteras. De su manejo conjunto es posible determinar cuáles accidentes tuvieron como causa el mal estado del pavimento, ubicar el tramo y tomar las medidas pertinentes. Por otro lado, la capacidad de análisis de información de los SIG permite al PennDOT apoyar sus operaciones fiscales y financieras. Otro proyecto de esta agencia es vincular su Sistema de Administración de Pavimentos con las capacidades gráficas del SIG para relacionar y visualizar las condiciones de la superficie de rodamiento con las propuestas de inversión en un condado o distrito.

Una de las aplicaciones más inmediatas y reconocidas de los SIG es su apoyo a los Sistemas de Administración de Pavimentos. En Texas se realizó una encuesta para identificar las necesidades de los condados en esta materia. La mayoría coincidió en la conveniencia de representar la información generada por ellos, por lo que el siguiente paso consistió en complementar el trabajo de su sistema de administración con el de un SIG. Una aplicación piloto en el condado de Angelina ha llevado a afirmar que: "... por

ejemplo, el usuario puede producir mapas de la red carretera que hayan seleccionados para trabajos de mantenimiento por el Programa de Optimización de la Rehabilitación y el Mantenimiento".

El Departamento de Transporte de Wisconsin hizo lo propio para extender los beneficios de su Sistema de Administración de Pavimentos. El SIG se alimentó con datos relativos a actividades de mantenimiento, materiales de construcción, volúmenes de tráfico, etc. Hoy, el Departamento representa en mapas las condiciones actuales del pavimento, los proyectos propuestos para distintos tramos y las condiciones previsibles a futuro, por mencionar algunos. Wisconsin también ha integrado al sistema el manejo de videoimágenes almacenadas en discos láser, lo que permite que el SIG también accese datos derivados de fotografías, planos de construcción, reportes de inspección, etc.

Si bien las experiencias aludidas se refieren exclusivamente a unos cuantos campos relacionados con las carreteras, se sabe que la utilidad de los SIG se extiende a un ámbito mucho más amplio y diverso que incluye la planeación de dispositivos de emergencia, el análisis de los flujos de carga, la definición de zonas de riesgo, el establecimiento de rutas alternativas, la elaboración y el manejo de inventarios, entre otros.

Con un SIG los ingenieros contamos con una herramienta sumamente importante para la toma de decisiones, ya que se pueden hacer muchas capas para un mapa particular, tantas como información se pueda recabar, y con estos sistemas visualizar las relaciones, muchas veces ocultas, entre los fenómenos geográficos. Estos conocimientos acarrearán consigo poder: poder para explotar o conservar recursos y para detectar las amenazas al medio ambiente antes de que sean detectables en la Tierra.

En lo que se refiere al uso en el mantenimiento y conservación de pavimentos carreteros, un Sistema de información Geográfica nos permitiría en varios casos tener ubicada una autopista o camino en un mapa base desarrollado con SPG, con la posibilidad de actualizarlo según avanza la vida útil del mismo, y con la información histórica con que se cuente generar diferentes capas, además se podría agregar información sobre soluciones de mantenimiento y su impacto económico, las interrelaciones que surgirían de las diversas capas y las condiciones presentes en un camino se verían de manera gráfica, de tal manera que el encargado de tomar las decisiones de conservación y mantenimiento tendrían mayores criterios de selección para asignar recursos.

IV.2 SISTEMA MEXICANO PARA LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS (SIMAP)

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos, se define como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afecten la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos y que permitan una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles.

Se considera al SIMAP como un instrumento permanente, actualizado y sistemático para conocer la realidad, identificar y formular objetivos deseables, proponer y analizar alternativas, ayudar a la toma de decisiones y evaluar el funcionamiento de las acciones implantadas, para actualizar el conocimiento de la situación real.

Lo que significa que por medio del SIMAP se pueden ejecutar los trabajos de conservación acordes a las necesidades existentes en el lugar y momentos precisos.

El objetivo principal de este sistema es posibilitar el poner en marcha de una manera simple y fácil, un mantenimiento ordenado y sistemático de los pavimentos existentes, con su priorización detallada y con la participación intensa y coordinada entre los elementos involucrados. Además el sistema permite implantar un plan de conservación preventiva.

La misión básica del SIMAP es proporcionar al público un sistema carretero seguro y eficiente. Incluye la construcción y la conservación perpetua del sistema, para obtener la mayor calidad al menor costo.

Ventajas de la aplicación del SIMAP:

- Se aumenta la posibilidad de tomar decisiones correctas, al considerar todos los factores relevantes y las alternativas en forma coordinada.
- Se hace mejor uso de la tecnología disponible, mediante coordinación y retroalimentación.

El Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos está compuesto básicamente por 7 subsistemas o subrutinas: el DATOGEN que registra y archiva datos generales de la ubicación y de tránsito; el ISA que procesa los índices de servicios actuales de las carreteras en estudio; el CAPES que procesa deflexiones obtenidas en el campo para obtener refuerzos necesarios; el INVEDET que maneja los inventarios de fallas o deterioros de tramos evaluados; el HISTOREP que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento menor/mayor efectuadas; el CARGEOT que se encarga de procesar las características de las estructuras del pavimento y sus alrededores y por último, el REFIN que se encarga de procesar la interacción de resultados de los primeros 6 subsistemas, para llegar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir. Todas estas actividades están directamente relacionadas entre si y cualquiera de ellas puede, en un momento dado, adquirir una importancia relevante.

A continuación, se describirá de manera general la mecánica de desarrollo de cada subsistema, para así comprender el panorama de acción de todo el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos de las Carreteras.

1) Subsistema DATOGEN

Este subsistema se alimenta de los datos vaciados en el formato No. 1: origen y destino de la carretera en estudio, origen y destino del tramo por evaluar, kilometrajes de inicio y fin del subtramo específico y coordenadas geográficas correspondientes, en grados y minutos.

Fundamentalmente el subsistema actúa como un archivo fijo y permanente, con opción a la actualización de datos para hacerlo flexible al usuario. Asimismo, proporcionará datos de entrada al siguiente subsistema para alimentarlo con datos de Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA) en ambas direcciones, clasificación desde 2 hasta 6 ejes, el peso promedio de los vehículos pesados, la carga máxima por eje, para compararla con la permisible legal y la tasa de crecimiento, en porcentaje.

Por otro lado registra y procesa el número de carriles de la carretera en estudio; el porcentaje anual de accidentes, que se relacionará con el estado superficial del pavimento y, por último, el periodo de diseño, ya que usualmente realizará los cálculos para 20 años como máximo. El programa considerará en otro subsistema, diversas alternativas para 3, 6, 9, 12, 15 y 18 años de extensión de la vida útil.

2) Subsistema ISA

El subsistema ISA, relativo a la obtención del índice de servicio actual registrados en campo, se alimenta de los resultados obtenidos en el formato No. 2

La metodología para la obtención del índice de servicio que se sigue, es la siguiente:

- Requerimientos
 - ✓ Un panel compuesto por 4 evaluadores (uno de ellos con experiencia)
 - ✓ Calificaciones según A.A.S.H.T.O. de 0 – 5 (intransitable a excelente)
 - ✓ Tolerancia de ± 3 entre promedios de evaluadores (panel aceptable)
 - ✓ No se deberá intercambiar información entre evaluadores durante el proceso.
- Observaciones a tomarse en cuenta
 - a) Considerar exclusivamente la condición "actual o presente" del pavimento por calificar.
 - b) La evaluación deberá basarse en el hecho de que el pavimento soportará grandes volúmenes de tránsito mixto en toda clase de climas.
 - c) Deberán ignorarse las características geométricas, tales como alineamiento, anchos, hombros, etc.
 - d) No se tomarán en cuenta cruces de ferrocarril, bordes en puentes, alcantarillas o salientes.
 - e) Al recorrer nuevos tramos, no comparar con anteriores ya calificados. Cada sección deberá juzgarse en forma individual e independiente.
 - f) Cada evaluador debe preguntarse ¿Qué pasará si manejo este tramo en estas condiciones continuamente por 8 horas u 800 kilómetros?

CALCULO: $ISA = X = \sum x/n$

Donde: ISA = PSI = índice de servicio actual,

X = promedio aritmético

x = valores individuales asignados por cada miembro del panel

n = número de evaluadores.

El subsistema básicamente procesa 4 lecturas obtenidas de cada subtramo, para obtener el índice de servicio promedio. Asimismo, calcula el índice de servicio de diseño de todo el tramo en estudio, en función de los promedios parciales obtenidos.

Su función más importante es seleccionar los subtramos de 5 km de longitud que hayan resultado con valores menores o iguales que el mínimo considerado aceptable, para enviarlos al subsistema CAPES y calcular el refuerzo o las soluciones necesarias.

Por otro lado, el subsistema procesa la selección de los subtramos que obtuvieron una calificación mayor que la mínima, para analizar su comportamiento futuro y darle seguimiento permanente; lo anterior lo realiza el programa en forma gráfica automática para trazar las curvas de comportamiento de índice de servicio versus tiempo (en años), hasta llegar al fin de su vida útil.

Es importante hacer notar que el subsistema marcará una señal de aviso cuando la calificación descienda o llegue a una calificación 0.5 más alta que la mínima, indicando el "umbral de alerta". Asimismo, el usuario podrá seleccionar del menú opciones, la variedad o conjunto de subtramos que hayan resultado con menos que tal umbral de alerta, indicando con ello que son los tramos que necesitan conservación normal a corto plazo o urgente.

3) Subsistema CAPES

El subsistema CAPES, referente a la capacidad estructural del pavimento, se procesa en función de las deflexiones medidas en el campo y alimentadas por datos contenidos en el formato No. 3.

La metodología para la medición de Deflexiones, que se sigue, es la siguiente:

- Equipo Requerido
 - ✓ Viga Benkelman estándar relación 2:1, color aluminio o blanco.
 - ✓ Camión de volteo lastrado a 8.2 toneladas en el eje trasero.
 - ✓ Llantas de 10x20x12 cuerdas, con presión de inflado de 80 libras por pulgada cuadrada.
 - ✓ Medidor de presión de llantas; medir ésta una vez por día.
 - ✓ Termómetro (lecturas superior, media y baja de la carpeta asfáltica).
 - ✓ Taladro.

- Procedimiento
 - a) Realizar lecturas, en tramos de estudio de 500 metros, a cada 20 metros (25 lecturas en total).
 - b) Mediciones en puntos localizados en carril exterior a:
 - 0.60 metros de la orilla (carril angosto < 3.35 metros)
 - 0.90 metros de la orilla (carril ancho > 3.35 metros)
 - c) Colocar la viga Benkelman entre llantas tandem (lectura inicial).
 - d) Arranque inmediato del vehículo con velocidad lenta hasta 9 metros o más (lectura final)
 - e) Determinación de espesores existentes.

- Cálculos de Campo
 - a) Restar lectura inicial de lectura final.
 - b) Multiplicar el resultado obtenido por 2, en virtud de la relación 2:1 de la viga Benkelman
 - c) Vaciar resultado en formato No. 3

Con base en las 25 lecturas de deflexiones y temperaturas obtenidas en el subtramo de 5 kilómetros evaluado, el sistema calcula primeramente la deflexión promedio. Con la población de muestras procesadas estadísticamente, procede a obtener la desviación estándar. Inmediatamente después, utilizando la ecuación del Instituto del Asfalto, procede a calcular los factores de ajuste correspondiente por temperatura (dato procedente del formato No. 3) así como el factor por período o condiciones críticas. Una vez logrados los resultados anteriores, el subsistema realiza el cálculo final de la "deflexión característica" del subtramo de 5 kilómetros estudiado, misma que servirá de dato de entrada del subsistema HISTOREP y principalmente servirá junto con los ejes equivalentes promedio diarios, al cálculo del refuerzo necesario en este subsistema CAPES.

Para el proceso del número de tráfico de diseño en función de ejes equivalentes, el subsistema utiliza información del formato No. 1, relativa al tránsito, tasas de crecimiento anuales, pesos promedio de vehículos pesados, número de carriles del camino en estudio, carga máxima legal permitida por eje y factores de ajuste en base al período de diseño en años.

Finalmente el subsistema utiliza los resultados obtenidos de deflexión característica y del número de diseño del tráfico equivalente, para con una familia de curvas y ecuaciones, obtener el refuerzo requerido de sobrecarpeta de concreto asfáltico. Asimismo, indicará si es necesario solamente uno o varios riegos de sello o el espesor en centímetros de sobrecarpeta para un período de diseño de 20 años.

4) Subsistema INVEDET

Los datos básicos de entrada a este subsistema son los provenientes del formato No. 4. Producto de los resultados del subsistema ISA, el programa se desarrolla y corre por comparación de valores existentes en el subtramo con valores especificados y/o recomendados.

Se enlistan las fallas o deterioros más comunes en deterioros de concreto asfáltico: pulido de superficie, hundimientos o depresiones, roderas, baches, grietas transversales, grietas longitudinales, desprendimientos/erosión, asfalto aflorado y agrietamientos en piel de cocodrilo.

En función de su longitud o área en porcentaje, profundidad y severidad estimada reportadas en el formato No. 4, el programa compara tales valores con especificaciones o recomendaciones nacionales, para así determinar si son o no aceptables.

En el caso de resultar aceptables o tolerables, el programa se detiene y pasa a analizar los datos provenientes del siguiente subsistema CARGEOT. Cuando resultan "inaceptables", el sistema buscará automáticamente el archivo del subsistema REFIN, para localizar: (1) deterioro inaceptable, (2) sus posibles causas y (3) las soluciones más recomendadas de reparación, cubriendo aspectos de mantenimiento preventivo y/o correctivo.

Se analizan en el subsistema en forma detallada 11 deterioros, 31 causas posibles de falla y 28 recomendaciones de solución.

5) Subsistema HISTOREP

El subsistema HISTOREP utiliza datos de entrada provenientes del formato No. 5 y básicamente informa sobre el historial de las reparaciones efectuadas de mantenimiento menor y mayor en los últimos 5 años, mismo que servirá al usuario para conocer las

intervenciones, su periodicidad y costos globales invertidos a lo largo de la vida útil del pavimento.

Relaciona la deflexiones características críticas obtenidas del subsistema CAPES, con las fechas mas recientes de intervención; esto es, de 3 años a la fecha, para así investigar en su archivo y recomendar soluciones de estudio inmediatas, con evaluaciones a través de los formatos y subsistemas INVEDET Y CARGEOT.

6) Subsistema CARGEOT

Este subsistema procesa todos los datos provenientes del formato No. 6, sobre las características geotécnicas indispensables de la zona y del tramo de carretera bajo estudio. Inicia el proceso calculando la temperatura media promedio anual para compararla con límites recomendados.

De la misma forma se analizará si el terreno se considera crítico o no, cuando se entregue el tramo bajo estudio en zonas de corte, balcones o terraplenes, reportando la que predomine, si es que el caso resultara con situaciones alternas.

El parámetro de precipitación pluvial anual promedio sobre el tramo en estudio o zona circunvecina considera y compara los datos de entrada del formato No.6, con límites permisibles o de variación con rangos de efecto nulo, bajo, medio, alto, muy alto y excepcional. A continuación se determina si la condición es o no crítica para relacionarla con datos y/o resultados de otros subsistemas (por ejemplo, con drenaje, con agrietamiento en piel de cocodrilo, etc.), para con el subsistema REFIN proceder a recomendaciones de acciones a seguir sobre mantenimiento.

De igual manera procesa el parámetro del drenaje, analizando si existe o no, el tipo de drenaje superficial o subdrenaje y, finalmente, si se encuentra o no deteriorado. En este subsistema se relaciona de inmediato la condición crítica o no del drenaje, con los resultados del parámetro de precipitación pluvial anual promedio.

En cuanto a los espesores reportados en el formato No. 6, provenientes del sondeo realizado en el tramo bajo estudio, el subsistema CARGEOT se encarga de compararlos contra valores especificados o recomendados en normas de la S.C.T. y así determinar si cada capa que forma la estructura del pavimento está o no escasa, para así en el último subsistema de resultados finales, calcular el espesor equivalente requerido.

Finalmente el subsistema analiza los datos sobre valores relativos de soporte provenientes del formato No. 6, para determinar condiciones críticas al compararlos con valores específicos o recomendados. También analiza condiciones que son o pudieran ser de alerta al encontrarse con algún tipo de terreno de cimentación formado por arcillas susceptibles de ser expansivas, colapsables o turbas, entre otros. En el caso de que se utilice otro criterio de juicio diferente del valor relativo de soporte, este subsistema podrá modificarse en términos del nuevo índice.

7) Subsistema REFIN

El subsistema REFIN, llamado así por procesar los resultados finales, se encarga de realizar la interacción de resultados parciales de los 6 subsistemas preliminares, DATOGEN, ISA, CAPES, INVEDET, HISTOREP y CARGEOT, para llegar a obtener recomendaciones de mantenimiento preventivo o correctivo terminales, en función de las evaluaciones, mediciones y observaciones realizadas, vaciadas en los formatos y procesadas modularmente en cada subsistema.

El subsistema de información REFIN inicia su liga tomando resultados del primer módulo DATOGEN, para imprimir recomendaciones de diversas estrategias cuando se presenten tránsitos promedio diario anuales mayores de 15,000 vehículos, así como tasas de crecimiento mayores al 5% anual. Asimismo, el subsistema actúa como un archivo fijo de datos básicos con flexibilidad para una actualización permanente.

Cuando revisa el subsistema los resultados provenientes del módulo ISA, efectúa advertencias cuando el comportamiento del índice de servicio contra el tiempo llega al umbral de alerta; también se encarga de dirigir y ligar tramos con necesidad de intervención urgente a los resultados de CAPES, INVEDET y CARGEOT.

En cuanto a los resultados del módulo INVEDET, el subsistema REFIN analiza y procesa los casos de deterioros o fallas que resultaron inaceptables, localizando en la forma secuencial de su archivo particular, el deterioro, las causas que lo pudieron originar y sus posibles soluciones de mantenimiento.

Al procesar la liga del módulo CARGEOT con los otros subsistemas y sus resultados, REFIN se encarga de revisar y dictar soluciones o recomendaciones para resultados críticos de temperatura predominante, topografía adyacente, precipitación anual pluvial, drenajes, espesores y valores relativos de soporte. Por ello, realiza cálculos para determinar "espesores equivalentes" en función de resultados con espesores escasos de base, sub-base o subrasante; asimismo, recomienda evaluaciones más frecuentes con deflexiones e inspecciones para levantamiento de deterioros cuando la resistencia de cada capa resulte inferior a la permisible.

Finalmente, el subsistema REFIN recomienda soluciones para los casos en que los resultados de deflexiones características del módulo CAPES y las fechas de intervención de trabajos de mantenimiento resulten críticos al exceder valores recomendados en el módulo HISTOREP. También el subsistema actuará como un archivo fijo y flexible de datos para consulta permanente de los usuarios.

En la figura IV.2 se puede observar el diagrama de flujo de actividades del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos.

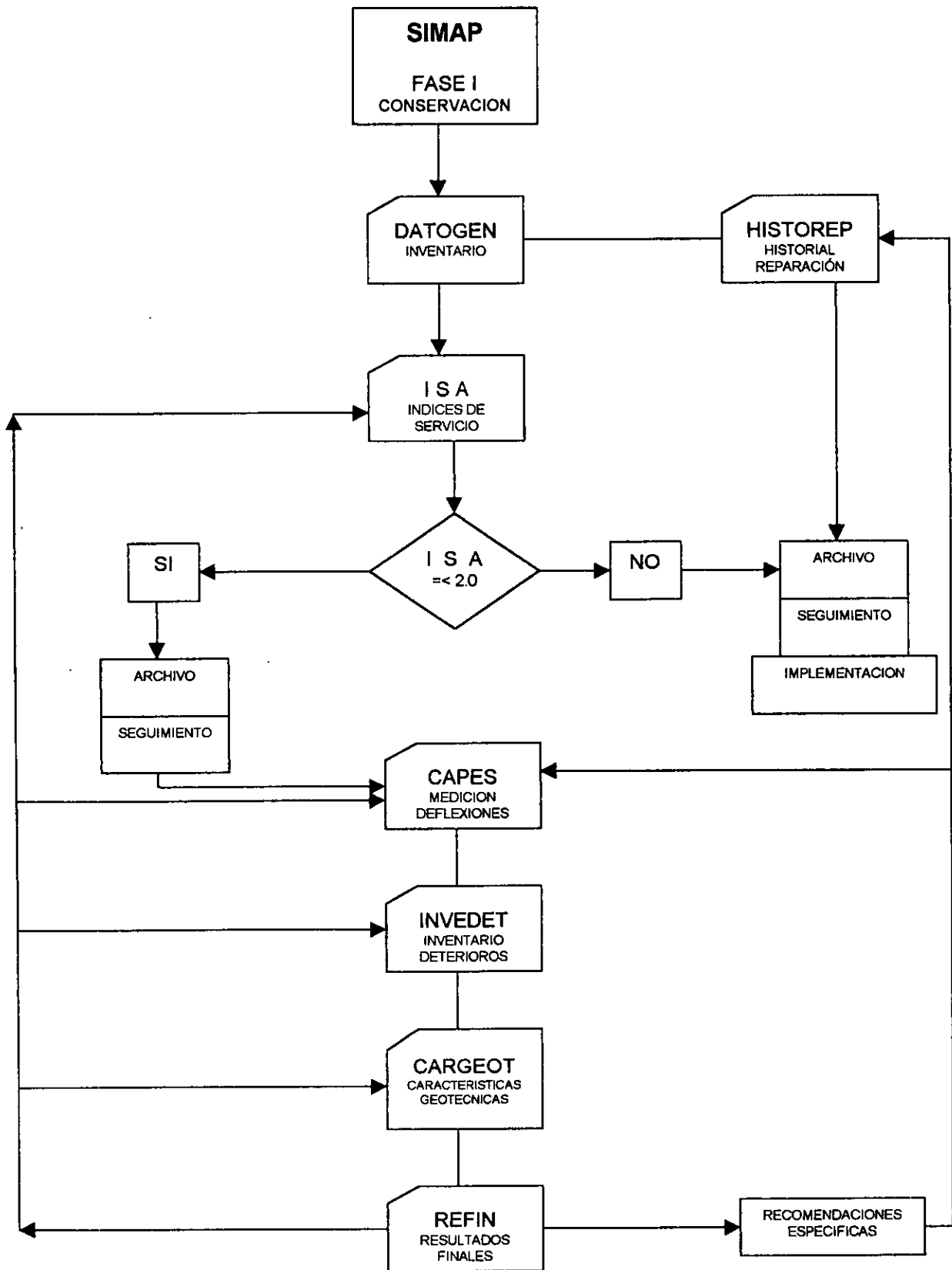


Figura IV. 2 Diagrama de Flujo del SIMAP

IV.3 SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO (SIPUMEX)

El Sistema de Puentes de México es un sistema que permite contar con un inventario de la totalidad de los puentes que forman parte de la Red Federal de Carreteras, en el que se incluyen las características, ubicación y estado físico. Ello permite realizar una priorización de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, con lo que se logra una optimización de los recursos aplicables, atendiendo al mismo tiempo la seguridad de los usuarios.

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 razonamiento. En 1981 las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

- a) No se sabía si las estructuras podían soportar las cargas autorizadas para circular por las carreteras federales, de acuerdo con el Reglamento de Pesos y Dimensiones que se había publicado en 1980.
- b) Se tenía desconocimiento del número de puentes existentes en la red
- c) No se contaba con un sistema que permitiera efectuar de manera ordenada y metódica el mantenimiento de los puentes.

En virtud de lo anterior, se decidió a proceder a levantar un inventario nacional de puentes, en éste se consideraron las condiciones 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 y de él se obtuvo que la red federal de carreteras contaba con 4500 puentes; el inventario adoleció de muchos errores y omisiones, se le fue perdiendo confianza y finalmente se abandonó al no ser actualizado periódicamente.

En el año de 1991, conscientes las autoridades de la Secretaría, de la necesidad de contar con un procedimiento sistemático para atender el mantenimiento de los puentes de México, se inició una investigación a nivel mundial para conocer si se contaba en otros países con un Sistema para tal fin y ver la posibilidad de que se implementara uno de ellos en nuestro país.

Se encontró que en Dinamarca se había implantado hacía algunos años el sistema conocido como DANBRO, el cual era sencillo de aplicar, moderno, y que se había adoptado con buenos resultados en otros países como Arabia Saudita, China, Taiwán, Tailandia e Indonesia.

En 1992 se firmó con el Directorado Danés de carreteras la Primera Fase del Sistema de Puentes de México, SIPUMEX.

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la fase 2, cuyos trabajos finalizaron a finales de 1996.

Los Objetivos Fundamentales del SIPUMEX son los siguientes:

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

Como ya se mencionó anteriormente, el sistema se divide en dos fases; la primera fase está constituida por las siguientes actividades:

- Inspecciones principales. Son inspecciones visuales de la estructuración para determinar sus condiciones y evaluar la necesidad de atenderlas. En las figuras IV.3 a IV.6, pueden verse con detalle los datos que se obtienen con estas inspecciones, que consideran la entidad federativa en que se ubica la estructura, la carretera, kilometraje, tramo, año de construcción, tipo de superestructura y subestructura, los materiales de que están construidas, el tránsito diario promedio anual, etc. En la figura IV.6, se muestra la calificación de 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 esta en peligro su estabilidad.
- Inventario. Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la red federal, resultando que el número de estos es de 6150, como puede verse en la figura IV. 7, en que se clasifican por entidad federativa y se especifica cual de ellos es de tipo peatonal. En la figura IV. 8 puede observarse que hasta 1995 se tenían 280 puentes que requieren de atención o inspección especial por tener una calificación de 4 o 5. Se ha visto que los principales problemas que presentan las estructuras consisten en:
 - a) Agrietamientos de nervaduras y trabes por esfuerzo cortante y por flexión
 - b) Fallas de apoyo de contrato (mecedoras) con placas de plomo y
 - c) Inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de la cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.
- Análisis beneficio - costo. Se realiza en función de alternativas de reparación, costos de operación y costos de reparación.
- Inspecciones rutinarias. Son inspecciones someras del aspecto superficial de los puentes para garantizar la seguridad del tránsito.
- Mantenimiento menor y limpieza. Es la ejecución de trabajos menores (reparación de baches, resanes de concreto y pintura, limpieza de calzada y drenes, reparación de parapetos).
- Evaluación de la capacidad de carga. Es un análisis para evaluar la capacidad de carga remanente de las estructuras.
- Jerarquización de los trabajos de rehabilitación. Se establecen las prioridades para trabajos de refuerzo o rehabilitación de los puentes registrados con la ejecución de las Inspecciones principales.

SIPUMEX		
DGCC/SCT Reporte de inspección principal	FECHA 95.02.01	HOJA 1
PUENTE: 27-002-00.0-0-03.0		Empalme II
Estado.....	Tamaulipas	
Carretera.....	Nuevo Laredo - Lauro Villar (Ruta 2)	
Kilometraje.....	38.600	
Tramo.....	Matamoros - Reynosa	
Año de construcción.....	0	
Año de la última reconstrucción.....	0	
Paso Superior/inferior	S	
Dir. de km de la car. Princip:	E	
Requisitos de inspección	Nada	
Número de secciones de inspección	1	
Colección de datos:	Fecha	1994.06.08
	Iniciales	JRZ
Posición geográfica:		
Latitud: 025° 54.94 min	Altitud: 097° 48.68 min	Longitud: 154 m
Geometría:		
Número de claros.....	5	
Longitud de claro mínimo.....	5.5 m	
Longitud de claro máximo.....	5.5 m	
Longitud total.....	27.5 m	
Ancho total.....	9.3 m	
Ancho de camellón.....	0.0 m	
Ancho de la banqueta izquierda.....	0.5 m	
Ancho de la banqueta derecha.....	0.5 m	
Ancho de la calzada.....	6.6 m	
Ancho entre bordillos.....	8.1 m	
Ancho del acceso.....	6.7 m	
Area.....	255 m ²	
Puente en curva.....	N	
Esviajamiento.....	0 gra	
Superestructura, tipo principal:		
Diseño tipo.....	S	
Diseño de la sección transversal.....	10 Losa	
Diseño de la elevación.....	10 simplemente apoyado	
Material.....	Concreto reforzado in situ	
Superestructura, tipo secundario:		
Diseño tipo.....	N	
Diseño de la sección transversal.....	91 No aplicable	
Diseño de la elevación.....	91 No aplicable	
Material.....	91 No aplicable	

Figura IV. 3
Fuente: Revista Ingeniería LXV

SIPUMEX			
DGCC/SCT	FECHA	HOJA	
Reporte de inspección principal	95.02.01	2	
PUENTE: 27-002-00.0-0-03.0		Empalme II	
Subestructura:			
Estribos:	Tipo.....	21	Enterr. Col/pilotes con cabeza
	Material.....	21	Concreto reforzado
Pilas:	Tipo de cimentación.....	10	Cimentación directa
	Tipo.....	10	Pila sólido
	Material.....	21	Concreto
	Tipo de cimentación.....	10	Cimentación directa
Detalles:			
	Tipo de parapeto.....	20	Concreto sólido
	Parapeto inclinado.....	S	
	Tipo de superficie de desgaste.....	10	Asfalto
	Tipo de juntas de expansión.....	51	Junta de cartón asfaltado
	Tipo de apoyos fijos sobre soportes.....	10	Junta de Construcción
	Tipo de apoyos móviles sobre soportes..:	10	Junta de Construcción
	Tipo de apoyos fijos en trabes	91	No aplicable
	Tipo de apoyos móviles en trabes.....	91	No aplicable
	Carga de diseño.....	H20	
	Cl. de distribución de carga.....	2	Distribución de 1 dirección
Obstáculo que cruza:			
	Tipo de paso.....	30	Río o arroyo
	Identificación de la carretera.....	km....	
	Nombre de la carretera.....		
Espacio libre:			
	Sobre el puente.....(m):	I: IM: DM: D:	
	Bajo el puente.....(m):	I: 3.50 IM:3.50 DM: 3.50 D: 3.50	
	Propietario.....	100	DGCCOP/SCT
	Cooperador.....	27	Tamaulipas
	Responsable de la Inspección.....	100	DGCCOP/SCT
	Proyectista.....	0	
Observaciones:			

Figura IV. 4
Fuente: Revista Ingeniería LXV

SIPUMEX			
DGCC/SCT	FECHA	HOJA	
Reporte de inspección principal	95.02.01	3	
PUENTE: 27-002-00.0-0-03.0		Empalme II	
Resumen cronológico:	Fecha	Actividades	
	1994.06.08	Inspección principal	
Ultima inspección principal:			
Fecha: 1994.06.08	Iniciales:JRZ	Tiempo: Soleado	Temperatura: 36
Tráfico: TPDA.....	0		
Carros %.....	0		
Autobuses %.....	0		
Camiones %.....	0		
Año de la próxima inspección principal.....	1998		

Figura IV. 5

Fuente: Revista Ingeniería LXV

SIPUMEX							
DGCC/SCT		FECHA			HOJA		
Reporte de inspección principal		95.02.01			3		
PUENTE: 27-002-00.0-0-03.0		Empalme II					
N° Componente Descripción del daño Tipo de daño	Fotos	Calif	Mant enim.	Ins Esp	Obras de reparación		
					TP	Cant	Año
1 Superficie de puente	0	1	-				
2 Juntas de expansión	0	2	-				
3 Banqueta/camellón	0	1	-				
4 Parapeto/pasamanos	0	3	-				
5 Conos/Talud	0	1	-				
6 Aleros	0	1	-				
7 Estribos	1	3	-	A	150	1996	69,750
Agrietados y concreto desintegrándose							
Daño en concreto/corr							
8 Pilas	1	4	-	A	90	1996	41,850
9 Apoyos	0	1	-				
10 Losa	1	4	-	B	50	1996	50,000
Acero expuesto corroído							
Daño en concreto/corr,							
12 Cauce	0	1	-				
14 Puente en general	0	4	-				

Figura IV. 6

Fuente: Revista Ingeniería LXV

DGCC/SCT		SIPUMEX			Número y área de los puentes		Fecha	Hoja
							95.02.01	1
Estado		Totales para todos puentes			De estos pasos peatonales			
		Número	Longitud m	Area m ²	Número	Longitud m	Area m ²	
1	Aguascalientes	30	647	8895	1	67	270	
2	Baja California	118	5298	51292	5	163	382	
3	Baja California Sur	78	2549	25036	4	128	304	
4	Campeche	55	1438	16484				
5	Coahuila	243	6157	67984				
6	Colima	51	2946	30319				
7	Chiapas	205	8083	77343				
8	Chihuahua	348	9701	99893				
9	Durango	234	7130	65350	5	167	330	
10	Guanajuato	144	3344	38730	2	54	150	
11	Guerrero	354	17467	158507	17	695	1589	
12	Hidalgo	125	4068	37158	20	761	1742	
13	Jalisco	301	11395	113529	24	795	1808	
14	México	173	6913	58589	50	1740	3914	
15	Michoacán	385	13722	133905	5	191	501	
16	Morelos	90	2287	20987				
17	Nayarit	118	4597	41392				
18	Nuevo León	205	6987	81339				
19	Oaxaca	327	15472	148303				
20	Puebla	109	3187	34955				
21	Querétaro	109	3259	36132	10	413	929	
22	Quintana Roo	8	374	3587				
23	San Luis Potosí	217	7409	75960	5	173	346	
24	Sinaloa	192	8678	85844				
25	Sonora	877	17379	190050				
26	Tabasco	50	4394	46633				
27	Tamaulipas	310	9590	93093				
28	Tlaxcala	135	3259	28215	28	692	2286	
29	Veracruz Norte	253	10195	96920				
30	Veracruz Sur	150	7506	75952				
31	Yucatán	3	184	1771				
32	Zacatecas	152	3578	34826	1	21	31	
	Totales	6,150	209,349	2'080,456	177	6,060	14,562	

Figura IV. 7

Fuente: Revista Ingeniería LXV

Relación de puentes que requieren de reparación urgente según SIPUMEX		
1	Aguascalientes	1
2	Baja California	13
3	Baja California Sur	3
4	Campeche	2
5	Coahuila	0
6	Colima	0
7	Chiapas	5
8	Chihuahua	2
9	Durango	9
10	Guanajuato	27
11	Guerrero	53
12	Hidalgo	2
13	Jalisco	10
14	México	10
15	Michoacán	13
16	Morelos	5
17	Nayarit	9
18	Nuevo León	3
19	Oaxaca	25
20	Puebla	5
21	Querétaro	9
22	Quintana Roo	2
23	San Luis Potosí	18
24	Sinaloa	6
25	Sonora	15
26	Tabasco	0
27	Tamaulipas	6
28	Tlaxcala	1
29	Veracruz Norte	20
30	Veracruz Sur	4
31	Yucatán	0
32	Zacatecas	2
	Total	280
Nota: esta lista considera únicamente reparaciones a elementos estructurales.		

Figura IV. 8

Fuente: Revista Ingeniería LXV

La fase 2 comprende las actividades siguientes:

- Inspecciones especiales. Son inspecciones detalladas con uso de equipo especial, para determinar los daños y sus causas, y programar los proyectos de rehabilitación.
- Diseño de 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 existentes, con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.
- Rutas para el transporte pesado. Se establecen las rutas para vehículos especiales, de modo que no provoquen daños en los puentes.
- Presupuesto y control de avance. Es un sistema que elabora presupuestos y controla los avances de los trabajos.
- Mapas de puentes. Sistema para localizar los puentes de la red.
- Sistema de archivo. Maneja todo el material de archivo del SIPUMEX.
- Libro de precios. Es un catálogo de precios unitarios para trabajos de mantenimiento y rehabilitación.
- Supervisión de obra. Introducción de nuevos procedimientos incluyendo manuales.
- Juntas Asfálticas para puentes de concreto. Diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes.

Se establece también una base de datos que contiene fotografías de los puentes, tomadas durante las inspecciones principales.

Finalmente conviene señalar que para que el sistema funcione adecuadamente y permanentemente, es necesario cumplir los siguientes puntos:

- ✓ Uniformizar los criterios de inspección de todas las Residencias Generales de Conservación de carreteras.
- ✓ Actualizar sistemáticamente la base de datos por lo menos una vez al año.
- ✓ Contar con los recursos necesarios para mantener el sistema en operación.
- ✓ Corregir errores y detalles de mal aplicación conforme se vaya adquiriendo experiencia.

En el diagrama de flujo de la figura IV.9, se puede observar que el desarrollo del SIPUMEX comprende diversas actividades que tienen que realizar tanto la Dirección General de Conservación de Carreteras a nivel central como los centros SCT.

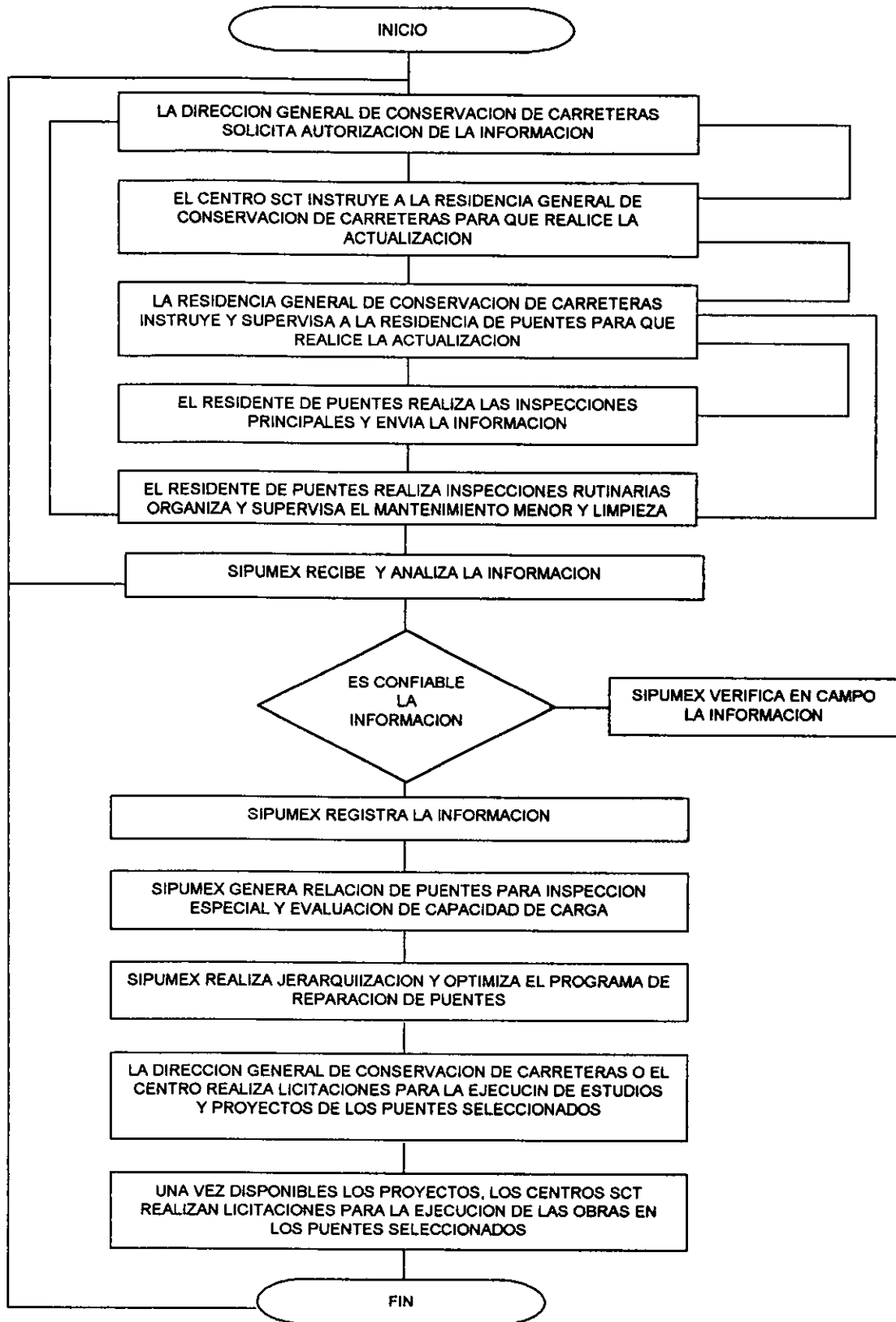


Figura IV. 9 Diagrama de Flujo del SIPUMEX

IV.4 SISTEMA DE SIMULACION DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO VIAL (SISTER)

El SISTER fue concebido bajo la necesidad de un modelo específico de simulación presupuestaria que permitiera la comparación rápida de estrategias de mantenimiento con una precisión aceptable, aliviando las fases de recopilación y de actualización de datos.

El programa SISTER esta al servicio de los responsables encargados de la definición de la política de mantenimiento dentro de su zona de competencia. Les permite soportar sus proposiciones durante la presentación a las autoridades políticas y argumentar con los organismos financieros nacionales e internacionales.

DESCRIPCION DEL MODELO

El programa recurre a la experiencia del especialista encargado del proyecto y permite la adaptación rápida a las situaciones particulares tanto del punto de vista de las técnicas como de los medios de investigación disponibles.

El sistema permite entonces describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución técnica de la red, esto es su nivel de servicio y proporcionar todos los resultados financieros y económicos para evaluar las estrategias, es decir las necesidades presupuestarias.

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 tanto estructural como superficialmente. Se establece así la crónica de los trabajos y la degradación que el programa aplica a la red estudiada.

Cada estrategia esta compuesta de un cierto número de escenarios que se refieren cada uno a las condiciones particulares del clima, del nivel de tráfico, y de la política general en materia de rehabilitación.

La estrategia y cada uno de los 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 tramos homogéneos. Cada ciclo de vida termina normalmente por una rehabilitación o al menos un trabajo de refuerzo de la carretera. Cuando este año es alcanzado, el programa regresa sobre el primer año del escenario y comienza el siguiente hasta el año fin del proyecto.

La Red

La red carretera, esta dividida en tramos homogéneos desde el punto de vista de su identificación administrativa, su localización en las zonas geográficas, su nivel de tráfico y su estado actual.

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 del nivel de servicio al usuario.

Análisis Económico

Los Costos de Operación de los Vehículos (COV) están estimados para permitir las comparaciones económicas de las estrategias consideradas.

La variable explicativa principal es entonces el estado superficial de la carretera, medido por la "nota de rugosidad". Esta nota puede ser expresada en mm/km, o por el IRI (Índice de Rugosidad internacional), a fin de permitir comparaciones más cómodas.

El modelo considera dos tipos de vehículos:

- Los vehículos ligeros, combinación de vehículos particulares, camionetas, etc.
- Los vehículos pesados, combinación de autobuses, camiones unitarios, camiones articulados, etc.

El modelo no toma en cuenta la naturaleza del terreno (plano, lomerío, montañoso). La referencia elegida es un terreno considerado como promedio en la zona estudiada, en general lomerío.

El estándar técnico de la carretera esta tomado en cuenta en un cálculo normalizado que considera valores promedios de la velocidad posible y de las características geométricas del trazado en planta y del perfil longitudinal de una carretera en terreno de lomerío.

El programa compara todas las estrategias a una estrategia 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.

DATOS GENERALES

Características del proyecto

El usuario define e identifica el proyecto en particular de la siguiente manera:

- Su código y su nombre
- Los datos temporales:
 - El año origen del proyecto (por ejemplo 1992)
 - La duración total del proyecto (hasta 20 años)
 - Los períodos elementales para los cuales los resultados serán producidos (hasta 10 periodos en cualquier duración)
- Los datos concernientes al tráfico
 - El año de referencia para los datos de tráfico (por ejemplo 1990)
 - La tasa de crecimiento futuro promedio del tráfico (en % por año)
- Los datos concernientes a la moneda utilizada
 - Su nombre
 - La unidad para los precios unitarios (por ejemplo 1000)
 - Las unidades para los resultados (por ejemplo 1 000 000)
- La estrategia que servirá de referencia para los cálculos económicos
- La tasa de actualización
- El idioma de trabajo

Zonas

Para caracterizar los tramos de carreteras y diferenciar los escenarios de degradación y los precios unitarios de obra es necesario dividir al país en diferentes zonas:

- Zonas climáticas: esta noción permite diferenciar la velocidad de degradación ligada a las condiciones climáticas y geotécnica de la región, así como de ajustar los escenarios de mantenimiento.

- Zonas de costos: esta noción permite diferenciar las zonas bien comunicadas, donde los precios son relativamente bajos (zonas costeras por ejemplo) y las zonas más aisladas donde los precios son más elevados.
- Zonas administrativas (por ejemplo estados y municipios) o entidades responsables: esta noción es utilizada en la descripción de tramos para editar los resultados por estado.

Otras nociones son definidas en esta parte:

- El itinerario, que permite reagrupar los tramos pertenecientes a las carreteras señaladas por números diferentes, los cuales tiene una gran relación.
- El tipo de decisión debe ser tomado en cuanto (i) al mejoramiento previo de la carretera ó (ii) al mantenimiento "normal inmediato"

Clases

Clases de tránsito:

Los tránsitos de vehículos pesados entran en una clase caracterizada por un código y un nombre; en el cual se definen los límites inferiores y superiores de vehículos pesados por día.

La noción de clase de tránsito se refiere al tránsito circulante sobre un carril, esto permite argumentar el estudio de la degradación y los cálculos de los costos. El cálculo del tránsito por carril se hace a nivel de cada tramo, al cual se afecta entonces una "clase de tránsito", (TP1 A TP5) en el caso de México.

Se determinan los límites de las clases considerando los números acumulados de ejes equivalentes por días.

Clase de tránsito	Límite Inferior	Límite Superior
TP1	0	300
TP2	301	1000
TP3	1001	2000
TP4	2001	6000
TP5	6001	50000

Figura IV. 10 Fuente: Revista Ingeniería Civil 315

Estado de la carretera

Esta noción permite únicamente presentar los resultados de manera sintética por clase de "nota de calidad". El estado de carretera es definido por un código y un nombre y por los límites inferiores y superiores de la nota de calidad, Un tramo entra en una clase de estado en función de su nota de calidad aplicada o calculada a un dato determinado.

Categoría administrativa.

Esta noción permite conocer la localización de los tramos además de la edición de los resultados según la categoría administrativa oficial de la carretera (federal, estatal, etc.)

Estándar Técnico

Esta noción permite conocer el ancho de la carretera, parámetro para los costos unitarios y los COV. El ancho se expresa en número de vías de circulación.

Costos de operación de los vehículos

Aquí se indican los coeficientes de las fórmulas que permiten el cálculo de los COV por tipo de vehículo y estándar técnico determinado.

Trabajo

El usuario puede describir todos los tipos de trabajo considerados e indicar los precios unitarios en función de varios parámetros. Se prevén dos tipos de precios:

- Los que se aplican a la "carretera", como el estándar, en particular su ancho. Ejemplo: mantenimiento rutinario de los alrededores, drenaje, etc.
- Los que se aplican a un carril (3.5 m de ancho). Ejemplo asfaltar. Esto permite conocer el estándar técnico en la mayor parte de casos para la fijación del precio unitario.

En el primer caso el precio se multiplica por el ancho de la carretera. En el segundo caso el precio es multiplicado por el número de carriles y por el ancho de la carretera para obtener el costo total.

Naturaleza de los trabajos

Cada tipo de trabajo esta caracterizado por un código y un nombre que permiten 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. Por ejemplo código que empieza por "L" : precio aplicable a la carretera; otro primer carácter = precio aplicable al carril.

Precios unitarios:

Los precios unitarios son proporcionados bajo forma de "precios de base" modificables en función de dos parámetros (las zonas de costo y las clases de tránsito) al promedio de coeficientes estándares introducidos por el usuario. Esta función de cálculo automático parcial puede ser activada o desactivada cuando se desee.

DATOS QUE DESCRIBEN LA RED CARRETERA

La red estudiada es dividida en tramos homogéneos como seas necesario. La noción de homogeneidad recupera a la vez nociones relacionadas a las zonas geográficas, a los niveles de tránsito, a las características geométricas y al estado de la carretera. Los datos que describen la red son los siguientes:

- Identificación:
 - Categoría administrativa
 - Número administrativo de la carretera
 - PK inicial
 - PK final
 - Ruta, itinerarios
- Situación geográfica
 - Zona administrativa

- Zona climática
- Zona de costos
- Nivel de tránsito (año de referencia)
 - Transito observado: volumen total
 - % de vehículos pesados
- Características geométricas y estado:
 - Estándar técnico
 - Año de construcción (o bien el año efectivo, si está en proceso, o el año de reconstrucción futura si existe proyecto; este campo puede quedar vacío)
 - Nota de calidad de la estructura (año de origen)
 - Nota de rugosidad o de calidad de la superficie (año de origen)

La decisión se toma en cuanto a (i) el mejoramiento previo de la carretera, ó (ii) al mantenimiento normal inmediato.

DATOS QUE DESCRIBEN LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO

Es aquí donde el usuario describe las estrategias de mantenimiento que desea probar y comparar.

Por convención se llama "estrategia" al conjunto de los escenarios que se aplican a los tramos de características diferentes. Existen tantos escenarios como combinaciones de valores para los parámetros característicos. Por ejemplo si se definen tres zonas climáticas y cinco clases de tráfico se construirán 15 escenarios que, en conjunto constituirían una estrategia.

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". Se puede entonces describir dos escenarios completos para las rutas cuyas características generales son semejantes (zona climática, tráfico, etc.): antes y después del reforzamiento.

Las estrategias son definidas por los parámetros siguientes.

- Identificación
 - Código
 - Nombre
- Campo de aplicación (los escenarios)
 - Zona climática
 - Clase de tráfico
 - Decisión en cuanto a la condición probable
- Descripción año por año
 - Año de reparación (cronológico del ciclo)
 - Nota de calidad de la estructura
 - Nota de rugosidad
 - Naturaleza de los trabajos (tres campos autorizados)

Cuando las estrategias son muy semejantes, existe un procedimiento especial, que permite derivar una estrategia de otra antes definida.

CALCULOS

Antes de empezar el cálculo, se lanza automáticamente un procedimiento para la verificación de la coherencia. Este procedimiento puede de la misma manera lanzarse independientemente en la fase de ajuste. Para probar una estrategia es suficiente indicar el código.

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 corresponde siempre una rehabilitación, que permite empezar de nuevo la descripción del escenario después del primer año.

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.

Los cúmulos de kilómetros, los costos de trabajo y los COV, pueden realizarse de acuerdo a diversos parámetros, tales como las zonas administrativas, los estándares técnicos, la naturaleza de los trabajos, etc.

Una estrategia de "referencia" se identifica como tal por permitir comparaciones. Los cálculos económicos permiten comparar rápidamente las estrategias: costos de trabajo, y COV actualizados, ratio beneficios/costos (para llamar a la estrategia de referencia).

El programa permite igualmente listar los trabajos considerados por orden de urgencia con el fin de preparar una programación pluri-anual. Sin embargo, es recomendable analizar con cuidado este tipo de resultados pues el programa, como todos los sistemas de gestión de red, utiliza las nociones estadísticas que no permiten concluir con una muestra pequeña como uno o varios tramos aislados.

RESULTADOS

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

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

- Zonas administrativas
- Estándares técnicos
- Naturaleza de las obras
- Periodo de estudio
- Etc.

Un formato de tabla puede ser nombrado y almacenado para una utilización posterior. Los mensajes de errores están impresos en tiempo real sobre la impresora o almacenados en un fichero especial para consulta diferida.

IV.5 CATALOGO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS CARRETEROS

Los deterioros en pavimentos carreteros son tan comunes en muchos casos como las mismas carreteras, en este catálogo pretendemos mostrar estos deterioros como una ayuda visual que apoye a cualquier persona interesada en el tema y en especial a los ingenieros civiles para el reconocimiento de los mismos; en el se proporciona la fotografía descriptiva del deterioro, el nombre más común que se emplea para conocer al mismo y una explicación de sus probables causas; este tipo de información permite además de una identificación rápida y eficaz de los deterioros, una programación de actividades enfocadas a resolver el problema y una estandarización de cómo llamar y referirse a las fallas más comunes.

El uso de un catálogo de deterioros en la administración de pavimentos permite al ingeniero estimar las medidas necesarias de mantenimiento para prevenir efectos acelerados de deterioro o para planear la rehabilitación que debe mejorar al pavimento

Las aplicaciones de este tipo de catálogos resultan importantes como parte de un sistema de información carretero, ya que se pueden emplear los recursos que proveen los Sistemas de Información Geográfica para localizar deterioros, cuantificar y clasificar los mismos, y con esta información poder asignar recursos financieros y tecnológicos para la conservación y mantenimiento adecuado de los pavimentos.

Se considera que un catálogo como este, complementa en forma práctica, el módulo de inventario de deterioros (INVEDET) del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos. Además al final de este se muestra un tabla con los posibles criterios probables de reparación, con lo cual se estaría colaborando para determinar cuales serían las recomendaciones específicas para dar solución a los deterioros más comunes en las carreteras mexicanas.

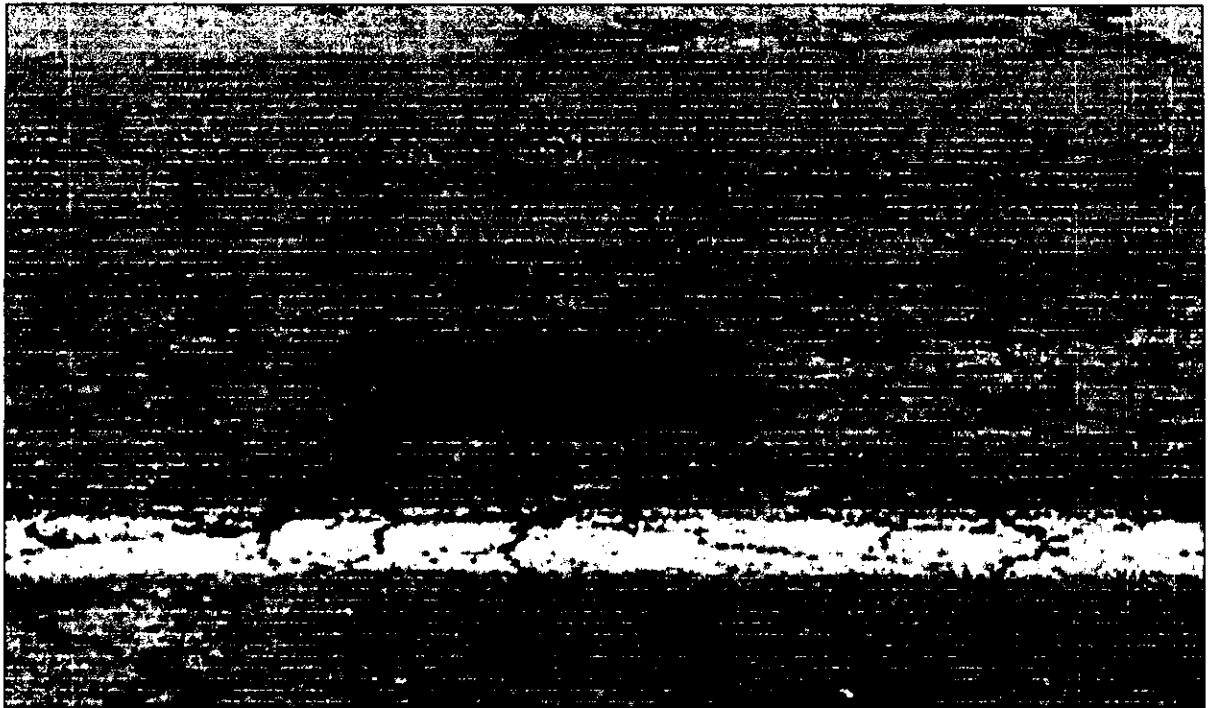
En este catálogo se presentan los deterioros más comunes en pavimentos flexibles y en pavimentos rígidos, en nuestro país, tomando como base el resultado de varias investigaciones hechas al respecto en el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), que es un órgano descentralizado de la SCT.

