

UNA ESTRATEGIA PARA LA CONSERVACION DE LA RED CARRETERA

Instituto Mexicano del Transporte
Secretaría de Comunicaciones y Transportes

Documento Técnico No. 11
Sanfandila, Qro. 1995

Este documento fue elaborado en el Instituto Mexicano del Transporte por el Ing. Alfonso Rico Rodríguez, Coordinador Operativo y por el Dr. Alberto Mendoza Díaz, Jefe de la División de Estudios Logísticos.

Diversas personas han participado en las investigaciones originales que aparecen en estas páginas dando invaluable ayuda a los autores. Entre ellos merecen destacarse los Ing. Juan M. Orozco y Rodolfo Téllez que contribuyeron a fundamentar muchos de los criterios técnicos asentados; los Ing. Roberto Aguerrebere, Fernando Cepeda y Gandhi Durán realizaron en gran medida los trabajos de evaluación de costos operacionales en México. Asimismo, la metodología computacional fue cuidadosamente afinada por los Ing. Ricardo Solorio, Gandhi Durán y Maximiliano Benavides así como por el Actuario Agustín Reyes. El Ing. José L. Gutiérrez efectuó los análisis relacionados con el efecto de pesos vehiculares. El Ing. Ricardo Arredondo participó en el desarrollo de la metodología para el cálculo de los flujos de valor de carga. El Ing. Emilio Mayoral contribuyó en forma muy importante a la elaboración y edición de este trabajo.

Indice

	<u>Página</u>
1. La Red Carretera Nacional. Su Evolución Histórica y sus Condiciones.	1
2. Necesidad de una Estrategia Nacional de Conservación.	9
3. Bases para una Estrategia Nacional de Conservación.	11
4. Componentes de la Estrategia de Conservación Propuesta.	15
5. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente Técnica.	17
5.1 Sistema para la Evaluación de la Condición Estructural.	17
5.1.1 Bases Conceptuales del Sistema Mexicano.	18
5.1.2 Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos	19
5.2 Módulo Económico del Sistema de Gestión.	23
6. Análisis de los Costos de Operación.	27
7. El Paradigma para Ordenar la Importancia de las Carreteras.	29
8. Comentarios Adicionales sobre el Estudio de Pesos y Dimensiones.	35
9. Equiparación del Criterio de Jerarquización Basado en el Valor de la Carga con otros Criterios comúnmente utilizados.	39
10. Niveles de Calidad según la Importancia Económica de la Carretera.	43

	<u>Página</u>
11. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente de Generación de Recursos.	45
11.1 Ideas Generales.	45
11.2 Sistemas de Generación de Recursos.	49
11.3 Una Propuesta Específica para la Obtención de Recursos para la Conservación Vial en el Caso de México.	52
12. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente Organizacional.	61
12.1 Organización General de los Trabajos de Conservación.	61
12.2 Organización Institucional de los Trabajos de Conservación.	68
Apéndice 1. Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.	71
1. Metodología de Campo para la Evaluación de la Red.	71
2. Lineamientos Generales del Sistema.	74
3. Equipo de Cómputo.	75
4. Banco de Datos.	75
5. Formatos.	77
6. Evaluación Sistemática de la Red y su Implementación.	78
7. Recomendaciones para la Implementación del Sistema.	80

	<u>Página</u>
8. Instructivo de Llenado de los Formatos.	80
8.1 Aspectos Generales.	80
8.2 Datos Comunes para todos los Formatos.	81
8.3 Formato No. 1: DATOS GENERALES (DATOGEN).	81
8.4 Formato No. 2: INDICE DE SERVICIO (ISA).	83
8.5 Formato No. 3: CAPACIDAD ESTRUCTURAL (CAPES).	85
8.6 Formato No. 4: INVENTARIO DE DETERIOROS (INVEDET).	87
8.7 Formato No. 5: HISTORIAL DE REPARACIONES (HISTOREP).	89
8.8 Formato No. 6: CARACTERISTICAS GEOTECNICAS (CARGEOT).	89
9. Descripción de la Mecánica de Desarrollo de los Subsistemas que Conforman el S.I.M.A.P.	94
9.1 Subsistema DATOGEN.	94
9.2 Subsistema ISA.	95
9.3 Subsistema CAPES.	95
9.4 Subsistema INVEDET.	97
9.5 Subsistema HISTOREP.	97
9.6 Subsistema CARGEOT.	98

