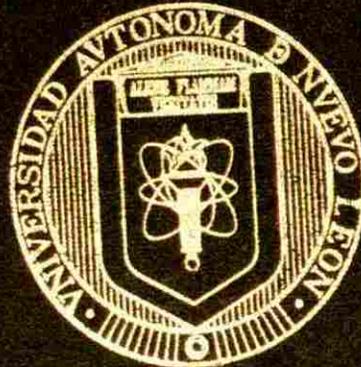


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS
DE CONSERVACION DE LAS CARPETAS
ASFALTICAS EN LAS CARRETERAS.**

Por:
LIVIO ALBERTO BONILLA UTRERA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRIA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería de Tránsito**

DICIEMBRE DE 2000

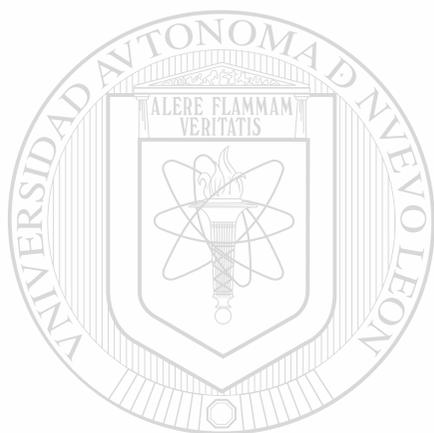
FM
TE275
B6
2000
C1

2000

PROPIUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS
DE CONSERVACION DE LAS CARPETAS
ASFALTICAS EN LAS CARRERAS.



1080111906



UANL

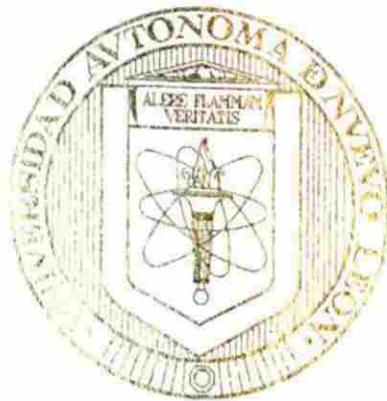
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS DE
CONSERVACIÓN DE LAS CARPETAS ASFALTICAS
EN LAS CARRETERAS

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Por:

®

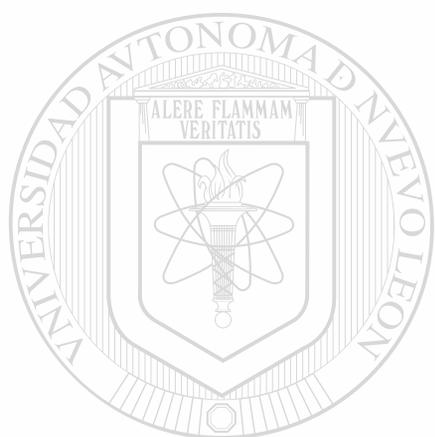
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LIVIO ALBERTO BONILLA UTRELLA

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialización en
Ingeniería de Tránsito.

Diciembre de 2000





UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

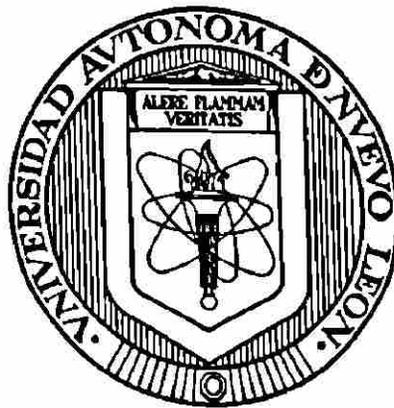
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Por:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LIVIO ALBERTO BONILLA UTRERA

**Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS con Especialidad en
Ingeniería de Tránsito.**

Diciembre de 2000



COMPROBANTE DE CORRECCIÓN

Tesista: LIVIO ALBERTO BONILLA UTRERA

Tema de la tesis :

PROPUESTA PARA OPTIMIZAR ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE
CARPETAS ASFÁLTICAS EN CARRETERAS.

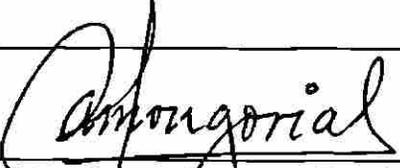
Este documento certifica la corrección : DEFINITIVA
 del trabajo de tesis arriba identificado, en los aspectos: ortográfico,
 metodológico y estilístico.

Recomendaciones adicionales:

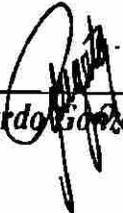
NINGUNA

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Nombre y firma de quien corrigió :


 Arq. Ramón Longoria Ramírez

El Sub Director de Posgrado :


 Dr. Ricardo González Alcorta

Ciudad Universitaria, a 1º de Noviembre del 2000.

DR. RICARDO GONZALEZ ALCORTA
Sub-Director de Estudios de Posgrado
de la Facultad de Ingeniería Civil, U.A.N.L.
PRESENTE.-

Por este medio me permito comunicar a usted, que el ING. LIVIO ALBERTO BONILLA UTRERA, Pasante de la Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Tránsito, ha concluido con su trabajo de tesis titulado: "PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS EN LAS CARRETERAS", por lo que no hay ningún inconveniente para atender la solicitud de Examen de Grado con los requisitos que exige el Reglamento de Exámenes Profesionales de nuestra Institución, he de agradecerle pasar las instrucciones necesarias para el trámite correspondiente.

Agradeciendo de antemano la atención que sirva brindar a la presente, me es grato despedirme de usted.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

A T E N T A M E N T E

Cd. Universitaria, Noviembre 21 del 2000. .


M.C. RAFAEL GALLEGOS LOPEZ
DIRECTOR DE TESIS

San Nicolás de los Garza, N. L.; a 21 de Noviembre de 2000.

Dr. Ricardo González Alcorta.
Subdirector de la División de Estudios de Posgrado
Instituto de Ingeniería Civil, U.A.N.L.
Presente.-

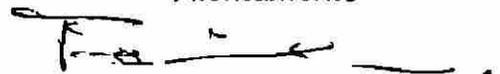


Por medio de la presente me dirijo a Usted, para solicitar la tramitación correspondiente para sustentar mi examen de grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en ingeniería de Tránsito, con la presentación del trabajo de tesis titulado: PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS EN LAS CARRETERAS; de acuerdo al Reglamento de Exámenes Profesionales de la U.A.N.L.

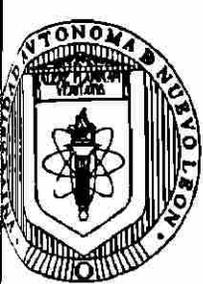
Sin más por el momento, agradezco de antemano su atención y, aprovecho para saludarle cordialmente. ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

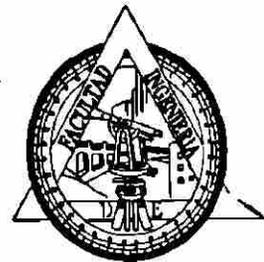
Atentamente



Ing. Livio Alberto Bonilla Utrera.
Tesista



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO



Ing. Livio Alberto Bonilla Utrera

PRESENTE

Por medio de la presente se le informa que el *Comité de Maestría* ha evaluado su tesis "**PROPUESTA PARA OPTIMIZAR ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE CARPETAS ASFÁLTICAS EN CARRETERAS**", que presentó Usted como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Tránsito. El resultado definitivo de la evaluación de su tesis es de APROBADA. Todo lo anterior es atendiendo a los artículos 112 y 114 del Reglamento General de los Estudios de Posgrado de la UANL.

Sin otro particular por el momento, quedo a sus ordenes para cualquier aclaración que considere pertinente.

ATENTAMENTE

"ALERE FLAMMAM VERITATIS"

Cd. Universitaria, a 10 de diciembre del 2000



M. E. C. Francisco Gámez Treviño

Presidente del Comité de Maestría

c.c.p. : Archivo

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer a todos los catedráticos que tuvieron la generosidad de compartir conmigo, su conocimiento en lo referente a los temas que desarrollaron en sus clases, los cuales fueron importantemente enriquecidos por sus experiencias particulares.

También agradezco el apoyo y comprensión, así como el que me hayan brindado su apreciable amistad, a todos mis compañeros de generación; quienes siempre me animaron a seguir adelante.

Reitero mi gratitud, a todo el personal administrativo de los departamentos de Posgrado y el de Ingeniería de Tránsito, del Instituto de Ingeniería Civil de la U.A.N.L., por todas las atenciones que tuvieron para conmigo.

Finalmente, sin ser menos importantes, doy las gracias a todas aquellas personas que, de alguna manera u otra, tuvieron que ver con la realización exitosa de esta Maestría, así como de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA.

*Quiero dedicar el trabajo de investigación que ahora presento, y que representa la culminación exitosa de la maestría que cursé, **A MI FAMILIA**, la cual siempre estuvo a mi lado, apoyándome incondicionalmente; y que tuvo la mejor disposición hacia mí.*

*También dedico esta investigación **A TODOS MIS AMIGOS**, por su considerable comprensión y paciencia para conmigo.*

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RESUMEN TÉCNICO.

Livio Alberto Bonilla Utrera.

Fecha de obtención del grado: *Diciembre de 2000.*

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Civil.

Instituto de Ingeniería Civil.



Título del estudio:

Propuesta para optimizar las estrategias de conservación de las carpetas asfálticas en las carreteras.

Número de páginas:

208.

Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con Especialidad en Ingeniería de Tránsito.

Área de estudio:

Conservación y mantenimiento de carreteras.

Síntesis del desarrollo del estudio:

Inicialmente, este trabajo describe brevemente los conceptos básicos de la administración de pavimentos y se ubica a la actividad de evaluación dentro del contexto de esta disciplina. A partir de este contexto, se define una serie de principios de la evaluación de los pavimentos y algunos criterios para realizarla. Posteriormente, se analizan los métodos y equipos más comunes empleados en la evaluación de los pavimentos. De estos métodos y equipos, se destacan las características más relevantes, las ventajas y desventajas del uso de algunos de ellos, así como los resultados que producen.

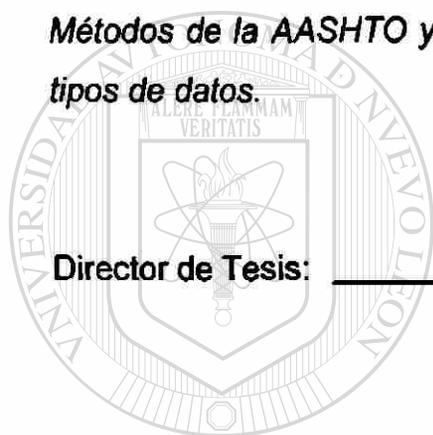
RESUMEN.

Los análisis desarrollados, consistieron en comparar entre sí la información de deflexiones obtenida con los equipos diferentes (evaluación no destructiva), que se utilizan en México. A partir de dichos resultados, se estableció un conjunto de relaciones, las cuales permiten precisar una serie de recomendaciones acerca de los ajustes que se pueden realizar a los métodos tradicionales.

Finalmente, se desarrolla un método para generar alternativas de conservación para un proyecto carretero determinado, tomando en cuenta la aplicación de los Métodos de la AASHTO y la información de evaluación "no destructiva" y otros tipos de datos.

Director de Tesis: _____

M. C. Rafael Gallegos López.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ÍNDICE DE CONTENIDO.

<i>Capítulo</i>	<i>Página</i>
I. INTRODUCCIÓN.	1
I.1. Antecedentes.	1
I.2. Situación actual.	9
I.2.1. El Índice Internacional de Rugosidad, en la red nacional carretera.	12
<hr/>	
II. OBJETIVOS.	14
II.1. Objetivo general.	14
II.2. Objetivos específicos.	14
III. HIPÓTESIS.	16
IV. CONCEPTOS GENERALES.	17
IV.1. Pavimentos flexibles.	17
IV.2. Pavimentos rígidos.	18
IV.3. Área de contacto, presión de contacto y tiempo de carga.	19
IV.4. Características superficiales, influencia en la interacción vehículo-carretera.	23

IV.5. Adherencia neumático-pavimento.	25
IV.6. Índice de Servicio Actual (ISA).	27
IV.7. Índice Internacional de Rugosidad (IRI).	28
IV.7.1. Características del modelo.	29
IV.7.2. Escala y características del IRI.	30
IV.8. Índice Internacional de Fricción (IFI).	31
IV.9. Clasificación de las degradaciones del pavimento.	37
IV.9.1. Catálogo de deterioros.	37
IV.9.2. Degradaciones de tipo A.	38
IV.9.3. Degradaciones de tipo B.	38
IV.9.4. Desprendimientos.	40
IV.9.5. Deformaciones.	44
IV.9.6. Roturas.	47
IV.9.6.1. Agrietamiento en los pavimentos de concreto asfáltico.	48
IV.9.6.2. Tipos de grietas.	50
IV.9.7. Varios.	56

V. MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y EL DIAGNÓSTICO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LAS CARRETERAS. ®

V.1. Estudios preliminares.	60
V.1.1. Estudios técnicos.	61
V.1.2. Estudios económicos.	64
V.1.3. Primer análisis integral.	65
V.1.4. Afinación de los estudios técnicos y económicos.	65
V.2. Consideraciones básicas.	66
V.3. Evaluación No-Destructiva.	68
V.4. Medición del ISA.	74
V.5. Medición del IRI.	75
V.5.1. Medida de la regularidad superficial (rugosidad).	75

V.5.2. Niveles de Rugosidad.	80
V.6. Medición del IFI.	81
V.6.1. Medida de la adherencia neumático-pavimento.	81
V.6.2. Medida de la textura.	83
V.6.3. Medida de la resistencia al deslizamiento (fricción).	84
VI. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.	88
VI.1. Sistema Integral de Conservación de Carreteras (SICC).	88
VI.2. Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP).	88
VI.2.1. Bases conceptuales.	90
VI.2.2. Equipo de cómputo.	92
VI.2.3. Banco de datos.	92
VI.2.4. Recomendaciones específicas.	92
VI.2.5. Evaluación sistemática.	93
VI.2.6. Formatos requeridos.	94
VI.2.7. Mecánica de desarrollo de los subsistemas.	94
VI.2.8. Implantación del SIMAP.	98
VI.2.9. Relación necesaria entre SISTER y SIMAP.	98
VI.3. Sistema Simulador de Estrategias de Mantenimiento Carretero (SISTER).	99
VI.3.1. Resultados del sistema.	102
VI.3.2 Indicadores económicos.	105
VI.3.3. Clases de tránsito.	105
VI.4. HDM (Highway Design and Maintenance).	107
VI.4.1. HDM-4.	107
VII. PROPUESTA PARA OPTIMIZAR LAS ESTRATEGIAS DE CONSERVACIÓN DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS EN LAS CARRETERAS.	110

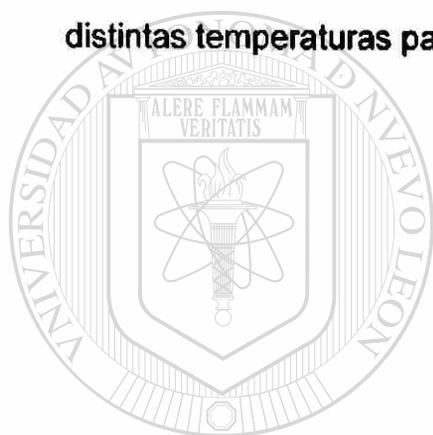
VII.1. Necesidad de una estrategia nacional de conservación.	110
VII.2. Bases para una estrategia nacional de conservación.	111
VII.3. Una estrategia para la conservación de carreteras.	112
VII.3.1. El paradigma para ordenar la importancia de las carreteras.	113
VII.4. Asfaltos.	116
VII.4.1. S.M.A. con Viatop 66.	119
VII.4.2. Técnicas de aplicación de revestimientos superficiales.	124
VII.5. Mantenimiento de pavimentos.	125
VII.5.1. Maquinaria.	126
VII.5.1.1. Unidades mecanizadas para bacheo.	126
VII.5.1.2. Recuperadoras de caminos.	130
VII.5.1.2.1. Recuperación de los pavimentos.	132
VII.5.1.3. Norsemeter.	143
VII.5.1.4. Concreto hidráulico para la reconstrucción de carreteras federales.	145
VII.5.1.5. HRM (Monitor de Alta Velocidad para Caminos).	146
VII.6. Software.	147
VII.6.1. "Pavement Evaluator" (compatible con Windows).	147
VII.6.2. SHRP (Strategic Highway Research Program).	148
VII.7. Varios.	149
VII.7.1. Rolodren, espuma asfáltica y modificadores de asfalto.	149
VII.7.2. Geosintéticos.	149
VIII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	151
VIII.1. Clasificación de proyectos.	153
VIII.1.1. Programa de establecimiento de una	

cultura de planeación.	153
VIII.1.2. Nuevas políticas para la conservación.	155
VIII:1.3. Organización.	156
 IX. FUENTES Y REFERENCIAS.	 163
 X. APÉNDICES.	 169
X.1. Apéndice A: Procedimiento para la correlación del IRI con un equipo de tipo respuesta (Mays Ride Meter).	169
X.2. Apéndice B: Resumen de prácticas de mantenimiento de pavimentos flexibles (Criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles para aeropuertos: S.C.T., Dirección General de Aeropuertos, Dirección de Programación, Coordinación de Programación.).	181
X.3. Apéndice C: Medida de la textura superficial de un pavimento por el Método del Círculo de Arena (NLT – 174/72) (Medición de la Macrotextura.).	186
X.4. Apéndice D: Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el Péndulo del TRRL (NLT – 175/88) (Medición de la Microtextura.).	192
X.5. Apéndice E: Estudio y establecimiento de criterios sencillos y homogéneos de evaluación del estado de redes de carreteras (Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.).	205

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura</i>	<i>Página</i>
1. Conformación típica de un pavimento flexible.	18
2. Conformación típica de un pavimento rígido.	19
3. Influencia de la gama de irregularidades superficiales en los fenómenos de interacción entre el vehículo y la carretera.	24
4. Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro".	30
5. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.	31
6. Microtextura y Macrotextura.	33
7. Influencia de la textura y la velocidad en el coeficiente de resistencia al deslizamiento.	34
8. Condición de contacto entre una rueda en movimiento y una superficie mojada.	35
9. Equipo "Mays Ride Meter".	78
10. Estructura del SICC.	89
11. Estado físico de la red federal a finales de 1995.	103
12. Presupuesto preventivo en millones de nuevos pesos.	104
13. Estado físico de la red carretera federal, Estrategia 54 del SISTER.	104
14. Clasificación del estado físico de la red federal por clase de tránsito.	106
15. Diferencia de alturas de un tramo (datos filtrados y corregidos).	171
16. Diferencias de alturas de un tramo sin filtrar los datos del levantamiento.	172
17. Gráficas de un tramo de 300 m con valor de IRI = 1.6 m/km.	173

18. Gráficas de un tramo de 300 m con valor de IRI = 4.7 m/km.	174
19. Gráficas de un tramo de 300 m con valor de IRI = 9.0 m/km.	175
20. Gráfica de calibración de un Mays Ride Meter.	177
21. Prueba del "Círculo de Arena".	186
22. Ensayo del "Círculo de Arena".	187
23. Ábaco para la determinación de la profundidad media de enrase.	189
24. Esquema del ensayo del "Círculo de Arena".	190
25. Péndulo del TRRL.	192
26. Corrección al aplicar el coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20°C.	202



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla</i>	<i>Página</i>
1. Propuesta de clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento.	23
2. Condición del camino respecto al Índice de Servicio Actual.	28
3. Nivel de gravedad de las degradaciones de Tipo A.	39
4. Nivel de gravedad de las degradaciones de Tipo B.	40
5. Características básicas de equipos para la evaluación estructural no destructiva de pavimentos.	72
6. Datos de la Estrategia 54 del SISTER, para 1995.	103
7. Número de vehículos pesados en una dirección al día.	105
8. Breve mención de los equipos de prueba que propone el programa SHRP para evaluar las propiedades del asfalto.	118
9. Efecto del Arbocel (la fibra del Viatop). Japón.	123
10. Estudio y establecimiento de criterios sencillos y homogéneos de evaluación del estado de redes de carreteras (Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica).	181
11. Resumen de prácticas de mantenimiento de pavimentos flexibles (criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles para aeropuertos: S.C.T., Dirección General de Aeropuertos, Dirección de Programación, Coordinación de Programación).	206

NOMENCLATURA.

AASHO : American Association of State Highway Officials.

AASHTO : American Association of State Highway and Transportation Officials.

AIPCR : Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras.

APL : Analizador Dinámico del Perfil Longitudinal.

ARS : Analizador de la Regularidad Superficial.

ASA : Aeropuertos y Servicios Auxiliares.

ASCE : American Society of Civil Engineers.

ASTM : American Society for Testing and Materials.

CAPEX : Subsistema "Capacidad Estructural" del SIMAP.

CARGEOT : Subsistema "Características Geotécnicas" del SIMAP.

CBR : California Bearing Ratio.

CEMEX : Cementos Mexicanos.

cm : Centímetro.

CRD : Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento.

CRR : Centre de Recherches Routières.

DATOGEN : Subsistema "Datos Generales" del SIMAP.

DGCC : Dirección General de Conservación de Carreteras.

etc. : Etcétera.

fig. : Figura.

FORCE : First OECD Research Common Experiment.

FWD : Falling Weigh Deflectometer.

FyR : Fuentes y Referencias.

GLG : Gravilla-Ligante-Granulado.

HDM : Highway Design and Maintenance

HRM : Monitor de Alta Velocidad para Caminos.

IFI : Índice Internacional de Fricción (IFI : International Friction Index).

IMCYC : Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

IMT : Instituto Mexicano del Transporte.

in : Pulgada.

INVEDET : Subsistema "Inventario de Deterioros" del SIMAP.

IP : Índice de Perfil.

IRI : Índice Internacional de Rugosidad (IRI : International Roughness Index).

ISA : Índice de Servicio Actual (PSI : Present Serviceability Index).

ISA : Subsistema "Índice de Servicio" del SIMAP.

km : Kilómetro.

m : Metro.

MDNP : millones de nuevos pesos.

mi : Milla.

mm : Milímetro.

MOPU : Ministerio de Obras Públicas de España.

Mr : Módulo de Rigidez Dinámico.

NCHRP : National Cooperative Highway Research Program.

REFIN : Subsistema "Resultados Finales" del SIMAP.

ROAR : Road Analyser and Recorder.

RST : Road Surface Tester.

RUNAR : Runway Analyser and Recorder.

RWD : Rolling Wheel Deflectometer.

SCRIM : Sideway Coefficient Routine Inventory Machine.

SCT : Secretaría de Comunicaciones y Transporte.

SGP : Sistema de Gestión de Pavimentos.

SHRP : Strategic Highway Research Program.

SICC : Sistema Integral de Conservación de Carreteras.

SIMAP : Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

SIPUMEX : Sistema de Puentes de México.

SISTER : Sistema Simulador de Estrategias de Mantenimiento Carretero.

SMA : Stone Mastic Asphalt.

TIR : Tasa Interna de Retorno.

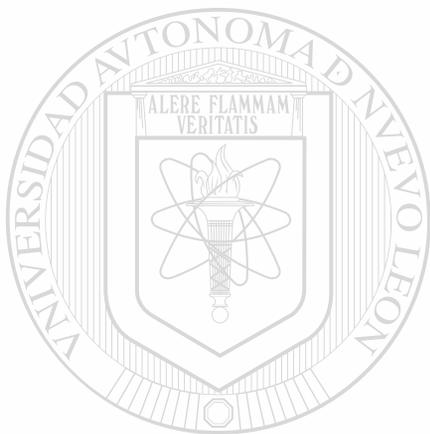
ton : Tonelada, toneladas.

TPDA : Tránsito Promedio Diario Anual.

TRRL : Transport and Road Research Laboratory.

VNP : Valor Neto de Proyecto.

VOC : Vehicle Operating Costs.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo I: INTRODUCCIÓN.

1.1. ANTECEDENTES.

Toda obra de ingeniería, aún antes de ser terminada, requiere una atención constante de conservación. Naturalmente, las carreteras no son una excepción, ya que por sus características especiales quedan expuestas a los ataques permanentes de los agentes naturales y al efecto de las cargas que soportan sus elementos estructurales. Por esto, es indispensable someterlas a una vigilancia continua y concederles especial atención, a fin de mantenerlas en las mejores condiciones de servicio. Puede asegurarse que los trabajos de conservación de una carretera deben preverse desde que se efectúa su localización, ya que entre varias alternativas de ruta, equivalentes en otros aspectos, debe elegirse aquella que ofrezca la mayor seguridad y ventajas para su futuro mantenimiento, aún cuando el costo inicial no sea precisamente el menor. El estado en que se encuentran los caminos, y en particular sus pavimentos, influye en forma decisiva en los costos de operación, que incluyen el desgaste y consumo de combustibles propios de los vehículos y su natural influencia en los precios de los artículos que se transportan; pero, sobre todo, en la seguridad, comodidad y tiempo de los usuarios.

En cuanto a las labores de conservación en las carreteras mexicanas, puede decirse que han tenido más o menos la misma evolución que las que se refieren a la construcción de estas obras, o sea, siempre con franca tendencia a mejorar. Sin embargo, en este aspecto, ha sido más lento y menos efectivo el

proceso para implantar las nuevas técnicas que se requieren para enfrentar con eficiencia los problemas derivados del rápido crecimiento de la red de caminos y del tránsito, tanto en volumen como en peso de cargas por eje y número de ejes; en todo lo anterior ha influido seguramente la falta de recursos suficientes y oportunos. Además de esto último, los problemas que todavía en la actualidad afectan el buen mantenimiento de los pavimentos, y en particular a los de las carreteras troncales, son principalmente los siguientes:

- La inadecuada oportunidad en la ejecución de los trabajos, los cuales se hacen con frecuencia en época de lluvias o cuando los pavimentos se encuentran muy deteriorados.
- El empleo de materiales pétreos de baja calidad o de productos asfálticos inadecuados.
- La utilización de procedimientos constructivos obsoletos, como la elaboración de mezclas asfálticas en el lugar, con motoconformadora y rebajado asfáltico FR-3, lo cual produce carpetas asfálticas de baja calidad, mal comportamiento, alto costo y desperdicio de recursos no renovables, que implica el uso de solventes derivados de gasolina. También se tienen otros defectos con este sistema de mezcla en el lugar, como son: exposición al medio ambiente durante su elaboración, con la consiguiente afectación de la mezcla y la inducción de contaminantes no controlables, interferencias al tránsito, etc.

Independientemente del método utilizado, la influencia del costo de operación y, en menor grado, el de conservación, juegan un papel económico muchísimo más importante que el costo de construcción inicial. Se refuerza el criterio que señala un mejor comportamiento y mucho menores costos globales de los pavimentos muy bien construidos para una situación presente, que sean capaces de afrontar el desarrollo futuro por intervenciones de refuerzo hacia

arriba, en adición a lo antes hecho, en comparación a secciones débiles no útiles para la aplicación de esas políticas y necesitadas de frecuentes reconstrucciones.

Este trabajo resalta la dificultad que existe al tratar de comparar métodos de diseño entre sí. A falta de una teoría científica sobre el comportamiento de los pavimentos, la validación de un método de diseño sólo se puede realizar a partir de la observación empírica del funcionamiento del pavimento a largo plazo.

Debe reconocerse que los pavimentos que México necesita en sus carreteras no son hoy los mismos que fueron en otras épocas. Circunscribiendo las ideas a la red nacional pavimentada, tal como es el objetivo del presente trabajo, debe aceptarse un muy importante cambio de circunstancias entre el momento actual y las épocas en que las carreteras mexicanas empezaron a ser construidas y que en buena parte se desarrollaron.

La red nacional comenzó a formarse a partir de la época 1920-1930 y creció a un ritmo relativamente moderado, hasta 1950. Entre 1950 y 1970, la red fue objeto de un desarrollo muy importante y a partir de 1980 continuó creciendo significativamente, pero probablemente con un gradiente menor, si bien en los últimos años (en el período 1990-1995) tuvo lugar la incorporación de una red de modernas autopistas (FyR 9).

En el desarrollo de la red son discernibles tres etapas relativamente bien diferenciadas. En un principio, la motivación fundamental de la planeación, fue conscientemente o por mandato inapelable de la realidad nacional, la integración sociopolítica de la nación. Se construyeron los enlaces carreteros que unen la capital nacional con las capitales estatales; después, estas últimas con las principales ciudades de sus estados y con otras capitales estatales y, finalmente, se comunicaron todas esas localidades con la totalidad de las ciudades importantes del país. De esta manera se logró una integración

nacional que garantizó la unidad económica, social y política, a la vez que se lograron las condiciones necesarias para la integración, defensa y homogeneización de la nación.

A esta etapa siguió otra, en la que se reconoció que la red anterior, que podría considerarse como la red principal y básica, tendría que ser complementada por una red alimentadora de carácter en gran parte rural y capilar, a fin de lograr un movimiento general más eficiente y de mayor penetración en todo el territorio nacional. De ésta manera nació un muy importante número de caminos rurales y secundarios, pavimentados, empedrados, etc., siempre con el requisito de garantizar el tránsito en toda época del año. Esta red complementaria, que deberá expandirse constantemente en el futuro, no será contemplada en su mayor parte en este trabajo, que se refiere únicamente a carreteras pavimentadas con pavimentos asfálticos, que corresponden más bien a la red básica estatal y federal.

A la segunda etapa arriba descrita siguió lo que podría considerarse como una tercera, en donde el énfasis principal de la construcción se puso en carreteras muy modernas de altas especificaciones, frecuentemente de cuatro y más carriles. En esta etapa se desarrollaron también nuevas formas de financiamiento, responsabilidad y cuidado en conservación y operación, así como se convirtió en rutinaria una política ya bien conocida en el país, de peajes y sistemas para transferir al usuario los costos del programa.

No hay que decir que la delimitación de las tres etapas atrás mencionadas no ocurrió ni ocurre en forma tajante. A lo largo de toda la historia reciente de México ha continuado la construcción de carreteras de carácter más tradicional, de tránsito libre y dos carriles, así como caminos alimentadores o, inclusive, autopistas modernas, algunas de las cuales tienen en el México actual antigüedades muy grandes. Lo que distingue a las etapas anteriores en todo caso es un cierto énfasis que sí parece estar presente.

Es de esperar que en el futuro una parte importante del esfuerzo constructivo nacional en el área carretera se dirija principalmente a lograr el tránsito expedito y rápido de bienes y mercancías, con la decidida meta de abatir, en todo lo que vaya resultando posible, los costos operativos del transporte nacional; para respaldar el desarrollo económico y la generación y distribución de productos, de riquezas y oportunidades por todas partes. Independientemente de estas metas, parece evidente que habrá de continuar el desarrollo de la red alimentadora que, como se mencionó, no será el objetivo principal de este trabajo.

Obviamente, muchos de los cambios anteriores fueron debidos a y a la vez produjeron, lo que podría considerarse un cambio muy importante en el transporte nacional y sus características. En todos esos años, la nación experimentó una transformación económica y estructural muy significativa, que fue haciendo aparecer una infraestructura industrial creciente, hasta alcanzar niveles importantes, de manera que una economía relativamente doméstica se fue convirtiendo en una economía necesitada de recurrir a la exportación de bienes para poder seguir su desarrollo. Lo anterior equivale a decir que el transporte como fenómeno económico fue adquiriendo una importancia cada vez mayor, de manera que podría decirse que una actividad, que hasta hace relativamente poco tiempo se centraba en comunicar, hoy se ha transformado en un quehacer mucho más complejo y que, además, se centra en la necesidad de comunicar en condiciones económicas competitivas y ello dentro de un mundo en donde toda la actividad del transporte evoluciona rápidamente, siempre con la vista fija en el logro de un transporte cada vez más barato, más rápido y más seguro. Un mercado internacional tan altamente competido como el que hoy existe resulta menos accesible si se llega a él con un transporte relativamente más costoso que el que puedan utilizar los competidores comerciales. De esta manera, el costo del transporte doméstico pasa a ser un eslabón fundamental en la cadena del comercio internacional.

Las transformaciones anteriores sucedieron al mismo tiempo que se iban desarrollando transformaciones no menos importantes en los vehículos carreteros utilizados. Si en 1950, el vehículo más pesado que recorría las carreteras nacionales podía llegar a 7 u 8 toneladas, en la actualidad es usual ver circular unidades cuyo peso bruto supera las 60. A la vez, esta multiplicación ocurrió no sólo en peso, sino también en número. Si en 1950, la carretera más importante de México podía tener 5 o 6 mil vehículos diarios, de los que un 10% eran camiones de carga; hoy es posible contemplar en la red básica mexicana carreteras con tres o cuatro veces mayor número de vehículos, además de que la proporción de vehículos de carga aumentó grandemente, hasta niveles de 30 o 40% del tránsito diario; en este sentido, México es uno de los países de mayor proporción de vehículos de carga dentro del flujo general (FyR 3).

Estos hechos, para los que no puede verse un futuro con tendencia a paliarlos, sino probablemente lo contrario, conducen a condiciones radicalmente nuevas y mucho más onerosas en lo que se refiere al comportamiento de los pavimentos.

Condiciones que habrán de ser tomadas en cuenta en los diseños y en la construcción de las secciones estructurales de las carreteras que se construyan en el futuro, en los proyectos de refuerzo que se hacen para adaptar las carreteras existentes a las nuevas condiciones y en las tareas de conservación normal de todas.