El catálogo se subdivide en dos partes: una dedicada a los deterioros en pavimentos flexibles y otra parte a los pavimentos rígidos; cada una de estas partes se encuentra dividida en 4 capítulos: deformaciones, roturas, desprendimientos y varios, en cada uno de estos capítulos se muestran las fallas que tienen mayor incidencia en los pavimentos de México, pero habrá que hacer notar que no son todas las que se pueden presentar y que las causas en muchos casos requerirán de un análisis más detallado tomando en cuenta las condiciones particulares del lugar en el que se presenta la falla.

PAVIMENTOS FLEXIBLES

DESPRENDIMIENTOS

1. BACHES
2. IDENTACION
3. LEVANTAMIENTO POR CONGELACION
4. DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
5. EROSION TOTAL
6. PULIDO DE SUPERFICIE
7. DESINTEGRACION
8. DESPRENDIMIENTO DE SELLO
9. EROSION LONGITUDINAL DE LA CARPETA



BACHES

Definición:

Oquedades de varios tamaños en la capa de rodamiento por desprendimiento o desintegración inicial. Desprendimiento inicial de los agregados que al paso de los vehículos van formando oquedades.

Causas probables:

1. Falta de resistencia de la carpeta
2. Escasez de contenido de asfalto
3. Espesor deficiente
4. Drenaje deficiente
5. Desintegración localizada por tránsito
6. Puntos débiles en la superficie



IDENTACION

Definición:

Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo indentación o desgaste localizado en la superficie.

Causas probables:

1. Huellas de tractores o equipo pesado de construcción.
2. Ponchadura de llantas de vehículos pesados
3. Accidentes de tránsito



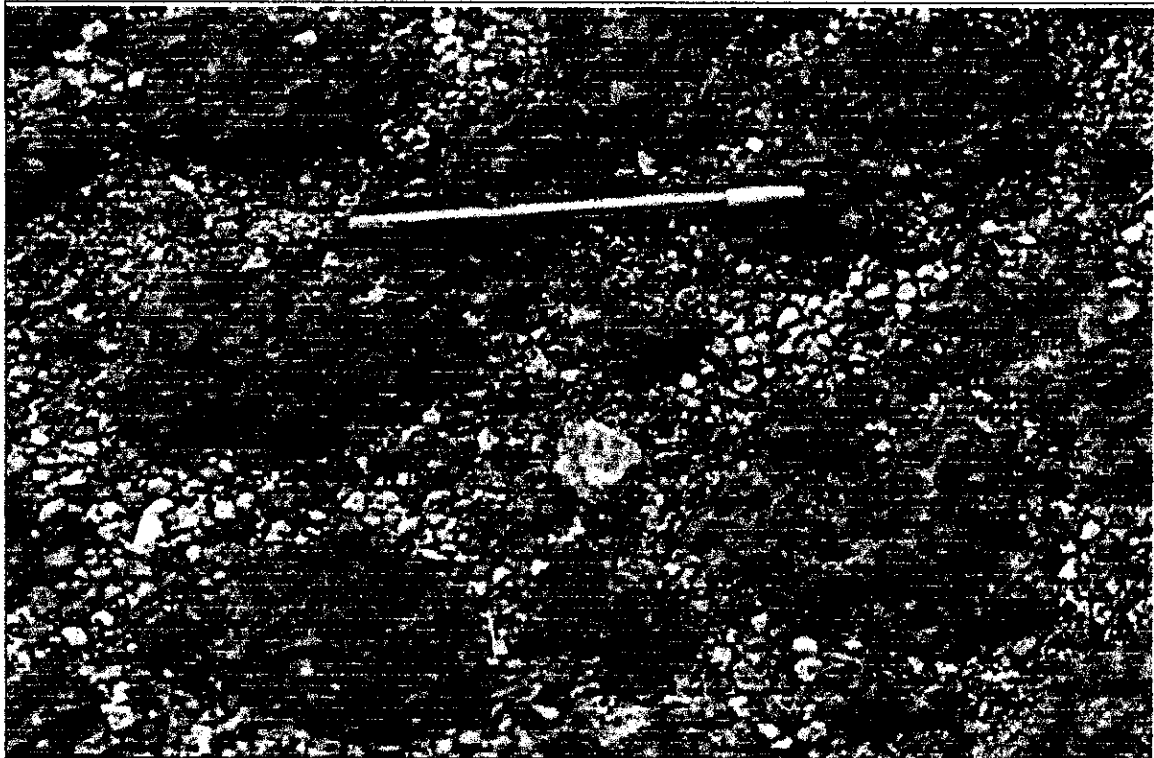
LEVANTAMIENTO POR CONGELACION

Definición:

Desplazamiento diferencial hacia arriba que produce desintegración parcial o total de capas del pavimento.

Causas probables:

1. Acción de heladas
2. Ciclos de congelamiento y descongelamiento
3. Expansión localizada de capas inferiores
4. Expansión localizada de alguna porción de la sección estructural del pavimento



DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS

Definición:

Pequeñas depresiones en forma de cráter, por separación de agregados gruesos de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Falta de afinidad con el asfalto
2. Escasez del asfalto
3. Expansión del agregado grueso



EROSION TOTAL

Definición:

Destrucción, eliminación o desaparición de una o varias capas subyacentes a la carpeta asfáltica, produciendo falta total de apoyo interior.

Causas probables:

1. Falta de drenaje superficial
2. Falta de subdrenaje
3. Falta de lavaderos
4. Acción de crecidas aguas adyacentes al cuerpo del terraplén
5. Mala compactación de capas interiores
6. Falta de armado o arroyo en taludes de terraplenes



PULIDO DE SUPERFICIE

Definición:

Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento producido por áreas lisas

Causas probables:

1. Tránsito intenso
2. Agregado grueso de la carpeta con baja resistencia al desgaste
3. Excesiva compactación
4. Mezclas demasiado ricas en asfalto
5. Agregados no apropiados a la intensidad del tránsito
6. Hundimiento de agregado grueso en el cuerpo de la carpeta, o en la base cuando se trata de tratamientos superficiales



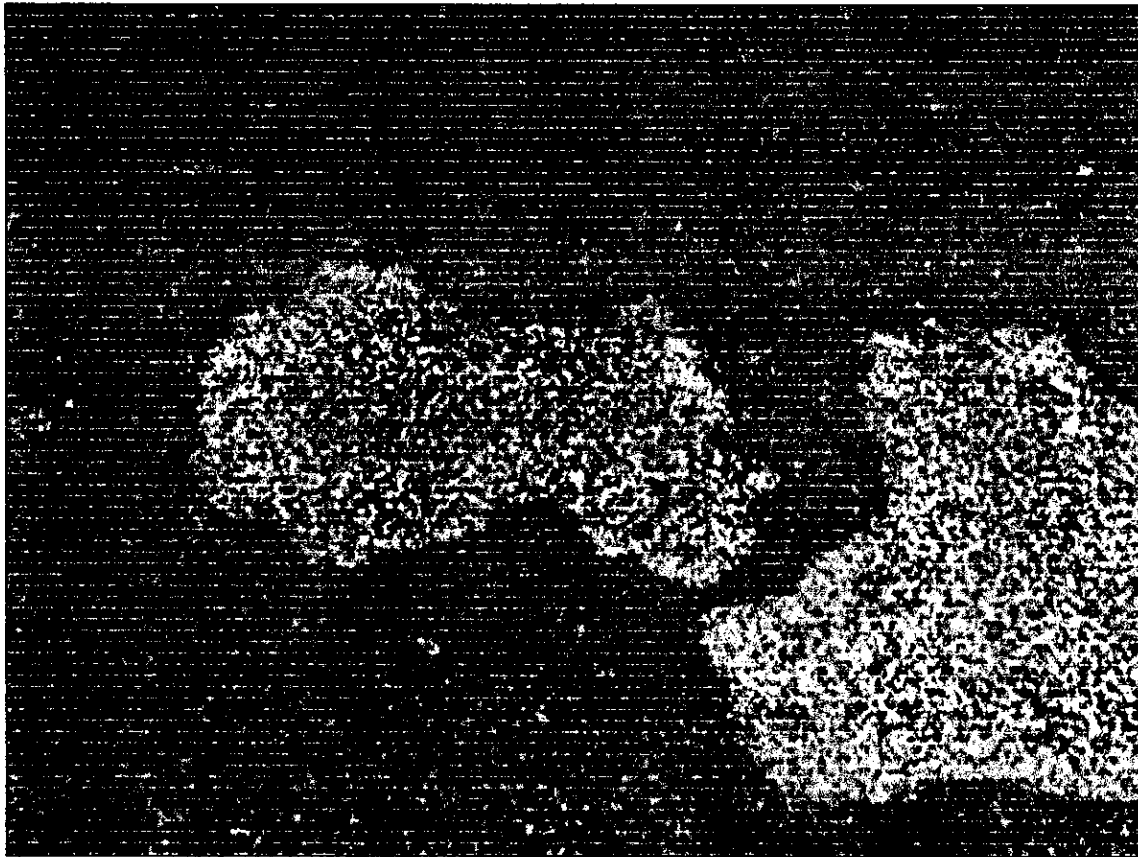
DESINTEGRACION

Definición:

Deterioro grave de la carpeta asfáltica en pequeños fragmentos con pérdida progresiva de materiales que la componen.

Causas probables:

1. Fin de la vida útil de la carpeta asfáltica
2. Acción de tránsito intenso y pesado
3. Tendido de la carpeta en climas fríos o húmedos
4. Agregados contaminados
5. Contenido pobre de asfalto
6. Sobrecalentamiento de la mezcla
7. Compactación insuficiente
8. Acción de heladas o hielo
9. Presencia de arcillas en cualquiera de las capas
10. Separación de agregados y asfalto ligante
11. Contaminación de solventes
12. Envejecimiento y fatiga
13. Desintegración de los agregados
14. Sección estructural deficiente o escasa



DESPRENDIMIENTO DE SELLO

Definición:

Desintegración parcial o zonificada de la superficie de rodamiento; cuando ésta se forma por uno o varios sellos, el agregado tiende a desprenderse dejando zonas expuestas por arranque de la gravilla o granzón.

Causas probables:

1. Separación de la película de liga de los áridos por humedad
2. Dosificación inadecuada del ligante
3. Calidad dudosa del material ligante
4. Mala adherencia en capa subyacente
5. Espesores insuficientes
6. Ejecución de trabajos en malas condiciones de climas



EROSION LONGITUDINAL DE LA CARPETA

Definición:

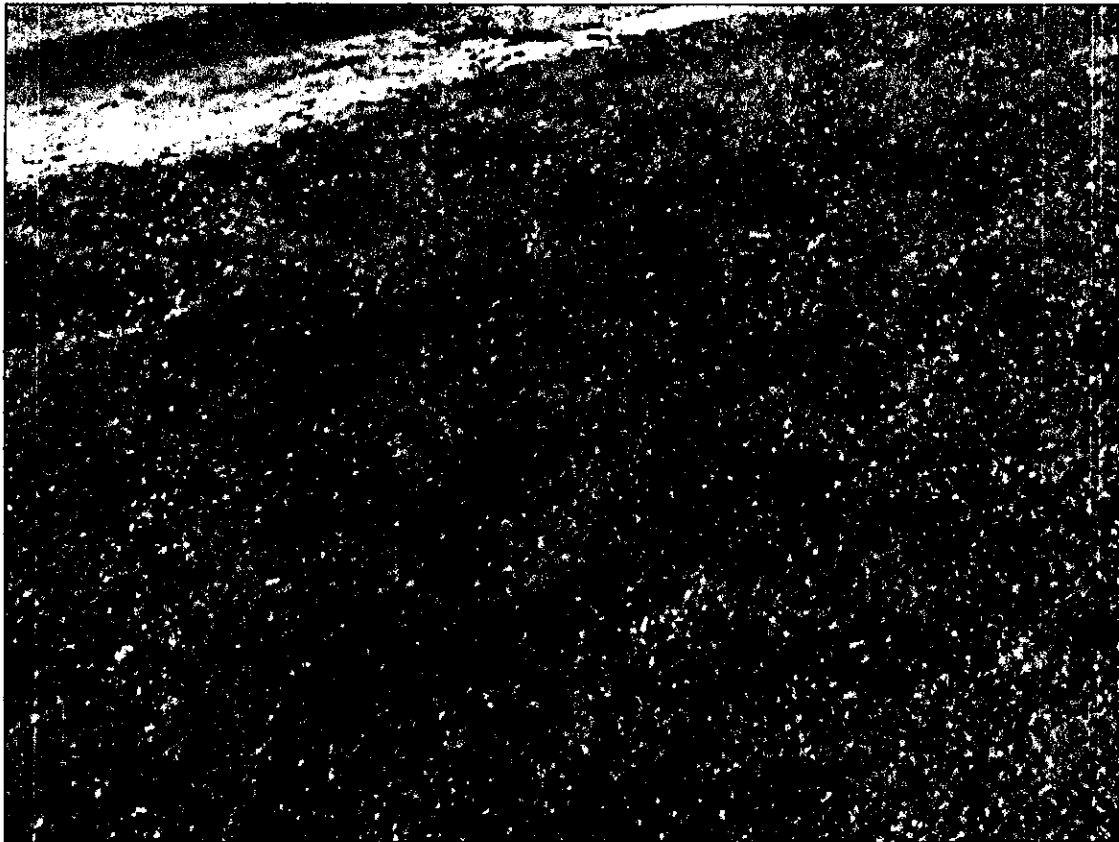
Desintegración parcial de la carpeta asfáltica principalmente en la frontera de la superficie de rodamiento. La carpeta materialmente se va carcomiendo, reduciendo el ancho efectivo de la carretera.

Causas probables:

1. Labores de conservación inadecuadas
2. Falta de soporte de la carpeta en los hombros o acotamientos
3. Erosión natural del agua y viento
4. Ciclos de hielo y deshielo
5. Crecimiento significativo de hierba en acotamientos
6. Sobrecargas de pesos en acotamientos
7. Mala compactación de capas

PAVIMENTOS FLEXIBLES

DEFORMACIONES
<ol style="list-style-type: none">1. BURBUJA2. RODERAS O CANALIZACIONES3. ONDULACIONES TRANSVERSALES (CORRUGACIONES)4. PROTUBERANCIAS5. ASENTAMIENTO TRANSVERSAL6. ASENTAMIENTOS LONGITUDINALES7. CRESTAS LONGITUDINALES MASIVAS



BURBUJAS

Definición:

Ampollas de tamaño variable localizadas en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Presiones de vapor de aire en zonas de la capa de rodamiento
2. Debilidad en espesor o consistencia
3. Liberación de cal en bases estabilizadas



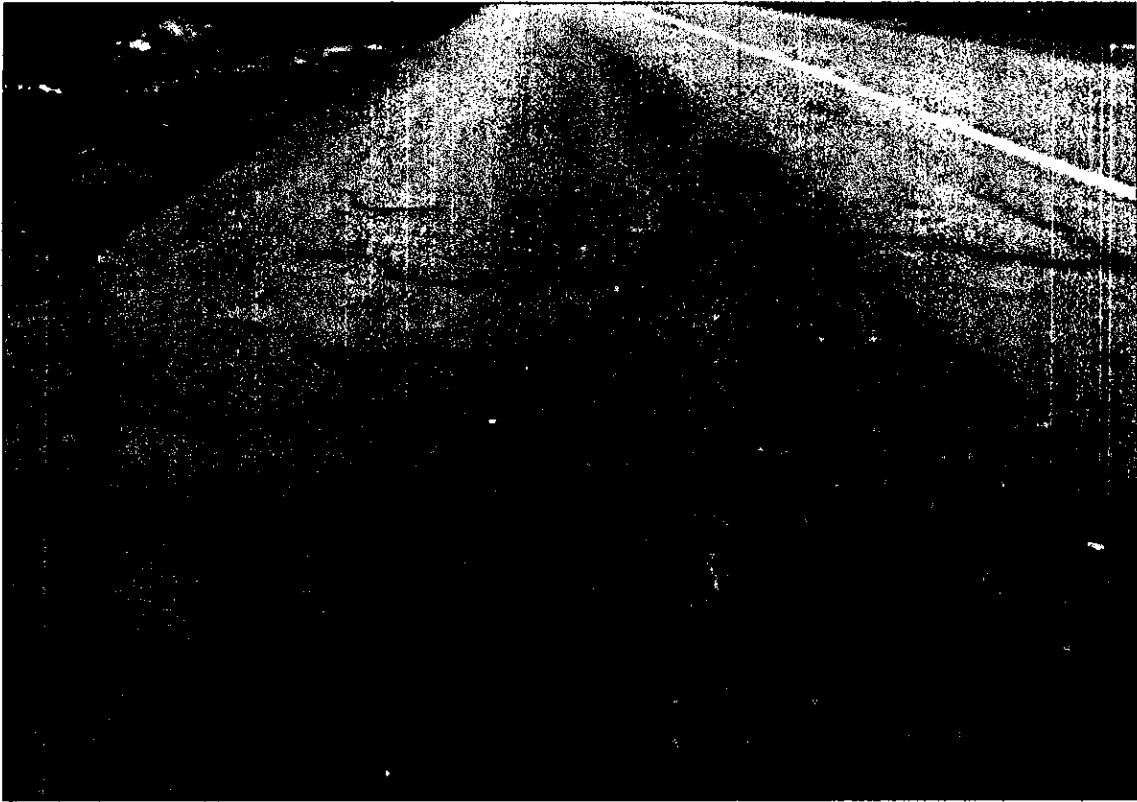
RODERAS O CANALIZACIONES

Definición:

Asentamiento o deformación permanente de la carpeta asfáltica en el sentido longitudinal debajo de las huellas o rodadas de los vehículos.

Causas probables:

1. Baja estabilidad de la carpeta
2. Carpeta mal compactada
3. Consolidación de una o varias de las carpetas subyacentes



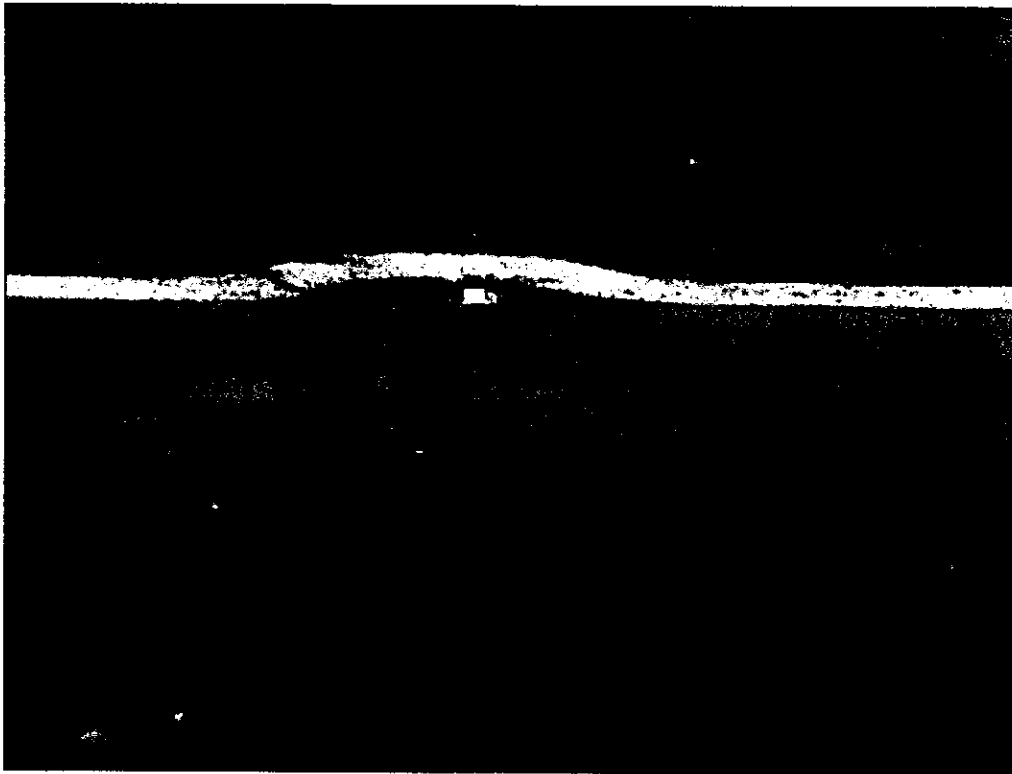
ONDULACIONES TRANSVERSALES (CORRUGACIONES)

Definición:

Ondulaciones de la carpeta asfáltica en el sentido perpendicular al eje del camino que contienen en forma regular crestas y valles alternados, regularmente con separación menor a 60 cm entre ellas.

Causas probables:

1. Unión deficiente entre las capas asfálticas y/o base
2. Estabilidad de la mezcla deficiente
3. Acción de tránsito intenso
4. Bases de mala calidad
5. Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenado de vehículos
6. Mala calidad de materiales que conforman la carpeta
7. Deformaciones diferenciales de suelos de cimentación que se reflejan en capas superiores



PROTUBERANCIAS

Definición:

Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones.

Causas probables:

1. Acción de tránsito intenso
2. Estabilidad inadecuada
3. Liga deficiente entre capas
4. Compactación inadecuada
5. Deformaciones plásticas de los materiales
6. Acción de heladas



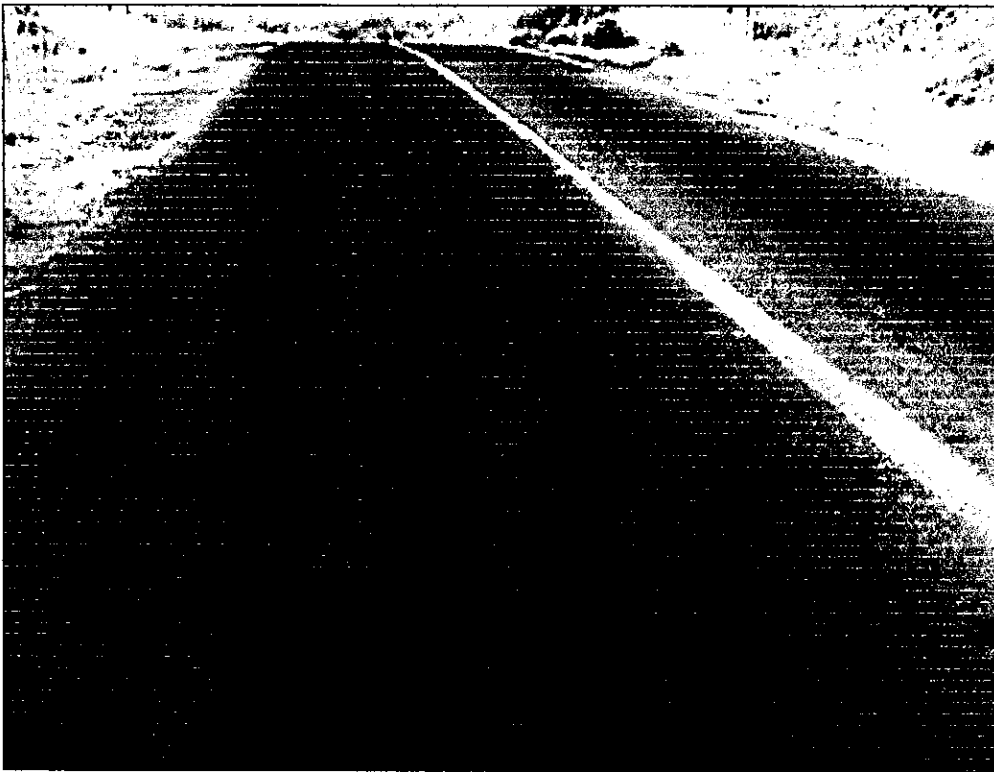
ASENTAMIENTO TRANSVERSAL

Definición:

Áreas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido transversal al eje del camino.

Causas probables:

1. Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento
2. Peso propio de la sección del pavimento
3. Suelos o cimentaciones resilientes
4. Cargas excesivas o superiores a las de diseño
5. Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén
6. Compactación inadecuada
7. Asentamientos diferenciales transversales
8. Procedimientos de construcción inadecuados
9. Drenaje o subdrenaje deficientes
10. Contaminación de capas inferiores
11. Desplome de cavidades subterráneas



ASENTAMIENTOS LONGITUDINALES

Definición:

Areas de pavimento localizadas en elevaciones más bajas que las áreas adyacentes o elevaciones de diseño, en el sentido longitudinal al eje del camino, en especial al centro y en los extremos laterales de la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Deformación diferencial vertical del suelo de cimentación o de las capas que forman la estructura del pavimento
2. Peso propio de la sección del pavimento
3. Suelos o cimentaciones resilientes
4. Cargas excesivas o superiores a las de diseño
5. Cambios volumétricos del cuerpo del terraplén
6. Compactación inadecuada
7. Asentamientos diferenciales longitudinales
8. Procedimientos de construcción inadecuados
9. Drenaje o subdrenaje deficientes
10. Desplome de cavidades subterráneas
11. Canalización del tránsito



CRESTAS LONGITUDINALES MASIVAS

Definición:

Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino, presentándose 2 y hasta 4 crestas a todo lo largo de ciertos tramos

Causas probables:

1. Liga inadecuada entre capas asfálticas
2. Pésima estabilidad de la mezcla asfáltica
3. Ligante de dudosa calidad
4. Flujo de la mezcla por acción de derrame de combustible (Diesel)
5. Tránsito intenso muy canalizado

PAVIMENTOS FLEXIBLES

ROTURAS

1. GRIETAS DE REFLEXION
2. AGRIETAMIENTO PARABOLICO
3. GRIETA ERRATICA O EN ZIG – ZAG
4. GRIETAS FINAS
5. AGRIETAMIENTO PIEL COCODRILO
6. AGRIETAMIENTO TIPO MAPA
7. GRIETA TRANSVERSAL
8. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL
9. AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN HOMBRO DE TERRAPLEN



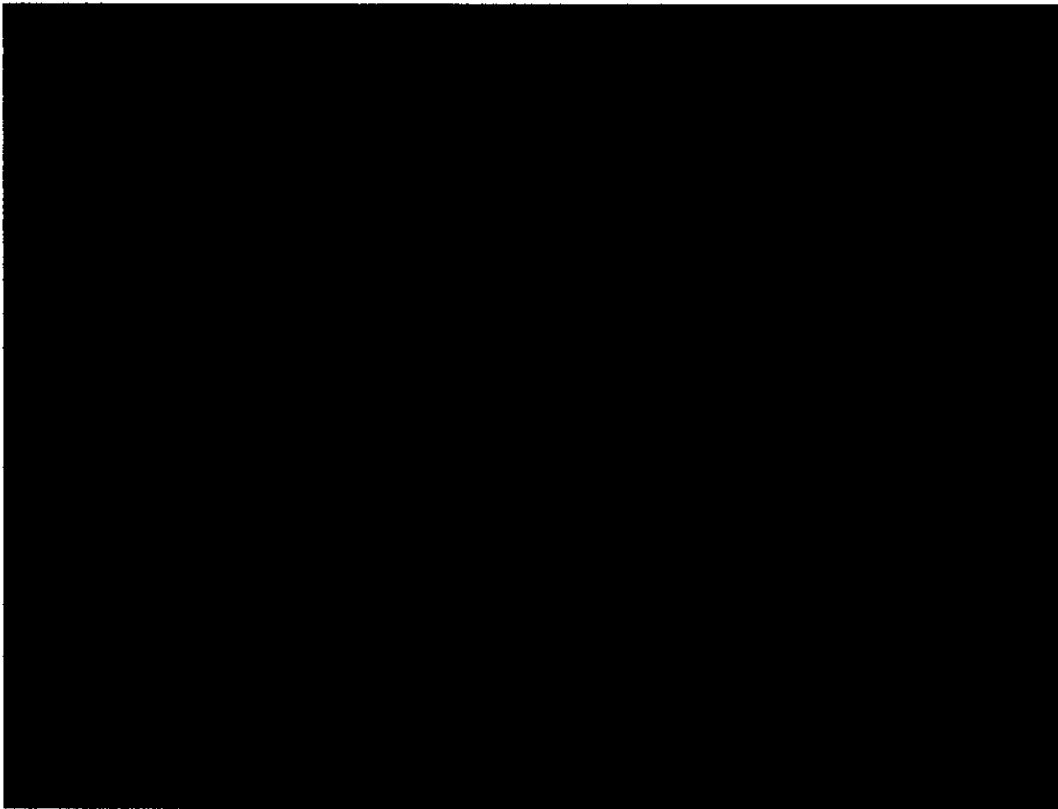
GRIETAS DE REFLEXION

Definición:

Grietas longitudinales y transversales que reflejan exactamente el patrón de agrietamiento o de juntas de un pavimento existente, cuando es reencarpetado con concreto asfáltico.

Causas probables:

1. Movimiento del pavimento subyacente
2. Liga inadecuada entre capas
3. Posibles contracciones de capa subyacente



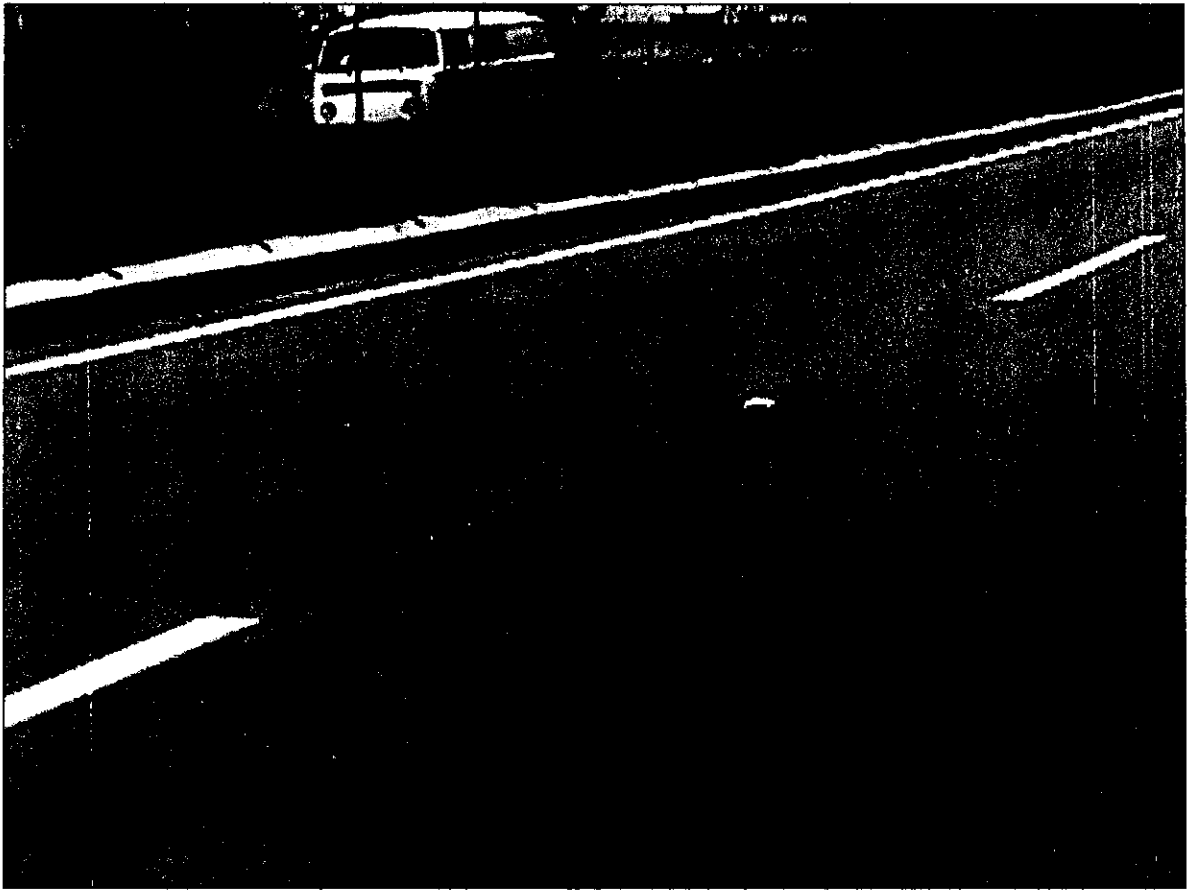
AGRIETAMIENTO PARABOLICO

Definición:

Grietas con forma de parábola o de media luna que se forman en la carpeta asfáltica en la dirección del tránsito.

Causas probables:

1. Carpeta de rodamiento débil
2. Zonas de frenaje de las ruedas
3. Mezcla inestable
4. Efecto en el arranque de las ruedas



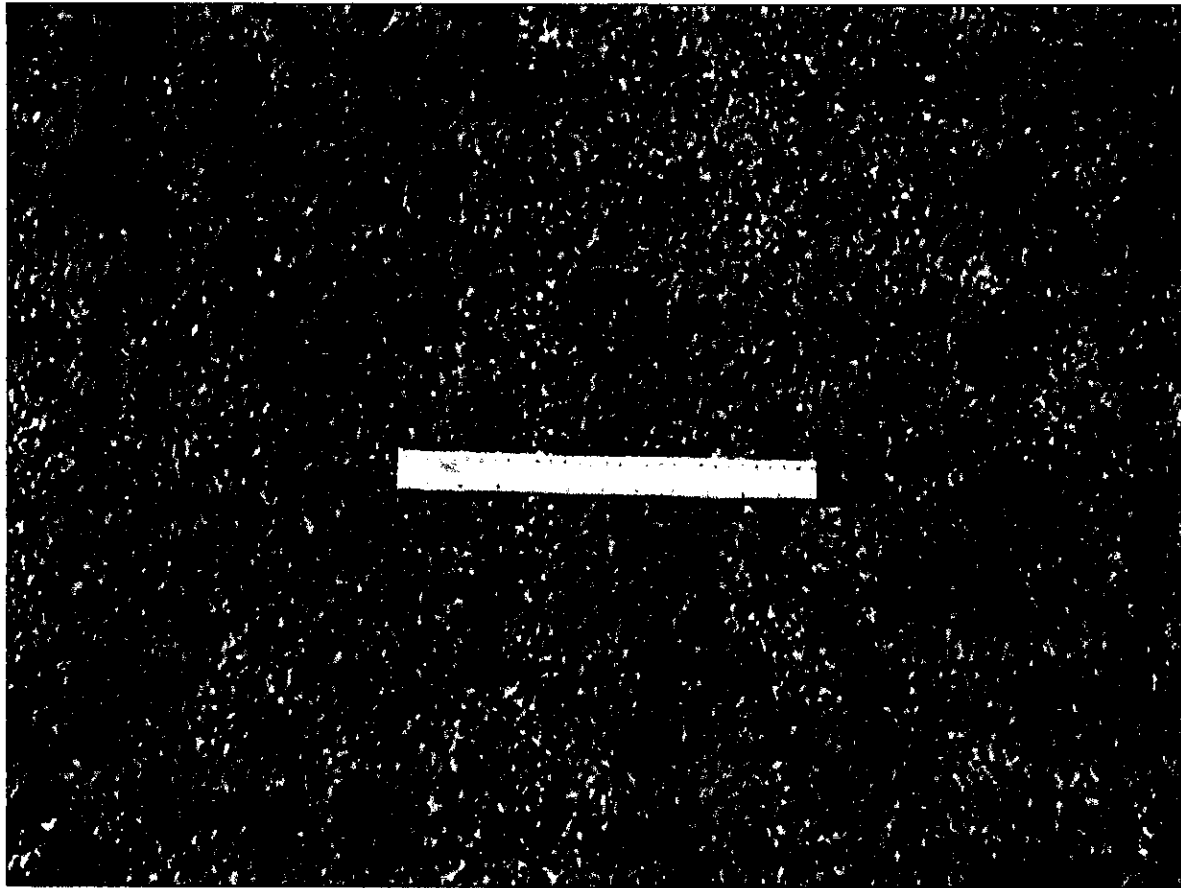
GRIETA ERRÁTICA EN ZIG - ZAG

Definición:

Agrietamiento en desorden de la carpeta asfáltica, siguiendo patrones longitudinales en forma errática o de zig – zag.

Causas probables:

1. Acción del hielo
2. Cambios extremos de temperatura
3. Base defectuosa
4. Terraplenes con taludes inestables



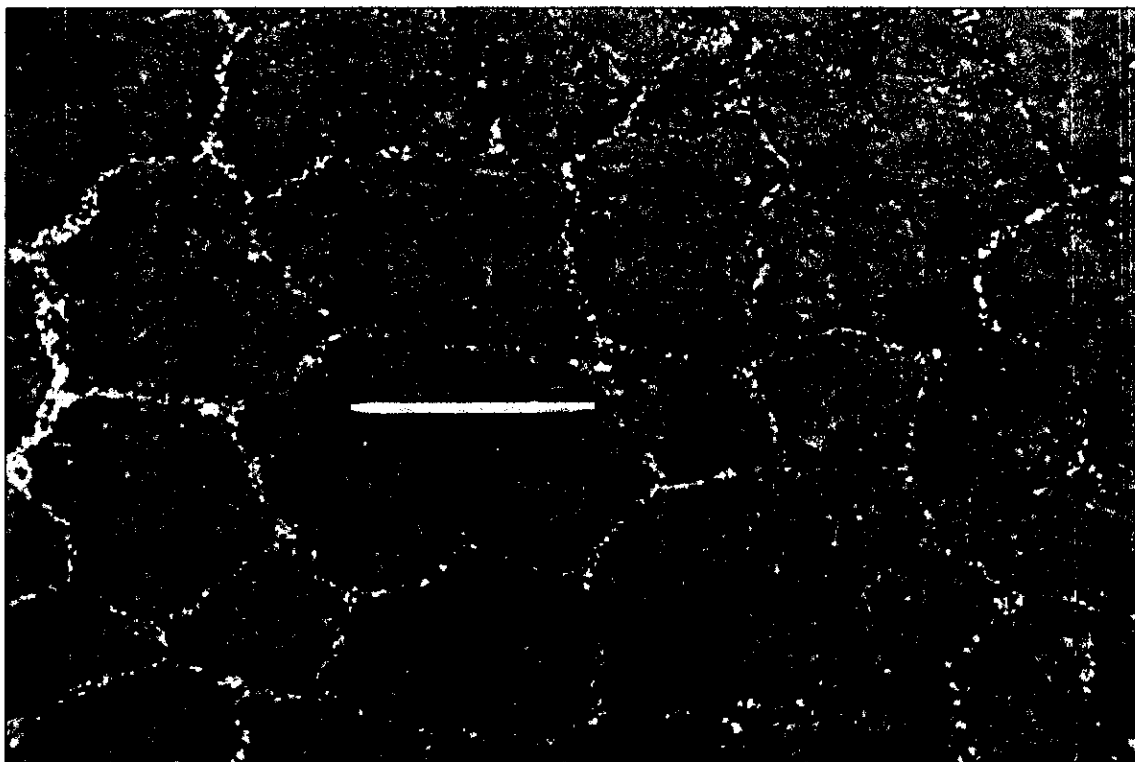
GRIETAS FINAS

Definición:

Pequeñas fisuras superficiales muy próximas la una con la otra, ya que no conforman un patrón regular y se extienden a cierta profundidad, pero no al espesor total de la carpeta.

Causas probables:

1. Envejecimiento de la carpeta asfáltica.
2. Oxidación del asfalto
3. Mala dosificación del asfalto
4. Exceso de finos en carpeta asfáltica
5. Compactación efectuada con mezclas muy calientes



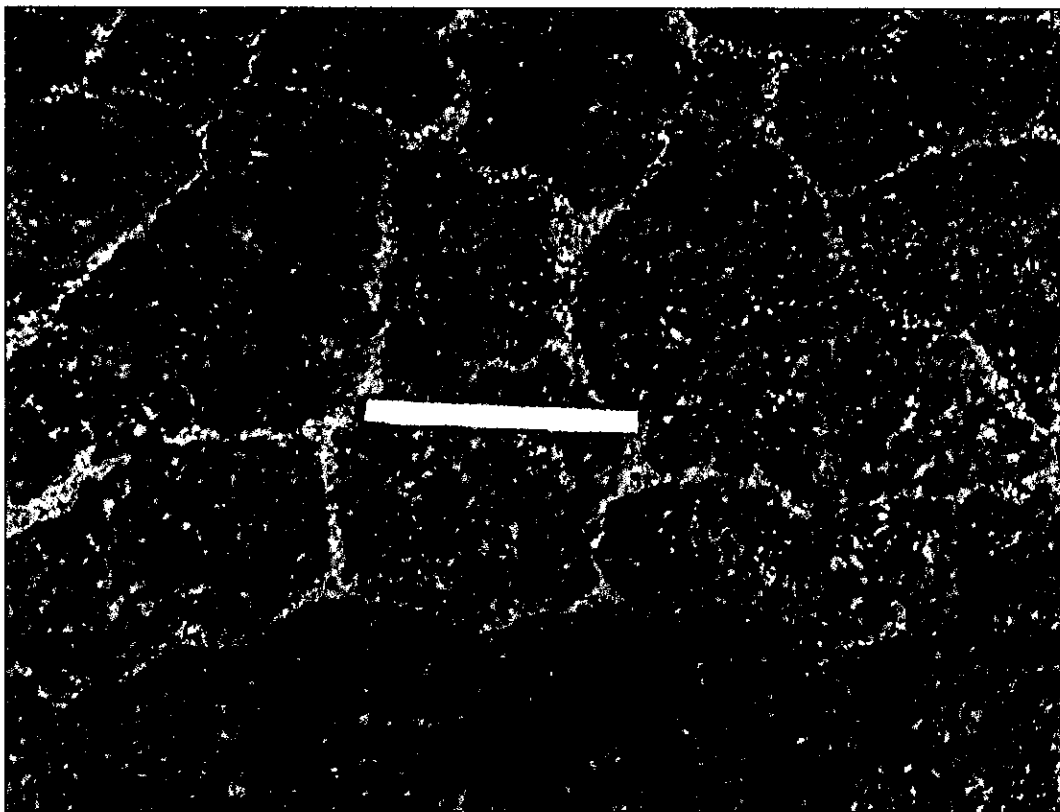
AGRIETAMIENTO PIEL DE COCODRILO

Definición:

Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, formando un patrón regular con polígonos hasta de 20 cm. Grietas interconectadas formando pequeños polígonos que asemejan la piel de un cocodrilo.

Causas probables:

1. Soporte inadecuado de la base
2. Debilidad de la estructura del pavimento
3. Carpetas rígidas sobre suelos de cimentación resilientes
4. Fuertes solicitaciones del tránsito
5. Fatiga
6. Envejecimiento
7. Escasez de espesor de la carpeta
8. Evolución progresiva de agrietamiento tipo mapa



AGRIETAMIENTO TIPO MAPA

Definición:

Forma de desintegración de la superficie de rodamiento, en la cual el agrietamiento se desarrolla en un patrón semejante a las subdivisiones políticas de un mapa, con polígonos mayores a los 20 cm.

Causas probables:

1. Calidad deficiente de alguna de las capas de la sección estructural
2. Debilidad de la estructura del pavimento
3. Carpetas rígidas sobre suelos de cimentación resilientes
4. Fuertes solicitaciones del tránsito
5. Fatiga
6. Envejecimiento
7. Espesor escaso de la carpeta



GRIETA TRANSVERSAL

Definición:

Agrietamiento de la carpeta que sigue un patrón transversal o perpendicular al eje del camino.

Causas probables:

1. Acción del tránsito
2. Reflejamiento de grietas en capas subyacentes
3. Espesor insuficiente de la carpeta
4. Contracción térmica de la superficie de rodamiento
5. Deficiencia en juntas transversales de construcción



AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL

Definición:

Fisura o grieta paralela al eje del camino o en muchos casos sobre el eje del camino.

Causas probables:

1. Deficiencias en la junta de construcción longitudinal
2. Reflejo de grietas en capa de base
3. Asentamiento de capas por el tránsito
4. Espesor insuficiente
5. Contracción de materiales de la capa de rodamiento
6. Asentamientos aislados de capas interiores
7. Drenaje insuficiente



AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL EN HOMBRO DE TERRAPLEN

Definición:

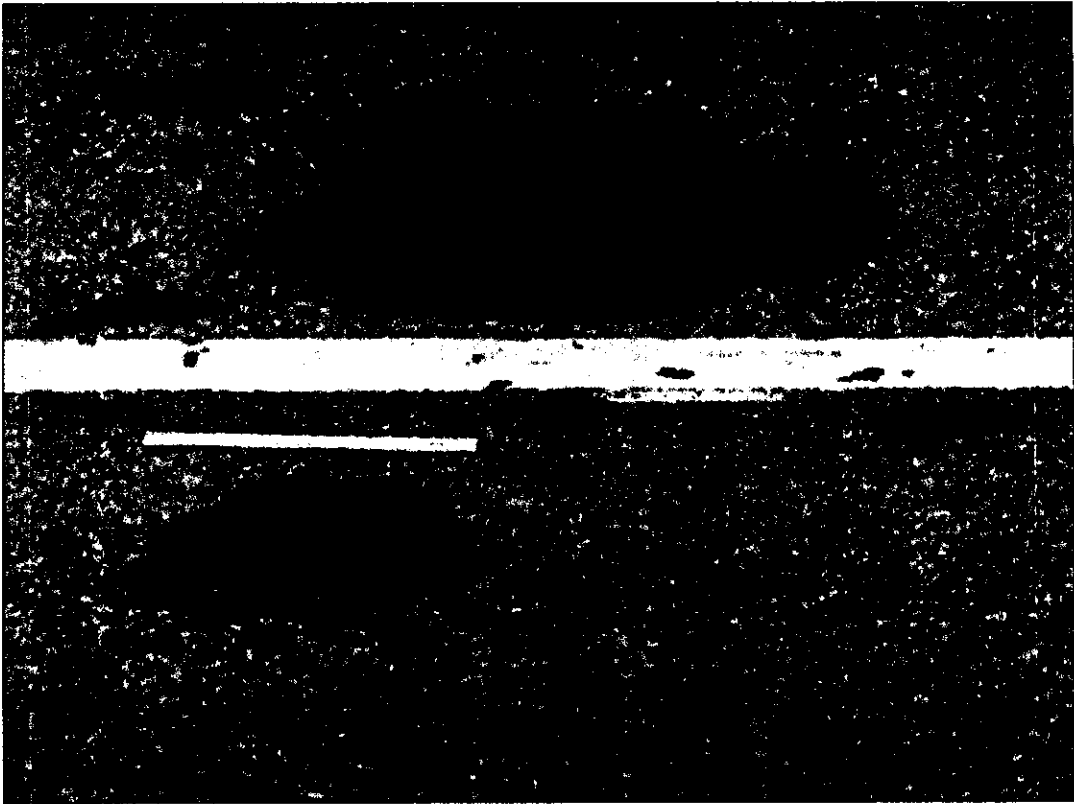
Líneas de rotura producidas en los bordes de la carretera paralelas al eje de la misma.

Causas probables:

1. Movimiento diferencial en ampliaciones de corona
2. Cambios volumétricos diferenciales entre el hombro del terraplén y la parte central del mismo
3. Rotura de equilibrio hidráulico
4. Degeneración por fallas de talud
5. Empuje hidrostático de agua almacenada
6. Influencia de la compactación (nula/poca/excesiva)
7. Susceptibilidad suelos finos al agrietamiento
8. Uso de materiales finos muy plásticos
9. Acción capilar intensa
10. Acción solar fuerte
11. Alteración período seco - lluvia

PAVIMENTOS FLEXIBLES**VARIOS**

1. LLORADO DE ASFALTO
2. AFLORAMIENTO DE HUMEDAD
3. MARCADO DE HUELLA
4. CONTAMINACION DE AGREGADOS
5. EXPULSION DE FINOS
6. CRECIMIENTO DE HIERBA A TRAVES DE LA CARPETA
7. CRECIMIENTO DE HIERBA ENTRE LA CARPETA Y CUNETA PARA DRENAJE SUPERFICIAL
8. OBSTRUCCION DE ALCANTARILLAS
9. AZOLVE EN DRENAJE SUPERFICIAL
10. OBSTRUCCION DEL DRENAJE POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS



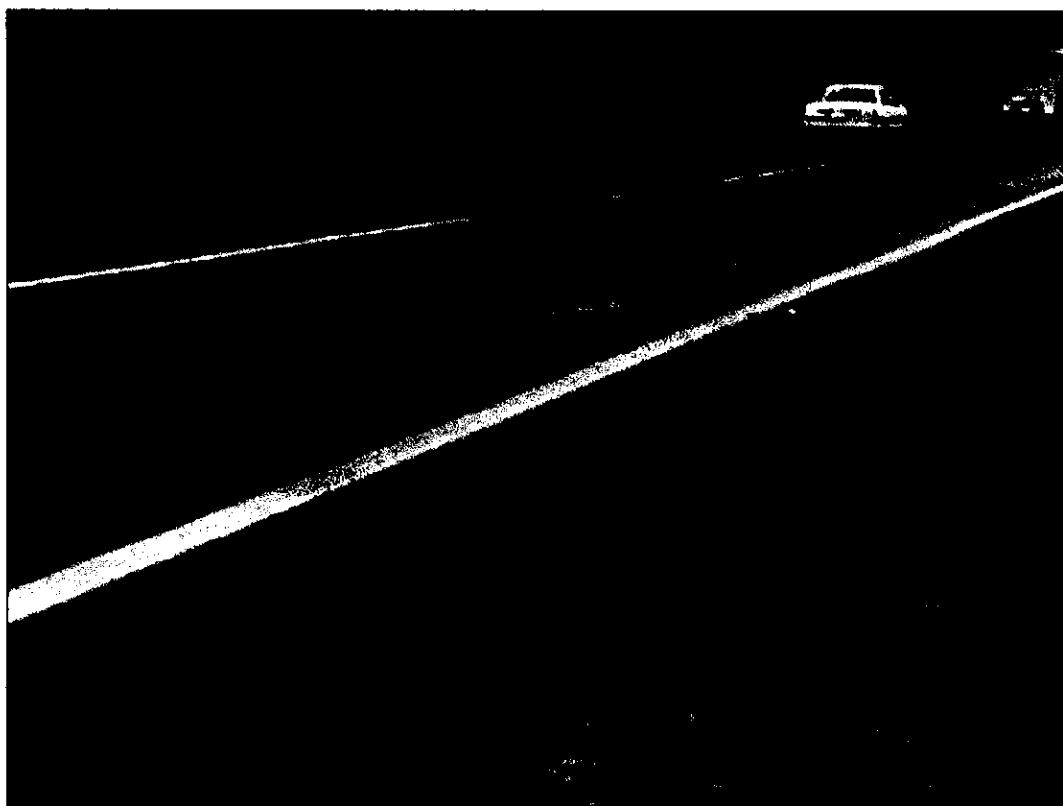
LLORADO DE ASFALTO

Definición:

Flujo de liberación del asfalto hacia la superficie de una carpeta asfáltica, formando una película o capa peligrosa y/o ascenso del asfalto a través de grietas.

Causas probables:

1. Exceso de asfalto
2. Excesiva compactación de mezclas ricas
3. Temperatura de compactación muy elevada
4. Sobredosificación de riego de liga.



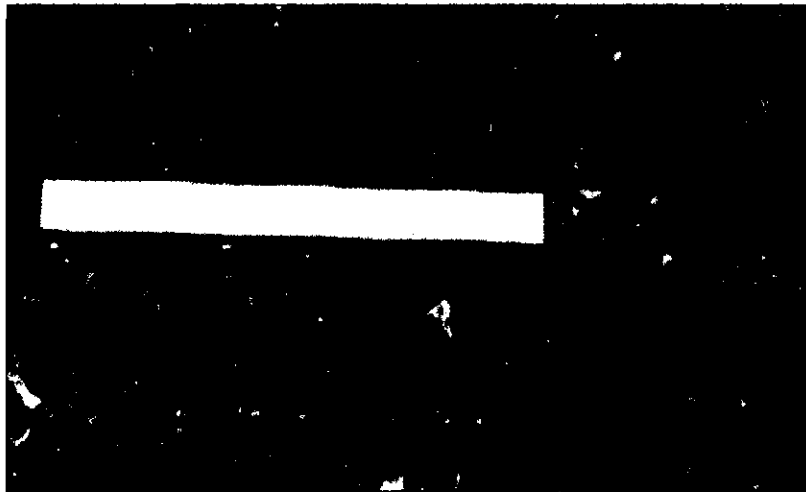
AFLORAMIENTO DE HUMEDAD

Definición:

Aparición de zonas húmedas en la superficie, con o sin encharcamiento.

Causas probables:

1. Deficiencia de drenaje superficial
2. Deficiencia o escasez de subdrenaje
3. Flujo ascendente de agua a través de grietas
4. Zonas mal compactadas
5. Capas porosas o de textura abierta
6. Bases saturadas
7. Flujo capilar de agua
8. Presiones hidrostáticas por el efecto del tránsito



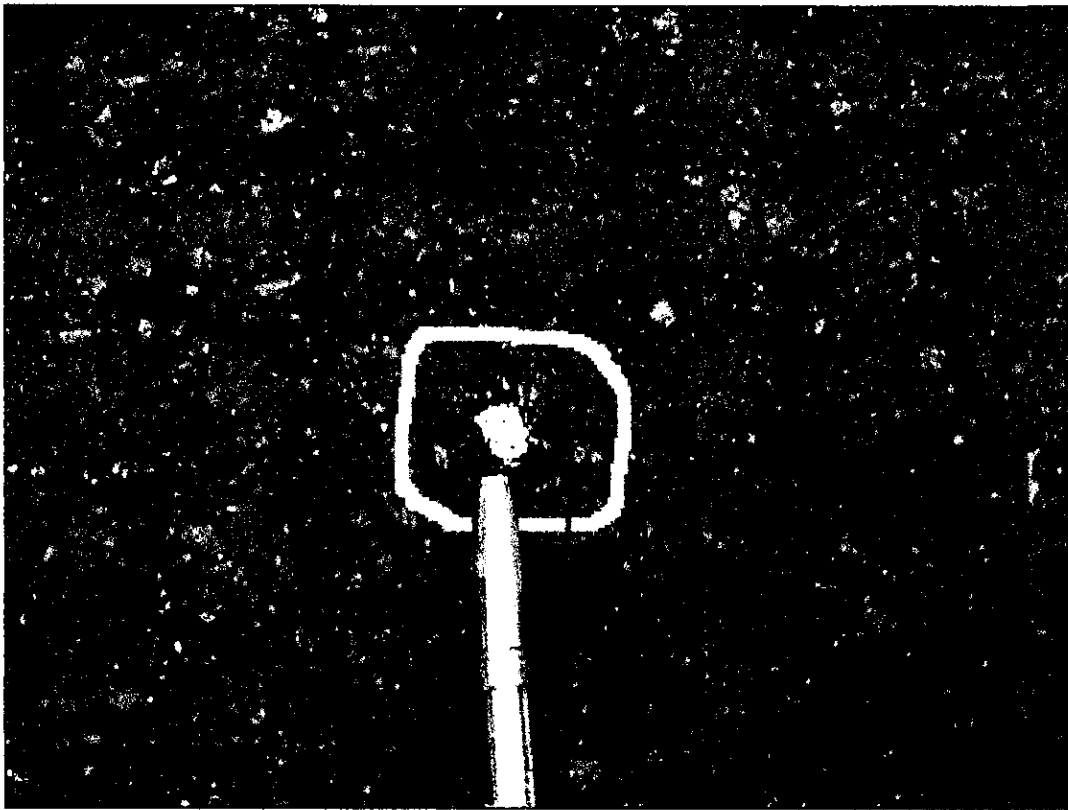
MARCADO DE HUELLA

Definición:

Impresión en relieve localizada en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Superficies de rodamiento débiles o suaves
2. Exceso en el contenido de asfalto
3. Altas temperaturas ambientales
4. Estacionamiento prolongado de vehículos pesados
5. Mezclas con estabilidad deficiente
6. Exceso de riegos de liga
7. Huellas por tránsito compactador de neumáticos



CONTAMINACION DE AGREGADOS

Definición:

Inclusión de materiales diferentes o ajenos a los agregados especificados, tales como la piedra pómez, de diferentes características y propiedades mecánicas.