	<u>Página</u>
9.7 Subsistema REFIN.	99
ANEXO 1. Algunas Metodologías de Evaluación y Ejemplo de Aplicación del S.I.M.A.P.	103
I. Metodología para la Obtención del Índice de Servicio Actual.	103
I.1 Requerimientos.	103
I.2 Observaciones a Tomarse en Cuenta.	103
II. Metodología para la Medición de Deflexiones.	104
II.1 Equipo Requerido.	104
II.2 Procedimiento.	104
II.3 Cálculos de Campo.	104
III. Ejemplo de Aplicación.	105
Apéndice 2. Módulo Económico del Sistema de Administración de Pavimentos.	111
1. Introducción.	111
2. Estructura del Módulo Económico.	112
Apéndice 3. Costos de Operación.	115
1. Análisis del efecto de la Pendiente, la Velocidad y la Curvatura de las Carreteras en los Costos de Operación Vehicular.	115
2. Análisis del Efecto del Estado Superficial de la Carretera en los Costos de Operación Vehicular	126

	<u>Página</u>
2.1 Indicadores del Estado Superficial.	128
2.2 Gráficas.	138
Apéndice 4. Sistema de Información Comercial (SECOFI)	147
Apéndice 5. Consideraciones sobre el Comportamiento de Diferentes Tipos de Vehículos Representativos del Tránsito Nacional en Relación a su Capacidad de Carga y Daño a la Infraestructura	157
Referencias.	169

100

1. La Red Carretera Nacional. Su Evolución Histórica y sus Condiciones.

México ha desarrollado una red de comunicación carretera no desdeñable, a partir de mediados de la década de los años 20's de este siglo. Esta red ha desempeñado desde aquel entonces un papel muy importante en la evolución nacional, si bien éste no fue el mismo en todas las épocas.

Durante muchos años, el papel asignado a la red carretera fue, certeramente, netamente desarrollista; buscando comunicar sobre todo a la capital de la República con las capitales de los Estados, se pretendió exitosamente reforzar la integración nacional.

Una segunda etapa del desenvolvimiento de la red se dedicó principalmente a la comunicación con todas las ciudades de importancia, en un afán por completar la integración territorial nacional, a la vez que empezaron a manifestarse otro tipo de preocupaciones, incipientemente relacionadas ya con una vida económica que comenzaba a manifestar necesidades importantes. Estos criterios condujeron a la densificación de la red pavimentada y a la aparición de las rutas principales hacia la frontera norte del país, rutas de desarrollo hacia el sureste y otras.

Cumplidas las dos etapas de desarrollo anteriores en forma razonable y aprovechando los beneficios de lo ya realizado (por cierto, no sólo en el campo carretero), la vida económica y social de México comenzó a reforzarse en forma importante; sin embargo, en los comienzos de la década de los 70's fue evidente que a una red carretera relativamente moderna para la época y con una cobertura nacional cada vez más eficiente, no correspondía una penetración puntual en un campo mexicano en el que la diseminación habitacional en un número muy alto de pequeños pueblos y rancherías, combinado este fenómeno con la bien conocida geografía física del país, abundante en montañas, lugares de difícil acceso y otras particularidades actuantes en el mismo sentido, causaban un grave estado de marginación y abandono a grandes comunidades especialmente constituidas por la población más pobre y necesitada de estímulo. Todo ello condujo a lo que podría considerarse como una tercera etapa en el desarrollo de la red nacional carretera, en la que se puso un énfasis muy especial en la construcción de una red rural de pequeños caminos alimentadores y de rutas de penetración. El objetivo fundamental de esta preocupación fue seguramente el

combate al caciquismo, a la ignorancia, a la insalubridad y a otros amigos de la marginación. Se hicieron muchos caminos no destinados al paso de vehículos, sino al paso de ideas. Hoy, sin embargo, es evidente que esa red destinada a lograr un equilibrio adecuado en la vida nacional tuvo y siempre tendrá una importancia social y económica, pues por el camino que transita la enfermera y el maestro, también entran insumos y salen cosechas y poco después entran insumos y salen productos de agroindustria; muchos de los más modestos caminos rurales han llegado a ser en poco tiempo importantes carreteras totalmente integradas a la red nacional económica; otros conservan su modesto papel inicial, quizá no menos importante.