La antigüedad de la red básica mexicana presenta, en efecto, hoy una situación que viene exigiendo y así seguirá, importantes inversiones para poner lo existente a tono con lo que exige el presente y exigirá el futuro.

Sería un orgullo para los planeadores, que antecederon a los tiempos actuales, constatar que la red básica por ellos erigida con un criterio sociopolítico, sigue formando hoy parte muy conspicua de la red básica actual, aunque, este hecho

trae consigo una importante carga económica, pues hace que una fracción muy importante de la red básica de México sea también la más antigua, vale decir, la que se desarrolló en condiciones muy diferentes a las actuales.

Los vehículos de antaño ejercían sobre los pavimentos esfuerzos superficiales menores que los de hoy, puesto que los reglamentos al respecto han tenido que ir reconociendo la situación de facto del desarrollo de los vehículos de carga en dimensiones y peso bruto. A la vez, aquellos esfuerzos superficiales disminuían mucho más rápidamente con la profundidad, de manera que en un pavimento típico de entonces era relativamente exigida una capa superior de 30 o 40 cm de espesor (FyR 4). Los vehículos actuales, con esfuerzos mayores, duplican esta profundidad de influencia.

Como consecuencia de aquella situación, los pavimentos se construían frecuentemente, en México, con materiales que hoy no podemos sino considerar inadecuados y aún con ellos se cubrían pequeños espesores, bajo los cuales aparecían suelos naturales, generalmente producto de préstamo lateral en terrenos inmediatamente aledaños a la carretera en construcción. Los materiales eran frecuentemente tan endebles que se consideraba que el agua y sus efectos eran los enemigos de los ingenieros de caminos, pues convertía en altamente deformables las secciones estructurales. Efectivamente, las carreteras se deformaban y tenían baches, todo lo cual influía fatalmente en los costos de operación, pero la operación era escasa y se trataba de conseguir comunicación dentro de una economía nacional también relativamente de escaso nivel.

Obviamente, muchos de esos caminos tienen hoy funciones mucho menos conectadas con el transporte nacional más importante; pues en buena parte han sido substituidos por carreteras más modernas; en otros casos los caminos antiguos han sido reforzados estructuralmente y sólo hacia arriba y, en tal caso, presentan hoy un serio y recurrente problema de conservación, pues los

modernos camiones envían sus efectos a las capas profundas no modernizadas, haciendo poco durables los añadidos superiores.

El gran crecimiento del transporte nacional, en número y peso de los vehículos, presenta entonces nuevas condiciones, que han de ser tomadas en cuenta por los actuales diseñadores y constructores de pavimentos asfálticos.

Es en este panorama histórico y conceptual en el que se ha pensado que un trabajo como el presente pudiera tener utilidad, al expresar la realidad del ambiente en que se desarrolla la conservación de las carreteras existentes, los cambios que seguramente resultarán útiles y necesarios en la conceptualización de proyectos de nuevos pavimentos o de refuerzos y los métodos con que hoy se cuenta o que están en una etapa de desarrollo avanzado, para diseñar en detalle las secciones estructurales de las carreteras que han de soportar un transporte nacional que, sin duda, será siempre creciente.

En nuestro país, el transporte por carretera es el de mayor contribución a la actividad nacional, por lo que es necesario que el transporte opere con base en parámetros de eficiencia. Por la red de carreteras fluye el 80% de las cargas que se mueven en el territorio y el 98% del movimiento de pasajeros; además permite desarrollar los aspectos comercial, social e industrial (FyR 10).

Para preservar esta red de carreteras es importante contar con un programa de mantenimiento, acorde con las necesidades y presupuestos. La información que se requiere para preparar un programa de conservación es sólo una parte de toda la información que se puede medir en un camino, por lo que se debe "tamizar" constantemente para obtener sólo aquellos datos que realmente influyan en las decisiones para el mantenimiento de la red o para la elaboración de un proyecto detallado de rehabilitación de un tramo específico.

Se han realizado estudios para conocer cuáles son los factores de un camino que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, principalmente de los de carga, resultando que uno de los principales es el estado superficial.

Los principales costos de operación son los siguientes:

- Combustibles.
- Lubricantes.
- Llantas.
- Reparación y refacciones.
- Costos del operador.
- Depreciación y reposición de vehículos.
- Intereses.
- Seguros.
- Tiempo de transporte de las mercancías.

La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación de los vehículos es significativa. En condiciones óptimas de circulación, que se asocian con una carretera bien conservada, recta, en terreno plano y sin problemas de tránsito, el costo de operación es mínimo. La presencia de baches o deficiencias en la superficie; de pendientes o grados de curvatura no adecuados, así como de otros vehículos afecta las condiciones de operación y por lo tanto, los costos correspondientes.

1.2. SITUACIÓN ACTUAL.

El problema principal de la red carretera nacional, especialmente en lo relativo a pavimentos y puentes, se encuentra en su conservación, rehabilitación y

modernización, ya que se está operando en gran parte de ella con índices de servicio actual bajos, cercanos al nivel de rechazo, produciéndose en consecuencia un importante incremento en el costo global del transporte. Esta situación, originada en forma principal por la falta de recursos suficientes y oportunos, es especialmente grave en la red troncal básica, por la que se mueve la mayor parte de la carga transportada. La mitad de dicha red, debe tener prioridad, porque es la que soporta el mayor volumen de tránsito y, por consiguiente, el proceso de deterioro es aún más rápido, sobre todo si se toma en cuenta también que los tramos incluidos en dicha longitud han rebasado su vida útil, principalmente en lo que se refiere a cargas de diseño.

Tomando en cuenta el constante aumento del número de vehículos y de sus velocidades y cargas, en México se han presentado, en términos generales, tres tipos principales de trabajo, para el mantenimiento de la red vial: conservación normal, rehabilitación o reconstrucción y, mejoramiento o modernización.

La conservación normal comprende los trabajos rutinarios y sistemáticos necesarios para mantener en buenas condiciones y en lo posible con las mismas características, todas las partes y elementos estructurales con los cuales se construyó la carretera, como son: la superficie de rodamiento, los acotamientos, el drenaje, los taludes, las zonas laterales y el señalamiento; en lo relativo a pavimentos, estos trabajos consisten, por lo común, en bacheos, taponamiento de grietas, renivelaciones, sobrecarpetas y riegos de sello. Por otra parte, la rehabilitación o reconstrucción incluye aquellas obras requeridas para reponer, totalmente o en alguna de sus partes, un tramo de carretera, sin alterar sus especificaciones geométricas o estructurales. Finalmente, en el mejoramiento o modernización se modifican las características geométricas y estructurales del camino, especialmente en lo concerniente a pavimentos y puentes, para aumentar su nivel de servicio y resolver los problemas originados por incrementos en el volumen de tránsito y en las cargas de los vehículos.

Siguiendo las ideas expuestas, el aspecto más importante al que hoy en día se enfrenta la rehabilitación o modernización de la red nacional, se refiere al manejo de los pavimentos, en el que se pretenden agrupar desde los métodos de auscultación, los criterios para la selección y el tratamiento de materiales, las normas que se utilizan para su caracterización, las soluciones de estructuración, los métodos de diseño de espesores, los procedimientos constructivos y los criterios o posibilidades de inversión. A este respecto, ya se ha creado un Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), estudiado y elaborado por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT).

Los sistemas de gestión deben tratar de que gran parte de las carreteras por las que pasa la mayor riqueza del país, se mantengan con una buena calidad de servicio, con base en programar su rehabilitación a tiempo y con recursos suficientes.

El papel preponderante que están asumiendo los programas de mantenimiento carretero, dentro de la administración de la infraestructura para el transporte, implica la necesidad de aplicar nuevas tecnologías que permitan no solamente la ejecución de los trabajos de mantenimiento en forma eficaz y económica, sino también el manejo oportuno y fidedigno de un gran número de datos sobre la red.

El gran número de datos surge, por una parte, de la extensión de la red y por el deterioro en que se encuentra, y por la otra, de la obligación de aplicar eficazmente los recursos que se canalizan a la conservación.

En México existe la necesidad de diversos organismos encargados de la conservación de caminos, de contar con elementos que les permitan seleccionar las técnicas y equipos de evaluación de pavimentos más adecuados a sus necesidades específicas. Este estudio trata de la evaluación

de los pavimentos, incluyendo un método para generar alternativas de conservación para un proyecto carretero determinado, tomando en cuenta la aplicación de los Métodos de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), de la información de evaluación “no destructiva” y otros tipos de datos.

1.2.1. El Índice Internacional de Rugosidad, en la red nacional carretera.

La capa de rodadura de una carretera posee una serie de características técnicas y funcionales, obtenidas a partir de criterios y especificaciones de construcción. Su estado depende de la calidad inicial y del desgaste o deterioro producido por el tránsito y los factores climáticos, entre otros.

En el nivel de la red, partiendo de las mediciones de rugosidad de un camino, se puede definir el estado de los pavimentos mediante el índice de rugosidad; si se realiza un programa de evaluación anual en esos mismos caminos, se puede llegar a conocer el comportamiento del deterioro a través del tiempo.

En el comportamiento típico de la condición superficial con respecto al tiempo, se observa que a partir de un cierto nivel de rugosidad del camino, los factores que afectan al mismo son el tránsito, el medio ambiente, etc., que ocasionan la disminución de la calidad superficial. Esta disminución no es lineal sino que se puede dividir en tres etapas, de las que la primera tiene un deterioro poco significativo en los primeros años; la segunda presenta un deterioro más acusado que en la primera, y requiere comenzar a programar un mantenimiento para no dejar avanzar el deterioro, y la tercera significa una etapa de deterioro acelerado; ya que en pocos años el nivel de servicio cae en forma importante, con lo que va a llegar a un costo significativo de mantenimiento del camino y, como límite, puede ser necesaria una reconstrucción total del mismo.

Inicialmente, este trabajo describe brevemente los conceptos básicos de la administración de pavimentos y se ubica a la actividad de evaluación dentro del contexto de esta disciplina. A partir de este contexto, se define una serie de principios de la evaluación de los pavimentos y algunos criterios para realizarla. Posteriormente, se analizan los métodos y equipos más comunes empleados en la evaluación de los pavimentos. De estos métodos y equipos, se destacan las características más relevantes, las ventajas y desventajas del uso de algunos de ellos, así como los resultados que producen.

Los análisis desarrollados, consistieron en comparar entre sí la información de deflexiones obtenida con los equipos diferentes (evaluación no destructiva), que se utilizan en México. A partir de dichos resultados, se estableció un conjunto de relaciones, las cuales permiten precisar una serie de recomendaciones acerca de los ajustes que se pueden realizar a los métodos tradicionales.

Finalmente, se proponen alternativas para optimizar el método de conservación para un proyecto carretero determinado, tomando en cuenta la aplicación de los Métodos de la AASHTO y la información de evaluación "no destructiva" y otros tipos de datos.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo II: OBJETIVOS.

El nivel de servicio de la red federal de carreteras ha disminuido en los últimos años, ocasionando un incremento en los costos incurridos por los usuarios al transitarla y requiriéndose, cada vez, de mayores niveles de inversión para recuperar su nivel de servicio.

De acuerdo con el estudio de las causas que han originado el problema arriba mencionado, dentro de las cuales debemos destacar la falta de planeación, los bajos niveles de inversión, la ineficiente organización, el incremento en la demanda, la legislación inadecuada y las malas políticas de conservación, equipo y recursos, podemos definir las siguientes finalidades:

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

II.1. OBJETIVO GENERAL.

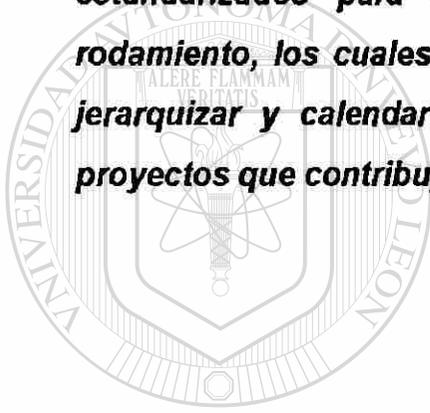
- El objetivo principal de este estudio, es establecer los elementos que permitan seleccionar las técnicas y los equipos de conservación de pavimentos, adecuados a las actividades específicas de los diversos organismos encargados de la conservación de los caminos en México.

II.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Estandarizar los métodos para optimizar las estrategias de conservación de las superficies asfálticas de rodamiento en las carreteras.
 - Proponer un procedimiento, para clasificar, jerarquizar y calendarizar los proyectos de conservación de las carpetas asfálticas de las carreteras, para así, conformar un plan de acción para el corto, mediano y largo plazo.
 - Investigar detalladamente algunas de las técnicas para la evaluación y conservación de los pavimentos, y sus características particulares (potencialidades, limitaciones, costos, etc.).
 - Analizar y comparar, los datos obtenidos con algunos de los métodos anteriormente usados en la red carretera federal.
-
- Ilustrar la utilización de la información anterior, comparando, los datos obtenidos con algunos de los métodos empleados en la red carretera federal.

Capítulo III: HIPÓTESIS.

Si se determinan los elementos que permiten seleccionar técnicas y equipos de conservación de pavimentos adecuados, de acuerdo con actividades específicas, entonces podremos, establecer métodos estandarizados para optimizar el diagnóstico de la superficie de rodamiento, los cuales deberán incluir un procedimiento para clasificar, jerarquizar y calendarizar (para el corto, mediano y largo plazo) los proyectos que contribuyan a este fin, para así, diseñar un plan de acción.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo IV: CONCEPTOS GENERALES.

En la República Mexicana, la mayoría de los caminos pavimentados son "pavimentos flexibles", aunque también existen tramos en autopistas y en la red federal de carreteras conformados por "pavimentos rígidos". Las características superficiales de ambos tipos de pavimentos deben reunir ciertas características que minimicen la intervención del estado del pavimento como una de las causas de accidentes. Otro aspecto que depende del estado superficial es el gasto de operación derivado del uso de la carretera (gasto en combustibles, desgaste y reparación de partes mecánicas, consumo de neumáticos, etc.; o indirectos como tiempo de viaje, confort, etc.).

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN [®]
IV.1. PAVIMENTOS FLEXIBLES.
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas (sección estructural, ver fig. 1) constituida por materiales con resistencia y deformabilidad decreciente con la profundidad, de modo análogo a la disminución de las presiones transmitidas desde la superficie. La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento, soporta directamente las sollicitaciones del tránsito y aporta las características funcionales de la carretera. Estructuralmente, absorbe los esfuerzos horizontales y parte de los esfuerzos verticales.

Debido al comportamiento viscoelastoplástico de las mezclas asfálticas, el paso de la carga, especialmente en condiciones de altas temperaturas o bajas

velocidades, va produciendo una acumulación de deformaciones de tipo plástico.

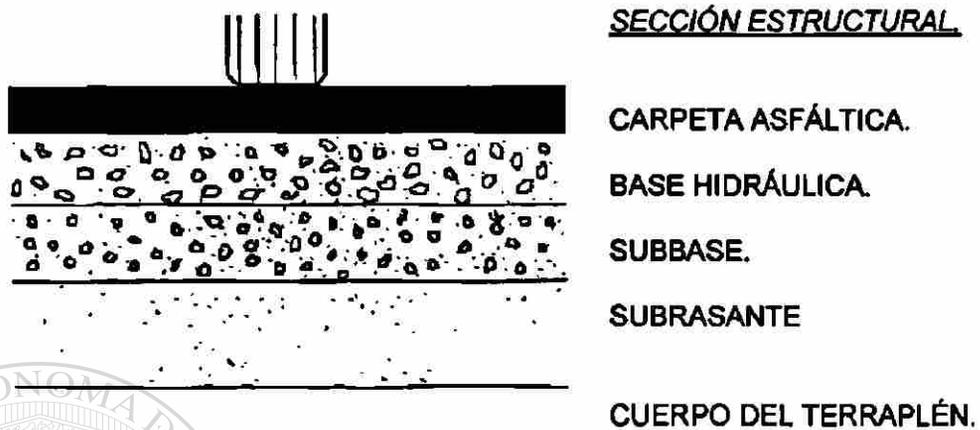


Figura 1. Conformación típica de un pavimento flexible.

Si la mezcla asfáltica no tiene las características reológicas adecuadas, puede darse incluso una verdadera fluencia del material. Este fenómeno tiene su manifestación más típica en las denominadas roderas, que son deformaciones plásticas longitudinales que se pueden llegar a producir en determinadas zonas de rodamiento de los vehículos pesados o por la canalización excesiva del tránsito. En ocasiones, el fenómeno de deformaciones plásticas se pone de manifiesto mediante ondulaciones o resaltos transversales. Esto puede ocurrir en zonas en las que los esfuerzos tangenciales son muy fuertes (zonas de desaceleración, paradas ante semáforos o topes, etc.).

IV.2. PAVIMENTOS RÍGIDOS.

En los pavimentos rígidos, la losa de concreto hidráulico constituye la capa de mayor responsabilidad estructural y funcional; las capas inferiores del pavimento tienen por misión asegurar un apoyo uniforme y estable para la losa (ver fig. 2).

La rigidez de la capa de concreto hidráulico supone que el pavimento es resistente a elevadas presiones de contacto de los vehículos pesados. Por ello estos pavimentos no pueden sufrir roderas viscoplásticas, incluso en condiciones severas de tránsito pesado, intenso y con elevadas temperaturas.

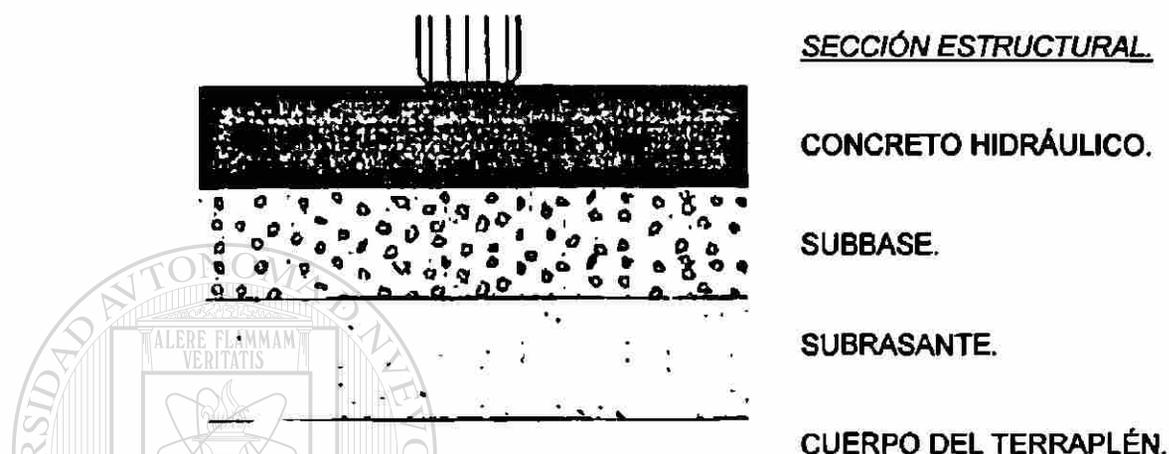


Figura 2. Conformación típica de un pavimento rígido.

Por otra parte, las tensiones verticales originadas por las cargas se distribuyen ampliamente en la base de apoyo de la losa, de modo que la tensión máxima transmitida es sólo una fracción pequeña de la máxima presión de contacto.

La resistencia al deslizamiento se consigue empleando una capa de arena silícica y dando al concreto fresco una textura superficial adecuada, mediante el arrastre de una arpillera y por cepillado, estriado, ranurado, etc. La macrotextura debe ser rugosa para altas velocidades de circulación y puede ser más lisa para velocidades moderadas o bajas.

El tipo de textura influye en el ruido producido en el rodamiento, percibido tanto dentro como fuera de los vehículos.

En la regularidad superficial obtenida influyen factores tales como la puesta a punto de la pavimentadora, la homogeneidad del concreto, el camino de

rodamiento de la maquinaria, los elementos de guiado y la regularidad de la puesta en obra.

La retracción inicial del concreto hidráulico y las variaciones de volumen hacen necesaria la disposición de juntas para evitar la aparición aleatoria de fisuras en el pavimento, muchas de las cuales se despostillan bajo la acción directa del tránsito; al propio tiempo, las fisuras más abiertas permitirán la entrada de agua y se puede presentar el fenómeno de bombeo, el cual, con la expulsión de partículas finas de las capas inferiores hacia la parte superior del pavimento, puede llegar a generar problemas serios, pues algunos bloques pueden quedar inestables. Por otro lado, también son necesarias las juntas para facilitar el alabeo de las losas debido a los gradientes térmicos.

Esta solución de continuidad del pavimento no debe afectar, sin embargo, a las cualidades estructurales y funcionales. Es necesario asegurar con las juntas una cierta transmisión de cargas de una losa a la siguiente y evitar un escalonamiento durante el período de servicio. En todo caso, las juntas deberían ser imperceptibles para los usuarios.

El concreto hidráulico aumenta su resistencia con el tiempo y si la concepción del pavimento ha sido correcta, su índice de servicio disminuye más lentamente que el que presentan pavimentos con carpeta asfáltica.

Otras características que reciben cada vez más atención por razones de seguridad y economía, son las propiedades ópticas reflectantes de los pavimentos. El color claro de la superficie seca del concreto hidráulico proporciona una mejor visibilidad nocturna, lo que se traduce en un aumento en la seguridad de operación.

IV.3. ÁREA DE CONTACTO, PRESIÓN DE CONTACTO Y TIEMPO DE CARGA.

La caracterización de las solicitaciones producidas por el tránsito sobre una infraestructura carretera es bastante compleja, debido no sólo a la variabilidad de los distintos vehículos existentes, sino también a las interacciones vehículo-pavimento que producen fenómenos con solicitaciones adicionales a las propias cargas estáticas del tránsito.

Para dicha caracterización se pueden estudiar independientemente los siguientes aspectos:

- La forma geométrica de cada solicitación sobre el pavimento, el área de contacto y el reparto de las presiones sobre la misma.
 - La velocidad de los vehículos y el tiempo de solicitación en un punto.
 - La magnitud de las cargas, según la composición del tránsito (tipos de ejes que circulan).
-
- El estado tensional que producen las cargas, en función de la magnitud y tipología (verticales, tangenciales, fenómenos de impacto, etc.) y las características de las capas del pavimento.

Los neumáticos de los vehículos se apoyan sobre el pavimento, produciendo una huella de forma distinta para cada tipo de vehículo, presión de inflado, carga por rueda, velocidad y estado de la superficie. Cuando el neumático está en movimiento, además de variar la forma de la huella, aparecen solicitaciones distintas a las verticales, que son las que existen cuando el vehículo está detenido o con movimiento uniforme: aparecen esfuerzos horizontales debidos al rozamiento y a los cambios de trayectoria, succiones de agua contenida en el pavimento y esfuerzos verticales de impacto por efectos del movimiento del vehículo y las irregularidades de la superficie de rodamiento de la carretera.

La distribución de presiones dentro del área de contacto no es uniforme. Aunque las presiones localizadas pueden tener importancia en la aparición de los deterioros, suele admitirse la hipótesis de que es suficiente considerar una presión de contacto media igual al cociente de la carga de la rueda y la superficie del área de contacto aparente. Esta presión no es idéntica a la de inflado del neumático, pero la mayoría de los fabricantes proporcionan ábacos o tablas que relacionan las dos cuando el vehículo está detenido, dependiendo del tipo de neumático.

Los efectos dinámicos de los vehículos en movimiento se transforman en impactos y vibraciones en los que intervienen el estado superficial del pavimento y del tipo de suspensión del vehículo. En general, los vehículos en marcha transmiten al neumático una carga de magnitud variable, según el movimiento oscilatorio de la masa suspendida, cuya frecuencia varía con la velocidad y tipo de pavimento. Los máximos pueden ser un 40 o 50% superiores a los normales, en carga estática. Este aumento de cargas se refleja sobre el pavimento en forma de presión de contacto y/o incremento de la superficie de huella.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La duración de la carga o el tiempo de aplicación equivalente es inversamente proporcional a la velocidad del vehículo. Este tiempo de carga es importante al estudiar la respuesta de los supuestos materiales viscoelásticos (terreno de cimentación, capas granulares y mezclas asfálticas).

Los esfuerzos horizontales de aceleración y frenado o en curvas de pequeño radio, que se pueden producir en zonas localizadas, influyen también en el estado tensodeformacional del pavimento. Cuando en la superficie de un pavimento se originan tensiones tangenciales, éstas deben ser resistidas por los 8 - 10 cm superiores, pero, en general, no afectan a las capas inferiores. Por ello, la forma práctica con la que se resuelven estos problemas, es proyectar

capas de rodamiento cuya resistencia al esfuerzo cortante sea suficientemente alta para garantizar que no se produzcan roturas o deformaciones por cizallamiento.

IV.4. CARACTERÍSTICAS SUPERFICIALES, INFLUENCIA EN LA INTERACCIÓN VEHÍCULO-CARRETERA.

Para analizar los efectos que los pavimentos (flexibles y rígidos) provocan en los vehículos, es necesario recurrir a escalas pequeñas que permitan apreciar magnitudes del orden de décimas de milímetro o incluso menores. Se ha llagado al empleo de microscopios para estudiar los efectos de las dimensiones más pequeñas del pavimento en la adherencia.

En el XVIII Congreso Mundial de Carreteras (Bruselas, 1987) el Comité Técnico de Características Superficiales de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (A.I.P.C.R.), propuso una clasificación de las características geométricas superficiales basadas en longitudes de onda y en amplitudes de las irregularidades (ver tabla 1).

Tabla 1. Propuesta de clasificación de las irregularidades superficiales de un pavimento (flexible o rígido).

NOMBRE		RANGO DE DIMENSIONES (APROX.)	
		HORIZONTAL	VERTICAL
Microtextura.		0 - 0.5 mm	0 - 0.2 mm
Macrotextura.		0.5 - 50 mm	0.2 - 10 mm
Megatextura.		50 - 500 mm	1 - 50 mm
Regularidad Superficial:	Ondas Cortas.	0.5 - 5 m	1 - 20 mm
	Ondas Medianas.	5 - 15 m	5 - 50 mm
	Ondas Largas.	15 - 50 m	100 - 200 mm

Hay que tener en cuenta que las características superficiales de los pavimentos que más interesan están ligadas a las dimensiones de estas irregularidades. Además, se dispone actualmente de métodos de medida de las mismas, cuyos resultados han empezado a incorporarse a las especificaciones en otros países.

La interacción vehículo-carretera da lugar a que estas irregularidades superficiales influyan en mayor o menor grado, dependiendo de su longitud de onda. En la figura 3, se presenta la gama de irregularidades de los pavimentos flexibles y rígidos que afectan al usuario; sin embargo, algunas de ellas son necesarias para la seguridad de los vehículos.

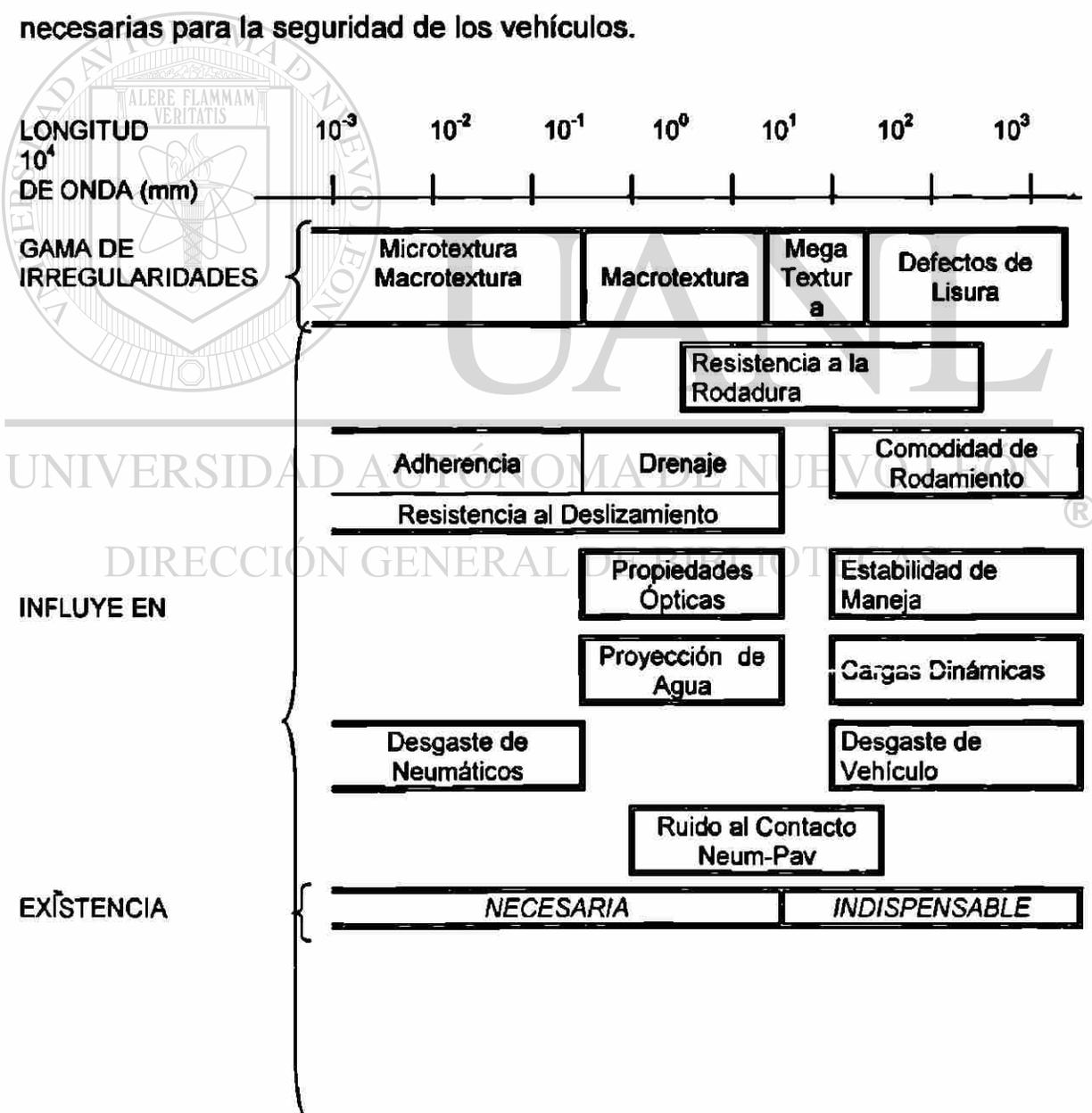


Figura 3. Influencia de la gama de irregularidades superficiales en los fenómenos de interacción entre el vehículo y la carretera (A.I.P.C.R. 1987).

IV.5. ADHERENCIA NEUMÁTICO-PAVIMENTO.

En la fase de operación de una carretera construida con pavimento flexible o rígido, hay un fenómeno directamente relacionado con la presencia de agua que es la causa de algunos accidentes. Se trata de la pérdida de adherencia entre el neumático y la superficie de rodamiento, cuando esta última está mojada. El fenómeno se produce con una carretera mojada, aunque se agrava conforme aumenta el espesor de la película de agua.

La adherencia neumático-pavimento es un factor fundamental que interviene en la seguridad de la circulación sobre pavimento flexible o rígido, ya que permite reducir la distancia de frenado y mantener, en todo momento, la trayectoria del vehículo.

La adherencia neumático-pavimento puede definirse como la capacidad de unión o contacto íntimo entre dichos elementos, de forma que dé origen a una circulación segura. En general, el conductor es muy sensible a la ausencia o disminución de la adherencia que se produce cuando la superficie está mojada, con hielo, etc., existiendo pérdida de control del vehículo por deslizamiento, patinazo o derrapamiento.

La adherencia es suficiente, salvo en algunos casos (exceso de asfalto, pulido de la superficie, neumáticos lisos, etc.), sobre superficie seca, disminuyendo extraordinariamente en períodos de lluvias, debido a la película de agua que se interpone entre el neumático y el pavimento. Si el pavimento está mojado, se aprecia una disminución en la adherencia con la velocidad. Esta pérdida es tanto mayor cuanto más gruesa sea la película de agua sobre el pavimento, lo

que se traduce en una conducción peligrosa, incluso para velocidades moderadas (40 - 50 km/hr) (FyR 7).

El estado del neumático influye, de forma significativa, sobre la distancia de frenado del vehículo. Para unas condiciones dadas, un vehículo ligero necesita el doble de distancia de frenado, si circula con neumáticos desgastados, en vez de nuevos, sobre pavimento mojado. Los vehículos pesados requieren mayores distancias para detenerse, que los vehículos ligeros, debido al peso total, la carga del vehículo, los sistemas de frenos, la presión de inflado de los neumáticos, la suspensión, etc.

Las capas de rodamiento de los pavimentos de carreteras, tanto flexibles como rígidos y esencialmente sus agregados, deben reunir las características adecuadas para cumplir las siguientes funciones básicas, desde el punto de vista de la seguridad:

- Bombeo geométrico adecuado.
- "Romper" la película de agua procedente de la lluvia, para asegurar el contacto entre el neumático y el pavimento (microtextura).
- Facilitar y contribuir al drenaje del agua existente bajo el neumático (macrotextura).
- Mantener sus características a través del tiempo.

Bajo la acción del tráfico, principalmente intenso, las características iniciales de los agregados disminuyen en el transcurso del tiempo. Así, por ejemplo, se va produciendo el pulimento del material, modificando sensiblemente la microtextura.