Causas probables:

1. Dosificación inapropiada
2. Control de calidad pobre
3. Contaminación de bancos de agregados



EXPULSION DE FINOS

Definición:

Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas, de color blancuzco en esta fotografía.

Causas probables:

1. Acumulación de agua libre en capas subyacentes
2. Exceso de finos en capas de la sección del pavimento
3. Expulsión de cemento a través de grietas, en bases estabilizadas
4. Acción de tránsito intenso



CRECIMIENTO DE HIERBA A TRAVES DE LA CARPETA

Definición:

Producto de agrietamiento en acotamiento y en los hombros de la carretera; hierba silvestre que crece aflorando por las grietas y avanzando con la humedad hasta prácticamente erosionar o destruir parte de la carpeta.

Causas probables:

1. Drenaje superficial deficiente
2. Labores de conservación inadecuadas
3. Falta de sellado de las grietas cuando aparece



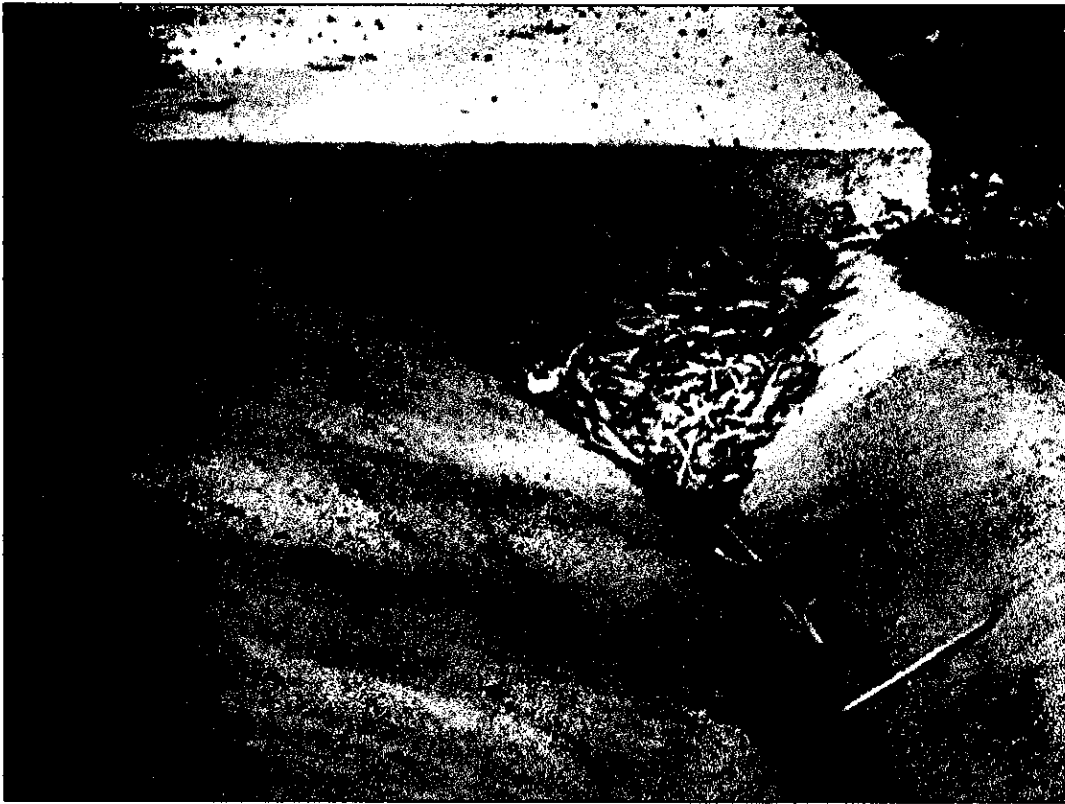
CRECIMIENTO DE HIERBA ENTRE CARPETA Y CUNETAS PARA DRENAJE SUPERFICIAL

Definición:

Jardín silvestre que aflora o crece longitudinalmente, entre la carpeta asfáltica y las cunetas de concreto hidráulico para drenaje superficial.

Causas probables:

1. Drenaje superficial deficiente
2. Labores de conservación inadecuadas
3. Falta de sellado longitudinal



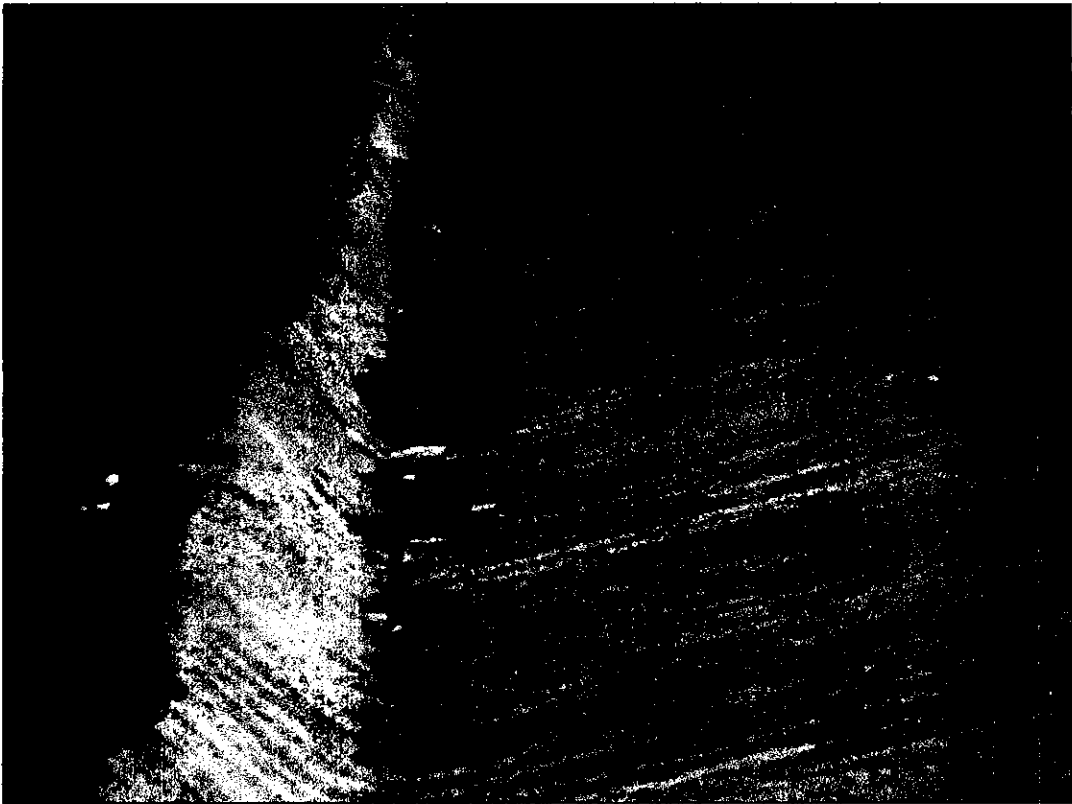
OBSTRUCCION DE ALCANTARILLAS

Definición:

La hierba o basura silvestre, obstruye parcial o totalmente el flujo del agua.

Causas probables:

1. Conservación inadecuada



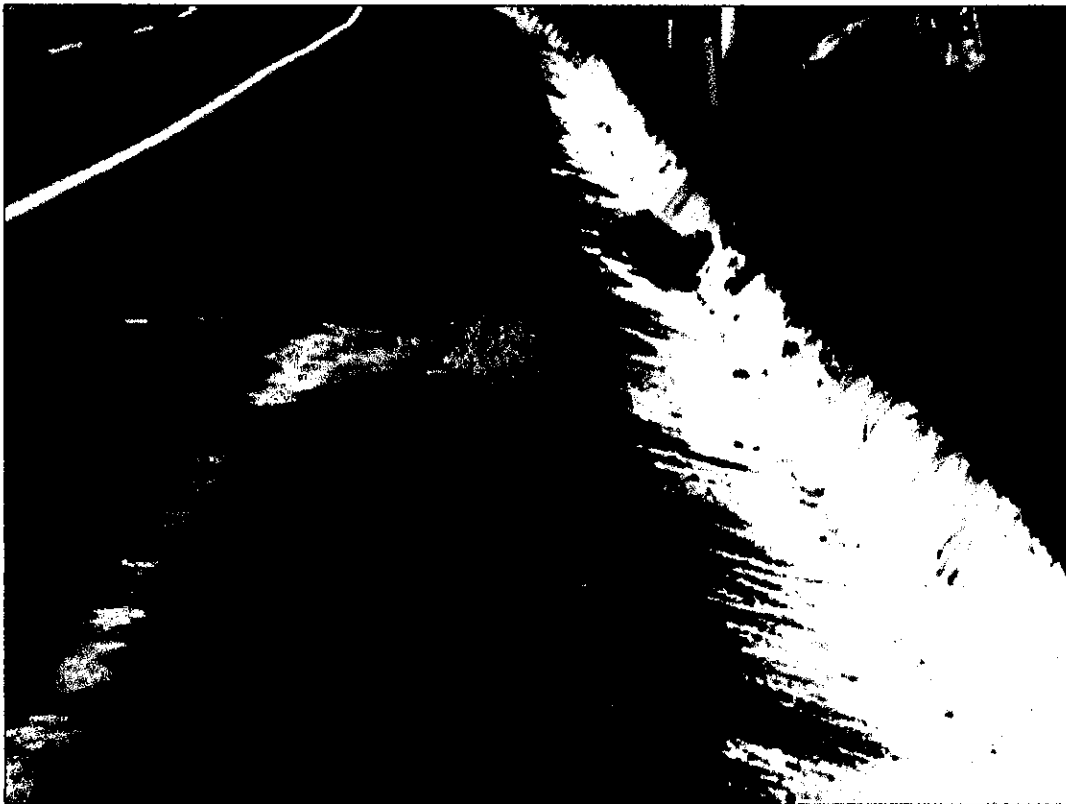
AZOLVE EN DRENAJE SUPERFICIAL

Definición:

Arrastre de material suelto, por falta de conservación periódica, tapa o azolva el drenaje superficial; repercute en un mal comportamiento del pavimento.

Causas probables:

1. Descuido y falta de oportunidad en el mantenimiento preventivo de un camino



OBSTRUCCION DEL DRENAJE POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS

Definición:

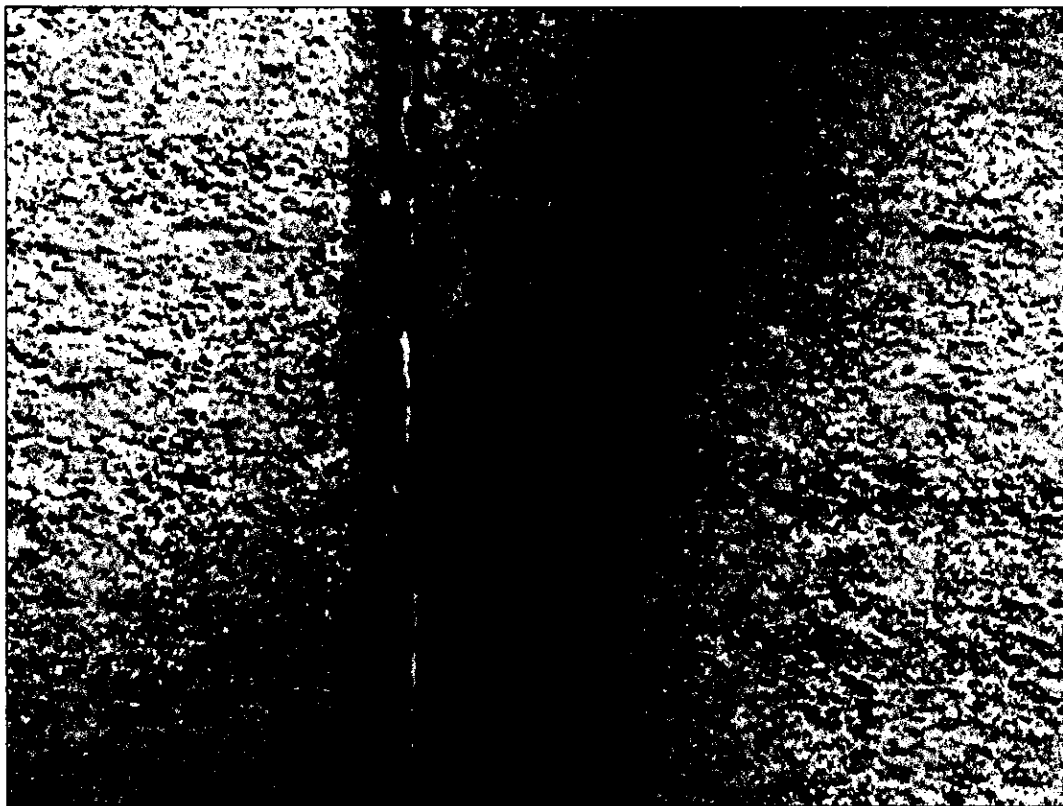
En taludes muy verticales es frecuente el desprendimiento de rocas sobre la carretera y en especial en los acotamientos para drenaje superficial. Lo anterior obstruye parcial o totalmente el flujo adecuado del agua por su drenaje, repercutiendo en el comportamiento de la sección del pavimento.

Causas probables:

1. Falta de mantenimiento preventivo oportuno

PAVIMENTOS RIGIDOS

DESPRENDIMIENTOS
1. EYECCION DE LA JUNTA 2. ESCAMADO O ESCARAPELADO 3. RUGOSIDADES
DEFORMACIONES
4. LEVANTAMIENTO DE LA LOSA
ROTURAS
5. GRIETA LONGITUDINAL 6. GRIETA TRANSVERSAL 7. FRACTURA EN ESQUINA 8. GRIETA EN DIAGONAL 9. RESQUEBRAJAMIENTO 10. PIEL DE COCODRILO
VARIOS
11. AFLORACIONES



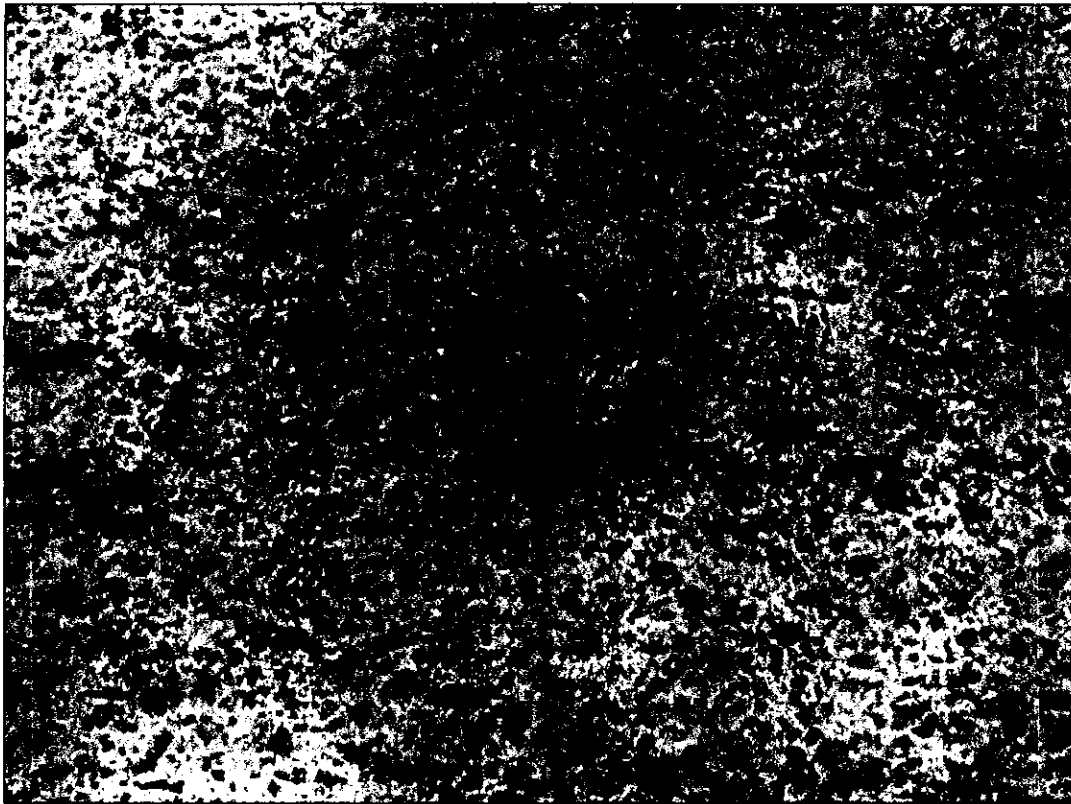
EYECCION DE LA JUNTA

Definición:

Material que sale por la junta de dilatación

Causas probables:

1. Espacio demasiado exiguo de la junta cuando las losas se dilatan
2. Junta "derretida" por una temperatura elevada y esparcida fuera de las losas por el paso de vehículos



ESCAMADO O ESCARAPELADO

Definición:

Desintegración superficial del concreto

Causa probable:

Corrosión del concreto por los productos anticongelantes.



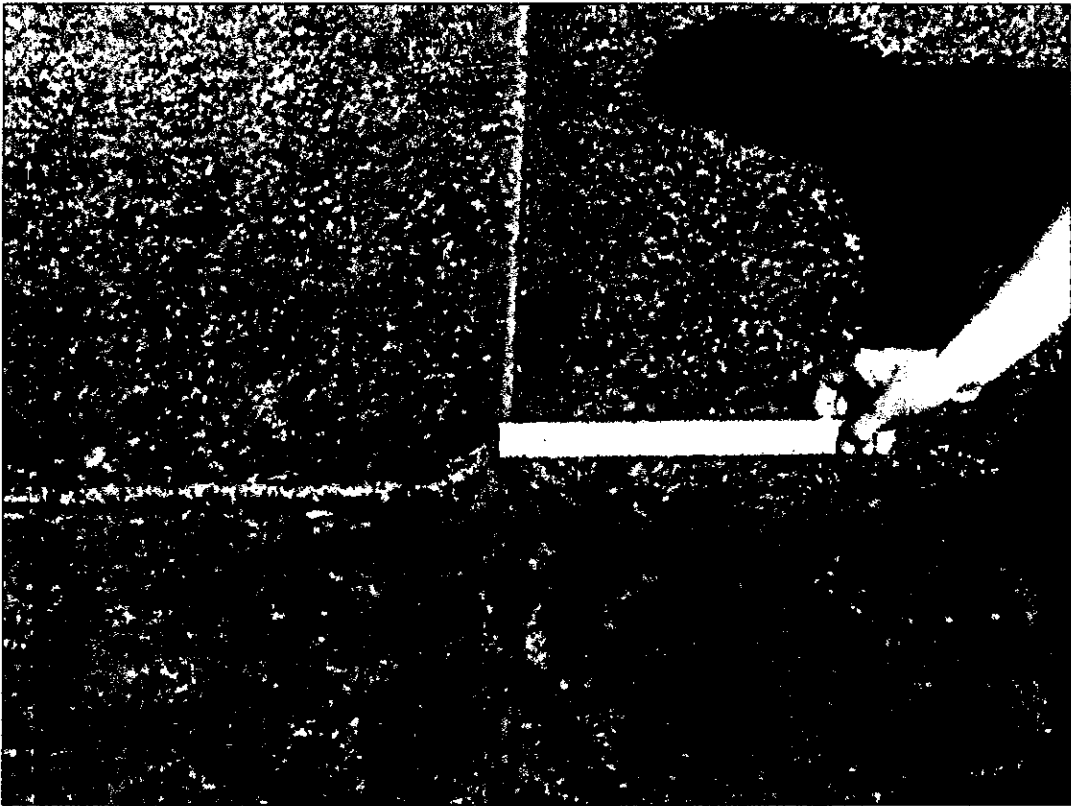
RUGOSIDADES

Definición:

Piedras duras que aparecen en relieve en la superficie del pavimento por el desgaste de ésta.

Causas probables:

1. Pulido defectuoso de la losa de concreto
2. Exceso de vibrado, propiciando un ascenso de la lechada, formándose una pequeña película dura que más tarde, con el tránsito, se agrieta y desgasta, dejando sin protección superficial a los agregados.



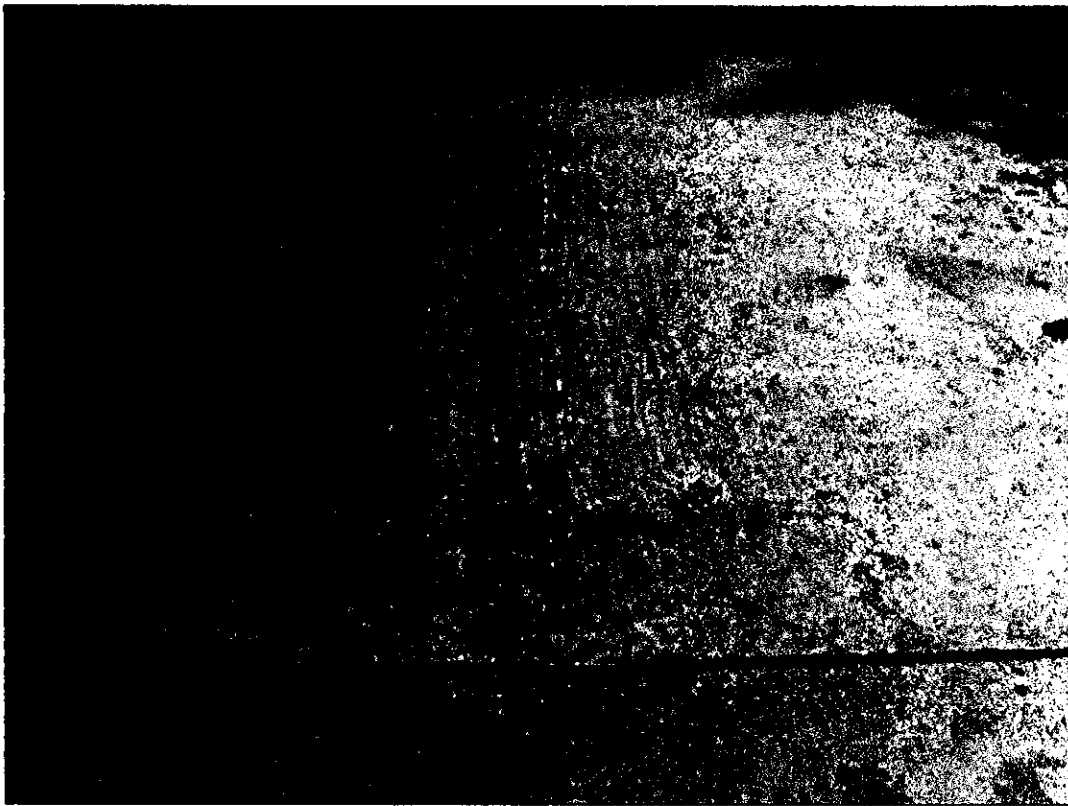
LEVANTAMIENTO DE LA LOSA

Definición:

Considerable desnivel transversal en la junta.

Causa probable:

Dilatación demasiado grande de la losa para las dimensiones de la junta



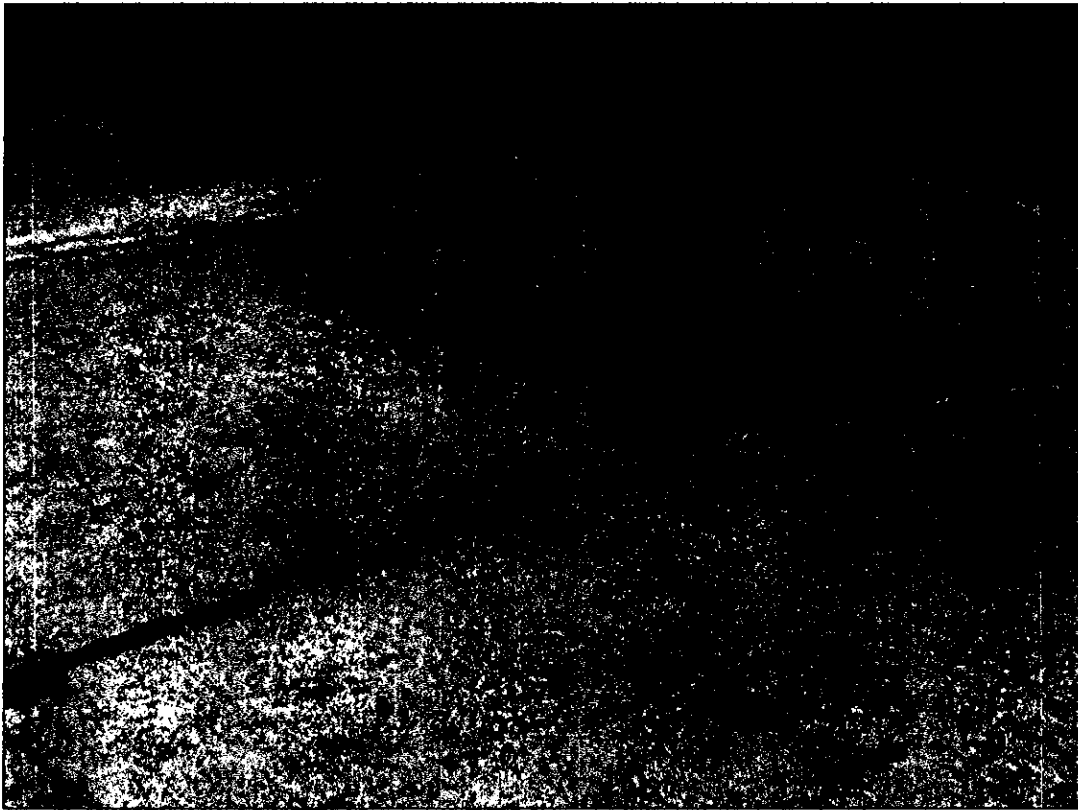
GRIETA LONGITUDINAL

Definición:

Agrietamiento longitudinal de la losa de concreto a todo el espesor que la separa en dos.

Causas probables:

1. Asentamiento del suelo de cimentación
2. Sobrefatiga de la losa



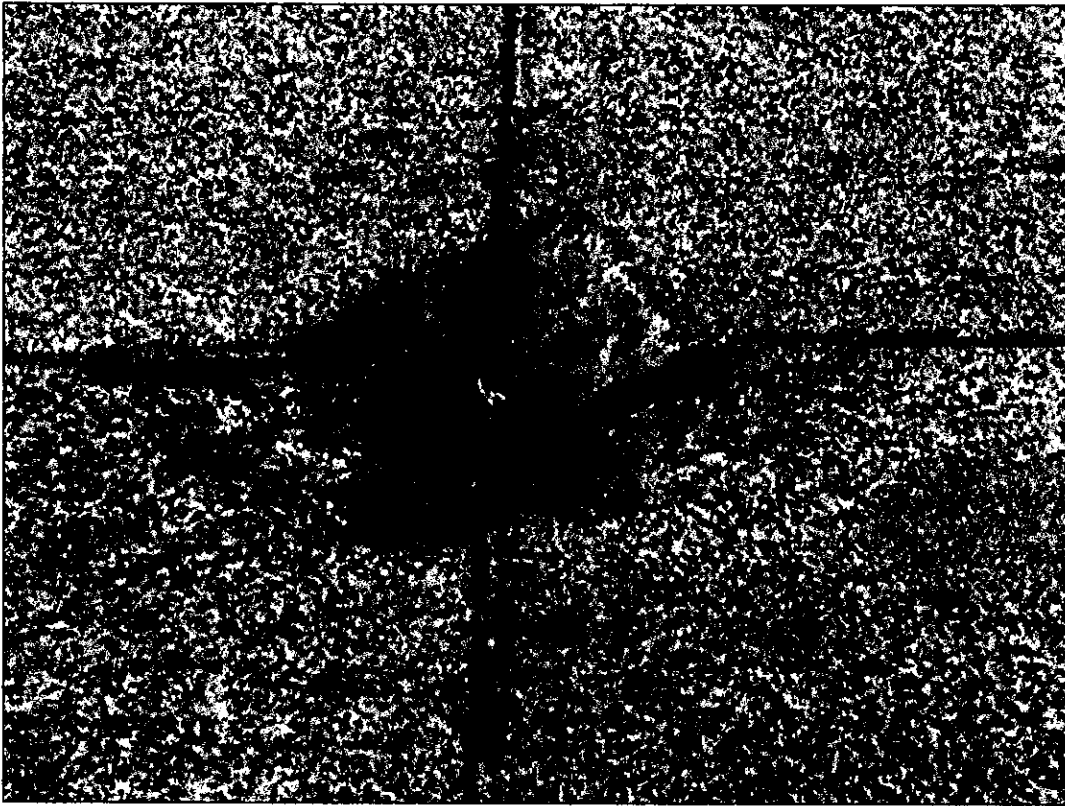
GRIETA TRANVERSAL

Definición:

Agrietamiento transversal de la losa de concreto a todo el espesor, que la separa en dos.

Causas probables:

1. Asentamiento del suelo de cimentación
2. Suelo de cimentación deformado



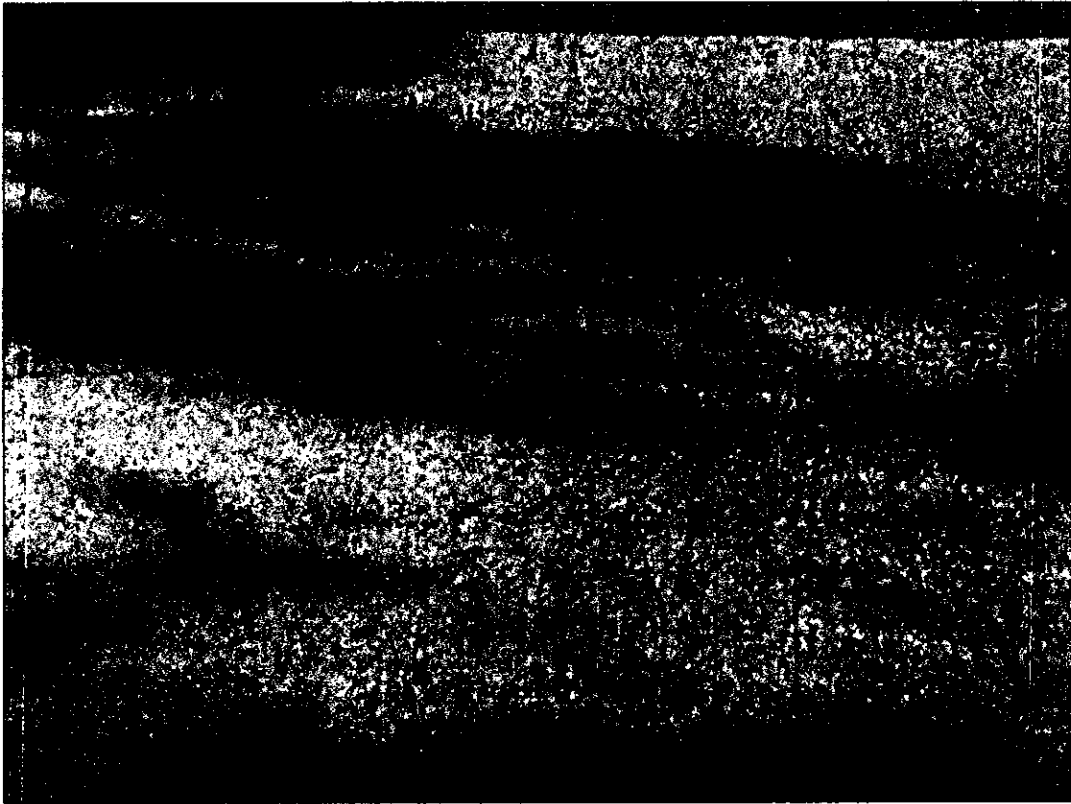
FRACTURA EN ESQUINA

Definición:

Descascarado en las esquinas de las losas

Causa probable:

Presencia de partículas duras que se han introducido en las juntas por insuficiente calafateo y que les producen esfuerzos concentrados muy grandes



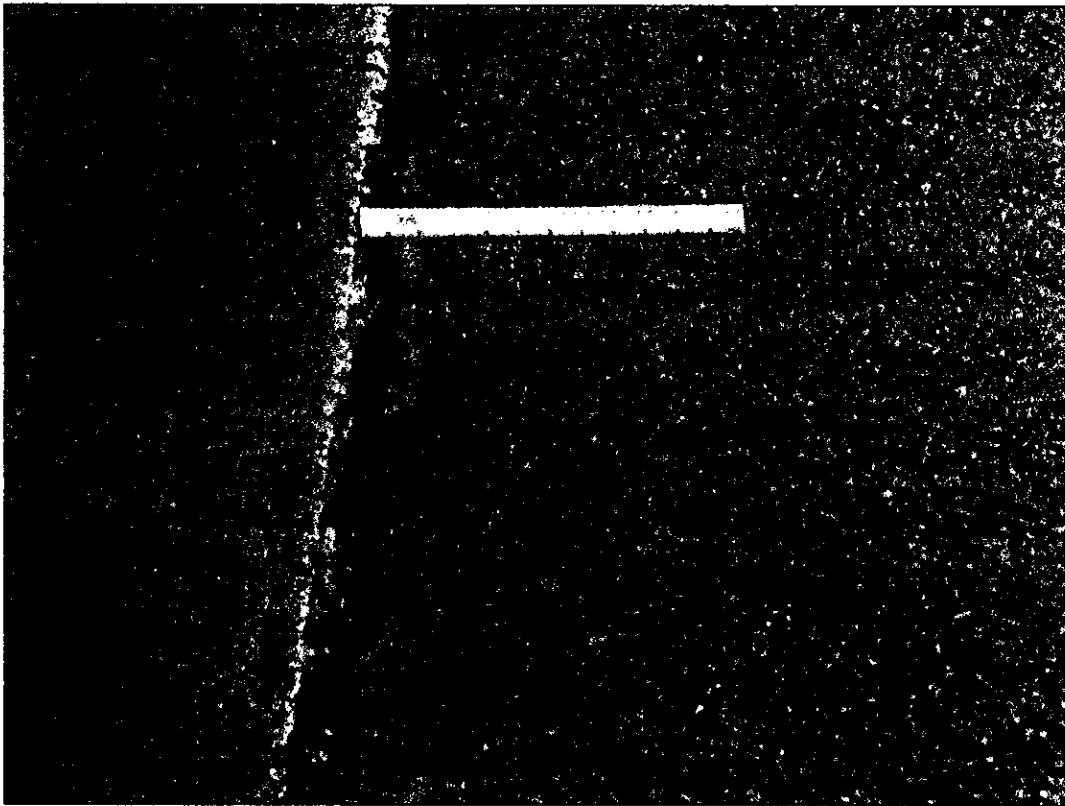
GRIETA EN DIAGONAL

Definición:

Agrietamiento de la losa de concreto que la separa en dos

Causas probables:

1. Insuficiente espesor de la losa
2. Asentamiento de la cimentación de la losa



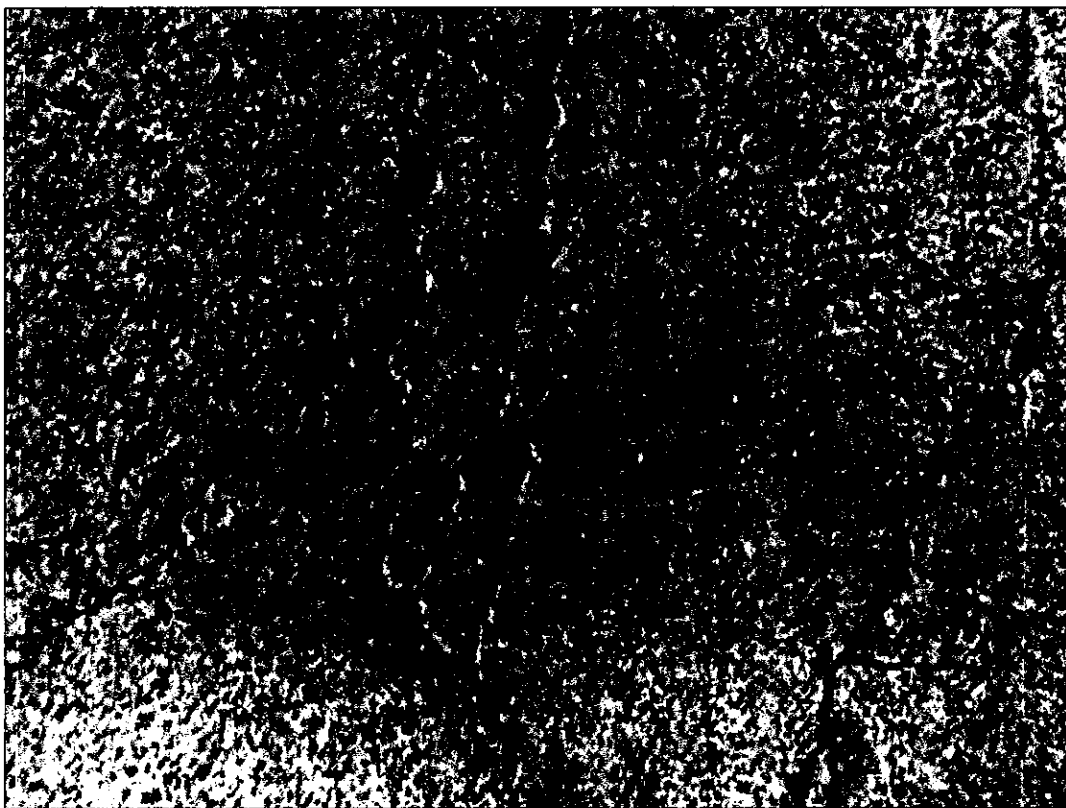
RESQUEBRAJAMIENTO

Definición:

Desmoronamiento del borde de la losa al nivel de la junta

Causa probable:

Fragilidad del borde de la losa en función de cargas pesadas repetidas



AGRIETAMIENTO PIEL DE COCODRILO

Definición:

Agrietamiento en forma reticular

Causa probable:

Fatiga externa de las losas de concreto debido a un tránsito intenso



EFECTO DE BOMBEO

Definición:

Cavidad que se forma bajo las losas, que se llena de agua y de lodo, y que brota por el paso de los vehículos.

Causas probables:

Infiltración de agua bajo las losas, dando origen a lodo que sale a la superficie por el paso de los vehículos.

CRITERIOS PROBABLES DE REPARACION

Grupo en que se clasifica el deterioro	Nombre del deterioro	Criterios probables de reparación
Desprendimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Baches 	<p>Cajear rectangularmente el área fallada, eliminando los materiales de mala calidad o que presenten humedad excesiva. Rellenar con materiales de características adecuadas, reponiendo la estructura de pavimento mediante capas debidamente compactadas. Las paredes de la caja deben hacerse verticales y 2 de sus lados serán normales a la dirección del tránsito. La caja debe abarcar cuando menos 30 cm dentro de la zona aparentemente sana, adyacente al área fallada. Se procurará, mediante una regla, que el nivel superior de relleno quede bien perfilado respecto al resto de la sección transversal.</p>
Desprendimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Desintegración 	<p>Dar un riego, en proporción adecuada, con un producto asfáltico, que tenga buena afinidad con el material pétreo, bien sea solo o mediante el uso de algún aditivo. Puede ser necesaria la aplicación de un riego de sello o de un mortero asfáltico, según el caso.</p>
Desprendimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Desprendimiento de agregados • Desprendimiento de sello 	<p>Previo barrido de la superficie, aplicar un riego ligero, bien distribuido y correctamente dosificado, de asfalto rebajado o de emulsión asfáltica, para evitar que el material se continúe desprendiendo. Si el desprendimiento es atribuido a la poca afinidad del material pétreo con el asfalto, se procurará que el material asfáltico que se emplee satisfaga esta propiedad, bien sea solo mediante el uso de algún aditivo adecuado. Si el desprendimiento del material es muy pronunciado, puede requerirse la aplicación de un nuevo riego de sello o de una sobrecarpeta y riego de sello, de características adecuadas.</p>
Desprendimientos	<ul style="list-style-type: none"> • Pulido de la superficie 	<p>Dar un nuevo riego de sello con los materiales adecuados.</p>
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Asentamientos longitudinales o transversales ligeros 	<p>Renivelar con mezcla asfáltica, limpiando previamente la superficie y dando un riego de liga.</p>
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Asentamientos longitudinales o transversales relativamente fuertes 	<p>Reparar debidamente la zona de asentamiento, reconstruyendo por capas la sección original. Es necesario revisar y corregir deficiencias en el anclaje de los terraplenes (falta de escalones de liga) y/o en el drenaje del área afectada.</p>

Grupo en que se clasifica el deterioro	Nombre del deterioro	Criterios probables de reparación
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Ondulaciones transversales 	<p>Donde se presentan fuertes esfuerzos de arranque y frenaje:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Escarificar y eliminar la carpeta. Recompactar la base. Construir una nueva carpeta de espesor y resistencia adecuados. <p>Donde exista carpeta con baja estabilidad por exceso de asfalto o solventes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Levantar la carpeta y corregir la mezcla, si esto es posible, para aprovecharla nuevamente. La corrección puede consistir en orearla para hacer que pierda solventes, para agregarle material pétreo adicional de mejores características, etc. <p>Si no es posible aprovechar la carpeta, será necesario eliminarla y construir una nueva de calidad y espesor adecuados.</p>
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Crestas longitudinales masivas • Protuberancias 	<p>Eliminar la carpeta desplazada, cajeando rectangularmente la zona afectada. Reponer la carpeta en forma adecuada y sellar la nueva capa.</p>
Deformaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Roderas o canalizaciones 	<p>Renivelar con mezcla asfáltica de características adecuadas; previamente, delimitar el área, limpiarla de materias extrañas y sellar la nueva capa.</p>
Roturas	<ul style="list-style-type: none"> • Grietas longitudinales 	<p>Si las grietas son de aberturas muy pequeñas, es bastante fácil rellenarlas y a veces sólo hay que limitarse a tenerlas en observación para ver la forma como progresan. Cuando en factible, se sellan con emulsión asfáltica o con asfaltos rebajados.</p> <p>Si las grietas tienen una abertura de alrededor de 30 mm o más, se pueden calafatear con un mortero asfáltico o con una mezcla asfáltica con rebajado y arena o bien con un cemento asfáltico. Existen también en el mercado productos especiales a base de asfalto, para el relleno de grietas.</p> <p>La zona de grietas por sellar debe barrerse y de ser posible usar aire comprimido para limpiar mejor las aberturas por donde entrará el material sellante.</p> <p>El mortero asfáltico o la mezcla de asfalto rebajado y arena, se aplicarán manualmente y deben tener la fluidez adecuada para penetrar en las grietas. Pude ser necesario que sobre la superficie del sellante recién aplicado se riegue arena seca, para que el tránsito no lo levante.</p>

Grupo en que se clasifica el deterioro	Nombre del deterioro	Criterios probables de reparación
Roturas	<ul style="list-style-type: none"> Grietas transversales 	<p>Proceder en forma similar a la descrita en el caso del arreglo de grietas longitudinales. Puede ser conveniente aplicar un riego de sello abarcando el área agrietada.</p>
Roturas	<ul style="list-style-type: none"> Agrietamiento piel de cocodrilo Agrietamiento tipo mapa 	<p>Si el agrietamiento no ha originado movimientos en los fragmentos de carpeta y el área no esta muy deformada, podría procederse a un calafateo o tratamiento de las grietas, en la forma descrita anteriormente, pero la mayoría de las veces esto constituye solo un arreglo temporal, incluso cuando se aplica mortero asfáltico o mezcla de rebajado y arena a toda el área agrietada.</p> <p>Por lo general, es necesario cajear, eliminar la carpeta agrietada y los materiales de mala calidad o con exceso de humedad de las capas inferiores y reponer los materiales extraídos con otros adecuadamente colocados, en forma similar a lo descrito en el caso del arreglo de baches.</p> <p>Si este tipo de fallas tiende a abarcar grandes áreas mas o menos grandes, es necesario analizar el diseño y la construcción del pavimento y el drenaje.</p>
Roturas	<ul style="list-style-type: none"> Grietas parabólicas 	<p>Si el agrietamiento se ha detenido y no se presentan desplazamientos notables o corrugaciones en la carpeta, puede ser suficiente con calafatear o tratar las grietas.</p> <p>Si la carpeta, además de agrietada, está desplazada, corrida y/o deformada, tendrá que levantarse y reponerse adecuadamente.</p>
Varios	<ul style="list-style-type: none"> Llorado de asfalto 	<p>Si la carpeta no presenta inestabilidad puede ser suficiente con calentar superficialmente con quemadores y regar una cantidad adecuada con material pétreo de sello, fijándolo inmediatamente mediante planchado.</p> <p>Puede dar resultado también en vez de calentar superficialmente, agregar o regar el pétreo caliente y fijarlo mediante planchado.</p> <p>Si la carpeta es inestable, puede ser necesario levantarla para rebajarla y mejorarla y después sellarla o de lo contrario, desecharla y reponerla por una nueva, a la que se aplicará un riego de sello.</p>

Grupo en que se clasifica el deterioro	Nombre del deterioro	Criterios probables de reparación
Varios	<ul style="list-style-type: none">• Crecimiento de hierba a través de la carpeta• Obstrucción de alcantarillas• Azolve en drenaje superficial• Obstrucción de drenaje por desprendimiento de rocas	Dar el adecuado y oportuno mantenimiento preventivo necesario para evitar otro tipo de fallas.

En la tabla anterior se pueden observar cuales serían los probables criterios de reparación para los deterioros ya conocidos mediante el catálogo; sin embargo cabe señalar que las técnicas que se emplean en la actualidad, para la conservación y rehabilitación de los pavimentos, serán descritas más adelante.

CAPITULO V

TECNICAS PARA LA CONSERVACION Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS CARRETEROS

V.1 DIFERENCIA ENTRE CONSERVACION Y REHABILITACION.....	184
V.2 DIFERENTES TECNICAS QUE SE EMPLEAN PARA LA CONSERVACION Y REHABILITACION.....	187
V.3 DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS TECNICAS.....	190

V.1 DIFERENCIA ENTRE CONSERVACION Y REHABILITACION

El deterioro de la superestructura de las carreteras se inicia en el momento en que se termina su construcción, conservación o rehabilitación.

La **conservación** significa mantener los elementos e instalaciones de que consta una carretera en condiciones tan parecidas como sea posible, a las de su estado original cuando fue construida o mejorada, bajo condiciones normales de tránsito y del medio ambiente.

El objetivo de la conservación es lograr que la carretera preste servicio para el que fue construida, bajo condiciones de seguridad y confort, prolongando la vida de la misma.

Dependiendo de las circunstancias prevaecientes, lo anterior sugiere la periódica y casi inmediata aplicación de acciones rutinarias, que tiendan a la prevención y corrección de situaciones inaceptables o desfavorables, desde el punto de vista de la correcta utilización de la carretera. Estas acciones son aplicables principalmente a la estructura de dicha obra, sin embargo se extienden además a las fajas del derecho de vía.

La ejecución de las acciones mencionadas deben ser oportunas y adecuadas para que cumplan con su cometido. De ser así, se podrá prolongar la vida útil de la estructura; sin embargo, a pesar de ello, con el tiempo se incrementará el número e importancia de los deterioros que se manifiesten en la superficie de la estructura, se volverá incómodo e inclusive peligroso su rodamiento y los costos de conservación se incrementarán, alcanzándose niveles excesivos para estos parámetros, por lo que deberán emprenderse otro tipo de acciones, de mayor importancia y de costo superior, que se denomina **rehabilitación**, cuyos principales objetivos son:

1. Mejorar las condiciones superficiales para un recorrido cómodo y seguro
2. Ampliar la vida de la estructura vial, iniciando un nuevo ciclo de vida
3. Reconstruir las secciones que manifiesten debilidad estructural o de su terreno de cimentación
4. Mejorar las condiciones de drenaje y subdrenaje
5. Mejorar las condiciones geométricas, incluyendo los alineamientos vertical y horizontal, ancho de corona, visibilidad, etc.

En otras palabras, las acciones comprendidas en la conservación serán de carácter preventivo y correctivo, en tanto que en la rehabilitación, deben considerarse las acciones necesarias para mejorar la calidad de rodamiento, incluyendo su seguridad, y adecuar la capacidad estructural de acuerdo con las condiciones de tránsito futuro.

Lo anterior puede verse gráficamente en la figura V.1, en la que se muestra como varía el índice de servicio a través del tiempo.

Este concepto es una medida de la serviciabilidad o comodidad con que el usuario transita por la superficie de rodamiento, y su valor decrece paulatinamente dentro de una calificación de 0 a 5, a medida que en la superficie se inicia la aparición y desarrollo de diferentes tipos de deterioros que afectan la calidad de rodamiento. Cabe señalar que este valor depende de la importancia de la carretera. En la misma figura V.1, se observa que el nivel de rechazo se alcanzó en el tiempo T1, sin embargo, de acuerdo con el tipo de conservación que se le aplique, podrá extenderse la vida útil del pavimento, prolongándose hasta alcanzar los tiempos T2, T3, etc. Cuyos beneficios solamente podrán juzgarse analizando el costo de cada una de las diferentes alternativas de conservación propuestas y el incremento logrado en la vida útil.

En la misma figura se observa que al llegar al tiempo T1 se ha adoptado el criterio de restituir las condiciones originales del pavimento, para lo cual se hace necesario llevar a

cabo las acciones de rehabilitación, dando origen a una nueva etapa o ciclo de vida en la vida del pavimento.

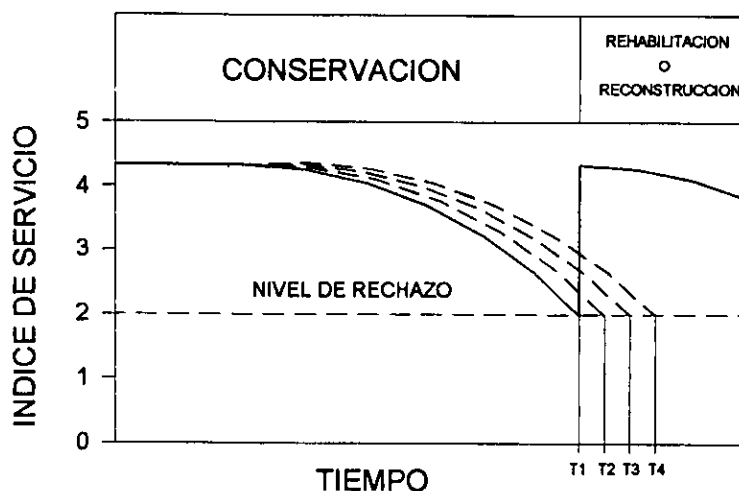


Figura V.1 Variación del Índice de servicio con el tiempo e influencia de la conservación en la vida útil del pavimento

Por todo lo anterior, podemos decir entonces que, el **mantenimiento menor**, también conocido como conservación normal de carreteras, lo constituye un conjunto de actividades rutinarias cuyo objetivo es eliminar los pequeños defectos y problemas que cotidianamente se presentan en las carreteras y que de no resolverse, acelerarían el deterioro de la misma; además de proporcionar un nivel adecuado de servicio, de acuerdo con las normas y especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Estas actividades se pueden clasificar en:

✓ *Superficie de acotamiento y rodamientos*

Calafateo de grietas, renivelación de carpeta, bacheo, barrido, reparación de terraplenes y remoción de derrumbes.

Limpieza de juntas y/o reposición de juntas para el caso de pavimentos rígidos.

✓ *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.

✓ *Taludes*

Afinamientos, recargue y protección y extracción de derrumbes.

✓ *Zonas laterales del derecho de vía*

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

✓ *Señalamiento vertical*

Limpieza, reparación y/o reposición, repintado.

✓ *Señalamiento horizontal*

Repintado de rayas, limpieza y/o reposición de vialetas, limpieza y/o reposición de fantasmas.

✓ *Estructuras*

Limpieza y/o reparación menor de puentes, limpieza y/o reparación menor de pasos peatonales.

Estas actividades requieren de una adecuada planeación estratégica que permita programar y controlar la conservación de carreteras de acuerdo con los recursos económicos disponibles.

Mientras que el **mantenimiento mayor**, son todas las obras de rehabilitación que en forma periódica o eventual son necesarias para que un camino ofrezca las condiciones adecuadas de servicio de acuerdo con las normas y especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Las actividades principales que constituyen el mantenimiento mayor son: reconstrucción de terraplenes, rehabilitación de bases, reconstrucción de carpetas, riego de sellos, restitución de señalamiento horizontal y obras de prevención de derrumbes.

Estos trabajos resultan necesarios debido al desgaste causado a través del tiempo por el tráfico vehicular y la erosión natural de las carreteras.

Generalmente estas son obras de volúmenes considerables a cargo de contratistas privados, razón por la cual resulta necesaria la mejor planeación posible que coordine, controle y programe la ejecución de los trabajos de acuerdo con los niveles de inversión, la disponibilidad de fondos y las prioridades establecidas por la estrategia para conservar y reconstruir la red.

Criterios de conservación y rehabilitación

Para establecer el tipo y programas de trabajos en la conservación y rehabilitación, se ha establecido durante los últimos años, un sistema, basado en una metodología técnica y operacional para administrar, dirigir y controlar los recursos disponibles para obtener los máximos beneficios.

De esta manera es importante, cubrir los siguientes objetivos:

- Determinar los costos asociados a diferentes niveles de servicio de un pavimento.
- Planear, dirigir y controlar las actividades de mantenimiento a fin de alcanzar un nivel de servicio congruente con la clase y tipo de pavimento.
- Evaluar los métodos y materiales utilizados, con el propósito de desarrollar prácticas eficaces y económicas.

Por otra parte es necesario conocer los siguientes aspectos:

- El inventario de la red y un conocimiento de los factores físicos, operacionales y ambientales, que pueden influir en el monto y tipo de trabajos requeridos.
- Experiencias sobre los procedimientos de conservación, así como conocimiento de los recursos disponibles de fuerza de trabajo, equipo y materiales, incluyendo rendimientos.
- Predicción de volúmenes de obra, disponibilidad de recursos financieros y criterios de decisión relativos a la calidad o nivel de conservación deseado.