No hay que decir que durante todo el desarrollo de esta tercera etapa, que en muchos sentidos continúa en la actualidad, la nación siguió construyendo carreteras de mayor ambición y perfeccionando la red ya existente, sobre todo en materia de acortamientos y libramientos.

Es claro que este desarrollo carretero coexistió con un paralelo desenvolvimiento nacional que llevó a la nación a la creación de una infraestructura industrial, comercial y financiera que al alborear la década de los 80's prometía una rápida posibilidad de acceso a desarrollos mucho más modernos y avanzados. En este concierto, la red carretera nacional, si bien incipiente, estaba demostrando ser suficiente para sustentar el desarrollo; por su cobertura y por su variada gama de niveles, no constituía un freno. A despecho de lo anterior, se manifestaba en este momento ya un fenómeno que debería preocupar a todos y que, en especial para los ingenieros, debería constituir una lacerante interrogante. En efecto, aún en aquellos prósperos años, no dejaba de manifestarse un desequilibrio agudo entre una planta industrial que normalmente se situaba entre las primeras quince del mundo, una estructura financiera muy moderna, una vida comercial sumamente pujante y un nivel de vida popular que en muchos casos no correspondía al panorama anterior. Dado lo involucrada que la ingeniería civil se encuentra en ciertos aspectos de la fundamentación del desarrollo nacional, la contradicción atrás señalada debe ser motivo de seria preocupación y quizá una primera consecuencia de tal preocupación pudiera ser la conclusión de que en el momento presente y en el próximo futuro, a la ingeniería civil no le basta hacer obras para el país, sino que precisa hacerlas en condiciones que realmente incidan en el desarrollo social y cultural y en la generación de riqueza para la nación. Con base en esta conclusión se sostienen muchas de las ideas

que más adelante se sustentarán.

Son bien conocidas las consecuencias del bache económico en que México cayó en la década de los 80's. Su reflejo en la problemática actual de la red carretera no puede exagerarse; de hecho esta situación coyuntural a la que afortunadamente parece vérselo un final es muy influyente en la problemática que ahora ha de ser afrontada.

En los últimos años se ha desarrollado lo que podría considerarse una cuarta etapa en el desarrollo de la red nacional, durante la cual, han aparecido y han de aparecer más, un número importante de carreteras muy modernas, merecedoras del calificativo de auténticas autopistas, en las que la participación del capital privado ha jugado por primera vez un papel trascendental en la construcción de la infraestructura nacional. El transporte nacional habrá de beneficiarse extraordinariamente de esta nueva situación.

Del breve panorama histórico anterior se deduce que muchas de las carreteras que hoy resultan importantes en el movimiento nacional fueron construidas hace muchos años para condiciones que, sin exageración, pueden considerarse correspondientes a un país diferente a aquél en que hoy vive el mexicano.

En la década de los 50's, el camino más ocupado de la República era quizá la carretera México-Puebla, con un aforo de 4 mil vehículos, de los que quizá un 10% eran de carga; el camión más pesado no excedía entonces de 8 a 10 toneladas de peso total. En el México actual, como bien se sabe, existen aforos que pueden llegar a ser de 20 a 30 mil vehículos, con 30 ó 40% de vehículos pesados de carga (una proporción notablemente alta a escala mundial). El peso total de los camiones puede ser hoy de 50, 60 ó hasta 70 toneladas. En cualquier caso, los aforos vehiculares de 5 a 10 mil vehículos diarios, con la misma proporción de vehículos pesados, son relativamente frecuentes en el fragmento de la red más ocupado (con longitudes en el orden de los 30 mil kilómetros). En parte, algo de este desarrollo tiene que ser debido a la relativa ausencia de la competencia del ferrocarril.