También la macrotextura disminuye paulatinamente, dificultando la evacuación de la película de agua procedente de la lluvia hasta que, por debajo de un determinado umbral, el drenaje está limitado casi exclusivamente a los canales

(dibujo) del neumático. Si la velocidad de circulación es elevada, la capacidad de drenaje del agua es insuficiente, elevándose sensiblemente el riesgo de que la rueda patine o se deslice, al producirse la pérdida de contacto. El riesgo de la accidentalidad es aún mayor si a las anteriores circunstancias se añaden otros factores negativos, como puede ser el circular con neumáticos desgastados.

IV.6. ÍNDICE DE SERVICIO ACTUAL (ISA).

Para evaluar la calidad de la superficie de las carreteras en México, durante muchos años se utilizó el método desarrollado en los años sesentas por la American Association of State Highway Officials (AASHO), el cual toma en cuenta un parámetro denominado Present Serviceability Index (PSI), mejor conocido en México como Índice de Servicio Actual (ISA).

El índice o nivel de servicio actual consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino, a la velocidad de operación y lo determina un grupo o panel de evaluadores. Cada evaluador debe calificar el camino de una manera subjetiva, en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie perfecta, respectivamente. El resultado de cada sección de pavimento deberá ser reportado por separado, como el promedio del valor asignado por el grupo de evaluadores.

La tabla 2, muestra la escala del ISA y la calificación correspondiente a la condición del camino.

Este método ayudó a estimar (de una manera subjetiva) las condiciones en las que se encontraban algunos tramos carreteros en el país, con rapidez y sin interrumpir el flujo de los vehículos. Este método tuvo gran difusión, debido

también a que no se contaba con equipos de alto rendimiento para la medición de la rugosidad en la superficie de rodamiento.

Tabla 2. Condición del camino respecto al Índice de Servicio Actual (ISA).

<i>ISA</i>	<i>CONDICIÓN DEL CAMINO</i>
4 a 5	Muy Bueno.
3 a 4	Bueno.
2 a 3	Regular.
1 a 2	Malo.
0 a 1	Pésimo.

Dentro del estudio del Banco Mundial para el establecimiento del Índice Internacional de Rugosidad, se realizó la estimación de la evaluación subjetiva con el método AASHTO y el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad, y se observó que existen amplias diferencias entre los valores de rugosidad de los grupos de evaluadores de los diferentes países, así como con los resultados de los equipos de medición de rugosidad.

El Banco Mundial recomienda que no se utilice la calificación del panel de evaluadores (ISA) para la obtención o correlación del Índice Internacional de Rugosidad, debido a que ambos parámetros tienen principios contrarios; mientras que uno es sentido (ISA), el otro es medido (IRI).

IV.7. ÍNDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD (IRI).

Para establecer criterios de calidad y comportamiento de los pavimentos, que indicarán las condiciones actuales y futuras del estado superficial de un camino, surgió la necesidad de establecer un índice que permitiera evaluar las deformaciones verticales de un camino, las que afectan la dinámica de los vehículos que transitan sobre él. Se trató de unificar los criterios de evaluación

con los equipos de medición de rugosidad en un nivel mundial, tales como los perfilómetros o los equipos de tipo respuesta, y que de alguna manera se sustituyera el método de la AASHO, ahora AASHTO, que permite calificar la condición superficial de un camino, sólo en forma subjetiva.

El Índice Internacional de Rugosidad, mejor conocido como IRI (International Roughness Index), fue propuesto por el Banco Mundial, en 1986 (FyR 6), como un estándar estadístico de la rugosidad y sirve como parámetro de referencia en la medición de la calidad de la rodadura de un camino. El Índice Internacional de Rugosidad tiene sus orígenes en un programa norteamericano llamado National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) y está basado en un modelo llamado "Golden Car" descrito en el reporte 228 del NCHRP.

El cálculo matemático del Índice Internacional de Rugosidad está basado en la acumulación de desplazamientos en valor absoluto, de la masa superior con respecto a la masa inferior (en mm, m, ó in) de un modelo de vehículo (cuarto de carro), dividido entre la distancia recorrida sobre un camino (en m, km, ó mi) que se produce por los movimientos al vehículo, cuando éste viaja a una velocidad de 80 km/hr. El IRI se expresa en unidades de mm/m, m/km, in/mi, etc.

Así, el IRI es la medición de la respuesta de un vehículo a las condiciones de un camino. El IRI sirve como estándar para calibrar los equipos de medición de la regularidad superficial de una camino.

IV.7.1. Características del modelo.

El modelo de "Cuarto de Carro", utilizado en el algoritmo del IRI, debe su nombre a que implica la cuarta parte de un vehículo. El modelo se muestra en la figura 4, e incluye una rueda representada por un resorte vertical, la masa del

eje soportada por la llanta, un resorte de la suspensión, un amortiguador, y la masa del vehículo soportada por la suspensión de dicha rueda.

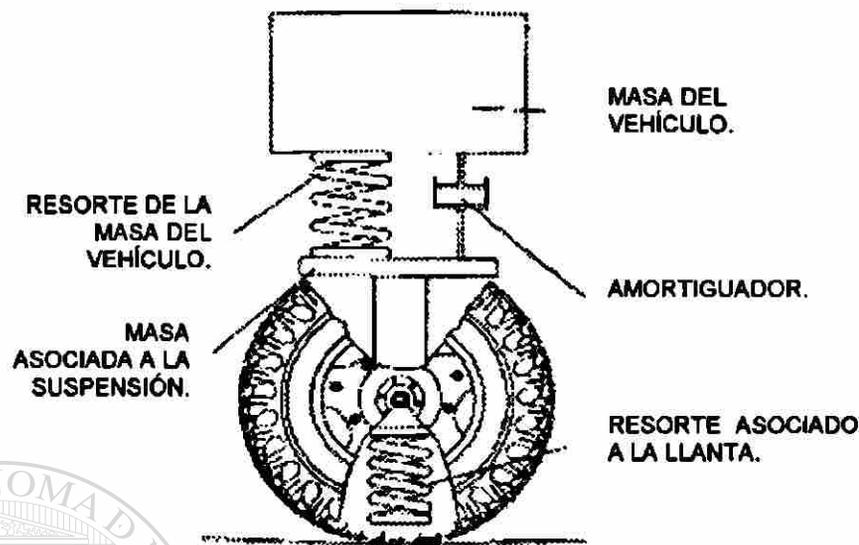


Figura 4. Representación gráfica del modelo "Cuarto de Carro".

El modelo "Cuarto de Carro" fue ajustado para poder establecer una correlación con los sistemas de medición de rugosidad de tipo respuesta. El programa que propone el Banco Mundial para el cálculo del Índice Internacional de Rugosidad, a partir del levantamiento topográfico de un tramo carretero, representa la simulación del paso del "Cuarto de Carro" sobre el perfil del camino.

IV.7.2. Escala y características del IRI.

La escala y características involucradas en el IRI son las siguientes:

- Las unidades están en mm/m, m/km, ó in/mi.
- El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km (0 a 760 in/mi) (FyR 6), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable. En la figura 5, se presentan las características de los pavimentos dependiendo del valor del IRI, según las experiencias recogidas por el Banco Mundial en diversos países.

- Para una superficie con pendiente constante, sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.

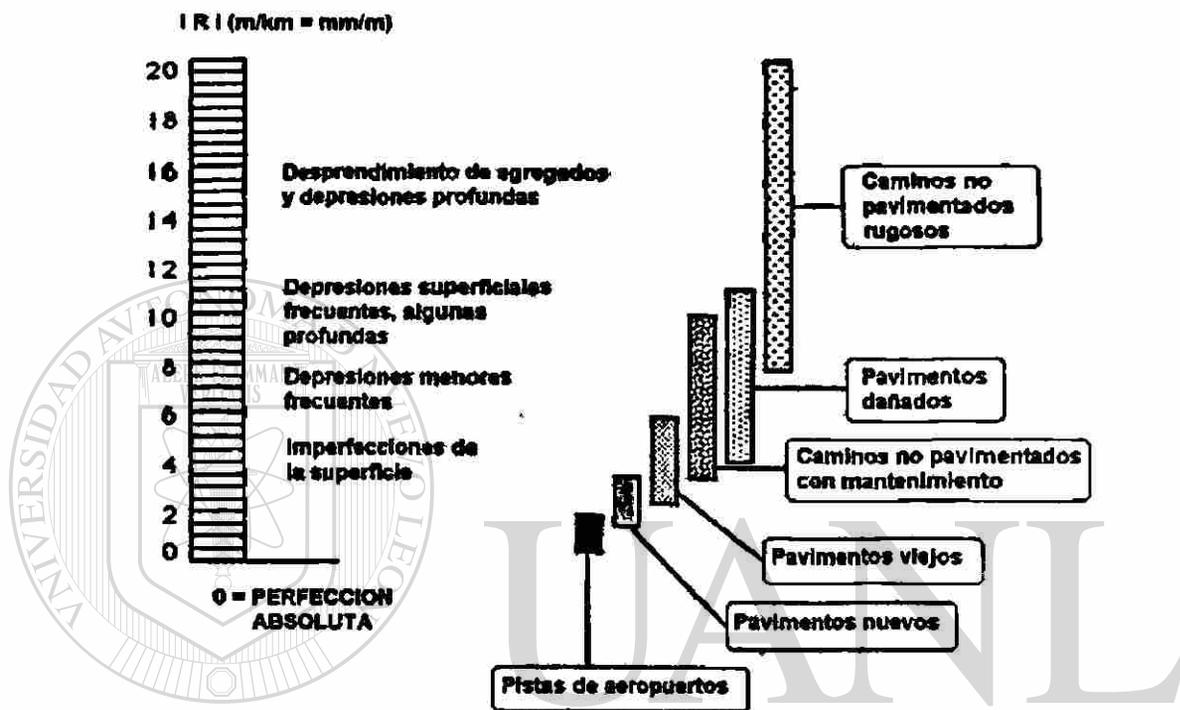


Figura 5. Escala de valores del IRI y las características de los pavimentos.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

IV.8. ÍNDICE INTERNACIONAL DE FRICCIÓN (IFI).

Además del IRI, existe un parámetro denominado Índice de Fricción Internacional (IFI), el cual permite referir a una escala patrón, las condiciones de textura y fricción de un pavimento, medido con cualquier tipo de equipo o método. Este índice está en estudio, en diversos países, para su posible implantación.

Para estudiar los efectos que los pavimentos provocan en la circulación, es necesario recurrir a intervalos de la geometría de la superficie de rodamiento.

Como producto de varios estudios, la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras, ha adoptado una clasificación de las diferentes características de la superficie de la carretera según las distintas escalas geométricas y se ha identificado su presencia en el funcionamiento vehículo-carretera.

De esta manera se ha encontrado que la microtextura que presenta un pavimento influye en el riesgo de accidentes por derrapamiento, a cualquier velocidad, así como en el desgaste de los neumáticos de los vehículos que circulan por la superficie de rodamiento. La macrotextura es el relieve de la capa de rodamiento a simple vista, y está relacionada directamente con el drenaje superficial del pavimento, e influye en la proyección de agua de los vehículos durante y después de una precipitación. La megatextura y la regularidad superficial (rugosidad) tienen influencia en la comodidad, la estabilidad de manejo, las cargas dinámicas, el desgaste y los costos de operación de los vehículos. El estado superficial de una carretera es vital para la eficiencia global del transporte.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
La adherencia entre el neumático y el pavimento se valora midiendo el coeficiente de fricción de la rueda, en presencia del agua. Tradicionalmente se ha caracterizado mediante el péndulo de fricción, que da una indicación indirecta del grado de lisura o rugosidad de la microtextura de la superficie de rodamiento. Actualmente existen diversos equipos de alto rendimiento que, con diferentes principios (trayectoria de la rueda, rueda frenada, neumático liso, etc.), miden la resistencia a la fricción. Por su parte, la textura es una característica que cada día se considera más importante para la buena calidad de las capas de rodamiento, su drenaje, su sonoridad, etc.

Microtextura. La microtextura es función de la textura superficial de los agregados y del mortero asfáltico o del cemento (concreto hidráulico), empleados en la construcción de la carpeta o losa. Es importante para la

adherencia entre el neumático y el pavimento y, por tanto, para la resistencia al derrapamiento, por lo que la microtextura influye en el riesgo de accidentes para todas las velocidades de circulación. Influye en el desgaste de los neumáticos y en el ruido producido por el contacto con el pavimento. En todo caso, las irregularidades de este tipo están presentes y, en ciertas condiciones, es necesaria su existencia.

Macrotextura. La macrotextura es el relieve de la capa de rodamiento y depende de la composición de la mezcla, riego o lechada asfáltica o del tratamiento de superficie dado a la capa de concreto (estriado, engravillado, etc.). Degradaciones tales como la pérdida de gravilla, las grietas y la existencia de juntas, sólo contribuyen en casos poco frecuentes, o si hay escalonamiento notable. En la figura 6, se puede observar la diferencia entre la microtextura y la macrotextura de un pavimento.

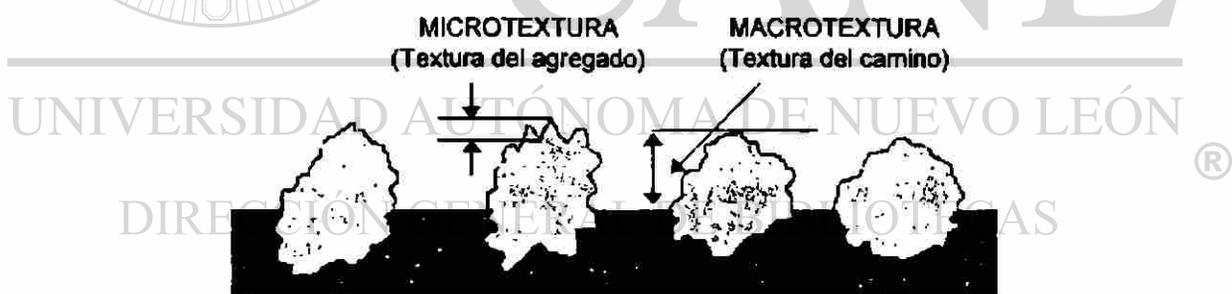


Figura 6. Microtextura y Macrotextura.

La macrotextura es asimismo significativa en la evolución del estado de la capa de rodamiento. El pavimento recién construido tiene un determinado valor de la macrotextura, pero con el uso, ese valor inicial va disminuyendo hasta un mínimo; a partir de ese momento y como consecuencia de un proceso de deterioro, con pérdida de cohesión entre los componentes de la capa, la macrotextura vuelve a crecer de forma significativa. Por lo que es importante en los análisis de auscultación, discernir si el valor del parámetro es bueno

(macrotextura correspondiente a una fase inicial) o es malo (el mismo valor en una fase terminal).

La macrotextura es necesaria para una adecuada resistencia al deslizamiento, a velocidad media y elevada (más de 60 km/hr) (FyR 7) con pavimento mojado. Además del rozamiento por deformación relacionado con la histéresis elástica del caucho, la rugosidad permite restablecer el contacto con adherencia, a alta velocidad. De este modo y mientras en zonas urbanas (velocidades moderadas) es adecuada una macrotextura moderada y una microtextura áspera, en carreteras interurbanas será conveniente que exista además una macrotextura rugosa (ver fig. 7).

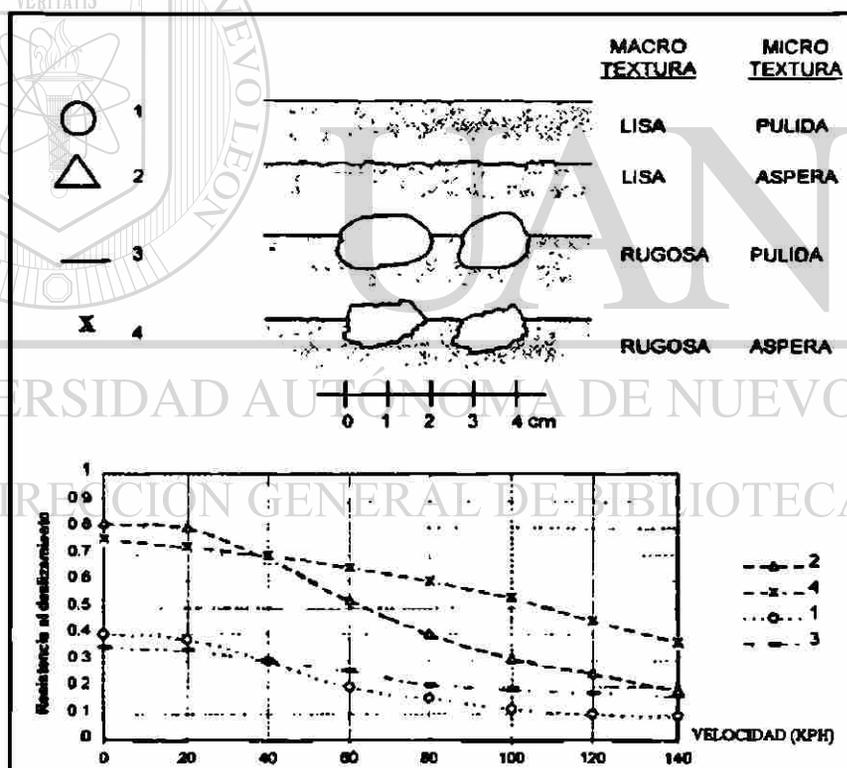


Figura 7. Influencia de la textura y la velocidad en el coeficiente de resistencia al deslizamiento.

La macrotextura tiene una pequeña influencia en el consumo de combustibles al aumentar la resistencia al rodamiento, pero puede estar compensada por una ligera disminución de la velocidad de circulación. Mejora la visibilidad y las propiedades ópticas del pavimento, al reducir las proyecciones de agua y

producir una reflexión difusa. Un drenaje más eficaz permite también una mejor visibilidad de las marcas viales y una evacuación inmediata del agua superficial, que redundará en mejorar la seguridad de operación, al evitarse el acuaplaneo.

Hay macrotexturas de dos tipos: la positiva y la negativa. La primera es típicamente la que se obtiene a través de los tratamientos superficiales (riegos de sello). La segunda se refiere a las mezclas porosas o drenantes. Ambas ofrecen, en diferente grado, las ventajas mencionadas. En cambio, son muy diferentes en lo referente al ruido. Mientras que con macrotextura aumenta el ruido en todas las frecuencias, las mezclas porosas llegan a disminuir sensiblemente el nivel de ruido, no sólo en el contacto rueda-pavimento, sino también, el producido por el motor, por absorción acústica.

En la figura 8, se esquematiza la condición existente en la superficie de contacto entre el neumático y el pavimento mojado.

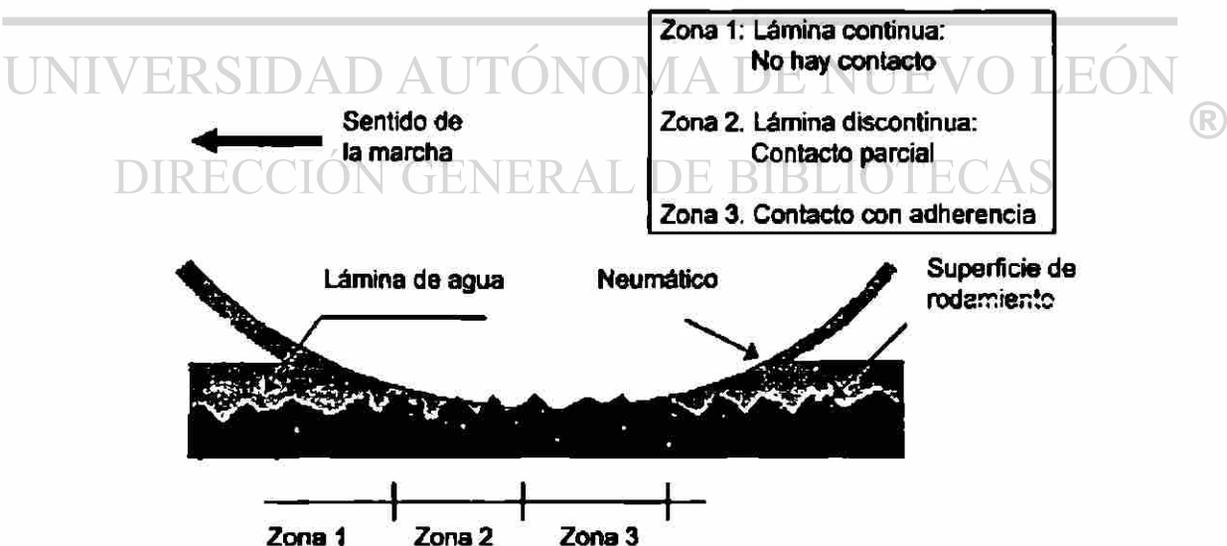


Figura 8. Condición de contacto entre una rueda en movimiento y una superficie mojada.

Ésta se puede dividir en tres zonas:

La zona 1, situada inmediatamente delante del neumático (según el avance), en ella existe una película de agua de grueso espesor, que desarrolla una presión hidrodinámica que "levanta" el neumático y disminuye el contacto con el pavimento.

La zona 2 representa la fracción de la huella del neumático que circula sobre una película fina de agua, una vez que la mayor parte ha sido previamente drenada en la zona anterior. En esta zona no existe presión hidrodinámica, pero sí otra presión en el agua, que depende de la velocidad de circulación, de la presión de inflado de los neumáticos y de la viscosidad del agua, que en general está contaminada por polvo, combustibles, etc., y que contribuye frecuentemente a derrapamientos sobre la superficie de rodamiento.

En la zona 3, se ha desplazado la película de agua y existe un contacto casi en seco entre el neumático y el pavimento. Para obtener una zona 3 de dimensiones suficientes, hay que eliminar el agua, por lo que se necesita una capacidad de evacuación mayor que la que proporciona el dibujo del neumático. Ésta se obtiene con la macrotextura suficientemente gruesa.

En la zona 3 y, en menor parte en la zona 2, la microtextura logra atravesar la película delgada de agua residual, para producir puntos de contacto en "seco" y asegurar así la adherencia. Al aumentar la velocidad o el espesor de la película de agua, disminuye la zona 3, aumenta la 1 y se reduce la adherencia, provocando el acuaplaneo.

El acuaplaneo o hidroplaneo se define como el fenómeno que se produce cuando un neumático que rueda o se desliza sobre una película de agua existente en un camino, pierde el contacto con el pavimento a causa de las presiones de agua que se desarrollan en la superficie de contacto del neumático con el pavimento, al incrementarse, en cierto intervalo, la velocidad del vehículo. Cuando la pérdida de contacto es total, no pueden desarrollarse

esfuerzos cortantes, por lo que el coeficiente de rozamiento entre el neumático y el pavimento desciende hasta valores de cero fricción.

Megatextura. La megatextura corresponde a irregularidades del tipo intermedio, relacionadas con la textura final y también con diversos tipos de fallas, degradaciones o reparaciones. Los pavimentos de adoquín pueden dar lugar también a este tipo de textura.

Esta gama de irregularidades aumenta, en particular, la resistencia al rodamiento y el nivel de ruido con frecuencias bajas. La conducción es más incómoda, por las vibraciones y las dificultades para mantener la estabilidad de marcha. Contribuye, además, al desgaste de los vehículos, incluidos los neumáticos, reduciendo la seguridad de los usuarios en la operación. Al contrario de lo que sucede con la microtextura y la macrotextura, las amplitudes de onda que define la megatextura no son deseables en ningún caso.

IV.9. CLASIFICACIÓN DE LAS DEGRADACIONES DEL PAVIMENTO.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

IV.9.1. Catálogo de Deterioros.

El catálogo de deterioros en los pavimentos flexibles pretende proporcionar una ayuda práctica para los ingenieros de campo y de proyecto, al describir con detalle los deterioros o fallas más comunes que se presentan en las carreteras de la red nacional mexicana.

Los deterioros enlistados en el catálogo, se subdividen, básicamente, en cuatro apartados; a saber: deformaciones, roturas, desprendimientos, y varios, según el fenómeno preponderante. Se hace notar que las causas mencionadas para

cada deterioro deben complementarse con un examen y análisis de cada problema en particular, para así disponer de un diagnóstico bien fundamentado.

Se considera que el catálogo complementa de una forma práctica, el Módulo de Inventario de Deterioros (INVEDET) del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos, SIMAP 1^a. Fase: Conservación, desarrollado en el Instituto Mexicano del Transporte.

Por último, se hace notar que el catálogo describe el mayor porcentaje de deterioros en pavimentos mexicanos, habiéndose complementado un pequeño número con información de catálogos similares de otros países.

IV.9.2. Degradaciones de tipo A.

Caracterizan un estado estructural del pavimento, ligado al conjunto de las capas y del suelo o solamente a la capa de superficie. Estas degradaciones tienen por causas una insuficiencia de capacidad de soporte del conjunto de las capas del pavimento, de la subrasante y de las terracerías. Intervienen en la investigación de la solución curativa en conexión con otros criterios, dentro de los cuales se puede citar la deflexión estática (ver tabla 3).

Estas degradaciones son:

- Las deformaciones.
- Las roderas.
- La fisuración (de fatiga).
- La fisuración en mallas.

IV.9.3. Degradaciones de tipo B.

Estas degradaciones necesitan reparaciones que generalmente no están ligadas a la capacidad de soporte. Sus orígenes son defectos de construcción, defectos de un producto (asfalto, agregado) o condiciones locales particulares que el tránsito puede acentuar (ver tabla 4).

Tabla 3. Nivel de gravedad de las degradaciones de Tipo A.

DEGRADACIÓN	GRAVEDAD		
	1	2	3
Deformaciones Roderas.	Sensibles para el usuario pero poco importantes. $F < 2$ cm	Graves deformaciones, asentamientos localizados o roderas. $2 < f < 4$ cm	Deformaciones muy graves afectando la seguridad o el tiempo de recorrido. $F > 4$ cm
Agrietamiento.	Fisuras finas en las huellas de las llantas o en el eje de la carretera.	Fisuras abiertas y/o ramificadas.	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas; arrancamientos en los bordes.
Piel de cocodrilo.	Piel de cocodrilo sin movimiento materiales; malla larga (> 50 cm).	Mallas reducidas (> 50 cm), a veces pérdidas de materiales arrancamientos y baches en formación.	Piel de cocodrilo muy abierta, mallas pequeñas (> 20 cm) en forma de adoquín, con pérdida de materiales.
Reparaciones.	Reconstrucción de todo o parte del cuerpo del terraplén.	Intervenciones superficiales para corregir defectos de tipo A.	
	Intervención en la superficie para corregir defectos de tipo B.	Buen comportamiento de la reparación.	Defectos aparentes sobre la reparación misma.

En las degradaciones de tipo B se pueden incluir:

- Las fisuras, (fuera de las fisuras de fatiga) es decir, las fisuras longitudinales de junta, las fisuras transversales de retracción térmica, las fisuras longitudinales o transversales de re-racción de las arcillas (deseccación), las fisuras debidas a una inestabilidad del conjunto de la carretera (media luna), etc.

- Los baches.
- Los desprendimientos y, de manera general, todos los defectos de la superficie de tipo exudación, pulimento, descascaramiento, etc.

Tabla 4. Nivel de gravedad de las degradaciones de Tipo B.

DEGRADACIÓN		GRAVEDAD		
		1	2	3
Fisura longitudinal de junta.		Fina y única.	Ancha (1 cm o más) sin desprendimiento o fina y ramificada.	Ancha con desprendimiento de los bordes o ancha y ramificada.
Baches.	Cantidad:	> 5	5 a 10 ; > 5	>10 ; 5 a 10
	Tamaño:	diá. 30 cm máx.	diá. 30 cm; diá. 1.00 m	diá. 30 cm; diá. 1.00 m
		Para 100 m de pavimento.		
Desprendimientos: descascarado, calavereo, pérdida de ligante, pérdida de agregado.		Puntuales sin aparición de la capa de base.	Continuos o puntuales con aparición de la capa de base.	Continuos con aparición de la capa de base.
Movimientos de materiales (por ejemplo, exudación).		Puntual.	Continuos sobre huellas de llantas.	Continuos sobre huellas de llantas y muy marcados.

IV.9.4. Desprendimientos.

Baches. 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.

Identación. Encajamiento de objetos duros en la superficie de rodamiento, produciendo identación 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 congelación. 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. Pequeñas depresiones en forma de cráter, por separación de los agregados gruesos de la carpeta asfáltica, dejando huecos en la superficie de rodamiento. Causas probables:

1. Falta de afinidad con el asfalto.
2. Escasez de asfalto.
3. Expansión del agregado grueso.

Erosión avanzada de taludes. Agrietamiento transversal en acotamientos, que con el tiempo y acción del medio ambiente, va formando oquedades o canalizaciones transversales, hasta llegar a la destrucción total de los taludes del cuerpo del terraplén. Causas probables:

1. Acción del viento.
2. Acción de la lluvia.
3. Falta de protección de taludes.
4. Falta de arropamiento en taludes.
5. Mala compactación.
6. Escasez de drenaje superficial.

Erosión total. 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 de aguas adyacentes al cuerpo del terraplén.
5. Mala compactación de las capas interiores.
6. Falta de armado o arropo en los taludes de los terraplenes.

Pulido de superficie. Desgaste acelerado en la superficie de la capa de rodamiento, que produce 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.

Desintegración. Deterioro grave de la carpeta asfáltica, en pequeños fragmentos, con pérdida progresiva de los 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 arcilla 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. 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 el 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 la capa subyacente.

5. Espesores insuficientes.
6. Ejecución de los trabajos en malas condiciones de clima.

Erosión longitudinal de carpeta. 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 el viento.
4. Ciclos de hielo y deshielo.
5. Crecimiento significativo de hierba en los acotamientos.
6. Sobrecargas de pesos en los acotamientos.
7. Mala compactación de las capas.

IV.9.5. Deformaciones.

Burbuja. Ampolla de tamaño variable, localizada en la superficie de rodamiento.

Causas probables:

1. Presiones de vapor o aire en zonas de la capa de rodamiento.
2. Debilidad en el espesor o la consistencia.
3. Liberación de cal en las bases estabilizadas.

Roderas o canalizaciones. 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 capas subyacentes.

Ondulaciones transversales (corrugaciones). 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 que 60 cm entre ellas. Causas probables:

- 1. Unión deficiente entre las capas asfálticas y/o la base.**
- 2. Deficiente estabilidad de la mezcla.**
- 3. Intensa acción de tránsito.**
- 4. Bases de mala calidad.**
- 5. Fuerzas tangenciales producto de aceleraciones y frenado de vehículos.**
- 6. Mala calidad de los materiales que conforman la carpeta.**
- 7. Deformaciones diferenciales de los suelos de cimentación, que se reflejan en las capas superiores.**

Protuberancias. Desplazamiento de parte del cuerpo de la carpeta asfáltica hacia la superficie, formando un montículo de considerables dimensiones. Causas probables:

- 1. Acción del tránsito intenso.**
- 2. Estabilidad inadecuada.**
- 3. Liga deficiente entre las capas.**
- 4. Compactación inadecuada.**
- 5. Deformaciones plásticas de los materiales.**
- 6. Acción de heladas.**

Asentamiento transversal. 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 deficiente.
10. Contaminación de capas inferiores.
11. Desplome de cavidades subterráneas.

Asentamientos longitudinales. Áreas 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 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 deficiente.
10. Contaminación de capas inferiores.
11. Desplome de cavidades subterráneas.
12. Canalización del tránsito.

Crestas longitudinales masivas. Montículos o crestas en el sentido paralelo al eje del camino. Suelen presentarse dos y hasta cuatro 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.

Desplazamiento transversal de la sección del pavimento. Protuberancias prolongadas de magnitudes considerables en la dirección del tránsito, al borde de la carretera, que causan destrucción total en un corto plazo. Causas probables:

1. Fuertes asentamientos longitudinales.
2. Falta de capacidad estructural del conjunto de las capas del pavimento.
3. Sobrecargas intensas.
4. Nula estabilidad de la carpeta.
5. Nulo soporte lateral o confinamiento.
6. Insuficiente valor relativo de soporte de las cargas.
7. Nula compactación.

IV.9.6. Roturas.

Grietas en el pavimento. Durante los últimos años, han ocurrido avances significativos en el conocimiento de materiales y métodos para el sellado de grietas en los pavimentos de concreto asfáltico. El sellado de las grietas se ha transformado de un proceso de mantenimiento de poco rendimiento, muchas

veces inefectivo, a una técnica de mantenimiento preventivo viable, de costo efectivo, que puede extender la vida útil de los pavimentos.

En forma global, se puede decir que la gran mayoría de los pavimentos son de concreto asfáltico. El intervalo de estas pavimentaciones varía de pavimentaciones secundarias de subdivisiones municipales cubiertas de "seal coats" a pavimentos de gran espesor de concreto asfáltico en carreteras principales. La gran mayoría de los pavimentos de concreto asfáltico, cuando apenas tienen varios años de edad, ya están mostrando grietas de varios tipos.

El sellado de las grietas en los pavimentos de concreto asfáltico es considerado por muchos como una tarea de mantenimiento de baja prioridad, inefectivo, que es hecho sólo después de que se completan otras actividades de mantenimiento de los pavimentos; como recarpeteos, "seal coats" y "fog seals"; y así mismo, sólo si sobra tiempo, recursos y dinero suficiente. Dada esta posición, no se sellan algunas grietas en muchos kilómetros de pavimentaciones, cada año lo cual produce un deterioro acelerado del pavimento, debido a la entrada de humedad y a la oxidación creciente del ligante.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Durante la última década se han dado pasos significativos de mejora en los materiales sellantes y en las técnicas para el sellado de grietas. El sellado de grietas no es más una tarea inefectiva que demora mucho. Con los materiales y equipos existentes hoy en día, el sellado de grietas tiene un avance de baja prioridad en la tarea de mantenimiento, frente a una técnica de mantenimiento preventivo viable y efectivo que puede aumentar significativamente la vida útil de pavimentos de concreto asfáltico.