Finalmente es necesario definir los criterios a seguir para establecer las estrategias convenientes, de acuerdo con los siguientes lineamientos:

- Establecer prioridades. Se analiza la información procedente de la evaluación, para definir los tramos que requieren de mantenimiento menor o mayor, considerando además el volumen de tránsito actual y futuro. Los tramos que presenten las peores condiciones deberán ser evaluados en detalle para establecer las estrategias para su reparación, teniendo en cuenta para ello el análisis de las causas de su deterioro y las acciones que deben emprenderse para su corrección.
- Formulación de estrategias de rehabilitación. Se establecen varias estrategias que comprenden desde reparaciones menores hasta sobrecarpetas. Estas estrategias se someten a un análisis en el que interviene, en forma determinante, el factor económico, teniendo en cuenta el nivel de servicio que cada estrategia puede proporcionar, su duración, comportamiento, etc.

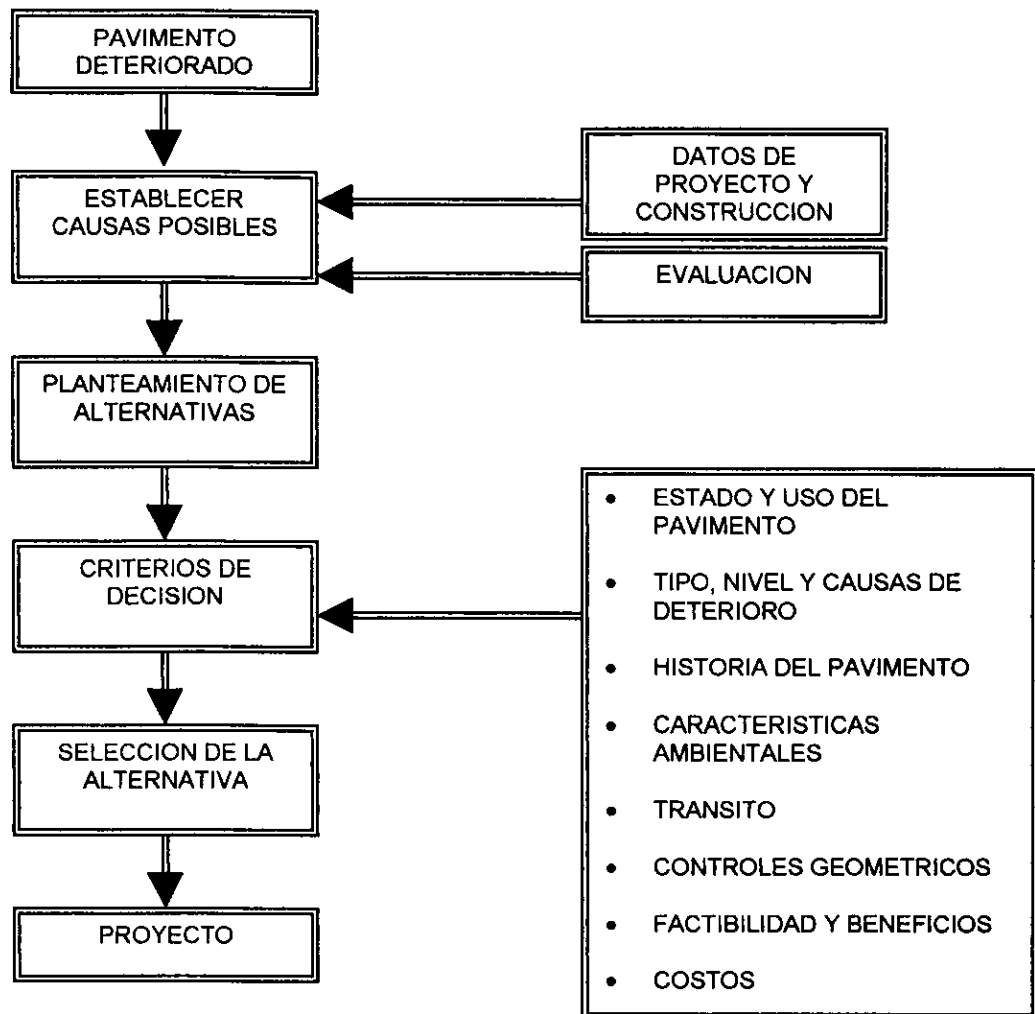


Figura V.2 Diagrama de análisis para propósitos de conservación y rehabilitación.

En la figura V.2 se presenta un diagrama de flujo del procedimiento a seguir para el planteamiento del problema. Los principales criterios de decisión que deben emplearse para analizar las estrategias planteadas y la elección de la mejor alternativa, para proceder a continuación a la elaboración del proyecto.

V.2 DIFERENTES TECNICAS QUE SE EMPLEAN PARA LA CONSERVACION Y REHABILITACION

A continuación pretendemos enumerar las diversas técnicas que existen en la actualidad para lograr la adecuada conservación y rehabilitación de un pavimento (flexible o rígido), cabe mencionar que no son todas las que ofrece el mercado, son solo algunas, y nos permiten observar de manera clara la importancia de la actualización en este rubro de la ingeniería, ya que contando con tantas alternativas resulta ilógico que se continúen empleando las mismas técnicas de hace ya varios años, las que en muchas ocasiones sólo resuelven los problemas por un lapso de tiempo muy corto.

Pavimentos rígidos

Mantenimiento Menor

Las técnicas de mantenimiento menor que se utilizan normalmente en los pavimentos rígidos son:

- Limpieza y/o reposición de juntas longitudinales y transversales
- Calafateo de grietas

La limpieza en juntas se realiza debido a que los productos que se utilizan para sellar las juntas longitudinales y transversales, con el tiempo se endurecen y se agrietan, por lo que es necesario que cuando menos cada 3 años se limpien extrayendo tanto el sello anterior como cualquier material extraño que se encuentre; enseguida, se vuelve a sellar la junta con material fresco.

El calafateo en grietas se debe realizar para evitar la introducción de materias extrañas o para que no penetre el agua.

Mantenimiento Mayor

Cuando se tengan indicios de que se esté presentando el fenómeno de bombeo, debido a que la losa se fracturó al quedar sin apoyo al salir al exterior el material que la sustentaba, es necesario efectuar inyecciones de mortero fluido que ocupe los huecos que se tienen; si la losa está fracturada es conveniente renivelar la zona antes de la inyección.

Cuando por efecto del gradiente de temperatura entre la parte superior e inferior de la losa, ésta se encuentre alabeada con la concavidad hacia arriba, es necesario hacer un rebaje de las orillas de las losas para renivelarlas y evitar el tránsito defectuoso a través de ellas; para ello existen máquinas desbastadoras especiales; cuando la concavidad es hacia abajo, el rebaje se hace hacia el centro de las losas, si es que es necesario, ya que en general la deformación es menor que la anterior.

Cuando el pavimento rígido presenta un fuerte descarnado de la superficie de rodamiento, se puede provocar la desintegración de la losa, por lo que es necesario en este caso la construcción de una carpeta asfáltica del orden de los 3 a los 5 cm de espesor, para evitar que el concreto se siga deteriorando.

Este tipo de carpetas asfálticas se puede construir también para mejorar el tránsito de pavimentos rígidos con alabeo en sus losas.

Por último, si un pavimento rígido se ha comportado adecuadamente; pero se prevé que en los años siguientes el tránsito va a ser más intenso de lo previsto, o se quiere aumentar su vida útil, se puede construir una sobrelosa, para lo cual es necesario asegurar la unión entre el concreto antiguo y el nuevo, por lo que en primer lugar se hace una corrugación de la actual superficie de rodamiento, y antes del colado, se esparcirá un aditivo especial que una a las dos losas.

Pavimentos flexibles

Mantenimiento Menor

Las técnicas de mantenimiento menor que se utilizan en los pavimentos flexibles son las siguientes:

- Calafateo de grietas
- Renivelación de la carpeta
- Bacheo (Superficial o Profundo)

Mantenimiento Mayor

Actualmente las técnicas de mantenimiento mayor están orientadas a mejorar y optimizar la utilización de los materiales regionalmente disponibles. El desarrollo de estas técnicas se enfoca en ligar la maquinaria y equipo de construcción con el tratamiento de materiales mediante un determinado proceso constructivo. Las técnicas más usadas en México para el mantenimiento de los pavimentos carreteros son las siguientes:

- Tratamientos superficiales
- Método de reciclado de capas asfálticas en frío en sitio
- Recuperación de profundidad total
- Método de reciclado de capas asfálticas en caliente
- Pavimento Whitetopping ultradelgado
- Sobrecarpetas ultradelgadas de Stone Mastic Asphalt (SMA, Viatop)

En relación con la definición de estrategias de conservación y rehabilitación para un tramo dado, la figura V.3, ilustra el efecto de diversos tipos de mantenimiento en la evolución del estado del pavimento, en términos tanto del índice de servicio actual como del índice internacional de rugosidad.

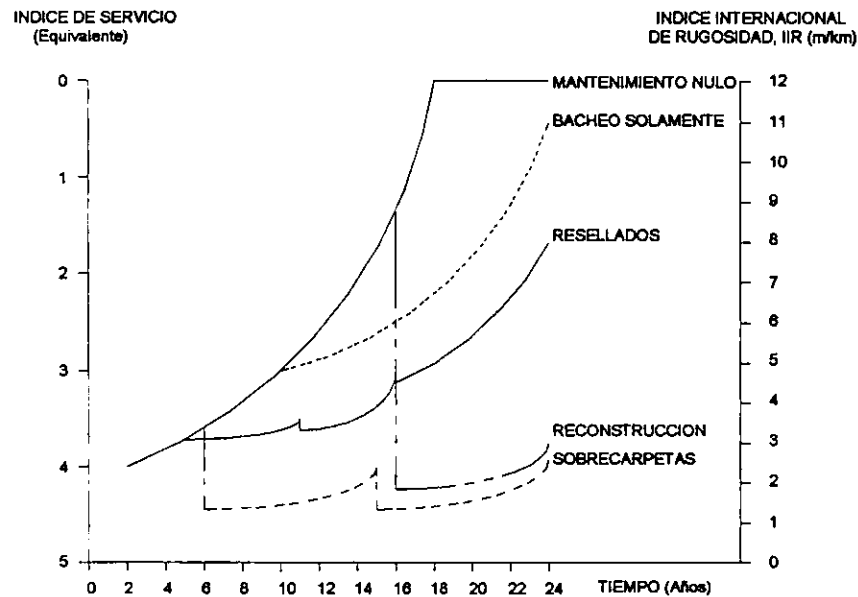


Figura V.3 Efectos de diversos tipos de mantenimiento sobre los pavimentos con el tiempo, en función del Índice de Servicio Actual y del Índice Internacional de Rugosidad

V.3 DESCRIPCION DE CADA UNA DE LAS TECNICAS

La explicación y características generales de cada una de estas técnicas se describirán a continuación:

Calafateo de grietas

Por calafateo de grietas se entiende a la acción de sellar, rellenar o de taponear aquellas grietas que surgen en el pavimento asfáltico. Para ello se hace uso de mezclas asfálticas, con contenidos de áridos y aglutinante asfáltico variables.

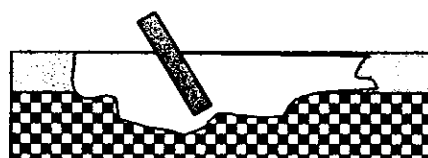
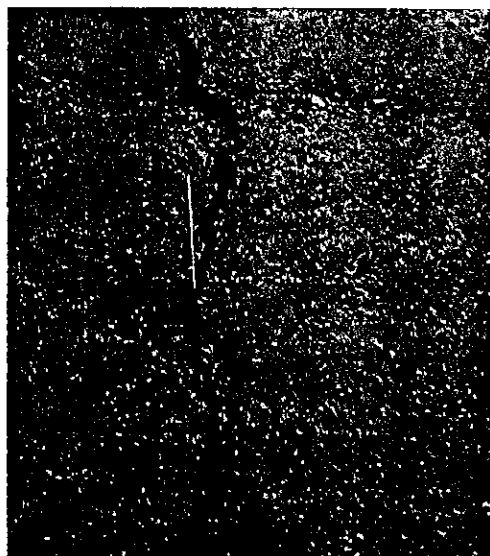
Las grietas que se presentan en los pavimentos pueden tener varios orígenes, pero entre los más comunes se pueden citar los siguientes:

1. Cambios volumétricos de la capa de rodamiento inducidos por cambios en la temperatura (ciclos de congelación y de dilatación), como los que se presentan en zonas desérticas
2. Efectos del tráfico
3. Defectos de construcción

Además estas pueden ser transversales, longitudinales o erráticas (grietas en zig-zag), y pueden variar en su profundidad para una misma grieta.

Esta técnica buscará generalmente evitar que el daño aumente de la carpeta hacia las capas inferiores y con ello que se generen efectos de bombeo y consecuentemente una falla estructural del pavimento.

El calafateo se realiza primeramente limpiando la grieta lo mejor posible para permitir una mayor adherencia del material de taponamiento con el de la carpeta existente, se rellena la grieta con el material, se procede posteriormente a la compactación del material procurando que este llene los huecos que se puedan presentar en la grieta y finalmente se abre al tráfico.



Grieta longitudinal con daño parcial de la base



Calafateo de la grieta longitudinal. Se deberá rellenar de la mejor manera la misma, para evitar que aumente el daño

Figura V.4 Calafateo de grietas

Renivelación de la carpeta

Perfilado de pavimentos

El perfilado consiste en la remoción de un espesor determinado de pavimento, eliminado sus defectos y logrando un nuevo nivel y pendiente para la colocación posterior de otra superficie de rodamiento. Aunque el perfilado se realiza sobre asfalto, las máquinas actuales permiten realizarlo inclusive en concreto hidráulico.

El perfilado se utiliza para restaurar pavimentos que han sufrido deterioro en su porción más superficial, teniéndose una parte de la carpeta, la base y sub-base en buen estado.

Otra de las aplicaciones importantes está en la recuperación de profundidad total. En muchas carreteras de nuestro país al presentarse la necesidad por primera vez de rehabilitarse, se procedió al tendido de una nueva capa de asfalto directamente sobre la que se encontraba dañada, sin rehabilitar las capas inferiores. Los mantenimientos posteriores consistieron en el mismo procedimiento. Cada vez, la carpeta nueva reflejaba rápidamente las deformaciones y grietas de la capa anterior. Al decidirse a emplear un método como la recuperación de profundidad total para rehabilitarse la base, se encuentra que existen espesores de asfalto muy superiores a la capacidad de las recuperadoras. Es necesario perfilar varias capas hasta llegar a un espesor tal que permita el uso de la recuperadora.

Método anterior

Cuando se pretendía lograr el mismo efecto de la perfilación que conocemos hoy en día, se procedía al "ripéo" o escarificación de la superficie con una exactitud en el espesor de corte muy deficiente. Se levantaba el material mediante un cargador y se transportaba al lugar de desecho. En otros países es común su transporte a una planta de trituración y clasificación, para reciclarse en una pequeña proporción en caliente junto con concreto asfáltico nuevo en una planta. El tendido de la nueva superficie se hacía después en ambos casos por métodos convencionales.

Con los equipos actuales, el corte que se realiza en húmedo, la molienda y carga de los camiones se realiza con la misma máquina y solo queda el transporte al lugar de desecho o de reciclado en caliente y el tendido de la superficie nueva de desgaste por los métodos tradicionales.

Entre las ventajas más importantes del perfilado se encuentran:

- ✓ El prevenir el reflejo de grietas y fallas que provocarían el tendido sobre la capa existente
- ✓ El poder retirar en una sola pasada espesores muy grandes (hasta 40 cm de espesor de carpeta de 4.9 m de ancho), con la posibilidad de reducirse hasta anchos muy pequeños dependiendo de la aplicación.
- ✓ Precisión de hasta ± 3 mm en el espesor de la capa cortada, lo que se traduce en ahorros substanciales en el material a tenderse encima ya que se coloca solo el material necesario para darle el nivel requerido
- ✓ Posibilidad de corregir el perfil con la precisión mencionada para mejorar el bombeo o el peralte en las curvas
- ✓ La durabilidad de la carretera será mayor que cuando se tiende una capa nueva sobre las dañadas ya que se parte de las secciones sanas de la estructura
- ✓ Se recupera la altura libre original de diseño en los puentes
- ✓ Se disminuye el sobrepeso en los puentes causado por el reencarpetado

Limitaciones del perfilado

Entre las limitaciones del perfilado se encuentran su capacidad para cortar solo espesores pequeños de concreto hidráulico limitado de la granulometría cuando se requiere de reciclar el material retirado en planta de asfalto. Los equipos que se utilizan para el reciclado en frío, en el que también se requiere de este control, aunque parten de una perfiladora estándar, se equipan con opciones para este efecto que son la mayoría de las veces incompatibles con el solo perfilado.

Sentido del corte

Las perfiladoras cortan generalmente hacia arriba y el tambor es en todo momento enfriado mediante aspersión de agua para mejorar la vida de las puntas. Estas, que existen en un sin número de diseños, se construyen con cabezas de carburo de tungsteno y se montan sobre "portapuntas intercambiables" alojados en los bordes de las envoltantes del tambor. Las envoltantes empujan el material hacia el centro de manera que se pueda ser recolectado por el sistema de transportadores de descarga.

Bacheo

Esta es una de las operaciones de mantenimiento menor más comunes en los caminos de cualquier país, y consiste básicamente en el taponamiento de los baches que van surgiendo durante la vida útil del pavimento, para ello se suele remover una cierta cantidad de material de la carpeta o también de la base, según el grado de deterioro, mayor al del bache, para con ello evitar que el daño se extienda. Una vez realizado esto y de que se ha limpiado correctamente el bache, se procede a taponar el hueco con una mezcla asfáltica, preferentemente en caliente, se compacta con pisón de mano, con "bailarinas" o bien con pequeños equipos de compactación.

Es práctica común que se deje una mayor capa de mezcla asfáltica, ya que la compactación que se realiza generalmente no cumplirá con las especificaciones de diseño del pavimento existente.

Esta técnica es muy susceptible de generar mayores problemas si no se realiza de manera adecuada, ya que se puede inducir a la penetración de agua en la estructura de pavimento y con ello al bombeo de los materiales de base y sub-base.

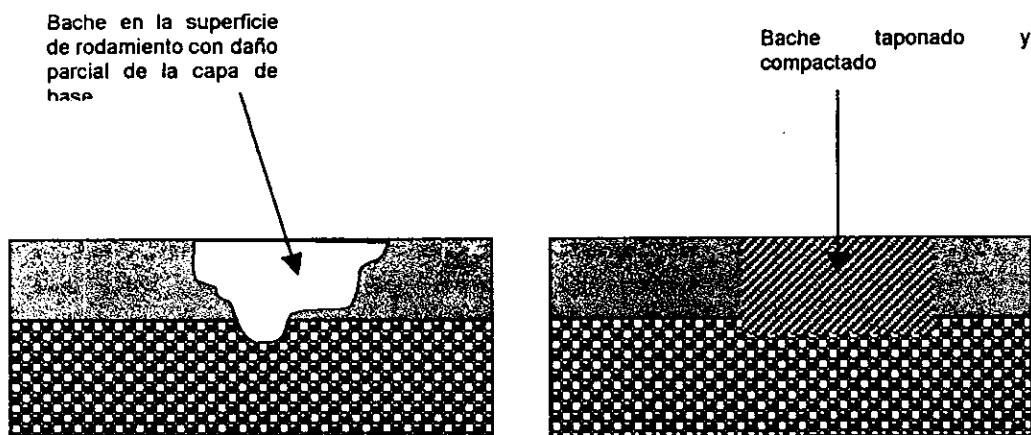


Figura V.5 Reparación de baches (Bacheo)

En la actualidad y gracias a los avances tecnológicos se cuenta con la bacheadora RA-300 de Rosco, la cual permite rellenar baches y grietas, hasta hacer topes y caminos uniformes. El proceso para el bacheo que se sigue con este equipo es el siguiente:

1. Un soplador de alto volumen limpia el bache o grieta, con un chorro de aire saca lo sucio o las rocas sueltas
2. El operador aplica una capa de ligante de asfalto que calienta el área, para asegurar la colocación correcta de áridos
3. Se coloca una preparación de áridos con una inyección de asfalto caliente en el bache o grieta por aire a presión
4. Finalmente se aplica una capa final de áridos

Este método conocido como reparación "del fondo hacia arriba", permite la circulación de vehículos terminado el cuarto paso.

Este equipo permite realizar el trabajo sin tener que bajar el operador de la cabina de mando y cuenta con una serie de aditamentos que le confieren gran movilidad (brazo oscilante de tres etapas), poco mantenimiento, y otros que la hacen un equipo interesante en lo que se refiere a este tipo de trabajos.

Tratamientos superficiales

Riegos de sello

Las carpetas asfálticas de mezcla en el lugar y las de concreto asfáltico, deben recibir un riego de sello, para impermeabilizar o para vitalizar su superficie reseca y desgranada. En muchos casos estos riegos de sello sirven de superficie de desgaste en los pavimento o como solución de pequeñas fallas superficiales del pavimento

Los riegos de sello pueden ser de dos clases:

1. De tratamiento superficial
2. De mortero asfáltico (Slurry Seal)

Los riegos de sello por "tratamiento superficial", consisten en aplicar asfalto FR (2 o 3) o emulsión asfáltica y cubrirlo con agregado número 3 (A, C, D o E). El material 3B se usa solo para el tratamiento superficial de las carpetas de 2 o 3 riegos.

La cantidad de asfalto FR, varia de 1 a 2 litros/m², y se aplica en caliente. La emulsión asfáltica se aplica en frío. El defecto de este riego de sello es la gran cantidad de agregado que no se liga con el asfalto, provocando mucho polvo y el rompimiento de parabrisas al desprenderse dichos agregados.

Los riegos de sello con "mortero asfáltico", son muy adecuados para pavimentos de calles y de aeropuertos y consiste en mezclar un agregado (arena), emulsión asfáltica, cemento Portland o cal y agua, haciendo un "lodo asfáltico", el cual se coloca en frío sobre las carpetas. El cemento y la cal pueden no ser necesarios, dependiendo de los finos agregados.

En las emulsiones asfálticas, al evaporarse el agua agregada y la de la emulsión, el agregado queda cementado juntamente con el asfalto produciendo una delgada capa sellante sobre la carpeta asfáltica. Al abrirla al tránsito, no se desprende el agregado, ya

que al compactarse ligeramente la capa, éste queda totalmente fijo, pero con salientes para dar una superficie antiderrapante.

Hoy se producen emulsiones asfálticas de tipo aniónico y catiónico (fraguado normal y rápido) muy estables, que permiten hacer un tendido continuo usando máquinas dosificadoras y mezcladoras montadas sobre un chasis de camión, que producen muchos metros cuadrados por hora.

Los sellos de mortero asfáltico varían de acuerdo a la condición del pavimento (viejo o nuevo), o de la base de en donde también pueden aplicarse como carpeta simple, todo en función de la textura y agrietamiento correspondiente.

El tipo y volumen del tránsito influyen en el tipo de mortero asfáltico y también las condiciones climáticas del lugar. El sello de mortero asfáltico "superficie general" es el más usado para aplicarlo a carpetas nuevas. El otro "superficie fina", es adecuado para carpetas agrietadas, en las cuales penetra mejor.

MALLA	% que pasa superficie fina	% que pasa superficie general
9.5 mm ($\frac{3}{8}$ "	100	100
Número 4	100	85-100
Número 8	100	65-100
Número 16	65-90	45-70
Número 30	40-60	30-50
Número 50	25-42	18-30
Número 100	15-30	10-21
Número 200	10-20	5-15
Espesor de la capa	3 mm \pm	7 mm \pm
% Contracción lineal	2 máximo	
Equivalente de arena	40 % mínimo	

Figura V.6 Especificaciones para sello de mortero asfáltico

Método de reciclado de capas asfálticas en frío en sitio

El reciclado en frío en sitio es una tecnología que reutiliza la estructura existente de un pavimento y en algunos casos la capa inferior de base no tratada. Todo el trabajo tiene lugar en la carretera existente y no requiere de transportación de material. El reciclado en frío en sitio resulta en una carretera estable con un costo del 40 al 50% menos que el requerido por métodos de construcción convencionales. Un aspecto muy importante en el reciclado es la reutilización de nuestros recursos naturales, agregados y productos petrolíferos.

El reciclado en frío en sitio no es un método nuevo para rehabilitar carreteras deterioradas. En los últimos 50 años o más, el reciclado en frío, mas comúnmente llamado estabilización, ha sido practicado mediante varios métodos. Estos métodos han incluido los "rippers", escarificadores, mezcladoras-pulverizadoras y estabilizadoras para recuperar la superficie y base existentes. El asfalto rebajado, las emulsiones y otros aditivos han sido mezclados mediante el rociado en camellón con cuchilla mezcladora o mediante varios tipos de plantas portátiles. En el pasado, el material reciclado en frío se tendía mediante una motocomformadora y compactada mediante un compactador "pata de cabra", neumáticos o de rodillos.

Hoy en día, mediante las innovaciones de los fabricantes de equipo, las agencias contratadoras y los contratistas, se han hecho notables avances en el proceso de reciclado en frío en sitio. El equipo más importante que ha mejorado la calidad y

economía del proceso es la perfiladora en frío. La perfiladora en frío pulveriza el material existente hasta un tamaño cercano al especificado mientras corta hasta una profundidad determinada. El perfilado en frío es altamente productivo resultando en método efectivo para rehabilitar una carretera desgastada.

Uno de los métodos desarrollados en el reciclado en frío en sitio es el tren de reciclado. Este tren incluye una perfiladora en frío de grandes dimensiones, una criba y una trituradora seguidas de un implemento para mezclar. La perfiladora en frío pulveriza el material y lo transporta hasta la criba y el sobretamaño cae en la trituradora para cumplir con el tamaño máximo especificado. El material, ya del tamaño adecuado se transporta mediante una banda a la unidad de mezclado. Una computadora controla la cantidad de aditivo a ser mezclado con el material. Esta unidad deposita el material procesado en un camellón desde donde es levantado (o nivelado directamente por una motoconformadora), tendido con una pavimentadora y compactado con equipo para mezcla de asfalto caliente convencional.

Los aditivos líquidos son otro aspecto importante en el reciclado en frío. Se han desarrollado especialmente para el reciclado en frío en sitio derivados del asfalto tales como catódicos, anódicos, emulsiones de polímeros modificados, rejuvenecedores y agentes de reciclado.

Por último, pero no menos importantes se encuentran los procesos de ingeniería y pruebas. La ingeniería se involucra en la determinación de la profundidad y ancho que deberá ser reciclada en frío así como el tipo de aditivo a incorporarse. La profundidad normalmente se determina de la cantidad de material apropiado disponible. Deberá considerarse que el espesor de reciclado deberá compactarse hasta la densidad especificada. El ancho de corte deberá ser compatible con el de los mandriles cortadores estándar de las perfiladoras. Además se deberá de tomar en cuenta la cantidad necesaria de aditivo así como el tipo del mismo para obtener la máxima densidad.

Modelo de especificaciones típicas para el reciclado en frío en sitio

1.- Descripción

Este trabajo consistirá del perfilado de la superficie asfáltica existente hasta los espesores y anchos mostrados en los planos, mezcla con aditivo, tendida y compactada como se muestra en los planos provistos.

2.- Materiales

2.1 El aditivo deberá ser del tipo mencionado en los planos o en la propuesta.

2.2 El material bituminoso pulverizado deberá cumplir con los siguientes requerimientos de granulometría

TAMAÑO DE LA MALLA	% PASA
1 ½"	100
1"	90 - 100

3.- Requerimientos constructivos

3.1 La superficie asfáltica existente deberá reciclarse en frío de manera que no se dañe el material inferior existente en la carretera. De cualquier modo, en algunas circunstancias, una pequeña cantidad de base puede ser incorporada a la mezcla para mantener una profundidad de corte constante.

3.2 Las operaciones de reciclado no deberán desarrollarse cuando la temperatura ambiente sea menor de 50° Fahrenheit (10°C) o cuando este lloviendo o con neblina o

cuando las condiciones climatológicas sean tales que no permitan a juicio del gerente del proyecto el correcto mezclado, tendido o compactado del material reciclado.

3.3 Cuando se comiencen las operaciones de reciclado, el aditivo deberá ser incorporado al material asfáltico pulverizado en la proporción original determinada por el laboratorio de materiales. La cantidad exacta de aditivo será determinada y ajustada por el ingeniero residente como se requiera de acuerdo con las condiciones del pavimento existentes. Deberá mantenerse una tolerancia de $\pm 2\%$ de la cantidad de aditivo determinada originalmente o de la que el ingeniero residente determine durante todo el proceso. El contratista podrá agregar agua al material antes o durante la incorporación del aditivo y no deberá causar efecto adverso en el aditivo o en el material reciclado.

3.4 El número, tipo y peso de los compactadores empleados deberá ser suficiente para obtener la compactación requerida mientras la mezcla se encuentra en condiciones de trabajabilidad. El ingeniero residente del proyecto podrá requerir de una redemonstración de la capacidad de compactación cuando observe un cambio en el material reciclado, cuando se haga cualquier cambio en el equipo de compactación o si las densidades no se estuvieran obteniendo con el patrón de compactación utilizado.

Después de que el material ha sido tendido y compactado, el área podrá abrirse al tráfico. Antes de aplicar la superficie de desgaste, el material reciclado deberá curarse de tal modo que el contenido de humedad libre sea inferior al uno y medio por ciento.

4.- Equipo

4.1 El contratista deberá proporcionar una máquina autopropulsada tal que sea capaz de pulverizar los materiales bituminosos existentes hasta la profundidad mostrada en los planos, en una sola pasada. La máquina deberá estar equipada con controladores automáticos estándar de profundidad y deberá mantener una profundidad y ancho de corte constantes. Dicha máquina deberá de ser capaz de producir el tamaño adecuado de RAP ("recycled asphalt product")(producto reciclado de asfalto) requerido o proporcionarle adicionalmente el cribado y la trituración si se requiera.

El equipo deberá ser capaz de mezclar el material bituminoso pulverizado con el aditivo hasta lograr una mezcla homogénea y de colocar la mezcla en un camellón o en una tolva de una pavimentadora. El método de depósito del material mezclado deberá ser tal que no ocurra segregación.

Deberá utilizarse una bomba de desplazamiento positivo capaz de medir con precisión la cantidad requerida de aditivo hasta un gasto mínimo de 4 gal/min, que se incorpore al material bituminoso pulverizado. Dicha bomba deberá estar equipada con un sistema de paro automático cuando no exista material en la cámara de mezclado.

Cada máquina de mezclado deberá equiparse con un medidor capaz de registrar el flujo y la cantidad de aditivo entregado en la mezcla.

El tendido del material reciclado bituminoso deberá lograrse mediante una pavimentadora de asfalto autopropulsada. El material bituminoso reciclado deberá tenderse en una sola pasada continua, sin segregación en las líneas y niveles establecidos por el ingeniero residente del proyecto. Cuando se utilice una máquina levantadora de camellones para alimentar a la tolva de la pavimentadora, esta deberá levantar todo el camellón hasta los materiales subyacentes.

4.3 El número, peso y tipo de los compactadores deberá ser suficiente para obtener la compactación requerida mientras la mezcla se encuentra en condiciones de

trabajabilidad. Cuando el espesor del material reciclado sea de mas de 3" (7.6 cm) deberá utilizarse un compactador neumático de 25 a 30 ton (cortas) equipado con sistema de aspersión de agua para evitar que el material se adhiera a los neumáticos.

El rodillado deberá realizarse hasta que no se note ningún desplazamiento. El rodillado final para eliminar las marcas de los neumáticos habrá de realizarse mediante compactadores de rodillos de acero en modo estático o vibratorio como se requiera para lograr la densidad requerida.

Los rodillos no deberán arrancar o parar en material reciclado no compactado. El rodillado tendrá que establecerse de una manera que comience y termine previamente compactado o en el pavimento existente siempre que sea posible.

Cualquier rodillado que resulte en grietas, movimientos u otro tipo de anomalías en el pavimento deberá discontinuarse hasta que sea resuelto el problema. La suspensión o la permanencia del sistema de rodillado será complementada a discreción del ingeniero del proyecto.

5. Métodos de medición

El reciclado en frío en sitio se medirá por yarda cuadrada o por estación. El aditivo, del tipo mencionado en los planos habrá que cuantificarse en toneladas o galones según convenga.

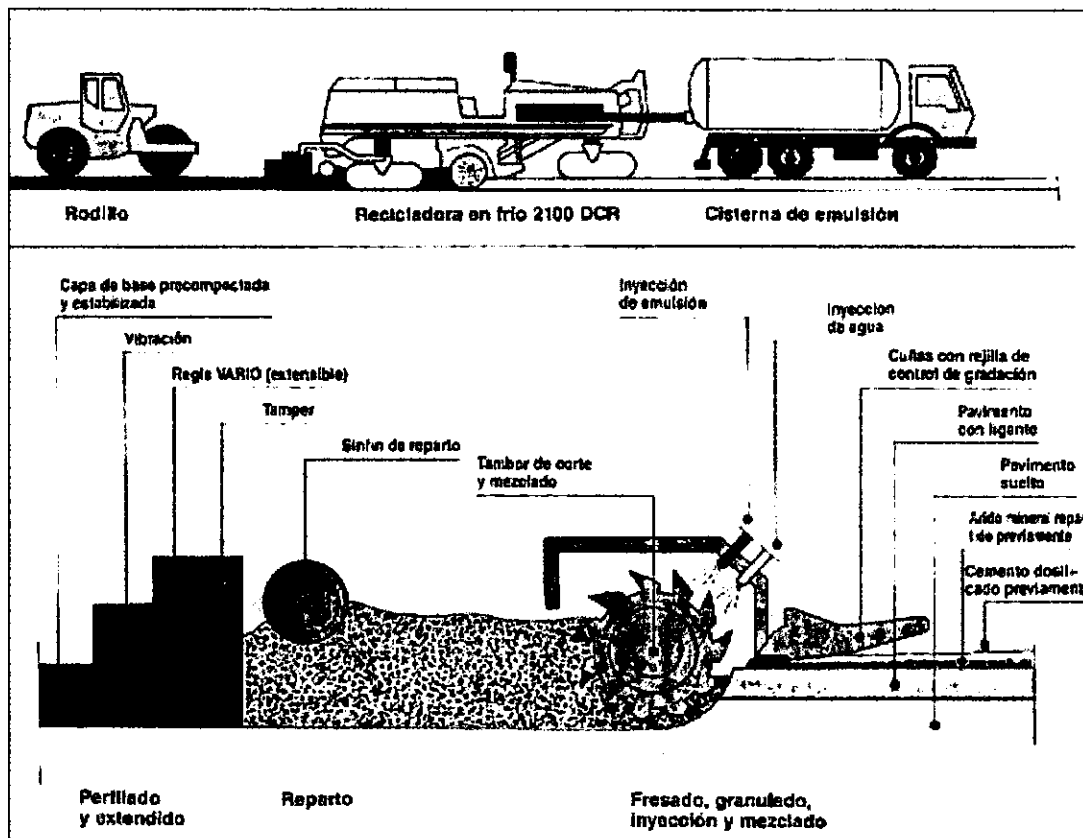


Figura V.7 Reciclado en frío con equipo 2100 DCR

Ventajas del reciclado en frío en sitio

- I Los caminos deteriorados pueden regresarse a sus estándares originales.
 1. El pavimento se restaura hasta el perfil deseado, se eliminan las rodadas de llantas marcadas, se devuelve la corona y pendiente transversal, se eliminan los baches, irregularidades y áreas ásperas.
 2. Se destruye el patrón de grietas: el "acodrilamiento" así como las grietas transversales y longitudinales desaparecen.
 3. La adecuada determinación del aditivo a emplearse, conforme al material existente, así como el correcto proporcionamiento del mismo lograrán una restauración del pavimento viejo hasta sus propiedades originales.

- II. Costo.
 1. Bajos costos de movilización.
 2. Los costos de transporte del material se eliminan excepto los del aditivo.
 3. Alta producción. Los equipos actuales pueden reciclar en frío hasta 500 ton/hr (cortas).
 4. Se requiere de solo una pequeña capa de asfalto o de sello como superficie de rodamiento.
 5. Todos los materiales existentes se reutilizan. El único material nuevo es una pequeña cantidad de aditivo.
 6. Los costos de ingeniería son mucho menores que para cualquier otro tipo de rehabilitación.

- III. Conveniencia para el tráfico.
 1. Un carril puede dejarse siempre abierto durante el proyecto.
 2. La carretera completa puede abrirse al tráfico durante la noche (o días) o durante los fines de semana.
 3. La contaminación, incluyendo el polvo, ceniza y humo son mínimos.
 4. Los proyectos pueden completarse en un mínimo de días laborales.

- IV. Ventajas ambientales.
 1. Se reutiliza todo el material asfáltico.
 2. Se elimina el transporte y desecho del material deteriorado existente



Figura V.8 Equipo Wirtgen para reciclado en frío

Recuperación de profundidad total

La recuperación de profundidad total es una tecnología de recuperación de caminos en la que la totalidad del pavimento flexible y una porción de los materiales subyacentes, son triturados uniformemente, pulverizados y mezclados, resultando una base estabilizada. Puede obtenerse una mayor estabilización mediante el uso de aditivos.

Esta tecnología es un proceso que ofrece ventajas económicas y alternativas de diseño en la restauración de pavimentos. Dicho proceso gira alrededor de la habilidad para pulverizar y mezclar la estructura deteriorada del pavimento hasta una granulometría máxima especificada, incorporando ese material al diseño de la estructura del camino "in situ" para el diseñador, para crear la sección de camino deseada.

Diseño

La recuperación de profundidad total no altera los pasos de diseño para la evaluación de las condiciones existentes, la determinación de la causa de falla del pavimento ni la decisión de los requerimientos del proyecto. En muchos casos, la recuperación de profundidad total resultará ser la solución más económica en cuanto a la necesidad de acarreo. El costo de preparar la superficie existente por métodos tales como la escarificación, prenivelación, adición de una capa de roca triturada o el tendido de una capa adicional de asfalto, será normalmente mayor que el de pulverizar el material existente. Aprovechando la ventaja de la capacidad de introducir aditivos líquidos se obtiene una mejor estructura del camino y substanciales ahorros en costo.

Proceso

La recuperación de profundidad total consiste de tres pasos básicos: pulverización, introduciendo aditivos o materiales adicionales; nivelación y compactación y finalmente la aplicación de una superficie de desgaste de rodamiento.

La pulverización y mezclado es un proceso mecánico que físicamente rompe el material del pavimento hasta una granulometría utilizable, mientras se le incorpora una cantidad específica del material existente en la base.

Durante la fase de mezclado, pueden agregarse materiales vírgenes que ayudaran a crear la base deseada. Los porcentajes de aditivos se expresan conforme al peso del material que se mezcla. En la mayoría de los proyectos se requiere la adición de agua para obtener la humedad óptima que permita la mezcla apropiada de los materiales y aditivos. En algunos proyectos la cantidad de material existente no es suficiente para lograr el espesor de base tratada deseado. En ese caso puede incorporarse material virgen a la base, colocándose sobre el pavimento existente antes de comenzar el proceso. Después de completarse el mezclado, el material de base está listo para nivelarse y compactarse. Puede ser necesario aplicar después un riego de liga para asegurar una buena adherencia entre la nueva base y la capa de desgaste. En algunas ocasiones la liga puede ser combinada con arena para abrir la carretera pronto al tráfico.

La recuperación de profundidad total por si misma puede ofrecer muchas alternativas a la restauración de un pavimento en particular.

Todos o algunos de los siguientes pasos pueden encontrarse en un proyecto de este tipo:

- Limpieza de hombros y cunetas
- Pulverización de superficie
- Nivelación y compactación de material pulverizado
- Aplicación y mezclado de aditivos tales como:

- Material virgen
 - Agua
 - Emulsión asfáltica
 - Cemento
 - Cal hidratada
 - Cal viva
- Nivelación y compactación del material de base tratado
 - Aplicación de la capa de rodamiento

Ventajas y desempeño

- Método económicamente eficiente para la creación de secciones mejoradas
- Elimina el posible reflejo de grietas en la nueva superficie de rodamiento
- Recicla los materiales existentes conservando los recursos naturales y la energía
- El proceso se desarrolla "in situ"
- Se eliminan los procesos de calentamiento, mezclado y acarreo de los métodos convencionales.
- La sección de la carretera puede mantenerse o ajustarse; el nivel puede disminuirse en las curvas para mejora el peralte o mejorarse en secciones con bombeo pobre.
- El tránsito de emergencia o local usualmente continua durante la rehabilitación de la carretera (un carril puede siempre estar abierto al tráfico)
- Elimina la necesidad de tirar el material
- Mejora la resistencia a la penetración de heladas a la sub-base
- Ahorros mediante la reducción del espesor total del pavimento.

Ejemplo de especificaciones

Descripción

Este trabajo consiste en la preparación de una base estabilizada compuesta del concreto asfáltico y la base existentes. La fabricación de la base estabilizada deberá hacerse pulverizando y mezclando los materiales en le sitio introduciéndole aditivos si así se especificase en las "Condiciones Especiales". El proceso, que resulta en la base estabilizada, deberá desarrollarse de acuerdo con las presentes especificaciones así como con los lineamientos y niveles mostrados en los planos o conforme a lo establecido por la ingeniería.

El material restante de la base y/o sub-base puede modificarse para adecuarse al de la base estabilizada. Cualquier cambio de esta naturaleza, si se requiere, tal como pero no limitado a, la excavación o reemplazo de materiales inapropiados y el afine, serán considerados como trabajos adicionales y serán sujetos a pago como un concepto diferente.

El asfalto existente deberá pulverizarse mediante un método que no dañe el material inferior de acuerdo con la profundidad planeada como se muestra en la sección correspondiente de la carretera.

Equipo

En general, el contratista tiene la opción de utilizar cualquier equipo que efectivamente pulverice y mezcle los materiales. El equipo a utilizarse deberá también ser capaz de introducir aditivos líquidos precisa y uniformemente.

Aplicación y mezcla de los aditivos líquidos

Los aditivos deberán distribuirse uniformemente y mezclarse con los materiales con el material pulverizado y con cualquier material subyacente existente o con cualquier material virgen adicional según se especifique.

La operación de mezclado puede realizarse bien con la misma con la misma máquina utilizada en la pulverización o con una máquina adicional diseñada para mezclado continuo en sitio aprobada por el departamento de ingeniería. Independientemente del método utilizado, deberá utilizarse una bomba de desplazamiento positivo con un sistema de control capaz de proporcionar el aditivo a emplearse.

La máquina mezcladora deberá estar equipada con velocímetro coordinado con la bomba de aditivos de velocidad variable asegurando que el aditivo

Método de construcción

El pavimento existente y el material de la base deberán pulverizarse y mezclarse de manera que la masa completa de material sea extendida uniformemente y el nuevo aditivo, de requerirse, sea uniformemente dispersado en todo el material procesado.

Después de que el material ha sido procesado, deberá nivelarse, formarse y compactarse de acuerdo a los lineamientos, niveles y espesores mostrados en los planos y secciones transversales. Podrá agregarse agua para asegurar el contenido óptimo de humedad al tiempo de mezclar y compactar.

La sección transversal restaurada deberá compactarse completamente a no menos del noventa y cinco por ciento de la densidad máxima del material seco o de acuerdo a la norma ASTM T99.

A la base estabilizada terminada deberán hacerse pruebas de tersura y de exactitud de nivel y si se presentasen porciones con resultados menores a los especificados, deberán reformarse y compactarse hasta obtenerse la exactitud y tersura especificados.

Las condiciones especiales indicarán el espesor de la base existente que deberá incorporarse en el proceso de recuperación así como la cantidad de cualquier aditivo especificado.

El material pulverizado deberá de cumplir con las siguientes granulometrías:

Tamaño de la malla	% Pasa
2"	98-100
1 ½ "	95

La granulometría puede variar debido a las condiciones y agregados locales.

Pago

El pago será hecho de acuerdo a lo siguiente:

PARTIDA NO.	CONCEPTO	UNIDAD DE PAGO
1	Pulverización y preparación	Estación o yarda cuadrada
2	Mezclado	Estación o yarda cuadrada
3	Aditivo (cuando aplique) Aditivos líquidos Agua Aditivos secos	Galón Miles de galones Tonelada
4	Nivelación, compactación y acabado	Estación o yarda cuadrada
5	Material virgen	Toneladas o yarda cuadrada
6	Movilización	Suma de bultos
7	Tratamiento de superficie	Unidad aplicable

Figura V.9 Conceptos de obra básicos

El precio de las partidas listadas arriba deberá compensarse completamente todos los costos incurridos en el material, mano de obra, herramienta y equipo para cada una, completa y en sitio.

Método de reciclado de capas asfálticas en caliente

El proceso de reciclado en caliente es una técnica de remezclado que contempla la eliminación de degradaciones mediante un reciclado del pavimento.

La capa existente es procesada y mejorada de tal manera, que esta satisface de nuevo por completo los severos requisitos que deben cumplir las carpetas nuevas.

El proceso de remezclado es apropiado para el saneamiento de carreteras asfálticas, desde caminos secundarios hasta autopistas. Este proceso es económico, rápido, reduce el costo de acarreos, respetuoso con el medio ambiente y ahorra materias primas.

El proceso técnico del reciclado en caliente consiste en calentar la capa asfáltica degradada mediante un aparato de precalentamiento y la mezcladora.

Los escarificadores rotativos descompactan la capa asfáltica, posteriormente se efectúa el mezclado del material de corrección y se coloca la mezcla asfáltica con una regla de extendido variable.

El calentamiento de la carpeta asfáltica a una temperatura comprendida entre los 120° y 150° centígrados genera un reblandecimiento de la masa asfáltica. Este calor necesario es transferido por un grupo de radiadores o paneles infrarrojos alimentados por gas propano.

La presión del gas de cada campo de calefacción se puede ajustar individualmente por consiguiente, la aportación de calor puede ser dosificada en función de la temperatura exterior, de la profundidad de trabajo y de la naturaleza de la nueva capa.

El escarificado de la superficie asfáltica es producido por arboles de mullido rotativos con dientes o puntas, escarificadoras posicionales en forma espiral, estas muelen la capa de carpeta asfáltica hasta la profundidad deseada. En conjunto con las cuchillas de nivelación la capa es rascada o escarificada exactamente y el material es transferido al mezclador. La profundidad máxima de escarificación recomendada no deberá exceder los 5.0 cm de profundidad.

Por consiguiente tenemos que el método de reciclado en caliente deberá aplicarse en condiciones de rehabilitación de carpetas asfálticas en donde el problema sea en la capa superficial de la carpeta y de 3 a 5 cm de profundidad máxima. Si el proyecto requiere de mayores profundidades de rehabilitación, se tendrán que considerar otros métodos constructivos de rehabilitación.

Los análisis de las pruebas de laboratorio de la capa degradada define los parámetros de la formulación del material de aportación. Este material puede ser una mezcla asfáltica, un agregado mineral o un ligante o emulsión.

El aditivo de corrección se mezcla con el material viejo en un mezclador, los camiones transportan este material hasta la remezcladora y lo descargan en la tolva de recepción.

La transferencia al mezclador y la dosificación se efectúan mediante una cinta transportadora regulable según la velocidad de avance. El mezclador de circulación forzada de dos árboles mezcla homogéneamente los materiales de aporte con el material viejo y transporta en forma continua la mezcla asfáltica en forma de camellón hasta delante de la regla de colocación.

La mezcla depositada sobre la rasante calentada es extendida por la regla de colocación de regulación continua, manteniendo exactamente el perfil. El calentamiento por separado de la rasante garantiza un íntimo contacto de las capas asfálticas.

Para el correcto control de calidad se requiere de 3 a 4 muestras diarias del material que va a ser reciclado, y del producto final. El tramo reciclado se puede abrir al tráfico inmediatamente después de la compactación de la carpeta asfáltica, teniendo así un reciclado en caliente en sitio en una sola pasada de trabajo.



Figura V.10 Equipo Wirtgen para reciclado en caliente

Pavimento Whitetopping ultradelgado

Whitetopping es una tecnología empleada durante los últimos años en los Estados Unidos y en Europa con mucho éxito, esta consiste en la colocación de sobrecarpetas de concreto hidráulico de espesores delgados, su empleo se ha llevado a cabo con resultados satisfactorios en calles urbanas, caminos y en aeropistas.

La tecnología Whitetopping tiene impacto social y económico entre sus usuarios, ya que dentro de los costos que se deben de tomar en consideración para la selección de una alternativa en la construcción/rehabilitación de un camino están los siguientes:

1. Costo de construcción inicial, geometría del camino, diseño del pavimento y drenajes.
2. Costo por deterioro y conservación (por tipo y por rugosidad)
3. Costo del usuario (costo de operación de los vehículos, consumo de combustibles, composturas, tiempos de recorrido y accidentes)

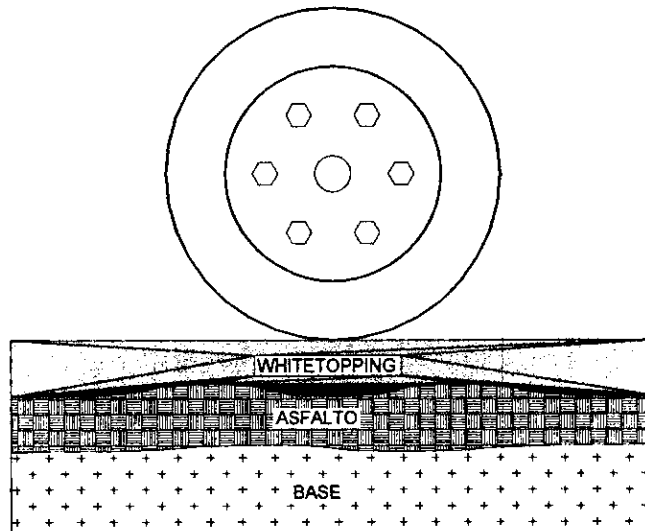


Figura V.11 Pavimento Whitetopping

La tecnología Whitetopping:

- ✓ Permite la colocación sobre carpetas asfálticas que exhiban cualquier deterioro superficial
- ✓ Se requiere mínima preparación de baches existentes y del lavado de la carpeta asfáltica
- ✓ Tiene un costo menor que la rehabilitación con asfalto
- ✓ La vida útil del camino se incrementa entre 10 y 15 años, disminuyendo drásticamente los costos de mantenimiento
- ✓ Se incrementa notablemente la luminosidad del camino, reduciendo incluso, los gastos de iluminación nocturna

En la actualidad en nuestro país se cuenta con la experiencia de un tramo de demostración sobre esta tecnología, realizado en 1994 por la Unidad Concreto de CEMEX. Este proyecto se realizó en la ciudad de Tijuana Baja California Norte, en dos etapas:

1. Construcción del tramo
2. Observación del comportamiento del tramo bajo la acción del tráfico urbano (prueba de carga)

Se seleccionó una calle sometida a un tráfico de 2100 vehículos por hora. Históricamente el cual había estado sometido a mantenimiento continuo debido a su destrucción provocada por la acción combinada del tráfico y escurrimientos pluviales.

La única reparación previa que se requirió sobre el pavimento de asfalto, antes de colocar el concreto fresco, fue la eliminación de polvos mediante lavado con agua y cepillado. Esto con el fin de mejorar la adherencia entre el concreto y la carpeta asfáltica existente.

Una vez rehabilitado el pavimento, se sometió a las cargas producidas por los siguientes vehículos: automóvil, repartidor de refrescos, pipa con gasolina y trailer cargado, con el fin de medir su capacidad incrementada para soportar tráfico.

Resultados

Este tramo de prueba, diseñado para un espesor de 2 ½", demostró una capacidad para soportar cargas comunes de tráfico urbano; con los siguientes valores:

- ✓ El automóvil produce un esfuerzo de apenas 6.4% de la resistencia de la losa de concreto
- ✓ El camión repartidor de refrescos produce un esfuerzo de apenas 15.1% de la resistencia de la losa de concreto
- ✓ La pipa con gasolina produce un esfuerzo de apenas 18.7% de la resistencia de la losa de concreto
- ✓ El trailer cargado produce un esfuerzo de apenas 24.5% de la resistencia de la losa de concreto

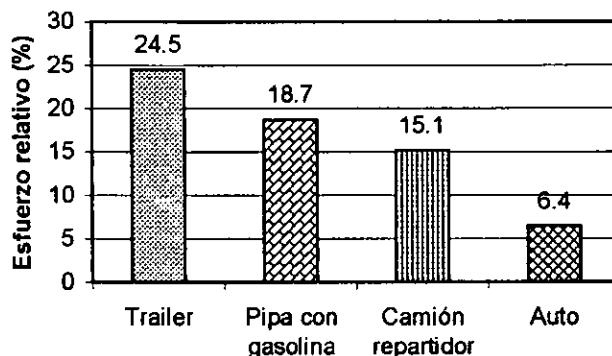


Figura V.12 Resultados en la aplicación de Whitetopping

Además de estos resultados habrá que señalar que el uso de este tipo de tecnología nos permite "puentear" los deterioros de la superficie de rodamiento, esto gracias a la rigidez de la losa de concreto, la cual no permite que se reflejen los deterioros del pavimento asfáltico, lo cual irremediablemente se presenta con la colocación de sobrecarpetas asfálticas. Esta ventaja permite sin lugar a dudas aumentar la vida útil del pavimento, además de la reducción en la conservación del mismo.

Esta tecnología sigue en general el siguiente procedimiento

1. Trabajos previos a la sobrecarpeta

Únicamente se deberán considerar deterioros en estado avanzado tales como: roderas, desplazamientos o baches. Áreas donde ha habido falla de la subrasante las cuales no

darán soporte uniforme a la sobrecarpeta de concreto hidráulico deberán ser removidas y reemplazadas.

CONDICION DEL PAVIMENTO	TRABAJO DE REPARACION
Roderas (menores de 5 cm)	Ninguno (considerar agregar una junta en el sitio)
Roderas (mayores de 5 cm)	Fresado o nivelado
Desplazamiento	Fresado
Baches	Rellenar con roca triturada, mezcla fría o caliente
Falla de la subrasante	Remove y reemplazar/ reparar
Agrietamiento tipo cocodrilo	Ninguno
Agrietamiento tipo mapeo	Ninguno
Grietas transversales	Ninguno
Grietas longitudinales	Ninguno
Desprendimiento	Ninguno
Exceso de asfalto	Ninguno

Figura V.13 Trabajos previos sobre algunos deterioros, utilizando Whitetopping

Después de la corrección de los deterioros superficiales, se deberá definir como solucionar las deformaciones antes de colocar una carpeta Whitetopping. Se puede usar varios métodos, como barrido y colocación directa, fresado y colocación de una capa niveladora.

✓ Colocación directa

En el caso de colocación directa la superficie no recibe ningún tratamiento y las roderas son rellenas por la sobrecarpeta de concreto hidráulico. No es necesario fresar, nivelar u otro procedimiento. Se recomienda el tendido directo en todos los casos en que las roderas no excedan de 5 cm

✓ Fresado de la superficie existente

Las distorsiones de la superficie pueden ser removidas utilizando una fresadora o un cepillo mecánico. Para dejar un perfil uniforme se requiere normalmente remover de 3 a 8 cm dependiendo del espesor del pavimento

El fresado establece la rasante final y se puede ajustar la sección transversal como sea necesario por lo que la sobrecarpeta de concreto hidráulico se construye como si fuera sobre una rasante recortada.