Habla bien de los planeadores y constructores de antaño, el hecho de que muchas de las carreteras que forman parte de ese segmento más ocupado figuran entre las primeras puestas en servicio; es decir, entre las más antiguas. No es, pues, de extrañar que ya que fueron

construidas para condiciones de tránsito radicalmente diferentes a las actuales, muestren hoy muy especiales condiciones de debilidad estructural y problemática no menos especial para su correcta conservación.

En efecto, los vehículos de antaño transmitían esfuerzos relativamente pequeños, cuyo alcance vertical era también escaso, quizá no superando los 30 ó 40 centímetros. En comparación, los vehículos de carga actuales producen esfuerzos mucho mayores, que llegan con valores significativos a profundidades también más grandes, en el orden de 1 metro y más.

Al importante hecho anterior hay que añadir dos circunstancias. En primer lugar, los materiales empleados en aquellos años para la construcción, especialmente en terracerías, eran de una calidad que hoy debe considerarse como inaceptable para capas que quedan bajo la influencia de las nuevas cargas. Abundan las terracerías francamente arcillosas, de baja resistencia y muy sensibles a cambios volumétricos por variación en sus contenidos de agua, lo que conduce obviamente a carreteras de superficie muy deformable. La segunda circunstancia estriba en que aquel número relativamente escaso de los vehículos que entonces se consideraban pesados, producía efectos de fatiga relativamente poco notables. En la actualidad, esos materiales débiles están al alcance del efecto de penetración de los modernos arreglos vehiculares y dejan ver dramáticamente su baja resistencia, pero además, la mucho mayor repetición de cargas mucho más pesadas induce efectos de fatiga devastadores y causan deformaciones permanentes intolerables.

Estas condiciones imponen a la red básica mexicana condicionantes de conservación muy propias y, por supuesto, diferentes a las prevalecientes en otras redes carreteras en que ya se ha realizado un esfuerzo de modernización que México aún no ha completado, ni mucho menos.

Los hechos anteriores sugieren la necesidad de una nueva estrategia de construcción de las carreteras que se incorporen en el futuro a la red mexicana. Antaño, la filosofía de diseño de la sección estructural fue lograr una zona superior relativamente resistente, aceptando abajo en forma progresiva materiales francamente débiles, que se consideraban a salvo de la influencia de las cargas. Cuando hoy han de ser

conservadas esas carreteras, se requieren verdaderas acciones de reconstrucción en lo profundo, pues aquellas zonas débiles quedaron dentro de la zona crítica.

El cambio de filosofía de diseño que se preconiza para la época actual tiende a lo contrario. Secciones convenientemente robustas en lo profundo y, si por razón de limitación de recursos, algún riesgo ha de aceptarse en la sección estructural, éste debe ser tomado lo más superficialmente posible, donde el refuerzo es una operación natural de costo mínimo. El pavimento no es una estructura que falle de un minuto para otro; capas superficiales débiles significan duraciones cortas, de manera que el criterio expuesto puede manejarse dentro de otro de inversiones diferidas. Fallas en lo profundo no se resuelven más que con costosísimas operaciones de reconstrucción.

Resumiendo, puede considerarse que en este momento, México posee una importante red rural capilar de caminos modestos, cuya finalidad esencial es el desarrollo primario, la facilitación de la permeabilidad a la cultura, al gobierno y al mejoramiento social. Nunca podrá exagerarse la importancia de esta red. Su mantenimiento habrá de ser el necesario para cumplir estas funciones.

Por otro lado se encuentra la parte de la red caminera cuya misión fundamental es sustentar los flujos que son resultado de las grandes actividades económicas y comerciales del país y de sus contactos internacionales que serán cada vez más intensos. Esta porción es la que generalmente se identifica con la más directa contribución del transporte a la posibilidad y generación de la riqueza nacional. El criterio de mantenimiento a aplicar en este caso no puede ser otro más que apoyar de la mejor manera la vida industrial y comercial de la nación. La atención primordial al transporte de carga en el criterio permitirá concentrar esfuerzos de una manera eficaz al fin perseguido, independientemente de que con tal criterio se beneficiará también al resto de los usuarios (por ejemplo, al transporte de pasajeros).

La evolución previsible de la red carretera mexicana no puede, obviamente, ser establecida con seguridad, pero hay ciertas consideraciones que seguramente no estarán fuera de lo que el futuro haya de deparar.