IV.9.6.1. Agrietamiento en los pavimentos de concreto asfáltico.

IV.9.6.1. Agrietamiento en los pavimentos de concreto asfáltico.

Los sistemas de pavimentos de concreto asfáltico son típicamente compuestos de un subgrado compactado, una base granular y una capa de concreto asfáltico superficial. En contraste con los pavimentos rígidos de concreto hidráulico, los pavimentos asfálticos son diseñados para formar sistemas flexibles que pueden formarse sin rajarse o agrietarse cuando son sujetos a pesos vehiculares y a contracciones y expansiones debidos a los efectos térmicos o movimientos del subgrado y cambios de volumen.

Varios factores pueden influenciar el grado de flexibilidad de los pavimentos asfálticos, incluyendo las temperaturas ambientales, las características del agregado, la rigidez del cemento asfáltico, la susceptibilidad a temperaturas del cemento asfáltico, el contenido del asfalto en la mezcla y el grado de compactación. Cada uno de estos factores pueden tener un efecto significativo en la rigidez y la flexibilidad del pavimento. Es de interés especial conocer las características de rigidez y susceptibilidad a los cambios de temperaturas de los cementos asfálticos, con respecto al agrietamiento de pavimentos.

Estudios realizados por el IMT y la SCT, principalmente, han demostrado que la viscosidad de los cementos asfálticos en servicio puede aumentar de 10 a 50 veces en cuatro años, dados los efectos de envejecimiento, por razón de oxidación. La aceleración y magnitud del envejecimiento está relacionado a muchos factores, incluyendo el grado de la compactación de la mezcla, el contenido del cemento asfáltico, las características de la absorción del agregado y el clima.

En pavimentos muy viejos, son comunes viscosidades de cemento asfáltico recobrados a 60°C de 500000 poises y mayores lo cual indica que la viscosidad puede aumentar, dado el envejecimiento en servicio, al largo plazo, hasta 125 veces (asumiendo una viscosidad inicial a 60°C de 4000 poises) (FyR 5).

Los pavimentos de concreto asfáltico que contienen cementos asfálticos que han envejecido significativamente no son flexibles, como cuando fueron construidos, debido al aumento de la rigidez del cemento asfáltico. El aumento de la rigidez del pavimento resulta en un pavimento que tiene la habilidad reducida de redistribuir las tensiones causadas por deformaciones térmicas o por efectos de cargas. Estas grietas ocurren cuando el pavimento está sujeto a cargas de tráfico pesado, temperaturas frías, bajas bruscas de temperatura o movimientos del subgrado.

Se han hecho estudios considerables sobre las influencias de la mezcla del concreto asfáltico y las propiedades de los componentes en la formación de grietas. La mayoría de estos estudios han determinado que varias propiedades de las mezclas pueden influenciar la formación de grietas, pero se ha descubierto que las propiedades del cemento asfáltico tienen que tener efectos más significantes. En general, los cementos asfálticos de grados más rígidos resultan en un aumento de grietas debido a las bajas temperaturas.

Adicionalmente, los cementos asfálticos con un alto grado de susceptibilidad a las temperaturas, como los indicados por el Índice de Penetración (PI) o Número de Pen-Vis (PVN), tienen un potencial de agrietamiento mayor, que los asfaltos con susceptibilidad a temperaturas bajas.

IV.9.6.2. Tipos de grietas.

Varios tipos de grietas pueden ocurrir en los pavimentos de concreto asfáltico durante, el envejecimiento del mismo. La mayoría de las grietas pueden ser clasificadas como: relacionadas con las temperaturas, o relacionadas con la fatiga. Las grietas reflexivas, en un recarpeteo nuevo de concreto asfáltico, constituyen otro tipo de grieta muy común.

Grietas de reflexión. 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 las capas.
3. Posibles contracciones de la capa subyacente.

Grietas de reflexión tipo 2. Agrietamiento de la carpeta asfáltica, siguiendo o no un patrón determinado. Causas probables:

1. Falta de unión en las grietas de capas inferiores.
2. Agrietamiento de capas inferiores.
3. Movimiento de capas subyacentes.
4. Contracción o dilatación de las bases estabilizadas con cemento.

Agrietamiento parabólico. Grietas en forma de parábola o de media luna, que se forman en la carpeta asfáltica, en la dirección del tránsito. Causas probables:

1. Débil carpeta de rodamiento.
2. Zonas de frenaje de las ruedas.
3. Mezcla inestable.
4. Efecto en el arranque de las ruedas.

Grieta errática o en zig-zag. 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. Pequeñas fisuras superficiales muy próximas la una con la otra, ya que no conforman un patrón regular y que 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 la carpeta asfáltica.
5. Compactación efectuada con mezclas muy calientes.

Agrietamiento "piel de cocodrilo". Fisuras en la superficie de la carpeta asfáltica, que forman 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 resilientes de cimentación.
4. Fuertes sollicitaciones del tránsito.
5. Fatiga.
6. Envejecimiento.
7. Escasez de espesor de la carpeta.
8. Evolución progresiva de agrietamiento, tipo mapa.

Agrietamiento tipo mapa. 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 que 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 resilientes de cimentación.
4. Fuertes sollicitaciones del tránsito.
5. Fatiga.
6. Envejecimiento.
7. Espesor escaso de la carpeta.

Grieta transversal. 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 de juntas transversales de construcción.

Agrietamiento longitudinal. 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 la capa de base.
3. Asentamiento de las capas por el tránsito.
4. Espesor insuficiente.
5. Contracción de los materiales de la capa de rodamiento.
6. Asentamientos aislados de las capas interiores.
7. Drenaje insuficiente.

Agrietamiento longitudinal en el hombro del terraplén. Líneas de rotura producidos 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 del equilibrio hidráulico.
4. Degeneración por fallas de talud.
5. Empuje hidrostático de agua almacenada.
6. Influencia de la compactación (nula / poca / excesiva).
7. Susceptibilidad de los suelos finos al agrietamiento.
8. Uso de materiales finos muy plásticos.
9. Acción capilar intensa.
10. Fuerte acción solar.
11. Alteración del período seco-lluvia.

En resumen, podemos definir lo siguiente:

Grietas térmicas. Son grietas térmicamente relacionadas, que aparecen como grietas transversales y longitudinales y resultan de la inhabilidad del concreto asfáltico para redistribuir las tensiones horizontales que acontecen sobre la anchura y longitud del pavimento, cuando las temperaturas bajan. En pavimentos diseñados y construidos propiamente, las grietas transversales extienden la anchura completa del pavimento y ocurren en extensiones largas (mayores de 30 m), normalmente los primeros.

En cuanto la pavimentación envejece y el cemento asfáltico se torna rígido, las grietas transversales aparecen en extensiones menores y pueden estar presentes en pavimentos viejos a distancias menores que 3 m. Las grietas longitudinales térmicamente relacionadas ocurren cuando la rigidez del pavimento es tal, que las tensiones producidas térmicamente en las direcciones transversales no pueden ser distribuidas adecuadamente por el pavimento. Estas grietas normalmente aparecen como una única grieta, cerca del centro de

la anchura del pavimento, en pavimentos de dos fajas, o a distancias de 3 a 4.5 m para pavimentos más largos. Las grietas transversales térmicamente relacionadas tienden a aparecer en los pavimentos, en 1 a 3 años, mientras que grietas longitudinales empiezan poco después.

Grietas de fatiga. Grietas de fatiga o de “piel de cocodrilo” son generalmente causadas por la inhabilidad del pavimento para redistribuir las tensiones resultado de deformaciones verticales causadas por los pesos del tráfico o fallas de la base o subbase. Las grietas de fatiga generalmente aparecen en forma de bloques, en extensiones de 10 a 30 cm. El agrietamiento muchas veces es localizado y se presenta donde existe más humedad, espesor inadecuado de la base, o mala compactación de la base o subgrado; los agrietamientos de fatiga suelen prevalecer en las huellas de los neumáticos, en la pavimentación de alto volumen.

En pavimentos diseñados y contruidos apropiadamente, las grietas de fatiga aparecen en las huellas de los neumáticos; ésto ocurre cuando el pavimento llega cerca del final de su vida útil. Estas grietas de fatiga pueden ocurrir dentro de un corto plazo de la construcción del pavimento en áreas en que ocurren las deficiencias de la construcción o sobre la carga. Siguiendo períodos de clima húmedo, las grietas de fatiga pueden ocurrir al lado de grietas térmicas abiertas, provocando el efecto de fractura, por la entrada del agua superficial en las capas de las bases y subgrado de las grietas abiertas.

Grietas reflexivas. Las grietas reflexivas en el recarpeteo del concreto asfáltico son causadas por las transferencias de discontinuidad de los movimientos horizontales o verticales de los materiales de pavimentación de abajo, a un área localizada del recarpeteo. Estas grietas resultan de acuerdo con la capacidad del recarpeteo de concreto asfáltico, para ajustarse a estos movimientos. Las causas típicas de grietas reflexivas en recarpeteo incluyen:

1. Agrietamiento arriba de las juntas de expansión y contracción, en el concreto hidráulico dado el movimiento horizontal localizado o inducido por la expansión y contracción térmica del concreto en la junta. También pueden resultar grietas reflexivas de los movimientos verticales de las fallas en las juntas.
2. Agrietamiento arriba de las grietas, en pavimento de concreto hidráulico, dado el movimiento horizontal o vertical diferencial de las secciones de la losa.
3. Agrietamiento arriba de las grietas térmicas transversales y longitudinales, en pavimentos de concreto asfáltico, dado el movimiento horizontal localizado, resultado de efectos térmicos o movimientos localizados de fallas verticales diferentes, resultado de pesos vehiculares.
4. Agrietamiento arriba de las áreas fatigadas, en el pavimento de concreto asfáltico, dados los movimientos localizados verticales diferenciales, en las áreas fatigadas.

Los agrietamientos reflexivos de las capas de concreto asfáltico y su prevención son una precaución principal, cuando se están recarpeteando pavimentos antiguos; pues grietas reflexivas pueden reducir grandemente la vida útil de las capas.

IV.9.7. Varios.

Llorado de asfalto. 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. Muy elevada temperatura de compactación.

4. Sobredosificación de riego de liga.

Afloramiento de humedad. 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. 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 de neumáticos por tránsito compactador.

Contaminación de agregados. 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. Pobre control de calidad.

3. Contaminación de bancos de agregados.

Expulsión de finos. Material fino sobre la superficie de rodamiento, acumulado en zonas adyacentes a las grietas. Causas probables:

1. Acumulación de agua libre en las capas subyacentes.
2. Exceso de finos en las capas de la sección del pavimento.
3. Expulsión de cemento a través de grietas, en bases estabilizadas.
4. Acción del tránsito intenso.

Crecimiento de hierba a través de la carpeta. Producto de agrietamiento en acotamientos y en los hombros de la carretera; la hierba silvestre crece, aflorando por las grietas y avanzando con la humedad, hasta prácticamente erosionar o destruir parte de la carpeta. Causas probables:

1. Deficiente drenaje superficial.
2. Inadecuadas labores de conservación.
3. Falta de sellado de las grietas cuando aparecen.

Crecimiento de hierba entre carpeta y cuneta para drenaje superficial. 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.

Obstrucciones de alcantarillas. La hierba silvestre invade y crece en las alcantarillas para el drenaje, obstruyendo parcial o totalmente el flujo del agua, además de obstruir el señalamiento geométrico. Causas probables:

1. Conservación inadecuada.

Azolve en el drenaje superficial. Arrastre de material suelto que, por falta de conservación periódica, tapa o azolva el drenaje superficial; repercute en un mal comportamiento de la sección del pavimento. Causas probables:

1. Descuido y falta de oportunidad en el mantenimiento preventivo de un camino.

Obstrucción del drenaje por desprendimiento de rocas. En taludes muy verticales, es frecuente el desprendimiento de rocas sobre la carretera y, en especial, en los acotamientos para el 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.

Borde longitudinal o elevación diferencial de la carpeta entre carriles. Cambio brusco del perfil transversal de la superficie de rodamiento, entre el tendido de capas. Causas probables:

1. Deficiencia en los procedimientos constructivos.
2. Deficiencia en el control de calidad.
3. Asentamientos longitudinales.
4. Discontinuidad en el bombeo.

Capítulo V: MÉTODO PARA LA EVALUACIÓN Y EL DIAGNÓSTICO DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES EN LAS CARRETERAS.

V.1. ESTUDIOS PRELIMINARES.

Los estudios preliminares constituyen una tarea clave del estudio del presupuesto. Es la fase de concepción de las obras de mantenimiento vial, y en particular, de los trabajos de reconstrucción, para los cuales se necesita un diseño detallado completo de la sección de carretera a reconstruir. Estos estudios no deben contemplar solamente el pavimento, sino también, y en primer lugar, las partes de la carretera que contribuyen a la estabilidad de la estructura: entorno geográfico (geología, hidrogeología, tectónica, hidrología, vegetación, ecología, etc.), estabilidad del volumen, drenaje de las aguas superficiales y subterráneas, terracerías, etc. Será también necesario emprender un inventario exhaustivo de las fuentes de materiales de construcción existentes en la región y, por fin, estudiar diferentes soluciones para diseñar el pavimento.

Durante estos estudios preliminares se efectúan los estudios económicos que contemplan las diferentes soluciones técnicas para las obras de mantenimiento y los diferentes factores económicos (tránsito generado, tránsito derivado y otros).

Para clasificar con mayor precisión ($\pm 20\%$), los resultados de los cálculos de Planeación Nacional, es necesaria esta fase preliminar, que corresponde a un estudio de factibilidad.

Estos estudios se contratan, en su mayoría, con una consultoría privada, ya que la Secretaría no cuenta con la capacidad, en equipo y en personal, para realizar estos estudios.

El Banco Mundial redactó y aprobó términos de referencia muy detallados, que luego comentó a los consultores; pero parece que en el campo no son aplicables estas prescripciones, por falta de supervisión.

V.1.1. Estudios técnicos.

Es sorprendente constatar que en México se utilizan métodos de estudio obsoletos, que no corresponden a la magnitud de la red y a los problemas específicos de este país.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Es el único gran país de América Latina que no tiene instrumentos de medida de deflexiones con gran rendimiento. Se continúa utilizando la tradicional Viga Benkelman y algunos instrumentos modernos que dan excelentes resultados pero con un rendimiento muy bajo.

Se considera en México la deflexión como una medida que permite un diseño del pavimento. Esta es una noción ahora obsoleta. La deflexión tiene solamente un papel de indicador.

Una temperatura corporal elevada indica un estado enfermizo, no la naturaleza de la enfermedad. Un valor importante de la deflexión indica un defecto, pero no puede precisar su origen ni tampoco su naturaleza.

Un valor de la deflexión importante; 2 mm por ejemplo, indica un problema que puede venir del pavimento, de las terracerías, de una antigua alcantarilla metálica, olvidada en un terraplén, etc.

Durante estos estudios técnicos preliminares, el ingeniero debe utilizar al máximo los resultados de los inventarios "a pie" y limitar las investigaciones "in situ". Su trabajo es más un trabajo de reflexión que de aplicación de reglas precisas o de fórmulas.

Debe dedicarse, sobre todo, al estudio de las causas de los daños y contemplar todas las soluciones posibles para la reconstrucción de la carretera, teniendo en cuenta las obras de drenaje, el mejoramiento de la estabilidad de las plataformas y el mejoramiento de las terracerías, para aumentar la capacidad de soporte de la subrasante. Esto significa que debe estar en el campo durante un período bastante largo y no confiar las operaciones y los estudios importantes a técnicos o topógrafos.

Él mismo debe estudiar en forma preliminar todas las soluciones posibles para la construcción de los pavimentos, teniendo en cuenta los costos de construcción y el mantenimiento durante un período determinado y considerar la construcción de la capa de rodamiento por etapas sucesivas. Para realizar estos estudios se puede apoyar en catálogos de pavimentos existentes.

Especialmente evitará utilizar estos métodos de construcción tradicionales, todavía utilizados en México y que conducen a resultados discutibles:

- Renivelaciones, carpetas y riegos de sello posteriores; que corrigen los efectos de los daños, pero no las causas. Estos efectos se pueden repetir a veces 3 meses después de las obras.

- **Concretos asfálticos con materiales de granulometría abierta, que necesitan un porcentaje de asfalto muy elevado (más de 14%) y que deben ser recubiertos un año después de su construcción, por un riego de sello. Este riego de sello sirve para cerrar las numerosas fisuras que se producen por razón de exceso de asfalto y, para asegurar una cierta rugosidad para la seguridad del usuario. El costo de este proceso supera en 20% el precio de un concreto asfáltico construido en una sola vez, con métodos adecuados (FyR 3).**
- **Se puede constatar que la utilización de las escorias volcánicas (tezontles) para capa de base, concretos asfálticos y riegos de sello conduce a períodos de vida muy cortos. Esta escoria tiene un coeficiente de desgaste demasiado alto para ser utilizado en las carreteras de tránsito pesado o de tránsito mediano. Se podrían estudiar procedimientos de utilización de estos materiales para base con el uso de estabilizantes, empleando métodos de ensayo específicos.**

Para comparar las diferentes soluciones técnicas estudiadas, no se necesitará el uso de programas sofisticados. Para estudiar soluciones en tramos relativamente cortos (20 a 50 km), es suficiente utilizar los paquetes informáticos existentes para calcular los indicadores económicos clásicos y efectuar los cálculos de sensibilidad. Lo más importante es la utilización de parámetros "mexicanos" y no el uso de coeficientes y parámetros procedentes de métodos y países extranjeros.

En este nivel técnico, las analogías se efectúan comparando las reducciones en los costos de operación de los vehículos, estudiados localmente y no utilizando las ventajas debidas a otros factores económicos. Para efectuar los cálculos económicos de comparación necesarios, es suficiente utilizar los paquetes informáticos existentes (Lotus 123 V3.1, Quattro Pro 5, etc.).

V.1.2. Estudios económicos.

Las tareas a ejecutar durante la fase económica corresponden a un diagrama de flujo clásico, de un estudio de factibilidad. Sin hacer una lista exhaustiva de las tareas a ejecutar, se pueden citar las siguientes actividades.

- Estudios de tránsito (composición, volumen por tipo de vehículo, etc.).
- Estudio de las cargas por eje.
- Estudios de los tránsitos, derivados y generados.
- Estudios del costo de operación de vehículos, con y sin proyecto, utilizando realmente parámetros y factores locales.
- Estudios de los beneficios relativos al valor del tiempo; se deberán efectuar medidas reales de velocidad en secciones típicas y no en análisis teóricos usando manuales extranjeros o normas geométricas que no corresponden a la realidad (problemas de los topes, en particular).

El cálculo económico se efectúa comparando:

- La lista de las inversiones, incluyendo eventualmente los gastos necesarios para la solución de referencia.
- El flujo anual de las ventajas económicas, que incluye las economías sobre el costo de operación de los vehículos, ligadas al tránsito normal o derivado; las ventajas ligadas al tránsito generado o las ventajas a los productores, y las economías en mantenimiento vial (positiva o negativa).
- El valor residual de la carretera, al fin de su vida útil.

Los cálculos económicos se acompañan con un análisis de sensibilidad.

No es obligatorio ni necesario utilizar sistemas informáticos complicados, para estos estudios económicos. Los paquetes comerciales son suficientes para efectuar los cálculos de los indicadores.

V.1.3. Primer análisis integral.

Estos estudios preliminares concluyen en un examen de los resultados de parte de un grupo de análisis. Es posible que durante esta primera síntesis, las acciones previstas en algunos tramos sean rectificadas y se puede decidir, por ejemplo, posponer una obra de reconstrucción y proponer un mantenimiento de espera.

V.1.4. Afinación de los estudios técnicos y económicos.

En la fase anterior, se determinan los tramos que se vana a estudiar y las soluciones que se van a emplear para la realización de las obras. El objetivo de esta afinación es la elaboración de los planos de construcción que se van a utilizar para la licitación y para la realización de las obras.

Los términos de referencia para estos tipos de diseño fueron ya redactados para los estudios de los tramos del programa.

Es útil recordar el alcance de las tareas y la lista de los documentos a someter a la Dirección Técnica:

- El levantamiento detallado de las obras existentes, incluyendo la superficie del pavimento.
- El estudio detallado de la red de drenaje.
- El estudio de la lucha contra la erosión.
- El estudio de la estabilidad de los taludes y terracerías.
- La determinación de las zonas homogéneas.
- El estudio de las causas de las degradaciones.
- El estudio de los pavimentos.

- **El diseño geométrico de la superficie del pavimento, incluyendo la optimización de las cantidades de obras.**
- **El estudio de los dispositivos de seguridad vial.**
- **Las especificaciones técnicas particulares de construcción.**
- **El cálculo de las cantidades y estimaciones de los costos.**
- **Los estudios económicos detallados.**

Los estudios económicos, en esta etapa, son solamente una actualización de los estudios preliminares anteriores, y se integran de conformidad con los acuerdos establecidos con el Banco Mundial.

V.2. CONSIDERACIONES BÁSICAS.

Uno de los aspectos de una carretera, que interesa conocer, es el estado de la superficie de apoyo; denominada capa de rodamiento, ya que de ésta depende la valoración del usuario para la carretera, en su conjunto. En ella aparecen, antes o después, los problemas propios de todas las capas que conforman el pavimento.

Algunas características superficiales de los pavimentos son:

- **Regularidad superficial.**
- **Resistencia al deslizamiento o derrapamiento.**
- **Drenaje superficial.**
- **Permeabilidad.**
- **Resistencia al rodamiento.**
- **Consumos debidos al contacto neumático-pavimento.**
- **Propiedades reflejantes y de color.**
- **Proyección del agua, al paso de los vehículos.**

- **Ruido entre el contacto neumático-pavimento.**

Las características superficiales de los pavimentos influyen en diversos aspectos del funcionamiento de una carretera, tales como: seguridad, comodidad, tiempos de recorrido, costos de operación y dinámica de los vehículos que circulan. Su duración depende del proyecto inicial, de la calidad de construcción del pavimento, de los materiales utilizados, y del desgaste producido por los vehículos, así como del deterioro producido por los factores climáticos, entre otros.

Hay varias razones para evaluar la capacidad de los pavimentos y muchas maneras de hacerlo. En cada caso, sin embargo, el primer paso consiste en supervisar o medir algunas características del pavimento. Así, la evaluación involucra el análisis de los datos obtenidos, a través de algún proceso teórico o empírico, para estimar con un razonable grado de precisión la capacidad de carga y la vida de servicio del pavimento según las condiciones esperadas del tránsito.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En relación con el tema de la evaluación, es importante tomar en cuenta las necesidades de la red total de carreteras de la unidad administrativa considerada (en este caso el país) y las necesidades de un proyecto en particular, dentro de la red. Por ejemplo; el comportamiento de los tramos de la red, en diferentes acciones o la asignación de recursos se determinará a partir del análisis, en el nivel de red y estos criterios de decisión eventualmente influirán en la disponibilidad de fondos para la rehabilitación de algún proyecto en particular. Los sistemas de administración o gestión de pavimentos (SGP) deben incluir procedimientos para analizar la red en su conjunto, por lo menos en un suficiente nivel de detalle, para establecer una imagen inicial que permita definir proyectos candidatos. Asimismo, las decisiones sobre las acciones específicas de mantenimiento a realizar en cada proyecto deberán tomarse con base en la información más detallada. Por lo tanto, los SGP deben tomar en

cuenta los requerimientos de información tanto del nivel de red como del nivel de proyecto.

El primer paso en cualquier evaluación es encontrar un indicador con el cual trabajar. Sus valores específicos, para los diferentes segmentos de la red bajo estudio, pueden obtenerse a partir del plan general de supervisión de la red, aplicable a todos los tipos de datos de evaluación. La supervisión casi siempre se realiza a través de la medición de deflexiones o curvaturas de la superficie del pavimento, sujeta a cargas estáticas o repetidas (dinámicas).

La necesidad de realizar una evaluación puede ser señalada por otros tipos de evaluación, tales como la revisión de la calidad de servicio de la superficie o la supervisión de los daños sobre la misma.

En el programa de evaluación preliminar o de nivel de red se requieren algunos valores límite o criterios que ayuden a determinar el momento en que deba realizarse una evaluación más detallada. Estos pueden ser indicadores de otros tipos de evaluación, pero para supervisión comúnmente se utilizan niveles límite de deflexión, para una prueba de carga específica. Con este fin, puede también emplearse la información proveniente de otros tipos de evaluación periódica, como la de resistencia al derrapamiento, la calidad de servicio de la superficie y el registro de daños sobre la misma. Estos elementos deben ser complementados con la continua observación del ingeniero de mantenimiento vial, una persona muy importante del equipo de administración de pavimentos, quien debe reportar cualquier cambio rápido o inusual en el comportamiento o condición de los pavimentos.

V.3. EVALUACIÓN NO-DESTRUCTIVA.

La diferencia entre evaluación destructiva y no destructiva depende normalmente de la alteración física de los materiales, ya que la primera significa la destrucción del pavimento mediante la excavación de un pozo para muestreo, en cambio la evaluación no destructiva se refiere a las mediciones de la respuesta de un pavimento a una fuerza externa o transmisión de energía, donde el pavimento no es alterado por las mediciones y tales mediciones pueden ser repetidas tantas veces como sea necesario.

Muchas técnicas efectivas de evaluación involucran la medición de deflexiones o curvaturas de la superficie de rodamiento, expuestas a cargas estáticas o dinámicas, combinándolas con pequeños corazones o testigos para obtener los espesores y muestras de los materiales subyacentes para probarlos posteriormente en el laboratorio. Estos métodos serán considerados como no destructivos en discusiones subsiguientes, ya que no involucran alteraciones graves del pavimento.

En principio, es importante reconocer que existen muchos métodos analíticos para la evaluación de los pavimentos. Las cuatro clases más importantes de ellos son:

- La comparación empírica del comportamiento medido, usualmente deflexiones, con deflexiones permisibles estimadas a partir del comportamiento pasado, observado de pavimentos.
- La comparación del comportamiento medido (generalmente deflexiones) contra criterios permisibles calculados a partir de modelos de sistemas multicapa, usualmente en términos de deflexiones.
- El uso de un método de diseño existente para estimar la vida remanente de un pavimento o su capacidad para soportar cargas de tránsito, a partir del comportamiento observado (generalmente deflexiones).

- **Métodos combinados que utilizan pruebas de materiales para generar datos de entrada a análisis teóricos de fatiga y mediciones de comportamiento (generalmente deflexiones) para proporcionar criterios límite.**

Los tres primeros enfoques han sido usados exitosamente, en condiciones limitadas. Estos son difíciles de adaptar a cambios en los materiales, los ambientes o los límites de carga. El cuarto método ofrece la solución más general al problema de la evaluación.

Los métodos de prueba no destructivos se clasifican generalmente en cuatro categorías generales:

- ***Medición de la respuesta a una carga estática o a la aplicación simple de una carga con movimiento lento.*** Se obtiene midiendo la deflexión de la superficie del pavimento bajo la carga. Los instrumentos más comunes que se emplean para hacer estas mediciones son: la Viga Benkelman, el Deflectómetro viajero, y el Deflectómetro de Lacroix. Este método no representa adecuadamente los efectos de las cargas circulantes del tránsito y no permite fácilmente determinar el nivel de transferencia de carga en juntas y grietas de pavimentos rígidos.
- ***Medición de la respuesta a una carga compuesta por una parte estática y otra repetida o dinámica de tipo senoidal.*** Las deflexiones se miden a través de sensores inerciales de velocidad (geófonos), los equipos de este tipo más comúnmente usados son: el Dynaflect, y el Calificador de Caminos (Road Rater). Una desventaja es que dan lugar a deflexiones bajas no representativas y, adicionalmente, la frecuencia de la carga dinámica afecta la deflexión resultante, siendo generalmente difícil

establecer una frecuencia de carga que sea representativa del paso de los vehículos.

- **Medición de la respuesta a una carga dinámica de impacto.** Se emplean geófonos para medir las deflexiones, el equipo que se utiliza es el FWD (Falling Weigh Deflectometer), una ventaja que tiene es su habilidad para modelar adecuadamente las cargas circulantes del tránsito, tanto en magnitud como en duración; produciendo una deflexión causada por un vehículo en movimiento. Otras ventajas son su habilidad para medir el nivel de transferencia de carga en juntas y grietas; ya que detecta la presencia de oquedades, registra la cuenca de deflexiones y la velocidad con que pueden realizarse las pruebas; por lo que viene a ser el equipo más conveniente. Dentro de las versiones comerciales de este equipo se encuentran: el Dynatest, el KUAB, y el Phoenix FWD.
- **Medición continua de la respuesta ante la aplicación de una carga rodante también continua.** El aparato que se emplea es el RWD (Rolling Wheel Deflectometer), el cual mide deflexiones del pavimento continuamente y con buena precisión, utilizando sensores con base en rayos láser; sin embargo, aún se encuentran en desarrollo sus diferentes versiones actuales.

De alguna manera, el orden anterior de presentación señala la secuencia en que dichos métodos han sido desarrollados tecnológicamente y utilizados en la práctica de la conservación vial.

La tabla 5, muestra las características básicas de algunos equipos existentes de evaluación no destructiva de pavimentos; todos ellos pueden adquirirse desde México.

Tabla 5. Características básicas de equipos para la evaluación estructural no-destruccion de pavimentos.

APARATO	TIPO DE UNIDAD	CARGA PRINCIPAL	SISTEMA DE CARGA	CARGA ESTÁTICA (kg)	FUERZA DINÁMICA (ibf)	CARGA TRANSMITIDA POR	DISPOSITIVO PARA LA LECTURA	MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
Viga Benkelman.	Operación manual.	Rueda en movimiento.	Camión cargado.	(a)	N/A	Ruedas de camión.	Manómetro.	Manual.
Deflectómetro Viajero de California.	Control automatizado.	Rueda en movimiento.	Camión cargado en movimiento.	(a)	N/A	Ruedas de camión.	Traductor de deflexiones.	Manual, impreso o automatizado.
Deflectógrafo La Croix.	Control automatizado.	Rueda en movimiento.	Camión en movimiento cargado con blocks o agua.	(a)	N/A	Ruedas de camión.	Traductor de deflexiones.	Manual, impreso o automatizado.
Dynalect.	Montado en remolque.	Vibración uniforme (frecuencia 8 Hz).	Vibración por rotación de masas.	953	1000	Dos ruedas de acero (diám. 40 cm) cubiertas de uretano.	5 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
Model 400 B Road Rater.	Montado en remolque.	Vibración uniforme (frecuencia 6 - 60 Hz).	Movimiento de masas por sistema hidráulico.	1090	200 - 3000	Dos blocks de 10 x 17.5 cm	4 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
Model 2000 Road Rater.	Montado en remolque.	Vibración uniforme (frecuencia 6 - 60 Hz).	Movimiento de masas por sistema hidráulico.	1589	200 - 5500	Plato circular (diám. 45 cm).	4 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
Model 2008 Road Rater.	Montado en remolque.	Vibración uniforme (frecuencia 5 - 80 Hz).	Movimiento de masas por sistema hidráulico.	3405	500 - 9000	Plato circular (diám. 45 cm).	4 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
KUAB '150 FWD.	Montado en remolque.	Impacto.	Caída de masas.	908	2700 - 11300	Plato circular (diám. 30 cm).	Más de 5 Sismómetros.	Manual, impreso o automatizado.

Tabla 5. Características básicas de equipos para la evaluación estructural no-destructiva de pavimentos

APARATO	TIPO DE UNIDAD	CARGA PRINCIPAL	SISTEMA DE CARGA	CARGA ESTÁTICA (kg)	FUERZA DINÁMICA (lbf)	CARGA TRANSMITIDA POR	DISPOSITIVO PARA LA LECTURA	MÉTODO PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS
KUAB '50 FWD.	Montado en remolque.	Impacto.	Caída de masas.	908	2700 - 33700	Plato circular (diám. 30 cm).	Más de 12 Sismómetros.	Manual, impreso o automatizado.
Dynatest 8000 FWD.	Montado en remolque.	Impacto.	Caída de masas.	908	1500 - 27000	Plato circular (diám. 30 cm).	7 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
Dynatest 800 FWD.	Montado en remolque.	Impacto.	Caída de masas.	908	6500 - 19000	Plato circular (diám. 30 cm).	7 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
Phoenix ML 10000 FWD.	Montado en remolque.	Impacto.	Caída de masas.	863	2300 - 23000	Plato circular (diám. 30 cm).	3 o 6 Geófono.	Manual, impreso o automatizado.
CEBTP Curviameter.	Control automatizado.	Rueda en movimiento.	Camión en movimiento cargado con placa de acero.	(a) o variable.	N / A	Ruedas de camión.	1 Geófono.	Automatizado.

Los factores básicos que deben considerarse en la selección de un equipo determinado son:

- Las características operativas (capacidad de recolección y almacenamiento de datos, demoras causadas al tránsito, requisitos de calibración, facilidad para ser transportado y necesidades de capacitación de los operadores).
- La calidad de los datos (conveniencia, repetibilidad y precisión).
- La versatilidad (número de sensores, configuración y movilidad del sistema de sensores y rango de niveles de carga).
- El costo (inicial y por secuencia de pruebas).