Este método requiere menos tiempo de inspecciones y costo que el procedimiento por tendido directo, pero incrementa el costo por los trabajos de fresado y los movimientos del material removido. (El material fresado se puede utilizar en forma muy económica para la construcción de los hombros)

Se debe considerar el costo entre fresado y tendido directo al hacer un proyecto de rehabilitación con whitetopping. En algunas ocasiones se podrá utilizar ambas alternativas.

✓ Capa de nivelación

Otra opción puede ser la colocación de una capa de nivelación, procedimiento que de acuerdo a los estudios llevados a cabo de las diversas alternativas analizadas corresponde al más costoso.

La decisión del uso de cualquiera de las alternativas antes mencionadas depende del costo que cada una de ellas representa. por obvias razones la más económica siempre será la colocación directa.

2. Materiales

Se pueden utilizar mezclas de concreto normal o de fraguado rápido. En la mayoría de los casos, los diseños de mezclas normales son suficientes. Sin embargo, mezclas de fraguado rápido pueden ser efectivas especialmente al reducir el tiempo de cierre en carreteras congestionadas. Con mezclas de fraguado rápido, se puede permitir el tráfico de 5 a 24 horas después de la colocación.

La calidad de los materiales pétreos, cementos y aditivos están perfectamente definidas en las especificaciones de la SCT y en las particulares de cada proyecto.

3. Procedimiento constructivo

El procedimiento constructivo para la construcción de una sobrecarpeta de concreto hidráulico involucra las mismas actividades que para la construcción de una losa nueva en cuanto a materiales, equipos, mano de obra, etc, variando ligeramente los procedimientos constructivos, mismos que a continuación se describen:

- ✓ Una vez terminados los trabajos sobre la superficie del pavimento, bacheo, fresado o nivelado, se procederá al tendido del concreto hidráulico
- ✓ El tendido deberá realizarse con una extendidora tipo Slipform Paver (cimbra deslizante), colocándose el concreto hidráulico con el espesor de proyecto. Este equipo deberá contar con sensores de nivel y la orilla de la losa deberá formar un ángulo de 90° con respecto a la superficie. Este equipo deberá tener también la capacidad de insertar las barras de espaciamiento de las especificaciones del proyecto
- ✓ Una vez terminados los trabajos de tendido del concreto se procederá a un texturizado con una tela de yute en el sentido longitudinal, posteriormente con el mismo equipo (CMI-TC-250) se procederá a realizar un texturizado transversal con un ancho de 3.2 mm a una profundidad cuando menos de 3.2 mm y no mayor de 6.4 mm
- ✓ Posteriormente se procederá al curado de la losa con un equipo del tipo CMI-TC-250 con el que se aplicara un componente cuya base será agua y parafina de pigmentación blanca en las cantidades marcadas por el proyecto
- ✓ Después del curado de la losa se procederá al corte de las juntas longitudinales y transversales, para lo cual se emplearan cortadoras con discos abrasivos en caso de que se realicen los cortes en seco y con discos de diamante en caso de que el corte se realice entre 4 y 12 horas después del curado cuando el concreto presente las condiciones propicias para su ejecución. El cortar demasiado pronto conllevará a problemas de desportillamiento y pérdida de agregado en las juntas. Cortar demasiado tarde resultara en probables agrietamientos no controlados
- ✓ Después de los trabajos de corte se procederá al sellado de las juntas previa limpieza de las mismas mediante aire a presión, sandblast o agua a presión. Cualquiera de estos procedimientos deberá garantizar la limpieza total de la junta. Una vez limpia la junta se colocará la tirilla de respaldo (Backer Rod) y después el material sellante

4. Forma de pago

El pago de una sobrecarpeta de concreto hidráulico podrá ser por metro cúbico o metro cuadrado. Lo más recomendable es que se realice por metro cúbico ya que las deformaciones de la superficie de rodamiento en el caso de que el pago se considere por metro cuadrado no compensaran los volúmenes excedentes de concreto colocado debido a las deformaciones.

Regularmente para el caso del pago por metro cúbico se analizan al costo total desde la adquisición de materiales hasta el sellado final del pavimento. Los volúmenes a pagar son determinados por el registro de la producción diaria del concreto elaborado en planta.

Sobrecarpetas ultradelgadas de Stone Mastic Asphalt (SMA, Viatop)

Como ya se mencionó en el capítulo III, el SMA es una tecnología de pavimentación, la cual se emplea con mucho éxito en la rehabilitación de pavimentos asfálticos e inclusive en pavimentos de concreto hidráulico. Para ello se hace uso de sobrecarpetas de SMA de espesores muy pequeños (1" en algunos casos).

El SMA requiere de un agregado grueso (70-80% retenido en la malla No. 8) y de un contenido de cemento asfáltico entre 6 y 7% así como de fibras celulósicas como aditivo para estabilizar y reforzar la mezcla. El efecto que se logra con esta cantidad de agregado grueso es el de una estructura de esqueleto cerrado e interconectado que ayuda en gran medida a disipar el impacto al subsuelo, lo que hace del SMA resistente al desgaste y a la deformación permanente. Por otra parte las fibras celulósicas permiten mantener una alta viscosidad en el ligante asfáltico, evitando con esto el drenado del ligante durante el almacenamiento, transporte y tendido del SMA, así mismo, permite un contenido de cemento asfáltico más alto en la mezcla lo que genera una capa más gruesa alrededor de cada agregado pétreo, inhibiendo la oxidación, penetración de la humedad, separación y ruptura de los agregados.

Esta forma de protección origina superficies de rodamiento de larga duración. Las fibras celulósicas en el ligante asfáltico le proporcionan también al SMA una gran estabilidad en temperaturas frías o cálidas. Además de esto el sistema de SMA permite tener una superficie de textura áspera, aumentando la resistencia a los deslizamientos y al acuaplaneo; también cuenta con propiedades de absorción de ruido.

Problemática del concreto asfáltico convencional

El constante aumento de tráfico pesado combinado con las cargas por eje también siempre en aumento, hacen que los métodos tradicionales de construcción sean llevados a sus límites técnicos.

Por un lado las superficies de concreto asfáltico deben ser resistentes a la deformación a altas temperaturas, esto solo se puede lograr con un contenido de ligante más bajo y un contenido de vacíos relativamente más alto. Por otro lado, los recubrimientos asfálticos flexibles, resistentes al clima y al envejecimiento requieren un contenido de ligante más alto (películas más gruesas) y el menor contenido de vacíos posible, en otras palabras, se tiene que escoger entre deformación de la carpeta o poca durabilidad.

Agregado pétreos y diseño de la mezcla del SMA

Primeramente los agregados deben ser seleccionados entre los materiales disponibles. Las rocas trituradas de alta calidad y los agregados duros son preferibles. Minerales tales como el granito, gabro, diabasa y basalto se han encontrado como materiales muy eficientes. Es también importante que el agregado sea de una roca triturada de alta calidad con un máximo de 20% de agregados planos y alargados. La curva granulométrica de los agregados puede ser modificada para obtener resultados específicos pero la experiencia alemana recomienda curvas para un grado 0-11 mm, 0-8 mm y 0-5 mm.

Para entender esto último haremos mención de la norma alemana ZTV Asphalt Stb 94, la cual especifica de 8 a 13% de fracciones menores a 90 micras, 70 a 80% deberán ser mayores a 2 mm, un 50 a 70% deberá ser mayor de 5 mm, más el 25% deberá ser mayor a 8 mm y hasta un 10% mayor a 11 mm. El tipo de filler que se incluye en la mezcla puede ser carbonato de calcio molido aunque se pueden considerar otros materiales. La arena utilizada en la mezcla deberá ser 50% cuando menos, arena triturada. El tipo de cemento asfáltico que se usa normalmente es el B65 ó B80 (asfalto con penetración entre

6.5 y 8.0 mm medido a 25°C). Solo en casos especiales se utiliza un asfalto con penetración 200.

El espécimen Marshall deberá tener un contenido de vacíos entre 2 a 4% por volumen. La cantidad de estabilizadores que se requiere tales como las fibras celulósicas Arbocel ó Viatop es de entre 0.3 a 1.5% por peso de la mezcla total. Las fibras celulósicas son un buen vehículo para el asfalto, químicamente inertes y resistentes a los ácidos diluidos así como a las soluciones alcalinas, son también hidrofílicas, lipofílicas e inofensivas fisiológicamente y no tóxicas y más importante es que son económicas puesto que se producen de recursos naturales renovables

Los materiales son seleccionados generalmente por el constructor con base en su experiencia y son probados cuidadosamente antes de iniciar el trabajo de pavimentación. En la preparación del tendido, es también importante calcular la velocidad de la máquina pavimentadora, el número y peso de los compactadores y el número de los camiones que entregan el asfalto. Esto se puede determinar a partir de la velocidad con la que se puede suministrar la mezcla y el equipo disponible.

Diseño de la mezcla:

Stone Mastic Asphalt	0/11 S	0/8 S	0/8	0/5
1. Agregados	Gravas de Machaqueo de alta calidad, arena de Machaqueo y filler mineral			
Granulometrías mm	0/11	0/8	0/8	0/5
< 0.09 mm % en peso	9-13	10-13	10-13	10-13
>2.0 mm % en peso	75-80	75-80	70-80	60-70
>5.0 mm % en peso	60-70	≥ 55	50-70	≥ 10
>8.0 mm % en peso	≥ 40	≤ 10	≤ 10	-
>11.2 mm % en peso	≤ 10	-	-	-
Relación arena machequeo-arena normal	≤ 1:1	≤ 1:1	≤ 1:1	≤ 1:1
2. Ligante				
Tipo de Betún	B65	B65	B65	B65
Contenido betún % en peso	≥ 6.5	≥ 7.0	≥ 7.0	≥ 7.2
3. Aditivo Estabilizante				
Contenido mezcla % en peso	0.3-1.5	0.3-1.5	0.3-1.5	0.3-1.5
4. Mezcla				
Probeta Marshall				
Contenido en huecos % en peso	3.0-4.0	3.0-4.0	2.0-4.0	2.0-4.0
5. Capa extendida				
Grosor cm	3.5-4.0	3.0-4.0	2.5-3.5	1.5-2.5
Peso kg/cm ²	85-100	70-100	60-85	35-60
Grado de compactación %	≥ 97	≥ 97	≥ 97	≥ 97
Contenido de huecos % en volumen	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 6.0	≤ 6.0

Figura V.14 Diseño del Stone Mastic Asphalt

Producción de la mezcla

El SMA puede producirse por lotes en planta de "bachas" ó continuamente en una mezcladora de tambor. La producción de la mezcla es uno de los elementos más importantes en la construcción de un pavimento SMA o de sobrecarpetas del mismo. Se produce de una manera similar a la red del concreto asfáltico, con la excepción de que se le debe dar una atención especial a las fracciones de los agregados para que estén dentro de la curva granulométrica determinada así como a los tiempos de mezclado con la adición de las fibras celulósicas. Una calidad constante asegura una carpeta asfáltica homogénea, libre de problemas y de larga duración. En años anteriores la homogeneización de la mezcla era la preocupación cuando se trataba de mezclar las fibras celulósicas sin recubrimiento, en la actualidad el uso del Viatop permite resolver este problema; el Viatop es un pelet compuesto de 66% de fibras celulósicas y 34% de asfalto, la adición y mezclado de la celulosa no representa ningún problema en la mezcla asfáltica. El Viatop puede ser almacenado en silos y agregado automáticamente através de la abertura de reciclado o dosificado manualmente con empaques individuales de polietileno fundible de hasta 25 kg, los cuales se funden instantáneamente sin dejar residuo en la mezcla, también puede dosificarse con cubetas por peso o volumétricamente.

La planta mezcladora deberá tener varias unidades alimentadoras en frío con un mínimo de tres diferentes tamaños de mallas cada una con una unidad de almacenaje en caliente "hot bin". Las cantidades de las fracciones de agregados requeridas se programan en los sistemas de control de la mezcladora, así como otros parámetros necesarios para la producción del lote. Los agregados se secan y calientan a temperaturas de 170-190°C. Los diferentes grados son separados en los silos calientes y son pesados nuevamente para asegurar una dosificación cuidadosa. Después que los agregados son pesados en la mezcladora, se pesa y se agrega el filler. Los pelets de Viatop son adicionados a los agregados secos, precisamente antes de agregar el cemento asfáltico. El tiempo de mezclado para el SMA es de 10 a 15 segundos mayor que el del concreto asfáltico.

La mezcal deberá efectuarse a una temperatura de entre 155 a 180°C cuando se usa un asfalto de penetración 65 y de 150 a 175°C cuando se utiliza un asfalto de penetración 80. Se debe tener en mente que si la mezcla será transportada durante recorridos largos, la temperatura de mezclado debe alcanzar el límite más alto especificado y se deberán tomar medidas apropiadas para cubrir la carga y evitar que la temperatura caiga excesivamente ó se oxide durante el transporte, especialmente en condiciones con mucho viento.

Colocación de la carpeta de SMA

Antes de colocar la carpeta de SMA, es importante examinar las condiciones de la superficie sobre la cual se colocara y llevar a cabo cualquier tratamiento o reparación necesarias. Aunque el SMA puede ser tendido sobre superficies desgastadas por el tráfico debido a su baja compresibilidad, los baches grandes deberán repararse previamente. La superficie deberá compactarse y estar limpia y seca. Deberá rociarse una capa de emulsión asfáltica rebajada ó aplicar un riego de liga sobre el pavimento viejo para asegurar una buena adhesión. Para la colocación se utiliza una máquina normal de tendido de asfalto en caliente. Es necesario tener en mente como se hace cuando se coloca cualquier asfalto, que la máquina pavimentadora deberá ser manejada a velocidad constante y evitar paradas. El trabajo de pavimentación no deberá realizarse bajo condiciones de lluvia y por supuesto todas las variables deberán monitorearse constantemente. Aunque las especificaciones indican que la temperatura de tendido debería de ser mayor a los 140°C, la experiencia muestra que los resultados son mejores cuando la temperatura esta cercana a los 150°C. No se deberá colocar un asfalto SMA cuando el aire cae debajo de los 3°C. La compactación del pavimento depende de la

temperatura de los rodillos así como de los patrones del recorrido de los mismos, el número de pasadas de la aplanadora y espesor al que debe compactarse. Se debe iniciar el aplanado inmediatamente después de la maquina pavimentadora con una aplanadora de 8 a 10 toneladas, estática y con rodillos de acero y deberá permanecer lo más cercana posible de la pavimentadora, en algunos casos hasta 30 cm de separación, ya que la mezcla tiene a enfriarse rápidamente. Con el SMA no se recomienda utilizar compactadores con ruedas de hules ya que el alto contenido de cemento asfáltico tiende a pegarse en las ruedas de hule y causa efectos indeseables en el mastic. Los compactadores con vibración se deberán utilizar únicamente en la segunda y tercera pasadas. El aplanado final puede continuar mientras la temperatura esta todavía de 90°C a 100°C, pero se deberá tener cuidado de no sobrecompactar ya que puede causar que el asfalto migre a la superficie.

El Stone Mastic Asphalt ha sido probado con éxito en carreteras con alta circulación y en aplicaciones industriales:

- ✓ Con alta densidad de camiones
- ✓ Con cargas pesadas
- ✓ Con semáforos
- ✓ En cruces
- ✓ En autopistas
- ✓ En pendientes
- ✓ En puentes
- ✓ En carriles de autobús
- ✓ En puertos
- ✓ En aeropuertos
- ✓ En áreas de carga y descarga

CAPITULO VI

ESTRATEGIAS PARA LA CONSERVACION DE PAVIMENTOS Y SU IMPORTANCIA

VI.1 PRINCIPIOS DE LA SELECCION DE ESTRATEGIAS.....	214
VI.2 APLICACION DEL SISTER AL CASO DE MEXICO.....	219
VI.3 ESTRATEGIA DE REFERENCIA: POLITICA ACTUAL.....	221
VI.4 MANTENIMIENTO NORMAL.....	224
VI.5 MANTENIMIENTO REDUCIDO.....	232
VI.6 REHABILITACION RAPIDA Y MANTENIMIENTO REDUCIDO.....	237
VI.7 IMPORTANCIA DE LAS ESTRATEGIAS.....	245
VI.8 SELECCION DE ESTRATEGIAS PARA REHABILITACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO.....	251

La selección de estrategias dentro de la ingeniería civil es una actividad que suele dar grandes dividendos, cuando se realiza este tipo de trabajos antes de iniciar cualquier actividad en campo, dará como resultado la optimización de recursos. Los cuales generalmente serán siempre limitados, el caso de nuestra nación es totalmente afín a esta situación, la falta de recursos siempre tendrá un alto impacto que aunado a la falta de planeación y de implementación se acentúa aun más.

En el trabajo que hemos desarrollado se han presentado: la situación real de nuestros pavimentos, los diversos factores que han llevado a esta situación, las diversas técnicas actuales que se emplean a escala mundial para la conservación y ahora en este capítulo presentaremos la forma actual en que se toman las decisiones respecto a la conservación óptima.

Los resultados de la aplicación de estas metodologías en otros países han demostrado su eficacia, la cual puede ser adaptada a nuestras necesidades actuales y futuras, esto en sí mismo representa la oportunidad de aprovechar los pocos recursos financieros de nuestro país, para mantener en un nivel adecuado nuestros caminos.

Pero, ¿qué es una estrategia?, por estrategia, se debe entender al proceso regulable y al conjunto de reglas que aseguran una decisión óptima en cada tiempo, y para que se logre será necesario que se definan primeramente una serie de datos pasados y futuros sobre el problema, así como los alcances deseables que serán el marco de referencia para considerar a una alternativa como óptima.

En este capítulo presentaremos la manera en que se selecciona una estrategia de mantenimiento así como los resultados de la aplicación del SISTER a la selección de estrategias para el caso mexicano, este último realizado en 1992, por lo que es de esperar que los resultados a la fecha no sean los esperados, ni aplicables tal cual, por principio de cuentas porque las condiciones bajo las que se analizaron las alternativas ya no son válidas y además por los grandes cambios económicos que ha sufrido nuestro país, pero resultan ser ejemplos ilustrativos de la importancia de la planeación.

Para finalizar se presentaran las expectativas que se consideraron en este rubro en el sexenio 1994-2000 así como algunos resultados.

VI.1 PRINCIPIOS DE LA SELECCION DE ESTRATEGIAS

La necesidad de rehabilitar nuestras carreteras, calles y los aeropuertos nunca dejara de tener importancia. Allí están, y además están aumentando, esta situación exige hacer uso de recursos para la rehabilitación y el mantenimiento. Una variedad de estrategias está ahora disponible para llenar estas demandas.

Cada técnica bajo diversas categorías nos permiten encontrar alguna manera de solución para un deterioro en particular del pavimento.

En este capítulo se dan las pautas que permiten seleccionar las estrategias de rehabilitación eficaces. Un ingeniero puede adaptar el contenido de la estrategia fácilmente para los materiales locales, medio ambiente, condiciones del proyecto y costos particulares que le interesen.

La rehabilitación del pavimento es actualmente un proceso rápido, que emplea la tecnología de punta del momento. La experiencia ganada en los proyectos pasados, ofrece lecciones importantes en la determinación de las apropiadas actividades de la rehabilitación, se combina este conocimiento para la selección de la estrategia de manera sistemática.

Selección sistemática de estrategias

Un acercamiento sistemático es la manera más eficaz para evaluar y seleccionar técnicas de rehabilitación de pavimentos. El proceso debe considerar todos los parámetros aplicables y sus impactos en la opción, así como entre las alternativas. Estos parámetros pueden ser el pavimento y sus deterioros, condiciones geométricas, condiciones de tránsito, la facilidad de construcción de la opción y el ciclo de vida del proyecto. La experiencia en la rehabilitación, indica que cuando se diseña una alternativa, no solo el costo inicial tiene importancia, sino también el mantenimiento y las rehabilitaciones a futuro que las mismas requieran. Esta influencia se muestra en la Figura VI. 1, en la cual se muestra el criterio de selección de una estrategia con una decisión sistemática.

La política que realiza el mantenimiento aplicando los mismos criterios normales a cada pavimento no produce rehabilitación del pavimento exitosa. Esto ha llevado a una actuación pobre y el uso ineficaz de fondos. La rehabilitación exitosa depende de decisiones que estén basadas en la condición específica y un programa de mantenimiento individual de cada pavimento.

Un fondo económico apropiado para la rehabilitación del pavimento es aquel que permite mantener cualquier sistema carretero en un nivel de servicio aceptable. Una consecuencia de un fondo inadecuado es que ese dinero no está disponible para realizar la rehabilitación apropiada en el momento apropiado. Los organismos con fondos inadecuados usan los mismos de manera inadecuada, el resultado usual se da con el tiempo, ya que la solución tiene una actuación pobre y el costo resulta más alto, en muchas ocasiones en el corto y largo plazo.

Evaluando la efectividad de cada alternativa de rehabilitación, se deben incluir el costo de evaluar las condiciones del proyecto de rehabilitación, así como las consecuencias de cada alternativa. El examen del costo debe incluir costo inicial, pero también debe incluir ciclo de vida y costo para el usuario. El ingeniero debe estimar la vida esperada de la rehabilitación.

Para la elaboración de una estrategia, será necesario definir simultáneamente el programa de obras pertinente y los parámetros de deterioro de la red relacionados con este programa. Se establecen ambos juegos de datos para cada zona climática y de costos, cada clase de tránsito y estándar de carretera, todo ello para un ciclo de vida definido.

Si consideramos tres zonas climáticas y cinco clases diferentes de tránsito, tendremos escenarios diferentes (ciclos de vida) dentro de cada estrategia considerada. Generalmente se puede considerar que un ciclo de vida dura entre 10 y 25 años, y solo en casos extremos más de 30 años.

Cada ciclo de vida se describe año por año con la indicación de las obras de mantenimiento propuestas, la nota de calidad y el índice de rugosidad que resulte de aplicar cada una de las políticas de mantenimiento.

A continuación se resumen brevemente la información requerida para la elección de una estrategia de manera que resulte óptima la selección.

Información del proyecto

La información del proyecto detallada es importante para la selección de la estrategia preferida. Cinco tipos básicos de información son indispensables, y son primeramente el plan de actividades necesario o programa, información de construcción, datos de tránsito, condiciones del medio ambiente y la condición del pavimento al momento de iniciar el programa.

Datos de diseño

Empezar a analizar el porque de la mala actuación de una solución de pavimento requiere de que el ingeniero revise los parámetros del proyecto original para el pavimento existente. Estos datos incluyen el tipo del pavimento y su espesor.

La información detallada sobre los componentes del pavimento es también muy útil. Esto incluye: carpeta, base, sub-base, terracerías y reparaciones anteriores o actividades de mantenimiento.

Datos de la construcción

La investigación de las condiciones durante la construcción del pavimento original puede dar una visión clara de las posibles causas de los deterioros del pavimento existente. Los datos de campo o las notas de la bitácora de construcción son fuentes excelentes de información. Las notas de problemas o condiciones de tiempo son particularmente útiles.

Datos de tránsito

La evaluación requiere conocer el pasado, lo actual y lo que se espera en el crecimiento del tráfico. Esto ayuda a conocer más sobre la capacidad estructural inicial que se planteo y a determinar el número de opciones potencialmente eficaces.

Datos del medio ambiente

Precipitación, temperatura y ciclos de heladas y desheladas, son las condiciones más importantes. Cada uno de estos fenómenos son factores que afectan directamente en los materiales y capas de un pavimento y pueden influir en la integridad del material, su calidad estructural y su comportamiento general. Entendiendo cómo estos factores han afectado para generar los problemas potenciales en la actuación del pavimento, se tendrán bases para la selección de la alternativa correcta.

Datos de deterioros en el pavimento

Un estudio de la condición que presenta un pavimento debe informar de los tipos de daños, su severidad y cantidad de cada uno, que áreas de deterioros pueden requerir soluciones diferentes o precisas para secciones diferentes a lo largo de un mismo proyecto. El deterioro debe caracterizarse con su agente causante que puede ser: carga, clima o bien ambos. La comprobación destructiva y la no-destructiva puede ayudar a determinar la condición estructural y las propiedades reales de los materiales debajo de la superficie de rodamiento. Es importante agregar un estudio visual o de un catalogo fotográfico con material de la superficie de rodamiento y una comprobación somera de las condiciones de las capas inferiores. El objetivo principal es coleccionar bastante información para poder caracterizar el tipo y magnitud de cada deterioro.

No todas las opciones de la rehabilitación requieren el mismo nivel de estudio para el análisis exacto de las condiciones que causaron el deterioro.

Evaluación

La evaluación del pavimento se deduce de toda la información del proyecto para determinar la causa de los deterioros. La meta de la rehabilitación es arreglar las causas de la deterioración, no sólo los síntomas. Reparaciones que meramente cubren un problema no proporcionan soluciones eficaces. Sabiendo la causa de cada deterioro se estrechan en su alcance las soluciones eficaces.

Una evaluación que usa condiciones supuestas o de las condiciones en los materiales no debe hacerse. Estos factores son mensurables de los resultados de una evaluación destructiva y de los métodos de comprobación no-destructivos. Usando valores supuestos no se proporciona ningún seguro para que la estrategia de rehabilitación se cumpla con

las expectativas del plan. Una evaluación de la ingeniería debe dirigirse hacia la codificación de problemas como sigue.

Condición estructural y funcional

En una evaluación, el ingeniero debe determinar la condición estructural del pavimento. Para ello debe entender que la deterioración estructural es cualquier condición que reduce la capacidad de carga que soporta un pavimento. En el caso de un pavimento rígido, cuando la esquina se rompe provoca el bombeo de los materiales subyacentes, la eyección de las juntas y las losas estrelladas son algunos ejemplos de fallas en la estructura de un pavimento de concreto. El agrietamiento en forma de piel de cocodrilo, agrietamiento transversal, deformaciones y roderas son ejemplos para los pavimentos de asfalto.

Muchas organizaciones activan la necesidad de los trabajos de rehabilitación, solo basados en un nivel de servicio o bien en un índice o tasa. Recordemos que nivel de servicio es una descripción general de la condición del pavimento, un pavimento que se califica en 5.0 es excelente mientras un pavimento que califica de 0.0 es intransitable. Aunque algunas agencias han modificado el concepto para incluir medidas objetivas, el nivel de servicio todavía es un término subjetivo. La calidad del manejo es la influencia primaria de los valores del nivel de servicio.

Perdido en la subjetividad el nivel de servicio es la distinción entre deterioro funcional y estructural. Los deterioros funcionales incluyen problemas que influyen en su conservación o reconstrucción.

La evaluación de la capacidad estructural requiere del estudio visual completo y de la comprobación de los materiales. La comprobación no-destruictiva busca caracterizar la rigidez del pavimento y el apoyo de la sub-base.

Condición de los materiales

Los problemas que se presentan en los materiales como la alcalinidad, la reactividad, y otras condiciones pueden reducir la integridad del concreto y de la mezcla asfáltica, como ya se ha mencionado en los capítulos II y III. La mayoría de estos problemas se identifican fácilmente en la superficie del pavimento. La severidad de los deterioros, causados por los materiales puede impactar el número de los posibles procedimientos de rehabilitación del pavimento candidato al mismo. Los análisis petrográficos son auxiliares ya que identifican las causas cuando estas no son obvias.

Condición del drenaje

Evaluar las condiciones del desagüe son relativamente simples. Los problemas del desagüe normalmente se manifiestan en daños sobre el pavimento de manera notable. Cualquier presencia de bombeo de juntas o en el asfalto haciendo surcos indicara algunas deficiencias del desagüe en la estructura del pavimento. La condición de líneas de conducción y del sistema de desagüe también son indicadores importantes, aun cuando estas situaciones sean más importantes dentro de áreas urbanas, o sea en pavimentos urbanos.

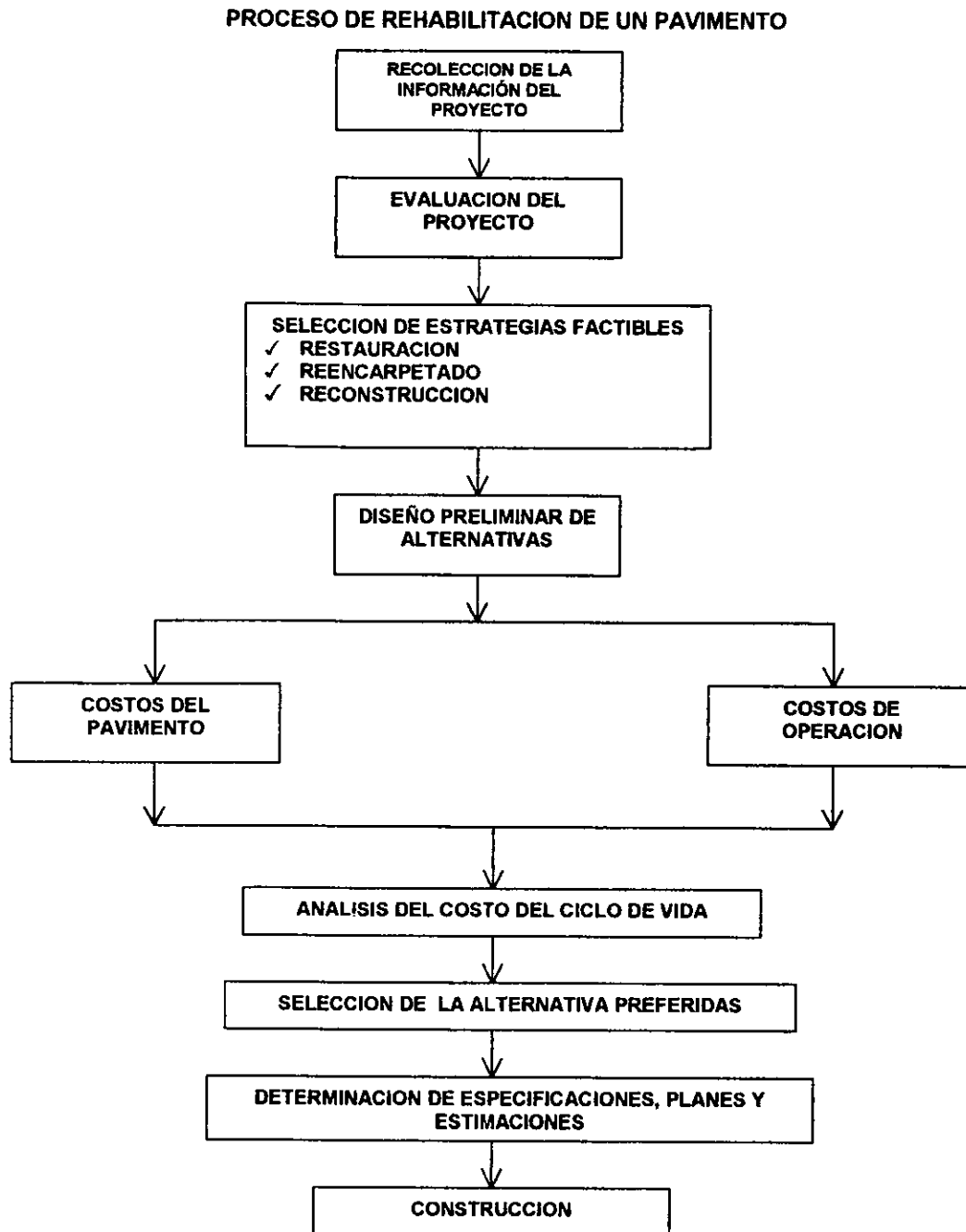


Figura VI.1 Una decisión sistemática hace que el proceso para la selección de la estrategia de rehabilitación sea una decisión apropiada

Condiciones uniformes entre carriles

En muchos caminos de cuatro carriles, el carril exterior que ocupan los camiones es el que se deteriora más y con mayor velocidad que el carril interno o los hombros. Esta condición es importante ya que habrá que notar las condiciones particulares entre los diferentes carriles durante una evaluación. Los ahorros significativos pueden resultar reparando sólo la parte del pavimento que requiere tratamiento dadas sus condiciones de tránsito.

VI.2 APLICACION DEL SISTER AL CASO DE MEXICO

En el capítulo IV, se habló de manera más amplia sobre los fundamentos del SISTER, ahora en este capítulo se presentan las bases que dieron origen a los datos requeridos por el programa de simulación, para su aplicación a varias estrategias concebidas para el sistema carretero mexicano, posteriormente a este punto se presentan algunos casos representativos así como su análisis particular.

Evolución del estado de los pavimentos

Una correspondencia entre el estado superficial del pavimento notado de 20 a 0 y el valor resultante del índice internacional de rugosidad (IIR) fue establecida para nuestro país considerándose los inventarios de la red obtenidos durante los años 1989, 1990 y 1991.

Un pavimento conservado solamente con acciones de bacheo y renivelación va a degradarse de tal manera que se presenta una curva de tendencia parabólica, tal y como se muestra en la siguiente figura VI.2. Desde una situación inicial, en donde se considera un nivel de servicio "BUENO" con valores de $2 \leq \text{IIR} \leq 2.4$, el estado se deteriora lentamente hasta el "REGULAR", luego la degradación se acelera y el estado del pavimento se vuelve "MALO" y termina en pocos años en el "PESIMO".

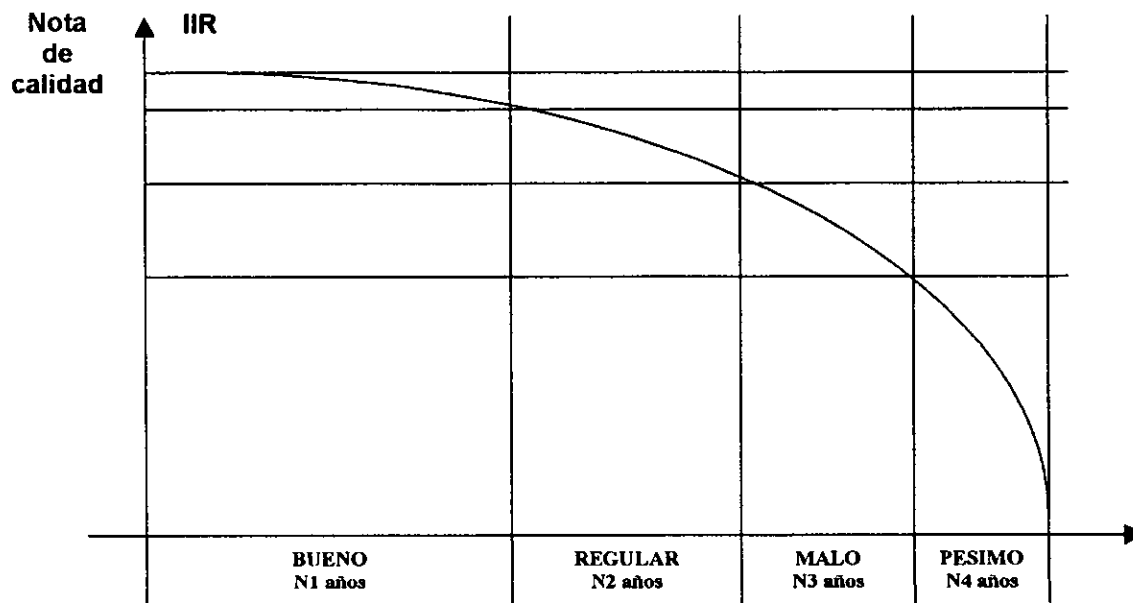


Figura VI.2 Curva de deterioro

Cuando se tiene contemplado un mantenimiento preventivo en una carretera, esta evolución se puede moderar o parar, en este caso se consideran pertinentes las siguientes acciones:

- ✓ Renovación de las capas de rodamiento
- ✓ Rehabilitación del pavimento (refuerzo)

Con lo que se logra los siguientes resultados respectivamente

- ✓ Disminución de la evolución debido al mejoramiento de la rugosidad
- ✓ Renovación del pavimento en su estado inicial

La combinación de mantenimiento rutinario (particularmente el calavereo y el bacheo), según las frecuencias de la estrategia definida, conducirá hacia un modelo de evolución del estado de los pavimentos como se indica en la figura VI.3.

Definir una estrategia de mantenimiento consiste en primeramente fijar las frecuencias de realización de los diversos subprogramas de obras, determinando los plazos N1 y N2 durante los cuales la vialidad será en el estado A, luego en el estado B; segundo, fijar los plazos N3, luego N4 durante los cuales se toleraran condiciones de estados malos (C) y/o de pésimo (D).

Teóricamente todo pavimento llegado el estado C, debería ser objeto de un refuerzo. Sin embargo, esta posición no es realista si se consideran las grandes dificultades por las que normalmente atraviesa el mantenimiento en nuestro país.

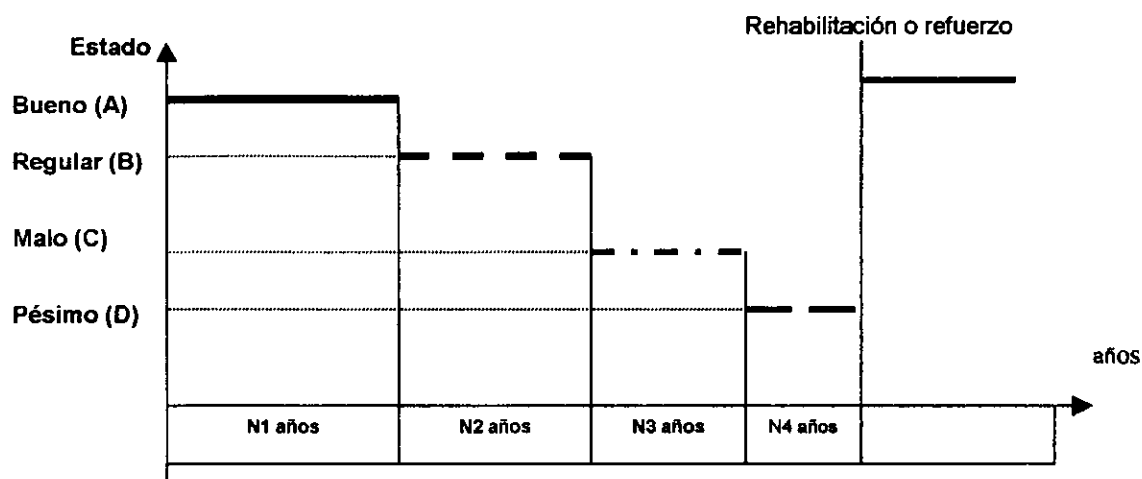


Figura VI.3 Evolución del estado de un pavimento

Evolución real del estado de un pavimento

En la realidad la ley de evolución del estado superficial de un pavimento en el tiempo es más compleja pues:

- a) Algunas obras están realizadas para mantener la carretera en buen estado el más largo tiempo posible:
 1. Obras de mantenimiento rutinario anual (reparaciones aisladas, renivelaciones, mantenimiento de los acotamientos, de las cunetas, de los taludes de las obras de sostenimiento, etc)
 2. Obras de mantenimiento periódico o preventivo:

- Intervenciones del tipo 1 (reposición de capa de rodamiento, tratamiento de acotamientos)
 - Intervenciones del tipo 2 (rehabilitación de cuerpo de calzada con nueva base estabilizada o no, renivelación de los acotamientos y tratamiento superficial eventual)
- b) La intensidad y la composición del tránsito están sometidos a variaciones anuales
- c) Las variaciones climáticas pueden ocasionar periodos de debilitación de los pavimentos o aun fallas totales en los mismos (lluvias, cambios de temperatura, etc)
- d) La técnica de construcción usada (capa de base en roca triturada estabilizada con asfalto o cemento, capa de base de roca triturada no estabilizada, base con agregados naturales no tratados, etc) puede ocasionar un comportamiento diferente de la ley de degradación teórica.

Dos carreteras presentaran la misma evolución si tienen la misma estructura (sub-rasante, sub-base, base y capa de rodamiento), si reciben el mismo mantenimiento, si soportan el mismo tránsito y si están localizadas en la misma zona climática, lo cual resultara en la mayoría de los casos muy difícil de cumplir.

VI.3 ESTRATEGIA DE REFERENCIA: POLITICA ACTUAL

La política actual de mantenimiento es la situación del proyecto, es decir, que todas las alternativas de mantenimiento que se presentaran posteriormente se compararan con esta. Es entonces necesario simular la política actual por medio de una estrategia, tal como se hace con las estrategias alternativas. Este trabajo sirve también para calibrar el modelo en términos de presupuesto.

Esta estrategia de referencia fue elaborada de tal manera que respete el nivel presupuestal establecido para el año de 1992, que en aquel entonces se considero de alrededor de 700 mil millones de pesos por año. La naturaleza y la frecuencia de las obras fueron derivadas de las observaciones hechas a lo largo del proyecto, incluso del análisis de los programas de obras para ese mismo año.

Programa de obras 1992

La política seguida para ese año de referencia contemplaba niveles bajos de inversión, lo que induce varias consecuencias, entre las que destacan las siguientes:

1. No se hacían trabajos de rehabilitación. Las obras más importantes fueron la renivelación, la reconstrucción de bases hidráulicas y de carpetas asfálticas, y no se trabajaban las capas inferiores de las carreteras, responsables en la mayoría de los casos de las degradaciones del pavimento y de su superficie
2. El mantenimiento se limita a las obras de emergencia y al mantenimiento curativo
3. Los ciclos de vida de las carreteras en ese año y en la actualidad demuestran estar sobrepasados, es decir el general aun cuando no a sido comprobado con exactitud, se sabe que el sistema carretero es viejo, con una edad media de 25 años aproximadamente

Con base en estos criterios se desarrollo la estrategia de referencia, programándose las siguientes obras para la simulación:

1. El mantenimiento corriente de limpieza, con más frecuencia en las carreteras con mayor tráfico pesado
2. Un bacheo de emergencia a intervalos variables
3. Un tratamiento superficial de estancamiento (simple o doble) o una carpeta asfáltica con una frecuencia relacionada con el nivel de tránsito
4. Un tratamiento superficial o una carpeta asfáltica ligada a una renivelación o una base hidráulica al final del ciclo de vida de las carreteras.

Así mismo se definieron en su momento ciclos de vida acordes con el tránsito de las autopistas mexicanas, con los siguientes resultados:

- ✓ 29 a 30 años para la clase T1
- ✓ 28 a 30 años para la clase T2
- ✓ 22 a 23 años para la clase T3
- ✓ 16 años para la clase T4
- ✓ 14 años para la clase T5

Resultados

La simulación en su momento mostró que la red se deterioraría paulatinamente durante los seis primeros años (1992 a 1998), para posteriormente tener una brusqueda caída. A largo plazo la red en estado "bueno" o "regular" desaparecería virtualmente (8 %) y la parte más importante de la red (60 %) llegaría a un estado "malo", lo demás se tendría en condiciones de "pésimo" (33 %).

De esta manera se demostraba que los presupuestos, con su nivel y su asignación, simplemente no pueden alcanzar ni a mantener la red en su nivel inicial. Esto como resultado de factores financieros y técnicos en igual medida.

**Estado de las carreteras por año: Estrategia 00
TODA LA RED FEDERAL**

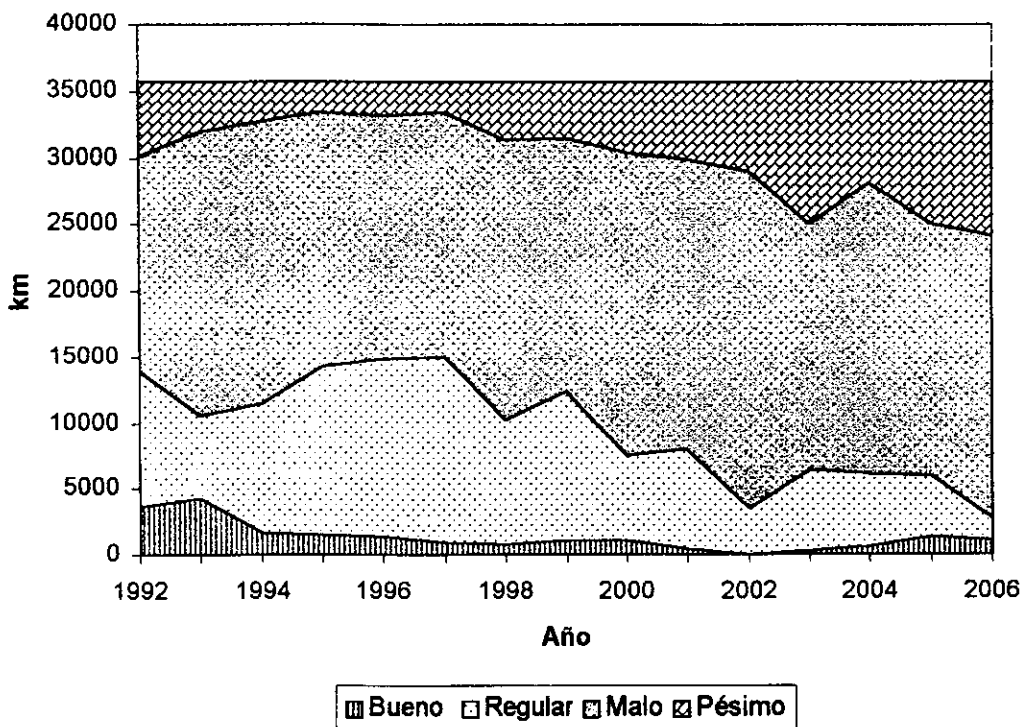


Figura VI.4 Resultados Estrategia 00

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Buena	Regular	Mala	Pésimo	Total	Buena	Regular	Mala	Pésimo
1992	3631	10312	16184	5663	35790	10%	29%	45%	16%
1993	4312	6195	21390	3893	35790	12%	17%	60%	11%
1994	1621	9779	21263	3127	35790	5%	27%	59%	9%
1995	1499	12629	19268	2394	35790	4%	35%	54%	7%
1996	1332	13472	18361	2625	35790	4%	38%	51%	7%
1997	860	14040	18569	2321	35790	2%	39%	52%	6%
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%

Figura VI.5 Resultados Estrategia 00

ESTRATEGIA 00						
POLITICA DE MANTENIMIENTO EN 1992						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	2168	2254	2140	2154	1591	10307
Promedio anual	723	751	713	718	530	687
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
Tratamiento superficial	15346	18337	15911	19463	8277	77334
Carpeta de concreto	3378	3018	6159	4739	4228	21522
Rehabilitación	0	0	0	0	0	0
Promedio anual						
Tratamiento superficial	5115	6112	5304	6488	2759	25778
Carpeta de concreto	1126	1006	2053	1580	1409	7174
Rehabilitación	0	0	0	0	0	0
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	245588	275329	313155	356681	399405	1590158
Promedio anual	81863	91776	104385	118894	133135	106011

Figura VI.6 Estrategia 00, fuente SCT DGCC 1992

VI.4 MANTENIMIENTO NORMAL

Por normal se entiende el mantenimiento que permite conservar la carretera en buen estado a largo plazo, con un conjunto de obras de mantenimiento rutinario, periódico y de rehabilitación. Cada tipo de obras tiene su frecuencia óptima relacionada con el volumen de tránsito y las condiciones climáticas de la región particular. Las estrategias elaboradas se fundamentan entonces, en la experiencia y las normas internacionales

Programa de obras: estrategia estándar

Se prepararon varias estrategias de mantenimiento "normal" con variaciones en la programación de las obras de rehabilitación. Pero en este trabajo presentamos dos, las cuales se detallan más adelante, en estas se considera una política de mantenimiento a largo plazo, que consiste 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, se plantea la necesidad de una rehabilitación completa.

El mantenimiento rutinario de limpieza y de conservación normal de los pavimentos se prevé cada año. El bacheo es excepcional, y se considero para estas simulaciones un año antes de las operaciones de mantenimiento periódico. El mantenimiento periódico consiste en tratamientos superficiales simples de estancamiento y de carpetas asfálticas; las frecuencias de aplicación se ajustaron al nivel de tránsito.

Al final del ciclo de vida se prevé una rehabilitación completa de las carreteras, con características ajustadas al nivel de tránsito. Los ciclos de vida se determinaron siempre con una nota de calidad igual a 14, cerca del límite inferior de la clase de estado "regular".

Los ciclos de vida escogidos en su oportunidad dependieron de la cantidad de vehículos así como su impacto sobre el pavimento, y son los siguientes:

- ✓ 13 a 14 años para la clase T1
- ✓ 11 a 13 años para la clase T2
- ✓ 9 a 11 años para la clase T3
- ✓ 11 años para la clase T4
- ✓ 9 años para la clase T5

Estrategias de espera

Las obras descritas anteriormente conciernen a las carreteras en buen estado, las carreteras en estado "pésimo" y "malo" así como parcialmente "regular" merecen una rehabilitación previa. Por eso se diseñaron "estrategias de espera" para este tipo de carreteras que antes de su rehabilitación recibirán un mantenimiento reducido para evitar con ello el malgastar los recursos.

Estas acciones consisten en obras esporádicas de limpieza y de conservación del pavimento, incluso a veces de tratamientos superficiales, hasta el año previsto para una rehabilitación completa. Después de esto, la carretera sigue una estrategia de mantenimiento normal como las demás.

La duración de estas estrategias de espera corresponde al tiempo que la administración acuerda para la rehabilitación de estas carreteras. Puede depender de la clase de tránsito y de la estrategia misma. Se presentan dos estrategias contrastadas, que difieren por el contenido y la rapidez del programa de rehabilitación que propuso la SCT para ese año de 1992.

ESTRATEGIA 10 Y 13

La estrategia 10, corresponde a periodos de espera más largos que en el caso de la estrategia 13. La primera es entonces menos ambiciosa que la segunda.

En lo que se refiere a los periodos de espera, estos se resumen a continuación en la tabla VI.3.

CLASE DE TRANSITO	ESTRATEGIAS DE ESPERA	
	No. 10	No. 13
T1	9-12	9
T2	8-11	9
T3	9	6
T4	6	5
T5	3	3

Figura VI.7 Periodos de espera (años) para las estrategias 10 y 13,
Fuente SCT, DGCC 1992

Resultados

a) Estado de la red

Por su puesto las estrategias de mantenimiento "normal" junto con la política de rehabilitación permiten una recuperación de la red. La velocidad a la que se da la misma depende más que todo del programa de rehabilitación, lo más eficaz a corto plazo y largo plazo, pero también el más costoso en el corto plazo.

Entre 9 y 12 años cuesta eliminar de la red el estado "pésimo" o "malo" y la distribución, según los resultados obtenidos de la simulación de la estrategia, la misma permitiría

alcanzar un nivel de alrededor de 50% de estado "bueno" y "regular", lo que resultaría interesante a largo plazo.

b) Rehabilitación

Las necesidades en rehabilitación se estimaron en alrededor de 2,500 km para la estrategia 10 y alrededor de 3,500 km para la 13, estas cantidades por año durante al menos 10 años. En 15 años la simulación nos indicaba que alrededor de 40,000 km se encontrarían en buenas condiciones, ya sea por reconstrucción de carreteras en malas condiciones o por rehabilitación normal de las carreteras en buen estado.

c) Presupuestos

Estas estrategias, dieron en su momento como resultado un gasto medio de alrededor de tres veces lo que se gastó durante 1992 y que nos ha servido de referencia, lo que equivaldría alrededor de 2 billones de pesos considerando el año de 1992, esto para 15 años, o sea, aproximadamente 2 mil millones de pesos actuales o bien aproximadamente 190.5 millones de dólares americanos a un tipo de cambio de 10.5 pesos por dólar, para el mismo periodo.

Pero los gastos por cada periodo de 3 años nos indica según la simulación, variaciones importantes, debido a la intensidad variable de las rehabilitaciones. No obstante, la programación de las obras que resulta de las estrategias conduce a presupuestos anuales medios muy estables durante el periodo de 6 años. Los niveles calculados por año son bajo esas condiciones, y en billones de pesos (base 1992) los siguientes: Estrategia 10 = 1.7 billón y para la Estrategia 13 = 2.2 billones.

Cabe señalar que a largo plazo las sumas requeridas para el mantenimiento rutinario y periódico serían más bajas que las dedicadas a estas actividades durante 1992, y de acuerdo con esos datos sería de 700 mil millones en el año de referencia contra 500 mil millones por año de haberse implementando estrategia. Esto se debe al hecho de que las carreteras en buen estado requieren menos atención durante su vida útil. Pero al final del ciclo de vida se deben rehabilitar y estas obras, necesarias, cuentan para el aumento substancial del presupuesto total.

d) Rentabilidad

La rentabilidad de estas estrategias es alta. La razón de los beneficios de acuerdo a los costos actualizados sobrepasa de 4, lo que puede parecer alto pero que se explica por las pésimas condiciones que presenta la red, y por la hipótesis implícita de que las carreteras rehabilitadas serán conservadas en buen estado.