- La actual red básica continuará siéndolo. Esos 25 ó 30 mil kilómetros cubren un área de la geografía nacional en la que seguirán manteniéndose fuertes demandas de transporte; de hecho, esa red habrá de ser reforzada estructuralmente, ampliada y mejorada para afrontar demandas más exigentes, sin excluir de ninguna manera el que en muchos casos las vías actuales hayan de ser inclusive sustituidas por otras nuevas más concordantes con las crecientes demandas.
- Las grandes inversiones que exigen las carreteras modernas habrán de hacer necesaria una creciente participación del capital privado. El aspecto del financiamiento y de los mecanismos de recuperación correspondientes será cada vez más relevante. El punto álgido a buscar en estos mecanismos de financiamiento, tarificación y recuperación estará en muchos casos en lograr paquetes financieros que permitan disponer de recursos para proyectos en que la recuperación sea pobre en los primeros años de funcionamiento. Si la planeación nacional ha de adelantarse a la demanda o, por lo menos, ha de conducir a obras de aparición muy cercana a la necesidad, seguramente seguirá ocurriendo que carreteras muy importantes para el país comiencen con niveles de tránsito bajo pero susceptibles de desarrollos adecuados; de esta manera podrán afrontarse las primeras etapas de vida de las obras con cuotas o costos de mantenimiento razonables que no se transformen en un factor disuasivo de su puesta a punto.
- Independientemente del desarrollo de una red productora de riqueza con capacidad estructural adecuada, buena cobertura y buena conservación, habrá de seguirse desarrollando una red alimentadora municipal y rural que, con sus propias funciones, redondee el panorama nacional del transporte carretero.
- En el otro extremo del espectro, es de prever el desarrollo creciente de la red de carreteras de 4 ó más carriles y de autopistas construidas bajo el régimen de concesión. En muchos casos estas vías modernas substituirán o coexistirán con tramos actuales de la red básica.
- Es de esperar que el futuro traiga también un mayor equilibrio entre el transporte ferroviario, al que en México deben considerársele grandes perspectivas, y el carretero, por efecto de un creciente

desarrollo del intermodalismo, de instalaciones de acopio y del desarrollo de auténticas redes de distribución de carga. También es de esperar una creciente atracción de los puertos marítimos y fronterizos, con su correspondiente influencia en el desarrollo de la red carretera. El desarrollo del cabotaje ejercerá una creciente influencia en la planeación del transporte terrestre, como también la tendrá un eficaz desarrollo de la red nacional de ductos.

En lo referente al estado actual (principios de 1994) de la red básica, se harán algunos señalamientos de mayor detalle en páginas subsiguientes de este trabajo, pero para dar una idea inicial se considera en la Tabla 1 una distribución de la calidad por estado superficial y por porcentajes de una red básica de 30,000 kilómetros, manejando índices de servicio o sus equivalencias a índice internacional de rugosidad (Referencia 1).

Una mayor sensibilidad a los números señalados en la tabla se obtiene analizando las gráficas de costo de operación de vehículos carreteros, en función del estado superficial de las carreteras, las cuales aparecen en este mismo trabajo.

**Tabla 1. DISTRIBUCION DE LA CALIDAD
POR ESTADO SUPERFICIAL DE
LA RED BASICA DE 30,000 KM**

INDICE DE SERVICIO ACTUAL	COEFICIENTE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD	PORCENTAJE DE LA LONGITUD TOTAL EN CADA RANGO
> 4	< 2.5	0.2
3 - 4	2.5 - 5.0	30.0
2 - 3	5.0 - 7.5	66.0
1 - 2	7.5 -10.0	3.8

2. Necesidad de una Estrategia Nacional de Conservación.

Antes de entrar a esta parte medular del tema debe acotarse cuidadosamente su alcance en cobertura conceptual. Lo que sigue en este trabajo se referirá en forma exclusiva a lo que atrás ha quedado referido como la parte de la red nacional de carreteras generadora de riqueza. Sin dejar de ignorar su importancia, quedará fuera el tema de la conservación de la red rural capilar ya mencionada. Aún más, aceptando que mucho de lo que se dirá en lo que sigue es aplicable a todo lo que podría ser la red pavimentada federal y estatal, el énfasis conceptual se hará en la fracción de la misma que conforme los grandes corredores de transporte de carga del país. Parece que ha de aceptarse que la ejecución de las ideas propuestas deberá circunscribirse de momento a la red sustentadora y generadora de la riqueza nacional, valuada como se dijo en alguna cifra comprendida entre 20 y 30 mil kilómetros. Los conceptos aquí vertidos, podrán irse aplicando en cobertura creciente a toda la red pavimentada de asfalto, a medida que la destreza y los recursos lo vayan permitiendo.