V.4. MEDICIÓN DEL ISA.

En México, para evaluar las características superficiales de la mayoría de los tramos de la red de carreteras, se ha empleado el Índice de Servicio Actual (ISA). Este procedimiento, basado en los estudios realizados por la American Association of State Highway Officials (AASHO), consiste en calificar la calidad de la superficie de la carretera que el usuario percibe, al transitar a la velocidad de operación (de manera subjetiva). La escala del ISA es de 0 a 5, puntos correspondientes a una superficie intransitable y a una superficie perfecta respectivamente. Este índice es de gran utilidad para tener una idea de las condiciones generales de un camino y es recomendado cuando no se tienen equipos automatizados para evaluar y medir la rugosidad de una carretera.

V.5. MEDICIÓN DEL IRI.

V.5.1. Medida de la regularidad superficial (rugosidad).

La regularidad superficial es una característica que se valora midiendo la geometría de longitudes de onda comprendidas entre 0.5 y 50 m. Constituye uno de los parámetros más significativos para valorar el estado del pavimento, atendiendo a los aspectos de: confort del usuario, consumo de combustibles, desgaste del vehículo, efectos en las mercancías transportadas, etc.

Cada tipo de irregularidad está relacionado con diversos efectos no deseados; así, por ejemplo, las ondas cortas y medias con amplitudes elevadas pueden ocasionar la pérdida de contacto entre el pavimento y la rueda, reducir la maniobrabilidad del vehículo (incluso en superficie seca), aumentar el consumo de combustible, etc.

La construcción de un pavimento bueno y con rugosidad adecuada es de interés público y se comporta mejor que uno construido con perfil inicial rugoso. Esto se puede observar utilizando los métodos de diseño y comportamiento de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). La American Society of Civil Engineers (ASCE) promueve la utilización de incentivos para disminuir la rugosidad de los pavimentos que, a la vez, mejoran la calidad, desarrollan la sensibilidad hacia el trabajo en grupo y recompensan la excelencia.

En la actualidad, a fin de estandarizar las medidas de rugosidad realizadas con equipos diferentes, el Banco Mundial está sugiriendo el empleo del Índice Internacional de Rugosidad (International Roughness Index, IRI), a partir de estudios patrocinados por ellos mismos. Éste se define como la relación entre el desplazamiento relativo acumulado por la suspensión del vehículo tipo y su

distancia recorrida. Se expresa en mm/m, en m/km, en in/mi, etc. Valores inferiores a 2 m/km representan una excelente rugosidad para todo tipo de camino.

Existe en el mundo una gran variedad de equipos de medición de la rugosidad, de diversos costos, rendimientos, y sistemas de adquisición de datos; cada uno de estos equipos tiene una escala de medición propia que permite, mediante un valor, medir la rugosidad de un camino. Debe existir una relación entre el valor obtenido por cada equipo y las características superficiales del camino (rugosidad).

Un grupo de métodos de medida de la rugosidad está formado por los que utilizan referencias geométricas. En ellos, se registra el desplazamiento vertical de una rueda con respecto a una base horizontal de 3 a 10 m de longitud. Los equipos sencillos más conocidos son: las reglas móviles de 3 m, los perfilógrafos, etc., que miden la regularidad en el sentido longitudinal de la carretera.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
Cada perfilógrafo registra, de manera particular, en forma gráfica, un perfil del camino detectado mediante una rueda registradora de acuerdo con el arreglo de las ruedas, la longitud y el ancho de la viga. En estos equipos, generalmente, se expresa la calidad del camino mediante un valor denominado Índice de Perfil (IP), el cual se obtiene mediante la suma en valor absoluto de todas las irregularidades (protuberancias y depresiones) que salen de una banda de tolerancia del perfil del camino (en mm, cm, in, etc.), dividido entre la distancia recorrida por el perfilógrafo (en m, km, mi, etc.). El Índice de Perfil se expresa en unidades de cm/km, in/mi, etc. El perfilógrafo de Hveem, diseñado por el Departamento de Carreteras de California, es utilizado por Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA) para determinar el Índice de Perfil de las pistas, las plataformas y las zonas de rodaje en los aeropuertos mexicanos. Actualmente

se empieza a utilizar para el control de calidad en tramos de carreteras nuevas, como un parámetro de pago.

En la práctica es común expresar el Índice de Perfil en unidades inglesas.

Los perfilógrafos tienen una aplicación específica en la detección de irregularidades puntuales en la fase de control de obra. El Índice de Perfil obtenido por estos equipos ha servido como forma de pago en tramos nuevos de aeropuertos, carreteras y autopistas. No se recomienda su uso en grandes longitudes, debido a que presentan como desventaja fundamental su bajo rendimiento (aproximadamente 2 – 4 km/hr). El Índice de Perfil y el Índice Internacional de Rugosidad, aunque tienen unidades similares (m/km, mm/m, in/mi, etc.), son parámetros diferentes; sin embargo, existe una correlación entre ambos para cada equipo.

Los denominados transversoperfilógrafos, son perfilógrafos que se utilizan para medir la regularidad en el sentido perpendicular al eje de la carretera, detectando la presencia de roderas en pavimentos flexibles, irregularidades, faltas de bombeo, etc.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

En un segundo grupo de equipos de medición se encuentran los de tipo dinámico, con los que se pueden conseguir altos rendimientos y que, por tanto, pueden aplicarse incluso para la evaluación del estado superficial de toda una red de caminos. Estos equipos miden los desplazamientos de una rueda o de un eje mediante un sistema mecánico (normalmente, éste tiene un único grado de libertad), a una cierta velocidad de operación. Estos desplazamientos son provocados por las irregularidades existentes en un camino, al sistema integral del equipo, lo que significa que la medición obtenida es función de las características dinámicas del sistema de suspensión del vehículo o remolque en que está montado (peso del vehículo, amortiguadores, resortes, neumáticos, etc.).

Se pueden citar entre estos rugosímetros, el equipo francés llamado Analizador Dinámico del Perfil Longitudinal (APL), el español Analizador de la Regularidad Superficial (ARS) y el americano Mays Ride Meter, que se utiliza en nuestro país (en México, el Instituto Mexicano del Transporte (IMT), la Dirección General de Servicios Técnicos de la S.C.T. y algunas empresas privadas de control de calidad cuentan con este tipo de equipos, con lo que sería posible emprender un programa para la evaluación de carreteras en nuestro país de manera coordinada y permanente). Todos ellos se caracterizan por desplazarse a velocidades de operación en las carreteras, permitiendo no interferir con el flujo vehicular; las velocidades de ensayo van desde 20, hasta 80 km/hr.

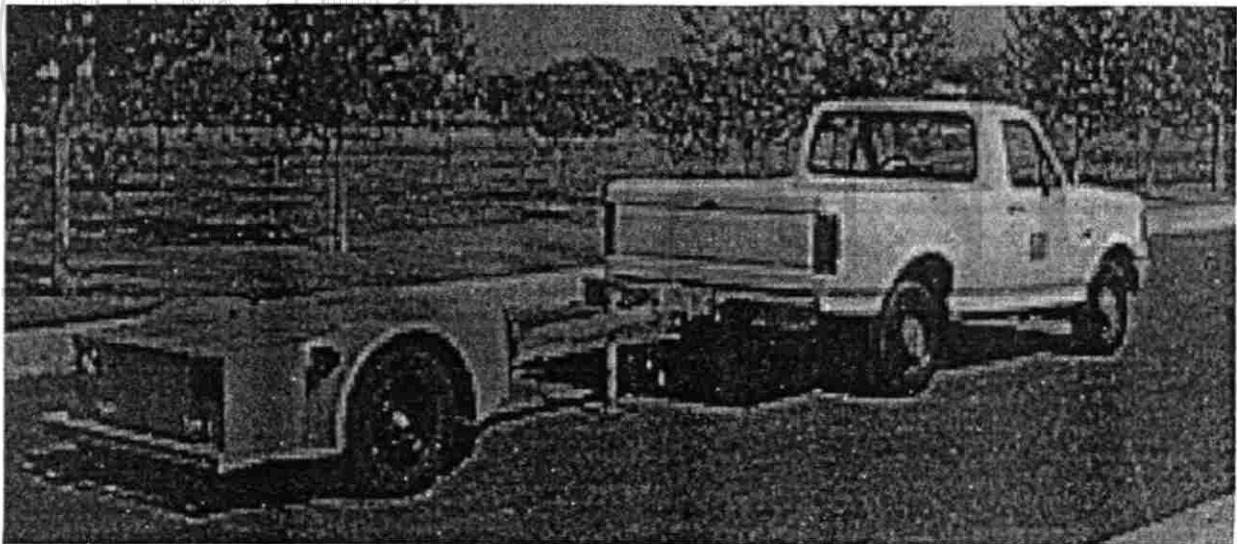


Figura 9. Equipo "Mays Ride Meter".

Actualmente existen varios equipos de medición de la rugosidad de tipo dinámico, de diversos modelos, costos, características, sistemas de adquisición de datos y velocidades de operación. Cada uno de estos equipos mide la calidad de una superficie con una escala de medición propia; además, entre los mismos equipos difiere el valor de la calificación para un mismo tramo, debido a las características de cada vehículo: antigüedad, uso, modificaciones, reparaciones, etc. Por ello, con la correlación de todos estos equipos referenciados al Índice Internacional de Rugosidad, permite obtener un solo

parámetro de medición para conocer el estado actual de un tramo específico de manera cuantitativa, independientemente del equipo utilizado.

Un tercer grupo, cubre los equipos de medición integral para obtener las características superficiales del pavimento y son capaces de elevados rendimientos (velocidades superiores a los 70 km/hr). Los más conocidos son: el ARAN canadiense y el RST (Road Surface Tester) sueco. El sistema de medición de estos equipos consta de una serie de cámaras láser situadas en la parte delantera de una camioneta, lo que permite conocer en detalle el perfil real del camino y determinar, al mismo tiempo, el Índice Internacional de Rugosidad mediante un programa de cálculo. Se pueden medir, simultánea o independientemente, las siguientes características: profundidad de roderas, rugosidad, macrotextura, fisuración de la superficie, perfiles transversales y radios de curvatura y, opcionalmente, la resistencia al deslizamiento.

Independientemente del equipo empleado, los resultados de las medidas deben servir para establecer un índice de la rugosidad del tramo o carretera en estudio, obteniéndose un valor para cada kilómetro auscultado.

De esta manera, la medición de la rugosidad sirve como un parámetro de control de calidad en obras nuevas, llegándose a ofrecer estímulos económicos cuando se alcanzan valores superiores a los especificados en el contrato de obra o a sancionar, en el caso contrario.

Para carreteras en servicio, la medición de la rugosidad es una herramienta para evaluar el comportamiento superficial de un tramo, a través del tiempo y permite fijar niveles o umbrales de alerta para proceder a una revisión de daños o para programar labores de mantenimiento, de acuerdo con la importancia del camino.

La forma de obtener el IRI es mediante el levantamiento topográfico del perfil longitudinal del camino, a un cierto intervalo de mediciones, las cotas obtenidas se introducen en el programa de cálculo del IRI realizado por el Banco Mundial, que simula los movimientos del modelo "Cuarto de Carro" sobre el perfil. Este procedimiento se realiza exclusivamente para obtener el IRI de un tramo, regularmente no mayor a 600 m, que sirve para calibrar los diferentes equipos de evaluación de rugosidad y expresarlos en una escala patrón.

Es importante evaluar la condición superficial mediante el monitoreo periódico y permanente de la red nacional de carreteras, con equipos automatizados debidamente calibrados (ver detalles del procedimiento de correlación del IRI con un equipo de tipo respuesta en el Apéndice A).

V.5.2. Niveles de rugosidad.

En los Estados Unidos, la Federal Highway Administration ha reportado que los intervalos típicos del IRI evaluados en diferentes tramos de carreteras están entre 0.8 a 4.7 m/km (50 y 300 in/mi). Los tramos de pavimentos con valores de menores de 2.4 m/km (150 in/mi) son considerados como superficies en buen estado y confortables, mientras que los valores de 4.7 m/km o más, son considerados como rugosos y no confortables.

En España, la Orden Circular 308/89C y E de 1989, fijaba el valor de 2 m/km como umbral para recibir una carretera. Más tarde, se modificó para admitir el IRI de 2.5 m/km en todo el tramo, siempre que en el 80% del tramo se alcance como máximo el IRI de 2, y debiendo alcanzarse además el IRI de 1.5 en la mitad del tramo. Actualmente se fija un valor de 1.85 de IRI para recibir nuevas carreteras. Para carreteras en servicio con una Intensidad Media Diaria (IMD) mayor de 2000 vehículos fijan un porcentaje de la longitud de calzada con un valor mínimo de 3.5 m/km y para valores de $IMD < 2000$ vehículos el IRI mínimo de 4.5 m/km.

En Chile, se considera un valor del IRI entre 0 y 3 m/km como un camino bueno, entre 3 y 4 como uno regular y para un IRI mayor que 4 m/km como un camino malo. Mientras que en Honduras su clasificación es la siguiente: para $IRI < 3.5$ m/km se considera el camino como bueno, entre 3.5 y 6 como regular y finalmente cuando el IRI es mayor que 6 m/km indica que el camino es malo.

En Uruguay hacen una diferencia de valores de IRI para pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico.

En México es conveniente evaluar el Índice Internacional de Rugosidad en ciertos tramos para conocer el estado actual de la red y estimar el intervalo de valores en que se encuentran las carreteras y proponer una zona o umbral de alerta con respecto a la escala del IRI; esto permitirá conocer cuáles son los tramos que en ese momento requieren un estudio más detallado para conocer las causas de su deterioro para su reparación y a cuáles tramos, por ese año, no se les hará nada (tramos que no entran en esa zona). En tramos pavimentados de prueba, donde se han realizado cálculos del IRI, se observan valores comprendidos entre 1.6 y 8 m/km, siendo los más comunes y representativos, los tramos que resultaron con valores entre 3 y 6 m/km.

En el Apéndice B, se puede observar los resultados del estudio y establecimiento de criterios sencillos y homogéneos de evaluación del estado de redes de carreteras, según el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.

V.6. MEDICIÓN DEL IFI.

V.6.1. Medida de la adherencia neumático-pavimento.

Para evaluar la capacidad de resistencia al deslizamiento, se puede proceder de dos formas distintas:

- Midiendo directamente el coeficiente de fricción o rozamiento entre el neumático y el pavimento mojado.
- Analizando la macrotextura o la capacidad de drenaje superficial del pavimento (para estimar la reducción de la adherencia que se produce al aumentar la velocidad).

El coeficiente de fricción a baja velocidad depende del número de puntos de contacto en seco entre el neumático y los agregados del pavimento tanto mayor cuando más áspera sea la textura, cuando se produce tras la ruptura de la película de agua residual por efecto de la microtextura. Al aumentar la velocidad, disminuye la fricción. Esta disminución es tanto menor cuanto mejor es la capacidad de evacuación del agua que proporciona la macrotextura (tanto mayor cuanto más gruesa).

Los equipos desarrollados para medir la adherencia pueden clasificarse atendiendo a diferentes razones:

- De acuerdo con el modo de desplazamiento, cabe diferenciar los equipos manuales, remolcados o incorporados a un vehículo.
- Según su velocidad de desplazamiento, pueden ser: estacionarios, lentos o rápidos. Esta diferenciación es importante, según el tipo de estudio que se realice. Los equipos estacionarios y muy lentos pueden servir para estudios de un tramo en específico o de investigación, pero, al requerir cortar el carril en que se realiza el estudio y su bajo rendimiento, no son apropiados para la auscultación sistemática de la red carretera. Para

evaluar ésta se utilizan equipos de alto rendimiento que no provoquen molestias posibles al tránsito.

- Atendiendo a su función y método de medida, se pueden distinguir entre: los equipos de medida de la textura y de la resistencia al deslizamiento.

V.6.2. Medida de la textura.

Para la caracterización de la macrotextura de un pavimento, se utilizan fundamentalmente tres procedimientos:

- El método Volumétrico.
- La medida del Drenaje Superficial (drenómetros).
- La determinación del Perfil.

El Método Volumétrico, también conocido como el Método del Círculo de Arena, y que es utilizado y recomendado por las dependencias nacionales (IMT), sirve para determinar medidas puntuales de la macrotextura (rugosa o lisa). Consiste en extender sobre la superficie de un pavimento un volumen determinado (50 cm^3) de arena fina uniforme, de manera que cubra todas las irregularidades de la superficie, quedando enrasada la arena con los picos más salientes. Se procura extender la arena en forma de círculo, con lo que es fácil determinar el área cubierta por la arena. Dividiendo el volumen de arena utilizada por el área cubierta se obtiene la denominada "profundidad media de textura" (H) correspondiente a las irregularidades de la superficie, tanto mayor cuanto más rugosa es la macrotextura (ver detalles de este procedimiento en el Apéndice C).

En España, para pavimentos de concreto hidráulico vibrado se especifica que la profundidad media de la textura superficial determinada por el Método del Círculo de Arena debe estar comprendida entre 0.7 y 1 mm. Mientras que para

recepción de capas de rodamiento con material asfáltico, la textura no deberá ser inferior a 0.7 mm.

Los Drenómetros caracterizan la capacidad del Drenaje Superficial, función de la macrotextura, por el valor inverso del tiempo que se emplea en evacuar superficialmente un volumen conocido de agua.

La determinación del Perfil, a la escala de la macrotextura, suele hacerse con perfilómetros láser, que emiten un rayo sobre un punto del pavimento y mediante un receptor, situado en ángulo respecto al láser, determinan la altura de dicho punto. El láser puede ir instalado en equipos estacionarios sobre una viga por la que se desliza el emisor o montado en un vehículo que se desliza a velocidad de hasta 70 km/hr, con el objeto de automatizar las mediciones y no interferir con el flujo vehicular, principalmente en autopistas.

V.6.3. Medida de la resistencia al deslizamiento (fricción).

Tradicionalmente se ha caracterizado el coeficiente de resistencia al deslizamiento mediante el péndulo de fricción. Este tipo de equipo da una indicación indirecta del grado de rugosidad que proporciona la microtextura del pavimento.

El péndulo de fricción se utiliza en dos formas distintas:

- a) En el ensayo para la determinación del coeficiente de pulimento acelerado de los agregados, empleando una zapata de goma de tamaño reducido, sobre la superficie de las probetas diseñadas con los agregados a ensayar, que han sido sometidos anteriormente a un proceso de desgaste.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

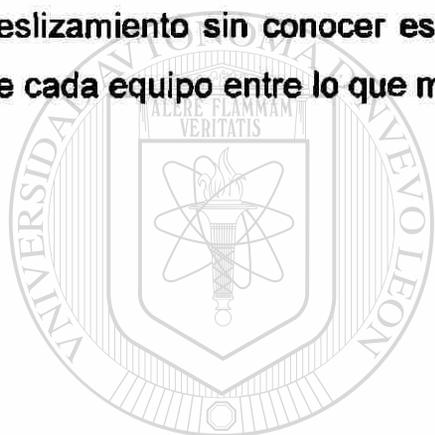
Existen también equipos de rueda parcialmente bloqueada con grado de deslizamiento variable, que se emplean para diversos estudios de medida de fricción; por ejemplo, para determinar el valor máximo del coeficiente de rozamiento en una determinada modalidad de frenado.

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

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

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

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



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo VI: HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS.

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

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

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

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

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

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

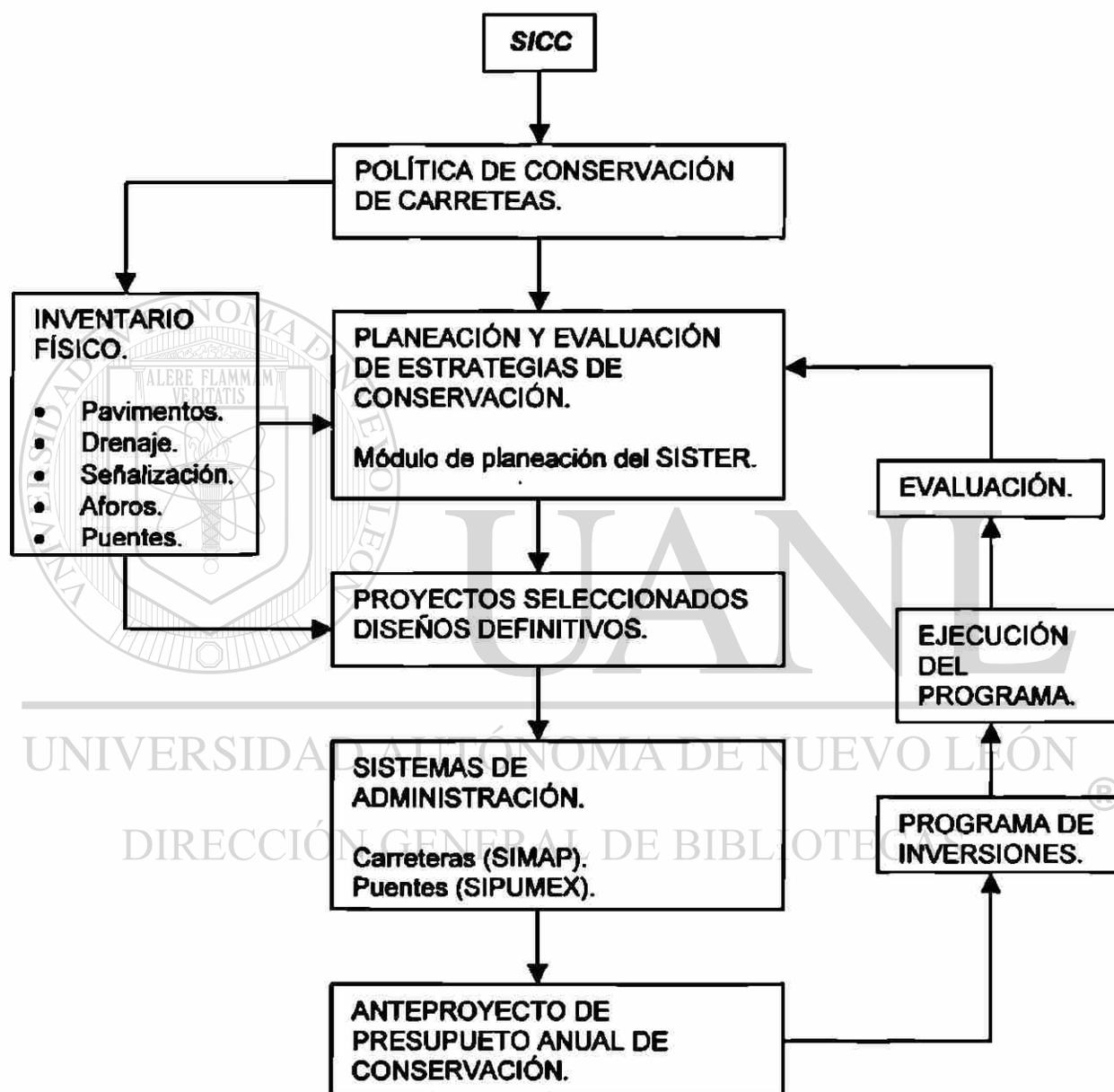


Figura 10. Estructura del SICC.

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

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

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

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

VI.2.1. Bases conceptuales.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
El sistema mexicano se fundamenta en tres puntos básicos: ®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

- a) Ha de aceptarse algún tipo de correlación entre la evolución del estado superficial del pavimento y su condición general, de manera que, cuanto más pobre sea la calidad superficial y más rápidamente se deteriore, peor debe ser la condición estructural. Esta es una conclusión de carácter cualitativo.

- b) Ha de aceptarse que la deficiencia estructural puede correlacionarse con alguna medida hecha desde la superficie del pavimento. La deflexión parece ser el concepto que mejor sirve para estos fines. Esta es una conclusión de carácter cuantitativo y se acepta que la magnitud de la deflexión mide el defecto estructural, aunque no lo analice ni lo localice.

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

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

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

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

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

VI.2.2. Equipo de cómputo.

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

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

VI.2.3. Banco de datos.

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

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

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

VI.2.4. Recomendaciones específicas.

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

VI.2.5. Evaluación sistemática.

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

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

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

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

VI.2.6. Formatos requeridos.

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

VI.2.7. Mecánica de desarrollo de los subsistemas.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VI.2.8. Implantación del SIMAP.

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

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

VI.2.9. Relación necesaria entre SISTER y SIMAP.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VI.3.1. Resultados del Sistema.

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

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

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

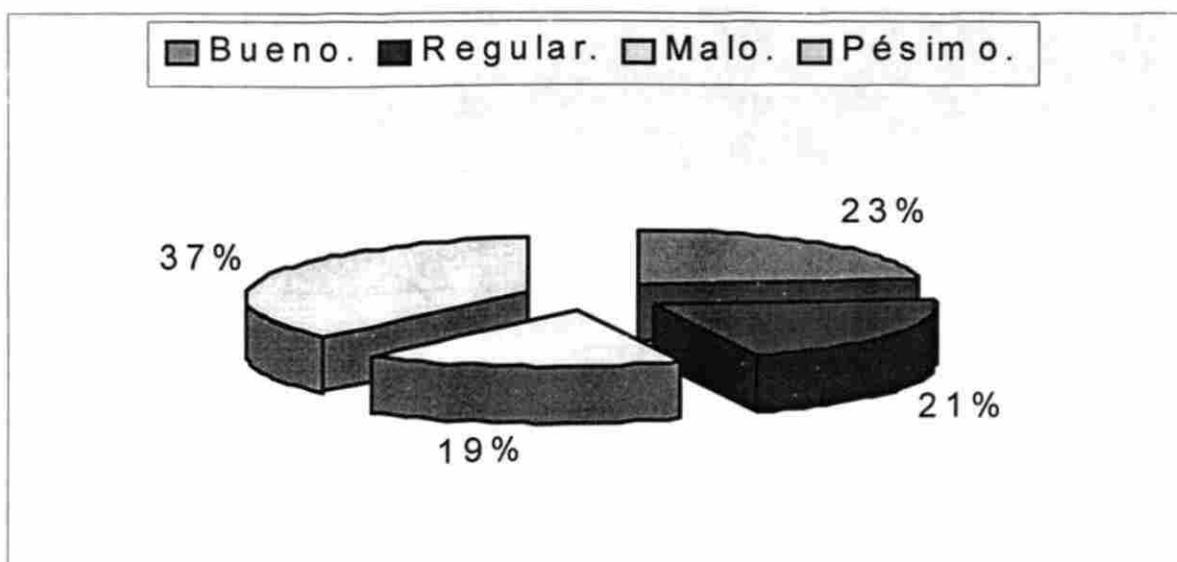


Figura 11. Estado físico de la red federal a finales de 1995.

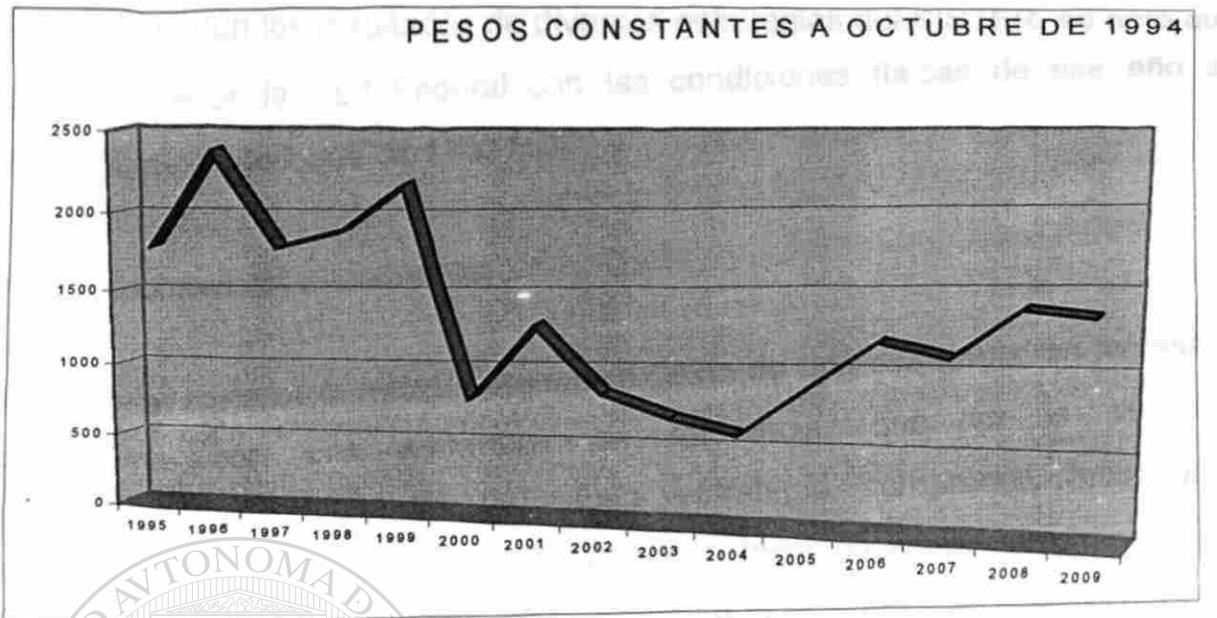


Figura 12. Presupuesto preventivo en Millones de Nuevos Pesos.

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

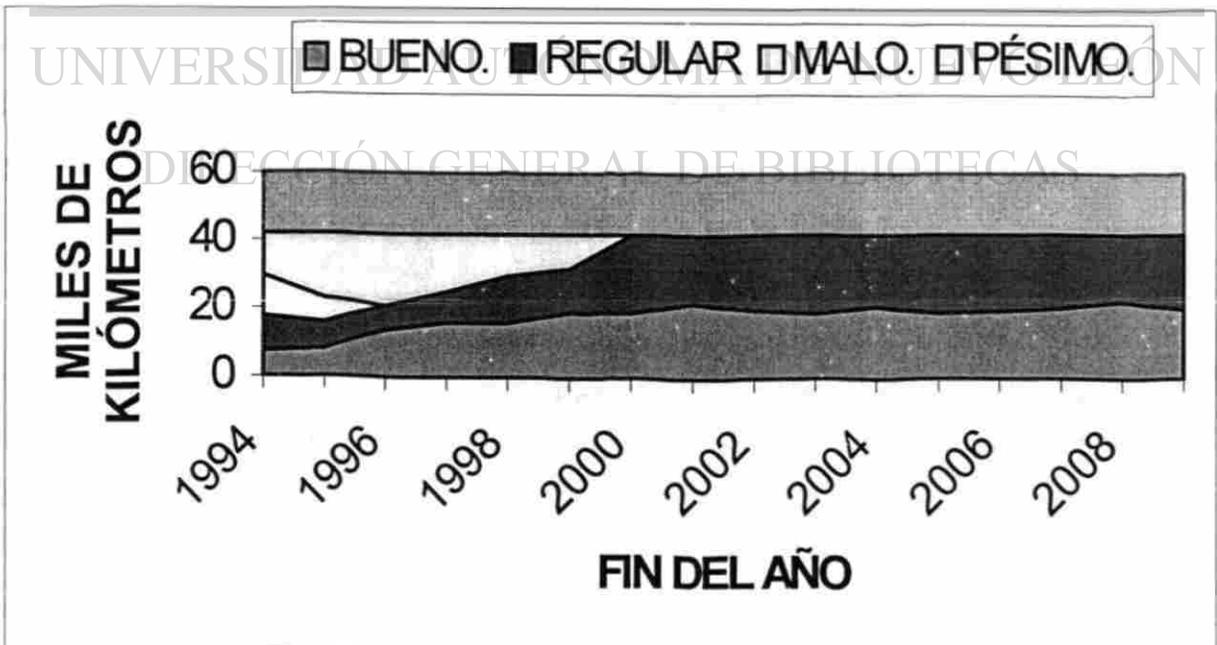


Figura 13. Estado físico de la red carretera federal, "Estrategia 54" del SISTER.

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

VI.3.2. Indicadores económicos.

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

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

VI.3.3. Clases de tránsito.

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

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

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

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

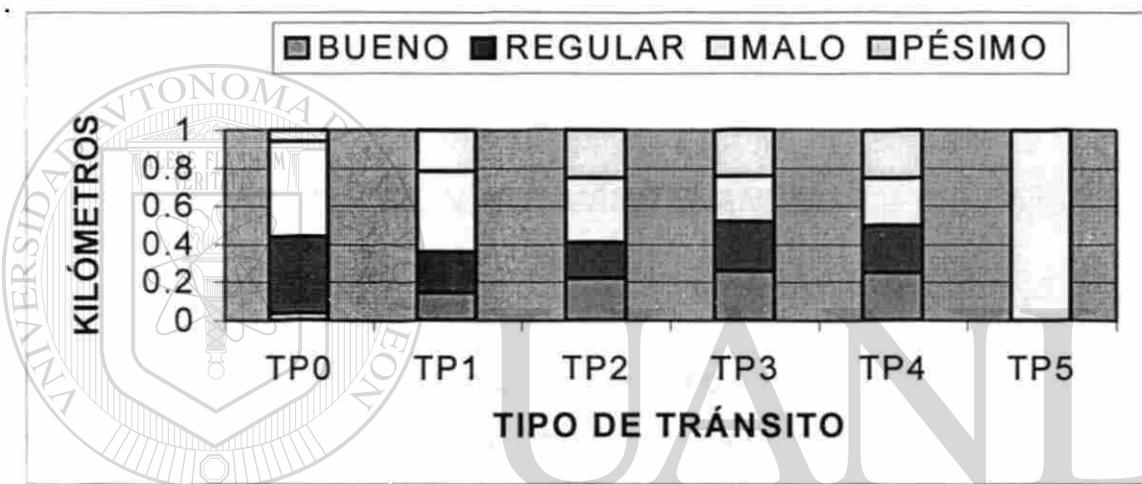


Figura 14. Clasificación del estado físico de la red federal por clase de tránsito.