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

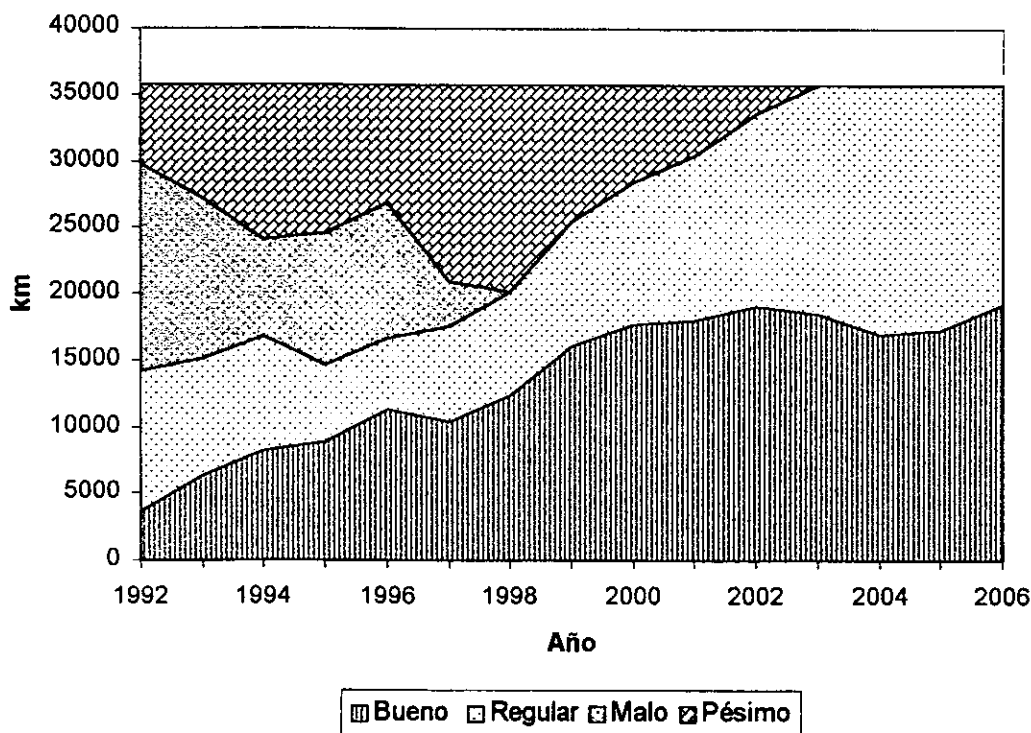


Figura VI.8 Resultados Estrategia 10

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Buena	Regular	Mala	Pésimo	Total	Buena	Regular	Mala	Pésimo
1992	3631	10547	15653	5959	35790	10%	29%	44%	17%
1993	6365	8702	12074	8649	35790	18%	24%	34%	24%
1994	8243	8478	7338	11731	35790	23%	24%	21%	33%
1995	8884	5699	10071	11136	35790	25%	16%	28%	31%
1996	11236	5357	10220	8977	35790	31%	15%	29%	25%
1997	10415	7204	3354	14817	35790	29%	20%	9%	41%
1998	12369	7804	21	15596	35790	35%	22%	0%	44%
1999	16036	9435	0	10319	35790	45%	26%	0%	29%
2000	17737	10633	0	7421	35791	50%	30%	0%	21%
2001	17980	12395	0	5415	35790	50%	35%	0%	15%
2002	19028	14521	0	2241	35790	53%	41%	0%	6%
2003	18422	17347	0	21	35790	51%	48%	0%	0%
2004	16956	18834	0	0	35790	47%	53%	0%	0%
2005	17315	18475	0	0	35790	48%	52%	0%	0%
2006	19272	16518	0	0	35790	54%	46%	0%	0%

Figura VI.9 estrategia 10, Fuente SCT DGCC 1992

ESTRATEGIA 10						
MANTENIMIENTO NORMAL – REHABILITACION EN 12 AÑOS (AÑO BASE 1992)						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	4990	5099	7028	6991	5878	29986
Promedio anual	1663	1700	2343	2330	1959	1999
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
Tratamiento superficial	12898	3106	6184	6894	11036	40118
Carpeta de concreto	0	171	491	537	28	1227
Rehabilitación	1663	8219	11179	10421	8220	45642
Promedio anual						
Tratamiento superficial	4299	1035	2061	2298	3679	13373
Carpeta de concreto	0	57	164	179	9	409
Rehabilitación	2534	2740	3726	3474	2740	15214
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	249237	269058	289037	300928	334241	1442501
Promedio anual	83079	89686	96346	100309	111414	96167
BALANCE ECONOMICO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Ahorros netos por periodo	-2822	-2845	-4888	-4837	-4287	-19679
Presupuesto	-3649	6271	24118	55753	65164	147657
COV						
Razón Beneficios/Costos actualizados =						4.16

Figura VI.10 Estrategia 10, Fuente SCT DGCC 1992

**Estado de las carreteras por año: Estrategia No. 13
TODA LA RED FEDERAL**

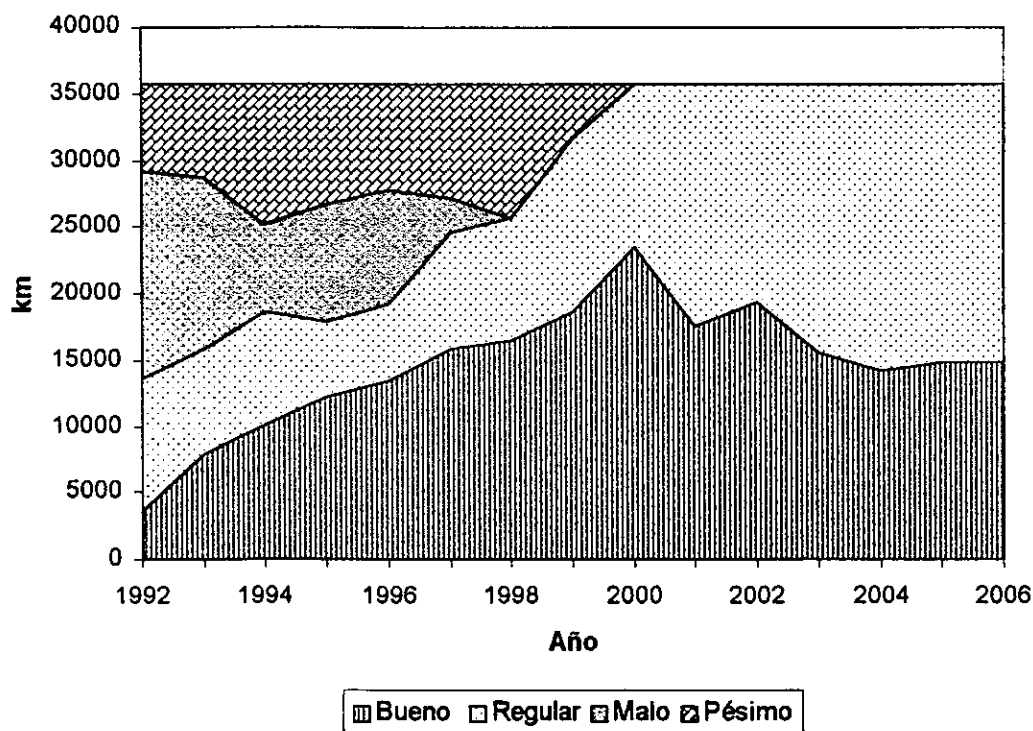


Figura VI.11 Resultados Estrategia 13

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Bueno	Regular	Malo	Pésimo	Total	Bueno	Regular	Malo	Pésimo
1992	3631	9890	15694	6575	35790	10%	28%	44%	18%
1993	7884	8045	12731	7130	35790	22%	22%	36%	20%
1994	10128	8452	6544	10666	35790	28%	24%	18%	30%
1995	12173	5699	8892	9026	35790	34%	16%	25%	25%
1996	13485	5782	8536	7987	35790	38%	16%	24%	22%
1997	15892	8674	2671	8553	35790	44%	24%	7%	24%
1998	16517	9076	21	10177	35791	46%	25%	0%	28%
1999	18669	12870	0	4251	35790	52%	36%	0%	12%
2000	23446	12233	0	111	35790	66%	34%	0%	0%
2001	17512	18278	0	0	35790	49%	51%	0%	0%
2002	19413	16378	0	0	35791	54%	46%	0%	0%
2003	15603	20187	0	0	35790	44%	56%	0%	0%
2004	14187	21603	0	0	35790	40%	60%	0%	0%
2005	14864	20926	0	0	35790	42%	58%	0%	0%
2006	14829	20961	0	0	35790	41%	59%	0%	0%

Figura VI.12 Estrategia 13, Fuente SCT DGCC 1992

ESTRATEGIA 13						
MANTENIMIENTO NORMAL – REHABILITACION EN 6 A 9 AÑOS (AÑO BASE 1992)						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	6507	6464	6922	4828	6831	31552
Promedio anual	2169	2155	2307	1609	2277	2103
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
Tratamiento superficial	11214	3240	7456	12486	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	14574
Carpeta de concreto	0	57	164	179	9	409
Rehabilitación	3631	3450	3725	1766	3399	15970
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	247425	261324	270866	298544	334765	1412924
Promedio anual	82475	87108	90289	99515	111588	94195
BALANCE ECONOMICO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Ahorros netos por periodo	-4339	-4210	-4782	-2674	-5240	-21245
Presupuesto	-1837	14005	42289	58137	64640	177234
COV						
Razón Beneficios/Costos actualizados =						4.76

Figura VI.13 Estrategia 13, Fuente SCT DGCC 1992

EVOLUCION DEL PRESUPUESTO ANUAL
 POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO NORMAL (10 Y 13)

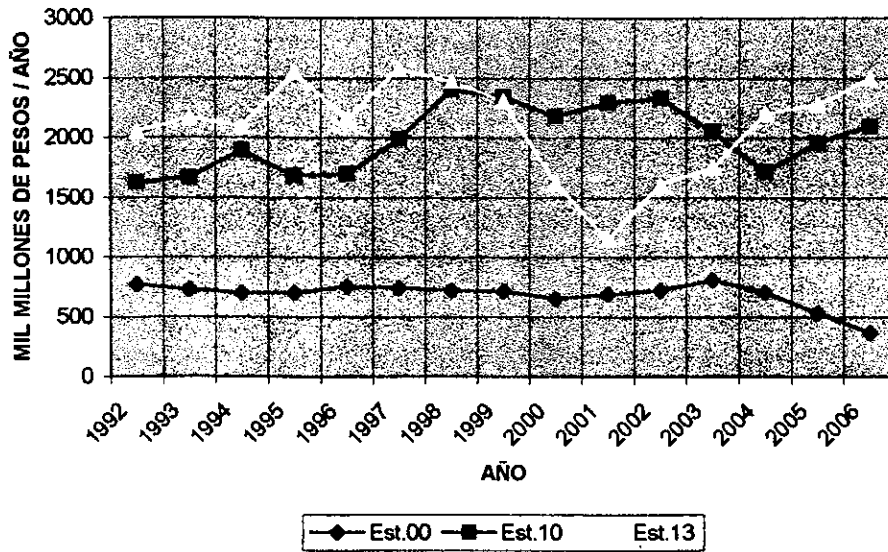


Figura Vi.14 Evolución del presupuesto anual

EVOLUCION DE LOS COV ANUALES
 POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO NORMAL (10 Y 13)

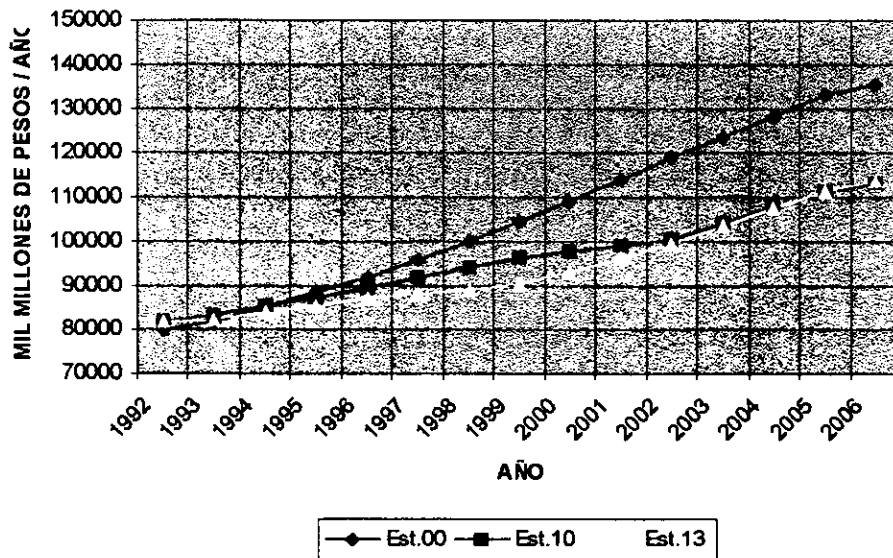


Figura Vi.15 Evolución de los COV anuales

VI.5 MANTENIMIENTO REDUCIDO

En vista de los presupuestos requeridos para seguir una política de mantenimiento "normal", se diseñó una política llamada de mantenimiento "reducido", más modesta pero que permita mejorar paulatinamente el estado de la red con gastos de nivel intermedio entre la política actual y el mantenimiento "normal".

Programa de obras

En términos técnicos también esta estrategia es un compromiso entre la situación actual y el mantenimiento "normal"

Las obras previstas contemplan un mantenimiento rutinario de limpieza casi normal, con baches 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 prevé una rehabilitación completa para reponerlas a 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.

Los ciclos de vida que se consideraron para esta estrategia fueron los siguientes:

- ✓ 22 a 25 años para la clase T1
- ✓ 21 a 22 años para la clase T2
- ✓ 19 a 20 años para la clase T3
- ✓ 15 a 16 años para la clase T4
- ✓ 13 años para la clase T5

No se introdujo en este caso una estrategia de espera, cuyo efecto es provocar rehabilitaciones importantes a corto plazo.

Resultados

a) Estado de la red

La estrategia "reducida" no permite hacer desaparecer la red en estado "malo" ni la que se encuentra en estado "pésimo", pero en promedio se mejora significativamente. La red en estado "regular" alcanza las dos terceras partes del total al final del periodo de 15 años. La red "buena" y "regular" representan 85% a largo plazo y pasa la marca de los 50% en el hipotético año de 1994.

b) Rehabilitaciones

Las rehabilitaciones quedan a un nivel razonable hasta el año hipotético de 1995 con necesidades del orden de 800 km por año. El ritmo se acelera luego para alcanzar 2,100 km en los supuestos años de 1995 a 1997, y otra vez se reduce a unos 1500 km por año.

c) Presupuestos

En promedio sobre el periodo de 15 años, la estrategia reducida corresponde a gastos dos veces más altos que en el año de inicio (1992). El presupuesto anual varía en relación con el volumen de rehabilitación, pero queda dentro de un rango de 1.2 a 1.6 billones de pesos, aproximadamente 114.3 a 152.4 millones de dólares a un cambio de 10.5 pesos por dólar, para 1998.

La parte de los presupuestos que corresponde al mantenimiento rutinario y periódico asciende a unos 650 millones de pesos por año en promedio, o sea alrededor de lo que

se gastaba en 1992. El suplemento de presupuesto requerido corresponde únicamente a las rehabilitaciones.

d) Rentabilidad

La rentabilidad de esta estrategia, de acuerdo con sus condiciones iniciales y después de realizar su simulación nos indica que es tan alta como la de la estrategia "normal". La razón de los beneficios a los costos actualizados vale 2, lo que se explica por la modestia de las obras corrientes y la lentitud de las rehabilitaciones.

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

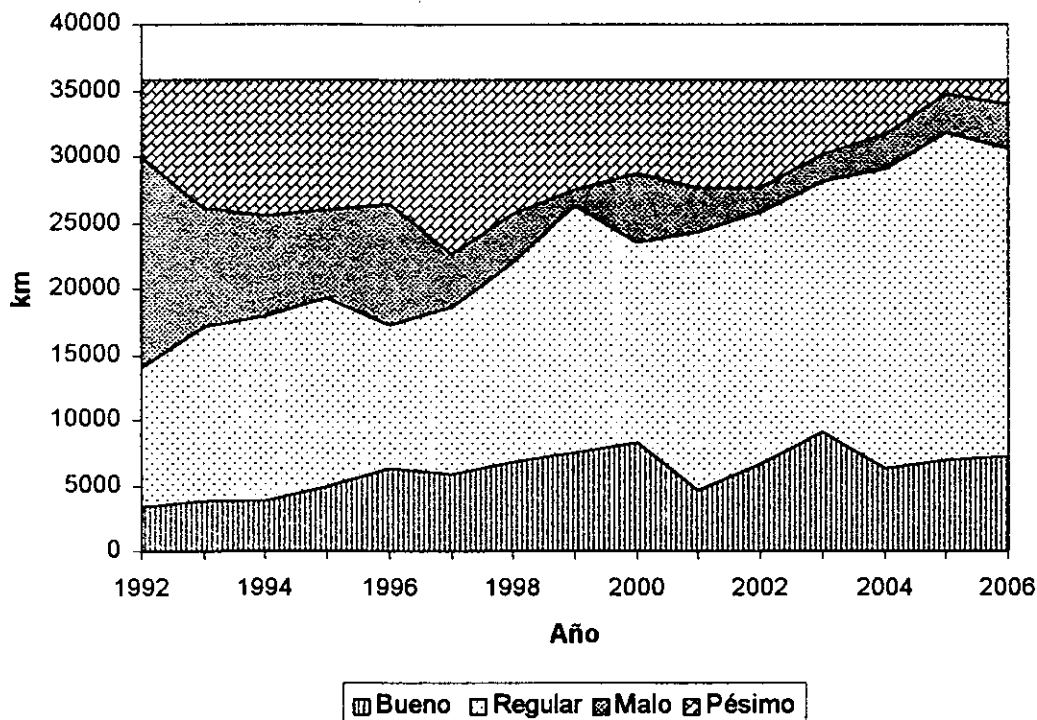


Figura VI.16 Resultados Estrategia 20

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Bueno	Regular	Malo	Pésimo	Total	Bueno	Regular	Malo	Pésimo
1992	3457	10579	15920	5834	35790	10%	30%	44%	16%
1993	3864	13172	9176	9578	35790	11%	37%	26%	27%
1994	3836	14062	7570	10322	35790	11%	39%	21%	29%
1995	4935	14221	6889	9745	35790	14%	40%	19%	27%
1996	6263	10955	9289	9283	35790	17%	31%	26%	26%
1997	5795	12788	4040	13167	35790	16%	36%	11%	37%
1998	6814	15155	3790	10031	35790	19%	42%	11%	28%
1999	7521	18785	1226	8258	35790	21%	52%	3%	23%
2000	8304	15291	5238	6957	35790	23%	43%	15%	19%
2001	4626	19614	3503	8047	35790	13%	55%	10%	22%
2002	6570	19228	1853	8139	35790	18%	54%	5%	23%
2003	9042	19071	2081	5596	35790	25%	53%	6%	16%
2004	6377	22657	2681	4076	35791	18%	63%	7%	11%
2005	6943	24931	2865	1051	35790	19%	70%	8%	3%
2006	7199	23352	3443	1796	35790	20%	65%	10%	5%

Figura VI.17 Estrategia 20, Fuente SCT DGCC 1992

ESTRATEGIA 20						
MANTENIMIENTO REDUCIDO (AÑO BASE 1992)						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	3725	4710	3976	4497	3375	20286
Promedio anual	1243	1570	1325	1499	1125	1352
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
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	7736	4194	4864	5233	7408	29436
Carpeta de concreto	0	0	0	21	0	21
Rehabilitación	837	2097	1369	1742	641	6686
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	248655	277156	304234	341422	364416	1535883
Promedio anual	82885	92385	101411	113807	121472	102392
BALANCE ECONOMICO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Ahorros netos por periodo	-1560	-2456	-1836	-2343	-1784	-9979
Presupuesto	-3067	-1827	8921	15259	34989	54275
COV						
Razón Beneficios/Costos actualizados =				2.03		

Figura VI.18 Estrategia 20, Fuente SCT DGCC 1992

EVOLUCION DEL PRESUPUESTO ANUAL
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO REDUCIDO (20)

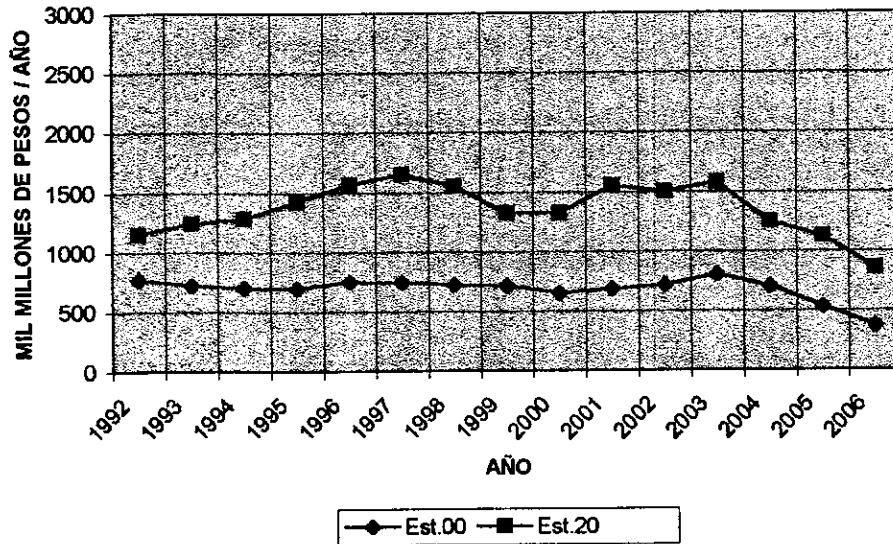


Figura Vi.19 Evolución del presupuesto anual

EVOLUCION DE LOS COV ANUALES
POLITICA ACTUAL (00) / MANTENIMIENTO REDUCIDO (20)

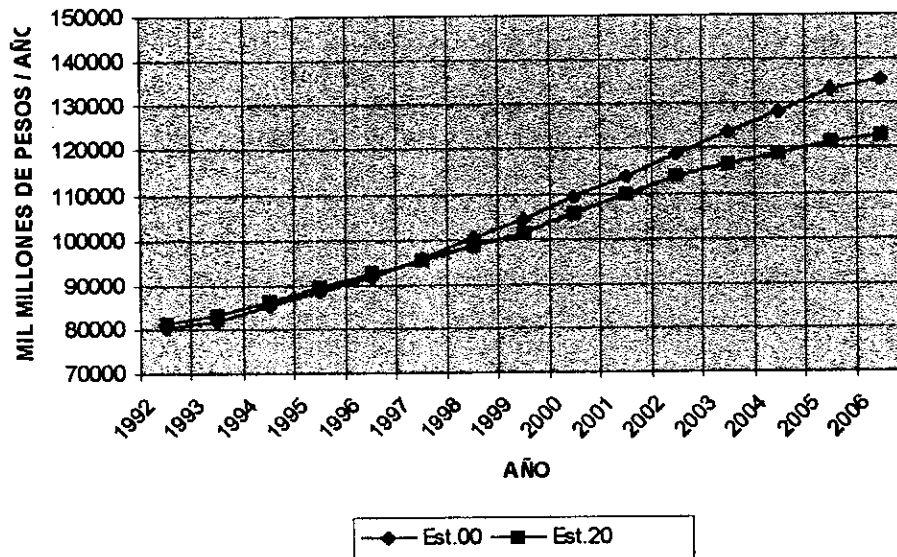


Figura Vi.20 Evolución de los COV anuales

VI.6 REHABILITACION RAPIDA Y MANTENIMIENTO REDUCIDO

Para hacer frente a la situación que prevalecía en 1992 sin sobrecargar el presupuesto, se adaptó una estrategia de tipo mixto entre las estrategias de mantenimiento "reducido" y las de mantenimiento "normal", con los siguientes objetivos:

1. La red en estado "bueno" o "regular" debe rebasar el 50% del total a corto plazo, es decir dentro de los 3 o 4 primeros años de implementada la estrategia
2. El nivel del gasto no debe ser más elevado que lo previsto para el mantenimiento "normal"
3. La rehabilitación debe favorecer a las carreteras más cargadas

Es entonces una estrategia de compromiso entre un nivel razonable de gastos y una rentabilidad elevada. Dos alternativas fueron analizadas para la SCT, y en este trabajo las presentamos.

Programa de obras

Para compensar el alto costo de las rehabilitaciones, se prevé un mantenimiento de tipo "reducido" o por lo menos por debajo del "normal", en toda la red, incluso a largo plazo. Pero el nivel escogido depende de la clase de tránsito, siempre con el propósito de maximizar la rentabilidad del programa.

Para las carreteras de menor tránsito (clase T1), no se prevén rehabilitaciones y el mantenimiento queda reducido a lo largo del período de estudio. El tipo de obras y las frecuencias de intervención son entonces similares a las de la estrategia 20.

Para las carreteras con un tránsito de clase T2 o T3, se considero rehabilitaciones en 6 años (estrategia 30) o en 3 años (estrategia 31). A largo plazo, el mantenimiento se pensó que llegaría a ser del tipo reducido, pero no aceptando notas de calidad menores de 7, es decir que estas carreteras nunca se les dejaría llegar a estar dentro del estado "pésimo".

Para las carreteras con un tránsito de clase T4 y T5, se consideraron la posibilidad de realizar rehabilitaciones en 3 años y un mantenimiento casi normal a largo plazo, con ciclos de vida mayores de uno o dos años.

Los ciclos de vida que se emplearon en esta simulación se muestran a continuación, y como en los casos anteriores se tomaron de acuerdo con el nivel de tránsito:

- ✓ 22 a 25 años para la clase T1
- ✓ 19 a 20 años para la clase T2
- ✓ 15 a 17 años para la clase T3
- ✓ 12 años para la clase T4
- ✓ 11 años para la clase T5

Estrategias de espera

Las rehabilitaciones se manejaron a través de "estrategias de espera". Las carreteras que no están en condiciones de justificar un mantenimiento regular merecen una rehabilitación previa. Antes de su rehabilitación se pensó que las mismas recibieran un mantenimiento reducido para no malgastar los recursos.

Consiste en obras esporádicas de limpieza y de conservación del pavimento hasta el año previsto para una rehabilitación completa. Después de la rehabilitación, la carretera seguiría una política de mantenimiento previsto para su clase de tránsito como las demás. La duración de estas estrategias de espera corresponden al tiempo que la administración determina para rehabilitar las carreteras. Se presentan en este trabajo dos estrategias de este tipo, que difieren por la rapidez del programa de rehabilitación.

La estrategia 30 correspondiente a periodos de espera más largos y la estrategia 31 con periodos menores que la anterior. Siendo así, la primera contempla una visión mucho más ambiciosa.

CLASE DE TRANSITO	ESTRATEGIAS DE ESPERA	
	No. 30	No. 31
T1	---	---
T2	6	3
T3	3	3
T4	3	3
T5	3	3

Figura VI.21 Estrategias 30 Y 31, Fuente SCT, DGCC 1992

Resultados

a) Estado de la red

Las rehabilitaciones rápidas permiten según la simulación de estas estrategias un mejoramiento significativo de la red a corto plazo, y de haberse implementado de acuerdo con lo que proponía cada una, para el hipotético año de 1995 entre el 55% (estrategia 30) y 65% (estrategia 31) de las carreteras se encontrarían en estado "bueno" o "regular". Pero a largo plazo la situación no es mejor que en el caso de la estrategia 20 (mantenimiento reducido), lo que es de esperarse de acuerdo con los principios de estas estrategias. Un punto favorable es la casi desaparición total de la red en estado "pésimo" a favor del estado "malo".

Después de tres años, se consideraba que todas las carreteras con clases de tránsito T5 y T4 se encontrarían en estado "bueno" o "regular", así como más del 75% de la red con clase de tránsito T3. Después de los primeros años, la mitad de las carreteras con clase de tránsito T2 habría sido rehabilitada y se encontraría en estado "bueno" o "regular".

b) Rehabilitaciones

El ritmo de las rehabilitaciones propuestas para estas estrategias de haberse implementado, hubiese presentado un nivel alto durante los primeros 6 años. Correspondiendo esta actividad a las rehabilitaciones iniciales programadas por medio de las estrategias de espera y las rehabilitaciones "normales" para el resto de la red. La longitud correspondiente depende entonces de la estrategia y se presenta a continuación:

Durante el primer periodo de tres años, se trata de:

- ✓ 1,500 km por año con la estrategia 30
- ✓ 2,200 km por año con la estrategia 31

Durante el segundo periodo de tres años, se trata de:

- ✓ 2,100 km por año con la estrategia 30
- ✓ 2,200 km por año con la estrategia 31

c) Presupuestos

Con la estrategia menos ambiciosa, la 30, el presupuesto anual medio a corto plazo se hubiese incrementado a 1.6 billones de pesos, mientras que con la estrategia 31 hubiese llegado a 1.9 billones de pesos.

Con los datos de la simulación, se presentaría para el año de 1995 una reducción en ambos casos a cerca de 1.7 billones por año y a partir de 1999 se estabilizarían a unos 1.2 o 1.4 billones de pesos por año. Siendo las rehabilitaciones entre la mitad y las dos terceras partes del presupuesto total.

Es importante enfatizar que el suplemento de presupuestos requerido por estas estrategias corresponde únicamente a las rehabilitaciones. En efecto, a lo largo del periodo de estudio, las obras de mantenimiento corriente y periódico cuestan lo mismo que en el año de 1992, es decir 0.7 de billón por año en promedio.

d) Rentabilidad

La razón de los beneficios sobre los COV actualizados al incremento de los costos de mantenimiento actualizados, vale 6.6. Al ser mayor que la de las estrategias de mantenimiento "normal", este resultado enseña el gran interés de las rehabilitaciones desde el punto de vista económico. En efecto, después de una rehabilitación, los costos de transporte se reducen en un 33% y los ahorros amortizan rápidamente el costo inicial de las obras.

Otro factor positivo para estas estrategias es el principio retenido de programación de las rehabilitaciones en relación con el volumen de tránsito; al rehabilitar prioritariamente las carreteras con mayor tránsito se logra una mejor rentabilidad global.

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

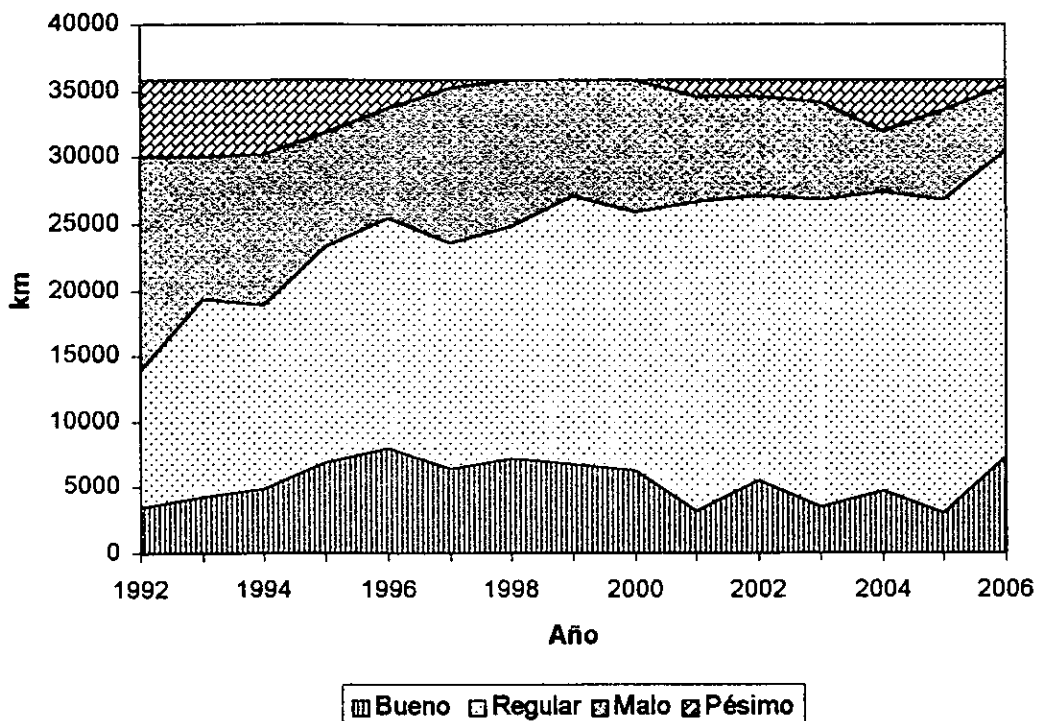


Figura VI.22 Resultados Estrategia 30

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Buena	Regular	Mala	Pésimo	Total	Buena	Regular	Mala	Pésimo
1992	3457	10486	16105	5742	35790	10%	29%	45%	16%
1993	4242	15023	10732	5793	35790	12%	42%	30%	16%
1994	4964	13929	11289	5608	35790	14%	39%	32%	16%
1995	6924	16307	8712	3847	35790	19%	46%	24%	11%
1996	7903	17605	8189	2093	35790	22%	49%	23%	6%
1997	6465	17199	11577	549	35790	18%	48%	32%	2%
1998	7186	17577	11027	0	35790	20%	49%	31%	0%
1999	6765	20287	8739	0	35791	19%	57%	24%	0%
2000	6279	19665	9846	0	35790	18%	55%	28%	0%
2001	3187	23415	8038	1150	35790	9%	65%	22%	3%
2002	5463	21712	7465	1150	35790	15%	61%	21%	3%
2003	3513	23274	7409	1594	35790	10%	65%	21%	4%
2004	4694	22770	4581	3745	35790	13%	64%	13%	10%
2005	3095	23712	6832	2151	35790	9%	66%	19%	6%
2006	7382	23076	4993	339	35790	21%	64%	14%	1%

Figura VI.23 Estrategia 30, Fuente SCT DGCC 1992

ESTRATEGIA 30						
REHABILITACION EN 6 AÑOS + MANTENIMIENTO REDUCIDO (AÑO BASE 1992)						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	4849	5153	3599	4248	4312	22161
Promedio anual	1616	1718	1200	1416	1437	1477
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
Tratamiento superficial	20916	14715	14704	18843	16716	85894
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	7388
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	244829	257265	284516	324550	364411	1475581
Promedio anual	81613	85755	94839	108183	121470	98372
BALANCE ECONOMICO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Ahorros netos por periodo	-2681	-2899	-1459	-2094	-2721	-11854
Presupuesto	749	18064	28639	32131	34994	114577
COV						
Razón Beneficios/Costos actualizados =						6.63

Figura Vi.24 Estrategia 30, Fuente SCT DGCC 1992

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

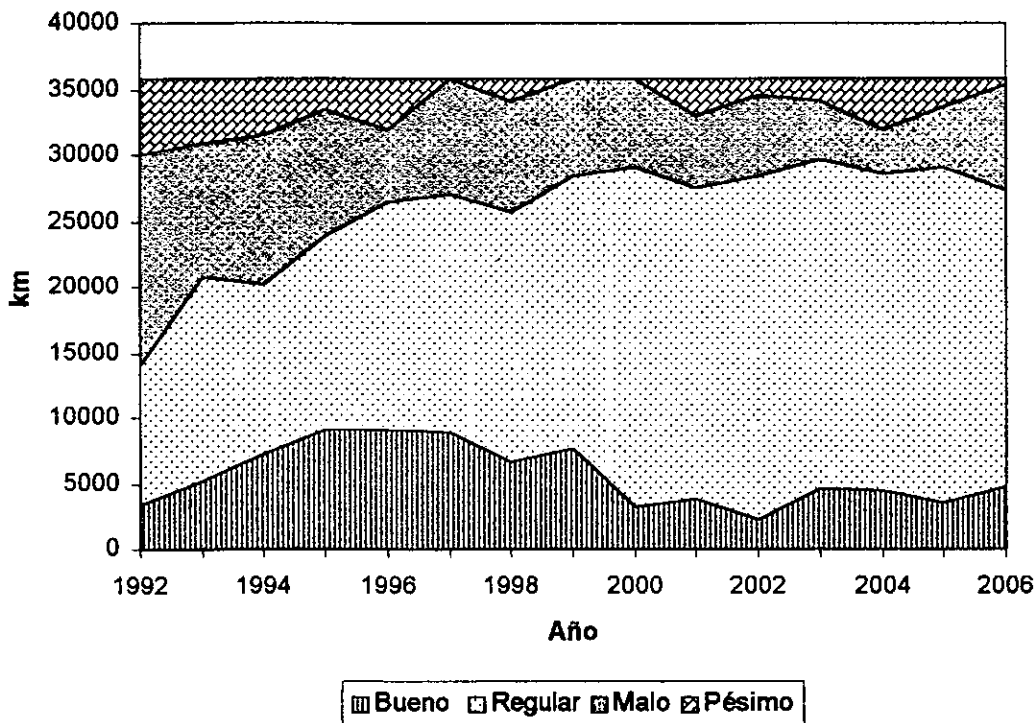


Figura VI.25 Resultados Estrategia 31

Longitud (km) de carreteras por año y por estado

Porcentaje en estado

	Bueno	Regular	Malo	Pésimo	Total	Bueno	Regular	Malo	Pésimo
1992	3457	10486	16026	5821	35790	10%	29%	45%	16%
1993	5241	15471	10197	4881	35790	15%	43%	28%	14%
1994	7156	13059	11336	4239	35790	20%	36%	32%	12%
1995	9090	14760	9701	2239	35790	25%	41%	27%	6%
1996	9061	17424	5569	3736	35790	25%	49%	16%	10%
1997	8857	18223	8710	0	35790	25%	51%	24%	0%
1998	6674	19021	8455	1640	35790	19%	53%	24%	5%
1999	7743	20778	7270	0	35791	22%	58%	20%	0%
2000	3202	25880	6708	0	35790	9%	72%	19%	0%
2001	3898	23646	5516	2730	35790	11%	66%	15%	8%
2002	2319	26199	6122	1150	35790	6%	73%	17%	3%
2003	4658	24997	4541	1594	35790	13%	70%	13%	4%
2004	4398	24261	3386	3745	35790	12%	68%	9%	10%
2005	3543	25568	4528	2151	35790	10%	71%	13%	6%
2006	4835	22612	7880	463	35790	14%	63%	22%	1%

Figura VI.26 Estrategia 31, Fuente SCT DGCC 1992

ESTRATEGIA 31						
REHABILITACION EN 3 AÑOS + MANTENIMIENTO REDUCIDO (AÑO BASE 1992)						
PERIODO	92-94	95-98	99-00	01-03	04-06	CUMULO
PRESUPUESTO PREVENTIVO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	5762	4990	3510	4003	4167	22432
Promedio anual	1921	1663	1170	1334	1389	1495
LONGITUD DE OBRAS (km)						
Total del periodo						
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	25478
Carpeta de concreto	15	9	69	492	15	600
Rehabilitación	2233	2177	1299	1083	991	7783
COSTOS DE OPERACION DE VEHICULOS (MIL MILLONES DE PESOS)						
Total del periodo	242572	251115	283559	322941	367148	1467335
Promedio anual	80857	83705	94520	107647	122383	97822
BALANCE ECONOMICO (MIL MILLONES DE PESOS)						
Ahorros netos por periodo						
Presupuesto	-3594	-2736	-1370	-1849	-2576	-12125
COV	3016	24214	29596	33740	32257	122823
Razón Beneficios/Costos actualizados =				6.62		

Figura VI.27 Estrategia 31, Fuente SCT DGCC 1992

EVOLUCION DEL PRESUPUESTO ANUAL
 POLITICA ACTUAL (00) / REHABILITACION RAPIDA (30 Y 31)

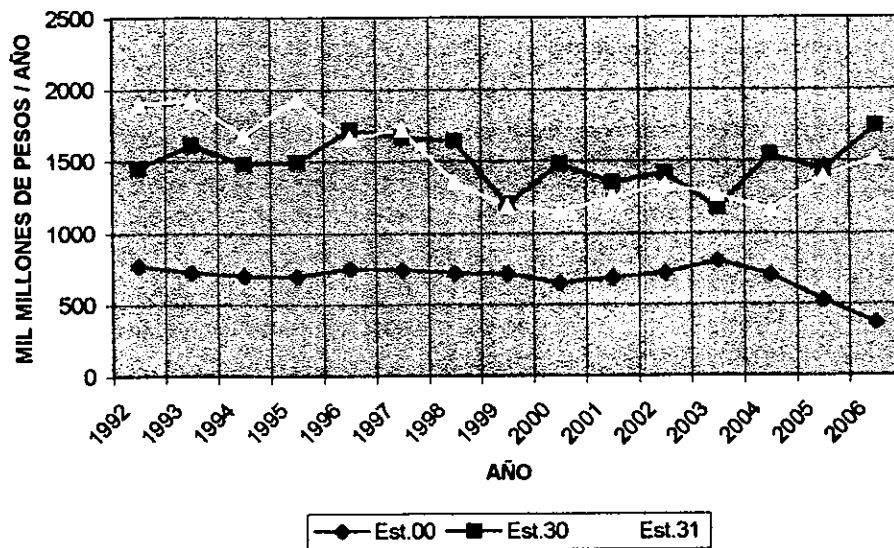


Figura Vi.28 Evolución del presupuesto anual

EVOLUCION DE LOS COV ANUALES
 POLITICA ACTUAL (00) / REHABILITACION RAPIDA (30 Y 31)

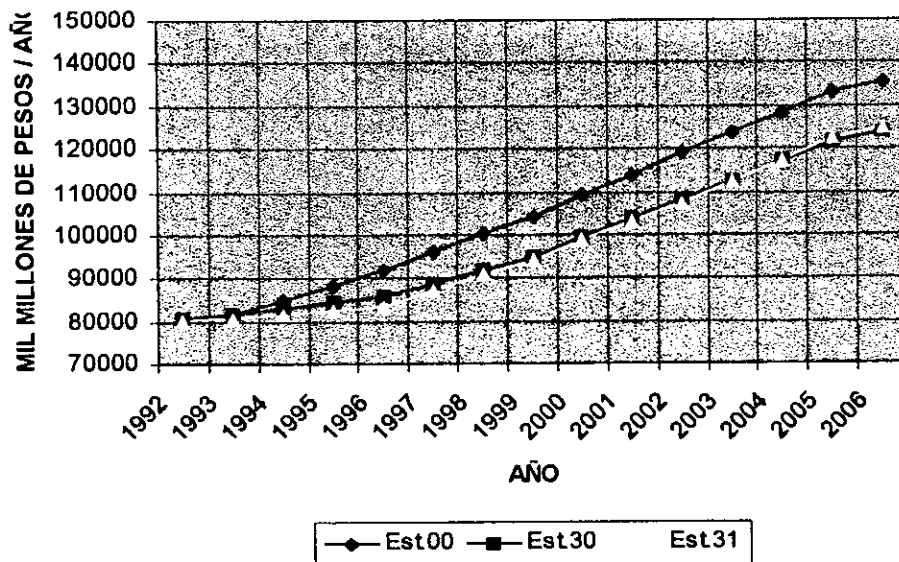


Figura Vi.29 Evolución de los COV anuales

VI.7 IMPORTANCIA DE LAS ESTRATEGIAS

En términos generales, habrá que mencionar que la aplicación de cada estrategia nos arrojará una serie de ventajas y desventajas sobre el futuro de la red carretera, pero como principal ventaja, tendremos que estas se pueden o no habilitar, es decir, los resultados que se obtienen, son simulados, aun no se han implementado y con esto se puede planear adecuadamente la estrategia óptima para nuestro país. Esto conlleva una importante ventaja técnica y económica, ya que dadas las condiciones tan cambiantes en ambas, se puede implementar en un momento dado algún cambio en la estrategia, que le permita el empleo de nuevas variantes.

Las simulaciones antes presentadas fueron realizadas en el programa SISTER, no son las únicas, pero son en si mismas representativas de lo que se puede lograr empleando la simulación a un problema tan complejo como es el de administrar la red carretera federal. Los datos expuestos en este trabajo corresponden a los obtenidos para la SCT en 1992, durante ese mismo año se determinarían también los siguientes resultados relevantes.

a) Evolución de la red

En ese año como ahora, se observa primeramente que la red federal se encuentra en un estado malo, siendo factor importante dentro de esta situación, los presupuestos insuficientes los cuales no permiten un mejoramiento de la red ni a corto, ni a largo plazo. La simulación de la estrategia 00, mostró que de seguir las políticas anteriores a 1992, la necesidad de implementar rehabilitaciones y reconstrucciones masivas sería la única solución viable, ya que en solo 15 años la red llegaría a un 90% en estado "malo" o "pésimo".

En cuanto a las estrategias alternativas, estas nos muestran resultados significativamente buenos, que llevarían a la red carretera a un mejoramiento sustancial, esto gracias a su concepción.

Las estrategias de mantenimiento "normal" de acuerdo con la simulación, permitirían la eliminación de los estados "malo" y "pésimo" en 9 y 12 años y a largo plazo los estados "bueno" y "regular" se compartirían la red en un 50%.

Las estrategias de mantenimiento "reducido" por su parte no logran la eliminación de los estados "malo" y "pésimo" pero a largo plazo la parte "buena" (20%) de la red se sumaría a la parte "regular" (65%) para resultar en un estado aceptable en promedio.

Por su parte las estrategias que prevén una rehabilitación rápida de al red seguida por un mantenimiento "reducido" dan como resultado consecuencias similares a las de la aplicación de estrategias de mantenimiento "reducido" a largo plazo, pero el hecho de realizar un mejoramiento a corto plazo es por supuesto permite una recuperación de las dos terceras partes de la red en alrededor de 5 años.

b) Presupuestos

Las estrategias alternativas requieren esfuerzos financieros importantes, de manera que se aumente en 200 o 300% los actuales, que si consideramos los de 1992, que fueron en promedio 0.7 de billón de pesos, pasarían a 1.4 y 2.1 billones de pesos, según la estrategia elegida.

Pero si bien las inversiones a corto plazo serían en algunos casos importantes, en el largo plazo los gastos originados por mantenimiento periódico y rutinario alcanzarían niveles similares o inferiores a los presupuestos actuales.

La totalidad del incremento requerido, aun más en unos casos, se debe a las rehabilitaciones, que ahora son necesarias. Se trata de rehabilitaciones de emergencia para restaurar la parte más dañada de la red, y de las rehabilitaciones que se deben prever a intervalos regulares, al final del ciclo de vida de cada carretera.

c) Rentabilidad

A pesar de sus costos, las estrategias alternativas representan toda una rentabilidad económica, esto se demuestra directamente de la aplicación de la simulación, y en donde la razón beneficio/costo, la cual vale alrededor de 2 para el mantenimiento "reducido", 4 para el mantenimiento "normal" y 6.6 para el programa de rehabilitación rápida seguida por un mantenimiento reducido nos lo indican.

En el último caso se puede observar la importancia de las rehabilitaciones, las cuales tienen un alto grado de rentabilidad económica, aun y cuando representen un costo inicial alto. El principal sector beneficiado de la aplicación de esta estrategia sería el del autotransporte, en el cual se reducirían dramáticamente los costos. Un programa intensivo de este tipo de obras tendría por ende un fuerte impacto a beneficio nacional.

Lo anterior queda reforzado si consideramos que el mantenimiento normal resulta poco importante o bien inútil si el nivel de deterioro que presente una carretera es grave o bien si la misma se encuentra subdimensionada, lo cual nos llevaría a un desperdicio de recursos, ya escasos. Al contrario, después de la rehabilitación, la carretera está en condiciones de aprovechar las obras de mantenimiento de tal manera que se puede conservar la misma en un estado "bueno" o "regular" lo que dará como fruto un costo de operación vehicular menor.

Estado de la Red Federal Libre 1994

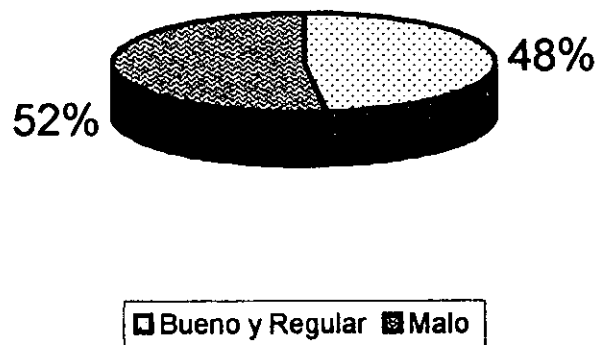


Figura VI.30 Fuente: Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995 - 2000

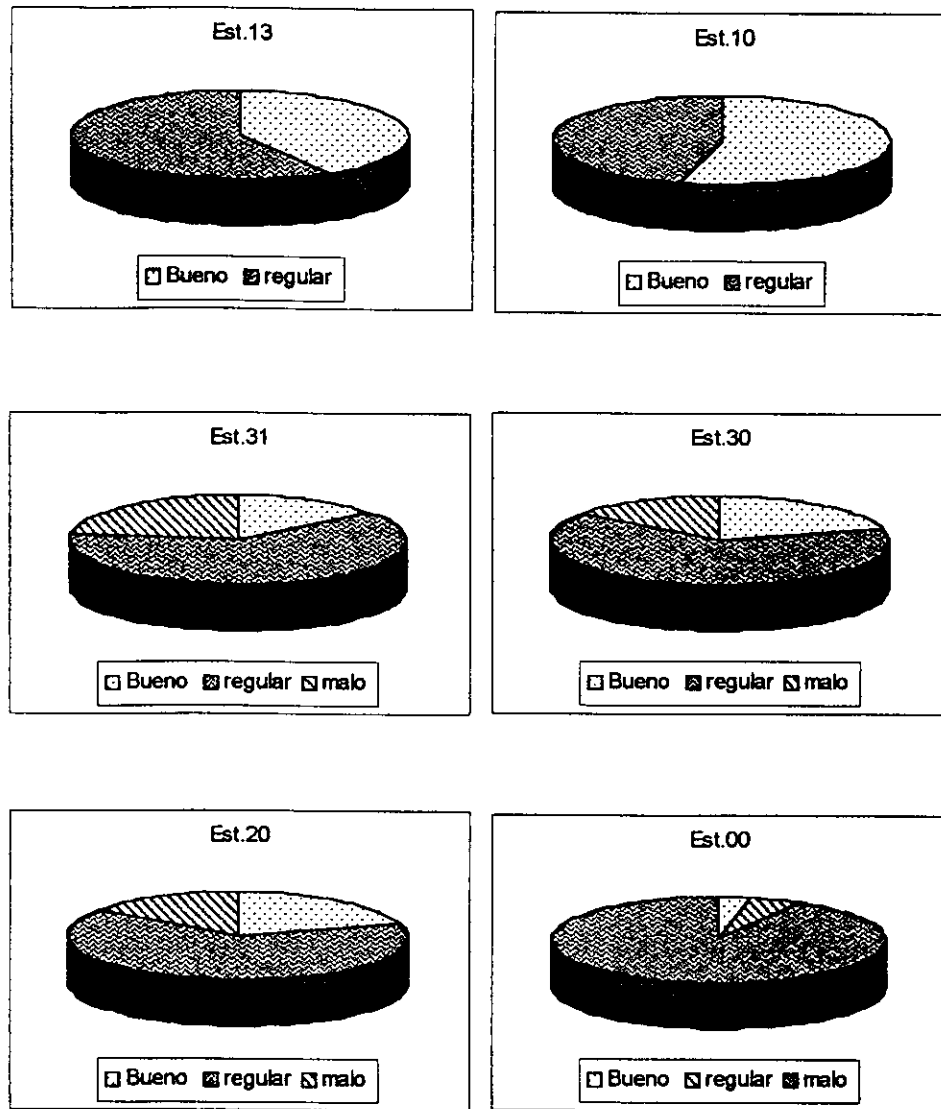


Figura VI.31 Comparación de los resultados de las estrategias (1993-2007)

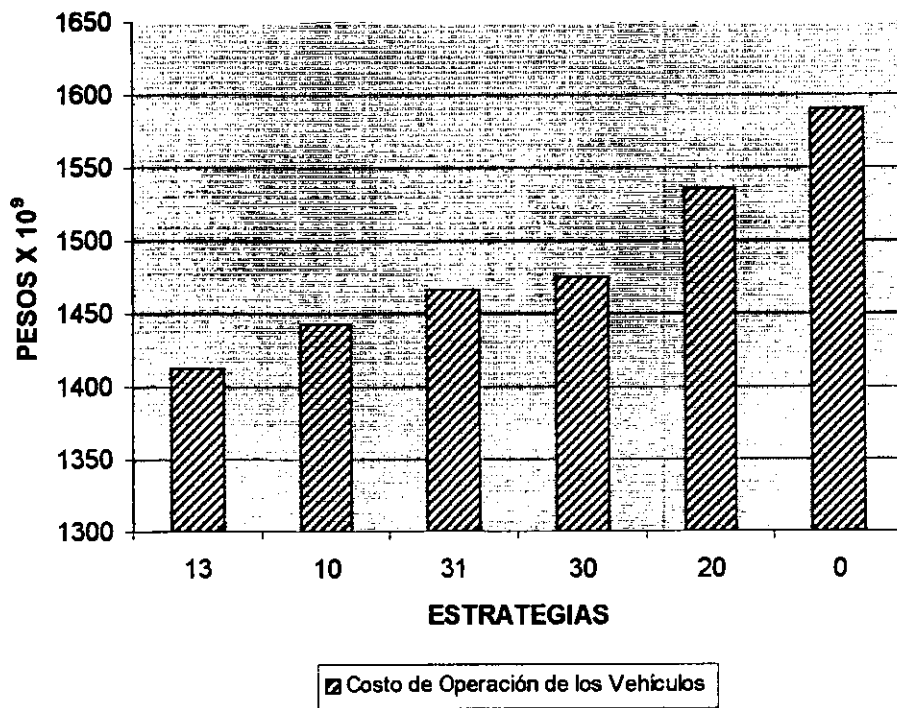


Figura VI.32 Comparación entre las estrategias para los COV

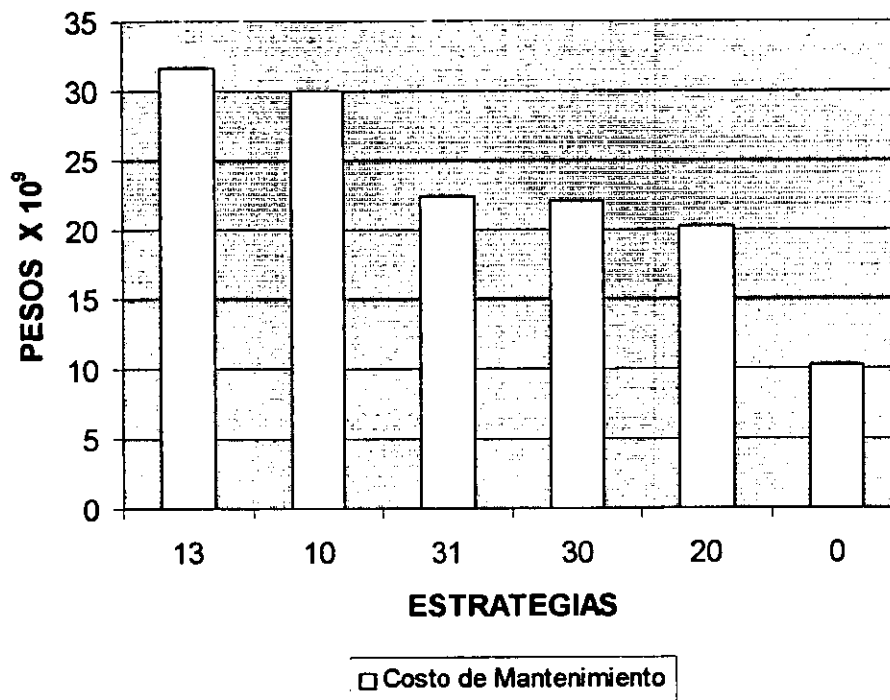


Figura VI. 33 Comparación entre las estrategias para el costo de mantenimiento

RECOMENDACIONES

Estudios

Las obras de mantenimiento y de rehabilitación deben diseñarse como las obras de construcción nuevas. Para emprender los estudios es necesario reunir los informes sobre el estado no solamente superficial de las carreteras sino también los del conjunto de capas de la estructura. No es factible prever un refuerzo de la calzada con carpetas sucesivas de concreto asfáltico de un espesor total de más de 35 cm si la base, sub-base, sub-rasante y/o terraplén está en mal estado. Los efectos de asentamientos se repetirían dentro de seis meses.

La primera fase de un estudio de mantenimiento será la colección de todos los datos disponibles sobre la historia de la carretera desde su origen. Es un trabajo de investigación en oficina pero también en campo. Estos datos se deberán almacenar inmediatamente en un Banco de Datos.

La constitución de un Banco de Datos puede mejorar considerablemente la racionalidad y la exhaustividad del conocimiento de la red vial a gestionar. Las computadoras son la herramienta necesaria para asegurar la constitución y la explotación de un Banco de Datos. Para esta tarea es factible utilizar programas generales del comercio llamados Sistemas de Gestión de Bases de (Dbase IV, Fox Pro) o bien programas especialmente diseñados para este uso como son VISAGE o ULYSSE.

Estos datos frecuentemente escasos no son suficientes para definir las obras de mantenimiento. Es entonces necesario complementarlos con investigaciones directas en el terreno.

Investigaciones

Actualmente existen en México "inventarios físicos" que describen el estado superficial de los pavimentos. Debido al sistema de toma de datos estas observaciones son solamente cualitativas pero no específicas de la gravedad del daño. Por ejemplo se sabe que un 50% de la superficie del pavimento esta afectada por asentamientos longitudinales, pero no se indica la profundidad de los mismos.

No existen observaciones sobre el estado de las terracerías y de las capas de sub-rasante, sub-base y capas de rodamiento.