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 que atrás se analizó brevemente.
- En segundo lugar existe el hecho innegable de que la conservación de la red nacional frecuentemente ha quedado preterida 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, a 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 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.

3. Bases para una Estrategia Nacional de Conservación.

Si se analiza de cerca la conceptualización de la tarea de la conservación de carreteras, es posible llegar a la conclusión de que, independientemente de la importancia universalmente reconocida al 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 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. En la estrategia que ahora se propone, se adopta un solo medio para lograr el único objetivo enunciado y este medio es la eliminación de

todos los sobrecostos de operación de los vehículos de carga que sea posible eliminar (eliminar el desperdicio de recursos reales).

De esta manera, la base conceptual de la Estrategia de Conservación propuesta resulta ser la optimización del transporte de carga, eliminando todos los sobrecostos de operación vehicular que la infraestructura pueda contribuir a eliminar.

Lo anterior hace quizá superfluo declarar que todo el resto de la presente exposición deja a un lado lo que podría considerarse la conservación rutinaria de cualquier carretera (limpieza de cunetas y contracunetas, corrección de grietas, amacizamiento y corrección de taludes, reparación de obras de drenaje superficial, etc), concentrándose en aquellas acciones de conservación consideradas como especiales que se reflejan directamente y en forma preponderante en la eliminación de los costos operativos.

Para fines de claridad conviene ahora establecer algunas definiciones que expliquen el alcance conceptual de algunos términos que se utilizarán en lo que sigue.

- Para los fines de este trabajo se entenderá por conservación normal o rutinaria, como ya se dijo, el conjunto de trabajos que deben hacerse para detectar y corregir continua y oportunamente los deterioros naturales de carácter menor, con el propósito de mantener en el corto plazo las condiciones originales de circulación y seguridad.
- Conservación preventiva se considerará al conjunto de actividades que deben realizarse o bien para corregir deterioros que vayan transformándose en mayores, o bien para ir adaptando la vía a condiciones de circulación y seguridad en evolución natural, por crecimiento del tránsito o por el paso del tiempo. Se trata de las acciones que mantendrán a la carretera dentro del nivel de servicio deseado en el mediano plazo. Estas acciones deben ser objeto de la Estrategia Nacional de que se trata en este trabajo. La deficiencia en la conservación preventiva conducirá a la conservación correctiva, siempre más costosa y generadora de sobrecostos de operación por falta de oportunidad. La conservación preventiva engloba, de esta manera, acciones que no sólo sirven para mantener las condiciones técnicas y de

seguridad de la carretera, sino que incluyen también a las actividades necesarias para que tenga lugar un verdadero concepto de conservación, según el cual las cualidades de la carretera deben no ya mantenerse, sino ir evolucionando en el tiempo, de manera que se mantenga el nivel de servicio inicialmente considerado como adecuado, a pesar de que las condiciones de ocupación del camino vayan creciendo como resultado de una evolución natural; es decir, si el tránsito aumenta en número, peso o importancia de los vehículos a lo largo del tiempo, durante ese lapso, la ruta deberá conservar el nivel de servicio para el que se la construyó.

- La tercera etapa de acciones de conservación considerada en este trabajo es la modernización y/o reconstrucción de la carretera. Este es un proceso al que puede llegarse de dos maneras, sea porque por falta de conservación preventiva ocurra un nivel de deterioro tal en la ruta que por acciones de conservación correctiva no sea ya posible una regeneración que no implique una auténtica reconstrucción, o bien porque las condiciones operativas de la carretera hayan cambiado en tal magnitud que ninguna acción que pueda ser considerada de conservación baste para su regeneración (se piensa ahora en crecimiento del tránsito, el deseo de que sea más veloz, aparición o proliferación de vehículos de mayor capacidad o en una natural y comprensible degeneración estructural debida al embate del tránsito, de la acción de factores ambientales y del tiempo).