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

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

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

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

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

VI.4.1. HDM-4.

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

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Observaciones generales.

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

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

Características.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VII.4. ASFALTOS.

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La estabilización térmica consiste en que estos tipos de carpetas conservan sus características fundamentales de flexibilidad, dureza e impermeabilidad, en temperaturas sumamente extremosas, que van desde los -36°C (en el clima en

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

Por ser carpetas ultradelgadas de larga duración y de un mantenimiento casi nulo, resultan desde un 30% hasta un 50% más económicas y consumen el 50% de asfalto (producto no renovable) por m².

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

- Por su baja compresibilidad y su alta estabilidad como estructura de desgaste y soporte, el S.M.A. puede ser tendido sobre superficies desgastadas o irregulares, debiéndose reparar previamente sólo los baches y las depresiones pronunciadas.
- La superficie del camino sobre la cual se va a trabajar deberá estar limpia, libre de polvos y completamente seca.
- Sobre un pavimento viejo deberá aplicarse un riego de liga en una proporción de 0.3 lts/m² máximo de FR-3 a una temperatura de 90 a 100°C, o con emulsión rebajada; en ambos casos, a juicio del laboratorio.
- La temperatura óptima para el tendido de la mezcla deberá ser a 145°C y no deberá colocarse por debajo de los 3°C de temperatura ambiente.
- La temperatura de compactación será a los 140°C ± 5°C con plancha de rodillos metálicos tipo tandem de 8 a 12 ton. No le deberá faltar agua a los rodillos de la plancha, porque la mezcla se adhiere al rodillo cuando está seco. No deberá usarse equipo neumático.
- Deberá disponerse de dos planchas por esparcidor, como mínimo, para asegurar una buena velocidad y continuidad en el tendido y compactado.

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

Procedimiento para tendido y compactado.

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

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

-
- La nueva carpeta se abrirá al tránsito cuando su temperatura esté por debajo de los 40°C.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

Para más detalles, ver tabla 9.

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

	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	38
Estabilidad Dinámica - Tiempo / mm.	389	3316
Abrasión (cm ²).	1.83	0.87
Open Graded.		
Cemento asfáltico (%).	4.6	5.2
Estabilidad Marshall (kg).	565	440
Flujo (1 / 10 mm).	31	22
Estabilidad Dinámica - Tiempo / mm.	292	1575
Abrasión (cm ²).	5.58	6.55
* Porcentaje sobre el peso total de la mezcla.		

Tipos de mezcladoras que pueden utilizar Viatop.

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

VII.4.2. Técnicas de aplicación de revestimientos superficiales.

- Estructura en bigravillaje.

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

VII.5. MANTENIMIENTO EN PAVIMENTOS.

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

VII.5.1. Maquinaria.

VII.5.1.1. Unidades mecanizadas para bacheo.

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

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

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

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

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

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

Se pueden confiar al operador tres tipos de misión:

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

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

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

VII.5.1.2. Recuperadoras de caminos.

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

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

Durante 1993 se observaron diversos problemas, como son:

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

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

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

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

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

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

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

VII.5.1.2.1. Recuperación de los pavimentos.

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Alcances de la recuperación:

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

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

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

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

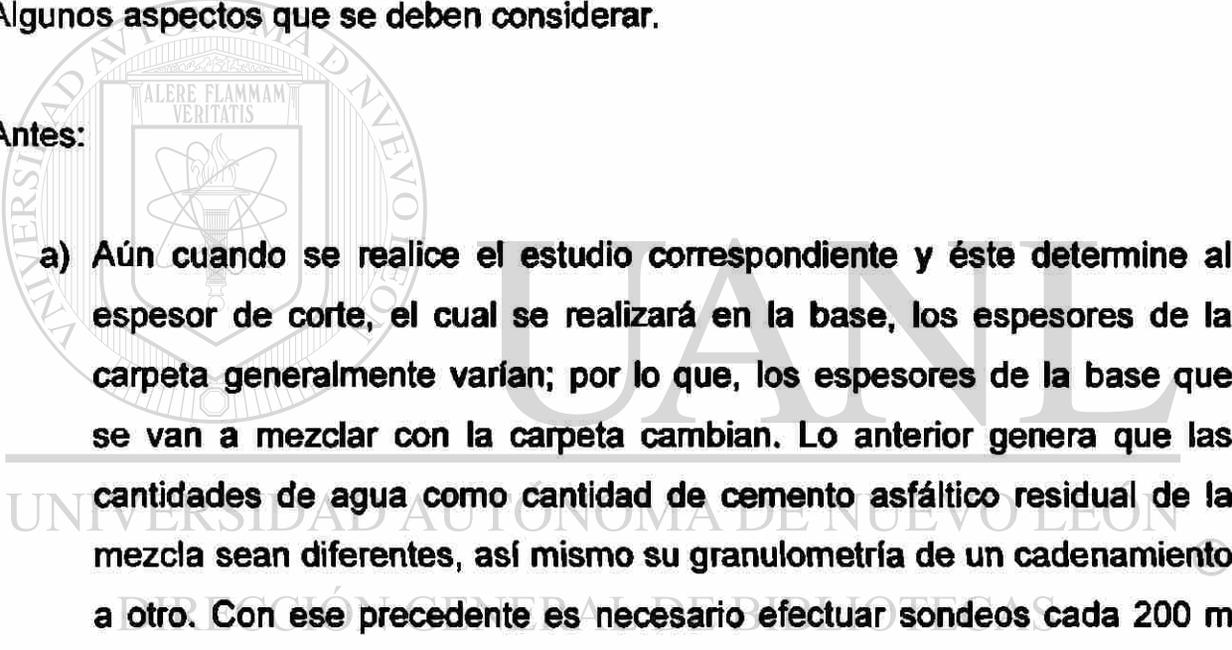
- 1 recuperadora de caminos.
- 1 compactador rodillo liso.
- 1 motoconformadora.
- 1 nodriza.

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

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

Algunos aspectos que se deben considerar.

Antes:

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

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

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

Durante:

- a) El peso volumétrico debe ser el máximo posible, tomando en cuenta los equipos de compactación disponibles, siempre que no se llegue a volúmenes de vacíos demasiado bajos (3% mín.) en la mezcla compacta. Mejorar la compactación repercute en mezclas más densas, menos susceptibles de la humedad, con mayor módulo de rigidez y mayor resistencia al agrietamiento y a la deformación plástica.**

- b) Si el tramo que se va a recuperar presenta topografía accidentada, el avance de la recuperadora así como el de la nodriza deben ser, en el sentido descendente, con la finalidad de no forzar las máquinas mencionadas.**

Después:

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

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

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

VII.5.1.3. Norsemeter.

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

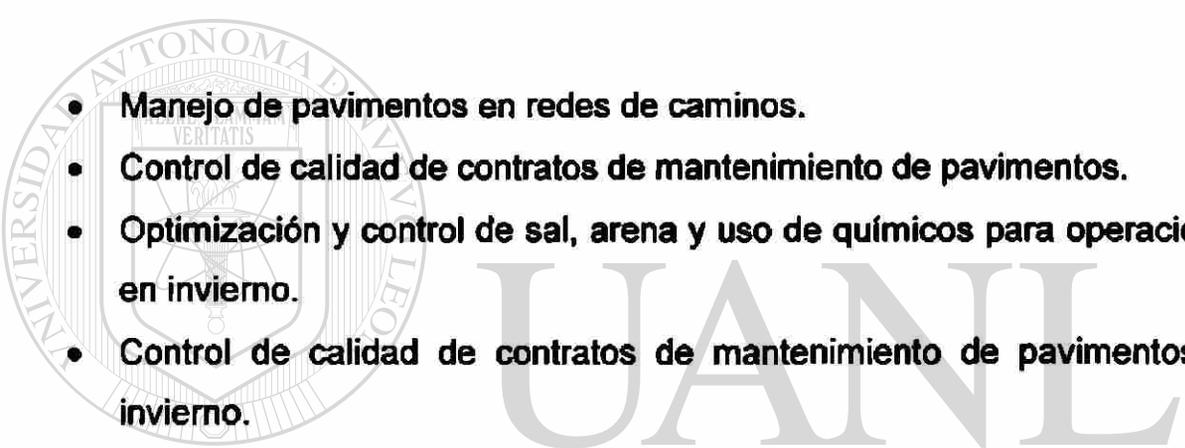
A través de esta tecnología, es posible ofrecer equipos con las siguientes características:

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

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

Productos:

ROAR: Road Analiser and Recorder.

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

RUNAR: Runway Analiser and Recorder.

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

Servicios:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

VII.6. SOFTWARE.

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

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

Qué pasa si...?

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

Usted puede...

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

Principales aplicaciones:

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

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

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

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

VII.7. VARIOS.

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

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

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

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

VII.7.2. Geosintéticos.

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

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

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

Capítulo VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
VIII.1. CLASIFICACIÓN DE PROYECTOS.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

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

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

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

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

Específicamente:

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

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

Actividades:

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

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

Sistema de Administración de Pavimentos (SIMAP).

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

Actividades:

Desconcentrar la operación del SIMAP.

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

VIII.1.2. Nuevas políticas para la conservación.

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

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

VIII.1.3. Organización.

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

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

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

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

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

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

Cada uno de los problemas aquí mencionados fueron concienzudamente analizados.

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

Solución:

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

Implantación de estrategias de convencimiento a los políticos.

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

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

Solución:

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

Crear un fondo específico para el mantenimiento (o conservación), administrado por el comité integrado por representantes del estado y usuarios.

- **Problema 3.- Falta de capacitación de personal (privado y público) para supervisar el mantenimiento enfocado al control.**

Solución:

Hay que capacitar: ¿A quién?; al personal que interviene en el mantenimiento dentro del sector público, al personal que labora con los contratistas, al sector político y al usuario.

- **Problema 4.- Actualización de las normas.**

Solución:

Integrar un comité permanente, de nivel nacional, que involucre al sector público, privado y educativo con personal de comprobada experiencia teórico-práctica.

Encargar el desarrollo de normas específicas que contemplen la actualización del marco jurídico y evitar las normas en forma individual.

- **Problema 5.- Falta de cultura de mantenimiento.**

Solución:

Difundir, a través de todos los medios de comunicación, los acuerdos antes mencionados; con el objeto de sensibilizar al usuario, a los políticos, a los funcionarios, a los universitarios, a los empresarios y al público en general.

Crear un consejo estatal multidisciplinario que vigile y participe en la creación e implantación de los programas y los recursos para la conservación.

Sugerir a las universidades que incluyan en sus programas de estudio la materia de "Conservación Vial", con el objeto de preparar ingenieros capacitados es esta área.

- **Problema 6.- Sistemas de gestión de mantenimiento inadecuado.**

Solución:

Se recomienda a la SCT crear un comité donde participen los tres niveles de gobierno encargados del mantenimiento vial, el usuario y el sector educativo; para estudiar y crear las normas nacionales de gestión de mantenimiento, para su aplicación.

- **Problema 7.- Corrupción.**

Solución:

Mejorar los sueldos y los salarios, lo cual puede lograrse con menos trámites burocráticos y menos personal donde no se requiera. Modificar y actualizar la normatividad, para evitar interpretaciones erróneas.

- **Problema 8.- Bajos salarios tanto del sector privado como del público.**

Solución:

Implantación de un programa para evaluar el trabajo real y las capacidades, para determinar el salario. Incrementar la eficiencia de las empresas privadas y

los organismos públicos, con base en esquemas de capacitación, mediante la implantación de incentivos de productividad.

- **Problema 9.- Aspecto jurídico de los sistemas de gestión de mantenimiento inadecuado.**

Solución:

Las leyes mexicanas tienen un control total en el tramo del mantenimiento, que abarca los tres niveles de gobierno, entre aquellas podemos mencionar: la Ley General de Obras Públicas, la de Vías de Comunicación, y la de la Expropiación Petrolera, (1938) que tienen que ver con la red vial y el transporte.

Estas leyes ordenan y rigen las actividades ligadas al mantenimiento, y deben ser modificadas para dar cabida a la descentralización y en ésta deben participar la iniciativa privada, las asociaciones de ingenieros, las cámaras industriales, y los más importantes representantes de los usuarios; lo anterior con el objeto de facilitar en todos los aspectos (normas técnicas, estandarización de procedimientos, etc.) la actividad caminera en el país.

Llevar a cabo la descentralización, actualizando las leyes de vías generales de comunicación, de administración pública y de obras públicas, para establecer el servicio de carrera y capacitación del personal dedicado a las actividades de conservación.

Gracias a objetivos claros, un buen sistema de evaluación y el conocimiento de los costos, se han reunido progresivamente las condiciones necesarias para proceder a una verdadera contractualización.

Con la nueva política de conservación carretera, lanzada por la Dirección de Carreteras se avanza en la recuperación del retraso del mantenimiento preventivo en los pavimentos, objetivo prioritario en la Dirección de Carreteras.

La evaluación actualizada muestra que el mantenimiento preventivo es el método más económico para cumplir con los objetivos de calidad:

- **Continuidad en el tiempo y en el espacio del servicio prestado al usuario.**
- **Sustentación de un nivel elevado de servicio, en materia de seguridad y de comodidad.**

Esta estrategia permite intervenir y limitar así el desarrollo del deterioro, además de adaptar permanentemente la estructura del pavimento al tráfico que soporta.

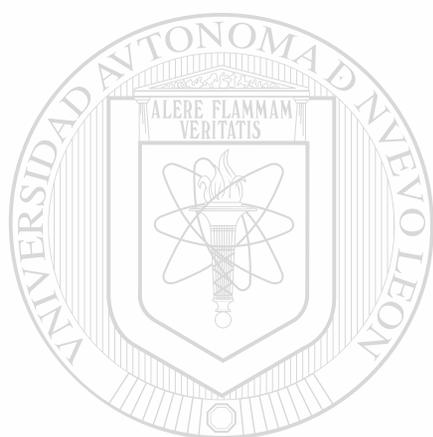
Las operaciones mayores de rehabilitación se evitan y así se eliminan los picos en las necesidades financieras.

Cualquier restricción presupuestal excesiva y continua perjudica la credibilidad global de dicha política, pues pospondría por muy largo tiempo la recuperación del buen estado de una parte de la red carretera.

Toda esta política orientada a optimizar la utilización de los recursos actuales mediante la definición de objetivos precisos, jerarquizados por tipos de carreteras en el marco de un proceso contractual, es la primera respuesta al esfuerzo que se impone.

La segunda consiste en movilizar una cantidad suficiente de recursos presupuestales, durante los próximos años, para así efectuar la recuperación de la red; a manera de frenar el proceso de deterioro ligero inexorable de la red, además de proseguir con la recalificación duradera de los pavimentos, de los

que el estado de deterioro impide tomarlos en cuenta en los programas de mantenimiento preventivo.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo IX: FUENTES Y REFERENCIAS.

1. "Módulo técnico del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP Versión 2.0) Manual del Usuario."

Rico A., Orozco J. M., Téllez R., Durán G. y Aguerrebere R. (1995).

Documento Técnico no. 15; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2. "Catálogo de Deterioros en Pavimentos Flexibles de carreteras mexicanas."

Téllez R. (1991).

Publicación Técnica no. 21; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

3. "Estado superficial y costos de operación de carreteras."

Aguerreberere R. y Cepeda F. (1991).

Publicación Técnica no. 30; Sanfandila, Qro.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

4. "Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias."

Rico A., Téllez R. y Gamica P. (1998).

Publicación Técnica no. 104; Sanfandila, Qro.
 Instituto Mexicano del Transporte.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

5. "Evaluación estructural no destructiva de pavimentos."

López L. C. y A. Mendoza A. (1998).
 Publicación Técnica no. 107; Sanfandila, Qro.
 Instituto Mexicano del Transporte.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

6. "Índice Internacional de Rugosidad, aplicación a la red carretera de México."

Arriaga M. C. (1998).
 Publicación Técnica no. 108; Sanfandila, Qro.
 Instituto Mexicano del Transporte.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

7. "Diagnóstico de las características superficiales de los pavimentos."

Arriaga M. C. y Gamica P. (1998).
 Publicación Técnica no. 111; Sanfandila, Qro.
 Instituto Mexicano del Transporte.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

8. "Algunos aspectos comparativos entre pavimentos flexibles y rígidos."

Rico A., Mendoza A., Téllez R. y Mayoral E. (1998).
 Publicación Técnica no. 103; Sanfandila, Qro.
 Instituto Mexicano del Transporte.
 Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

9. "Seminario Internacional de Pavimentos."

Memoria. Sanfandila, Qro. 1998.

Instituto Mexicano del Transporte.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

10. "PROVIAL, Chihuahua '98 : Mantenimiento vial sostenido, el reto del siglo XXI."

Memoria. 1998.

Maestría en Vías Terrestres.

Facultad de Ingeniería.

Universidad Autónoma de Chihuahua.

11. "Estudio y establecimiento de criterios sencillos y homogéneos de evaluación del estado de redes de carreteras"

XX Congreso Mundial de Carreteras de Montreal. 1998.

Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica.

12. "Coloquio Franco – Mexicano sobre el Mantenimiento de Carreteras y Obras Pesadas, Dispositivos de Señalamiento y Seguridad en Carretera."

Memoria. 1995.

Cámara Nacional de la Industria de la Construcción.

Periférico Sur No. 4839, Col. Parques del Pedregal.

México, D. F.

13. "Planeación Estratégica de la Dirección General de Conservación de Carreteras."

Mejía I. (1995).

Tesis. México, D. F.

Instituto Tecnológico Autónomo de México (ITAM).

14. "Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments."

Publication no. FHWA – SA – 98 – 042. 1997.

U. S. Department of Transportation.

Federal Highway Administration.

15. "Aditivo Sellador para Pavimentos A. S. I."

Aditivos Selladores e Impermeabilizantes S. A. de C. V.

Pelícano 107 – A, San Juan de Aragón, C. P. 07470

Tel. (5) 781 04 10, (5) 750 03 49, (5) 781 60 82.

Fax (5) 577 95 06.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]

16. "CPM, The Pavement Maintenance Company."

California Pavement Maintenance Company, Inc.

9390 Elder Creek Road.

Sacramento, CA. 95829.U. S. A.

Tel. (916) 381 8033 Ext. 203, 556.

Fax (916) 387 0664.

www.cpmamerica.com

17. "Status del S. M. A. (Stone Mastic Asphalt) con Viatop 66 en la República Mexicana."

Valdés V. (1999).

Estabilizadores Asfálticos S. A. de C. V.

Cd. Satélite No. 53102.

Tlalnepantla, Edo. de México, 54030.

Aparatado Postal No. 485.

Tel. (5) 390 29 56, (5) 887 38 38.

Fax (5) 887 38 38.

18. "Manual Internacional de Conservación de Carreteras."

Volumenes I, II, III, IV.

P.I.A.R.C. (AIPCR).

19. "Criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles para aeropuertos".

Téllez R. (1986).

Revista IMCYC, Vol. 24, No. 186 / Noviembre / 1986.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

20. "Simulación de Estrategias de Mantenimiento Vial (Programa SISTER)."

Ingeniería Civil 324.

Abril 1996.

21. Fondo Editorial IMCYC 2000: Publicaciones y Videos.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C.

www.imcyc.com

22. NLT – 175/88. “Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL”.

23. NLT – 335/87. “Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena”.

24. Banco Mundial.

www.worldbank.org/html/fpd/transport/roads/safety.htm

25. PIARC. (AIPCR)

www.piarc.org

26. Entrevista:

Ing. Diana B. López V.

Investigadora del Área de Laboratorio de Pavimentos. IMT.

Sanfandila, Qro. 2000.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Capítulo X: APÉNDICES.

IX.1. APÉNDICE A: PROCEDIMIENTO PARA LA CORRELACIÓN DEL IRI CON UN EQUIPO DE TIPO RESPUESTA (MAYS RIDE METER).

Levantamiento topográfico de los tramos de prueba.

Se seleccionan cuatro tramos de 500 m, en función de su estado superficial, que contengan un nivel representativo de los caminos que posteriormente serán evaluados.

Se recomienda que los tramos sean rectos y que se ubiquen, de ser posible, en carreteras con poco tránsito (principalmente los tramos con condición superficial de regular a mala).

Según el criterio del responsable, se puede hacer una prueba con el equipo de evaluación, sobre los tramos seleccionados, a fin de verificar si entre ellos existen diferencias en el estado superficial. En caso de que existan tramos con valores muy similares de rugosidad, con la unidad propia del equipo, se hará la selección de otro tramo mediante la medición con el equipo.

Una vez seleccionados los tramos de prueba, se procede a realizar el levantamiento topográfico del perfil longitudinal, sobre las rodadas del camino y/o en las huellas por donde pasará el equipo de medición de rugosidad. El levantamiento se realizará con nivel y estadal, a cada 50 cm, para lo cual se

tomarán las medidas de seguridad adecuadas para el personal que realiza el estudio, dependiendo de las condiciones topográficas y del tránsito del camino.

Es necesario colocar marcas sobre el pavimento para localizar los puntos inicial y final del levantamiento, así como la dirección de la rodada para su posterior identificación.

Se recomienda que en el registro de lecturas se reporten las características de algunos puntos de importancia, que puedan ayudar a la ubicación e interpretación de las elevaciones tales como baches, corrimientos de asfalto, entradas y salidas de alcantarillas, etc.

Filtro de datos y cálculo del IRI.

Se introducen los datos del levantamiento en una hoja de cálculo, en la cual se hace un filtro con los datos para determinar posibles errores en la medición o captura de los datos.

Este filtro se realiza graficando las diferencias de altura de todos los puntos del levantamiento de la siguiente manera:

Supóngase que en la columna A se encuentran el número de puntos evaluados desde 1 hasta "n"; en la columna B están los datos de las alturas del levantamiento topográfico, así la altura Y_1 para cuando $X = 0$ m se encuentra en la celda B_1 , la altura Y_2 para cuando $X = 0.5$ m está en la celda B_2 y así sucesivamente hasta "n"; en la celda C_2 se escribe la fórmula: $+ A_2 - A_1$, que representa la diferencia de alturas entre el punto actual y el anterior ($Y_2 - Y_1$), esta fórmula se copia para el resto de la columna C, excepto para C_1 .

Se grafica la columna A en el eje de las abscisas y en el eje de las ordenadas la columna C, se observa como los valores de las diferencias de alturas siguen

una cierta secuencia que se puede representar mediante una banda o un intervalo flexible. Si todos los valores se encuentran dentro de esta banda o no son mayores al doble de ella se puede afirmar que los datos son correctos (ver fig. 15). En el caso de que existan valores que se salen del doble de este intervalo, se determina si alguno o algunos de ellos son los puntos de importancia que se registraron en el levantamiento topográfico, en caso contrario se procede a analizar la secuencia de las diferencias de alturas anteriores y posteriores en la columna C al dato incorrecto para ser modificado de una manera aproximada. Observe como en la figura 16, se presentan cuatro puntos que se salen del doble de la banda que se mencionó, estos valores ya corregidos se presentan en la figura anterior.

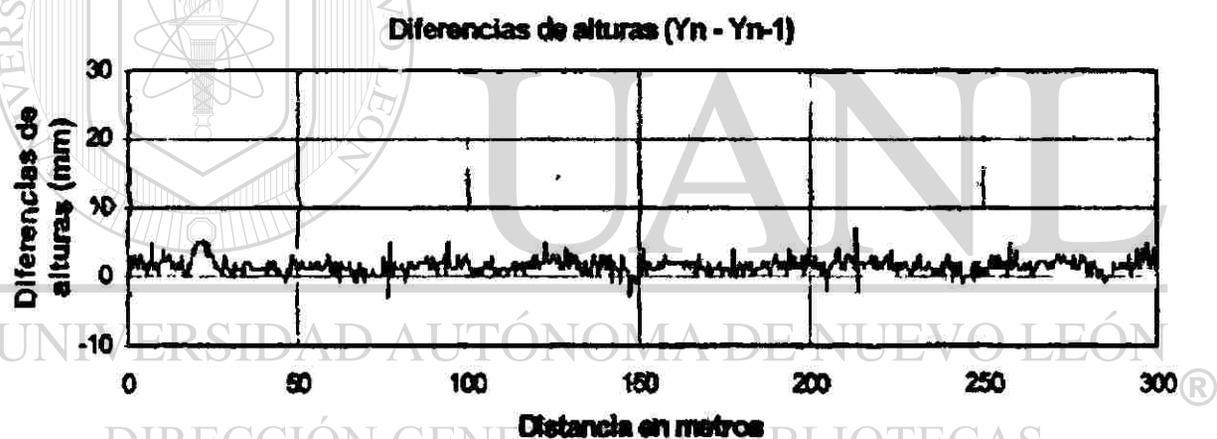


Figura 15. Diferencia de alturas de un tramo (datos filtrados y corregidos).

Con los datos del perfil ya corregido se introducen en el programa del Banco Mundial para el cálculo del IRI y con los coeficientes correspondientes a la distancia del levantamiento (50 cm), se calcula el Índice Internacional de Rugosidad de cada rodada. Con el valor del IRI para cada una de las rodadas se promedian para obtener el valor del IRI en ese tramo. Se puede dividir el tramo de 500 m en dos secciones para obtener dos valores de IRI para cada sección de 250 m, a fin de comparar las mediciones de éstos con las de los valores obtenidos por el equipo de medición de rugosidad.

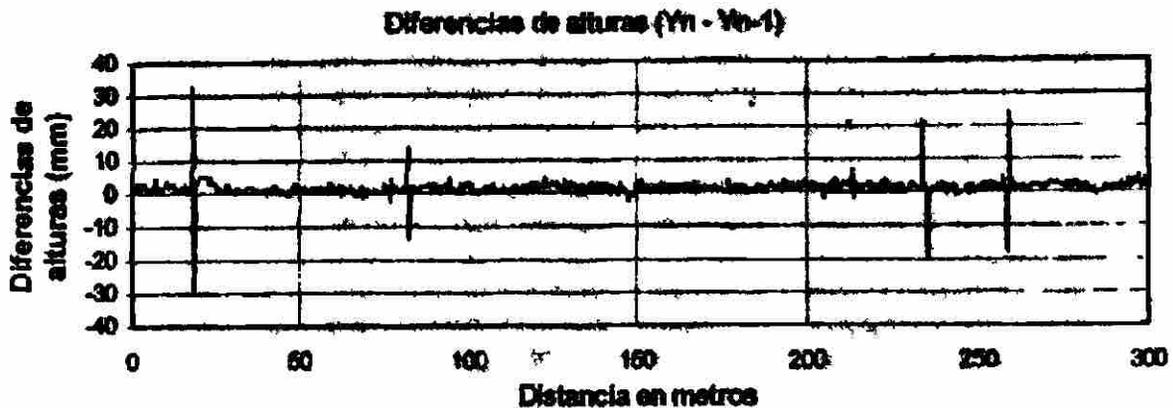


Figura 16. Diferencias de alturas de un tramo sin filtrar los datos del levantamiento.

En las figuras 17, 18 y 19, se presentan las gráficas de tres tramos de 300 m cada uno, con diferentes valores del IRI (desde un pavimento en excelentes condiciones hasta uno en condiciones críticas).

La primera figura presenta tres gráficas de un tramo de carretera cuyo IRI es de 1.6 m/km. Se observa en primer lugar la gráfica del perfil del camino, obtenida con los datos del levantamiento topográfico. Debido a la escala de la gráfica no se observan diferencias importantes de un punto a otro, por lo que en la segunda gráfica se muestran las diferencias de alturas entre cotas, esta gráfica nos permite comparar el comportamiento de un tramo en buenas condiciones con tramos con grados de deterioro más avanzado como en las otras dos figuras. En la tercera gráfica de la primera figura se encuentran los valores del IRI en cada punto, y se obtiene con los datos de salida del programa.

En la segunda y tercera figuras se presentan las gráficas de los tramos con IRI de 4.7 y 9.0 m/km respectivamente. Observe las gráficas de las diferencias de altura de cada uno de los tramos, ya que estas diferencias son los datos de entrada del perfil al programa del cálculo del IRI, por lo que a mayor amplitud de diferencias de alturas el IRI aumenta.

Medición de la rugosidad con el equipo.

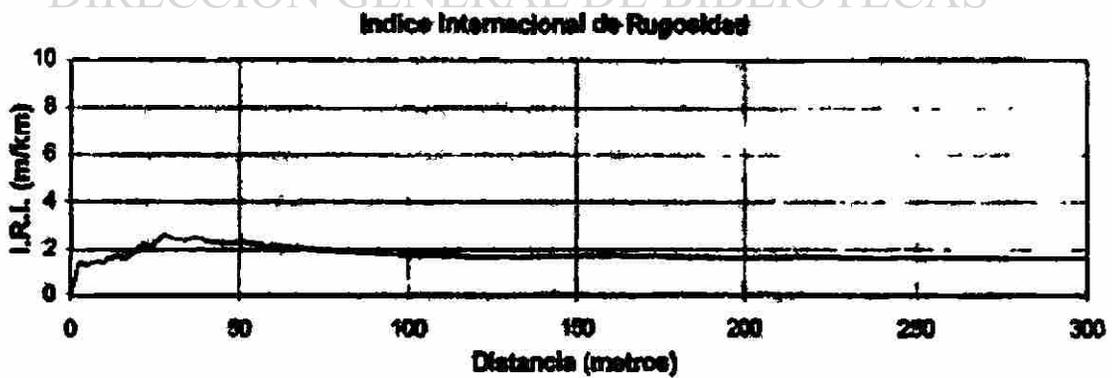
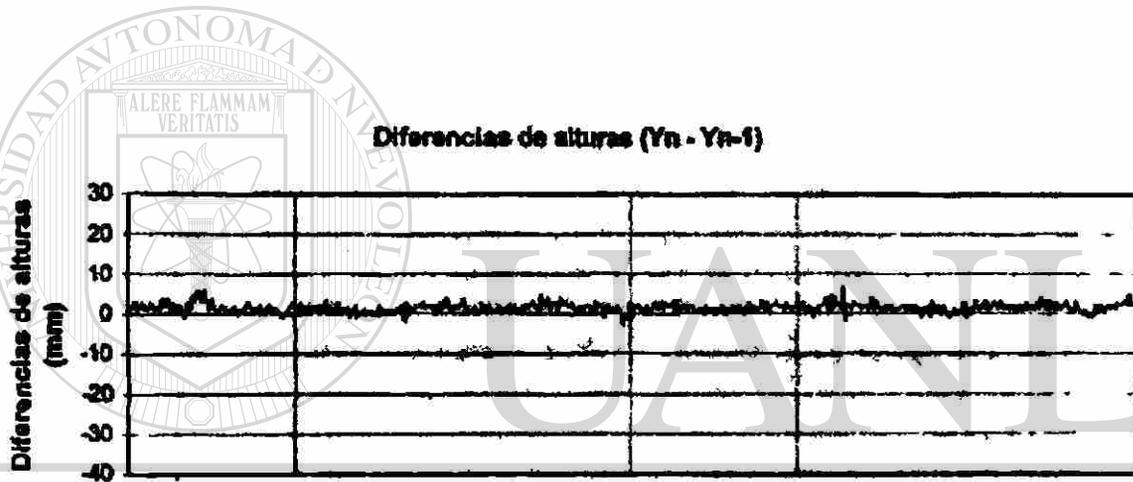


Figura 17. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 1.6 m/km.