Datos importantes para el diseño de una rehabilitación o de un nuevo pavimento. El parámetro estructural de la calzada, es decir el parámetro que traduce su resistencia residual es expresado por:

- ✓ La deflexión
- ✓ El índice estructural

Las cuales se han detallado con anterioridad, por otra parte la realización de sondeos resulta sumamente importante en estos casos, aun y cuando estos sean de carácter puntual. El estudio de los sondeos y de los resultados de los ensayos de laboratorio es un elemento clave para la identificación de las causas o del origen de las degradaciones. En la mayoría de los casos, la clasificación definitiva de la calidad de una estructura de calzada podrá solamente ser establecida sobre la base de los resultados dados por los sondeos y ensayos, en la medida en que podrán validar las medidas de deflexiones y de aclarar las indeterminaciones eventuales.

La experiencia, el buen juicio y el arte de ser ingeniero deberán manifestarse para llegar a un diagnostico pertinente que precisa:

- ✓ La causa de las degradaciones
- ✓ El nivel de la calzada donde se sitúa el punto débil que se debe corregir
- ✓ La solución óptima (eficiencia/costo) para actuar al nivel del punto débil identificado

Para contestar estas incógnitas son necesarias las siguientes acciones:

- ✓ Levantamiento de los deterioros, generalmente durante un recorrido a pie
- ✓ Medidas de deflexiones
- ✓ Medidas de rugosidad (sistema IIR)
- ✓ Sondeos debajo del pavimento
- ✓ Ensayos de laboratorio

Todos estos resultados deberán al final ser introducidos en la Base de Datos.

Soluciones de refuerzo, de rehabilitación o de mantenimiento preventivo

Existen en el mundo métodos de diseño de pavimentos. Algunas precauciones deben ser tomadas para su utilización:

- ✓ Antes de la colocación de los materiales de refuerzo o de mantenimiento preventivo, el ingeniero debe verificar el buen funcionamiento de los sistemas de drenaje de las aguas superficiales y subterráneas y de la realización de las operaciones de bacheo, de renivelación y de puesta a nivel de los acotamientos. Puede ser interesante efectuar inmediatamente después de estas obras preliminares una nueva campaña de revisión de deflexiones cuyos resultados podrían ser utilizados para el cálculo del refuerzo. A veces estas obras curativas modifican los deflectogramas en el buen sentido.
- ✓ Las zonas agrietadas, pero poco deformadas, serán sometidas a un examen atento con el fin de decidir si conviene o no aplicar o no todo el espesor del refuerzo calculado.
- ✓ El caso de carreteras nuevas o reforzadas, presentando fuertes deflexiones sin deformaciones excesivas, o presentando desde la apertura al tránsito roderas o asentamientos en la trayectoria de los vehículos (caso típico de las carreteras mexicanas) debe ser sometido a una crítica previa con el fin de determinar la causa y la evolución probable de las anomalías (defectos de construcción, compactación insuficiente al nivel de la calzada o terraplén, contenido de agua excesivo durante la construcción, etc), las cuales se han explicado más a fondo en el capítulo III de este trabajo.
- ✓ Se debe de asegurar que la calidad y que las características de los módulos de resistencia de los materiales elegidos sean los adecuados a los considerados en los cálculos. Estudios especiales pueden ser necesarios para afinar el conocimiento de las características de estos materiales.
- ✓ El refuerzo de las calzadas construidas sobre terraplenes no suficientemente compactados o construidos de suelos húmedos, inestables o expansibles, debe ser el objeto de estudios especiales, ya que la solución clásica del refuerzo puede ser insuficiente.
- ✓ Los espesores de la propuesta deben ser considerados como mínimas. Serán fijadas en los documentos escritos del contrato de construcción. El personal de supervisión deberá imponer y verificar estos espesores.

Diseño geométrico de la nueva calzada

La calzada rehabilitada debe ser objeto de un nuevo diseño geométrico que determinara la posición de las nuevas estructuras en las tres dimensiones. Se puede aprovechar este diseño para emprender una optimización de las cantidades de materiales a colocar en la plataforma. La calzada a reforzar tiene generalmente un índice de rugosidad superior a 4 y a veces hasta 16. Solo un diseño geométrico puede asegurar al futuro pavimento un índice de rugosidad de 2 (IIR), aceptable en carreteras modernas.

Normas de obras de mantenimiento vial

Las normas de construcción de carreteras nuevas se deben aplicar enteramente a las obras de mantenimiento y de rehabilitación o de refuerzo.

Algunas especificaciones aplicables a los materiales se deben estudiar de nuevo, particularmente las que conciernen a las granulometrías y las características físicas de las rocas. Por cada obra se debe redactar especificaciones técnicas específicas correspondientes a las particularidades de cada tramo.

Las características geométricas en las tres dimensiones de la calzada deben ser fijadas y las tolerancias con relación al diseño geométrico deben ser parte de las normas.

VI.8 SELECCION DE ESTRATEGIAS PARA REHABILITACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

En el caso de los pavimentos rígidos, la selección de la estrategia de rehabilitación, se realizara de la misma manera que en el caso de los pavimentos asfálticos, teniendo presente que las necesidades de este tipo de pavimento son diferentes, así como las técnicas existentes.

En las simulaciones realizadas a través del programa SISTER, se consideran este tipo de pavimentos como parte de las acciones para rehabilitación de los pavimentos flexibles, lo cual en otras partes del mundo ha demostrado ser la opción más viable en muchos sentidos, pero que una vez implementada será necesario conservarla y es en esta acción en donde toma relevancia la selección de una estrategia de mantenimiento para la solución de rehabilitación.

Además de esto hay que tener en cuenta que en los últimos años ha tomado importancia la construcción de pavimentos de concreto en carreteras nuevas, las cuales necesariamente deberán ser conservadas en buenas condiciones y por lo tanto la selección de las estrategias deberá ser una preocupación fundamental dentro del diseño de la obra.

A continuación presentamos algunas de las alternativas para lograr un mantenimiento óptimo de la infraestructura carretera de pavimentos rígidos, la cual considera la restauración, sobrecarpetas y reconstrucción conocida como CPR por sus siglas en inglés, empleada en los Estados Unidos.

Restauración

La restauración se refiere a varias técnicas que tienen como fin lograr que la condición estructural y de servicio de un pavimento pase de un nivel malo a un nivel aceptable.

La mayoría de los proyectos exigirán el uso de varias técnicas de restauración para corregir los deterioros existentes. En combinación, las técnicas reparan no sólo el daño, sino también previenen o reducen la velocidad de la repetición del mismo. Un plan de la restauración debe incluir sólo las técnicas que sean necesarias a los problemas. Algunas técnicas hacen énfasis en los procedimientos para la reparación, el uso de equipos, tal como cortadoras de discos de diamante o los múltiples procedimientos de construcción de sobrecarpetas empleando equipos modernos.

Cada técnica de restauración tiene detalles únicos para su diseño así como en los procedimientos de construcción. El uso apropiado de las técnicas requiere especificaciones de la etapa de construcción comprensibles y detalladas. Muchas de las técnicas también son importantes para la reparación antes de poner una sobrecarpeta.

Reencarpetao

Alternativas como el uso de sobrecarpetas, proporcionan dos funciones importantes, la primera a través de la provisión de una nueva superficie de desgaste, las sobrecarpetas mejoran la transitabilidad, la seguridad, y la resistencia del pavimento. La nueva superficie también permite la corrección de la sección transversal y los defectos de la superficie tal como las grietas, roderas, etc. Una cubierta como la proporcionada por el concreto compactado con rodillos también puede aumentar la capacidad estructural de un pavimento.

La selección de los materiales para la sobrecarpeta tiene un impacto importante en el plan de rehabilitación. La calidad de los materiales afectara en el espesor de la misma, que depende de la capacidad estructural necesaria y del ciclo de vida que se considere. La tabla VI.10 lista las alternativas de la sobrecarpeta más comunes.

Hay que tener claro que cada técnica de la nueva superficie de rodamiento tiene características únicas. Por consiguiente, el ingeniero debe mantener pautas durante la construcción detalladas y las especificaciones completas para la misma.

PAVIMENTOS DE CONCRETO	PAVIMENTOS ASFALTICOS
✓ Stone Mastic Asphalt	✓ Concreto (Whitotopping)
✓ Concreto compactado con rodillos	✓ Concreto asfáltico
✓ Concreto asfáltico	✓ Stone Mastic Asphalt

Figura VI.34 Sobrecarpetas para pavimentos

Preparación del pavimento antes de la reparación:

El trabajo de preparación, casi siempre es necesario antes de poner una sobrecarpeta en un pavimento existente. Es importante que la condición del pavimento sea uniforme a lo largo de la longitud del proyecto de reparación. La información del estudio de la condición inicial es importante para determinar las cantidades de obra en la reparación. La cantidad de reparaciones antes de la sobrecarpeta puede afectar el espesor requerido de la misma. Los ingenieros necesitan evaluar esta condición antes, para poder seleccionar la alternativa de rehabilitación más apropiada.

La cantidad necesaria de las reparaciones del pavimento existente también depende del tipo de sobrecarpeta. Ciertas soluciones requieren menos inversión en la reparación de la

carpeta existente que otros. Por ejemplo, las cubiertas de concreto como la del whitetopping y las cubiertas de concretos asfálticos normalmente requieren apenas una pequeña o ninguna reparación de la carpeta anterior. Sin embargo, el uso de tratamientos superficiales simples o dobles de asfalto requieren la reparación de los daños importantes desde la profundidad en donde se originan para evitar que se reflejen las fallas. La comparación de los costos de reparación de la carpeta existente es un factor importante para la comparación de estrategias.

Rubblizing, o quebrantamiento y asentando, de pavimentos de concreto existentes, antes de poner la sobrecarpeta es una técnica no recomendada. Esto por que el tratamiento de la carpeta, en su intento por controlar la reflexión de grietas, destruyendo la carpeta existente, reduce la capacidad estructural del sistema de pavimento significativamente.

La técnica de rubblizing es innecesaria para los pavimentos de asfalto. El uso de sobrecarpetas de concreto como la de whitetopping elimina la reflexión de grietas. Por otra parte algunos estudios muestran también que no existen beneficios significativos al romper un pavimento de concreto fallado antes de poner un sobrecarpeta y que si bien la técnica de rubblizing puede retardar la reflexión de grietas durante un tiempo corto, no impedirá que ocurran. Además la reducción en el apoyo al emplear esta técnica requiere una cubierta muy espesa, esta es una desventaja porque las sobrecarpetas de asfalto más espesas requieren de condiciones especiales de construcción sino se quiere que experimenten problemas constructivos.

Reconstrucción

La reconstrucción involucra el levantamiento completo de la estructura del pavimento, incluso de las capas subyacentes. La estructura se reemplaza como si fuese un nuevo pavimento.

Las técnicas de la reconstrucción ofrecen la opción de seleccionar los materiales vírgenes o bien reciclar los materiales existentes. El uso de material reciclado puede tener un impacto grande en los costos del proyecto.

Reciclado:

el reciclado de un pavimento viejo se vuelve una fuente de materiales para construir un nuevo pavimento. Esto conserva recursos y elimina costos como el de acarreo al disponer de materiales viejos. El reciclado de pavimentos asfálticos ya fue comentado en el Capítulo V con amplitud y en cuanto al reciclado de pavimentos de concreto, este es un proceso relativamente simple. Involucra romper, quitar y aplastar el concreto. Una fuente prontamente disponible es cualquier pavimento de concreto existente que ha excedido su vida útil y es reemplazado.

Cada técnica de reciclado tiene condiciones ligeramente diferentes que pueden traer consigo el levantamiento completo o sólo el levantamiento parcial, en la Tabla VI. 11 se listan las alternativas existentes. Pero sólo un examen debe comparar el uso de los agregados vírgenes con los del material existente.

PAVIMENTOS DE CONCRETO	
Removido y rehuso de concreto viejo como:	
<ul style="list-style-type: none"> • Rehuso como agregado grueso en una nueva mezcla de concreto para pavimento o CCR; reconstrucción • Agregado grueso en la construcción de la base del pavimento de concreto • Como agregado en cemento para tratamiento de la base del camino • Como material de reserva para la base, sub-base, open grade o mezclas del asfalto 	
PAVIMENTOS ASFALTICOS	
Reciclado de la superficie	Se debe quitar una profundidad de menos de 1" a través de la escarificación, con el uso del calentador del equipo o moliendo
Reciclando en el lugar	Se debe quitar una profundidad mayor que 1", conformando y recompactando el material para uso como una base negra
Planta central de reciclado para mezcla caliente	Se deberá quitar del camino la superficie de asfalto, transportar a una planta y reemplazarlo con una mezcla resultado de la combinación de materiales reciclados y material virgen y compacta el pavimento

Figura VI.35 Aplicaciones del reciclado de pavimentos
Fuente APCI

Determinación de la implementación de las estrategias de rehabilitación

El determinar en que momento intervenir es un ingrediente fundamental e importante en la rehabilitación del pavimento. Cuando un pavimento se deteriora, el tipo de rehabilitación que se debe aplicar deberá ser acorde a dichos deterioros, a manera de ejemplo en la figura 5 se muestran los cambios más apropiados, esto indica que cada estrategia tiene su aplicación más apropiada durante ciertas porciones de la vida del pavimento. El tiempo apropiado de las técnicas de la rehabilitación, junto con el plan apropiado y la construcción oportuna, son esenciales para la buena actuación y nivel de servicio que debe tener el pavimento.

Una condición del pavimento actual siempre contemplara la rehabilitación o bien el esperar hasta la condición de deterioro máxima, la cual inevitablemente se presentara. La primera acción al pavimento de concreto deteriorado es a menudo la restauración. Esto proporciona la opción de la rehabilitación más económica para extender la vida de pavimento con un bajo nivel de deterioros. Esperando que los mismos sean más extensos se requerirá un tratamiento más caro o bien la alternativa de la reconstrucción.

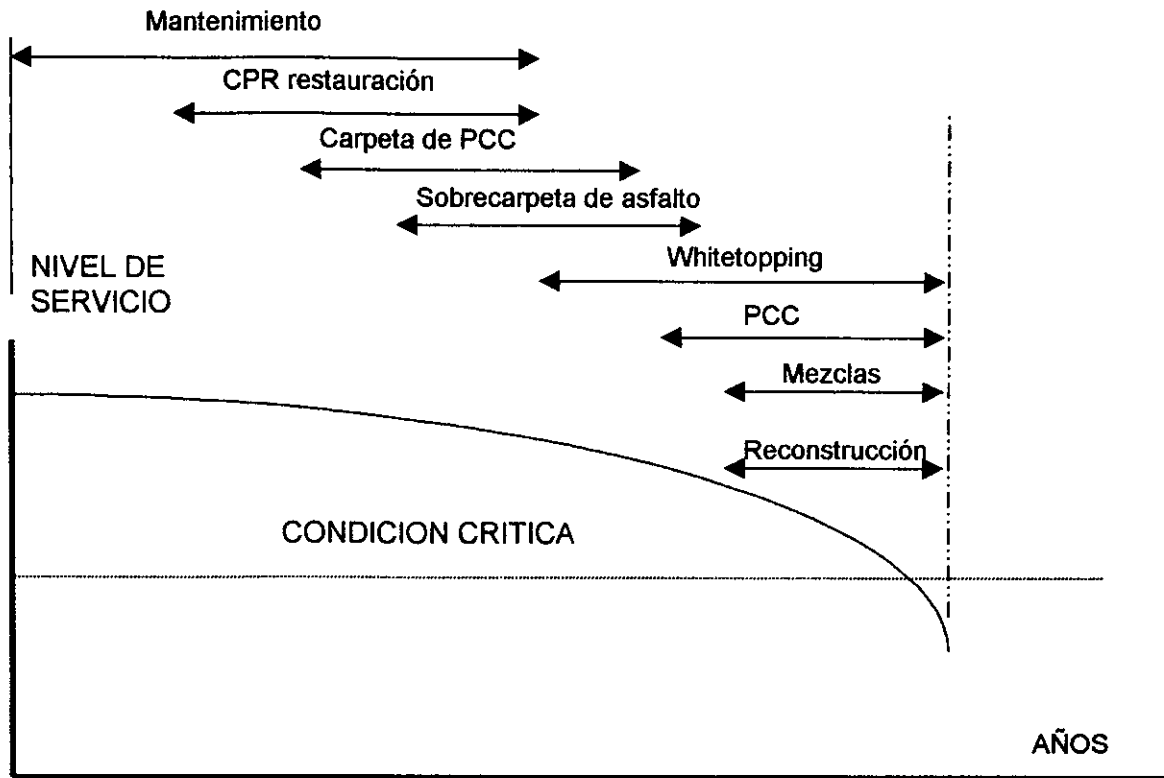


Figura VI.36 Diagrama del ciclo de vida que muestra donde las estrategias relacionan al pavimento con la condición estructural

Ventana de oportunidad

El nivel de servicio no puede ser el detonador para iniciar una rehabilitación del pavimento de una carretera. Un sistema más apropiado usa un concepto llamado ventana de oportunidad. Las ventanas de oportunidades se definen cuando una estrategia es apropiada. La severidad y la cantidad de deterioros del pavimento son los valores límite para la restauración. El valor de estos define el punto en el cual el organismo encargado debe considerar la reparación del pavimento para un cierto deterioro. El valor límite define el punto en el que la estrategia está resultando más económica a largo plazo. No todas las estrategias usarán el mismo criterio para activar la viabilidad del límite.

No se pueden definir valores límites para las reconstrucciones subsecuentemente, pero estas técnicas son aceptables hasta el mismo extremo de la vida útil del pavimento.

Una parte importante de la ventana para la restauración es la relación de costo. La restauración difiriendo actividades dentro de los límites de la ventana producirá proyectos más costosos. Esto es porque los deterioros son después más severos en la ventana.

Desarrollo de estrategias

Las estrategias deben dirigirse a los problemas del pavimento existente y deben encajar en la ventana de oportunidad. El análisis de estrategias realistas y apropiadas considerando su ciclo de vida y da una comparación justa.

Algunas técnicas llevadas a cabo para reparar un deterioro también pueden retardar el desarrollo de otros problemas. Cualquier tipo de falla dado que puede requerir tratamiento con más de una técnica de la rehabilitación, deberá de ser analizado por separado.

Los contratistas locales son un valioso recurso durante el desarrollo de la estrategia ya que ellos pueden ofrecer una valiosa visión en el aspecto de constructabilidad y costo de la técnica asociados con un proyecto de rehabilitación. Los contratistas conocen también la viabilidad para el proyecto fijando, cierres del camino, alternativas durante los trabajos y control del tráfico. La interacción con contratistas locales llevará a menudo a las soluciones económicas y la cooperación futura asegurada.

Aplicación de técnicas de "fast track" (huella rápida)

Los volúmenes de tráfico crecientes y la conciencia pública de las consecuencias de las interrupciones del tráfico agravan y reducen las soluciones de rehabilitación tradicionales. Estos problemas son especialmente agudos en áreas urbanas en donde la congestión vehicular suele ser una condición diaria, es aquí en donde la solución conocida como Fast Track resuelve estos problemas proporcionando un menor tiempo de construcción y una buena calidad para un resultado duradero.

El concreto es apropiado para la restauración de una vía de comunicación y es en sí misma una estrategia más de selección. Para usar el sistema Fast Track una agencia necesita cambios sólo mínimos en sus procedimientos de construcción y de la capacitación de su personal. Usando el sistema Fast Track se logra el desarrollo de la resistencia a intervalos que van de 24 horas a 6 horas.

La pavimentación acelerada se logra básicamente mediante un extremado cuidado en el control de calidad de los materiales, en el proporcionamiento de las mezclas de concreto y en los procedimientos de construcción. Entre los factores que se deben considerar para obtener altas resistencias a temprana edad figuran la relación agua-cemento, la fineza del cemento, la reacción química de las partículas del agregado, la inclusión de aire, la temperatura del agua y del medio ambiente y las técnicas de curado. Aunque los materiales locales de la región pueden ser utilizados en este tipo de proyectos, se hace necesaria una cuidadosa selección de los mismos por lo que se deben realizar extensivas pruebas de laboratorio.

Mantenimiento

Para lograr una buena actuación en un proyecto de rehabilitación se necesitara programar el mantenimiento, entender este punto es muy importante. Un plan de mantenimiento desarrollado por los mismos diseñadores del pavimento, puede ayudar para definir las necesidades de mantenimiento futuras. El plan debe darse al personal de mantenimiento para que ellos entiendan las expectativas de los diseñadores. El personal de mantenimiento puede aplicar el tratamiento como se explique en el plan y esto proporcionara la regeneración de acuerdo con las expectativas. Esto es particularmente importante para los planes a largo plazo, de 30 años o más.

Escogiendo una estrategia

Después de seleccionar las estrategias de rehabilitación apropiadas el próximo paso es comparar sus costos durante su ciclo de vida. La comparación debe incluir todos los costos, incluso la construcción, el mantenimiento futuro y las sobrecarpetas que fueren necesarios.

Es importante también examinar los costos de operación vehicular. Estos elementos pueden gobernar a menudo el costo de una estrategia. Algunas estrategias pueden requerir más atención a este tipo de factores que otras

El costo del ciclo de vida proporciona una manera de comparar estrategias con valores presentes diferente (costo inicial) y el costo futuro de la solución (mantenimiento). También se consideran los efectos de inflación y las tasas de interés en los gastos de la estrategia.

Tasa de descuento: La diferencia entre la tasa de interés y la tasa de inflación es determinante para conocer la tasa de descuento. La tasa de descuento es importante en el análisis del costo del ciclo de vida porque considera para los efectos opuestos de interés e inflación. Esta diferencia permanece bastante estable para los periodos largos. La selección de la tasa de descuento durante un ciclo de vida depende de la tasa media de descuento para análisis a 30 años o más para el estado federal y las agencias privadas.

Periodo de análisis: Un análisis del costo del ciclo de vida examina los costos de una estrategia para un periodo de análisis dado, típicamente el periodo de análisis para estrategias es de 10 a 30 años.

Los proyectos locales similares y los sistemas de dirección de mantenimiento de pavimentos locales son fuentes fiables para estimar la vida de servicio de una estrategia.

Datos de los costos: La construcción tiene un costo para los diversos insumos incluidos, pero son relativamente fáciles de determinar para cualquier estrategia. Pero la mayoría de las autoridades no considera que el mantenimiento es un costo difícil de estimar. Los insumos para el mantenimiento de los pavimentos de concreto incluyen: los necesarios para la reparación de juntas y de las grietas, el ocasional lleno de estas – a profundidad o parcial – así como las brigadas de trabajo necesarias. Para los pavimentos de asfalto se incluye lo necesario para taponar grietas, reparación de baches, remendando ocasional, etc. que generan trabajo. Los tratamientos superficiales no son considerados a menudo como trabajos de mantenimiento; sin embargo, ellos deben ser incluidos en el análisis del costo.

Comparación de los costos: La comparación de los costos del ciclo de vida debe estar con base a un valor presente o tomando como base el costo anual. El valor presente es el total de toda la inversión inicial y el costo futuro de una estrategia expresado en el valor del dólar actual. La proporción del descuento ajusta costos futuros para el mantenimiento o actividades de rehabilitación al valor del dólar actual. Un análisis de valor presente requiere que cada estrategia tenga un análisis igual lo que requiere que cada estrategia tenga un periodo de análisis igual.

Determinar el costo anual de una estrategia requiere que el valor presente sea dividido en iguales valores anuales. Usando costos anuales se permite la comparación de alternativas de rehabilitación con vidas de servicio diferentes. Esto es ventajoso para comparar estrategias porque la expectativa de vida de cada estrategia es normalmente diferente.

CAPITULO VII

PERSPECTIVAS A FUTURO EN LA NECESIDAD DE UNA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

VII.1 DEFINICION DE UNA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION.....	260
VII.2 LA CALIDAD COMO FUNDAMENTO DE LA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION.....	262
VII.3 LOS COSTOS, JUSTIFICADORES DE LA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION.....	264
VII.4 LOS COSTOS DE OPERACION VEHICULAR, PRINCIPAL JUSTIFICADOR PARA UNA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION.....	266
VII.5 GRAFICAS.....	274

VII.1 DEFINICION DE UNA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

Todas las personas en el mundo saben que ningún objeto es para siempre, es decir saben que este tendrá una vida útil finita, la cual se alcanzará con mayor o menor rapidez conforme al uso, adecuado o no, que se le dé al objeto, esta situación se presenta en cualquiera de los satisfactores que genera la ingeniería civil, y las carreteras no son la excepción. Pero si bien todas las personas saben que toda obra tendrá una vida limitada, muy pocas saben que para que se alcance esta vida se tendrá que aceptar la obligación de conservar dicha obra, por principio de cuentas porque solo conservando se podrá mantener la obra en funcionamiento óptimo y porque sin conservación, una obra puede causar mayores necesidades que satisfactores.

El caso de los países en vías de desarrollo es usualmente contrario a esta necesidad, la conservación en muchos casos es nula o simplemente escasa e ineficiente, esta situación genera miles de pérdidas económicas en estos países, las cuales a su vez impactarán en otros rubros de la economía, lo que nos lleva a un círculo vicioso sin salida. Todo lo anterior es conocido por los gobiernos de estos países, pero no se han encontrado las estrategias óptimas para frenar este fenómeno, por diversos factores que no analizaremos a fondo en este trabajo.

Nuestro país no esta exento a esta situación, lo cual tiene diversos orígenes, los cuales en mayor o menor medida pueden ser superados en el mediano plazo, pero en este capítulo concretamente trataremos el mismo como una necesidad, la cual se tiene que consolidar en los próximos años si es que queremos realmente superar los rezagos económicos de los mexicanos.

¿QUE ES CULTURA?

La palabra cultura se deriva de la raíz latina *cultura*, de *colere*, que significa cultivar, y se define como el desarrollo o mejoramiento de las facultades físicas, intelectuales o morales mediante la educación, también se le define como el conjunto de ideas, habilidades y costumbres que ha ido adquiriendo un grupo humano y trasmitiendo de generación en generación. Con esta idea básica, podemos decir inicialmente que la cultura de mantenimiento y conservación proporcionara a los mexicanos los conocimientos necesarios para promover las acciones que nos permitan preservar la infraestructura actual.

Esta definición la ampliaremos después, ahora, presentamos el enfoque que le proporciona la SCT a este asunto:

“Veo la necesidad de desarrollar una verdadera cultura de la conservación y trataría de explicarme: Si por cultura entendemos el conjunto de índole material o espiritual, organizados lógica y coherentemente, que incluye los conocimientos, las creencias, el arte, la moral, el derecho, los usos y costumbres, y todos los hábitos y aptitudes adquiridos por los hombres en su condición de miembros de la sociedad, entonces entenderemos por cultura de la conservación el reconocimiento de que los mexicanos tenemos un patrimonio importantísimo en la infraestructura para el transporte, la organización lógica y coherente de los programas; la aplicación de los conocimientos adquiridos convirtiendo la experiencia en conciencia; la costumbre de hacer las cosas de una manera eficiente y la actitud adquinada al servicio de estos programas; la integridad de empresas dedicadas a la conservación con programas continuos de capacitación. Entonces y sólo entonces podremos decir que estamos satisfechos con los avances

logrados en materia de conservación de carreteras y que definitivamente redundan en beneficio de los usuarios de la red de carreteras federales libres de nuestro país."

CEDRIC IVAN ESCALANTE SAURI

DIRECTOR GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS, SCT. 1998

Si bien la postura de la SCT nos podría parecer demasiado politizada, representa un paso serio de buscar generar conciencia sobre la importancia de la infraestructura con la que contamos y de la importancia de su conservación, la cual siempre se ha conocido, pero que por diversos motivos no ha echado raíces dentro de la cultura mexicana. Para comprender aun más la necesidad de una cultura de conservación habrá que saber que la situación actual exige cambios, y muy serios.

En el nuevo orden económico mundial denominado globalización, los países que prosperarán serán aquellos con una mano de obra altamente calificada y educada para fabricar productos de muy buena calidad a costos competitivos. Aquellos que cuenten con sistemas de comunicación avanzados y sobre todo los que construyan, mantengan y operen una infraestructura de carreteras altamente eficiente.

El banco mundial señala que la inversión en infraestructura aumenta la productividad, reduce los costos de producción y mejora los niveles de vida ya que esta inversión crece en relación directa al producto interno bruto (PIB). Esto es, un incremento del 1% de inversión en infraestructura, representará un crecimiento igual al 1% del PIB.

Dentro de la infraestructura, la del transporte jugará un papel muy importante para lograr un desarrollo sostenido. Su impacto en la economía de un país es indiscutible.

Los estudios llevados a cabo en los Estados Unidos a este respecto señalan que gran parte de la pérdida de su productividad recae en la falta de una inversión adecuada en su infraestructura de transporte. En los próximos años Estados Unidos requerirá 117 billones de dólares anuales de inversión en esta infraestructura si quiere seguir en su papel de liderazgo mundial.

Para dar una idea de los datos anteriores pensemos en el siguiente ejemplo:

Se estima que si Estados Unidos invirtiera un billón de dólares adicionales al gasto en infraestructura de transporte, esta inversión tendría una repercusión de 3 billones de dólares en reducción de costos, generando así dos billones de dólares que podrían ser derramados al resto de la economía.

Siendo las carreteras la columna vertebral de la infraestructura del transporte, su construcción y conservación se vuelven estratégicas. Como ya se ha mencionado antes, el no invertir o invertir menos de lo necesario en la infraestructura de carreteras conduce a pérdidas de capital de la misma o bien a gastos mayores en el futuro. La conservación, rehabilitación y demora de los usuarios representan un gran impacto para la economía de cualquier país.

La tendencia de considerar sólo el costo inicial de construcción para la selección de alternativas, conlleva a la toma de decisiones que muchas veces no son las más favorables. Por este motivo es imperativo considerar los costos totales durante la vida del pavimento bajo el concepto de un análisis de costo de ciclo de vida.

La relevancia del análisis del costo de ciclo de vida como herramienta para la toma de decisiones en la inversión de proyectos de carreteras fue demostrada en los estudios realizados a fines de los años 70's. Estos estudios también demostraron de una manera cuantitativa la importancia que reviste el costo de operación de un vehículo por el deterioro de un camino y sus efectos en los niveles de inversión.

Todo lo anterior representa una buena base para decir que es necesario conservar la infraestructura con la que contamos, pero como ya mencionamos, la cultura es un proceso de aprendizaje, y por lo tanto, es necesario enseñar a nuestro país las bondades

del mantenimiento y la conservación. Además de esto será necesario que la cultura que se pretenda inculcar en nuestro país sobre conservación, contemple necesariamente el ciclo de vida del proyecto, es decir que vea de manera integral el proyecto y no sólo cuando los índices de servicio y rugosidad lo exijan.

Por lo tanto podemos definir que la idea de una cultura de mantenimiento y conservación entonces contemplara todos aquellos aspectos técnicos, tecnológicos y humanos que nos permitan desarrollar infraestructura de manera lógica y ordenada, que contemple todas las fases del proyecto, para la consecución de un satisfactor de calidad y eficacia óptima. En donde se tenga presente que el mantener en óptimas condiciones una obra requerirá de inversiones importantes, en las cuales los ahorros pueden ser ficticios y que no garantizarán la solución correcta de un problema.

VII.2 LA CALIDAD COMO FUNDAMENTO DE LA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

En la construcción de una obra civil, se involucran muchas actividades, antes y después de la fase de construcción propiamente dicha, en las primeras fases, se definen los aspectos conceptuales que darán forma al proyecto, se definen los planos, especificaciones, programas de obra, formas de financiamiento, etc., en la siguiente etapa, la de construcción se realizará propiamente dicho la obra, y en las últimas etapas se realizarán actividades que permitan a la obra funcionar de manera óptima.

Las etapas antes mencionadas involucran la participación de mano de obra calificada y no calificada, en cantidades considerables, las cuales en gran medida generan la calidad o la ausencia de calidad del trabajo. La importancia de la cultura de la calidad, en la cultura de mantenimiento y conservación es sumamente importante, ya que la primera debe ser parte integrante de la segunda, ya que no es concebible la realización de trabajos de mantenimiento y conservación que causen mayores problemas que los existentes, y esto a causa de una falta de control de calidad.

La realidad por otra parte nos indica que la calidad en las actividades de conservación menor, como bacheo, calafateo de grietas, etc., es muy pobre, lo cual se puede constatar cada vez que se realizan este tipo de trabajos; en el mejor de los casos los trabajos de mantenimiento mayor se realizan con especificaciones más estrictas además de la supervisión de personal calificado, pero aun así se presentan vicios que llevan a una vida útil menor de la proyectada para la solución.

Tomando en cuenta esto, será necesario educar a la sociedad en esta cultura, la de la calidad total, lo que se ha venido realizando en los últimos años con grandes resultados en empresas privadas, lo que en muchos casos les ha permitido incursionar en mercados extranjeros con éxito. Pero en las dependencias de gobierno, se ha encontrado una oposición al cambio, que sin duda se deberá de dar tarde o temprano.

La educación en ese sentido deberá de iniciarse desde la educación básica, para que en el mediano plazo se pueda observar a la cultura de calidad como un estilo de vida y no como una alternativa más.

Esto permitirá conjuntamente con la educación a otros niveles generar la conciencia que se convierte en costumbre, la cual permitirá realizar todos los trabajos involucrados en una obra con calidad, y de esta manera lograr una eficiencia óptima y reducir al final las inversiones en mantenimiento y conservación.

Para finalizar se presenta brevemente lo que seria un control de calidad en obra, lo cual se puede aplicar sin dificultad al mantenimiento y conservación, pero además a las otras etapas de un proyecto.

CONTROL DE OBRAS

a) Definición

El control de las obras es la operación que consiste en asegurar que el proyecto esté bien realizado y conforme a los planos y especificaciones del mismo. El control representa para la Administración, el seguro de tener una obra conforme al diseño o al objetivo fijado. El control de obras es una operación imprescindible, es necesario para las operaciones ejecutadas por la Administración directa como para las operaciones realizadas por el contratista. Es en si misma una operación difícil, pues los eventuales defectos de construcción están a veces invisibles o aparecen ya tarde.

El objetivo del control es obligar al contratista a respetar el proyecto. La calidad de las obras depende de la del diseño. A veces el personal asignado al control será obligado a enmendar un proyecto pero estas modificaciones deben ser excepcionales.

De tal manera que para lograr la calidad en una obra, esta dependerá de la seriedad y de la competencia del contratista, pues es bien sabido que el diseño y el control no pueden suplir sus carencias.

Se puede decir que una obra buena es el resultado de un buen diseño, realizado por un contratista bueno y bien controlado.

Si bien un buen control puede mejorar muchos aspectos de la construcción, el contratista puede ser tentado a realizar economías ocultas que podría ocasionar ulteriormente para la Administración gastos importantes de reparaciones y de mantenimiento.

b) Estructura de control

La célula de control tiene que disponer de los medios necesarios en cuanto a personal y equipo se refiere. Estos medios deben ser suficientes en cantidad y calidad. La importancia del control depende del personal, de su competencia, de los diversos responsables y en particular del ingeniero responsable. La experiencia muestra que aún y cuando el grado de perfección de un estudio sea superior al estándar, se presentarán siempre durante la ejecución de una obra dificultades imprevistas. El control debe arreglar rápidamente estos problemas con soluciones racionales tanto técnica como financieramente. El ingeniero encargado del control deberá tener varias cualidades, entre las que destacan las siguientes: buena experiencia técnica, mucho sentido crítico, una gran honradez intelectual y mucha paciencia. Se debe subrayar que el papel del ingeniero encargado del control es determinante para la ejecución de la obra. Su influencia puede y debe salir del marco estricto de la verificación formal de las cláusulas de un contrato. Debe ejercer sobre todos los ejecutantes una autoridad enérgica mientras mantenga un clima de confianza entre el control y el contratista. El grupo de control debe también incluir unos inspectores responsables del control de uno o varios tipos de obras, pero que no tienen poder de decisión.

VII.3 LOS COSTOS, JUSTIFICADORES DE LA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

ANALISIS DE COSTO A NIVEL PROYECTO

En la construcción de carreteras, se ha comprobado que los costos de adquisición de los equipos que componen el tren de pavimentación y los costos horarios de los mismos, representan una parte mínima dentro del precio final del pavimento, que en el caso de pavimentos de concreto hidráulico representa aproximadamente el 5%, que aunado al alto rendimiento de dichos equipos representa una opción importante para el constructor.

Los costos de operación son difíciles de calcular por la gran variedad en el tipo de vehículos, por la determinación exacta de los tiempos de demora y por la valorización en los costos de accidentes. Sus cifras alcanzan billones de dólares, sumas que desgraciadamente no provienen de algún presupuesto, provienen del bolsillo de la población en pequeñas cantidades que sumadas alcanzan estas cifras.

Para dar una idea del impacto de este costo mencionaremos los siguientes datos: para el caso de México representa el 5% del PIB, para el caso de Brasil alrededor del 25% y en los Estados Unidos se estima que este costo es de 9 billones de dólares anuales.

En consecuencia se vuelve tarea prioritaria mantener costos de operación lo más bajo posible para incrementar la productividad y competitividad de un país. Esta situación requiere de una planificación de la infraestructura de carreteras en cuanto a su construcción (calidad de los trabajos, control en las especificaciones y aplicación de nuevas tecnologías), mantenimiento con programas de aplicación de recursos económicos en los tiempos requeridos con los trabajos adecuados y de calidad, seleccionados a través de una metodología que permita aplicar conceptos de costo/beneficio.

En suma, como se muestra en la figura VII.1, invertir un dólar en infraestructura de caminos, reducirá directamente el costo de operación en el orden de 3 a 4 dólares.

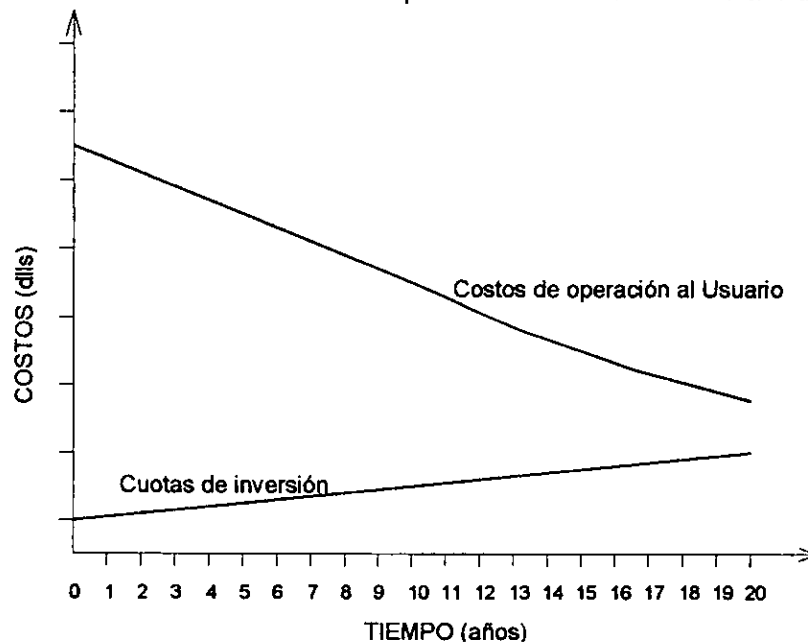


Figura VII.1 Costos de Operación Vehicular

DIMENSION Y PESO DE VEHICULOS

Este tema en si siempre ha sido polémico, a través del tiempo hemos visto como se ha incrementado el peso de los vehículos y sus dimensiones sin que aparentemente se pueda dar una restricción efectiva a este problema. Pareciera que los ingenieros en carreteras están siempre un paso atrás de la industria automotriz de carga con una fuerte desventaja por el decremento en las inversiones para la construcción, mantenimiento y rehabilitación de nuestros caminos.

Por todos es conocido los efectos del sobrepeso vehicular, y en capítulo III lo tratamos ampliamente, basta recordar que aumenta los costos de construcción, mantenimiento y rehabilitación de los pavimentos. Los estudios llevados a cabo por la Universidad de Michigan estiman que la relación entre la carga por eje y el deterioro del pavimento es a la cuarta potencia.

Como ya se ha mencionado entre mayor sea la carga, mayor tendrá que ser la inversión para la construcción de un camino. Indiscutiblemente, cuando se diseña una estructura de pavimento bajo la aplicación de un cierto número de ejes sencillos equivalentes al presentarse el problema del sobrepeso en los vehículos, esta estructura invariablemente tendrá una vida menor a la proyectada.

Diversas instituciones en el mundo han estudiado este fenómeno. Al parecer la solución puede estar dada en la búsqueda de acuerdos entre la industria, los fabricantes de vehículos y las autoridades encargadas de la construcción y mantenimiento de las carreteras. Los industriales buscando por ejemplo minimizar el peso del empaque en sus productos, los fabricantes de vehículos, diseñando camiones más ligeros, con motores más potentes, de bajo consumo de combustible con configuraciones de ejes que representen menor daño a las estructuras de los pavimentos y los ingenieros en carreteras planificando de acuerdo a las necesidades económicas, las redes de caminos adecuadas.

LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO DE LAS CARRETERAS

Mantener una red de carreteras eficiente no sólo comprende la adecuada construcción de los caminos sino que también el mantenimiento de los ya construidos, puesto que representan un patrimonio invaluable. No conservar o conservar a medias será motivo de pérdidas de este patrimonio. Esta idea es el centro fundamental de la cultura de mantenimiento, y se justifica tomando en cuenta todos los costos ya mencionados, los cuales se incrementan de acuerdo al estado superficial del camino, además se sabe los diferentes costos involucrados tienen un impacto distinto en el costo directo que paga el usuario. En el caso de México se estiman los siguientes: el costo de construcción representa el 1, el costo de mantenimiento el 10 y los costos de operación vehicular el 200.

Estas cifras cambiarán de acuerdo a muchos factores, pero mantendrán sus diferencias. Para justificar aun más claramente que debemos mantener la infraestructura con la que contamos hoy, se presentará a continuación un análisis más detallado sobre los costos más representativos de un camino: los costos de operación vehicular.

VII.4 LOS COSTOS DE OPERACION VEHICULAR, PRINCIPAL JUSTIFICADOR DE UNA CULTURA DE MANTENIMIENTO Y CONSERVACION

Como se ha ido mencionando, los costos de operación vehicular dependen de una gran cantidad de variables, las principales son el tipo de vehículo, las condiciones topográficas del camino y el estado superficial del mismo. Para este punto, hemos considerado la utilización de un ejemplo, por lo cual presentamos una serie de gráficas al final del capítulo, en las cuales se relacionan estos parámetros, para darnos un costo de operación vehicular.

INDICADORES DEL ESTADO SUPERFICIAL

Los estados de la superficie de rodamiento están representados, como fue mencionado, por el Índice de Servicio y el Índice Internacional de Rugosidad.

El primero corresponde a la valuación de la comodidad del viaje en una escala de 0 a 5, que realizan cuatro personas en un vehículo en buenas condiciones de suspensión y alineación, circulando a velocidad normal de operación.

El Índice Internacional de Rugosidad constituye una medida de la 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 de viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida y el IIR 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. Todo lo anterior se especifica más a fondo en el capítulo III del presente trabajo.

METODOLOGIA

En los últimos años ha sido de gran interés el aspecto de los sobrecostos generados por la operación en diversos pavimentos, por lo cual se han realizado varios estudios, entre los cuales destacan los realizados en Kenia (1971-75), Brasil (1975-84), Santa Lucía (1977-82) e India (1977-83). Debido tanto a los antecedentes generados en Kenia, como a una mayor disponibilidad de recursos financieros, los estudios más completos y confiables fueron desarrollados en Brasil, por lo que fundamentalmente con base en sus resultados fueron construidos los modelos matemáticos con los que el Banco Mundial estructuró posteriormente un programa de cómputo denominado Costos de Operación Vehicular.

Por otra parte se ha observado que de los cuatro países mencionados, Brasil presenta no sólo mayor cobertura y semejanza en cuanto a tipos de vehículos y características de caminos, sino también mayor similitud económica con relación a las condiciones de nuestra nación. Por lo anterior, el IMT decidió utilizar su metodología e información para aplicarla con datos nacionales, usando el programa de cómputo basado en los propios estudios de Brasil como herramienta principal para la adaptación.

La adecuación consistió en el uso de datos sobre características técnicas de vehículos nacionales, así como costos unitarios de insumos. También se definieron, con base en análisis de sensibilidad en rangos de factibilidad y auscultaciones de campo, datos necesarios relativos a la utilización de los vehículos.

A partir de éstos y de otros datos y coeficientes originales de los modelos, se calcularon velocidades y costos de operación para rugosidades de 2 a 12 m/km y combinaciones de

pendientes y curvaturas horizontales representativas de un trazo totalmente plano y recto (0% y 0 grados/km, respectivamente), de otro en terreno sensiblemente plano (aproximadamente 1.5% y 200 grados/km), en lomerío (de 3 a 4% y de 300 a 500 grados/km) y en terreno montañoso (más de 5% y 600 grados/km).

En las figuras VII.2 y VII.3 se presentan, a manera de ejemplo, estos resultados intermedios para el caso del camión articulado.

Las velocidades obtenidas fueron ajustadas, en una segunda fase, para reflejar con mayor aproximación las que se observan en las carreteras del país. Los costos fueron divididos entre el costo de operación base, para obtener factores adimensionales como los que se muestran en la figura VII.4 para el camión articulado.

Por último, los resultados se graficaron en la forma en que se presentan al final del capítulo, incluyendo en el eje horizontal superior la equivalencia de rugosidad en términos del IS, establecida con base en la experiencia nacional. Debido a la prácticamente nula variación de costos y velocidades por debajo de un IIR de 2m/km (o por arriba de un IS de 4.5), dicho rango no se incluyó en la gráfica superior y en la inferior se presenta en forma punteada con el único fin de mantener presente la tendencia.

Para finalizar esta sección, resulta necesario señalar, que la aproximación a la realidad de los resultados de este trabajo, puede todavía mejorarse afinando algunos de los datos y calibrando los modelos utilizados por el programa de cómputo.

Para ello será necesario desarrollar estudios propios de campo y conocer cada vez más sobre las prácticas de utilización de vehículos de las empresas transportistas.

Se considera, sin embargo, que la aproximación lograda con los resultados presentados, es suficiente para considerarlos una útil y confiable herramienta en los procesos de diseño y toma de decisiones técnico-económicas del subsector carretero del país.

VELOCIDAD DE OPERACION			
CAMION ARTICULADO			
Valores calculados en km/hora (8/03/91)			
IIR	Plano	Lomerío	Montañoso
2	54.75	35.93	26.33
4	53.04	35.44	26.12
6	49.27	34.46	25.77
8	43.79	32.78	25.15
10	38.05	30.58	24.22
12	33.07	28.19	23.08
Columnas: Diferentes tipos de terreno			
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km			

Figura VII.2 Fuente IMT

COSTOS DE OPERACION				
CAMION ARTICULADO				
Valores calculados en pesos por vehículo-km (8/03/91)				
IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	2149.88	2435.42	3221.97	4168.50
4	2393.88	2683.49	3483.46	4445.61
6	2660.18	2947.03	3754.74	4730.08
8	2960.20	3235.94	4043.05	5027.70
10	3285.74	3549.94	4350.87	5342.31
12	3626.36	3882.64	4676.43	5674.23

Columnas: Diferentes tipos de terreno
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

Figura VII.3 Fuente IMT

FACTORES DEL COSTO BASE				
CAMION ARTICULADO (ADIMENSIONAL)				
IIR	Caso Base	Plano	Lomerío	Montañoso
2	1.00	1.13	1.50	1.94
4	1.11	1.25	1.62	2.07
6	1.24	1.37	1.75	2.20
8	1.38	1.51	1.88	2.34
10	1.53	1.65	2.02	2.48
12	1.69	1.81	2.18	2.64

Columnas: Diferentes tipos de terreno
Renglones: Índice Internacional de Rugosidad en m/km

Figura VII.4 Fuente IMT

CALCULO DE LOS COSTOS DE OPERACION BASE

Para que el uso común de las gráficas no dependa de la variación de los costos unitarios de los consumos y de los vehículos, el IMT decidió, como ha sido mencionado, el uso de factores de un costo base.

El costo de operación base se define en este trabajo como el costo de operación por kilómetro de un vehículo que transita sobre una carretera recta y plana; esto es, con curvatura y pendiente iguales a cero, con pavimento en muy buenas condiciones (IIR igual a 2 m/km, IS igual a 4.5). Dicho costo se calcula como la suma de los productos de los diferentes consumos del vehículo en un kilómetro de recorrido, por sus respectivos costos unitarios.

Con el uso de este concepto bastará actualizar los costos unitarios periódicamente, utilizando precios promedio nacionales de los vehículos y consumos que se indican más adelante, para actualizar el costo base. Multiplicando éste factor por el leído en las gráficas se obtendrá el costo de operación buscado.

Los costos unitarios no deberán de incluir impuestos como el IVA, el Impuesto Sobre Adquisición de Vehículos Nuevos (ISAN), etc. Esto se debe a que, desde una perspectiva nacional, interesan los costos y beneficios de la construcción y operación de los caminos representa para el país en su conjunto y en este sentido, los impuestos son sólo transferencias de dinero que el país no gasta, pues no forman parte del costo de producción de los insumos o de los vehículos. Para los combustibles, derivados de un recurso cuyos precios se fijan en el ámbito internacional, debería tomarse, teóricamente, un precio internacional libre de impuestos; sin embargo, se considera que es razonablemente aproximado tomar el precio con el que se expende al público en México. Otra consideración se refiere al cargo por concepto de intereses sobre el capital invertido en los vehículos, el cual puede fluctuar debido a la variabilidad de las tasas de interés e inflación. Para su actualización se incluye la figura VII.5, donde puede leerse para diferentes valores de la tasa real anual, el consumo correspondiente en porcentaje del precio del vehículo. La tasa real anual se calcula como la diferencia entre la tasa anual de interés bancario, menos la inflación en el año.

CARGO POR CONCEPTO DE INTERESES PARA DIFERENTES TASAS REALES (% DEL PRECIO DEL VEHICULO NUEVO POR CADA 1000 veh-km)					
Tasa Real	Camión Articulado	Camión de Dos Ejes	Autobús Foráneo	Camión Ligero	Vehículo Ligero
2	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03
4	0.01	0.01	0.01	0.02	0.06
6	0.02	0.02	0.01	0.03	0.10
8	0.03	0.03	0.02	0.04	0.13
10	0.03	0.04	0.02	0.05	0.16
12	0.04	0.04	0.03	0.06	0.19
14	0.05	0.05	0.03	0.07	0.22
16	0.05	0.06	0.04	0.08	0.26
18	0.06	0.06	0.04	0.09	0.29
20	0.07	0.07	0.05	0.10	0.32
22	0.07	0.08	0.05	0.11	0.35
24	0.08	0.09	0.06	0.13	0.38
26	0.08	0.09	0.06	0.14	0.41
28	0.09	0.10	0.06	0.15	0.45
30	0.10	0.11	0.07	0.16	0.48
32	0.10	0.12	0.07	0.17	0.51
34	0.11	0.12	0.08	0.18	0.54
36	0.12	0.13	0.08	0.19	0.57
38	0.12	0.14	0.09	0.20	0.61
40	0.13	0.14	0.09	0.21	0.64
42	0.14	0.15	0.10	0.22	0.67
44	0.14	0.16	0.10	0.23	0.70
46	0.15	0.17	0.11	0.24	0.73
48	0.16	0.17	0.11	0.25	0.77
50	0.16	0.18	0.12	0.26	0.80

Figura VII.5 Cargo por concepto de intereses para diferentes tasas reales. Fuente IMT

EJEMPLO DE APLICACION

Los costos de operación anuales por kilómetro en cada tramo se calculan, para cada tipo de vehículo, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{COA} = \text{Fb} \times \text{CB} \times \text{TDPA} \times 365$$

Donde:

COA es el costo de operación anual por kilometro para todos los vehículos de un mismo tipo

Fb es el factor del Costo de Operación Base que se lee de las gráficas para el tipo de vehículo, tipo de terreno y estado superficial deseados

CB es el Costo de Operación Base del vehículo, que se obtiene como los ejemplos incluidos al final

TDPA es el Tránsito Diario Promedio Anual

365 corresponde al número de días del año

Considérense los tramos Acayucan - Salina Cruz y Mazatlán - Tepic de la red carretera nacional, con los volúmenes de tránsito y composiciones aforados en 1988, en las estaciones que se indican:

TRAMO	TDPA	A	B	C	ESTACION
Acayucan - Salina Cruz	3630	67%	5%	28%	Palomares
Mazatlán - Tepic	5904	49%	10%	41%	Acaponeta

Figura VII.6 Valores para el ejemplo de aplicación. Fuente IMT

En ambos casos la topografía que atraviesan los caminos es sensiblemente plana. Supóngase ahora que, en tres momentos diferentes, el estado superficial de los tramos corresponde a los Indices de Servicio (IS) e Internacional de Rugosidad (IIR) siguientes:

ESTADO SUPERFICIAL	IS	IIR
Muy Bueno	4.5	2.0
Regular	2.5	6.0
Muy Malo	0.5	11.0

Figura VII.7 Indicadores del estado superficial del pavimento

A la clasificación A de la composición vehicular, corresponde en las gráficas el Vehículo Ligero; a la B, el Autobús Foráneo y para la C, se considera 25% de tractocamiones y 75% de camiones de dos y de tres ejes, representados en las gráficas por el Camión Articulado y el Camión de Dos Ejes, respectivamente.

Los resultados intermedios para llegar a los costos de operación anuales por kilómetro en cada tramo se presentan en las figuras VII.8 y VII.9.

TIPO DE VEHICULO	ESTADO SUPERFICIAL		
	Muy Bueno	Regular	Muy Malo
Vehículo Ligero	1.03	1.18	1.53
Autobús Foráneo	1.05	1.14	1.32
Camión de 2 ejes	1.10	1.50	2.00
Camión Articulado	1.13	1.38	1.72

Figura VII.8 Factores del Costo de Operación Base
Terreno sensiblemente plano

Nótese que el incremento porcentual que sufre el costo de operación al transitar sobre caminos progresivamente más deteriorados, es sustancialmente mayor en los vehículos pesados que en los ligeros. Por ejemplo, en el caso extremo, la operación del camión de dos ejes pasa de costar 10% más de su costo base en caminos en buen estado, a 50% más si el camino está en regular estado, alcanzando un 100% de incremento, o sea duplicando su costo base, cuando recorre un camino en muy mal estado superficial.

Considerando los costos en valor monetario (figura VII.9), se obtienen multiplicando los factores de la figura VII.8 por los costos de operación base (figuras VII.18, 19, 20 y 21), la influencia de este último hace que los sobrecostos sean mayores en el caso del camión articulado que en el de dos ejes, aún cuando en porcentaje el incremento sea mayor en éste último. Sobresale también el caso del autobús, que en porcentaje registra los menores incrementos, pero en valor monetario ocupa el segundo lugar en importancia.

En la figura VII.10 se muestran los costos por kilómetro que asumen los propietarios de todos los vehículos que se supone transitan durante un año en el tramo Acayucan – Salina Cruz, con base en el TDPA (3630 vehículos) y su composición mostrada al principio en la figura VII.6. Cuando el camino está en muy buenas condiciones, los costos anuales de los usuarios por kilómetro recorrido son del orden de mil millones de pesos, doscientos millones más si el estado es regular y trescientos millones de pesos adicionales, si el estado es francamente malo. Obsérvese que estos sobrecostos por kilómetro son comparables al costo de una acción de conservación eficaz con vida útil de varios años.

TIPO DE VEHICULO	ESTADO SUPERFICIAL		
	Muy Bueno	Regular	Muy Malo
Vehículo Ligero	492.34	564.04	731.34
Autobús Foráneo	1432.20	1554.96	1800.48
Camión de Dos Ejes	904.20	1233.00	1644.00
Camión Articulado	2429.50	2967.00	3698.00

Figura VII.9 Costos de Operación (\$/veh-km)

TIPO DE VEHICULO	ESTADO SUPERFICIAL		
	Muy Bueno	Regular	Muy Malo
Vehículo Ligero	437.06	500.71	649.22
Autobús Foráneo	64.88	103.01	119.28
Camión de Dos Ejes	251.58	343.07	457.43
Camión Articulado	225.33	275.18	342.98
Tránsito Anual	1008.86	1221.97	1568.90

Figura VII.10 Costos de Operación del Tránsito Anual (millones de pesos/km)
Tramo Acayucan – Salina Cruz

Para el caso del tramo Mazatlán – Tepic, considerando el TDPA (5904 vehículos) y la composición mostrada en la figura VII.6, los costos de operación por kilómetro de todos los vehículos que se supone circulan en un año, son los que aparecen en la figura VII.11. Casi dos mil millones de pesos cuando el camino está en muy buen estado, cuatrocientos millones más por kilómetro si la superficie guarda un estado regular y seiscientos millones por kilómetro, adicionales a lo anterior, cuando el estado superficial de la carretera es muy malo. En este caso, también los sobrecostos cubren, sin duda, el costo de una conservación eficaz diseñada para un período prolongado.

Es claro que los sobrecostos de operación de casi el doble en el tramo Mazatlán – Tepic con respecto a Acayucan – Salina Cruz (figura VII.12), no sólo se deben a un mayor tránsito anual, sino también a las diferencias en composición.

TIPO DE VEHICULO	ESTADO SUPERFICIAL		
	Muy Bueno	Regular	Muy Malo
Vehículo Ligero	519.88	595.59	772.24
Autobús Foráneo	308.63	335.09	388.00
Camión de Dos Ejes	599.17	817.05	1089.40
Camión Articulado	536.64	655.36	816.83
Tránsito Anual	1964.31	2403.08	3066.46

Figura VII.11 Costos de Operación del Tránsito Anual (millones de pesos/km)
Tramo Mazatlán – Tepic

TRAMO	MUY BUENO – REGULAR		REGULAR – MUY MALO	
	\$	%	\$	%
Acayucan – Salina Cruz	213.12	21.12	346.93	28.39
Mazatlán – Tepic	438.77	22.34	663.38	27.61

Figura VII.12 Sobrecostos de Operación Anuales por km
(Millones de Pesos y Porcentajes)

El ejemplo es una estimación burda, destinada a dar órdenes de magnitud, todo lo anterior representa que en un tramo del camino Acayucan – Salina Cruz, supuesto de 100 km, un pavimento malo costaba al país del orden de 56 000 millones de pesos cada año en el año de 1991, en exceso del costo de operación normal. En el camino Mazatlán – Tepic, un tramo de la misma longitud en mal estado, representaría para el país un sobrecosto de operación del orden de 110 000 millones de pesos al año, para el mismo año.

Es fácil para quien haya seguido los cálculos de estos ejemplos, verificar que en ambos casos, únicamente el sobre costo de operación por mal estado del pavimento, dentro de límites realistas, puede llegarle a costar al país una cifra total anual que en muy pocos años iguala al costo total de construcción del tramo (del orden de cuatro años en un caso y de ocho en el otro).

Como conclusión general, obsérvese en estos cálculos representativos de situaciones reales, que el gasto adicional por kilómetro, debido a la ausencia de una conservación eficaz (ausencia de conservación o conservación inadecuada), cubren con holgura los montos necesarios para mantener índices de servicio altos (rugosidades bajas), por períodos de tiempo razonablemente prolongados. Dicho de otra manera, un supuesto ahorro aplicando acciones de conservación baratas, que no atacan los problemas de raíz, pero que alcanzan para "hacer algo" en el mayor número de kilómetros, costaría varios miles de millones de pesos al país, por el costo adicional de operación que significa para los usuarios recorrer caminos que rápidamente alcanzarían índices de servicio bajos (altas rugosidades). Conviene entonces, en términos generales, aplicar diseños con períodos útiles prolongados cada vez que sea posible pues, por alto que sea su costo, rápidamente será recuperado por el país, al reducirse los costos de operación de los usuarios.

En términos de diseño y construcción iniciales, resulta también conveniente gastar más en la construcción de las carreteras para tener estructuras estables y pavimentos resistentes y con ello caminos más durables, con menos interrupciones al tránsito para su conservación y, por lo tanto, más seguros y acumulativamente más beneficios económicos para los usuarios y el país en general, que gastar menos en la inversión inicial, buscando un ahorro fugaz y repercutiendo en altos costos de conservación a la dependencia responsable y de operación a los usuarios y, por ende, al país en su conjunto durante toda la vida útil del camino.

Habrán casos, sin duda, en los que la conclusión no será favorable a realizar una mayor inversión inicial en construcción o en conservación. La recuperación o justificación de ésta, gracias a la reducción de costos de operación, puede variar en forma importante e incluso no darse en el período de vida útil de un camino. Ello dependerá, por supuesto de las magnitudes del tránsito, de su composición, de su crecimiento anual, de los ritmos de deterioro de los caminos y del tamaño de los montos de inversión implicados.

De todo lo anterior, podemos justificar el realizar acciones de conservación y mantenimiento, además de que justifican ampliamente el inculcar una cultura de mantenimiento, en un futuro inmediato, ya que dados los cambios globales que se generan minuto a minuto, exigen cambios radicales, pero con bases sólidas, que en este caso ya existen y se deben de promover.

Ya que si bien los ahorros que permitirían los costos de operación vehicular actualmente, son bastante considerables, aun y cuando la situación actual de los pavimentos en México en muchos casos es lamentable, debemos de educarnos hacia el realizar las cosas de manera excelente para garantizar un futuro aun más prometedor, lo cual puede ser lo único que garantice un crecimiento real del país en los próximos años

VII.5 GRAFICAS

Las gráficas que se presentan, relacionan la pendiente, la curvatura horizontal y la velocidad, con el costo de operación. Este se considera como 1 en un tramo recto de pendiente 0% y pavimento nuevo (Indice Internacional de Rugosidad = 1-2 m/km, Indice de Servicio = 4.5-5), de manera tal que los costos correspondientes a otras condiciones de rugosidad y de alineamiento horizontal y vertical se expresan como un factor siempre mayor que 1; de esta forma se ha tratado de eliminar la referencia a un precio variable.

Las gráficas del primer tipo, en la parte superior de las figuras, muestran la relación entre el estado de la superficie de rodamiento, en términos del Indice de Servicio y el Indice Internacional de Rugosidad y el costo de operación del vehículo como un factor de su costo de operación base, para tres tipos de terreno, sensiblemente plano (ligeras pendientes y curvas suaves), de lomerío y montañoso. Se incluye como referencia el caso base, correspondiente a un camino recto y plano, con pavimento nuevo.

Las gráficas del segundo tipo relacionan, para los tres tipos de terreno mencionados, al estado de la superficie de rodamiento en términos del Indice Internacional de Rugosidad, con la velocidad de operación típica (correspondiente a una velocidad de cruce sobre un camino de un solo carril en cada sentido, sin acotamientos).

Debido a la poca influencia de rugosidades de un Indice Internacional de Rugosidad de 2 m/km (o por arriba de un Indice de Servicio de 4.3), tanto en los costos como en las velocidades, dicho rango no se incluyó en la gráfica superior y en la inferior se presenta en forma punteada con el fin de mantener presente la tendencia.

En ambas gráficas, las pendientes y curvaturas horizontales que corresponden a cada tipo de terreno son de aproximadamente 1.5% y 200 grados/km respectivamente, para el caso plano; de 3 a 4% y de 300 a 500 grados/km, para terreno de lomerío y más de 5% y 600 grados/km para terreno montañoso. Al caso base le corresponden pendientes y curvaturas nulas.

El concepto de curvatura manejado corresponde a una curvatura media en un tramo representativo, que se calcula como la suma de los ángulos de deflexión en valor absoluto (o ángulos centrales de las curvas), dividida entre la longitud del tramo y se presenta en grados por kilómetro.

Las velocidades manejadas corresponden a rugosidades comprendidas entre 2 y 12 m/km.

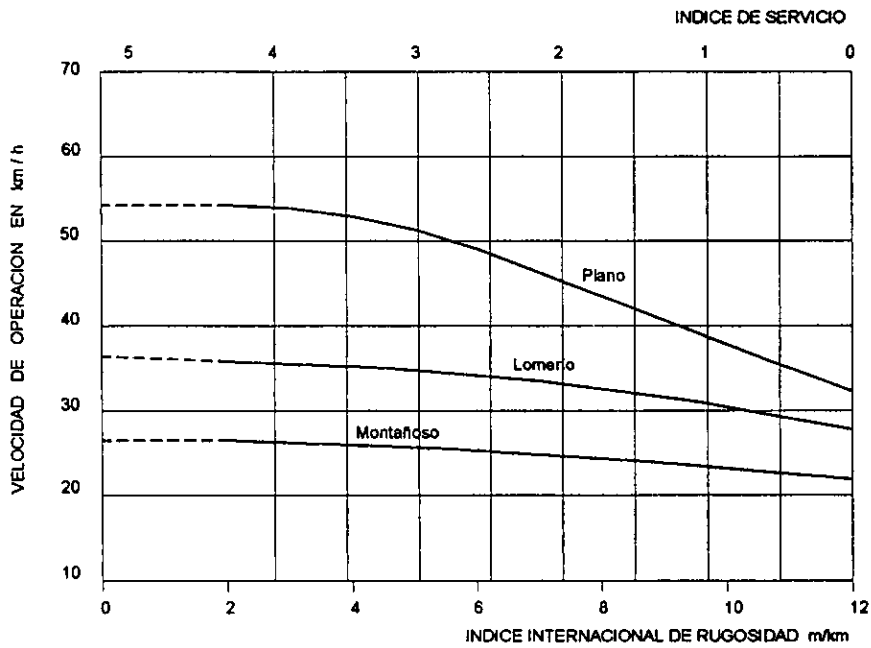
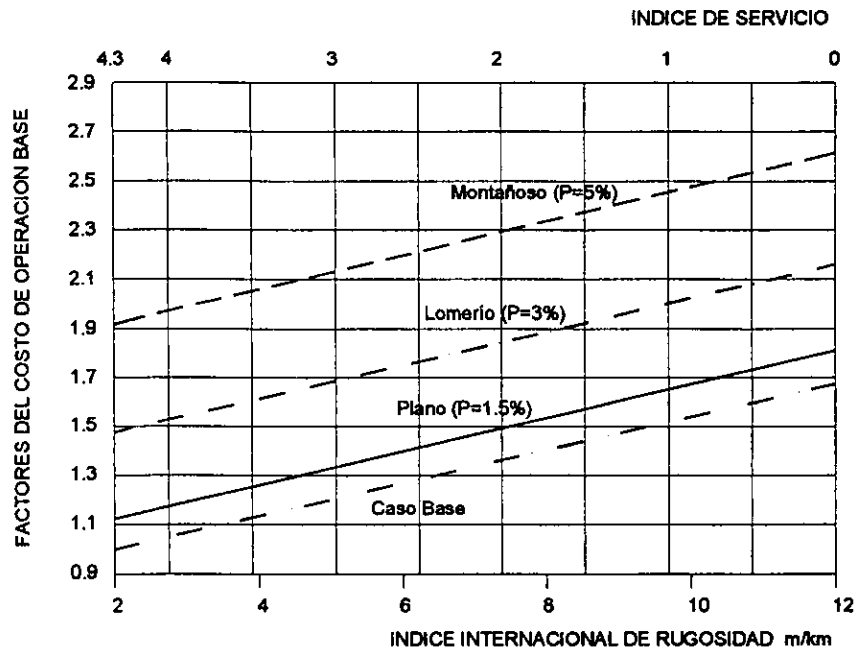


Figura VII.13 Gráficas, Camión Articulado

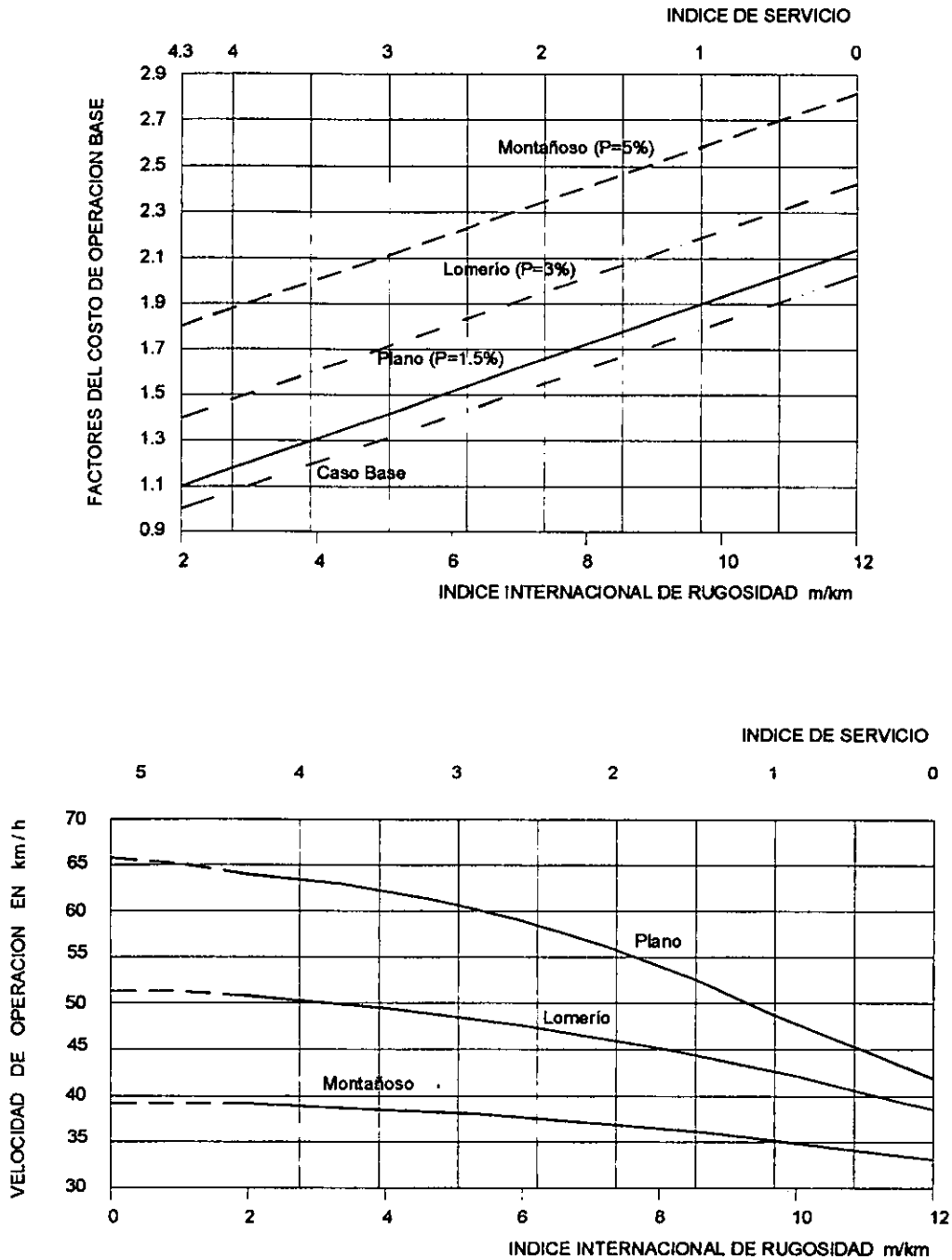


Figura VII.14 Gráficas, Camión de Dos Ejes

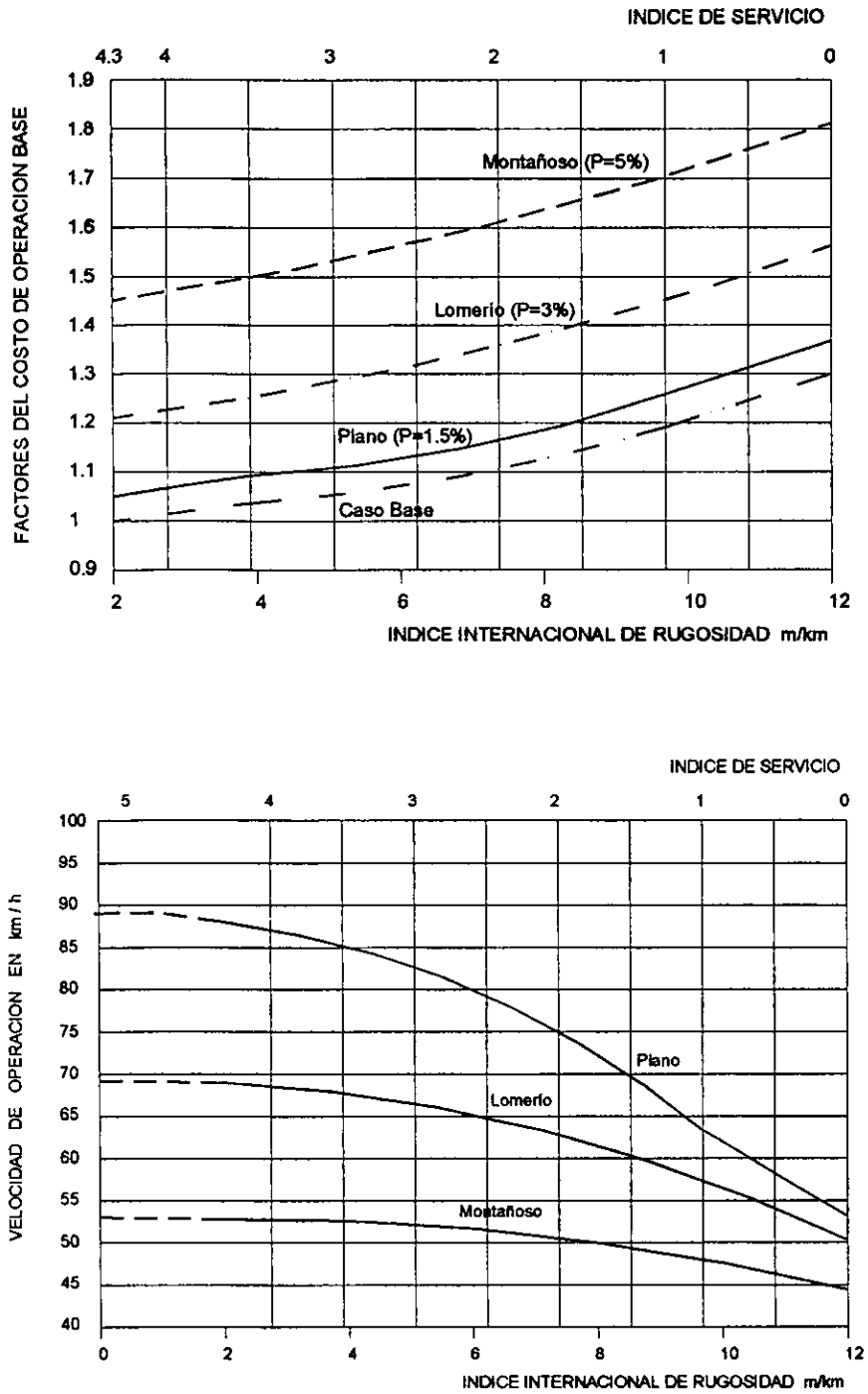


Figura VII.15 Gráficas, Autobús Foráneo

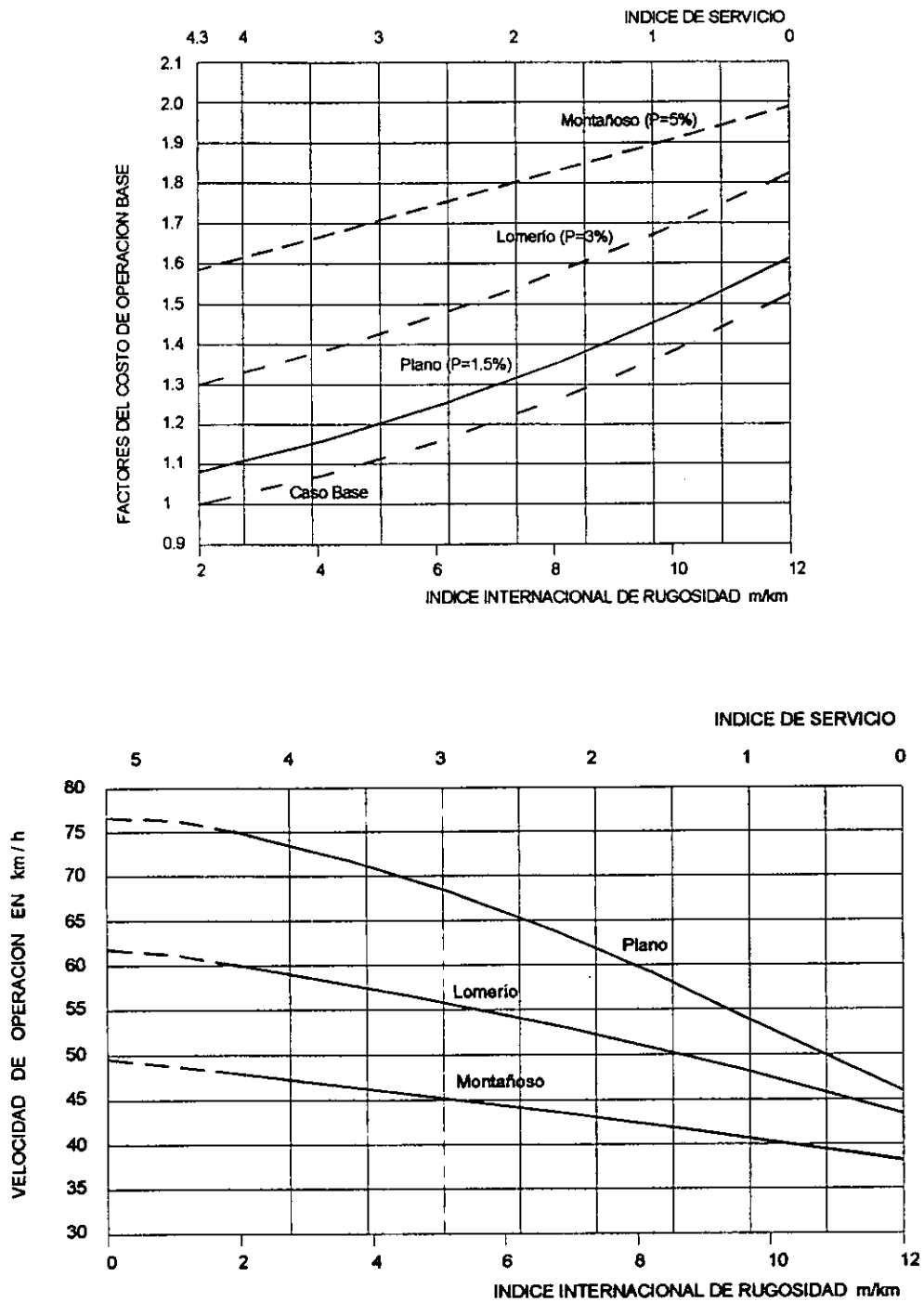


Figura VII.16 Gráficas, Camión Ligero

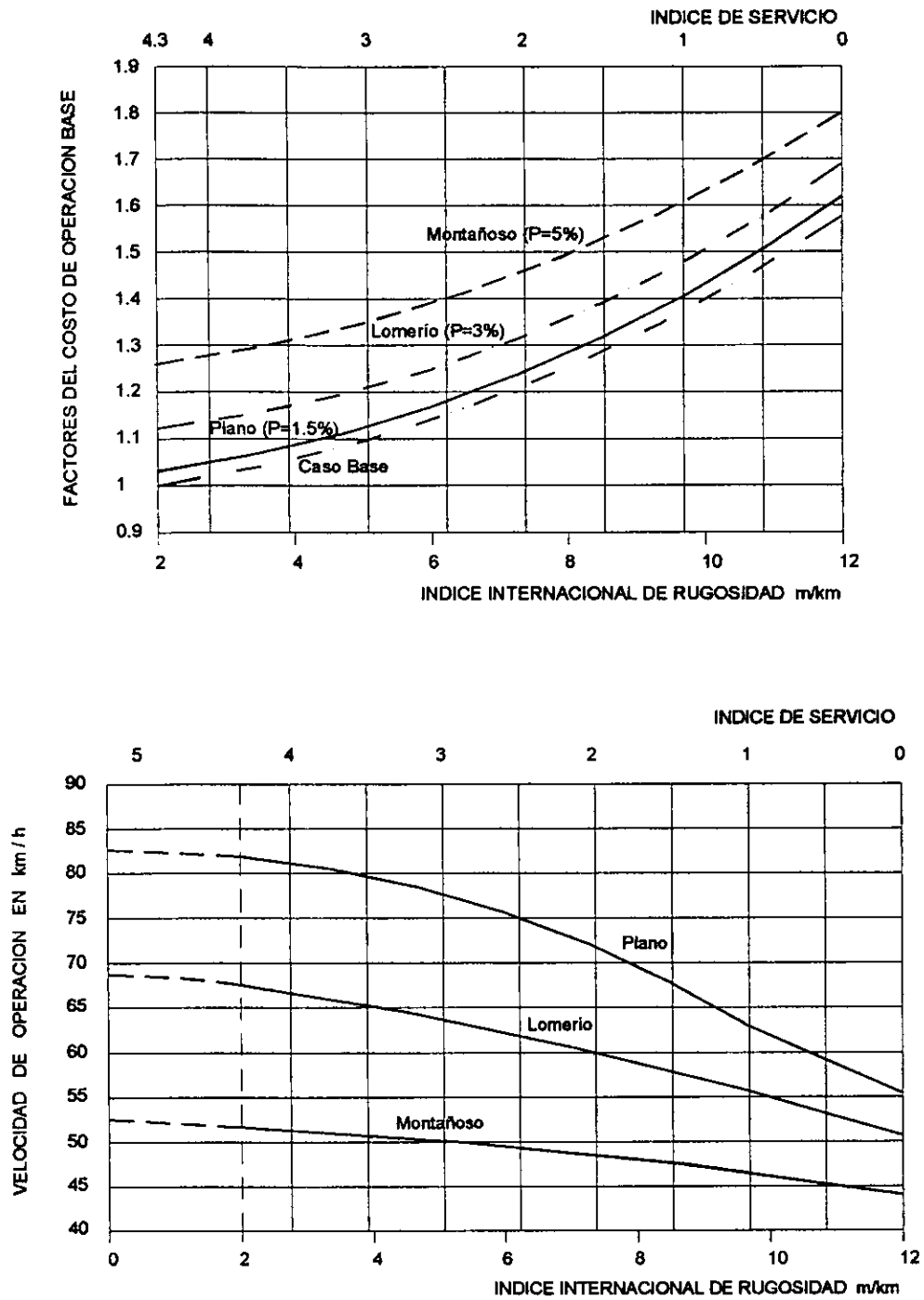


Figura VII.17 Gráficas, Vehículo Ligero

TRACTOCAMION DE TRES EJES DINA 861 CON MOTOR CUMMINS NTC 350		
SEMIRREMOLQUE DE TRES EJES TIPO CAJA DE ALUMINIO DE 40 ft		
LLANTAS 11.00X22-12 NORMAL		
Consumos por cada 1000 vehículo - km		
Consumo de combustible	Litros	744.05
Uso de lubricantes	Litros	5.45
Consumo de llantas	Número de llantas nuevas equivalentes	0.36
Tiempo de operador	Horas	14.26
Mano de obra de mantenimiento	Horas	30.48
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.27
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.07
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.03
Costos Unitario (miles de pesos, precios 1990)		
Precio de vehículo nuevo	\$	240,000.00
Costo de combustible	\$/litro	0.58
Costo de lubricantes	\$/litro	4.35
Costo de llanta nueva	\$/llanta	960.00
Tiempo de operador	\$/hora	10.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	3.75
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.20
Costo de Operación (pesos por vehículo-km)	\$	2,149.88
Consumo de combustible	\$	431.55
Uso de lubricantes	\$	23.72
Consumo de llantas	\$	347.76
Tiempo de operador	\$	142.58
Mano de obra de mantenimiento	\$	114.29
Refacciones	\$	655.29
Depreciación	\$	156.46
Interés	\$	78.23
Costos indirectos	\$	200.00

Figura VII.18 Costo de Operación Vehicular, Camión Articulado

CAMION PESADO DOS EJES DINA S-551 CON MOTOR PERKINS T6-3544HT			
CARROCERIA DE "ESTACAS" 2.44 X 1.80 m X 22 ft			
LLANTAS 11.00 X 22 NORMAL			
Consumos por cada 1000 vehículo - km			
Consumo de combustible	Litros		321.47
Uso de lubricantes	Litros		3.37
Consumo de llantas	Número de llantas nuevas equivalentes		0.13
Tiempo de operador	Horas		14.08
Mano de obra de mantenimiento	Horas		8.47
Refacciones	% precio vehículo nuevo		0.16
Depreciación	% precio vehículo nuevo		0.07
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo		0.04
Costos Unitario (miles de pesos, precios 1990)			
Precio de vehículo nuevo	\$		85,000.00
Costo de combustible	\$/litro		0.58
Costo de lubricantes	\$/litro		4.35
Costo de llanta nueva	\$/llanta		960.00
Tiempo de operador	\$/hora		10.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora		3.75
Tasa de interés anual	%		10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$		0.10
Costo de Operación (pesos por vehículo-km)	\$		821.97
Consumo de combustible	\$		186.45
Uso de lubricantes	\$		14.67
Consumo de llantas	\$		123.49
Tiempo de operador	\$		140.77
Mano de obra de mantenimiento	\$		31.76
Refacciones	\$		133.06
Depreciación	\$		61.18
Interés	\$		30.59
Costos indirectos	\$		100.00

Figura VII.19 Costo de Operación Vehicular, Camión de dos ejes

AUTOBUS INTEGRAL FORANEO MARCA MASA 2030-S MOTOR DIESEL 6V92 TA SIN AIRE ACONDICIONADO LLANTAS 11.00 X 22 NORMALES			
Consumos por cada 1000 vehículo - km			
Consumo de combustible	Litros		407.36
Uso de lubricantes	Litros		3.37
Consumo de llantas	Número de llantas nuevas equivalentes		0.24
Tiempo de operador	Horas		10.33
Mano de obra de mantenimiento	Horas		10.79
Refacciones	% precio vehículo nuevo		0.13
Depreciación	% precio vehículo nuevo		0.06
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo		0.02
Costos Unitario (miles de pesos, precios 1990)			
Precio de vehículo nuevo	\$		282,200.00
Costo de combustible	\$/litro		0.58
Costo de lubricantes	\$/litro		4.35
Costo de llanta nueva	\$/llanta		964.00
Tiempo de operador	\$/hora		11.60
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora		4.50
Tasa de interés anual	%		10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$		0.13
Costo de Operación (pesos por vehículo-km)	\$		1,363.67
Consumo de combustible	\$		236.27
Uso de lubricantes	\$		14.67
Consumo de llantas	\$		226.65
Tiempo de operador	\$		119.80
Mano de obra de mantenimiento	\$		48.56
Refacciones	\$		359.61
Depreciación	\$		162.94
Interés	\$		65.18
Costos indirectos	\$		130.00

Figura VII.20 Costo de Operación Vehicular, Autobús Foráneo

PANEL (COMBI), VOLKSWAGEN CON MOTOR DE 75 HP		
Consumos por cada 1000 vehículo - km		
Consumo de combustible	Litros	178.51
Uso de lubricantes	Litros	1.85
Consumo de llantas	Número de llantas nuevas equivalentes	0.06
Tiempo de operador	Horas	11.49
Mano de obra de mantenimiento	Horas	2.10
Refacciones	% precio vehículo nuevo	0.14
Depreciación	% precio vehículo nuevo	0.53
Intereses (Tasa 10%)	% precio vehículo nuevo	0.16
Costos Unitario (miles de pesos, precios 1990)		
Precio de vehículo nuevo	\$	31,300.00
Costo de combustible	\$/litro	0.71
Costo de lubricantes	\$/litro	4.17
Costo de llanta nueva	\$/llanta	174.00
Tiempo de operador	\$/hora	4.00
Mano de obra de mantenimiento	\$/hora	3.75
Tasa de interés anual	%	10.00
Costos indirectos por vehículo-km	\$	0.02
Costo de Operación (pesos por vehículo-km)	\$	477.98
Consumo de combustible	\$	126.75
Uso de lubricantes	\$	7.72
Consumo de llantas	\$	10.41
Tiempo de operador	\$	45.94
Mano de obra de mantenimiento	\$	7.87
Refacciones	\$	43.02
Depreciación	\$	166.37
Interés	\$	49.91
Costos indirectos	\$	20.00

Figura VII.21 Costo de Operación Vehicular, Vehículo Ligero

CAPITULO VIII

CONCLUSIONES

Como conclusiones podemos afirmar que:

- ✓ El Ingeniero Civil es el profesionalista encargado de llevar a cabo los proyectos de infraestructura, que son aquellos proyectos que generan un servicio a una comunidad, estado o país completo, éste va encaminado a cubrir las necesidades sociales, pero con la característica, de que sirve como medio para la producción de otros bienes.

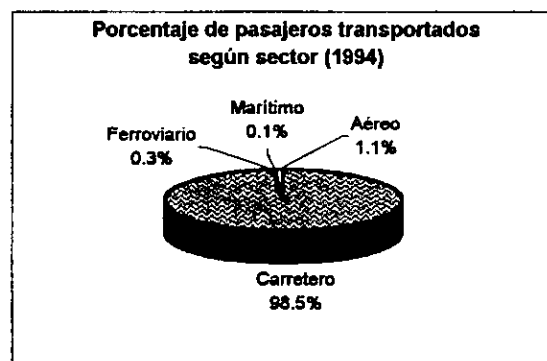
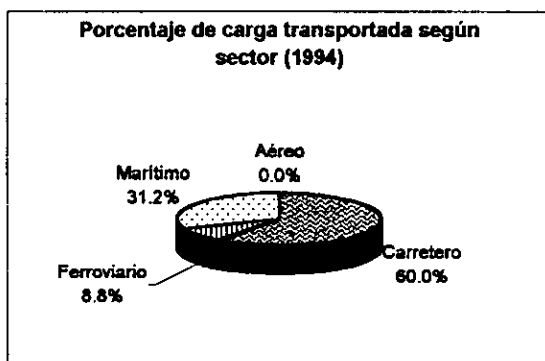
Es por ello, de gran relevancia que el ingeniero domine y aplique el concepto de proyecto de inversión en infraestructura, ya que dichos proyectos deben ser eficaces y económicos; es decir, que deben satisfacer las metas para las cuales fueron concebidos y tener el menor costo de construcción, mantenimiento y operación, aunque en estas obras de infraestructura también deben tomarse en cuenta los beneficios sociales y la velocidad del progreso que no son fácilmente cuantificables.

Desde su concepción hasta su puesta en marcha u operación; inicio y fin, respectivamente, un proyecto de inversión pasa por una serie de fases intermedias altamente interdependientes las cuales reciben el nombre de "ciclo de vida de un proyecto". Y que el Ingeniero no debe de descuidar ninguna de estas fases, ya que ello acortaría la vida útil de dichos proyectos.

Dentro de estos proyectos de inversión de infraestructura, encontramos a la infraestructura carretera.

Una inversión en una carretera aumenta la capacidad de transporte, este aumento ayuda a que en una determinada zona, lleguen equipos necesarios para la elaboración endémica de un producto y su transportación, que antes sin la vía de comunicación era imposible o se tenía que pagar un precio muy alto para poderla transportar o traer el equipo necesario, encareciendo y en algunos casos, haciendo incosteable el producto, asimismo una vía de comunicación abre la posibilidad de explotar zonas que brinden servicios turísticos, etc.

- ✓ El sistema nacional de carreteras, en nuestro país, constituye el principal medio de desplazamiento de personas y bienes como se puede observar en las siguientes figuras:



Figuras VIII.1 y VIII.2 Fuente: Primer Informe de Gobierno, 1995

Por ello las carreteras son un instrumento primordial para la integración social, económica y cultural de la nación; por lo que es necesario conservar y reconstruir las carreteras existentes para abatir los costos de transporte, elevar la seguridad y la calidad de servicio, así como prolongar la vida útil del patrimonio vial federal.

- ✓ Las carreteras pueden ser de dos tipos de pavimentos: de pavimentos flexibles o de pavimentos rígidos.

En los pavimentos flexibles la superficie de rodamiento es proporcionada por una carpeta asfáltica y la distribución de las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores, se hace por medio de las características de fricción y cohesión de las partículas de los materiales, y la carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores, sin que se rompa su estructura.

En los pavimentos rígidos la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico que distribuyen las cargas de los vehículos, hacia las capas inferiores, por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes que trabajan en forma conjunta con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural; aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pudieran colocarse en forma directa sobre la sub-rasante, es necesario la construcción de una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al paso de los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa.

Hasta 1994 el sistema carretero nacional contaba con una longitud de 303,262 km, siendo 42,928 km los que conforman la red federal, de los cuales el 53% tiene más de 30 años de servicio, mientras que solo el 11% se construyó hace menos de 15 años. Además dicha red fue diseñada y 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, por lo que sus características geométricas y estructurales son obsoletas en función de las necesidades del transporte moderno.

El estado actual de la red federal requiere mejoramientos sustanciales para enfrentar el crecimiento de los volúmenes y de las cargas unitarias del tránsito internacional inducido por el TLC. Por ello, se pretenden crear y se han creado algunas estrategias alternativas de mantenimiento, compararlas desde el punto de vista técnico económico y recomendar para el futuro la más adecuada para las necesidades del país. Estas estrategias deben ser coherentes con el esfuerzo financiero que el gobierno está dispuesto a ejercer y con las limitaciones externas de índole industrial e institucional.

- ✓ No fue sino hasta noviembre de 1993 cuando se comenzó a emplear la práctica de las carreteras de concreto en México; y de esa fecha a octubre de 1996 se habían construido 1,970 km carril. De esta cifra, solamente 1,108 km corresponden a obras nuevas; mientras que 862 km corresponden a obras de rehabilitación.

De los 1,970 km carril de pavimentos rígidos que se han empleado, no es posible extraer conclusiones en cuanto a su comportamiento (que hasta la fecha ha sido bueno), pero debe señalarse que su funcionamiento inicial ha sido muy bueno y, que para su construcción no se ha escatimado esfuerzo para hacerlos bien, porque se tenía la conciencia de que cualquier falla grave podía restringir la utilización fuera de esta alternativa de pavimentación.

- ✓ Las innovaciones tecnológicas son necesarias en casi todas las etapas del proyecto de carreteras y debido a ello existe una gran variedad de "nuevas" tecnologías y técnicas que se pueden aplicar en el proyecto carretero que van desde maquinaria pesada para construcción y rehabilitación de pavimentos, procedimientos constructivos (postensado en puentes y excavación de túneles), hasta sistemas de control y automatización por computadora usados en la operación y conservación de carreteras.

Para llevar a cabo la conservación y reconstrucción de las carreteras existentes, se han desarrollado sistemas de información que garantizan el adecuado mantenimiento y rehabilitación tanto de pavimentos como de puentes. Los sistemas mas conocidos en nuestro país para este fin son el Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP), el Sistema de Puentes de México (SIPUMEX) y el Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (SISTER). De acuerdo a las características de cada uno de estos sistemas de información, estos deberían solucionar en gran parte el problema de conservación y rehabilitación de nuestras carreteras, determinando cuales serían las estrategias optimas para llevar a cabo dichas obras; sin embargo, de acuerdo a lo que hemos investigado, estos sistemas se han quedado un poco en el olvido, ya que los trabajos de conservación y rehabilitación de carreteras se continúan realizando en forma "arcaica"; y no por que dichos sistemas no están adecuados a las necesidades de nuestro país; Si no más bien por la situación económica en la que nos encontramos. Es decir que debido a las crisis constantes a las que se enfrenta el país, el presupuesto destinado para la conservación y rehabilitación de las carreteras, cada vez es menor por lo que los trabajos que se deben realizar son los más urgentes y empleando técnicas lo más económicas posibles.

En este trabajo hemos presentado aquellas técnicas que se han venido utilizando a través de los años, además de otras nuevas técnicas que prácticamente se encuentran en un periodo de prueba en algunos tramos de la red carretera; esto con el propósito de dar a conocer a nuestros compañeros que existen algunas otras soluciones que quizá en un principio representen un gasto mayor que las técnicas más comunes; pero que sin embargo, a lo largo del tiempo, resultan ser opciones más económicas que las mas usadas en la actualidad.

Las técnicas de mantenimiento menor que se utilizan en los pavimentos flexibles son las siguientes:

- Limpieza y/o reposición de juntas longitudinales y transversales
- Calafateo de grietas
- Renivelación de la carpeta
- Bacheo (Superficial o Profundo)

Las técnicas de mantenimiento mayor están orientadas a mejorar y optimizar la utilización de los materiales regionalmente disponibles; dichas técnicas son las siguientes:

- Tratamientos superficiales
- Método de reciclado de capas asfálticas en frío en sitio
- Recuperación de profundidad total
- Método de reciclado de capas asfálticas en caliente
- Pavimento Whitetopping ultradelgado
- Sobrecarpetas ultradelgadas de Stone Mastic Asphalt (SMA, Viatop)

- ✓ La modernización de la red carretera se evalúa en función de dar solución a los puntos conflictivos y mejorar las condiciones de servicio, esto a través de estrategias de conservación

Para llevar a cabo las estrategias de conservación, se trato de emplear el modelo SISTER. Este sistema permite describir las estrategias de mantenimiento, simular la evolución de la red y proporcionar todos los resultados financieros y económicos necesarios para evaluar las estrategias propuestas de acuerdo con diferentes escenarios presupuestales.

Resulta interesante resaltar que el 80% del tránsito pesado que circula por la red federal lo hace únicamente por 26,600 km, lo que conduce a establecer estrategias de conservación con rutas prioritarias establecidas en el SISTER por medio de jerarquizaciones.

En uno de los capítulos mostramos los resultados de algunas estrategias, sin embargo en la práctica, el sistema todavía no se ha venido empleando, debido quizá a que todavía no se conoce ampliamente, y se siguen empleando los métodos tradicionales.

En el transcurso de la tesis se han mostrado las bases que permitirían contar con una infraestructura carretera adecuada, construida de acuerdo a las necesidades de nuestro país, conservada con las técnicas adecuadas, en el momento adecuado y bajo la estrategia óptima, la realidad sin embargo nos señala un escenario muy distinto; ¿qué ha pasado?, acaso las instituciones encargadas de este rubro no conocen las alternativas, su manejo, implementación, o cualquier detalle de las mismas. La respuesta es que si se conocen, pero en muchos de los casos situaciones económicas adversas terminan por limitar su uso, así mismo vicios de muchos años atrás hacen aun más pesada la situación. En el último capítulo, pretendemos generar conciencia sobre la necesidad de mantener y conservar la infraestructura que tanto tiempo y dinero a costado al país generar. Así podemos concluir inicialmente que es necesario educar a nuestro país hacia el mantenimiento y conservación, para ello debemos estar conscientes de que las experiencias internacionales son un buen punto de partida pero, no son las únicas.

Además consideramos que la necesidad de una cultura de este tipo no sólo deberá contar con los aspectos de la fase de operación del proyecto, sino a todo el proyecto, ya que si el mismo se desarrolla de manera inadecuada, simplemente generara en la etapa de operación necesidades demasiado costosas para la nación, la cual, somos todos.

- ✓ Para lograr que un escenario con carreteras bien conservadas se logre, será necesario primeramente que la conciencia de conservación sea de todos, pero también habrá que tener en cuenta que esta deberá estar acompañada de una cultura de calidad, para que lo que se desarrolle en infraestructura sea desde un principio un satisfactor óptimo.

Para finalizar, podemos concluir que para justificar la cultura de mantenimiento y conservación, como ya se menciona antes, las experiencias internacionales son muy interesantes, pero que cuando hacemos caso sobre la importancia de los costos de operación vehicular en nuestro país, la necesidad de mantener y conservar la infraestructura pasa a ser un factor estratégico si realmente deseamos desarrollarnos como nación.

El deterioro de los pavimentos carreteros se traduce en sobrecostos del transporte, explicable principalmente por el excesivo consumo de combustible ante la mayor

exigencia de potencia, por el mayor desgaste de los vehículos y la reducción en la velocidad de operación.

De esta manera, con los costos de operación vehicular como justificador para el mantenimiento concluimos que la conservación y mantenimiento de la infraestructura del país deberá ser asumida por todas las partes involucradas, y aun cuando esto parezca un costo, la realidad nos indica que los sobrecostos de operación son mucho mayores de lo que se puede imaginar, y por tanto, el pagar la conservación de un camino representa una inversión, la cual nos reduce costos, los cuales a su vez nos permitirían en un momento dado generar mayor inversión. Una vez que esta idea sea conocida no sólo por los ingenieros civiles, sino por los transportistas, y en general por todas y cada una de las personas que conforman nuestro país, podremos vislumbrar un futuro mejor en los próximos años. De tal manera que las perspectivas para esta cultura son prioritarias en nuestra nación.

- ✓ La estrategia más recomendable en carreteras consiste en proveerlas de una estructura inicial fuerte, que evite tener frecuentes e importantes acciones de mantenimiento durante su vida; además, la superficie de las carreteras debe mantenerse permanente mente por encima de un muy buen nivel de calidad mínimo.

Esto nos lleva a justificar la construcción de carreteras con pavimentos rígidos en los corredores de mayor importancia económica de la red nacional.

Pero es entonces cuando surge la pregunta ¿De donde se obtendrán los recursos necesarios para construir tal infraestructura?. La respuesta es mediante los esquemas de financiamiento.

El financiamiento de las carreteras y principalmente de las autopistas, surge de la necesidad de conseguir recursos para realizar las diferentes obras de infraestructura que el país requiere, pero cuyos fondos no le permiten realizar. Según el origen de los recursos, tenemos las siguientes formas de financiamiento:

1. Asignación de recursos fiscales y crediticios. Es el método tradicional de financiamiento, pero los recursos destinados por el Gobierno para este fin, son escasos en relación con las necesidades de inversión.
2. Uso de activos del gobierno federal bajo el esquema de concesión o financiamiento, que permitan liberar recursos para consolidar nuevas obras de infraestructura, permitiendo un desarrollo en un tiempo menor.
3. Otorgamiento de obras de infraestructura al sector privado mediante concesiones y otros esquemas de inversión y coparticipación entre los sectores público, privado y social (llave en mano o arrendamiento financiero).

Los esquemas básicos de financiamiento que han surgido para obras de infraestructura en nuestro país, son los siguientes:

Esquema tradicional

Esquema BOOM (Build, Own, Operate and Maintaining o Construir, poseer, operar y mantener)

Esquema BOT (Build, Operate and Transfer o Construir, operar y transferir)

Esquema BLT (Build, Lease and Transfer o Construir, arrendar y transferir)

Esquema llave en mano (Turn Key)

Los esquemas más utilizados en el caso de proyectos carreteros son el BOOM y el BOT.

- ✓ En general, el costo de construcción inicial y el de conservación en el período de 30 años es mayor en los pavimentos rígidos que en los flexibles, si bien para tránsitos elevados el rígido presenta un ahorro en operación que le permite resultar más ventajoso en el balance total. Entonces ¿por qué no construir de ahora en adelante autopistas de pavimentos rígidos?
- ✓ En cuanto al esquema permanente para la conservación de carreteras, se han realizado contrataciones de carácter multianual, para atacar a fondo y con mayor efectividad las necesidades de conservación de la red troncal federal.

Se ha planteado desde hace algunos años a la SHCP un esquema financiero mediante la aplicación de un sobrecosto a las gasolinas, del orden de un centavo por litro, con el fin de integrar un fondo vial para la conservación de carreteras; pero desde 1995 a la fecha, nos hemos dado cuenta que esto no ha funcionado de la manera en que se esperaba.

La experiencia internacional de contratar la conservación rutinaria y periódica ha sido positiva; En México se contrato la conservación rutinaria en 1989 (840 km), 1990 (12,100 km) y 1991 (13,600 km), no obteniéndose los resultados esperados. Sin embargo se sigue estudiando la posibilidad de retomar esa idea, adquiriendo la experiencia de países como España, Francia, Canadá y estados Unidos además de las obtenidas en México.

De implementarse la conservación a contrato se obtendrían entre otras, las siguientes ventajas:

- Menor costo de conservación
- La SCT no sería juez y parte en las obras que realiza
- Mayor control sobre el sistema de conservación
- Mejor calidad en la obra ya realizada, que implica mayor durabilidad y menores costos en la conservación rutinaria
- Menor costo de transporte
- Mayor velocidad de operación

A largo plazo, se plantea que la SCT únicamente se encargue de las obras de emergencia, normando la conservación, para lo cual se deberán crear nuevos manuales de conservación, sistemas de supervisión y control, y elaborar concursos rentables para el contratista, con lo que se reducirá al mínimo el personal y la maquinaria dedicados a la conservación de la red federal de la Secretaría.

- ✓ De todo lo anterior se desprende que la infraestructura de transporte nacional tiene rezagos y enfrenta problemas, sobre todo en la conservación, que dificultan el desarrollo del país. Es indudable que se requieren recursos para modernizarla según las necesidades nacionales actuales; sin embargo, hay que tener presente que el mejorar las técnicas de diseño, construcción y supervisión es tan importante como el nivel de inversión que se requiere para lo mismo.

Será necesario estudiar la conveniencia de elegir rutas alternas, que sustituyan a las actuales, ya que pueden resultar más económicas que aquellas obtenidas por la modernización de las existentes, cuyo trazo fue realizado hace ya muchos años con base en parámetros muy diferentes a los actuales.

BIBLIOGRAFIA

EVALUACION DE PROYECTOS

Gabriel Baca Urbina, 3ª Edición, MacGraw-Hill

ANALISIS Y EVALUACION DE PROYECTOS DE INVERSION

Raúl Coss Bu, 2ª edición 1994,
Limusa Noriega Editores

PROGRAMA NACIONAL DE AUTOPISTAS 89-94

S.C.T.

ESTRUCTURACION DE VIAS TERRESTRES

Fernando Olivera Bustamante
Editorial CECSA, 1994

INGENIERIA DE TRANSITO

Rafael Cal y Mayor R., James Cárdenas G.
Editorial Alfaomega, 7ª. Edición 1995

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

Luis Miguel Aguirre, Manuel Zarate Aquino
Facultad de Ingeniería, UNAM.
División de Educación Continua, 1995

GUIA PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS RIGIDOS

IMCYC, 1995

ALGUNOS ASPECTOS COMPARATIVOS ENTRE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RIGIDOS

IMT, Publicación Técnica No. 103. 1998

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION

Peso y dimensiones máximas que deben cumplir los vehículos que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal.
24 Noviembre 1980, 14 Marzo 1994, 7 Enero 1997

NORMAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES. Carreteras SCT

UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACION DE LA RED CARRETERA IMT, Documento Técnico No. 11 1995

ELABORACION DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO VIAL PROGRAMA SISTER SCT

CATALOGO DE DETERIOROS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES DE CARRETERAS MEXICANAS IMT, Publicación Técnica No.21. 1991

CATALOGO DE FALLAS EN PAVIMENTOS SCT, 1985

MANUAL INTERNACIONAL DE CONSERVACION DE CARRETERAS AIPCR, 1993

SEMINARIO DE PAVIMENTOS RIGIDOS IMCYC, 1997

MATERIALES ASFALTICOS UTILIZADOS EN PAVIMENTACION SCT

Pavimento whitetopping ultradelgado
Pavimento de suelo-cemento
Pavimento de Base-Fluida
Pavimento de concreto compactado con rodillos (C.C.R.)
Publicaciones de CEMEX

VIATOP (Fibra en gránulos para la construcción de carreteras)
Publicación de Excel Química S.A. de C.V.

ESTADO SUPERFICIAL Y COSTOS DE OPERACION EN CARRETERAS
IMT, Publicación Técnica No.30. 1998

PAVIMENTOS DE CONCRETO ACPA
IMCYC, 1995

DISEÑO DE PAVIMENTOS RIGIDOS
Revista CONSTRUCCION Y TECNOLOGIA, IMCYC, No. 35, Vol. III, abril 1991

CARRETERAS
Manuel Rodríguez Morales
Revista No. 81, 1996

RETOS DE LA INGENIERIA CIVIL ANTE LA GLOBALIZACION
Luis Bravo Aguilera
Revista INGENIERIA CIVIL No.344, Nov. 1997

NORMAS PARA EL CONTROL DE PAVIMENTOS
M.I. Carlos Fernández Loaiza
Revista INGENIERIA CIVIL No. 309, Enero 1995

MANUAL DEL INGENIERO CIVIL tomo III
Frederick S. Merritt
Editorial Mc Graw Hill, 3ª edición 1992

EL CICLO DE VIDA DE UN PROYECTO DE INVERSION DE UNA MICROEMPRESA
Salvador García de León
UAM Xochimilco

COCRETE PAVING STRATEGY SELECTION
Publicación Técnica de AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION, 1993

BACHEADORA RA-300
Revista CONSTRUCCION Y OBRAS PUBLICAS LATINOAMERICA No. 3, Vol. 5, Mayo 1998

LAS TECNICAS DE PAVIMENTACIÓN ACELERAN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS
Revista CONSTRUCCION Y OBRAS PUBLICAS LATINOAMERICA No. 4, Vol. 5, Junio 1998

LA INGENIERIA CIVIL ANTE LA MODERNIZACION DEL SISTEMA CARRETERO MEXICANO
REVISTA DE INGENIERIA No. 2, Vol. LXVIII, Abril/junio. 1997

CURSO DE PAVIMENTOS
Facultad de Ingeniería, UNAM

ROTO-MIXER RECLAIMERS/STABILIZERS
Publicación técnica de CMI, 1996

LA EMPRESA MEXICANA DE INGENIERIA CIVIL ANTE EL RETO DE LA GLOBALIZACION
Ing. Bernardo Quintana
Revista INGENIERIA CIVIL No. 344, Nov. 1997

LA REVOLUCION CARTOGRAFICA
John Noble Wilford
Revista NATIONAL GEOGRAPHIC No. 2, Vol. 2, Febrero 1998

PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN LA RECUPERACION DE CARPETAS ASFALTICAS
Memoria de seminario, CNIC, Nov. 1996

ESTRATEGIAS PARA LA RED FEDERAL DE CARRETERAS
Revista INGENIERIA CIVIL No. 315, Julio 1995

TECNICAS PARA EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS
Ing. Pedro Strassburger Frías
Revista INGENIERIA CIVIL No. 315, Julio 1995