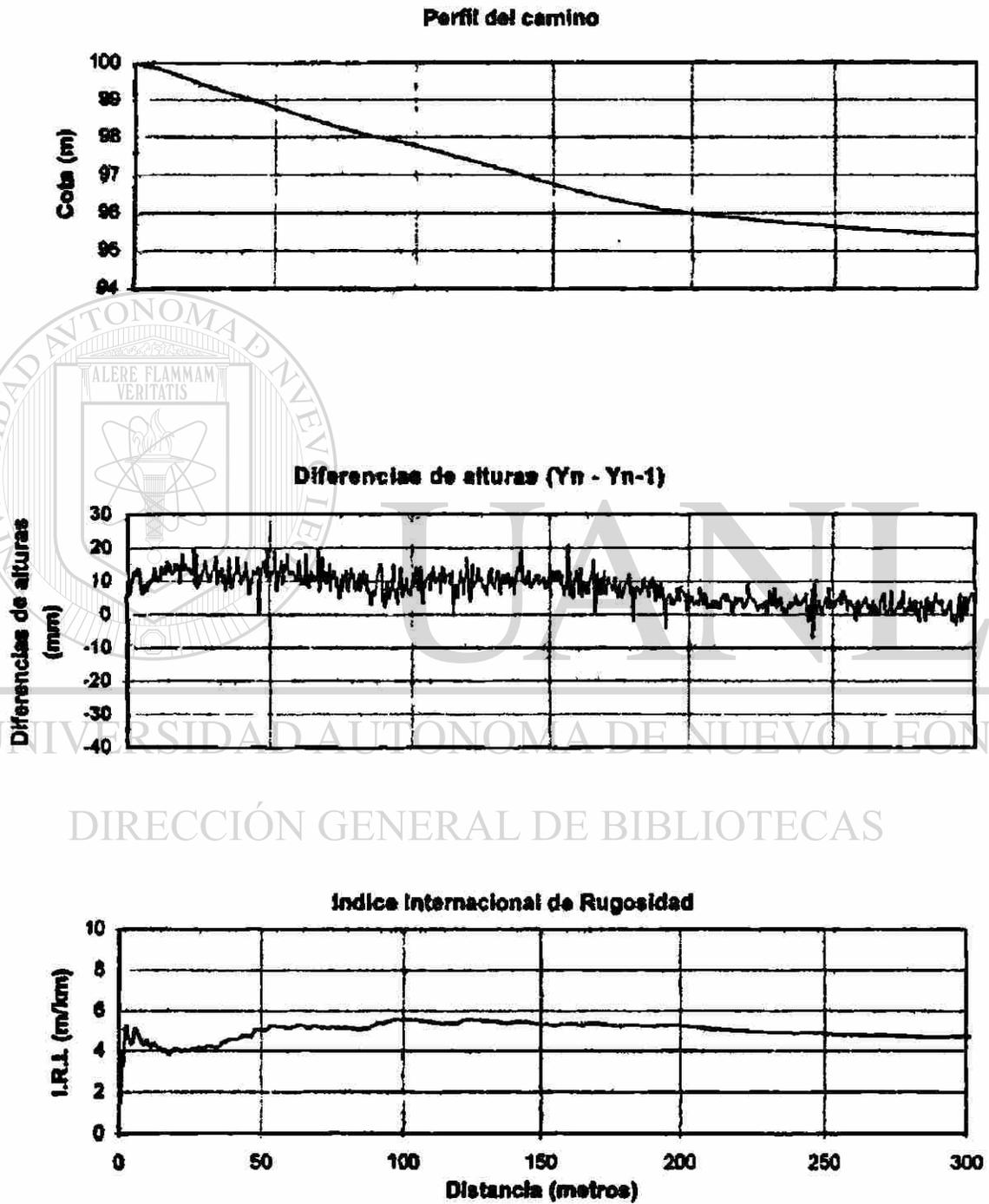


Figura 18. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 4.7 m/km.

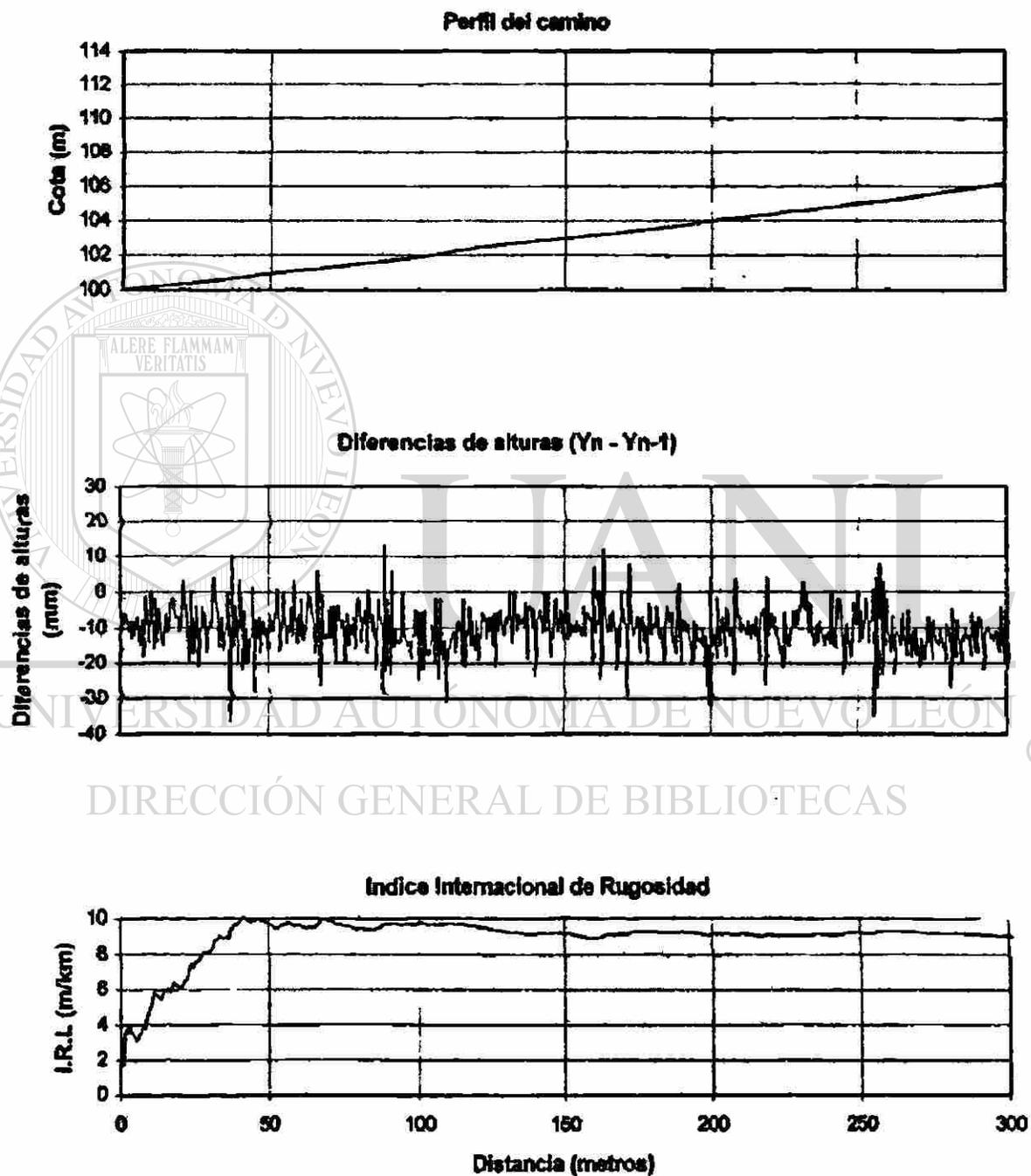


Figura 19. Gráficas de un tramo de 300 m con un valor de IRI = 9.0 m/km.

Teniendo los tramos ubicados y su valor de IRI, se realiza la medición de la rugosidad con el equipo, con un mínimo de tres pasadas sobre el tramo, a cada una de las velocidades a las cuales se requiera realizar la correlación con el IRI. La elección de estas velocidades obedece al nivel de velocidad que recomiendan los diseñadores de los equipos y a la velocidad a la cual se pretendan hacer las evaluaciones posteriores dependiendo de los tipos y características de los caminos a calificar; el equipo Mays Ride Meter tiene un buen comportamiento, a velocidades entre 60 y 80 km/hr.

Por cada una de las velocidades se registran los valores de los conteos (para el caso del Mays Ride Meter), obteniéndose el promedio de las mediciones. Se toma la precaución de eliminar los registros que difieren en $\pm 7\%$ del promedio, calculándose nuevamente el valor medio de la población restante.

Se recomienda que antes de efectuar las mediciones, se observen las especificaciones del equipo proporcionadas por el proveedor o por normas vigentes y verificar que el equipo se encuentre trabajando correctamente. Debe verificarse también que las condiciones en las que el equipo será correlacionado en los tramos de prueba, sean similares a las que serán utilizadas para las mediciones de la red de caminos a evaluar posteriormente (presión de inflado de llantas, que el vehículo de arrastre del equipo sea el mismo, componentes del remolque, etc.). debe verificarse que el odómetro del equipo de medición de rugosidad esté trabajando y midiendo correctamente, ya que los datos de salida están en función de la longitud recorrida.

Gráfica de correlación.

Se realiza una gráfica con el valor medido con el equipo para cada una de las velocidades y el valor del IRI obtenido en cada uno de los tramos evaluados; se traza la línea de tendencia o regresión que mejor se ajuste al conjunto de datos, ésta puede ser lineal, logarítmica, exponencial, etc. y se calcula la fórmula de

correlación. En la figura 20, se muestra un ejemplo de la calibración de un equipo tipo respuesta (Mays Ride Meter).

$$IRI = 0.0025(\text{CONTEOS}) + 0.61$$

$$R^2 = 0.98$$

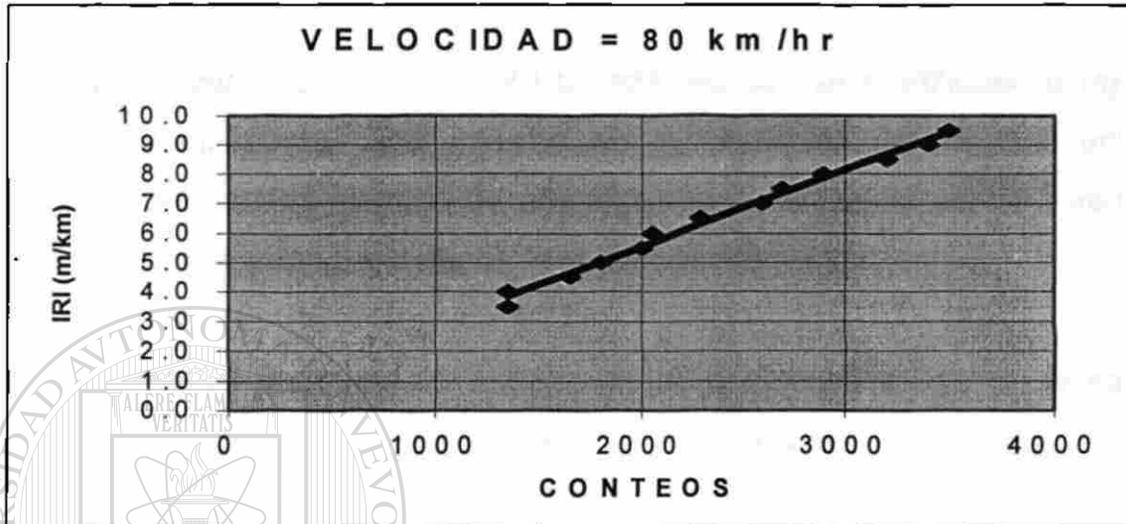


Figura 20. Gráfica de correlación de un Mays Ride Meter.

Si los datos en la gráfica no presentan una cierta línea de tendencia, deberán revisarse las especificaciones y las variables que intervienen en la correlación.

Algunos de los pasos a seguir son:

- Leer las especificaciones del equipo, para detectar posibles indicaciones de uso y restricciones que puedan afectar los valores de salida.
- Revisar el equipo, para detectar posibles anomalías (suspensión, cables, sistema de registro o de cómputo, etc.).
- Verificar que los resultados de las mediciones del equipo correspondan al valor de los tramos evaluados.
- Revisar el cálculo del IRI, esto se hace nuevamente mediante la entrada de los datos del perfil en el programa del Banco Mundial y se puede

revisar por medio del algoritmo de la Viga de Tres Metros, ya que el programa puede estar dañado.

Periodo de correlación.

Se debe realizar la correlación del IRI cada vez que se modifiquen o reparen partes o componentes que influyan en la respuesta del equipo, ante la rugosidad del camino (cambio de amortiguadores, utilización de otro vehículo de arrastre, reparación por daño de la registradora de datos, etc.).

Dependiendo del programa de trabajo que se encuentre realizando el equipo, se recomienda que la calibración se efectúe entre seis meses y un año.

Evaluación en los caminos.

Una vez calibrado el equipo, se procede a identificar los tramos que serán evaluados, para ello se requiere conocer los datos necesarios del camino tales como nombre, kilometraje, sentido, número de carriles, etc., así como también es importante conocer los datos del equipo, la fecha de la calibración y los nombres de los operadores.

Es necesario hacer referencia, al inicio de la evaluación, con base en un punto fijo, ya que es común que el kilometraje que va registrando el equipo no coincida con el marcado en el camino.

La evaluación en campo consiste en pasar el Mays Ride Meter en cada uno de los carriles que componen el camino, a una velocidad específica. Esta velocidad estará fijada por el tipo de camino y por la velocidad de calibración del equipo.

Durante este recorrido, es conveniente realizar un levantamiento visual de deterioros que permita tener una idea de las posibles causas de los valores del

Índice Internacional de Rugosidad. Existen algunos deterioros que no influyen en los valores de la rugosidad; sin embargo, es necesario reportarlos para su reparación.

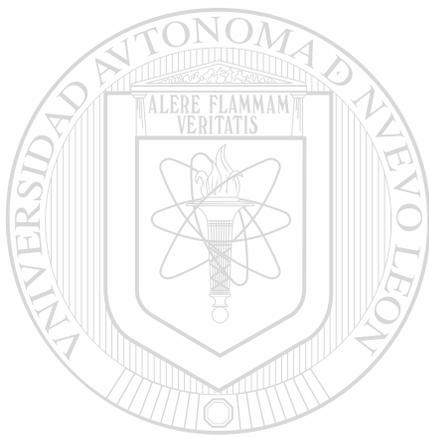
Para el levantamiento visual de deterioros es conveniente diseñar una hoja donde se especifiquen los daños más frecuentes que se presentan en los caminos; como agrietamientos longitudinales, agrietamientos "piel de cocodrilo", baches, deterioros en zonas reparadas, deformaciones longitudinales, corrimientos, roderas, aproches de puentes y alcantarillas, etc.

Para puntos especiales en un camino en el que no se pudiera evaluar con el equipo: zonas de topes, curvas cerradas, tramos bastante dañados, etc., el encargado de la evaluación decidirá con los datos obtenidos, antes y después de estos puntos, el valor de la rugosidad para ese tramo o, si lo considera necesario, pasar un perfilógrafo para evaluar esa longitud del camino. Los topes no se consideran dentro de la rugosidad de un camino.

Se considera que, para fines de evaluación, es necesario un recorrido con el equipo sobre el carril del camino. Si el equipo hubiese presentado problemas a la hora de evaluar o hubo la necesidad de cambiar de velocidad en el recorrido por alguna causa, es necesario hacer otro movimiento similar. Para fines de control de calidad, el número de pasadas del equipo sobre el tramo estará fijado por el proyecto. Es difícil que dos pasadas con el equipo sobre el mismo tramo den resultados iguales, debido a la diferencia de puntos recorridos por cada una de las huellas de las llantas en cada pasada; sin embargo, estos resultados no deben de diferir en más de 15%.

El reporte de resultados de esta evaluación debe contener los datos específicos del tramo, los valores de la rugosidad en la escala de IRI a cada 500 m o a cada kilómetro, los deterioros observados durante los recorridos y un condensado del

IRI de cada 5 km para la introducción de la rugosidad, a los Sistemas de Administración de Pavimentos (SIMAP).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

X.2. APÉNDICE B: ESTUDIO Y ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS SENCILLOS Y HOMOGÉNEOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADO DE REDES DE CARRETERAS (CONSEJO DE DIRECTORES DE CARRETERAS DE IBERIA E IBEROAMÉRICA).

DETERIOROS SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO		
PAÍS	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
Argentina.	Desprendimientos: 1 a 10.	Función del % de peladuras, superficies y % de baches descubiertos.
Chile.	Bueno.	Agrietamiento menor de 1%.
	Medio.	Agrietamiento menor de 30%.
	Regular.	Agrietamiento mayor de 30%.
España.	%.	Porcentaje de superficie de calzada del tronco de la carretera con baches no reparados definitivamente, zonas cuarteadas y grietas no selladas o con sellado defectuoso. Para el cómputo general se considera que 1 m de grieta simple equivale a 1 m ² de superficie deteriorada.
Honduras.	% deficiencias.	Bueno, regular, malo. ^(R)
México.	1 a 5.	Inspección visual. Mide deformaciones, grietas, calaveras, baches y textura.
Puerto Rico.	% deterioro.	Manual AASHTO, SHRP, visual ARAN. En densidad y severidad.
Colombia	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	Inspección visual.
Ecuador.		Se cuantifica.
Paraguay.	1 - 5.	Hay diferentes niveles dependiendo del tipo de deficiencias y severidad. Inspección visual. Hay un cuadro bastante claro.
Uruguay.	%.	Inspección visual. Dependiendo del % baja, media, alta. Dependiendo de la severidad.
ROZAMIENTO TRANSVERSAL		
España.		% de longitud de carril auscultado que tiene coeficiente de rozamiento transversal menor al recomendado.
Puerto Rico.		Existe inventario con coeficiente mínimo de 4. No hay índice. Si hay medición.
Ecuador.		Péndulo TRL, son aceptables mayores que 0.55.

REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN FIRME (RUGOSIDAD EN ALGUNOS PAÍSES)			
PAÍS	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	
Argentina.	0 a 10.	Función del valor de la rugosidad (m/km).	
Bolivia.		5	Inspección visual.
		4	Fisuras menores de 5 mm, baches 1%, rugosidad 10 - 20 QL - 7 mm.
		3	Fisuras mayores de 5 mm, rugosidad 20 - 30 QL - 7 a 9 mm.
		2	Baches mayores de 30%, rugosidad 30 - 50 QL - 9 a 11 mm.
		1	Baches profundos 10%, superficial 45% mayores que 11 mm.
Chile.	Bueno.	0 - 3 IRI.	
	Medio.	3 - 4 IRI.	
	Regular.	Mayores de 4 de IRI.	
España.		IRI y TRL.	
Honduras.	Bueno.	IRI menor que 3.5.	
	Medio.	IRI de 3, 5 - 6.	
	Regular.	IRI mayor que 6.	
México.		Hay referencia pero no indica ni los niveles mínimos ni el índice de textura.	
Puerto Rico.		IRI, PI.	
Colombia.		IRI.	
Ecuador.		IRI y TRL.	
Paraguay.		Índice QL.	
Uruguay.		Asfalto.	Concreto. IRI.
	Muy bueno.	Menor 3.2	Menor 2.8
	Bueno.	3.2 - 3.9	2.8 - 3.5
	Regular.	4.0 - 4.6	3.6 - 4.3
	Malo.	Mayor 4.6	Mayor 4.3
REGULARIDAD SUPERFICIAL DE UN FIRME (RUGOSIDAD EN ALGUNOS PAÍSES)			
PAÍS	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN	
Honduras.	Bueno.	IRI menor que 3.5.	
	Medio.	IRI de 3, 5 - 6.	
	Regular.	IRI mayor que 6.	
México.		Hay referencia pero no indica ni los niveles mínimos ni el índice de textura.	
Puerto Rico.		IRI, PI.	
Colombia.		IRI.	
Ecuador.		IRI y TRL.	
Paraguay.		Índice QL.	
Uruguay.		Asfalto.	Concreto. IRI.
	Muy bueno.	Menor 3.2	Menor 2.8
	Bueno.	3.2 - 3.9	2.8 - 3.5
	Regular.	4.0 - 4.6	3.6 - 4.3
	Malo.	Mayor 4.6	Mayor 4.3

ESTADO ESTRUCTURAL DE FIRMES FLEXIBLES O SEMIRÍGIDOS		
PAÍS	INDICE	DESCRIPCIÓN
Argentina.	2, 4, 6, 8, 10.	Según catálogos de fisuraciones, aumentando el valor del índice a aumentar la severidad de la fisuración.
Chile.		Deflexiones. Comparan con el requerido en el proyecto.
España.		% longitud del carril de pesados no rígido con deterioro debido a la fatiga. Sólo carriles exteriores.
Puerto Rico.		Defectógrafo y equipo ARAN.
Colombia.		Deflexiones.
Ecuador.		Deflexiones.
Paraguay.	1 a 5.	Medidas de huellamiento con regla de 1.2 m.
ESTADO DE TALUDES CON PROBLEMAS		
Chile.		Hay inventario, pero no hay índice.
España.		% de longitud de cuneta que requieren limpieza y/o reparación sobre el total.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	
Puerto Rico.		Existe un inventario.
Colombia.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	
Ecuador.		Existe un inventario, pero no hay índice.
ESTADO DE CUNETAS		
Bolivia.	5	
	4	
	3	Obstruido 30 - 50%.
	2	Mayor que 50%.
	1	100%.
Chile.		Se indican las características del perfecto estado.
España.		% longitud de cuneta que requieren limpieza y/o reparación sobre el total.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	Inspección visual.
México.		Lo analiza dentro del campo del drenaje.
Puerto Rico.		Video ARAN, hay inventario.
ESTADO DE CUNETAS		
Ecuador.		Inspección visual. Revisión de estado.
Paraguay.		Dependiendo del alcance de los problemas en el campo de drenaje.
Uruguay.	Bueno / Medio / Regular.	Existen varios inventarios. No están definidos criterios de índices. Se evalúa visualmente.
DRENAJE PROFUNDO		
España.		% de longitud de drenaje que requiere limpieza y/o reposición.
México.	1 a 5.	Alcantarillas, cunetas, pendiente y lavadero.
Puerto Rico.		Inspección visual. Microcámara, drenaje francés, drenaje con tubería.
Colombia.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	Inspección visual.
Ecuador.		Inspección visual. Revisión de estado.
Paraguay.	Bueno, 1. Regular, 2, 3. Malo, 4, 5.	Incluido cunetas, drenes, pendientes y alcantarillas.

ESTADO DE CAÑOS, TARJEAS Y ALCANTARILLAS		
PAÍS	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
Bolivia.	5 a 1.	Medición individual. De mejor a peor.
Chile.		Condiciones de su buen estado.
España.		% del número de caños, tarjeas y alcantarillas que necesitan limpieza y/o reposición.
México.		Incluido en el drenaje.
Puerto Rico.		Inspección visual. Evaluaciones hidrológicas e hidráulicas.
Colombia.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	Inspección visual.
Ecuador.	Bueno, semiobstruido, obstruido.	Inspección visual, 0 - 10%, 10 - 50%, 50 - 100%.
Paraguay.		Incluido en el drenaje.
ESTADO DE ZONAS A SEGAR		
Chile.		Condiciones de su buen estado.
España.		A criterio del ingeniero responsable: B: bueno, A: aceptable, D: deficiente.
México.		Inspección visual. Incluido en el concepto de Derecho de Vía.
Puerto Rico.		Siega: de forma visual.
Ecuador.		Índices muy desarrollados: calcula pesos, alturas, etc.
ESTADO DE LOS PONTONES		
Bolivia.	5 a 1.	
Chile.		Sólo dice las condiciones visuales de buen estado.
España.		Inspección visual. Revisión general de los elementos del puente: apoyo, cimentaciones, rodadura, baches, juntas.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	Inspección visual.
México.		Está sistematizado su control.
ESTADO DE LOS PONTONES		
Puerto Rico.		Inspección visual. Computarizadas. Evaluación estructural cada tres años, críticas cada año. Pasarelas y rayos X, magnética, ultrasonidos, radar, etc.
Colombia.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	
Ecuador.		Inspección visual. Revisión general de los elementos del puente: apoyo, cimentaciones, rodadura, baches, juntas.
ESTADO EN MUROS		
Bolivia.	5 a 1.	En general son múltiples elementos.
España.		% de longitud de muro que requiere alguna reparación.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	Inspección visual.
Colombia.	Muy bueno, bueno, regular, malo, muy malo.	Inspección visual.

ESTADO DE SEÑALIZACIÓN VERTICAL		
PAÍS	ÍNDICE	DESCRIPCIÓN
Argentina.		En un futuro pedirán un inventario de señalización a los contratos de conservación.
Bolivia.	5 a 1.	
España.		% de longitud del número de señales y carteles que requieren reposición o recolocación.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	Inspección visual. Mide la cantidad de señales que son necesarias.
México.	1 a 5.	Se miden fantasmas y poste ilométrico.
Ecuador.	Muy bueno.	Óptimas condiciones, bien elemento y señal.
	Bueno.	Bien elementos y reflexibilidad.
	Regular.	Desprendimientos parciales, óxidos y manchas.
	Malo.	Mal estado en general.
Uruguay.		En un futuro pedirán un inventario de señalización a los contratos de conservación.
ESTADO DE MARCAS VIALES LONGITUDINALES		
Bolivia.	5	
	4	Más de un año para volver a pintar.
	3	Hay que pintar antes de un año.
	2	Pintado de inmediato.
	1	No existe señal.
España.		% de longitud de marca vial que requiere ser repintada sobre el total.
Honduras.	Bueno / Medio / Regular.	Inspección visual.
México.	1 a 5.	Controlan líneas central, lateral y otras.
Ecuador.	Muy bien.	Inspección visual por la noche con niebla o lluvia.
	Bueno.	Pintura de menos de tres meses.
	Regular.	Pintura de menos de seis meses.
	Malo.	Pintura de menos de nueve meses.
	Muy malo.	Pintura de más de nueve meses.
ESTADO DE MARCAS VIALES LONGITUDINALES		
Uruguay.		Miden reflexibilidad (200 - 150 - 100 - 80) (MB-B-R-M). Color, coordenadas cromáticas. Desgaste, método muy elaborado.

X.3. APÉNDICE C: MEDIDA DE LA TEXTURA SUPERFICIAL DE UN PAVIMENTO POR EL MÉTODO DEL CÍRCULO DE ARENA (NLT 335/87). (MACROTEXTURA)

Objeto y campo de aplicación.

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la determinación de la textura superficial de un pavimento mediante el círculo de arena.



Figura 21. Prueba del "Círculo de Arena".

En general el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto bituminoso como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen determinado de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los huecos rellenos por la arena, valor que puede utilizarse como medida de la rugosidad o textura superficial del pavimento (ver fig. 22).

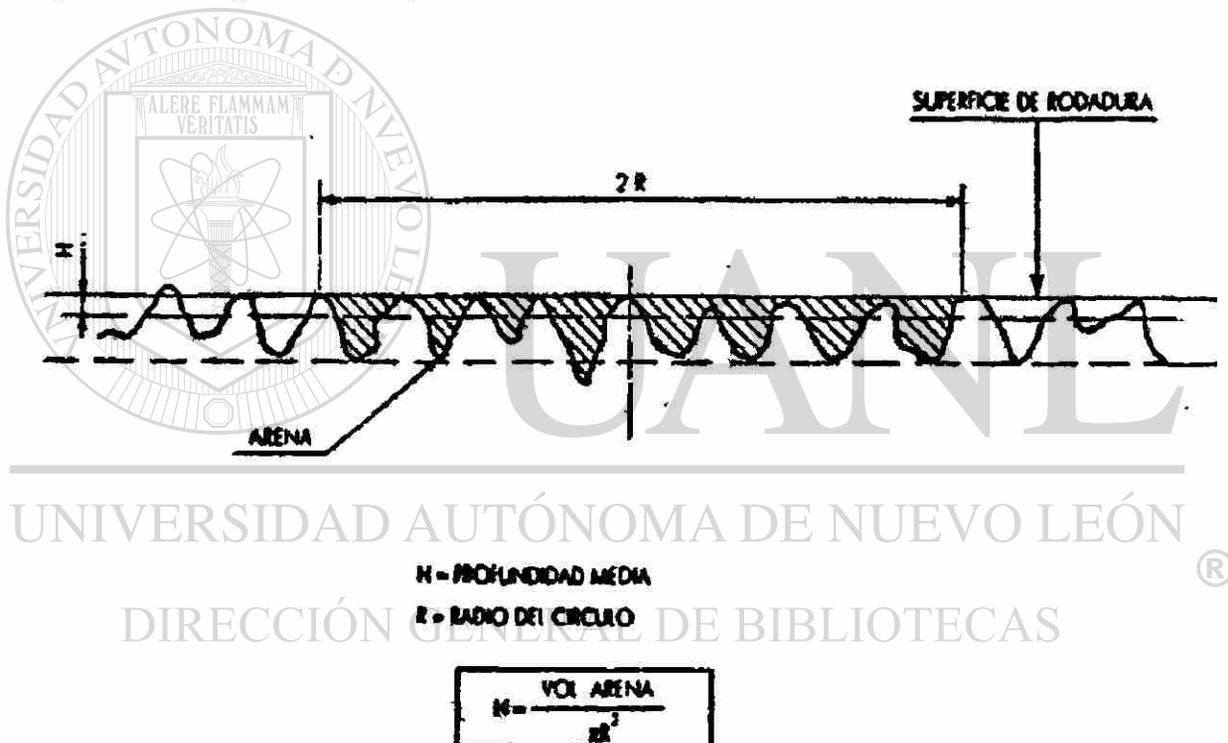


Figura 22. Ensayo del "Círculo de Arena".

Aparatos y material necesarios.

Tres recipientes, para tres medidas diferentes del volumen de arena, constituidos por un tubo cilíndrico de latón o plástico duro cerrado por uno de sus extremos, de 20 mm de diámetro interior y con las alturas necesarias para que sus volúmenes sean, respectivamente, de:

50000 ± 200 mm³

25000 ± 150 mm³

10000 ± 100 mm³

Un tampón para extender y enrasar la arena, formado por un disco de madera con mango, provisto en su cara inferior de un disco de goma dura.

Un compás de puntas rígidas para medir radios de hasta 20 cm.

Una regla metálica o de plástico de 200 mm de longitud como mínimo y graduada en mm.

Dos recipientes de plástico de boca ancha y tapón roscado para el transporte de la arena, de unos 2 lt de capacidad.

Un cepillo de pelo blando.

Arenas para ensayo. Se utilizarán dos tipos de arena silíceas de río, de grano redondeado, lavada y secada en estufa a temperaturas entre 105 y 110 °C, y con las siguientes granulometrías:

- Arena tipo 50 – 80, que pasa por el tamiz UNE 320 µm y queda retenida en el tamiz UNE 160 µm.
- Arena tipo 80 – 200, que pasa por el tamiz UNE 160 µm y queda retenida en el tamiz UNE 80 µm.

Dispositivo para proteger del viento la zona de medida, formado por varias chapas metálicas rectangulares unidas por argollas, capaces de formar una barrera circular alrededor del punto de ensayo que impida que el viento pueda

arrastrar la arena. Si no se dispone de este útil, puede recurrirse a un neumático usado de camión.

Calentador portátil de gas, con bombona y boquilla.

Procedimiento.

Se eligen las zonas a ensayar, que se marcarán convenientemente en la calzada. En cada ensayo se realizará un mínimo de cinco determinaciones, alineadas en la dirección del eje de la vía y separadas 1.00 m entre sí.

El volumen y granulometría de la arena a emplear se elegirá en función de la textura del pavimento, de tal forma que el radio del círculo resultante esté comprendido entre 5 y 18 cm y el tamaño máximo del grano no sea superior a la profundidad media obtenida. En el ábaco de la figura 23, se señalan los campos de empleo para cada volumen y granulometría de la arena.

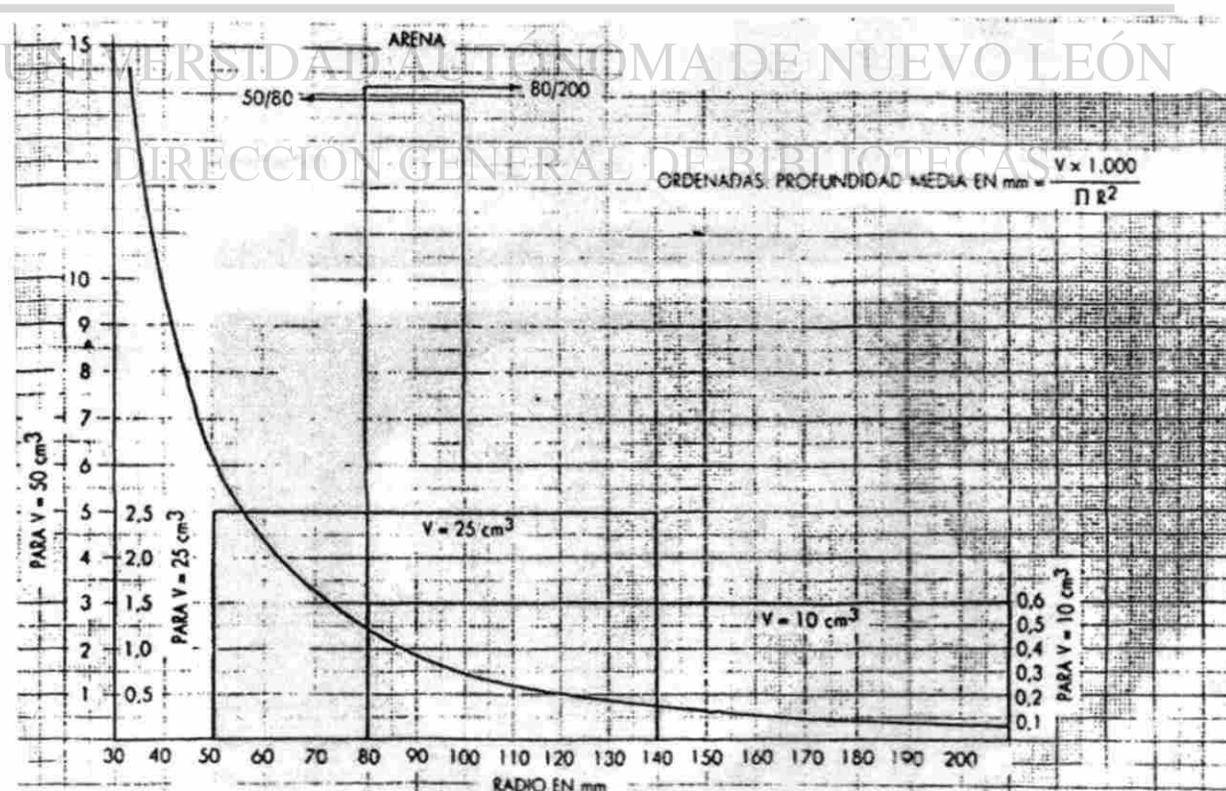


Figura 23. Ábaco para la determinación de la profundidad media de enrase.

Si la superficie del pavimento está húmeda, se seca con la llama del calentador portátil de gas.

Se limpia la superficie de ensayo en un radio de unos 25 cm con el cepillo de pelo blando.

Se llena de arena en exceso el recipiente cilíndrico elegido y se golpea ligeramente tres veces la base para asegurar la compactación; seguidamente se enrasa con la regla el exceso de arena.

Se vierte la totalidad de la arena del recipiente en el punto de ensayo en forma de superficie cónica y a continuación se la extiende con ayuda de la cara plana con goma del tampón, mediante movimientos rotatorios, hasta conseguir una superficie enrasada aproximadamente circular en la que la arena rellene todas las depresiones (ver fig. 24). El movimiento del tampón debe ser suave, sin ejercer presión, y deslizando sobre la superficie del pavimento.

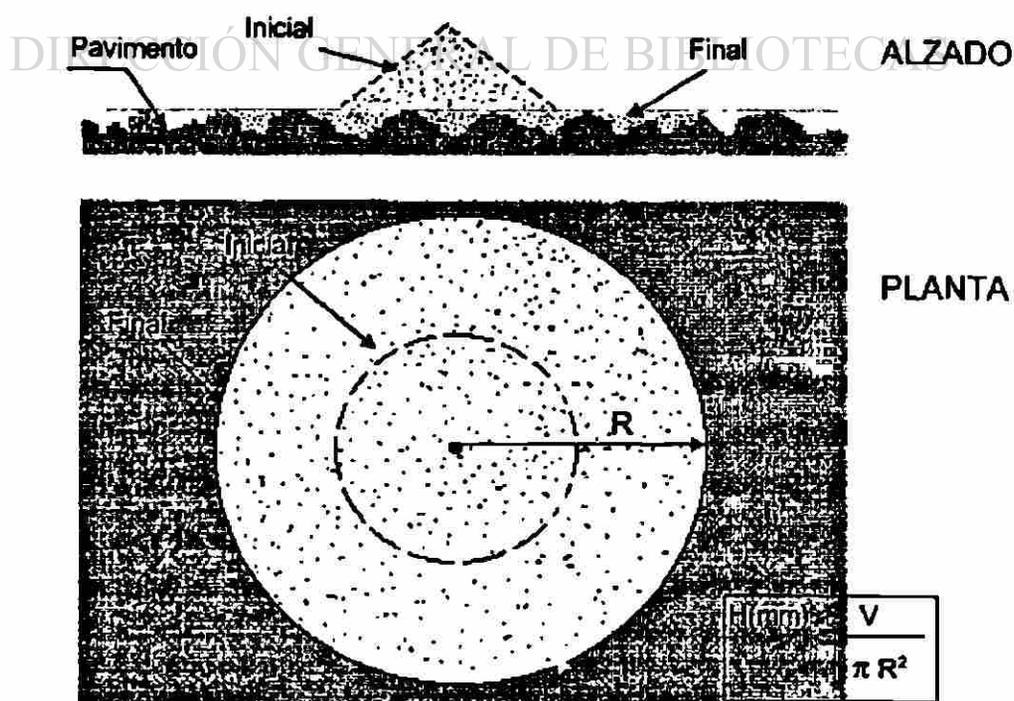


Figura 24. Esquema del ensayo del "Círculo de Arena".

Finalmente, se mide con el compás de puntas el radio del círculo de arena, obteniéndose su valor con aproximación de 1 mm con ayuda de la regla.

Resultados.

Se calcula la profundidad media de la arena utilizada, H, con aproximación de 0.05 mm por la fórmula:

$$H = V / \pi R^2$$

H = profundidad media de textura superficial, en mm.

V = volumen de la arena utilizada, en mm³.

R = radio medio del círculo de arena, en mm.

Mediante el ábaco de la figura 28 se puede obtener directamente la profundidad media. En esta figura se indican, además, las zonas adecuadas para cada volumen y granulometría de la arena.

Se tomará como resultado del ensayo el valor medio de, al menos, cinco determinaciones.

Correspondencia con otras normas.

Centre de Recherches Routières (CRR). MF – 32/69. “Essai á la tache de sable”.

ASTM E 965 – 87 “Test Method for Measuring Surface Macrottexture Depth Using a Sand Volumetric Technique”.

X.4. APÉNDICE D: COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO CON EL PÉNDULO DEL TRRL (NLT – 175/88). (MICROTEXTURA)

Objeto y campo de aplicación.

Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el péndulo del Transport and Road Research Laboratory (British Portable Skid Resistance Tester), tanto en laboratorio como en pavimentos (ver fig. 25).

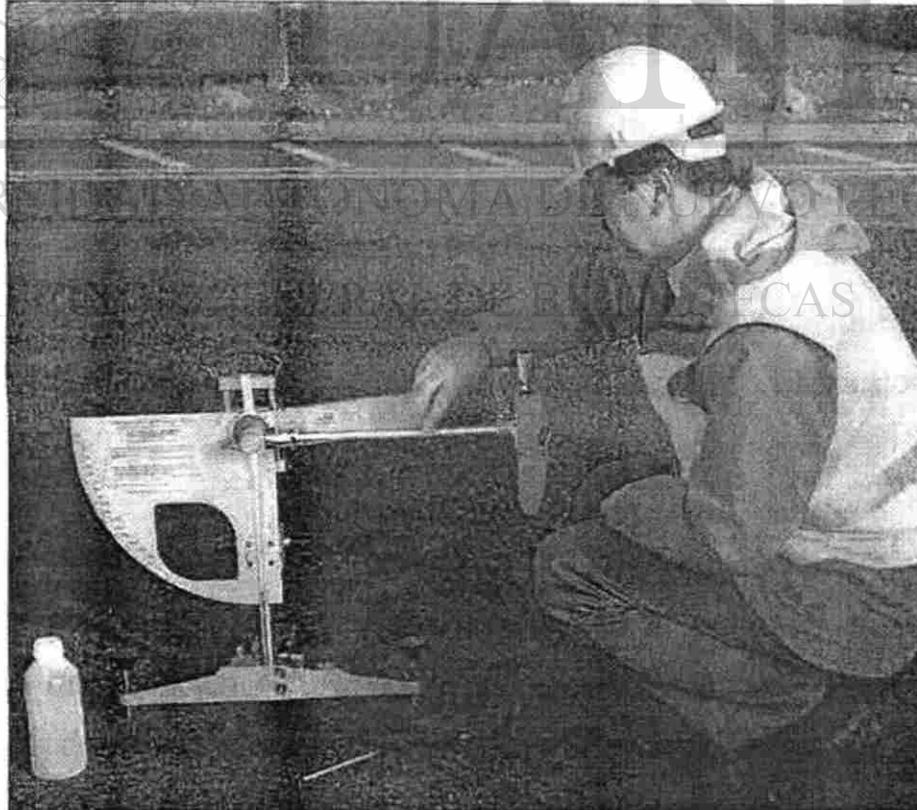


Figura 25. Péndulo del TRRL.

El procedimiento tiene por objeto obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que, manteniendo una correlación con el coeficiente

físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

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

El método de ensayo puede emplearse también para medidas en pavimentos de edificaciones industriales, ensayos de laboratorio sobre probetas, baldosas o cualquier tipo de muestra de superficies planas terminadas. No es objeto de esta norma la medida sobre probetas para determinar el pulimento acelerado de los áridos (NLT – 174).

Aparatos y material necesarios.

Péndulo del TRRL. Se emplea el aparato representado en la figura de abajo, desarrollado y diseñado por el Transport and Road Research Laboratory, cuyas características son:

El péndulo propiamente tal, con la zapata y su placa soporte debe tener una masa de 1500 ± 30 gr. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo, a una distancia de 411 ± 4 mm del centro de oscilación. El arco de circunferencia descrito por el borde de la zapata, con centro en el eje de suspensión, tendrá un radio de 508 mm. La zapata del péndulo ejercerá una fuerza de 24.52 ± 0.98 N (2500 ± 100 gf) sobre la superficie de ensayo y en su posición media de recorrido. La variación de tensión del muelle sobre la zapata no será mayor de 216 N/m (220 gf/cm).

La zapata de goma va pegada sobre una placa de aluminio, que comprende un casquillo para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal que solamente la arista posterior de la goma quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girarla alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo y manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo.

Características de la zapata. Las dimensiones de la zapata de goma a emplear en las medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.2 mm de longitud, 25.4 mm de ancho y 6.5 mm de grueso. La masa del conjunto zapata y placa-soporte de aluminio será de 36 ± 7 gr. Las zapatas estarán cortadas de una plancha de goma de 6.5 mm de espesor y con una edad mínima de fabricación de seis meses, y estarán sujetas a ciertas especificaciones.

Dispositivo de nivelación. El dispositivo de nivelación será del tipo de tornillo (L), acoplado en cada uno de los tres puntos del apoyo del aparato, con un nivel de burbuja (M) para situar la columna del instrumento en posición vertical.

Dispositivo de desplazamiento vertical. Un dispositivo que permita mover verticalmente el eje de suspensión del péndulo, de manera que la zapata mantenga contacto con la superficie a ensayar en una longitud entre 124 y 127 mm. El movimiento vertical de la cabeza del aparato, solidariamente con el brazo oscilante (D), escalas graduadas (K), aguja indicadora (I) y mecanismo de disparo (N), se efectuará por medio de una cremallera (C), fijada en la parte posterior de la columna vertical y de un piñón accionado por uno cualquiera de los mandos (B – B'). La cabeza quedará fijada por medio del tornillo de presión (A).

Dispositivo de disparo del brazo del péndulo. Un dispositivo para sujetar y soltar el brazo del péndulo (N), de forma que éste caiga libremente desde su posición horizontal.

Dispositivo de medida. Un dispositivo consistente en una aguja, de masa 85 gr y longitud 300 mm, equilibrada respecto a su centro de suspensión, para indicar, al final de su recorrido, la posición del brazo del péndulo sobre una escala circular (K) grabada sobre un panel o sobre una escala auxiliar (K') utilizada en la determinación del pulimento acelerado de los áridos (NLT – 174). Un sistema de fricción del mecanismo de suspensión de la aguja que será regulable mediante los tornillos de fricción roscados (E y E'), de manera tal que, con el brazo del péndulo moviéndose libremente desde su horizontal, la aguja sea arrastrada por la oscilación del brazo hasta un punto situado a 10 mm por debajo de la horizontal que pasa por el centro de oscilación (punto "cero" de la escala de medida).

Material auxiliar.

Reglilla graduada. Una reglilla graduada, cuyas marcas externas están separadas 127 mm, siendo la separación entre una marca exterior y la interior más próxima a 2.5 mm.

Termómetro. Un termómetro con graduación en grados Celsius y escala de -10 a +60 °C.

Recipientes para agua. Dos recipientes de material plástico y tapón de rosca, conteniendo agua potable o destilada. Uno con capacidad de 10 lt y el otro con capacidad de 0.5 lt. El más pequeño llevará en el tapón un tubo de salida con orificio de unos 3 mm de diámetro.

Cepillo. Un cepillo de cerdas de goma dura con longitud mayor de 2 cm, que pueda abarcar una superficie de barrido de 16 cm², para la limpieza de la superficie a medir.

Cinta métrica. Una cinta métrica de longitud igual o superior a 15 m para situar los puntos de medida.

Caja de herramientas. Caja de diseño particular para transportar las herramientas, zapatas, termómetro, reglilla, tiza, lapiceros, etc., elementos todos necesarios para efectuar medidas en el campo.

Caja de transporte. Caja especial para transportar el equipo de medida.

Banqueta para asiento del operador al realizar medidas en el campo.

Superficie testigo. Una lámina autoadhesiva modelo "Safety-Walk" tipo B, fabricada por Minesota de España, S. A., para el acondicionamiento de las zapatas nuevas.

Montaje del aparato.

Se extrae el cuerpo principal del aparato de la caja de transporte y se coloca en posición de trabajo el pie posterior de la base, haciéndolo girar sobre el tornillo (J) y sujetándolo con el tornillo (H). Seguidamente se fija el brazo oscilante (D) en la cabeza del aparato mediante el racor (G).

En el brazo del péndulo y sobre el pivote (F), se ajusta la zapata de goma, sujetándola con una arandela y un pasador.

Las zapatas de goma nuevas deben ser acondicionadas antes de su empleo, realizando 10 disparos sobre la superficie testigo en condiciones secas. Los disparos deben ejecutarse preparando el ensayo tal se indica en el Procedimiento de Ensayo.

Deberá cambiarse la arista de rozamiento de la zapata con las que se efectúen las medidas cuando presente una superficie rozada superior a los 3.2 mm de ancho o un desgaste en la arista superior a 1.6 mm de alto.

Se nivela el aparato por medio de los tornillos (L), que van situados en cada uno de los pies de su base, y el nivel de burbuja (M) situado sobre la misma base, a la derecha.

A continuación se eleva la cabeza del aparato, de forma tal que el brazo del péndulo oscile sin rozar la superficie a medir y se procede a comprobar el "cero" de la escala de medida.

Para ello se lleva el brazo del péndulo a su posición horizontal hacia la derecha del aparato, quedando enganchado automáticamente en el mecanismo de disparo (N). Después se desplaza la aguja indicadora (I) hasta el tope (O) situado en la cabeza del aparato, de forma que quede paralela al eje del brazo del péndulo. Este tope, constituido por un tornillo, permite corregir el paralelismo entre la aguja y el brazo. Seguidamente, por presión sobre el pulsador (N) se dispara el brazo del péndulo, que arrastrará la aguja indicadora solamente en su oscilación hacia delante (Nota 1). Se anota la lectura señalada por la aguja de la escala (K o K') del panel y se vuelve el brazo a su posición inicial de disparo (Nota 2). La corrección de la lectura del "cero" se realiza mediante el ajuste de los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja sobrepasa el "cero" de la escala, la corrección exigirá apretar los anillos de fricción (E y E'). Si la aguja no alcanza el "cero" la corrección exigirá aflojar los anillos de fricción (E y E') (Nota 3).

Nota 1. Es conveniente sujetar el aparato con una ligera presión de la mano izquierda sobre la parte superior de la columna vertical, cada vez que se efectúe un disparo del péndulo, al objeto de evitar movimientos o vibraciones en su base.

Nota 2. Deberá recogerse el brazo oscilante en su recorrido de regreso antes de que pase por la posición vertical, al objeto de que no arrastre la aguja indicadora en la oscilación de vuelta al choque contra el pavimento y, cuando se realizan medidas, evitar el roce de la zapata sobre la superficie de contacto y su consecuente deterioro, por lo que se debe pasar la zapata sin tocar la superficie de ensayo ayudándose de la palanca de elevación (P).

Nota 3. En la comprobación del “cero” del aparato se harán los necesarios disparos y correcciones con los anillos de fricción, hasta que la aguja marque tres veces consecutivas la lectura “cero”.

Procedimiento operatorio.

Operaciones previas en pavimentos.

En calzadas se procede en primer lugar a la inspección visual de pavimento objeto del ensayo, dividiéndolo en tramos de iguales características en toda su longitud y que no superen los 1000 m. Dentro de cada tramo se selecciona una zona y, en ésta, de tres a diez secciones transversales separadas por una longitud de 5 a 10 m. Se elige una distribución transversal de los puntos de ensayo, igual para todas las secciones. En cada sección se fijan puntos de ensayo en las rodadas, cumbre de bombeo o centro de la calzada y a 20 cm del borde de la calzada. También podrán elegirse puntos de ensayos entre rodadas o cualesquiera otros que sospeche puedan tener carácter deslizante.

En otros pavimentos se procede a su inspección y división en tramos que no superen los 1000 m, eligiendo en cada tramo una zona, y en ésta de 10 a 30 puntos de ensayo, distribuidos para que la muestra sea representativa. Podrá seguirse una distribución similar a la indicada para calzadas y fijar dos o más franjas o superficies (periféricas, de uso, etc.).

Es recomendable efectuar una inspección meticulosa del estado del pavimento a ensayar, detallando cuantas irregularidades sean observadas en los puntos de medida.

Operaciones previas en laboratorio.

Sólo podrán ensayarse probetas o losas con superficie, aproximadamente plana, que pueda contener un rectángulo de 150 x 90 mm.

Se eligen hasta tres puntos de ensayo por probeta o losa, procurando que los rectángulos barridos por la zapata del péndulo produzcan el mínimo solape y las direcciones de barrido formen ángulos de 45° o superiores.

En probetas y losetas no sometidas al uso o desgaste, es conveniente realizar el ensayo en los dos sentidos para cada dirección elegida.

Normalmente para el ensayo de muestras de probetas o losetas es necesario disponer de elementos necesarios que faciliten la situación y fijación del péndulo y sujeción de la muestra. La parte inferior de la base del péndulo debe quedar entre 10 y 30 mm por encima de la superficie de la muestra.

Procedimiento de ensayo.

El péndulo una vez montado se coloca en el punto de ensayo elegido de modo que la vertical del centro de la zapata coincida con el punto marcado, y que la

dirección de barrido sea la elegida. Seguidamente se procede a su nivelación (Nota 4).

Nota 4. Cuando el péndulo no haya sido utilizado en las ocho horas antes a su ensayo, antes de efectuar cualquier serie de mediciones se realizarán cinco disparos sobre una probeta pulimentada o sobre una zona de pavimento sometida al tráfico.

Comprobando el "cero" del aparato, se ajusta la altura de la cabeza del péndulo de forma que la zapata de goma, en su contacto sobre la superficie del pavimento, recorra una longitud entre 124 y 127 mm. Se deja el brazo del péndulo (D) libre y en su vertical y se coloca la galga (sujeta a una cadenilla en la base del aparato) bajo el tornillo de posición (R) de la palanca de elevación (P), con lo que se elevará la zapata de goma. Se baja entonces la cabeza del aparato, sin mover el brazo del péndulo de su posición vertical, hasta que la zapata justamente toque la superficie a medir. Se fija ahora la cabeza del aparato en esta posición por medio del tornillo (A) y se retira después la galga.

Se hace oscilar el brazo del péndulo hasta que la zapata toque justamente los bordes de la superficie de ensayo, primero a un lado y luego a otro de la vertical. La longitud de rozamiento será la distancia entre los dos bordes de contacto S y S', en el recorrido de la zapata sobre la superficie a medir. La longitud de rozamiento correcta, se comprueba utilizando la reglilla. Todo roce de la zapata al moverse a través de la superficie de contacto deberá ser siempre evitado usando la palanca de evaluación (P). Siempre que sea preciso, la corrección de la longitud de rozamiento se efectuará mediante una ligera elevación o descenso vertical de la cabeza del péndulo.

Una vez montado el aparato, comprobada la medida del "cero" y controlada la longitud de rozamiento de la zapata, se coloca el brazo del péndulo y la aguja indicadora en su posición correcta de disparo.

La superficie de pavimento a ensayar se limpia con el cepillo asegurándose de que quede libre de partículas sueltas.

Antes de efectuar las medidas de ensayo, se humedece la zapata con abundante agua limpia y se moja la superficie del pavimento, extendiendo al agua sobre el área de contacto ayudándose con el cepillo.

Se procede entonces a la realización de las medidas correspondientes, dejando caer libremente desde su posición de disparo el brazo del péndulo que arrastra la aguja, anotándose la lectura marcada por ésta en la escala (K) y redondeando el número entero más próximo. Después de cada disparo y medida, el brazo del péndulo y la aguja se vuelven a su posición de disparo, procediéndose en la forma que se indica en la Nota 2. La medida se repite cinco veces sobre cada punto de ensayo y operando siempre en las mismas condiciones, volviendo a mojar con agua a la temperatura ambiente la superficie de ensayo antes de cada disparo. Si las lecturas de las cinco medidas no difieren en más de tres unidades, se anota el valor medio resultante como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado. Si la diferencia entre las cinco lecturas es mayor de tres unidades, se continúa realizando medidas hasta que tres consecutivas den la misma lectura, en cuyo caso se toma ésta última como valor efectivo de la lectura en el punto ensayado.

Se mide la temperatura ambiente en el punto de ensayo, colocando en su proximidad sobre el pavimento y a la sombra del termómetro. Asimismo, se anota la temperatura del agua, cuyo recipiente debe estar a la intemperie durante la ejecución del ensayo (en laboratorio, en la misma zona ambiental).

Resultados.

El resultado del ensayo de resistencia al deslizamiento se expresará en tanto por uno, en forma de:

Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) = Lectura Efectiva / 100

Las medidas efectuadas sobre pavimentos están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada. La uniformidad del valor de las medidas a realizar, bajo cualesquiera condiciones climatológicas, exige una corrección del coeficiente obtenido mediante el gráfico mostrado en la figura 26, para expresar los resultados del ensayo a 20 °C.

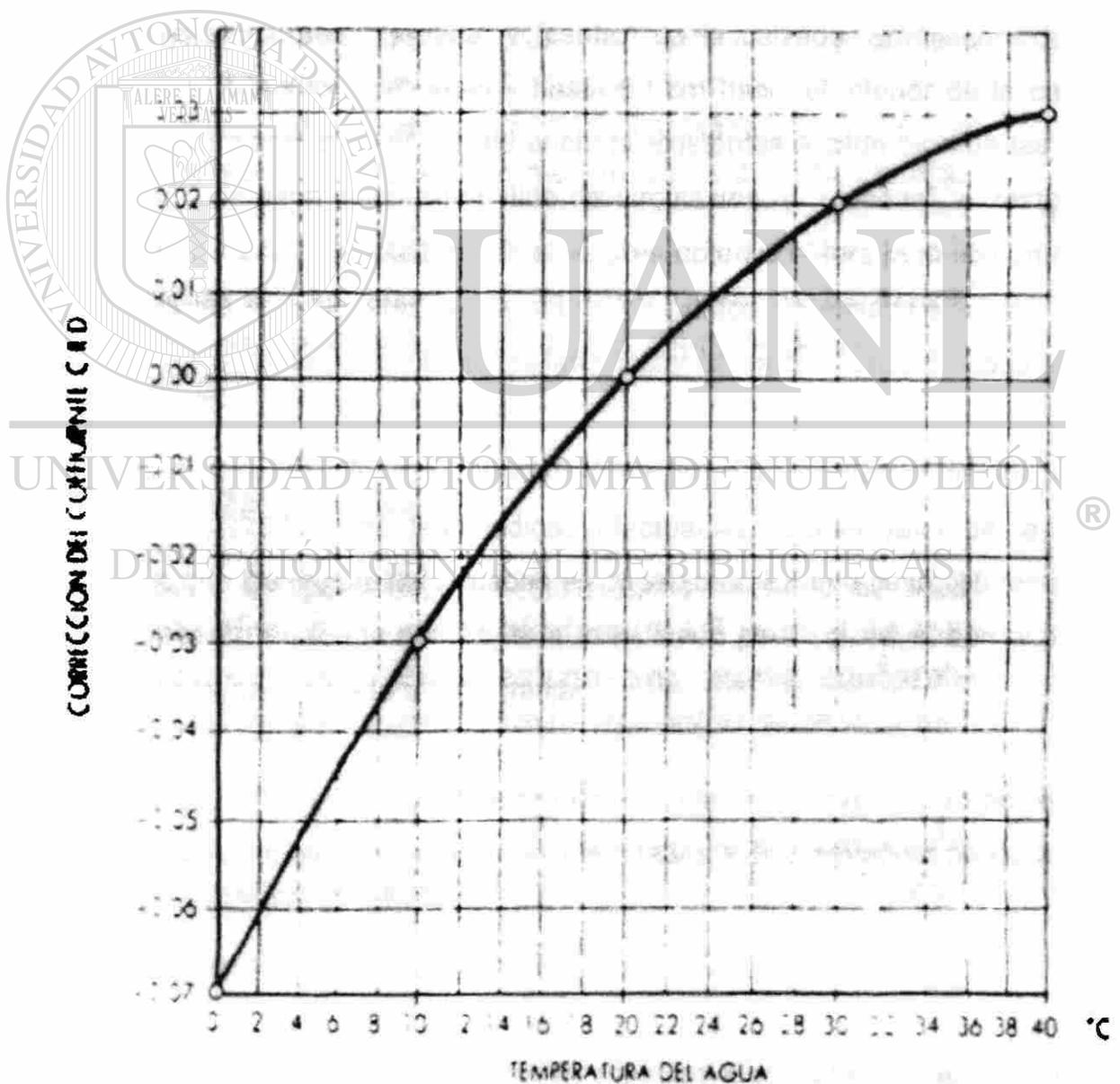


Figura 26. Corrección al aplicar el coeficiente de resistencia al deslizamiento a distintas temperaturas para obtener el valor correspondiente a 20°C.

Expresión de los resultados obtenidos en ensayos sobre pavimentos.

El resultado de las medidas efectuadas sobre un pavimento, será expresado especificando los valores obtenidos en cada uno de los tramos independientemente, de acuerdo con la distribución estipulada.

Los resultados de las medidas efectuadas en cada zona de ensayo de un tramo de calzada serán expresados por, al menos, tres valores, correspondientes cada uno, a "bordes", "rodada" y "centro" de la calzada. Serán considerados "bordes" la superficie del arcén y hasta 50 cm hacia el interior de la calzada; "centro", las bandas de 50 cm de anchura existentes a cada lado de las líneas de carril o de separación de sentido de circulación; y "rodadas", el resto de la calzada. Cada uno de los tres o más valores obtenidos será la media aritmética de todas las lecturas efectuadas sobre los puntos de ensayo situados en las superficies consideradas y en todas las secciones transversales de cada tramo.

En pavimentos distintos de calzadas, si no se hubiese hecho distribución de franjas, el resultado de las medidas efectuadas será el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas en cada zona. En otro caso, los resultados se expresarán en forma semejante a lo indicado para calzadas, con expresión de la denominación dada a cada franja.

Los resultados de ensayos sobre probetas o losetas se expresarán por el valor de la media aritmética de las lecturas efectuadas sobre la probeta o loseta.

Observaciones.

Después de un determinado número de medidas efectuadas con el péndulo (5 o 6 puntos de ensayo), es conveniente realizar una nueva comprobación del "cero" del aparato.

Cuando se efectúan medidas en el campo, suelen presentarse dificultades si hay fuertes vientos racheados. En tales condiciones se recomienda colocar el aparato de forma tal que el plano de oscilación del péndulo sea normal a la dirección del viento, protegiéndolo en lo posible de su acción directa.

Es muy conveniente efectuar calibraciones periódicas del péndulo de ensayo. Para estas comprobaciones de mantenimiento del aparato, la Dirección General de Carreteras del MOPU dispone de los elementos necesarios, pudiendo recurrir a dicho Organismo cualquier laboratorio que precise sus servicios.

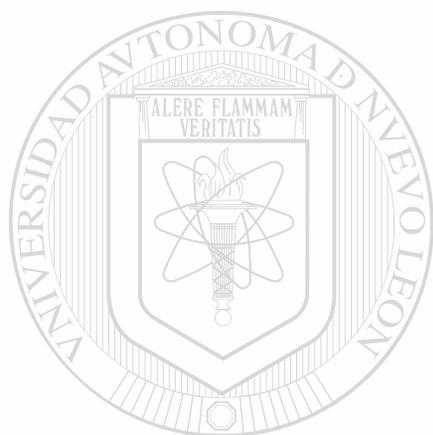
Correspondencia con otras normas.

ASTM E 303 – 83: "Method of Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester".

BS 812: Part 3: 1975. "Testing aggregates. Methode for determination of mechanical properties".

Norma para consulta: NLT 174/72 "Pulimento acelerado de los áridos".

X.5. APÉNDICE E: RESÚMEN DE PRÁCTICAS DE MANTENIMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES (CRITERIOS DE SELECCIÓN ENTRE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES PARA AEROPUERTOS: S.C.T., DIRECCIÓN GENERAL DE AEROPUERTOS, DIRECCIÓN DE PROGRAMACIÓN, COORDINACIÓN DE PROGRAMACIÓN).



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

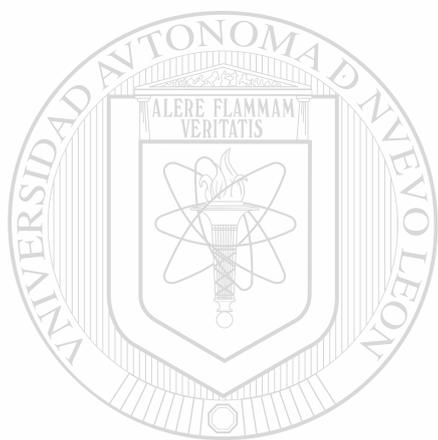
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES	RECOMENDACIONES
Erosión del pavimento.	El chorro de las turbinas. El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad. Adherencia pobre entre el material pétreo y el asfalto causada por: elaboración defectuosa del concreto asfáltico, agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto, efectos circunstanciales (derrame de combustibles y lubricantes).	Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello. Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache. Cuando se presente derrame de combustible, lavar inmediatamente el área afectada de manera que se diluya y se elimine el líquido disolvente (mantenimiento preventivo). Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar.
Disgregación o desmoronamiento.	Insuficiente compactación durante la construcción. Colocación de la carpeta durante clima muy húmedo o frío. Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto. Falta de asfalto en la mezcla. Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.	Reparación temporal: limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar. Remover o raspar el exceso de asfalto afiorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico).
Agujeros.	Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: falta de asfalto en la mezcla, falta de espesor de carpeta, exceso o carencia de finos en la mezcla, drenaje deficiente.	Reparación temporal: limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar. Remover o raspar el exceso de asfalto afiorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico).
Sangrado o afloramiento del asfalto.	Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. Construcción inadecuada del sello. Riego de liga o de impregnación excesiva. Solventes que acarrean asfalto a la superficie. Las cargas que producen el paso del tráfico pesado pueden acelerar el sangrado.	Reparación temporal: limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. Reparación permanente: efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar. Remover o raspar el exceso de asfalto afiorado y aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico).
Oxidación del asfalto.	Exceso interperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas.	Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico. Aplicar un producto rejuvenecedor (Reclamite).
Comimientos de la carpeta.	Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debido a: impurezas que se encuentran entre las dos capas (polvo, aceite, caucho, agua), falta de riego de liga durante la construcción del pavimento, exceso del contenido de arena en la mezcla, compactación inadecuada durante la construcción.	Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales. Limpiar con cepillo y aire a presión. Aplicar un riego de liga ligero. Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidado para evitar segregación. Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico.

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES	RECOMENDACIONES
Corrimientos circulares.	Giros muy cerrados de los aviones. Poca capacidad del pavimento para resistir esfuerzos de tensión.	Sellar la grieta si no es muy profunda. Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento.
Corrugaciones.	Cargas del tráfico. Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: exceso de asfalto en la mezcla, exceso de agregados finos, agregados pétreos demasiado redondeados o lisos, cemento asfáltico demasiado blando, humedad excesiva, contaminación por derrame de aceites, falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados).	Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico. Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado. Si hay subdrenaje defectuoso, éste debe ser corregido previamente.
Hundimientos o depresiones.	Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. Asentamientos del terreno de cimentación. Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos).	Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una renivelación. Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.
Canalizaciones.	Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocados por el tráfico. Carpetas nuevas mal compactadas. Baja estabilidad del concreto.	Renivelar las depresiones y colocar una sobrecarpeta.
Grietas longitudinales de orilla y de junta.	Falta de soporte lateral. Asentamientos del material cercano a la grieta debidos a: drenaje defectuoso, acción de las heladas, contracciones por secado del suelo de cimentación, vegetación cercana a la orilla del pavimento. Unión débil entre dos franjas de construcción de la carpeta.	Corregir el drenaje si está defectuoso. Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. Si además existen asentamientos, picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.
Grietas transversales.	Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase (cuando el pavimento está cruzado por tuberías o ductos). Movimientos más generales y más amplios del suelo de cimentación (grietas por secado de suelos arcillosos, grietas por movimientos telúricos, grietas por fallas geológicas activas).	Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. Si además existen asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente. Si la falla se debe a movimientos generales del suelo, se puede intentar reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero de refuerzo sobre la zona afectada.

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES	RECOMENDACIONES
Grietas de contracción.	Cambios de volumen de la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. Cambios de volumen del agregado fino en las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. La falta de tráfico apresura la falla. Diferentes colores de la superficie del pavimento (marcas de pintura), que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol.	Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión, rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. Si existe pintura, raspar previamente. Rellenar las grietas.
Grietas de reflexión.	Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentran debajo de una sobrecarpeta. Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones. El paso del tráfico. Movimientos de tierra. Pérdida de humedad en la subrasante con alto contenido de arcillas.	Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales. Instalar subdrenaje si la causa de la falla fue el agua. Aplicar un riego de impregnación en las paredes. Rellenar con mezcla asfáltica. Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene más de 15 cm de profundidad). Reparación temporal de emergencias: aplicar un mortero asfáltico; en el caso de haber hundimientos, rellenar las grietas y nivelar con mezcla asfáltica.
Agnetamientos tipo piel de cocodrilo. Agnetamientos tipo mapa.	Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, subbase y/o base inestables o resilientes.	Corregir el subdrenaje y/o el drenaje si éstos fueron la causa de la falla. Reponer el pavimento alterado. Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico en la zona de la carpeta con textura muy abierta.
Crecimiento de yerba y afloramiento de agua.	Textura de carpeta demasiado abierta. Capa base saturada de agua. Agua atrapada en la carpeta durante la construcción.	Proceder al renurado transversal y/o al rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción.
Acumulación de caucho en la superficie.	Número considerable de operaciones de atenuación en la pista.	Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. Controlar los trabajos por medio del perfilógrafo. Solución opcional: tender sobrecarpeta (generalmente resulta más costoso).
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones.	Escaso control durante la construcción. Equipo inadecuado para el tendido. Fallas del pavimento.	



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