10/1/11

4. Componentes de la Estrategia de Conservación Propuesta.

Una Estrategia de Conservación de Nivel Nacional tiene que abarcar temas que trasciendan necesariamente los aspectos puramente técnicos del problema. Sin discutir la importancia de éstos, hoy se reconoce en todas partes que uno de los fundamentos de una consistente política de conservación es la obtención de un mecanismo económico-financiero que permita obtener los recursos necesarios para la tarea, que en los tiempos actuales han llegado a ser muy considerables. De esta manera una Estrategia de Conservación Nacional ha de contemplar una vertiente económica, con la cual los encargados de estos trabajos consigan convencer a las autoridades nacionales correspondientes de las ventajas, conveniencia y necesidad de erogar en estos rubros; tarea no fácil, si se piensa en los muchos y poderosos competidores que la conservación encontrará en cualquier reparto de un presupuesto nacional.

Adicionalmente, es opinión de los autores de este trabajo que posiblemente en ninguna parte exista una organización idónea en cuanto a personal, equipos, criterios de distribución de recursos, realmente apropiada para hacer frente a las complicadas tareas que las modernas redes exigen. Predomina un criterio puramente técnico-ingenieril con menor consideración a otros que hoy han alcanzado similar importancia. De esta manera, una Estrategia Nacional de Conservación habrá de dar atención a una tercera vertiente de carácter organizacional.



10/21/21

5. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente Técnica.

5.1 Sistema para la Evaluación de la Condición Estructural.

Evidentemente, el primer paso para establecer en forma operativa cualquier estrategia de conservación es conocer el estado de cualquier tramo carretero que desee conservarse. A un sistema que permita realizar las acciones encaminadas a tal fin suele denominársele un Sistema de Gestión de la Condición Estructural de la Carretera o de Gestión de Pavimentos. En lo que sigue se verá que este último nombre, aunque consagrado por la literatura, no es muy apropiado para el caso mexicano, pues se refiere únicamente a una parte superficial del problema.

Los sistemas de administración de pavimentos y de toma de decisiones en materia de conservación que tradicionalmente se desarrollaron en el mundo, a despecho de su excelente calidad para los ambientes para los que fueron concebidos, se consideraron en México insuficientes. Estos sistemas procedían de países desarrollados, con excelentes redes de carreteras, hechas de buenos materiales y estaban calibrados para reaccionar ante la evolución del estado superficial del pavimento y ello en dos sentidos, rugosidad (fricción con la llanta, que se traduce en seguridad de marcha) y deformación o deterioro en la carpeta (que se controla a través del concepto Índice de Servicio o Índice Internacional de Rugosidad). Se partía así de la base de que en todos los casos se tenía una falla funcional, pero nunca estructural. Los métodos correctivos que estos sistemas proporcionaban eran sobrecarpetas, reciclados u otros tratamientos superficiales, dependiendo del espesor de carpeta comprometido en la falla funcional.

En México se consideró que estos criterios no son aplicables en forma única, puesto que con mucha frecuencia los deterioros superficiales están ligados a fallas estructurales profundas (Referencias 2, 3, 4 y 5). Existen en México secciones cedentes, de alta deformación elástica o muy débiles estructuralmente, en las cuales las sobrecarpetas o los tratamientos superficiales están destinados al fracaso inmediato por efectos de fatiga o de deformación acumulada.

Los métodos de evaluación que México adopte tienen que contemplar la estructura de la carretera en profundidad, para detectar una posible falla estructural; no se puede aceptar que las deficiencias en la calidad de rodamiento constituyan el único problema a tomar en cuenta como norma de criterio. Por otra parte, los sistemas disponibles a nivel internacional han ido tomando en los últimos 10 años, estas mismas tendencias de criterio.

También es evidente que una prospección en profundidad realizada por métodos tradicionales básicamente (inspección visual, sondeos, trabajos de laboratorio, etc.) queda fuera de cuestión por razones de tiempo, personal involucrado y costo. De esta manera es preciso encontrar un sistema rápido y simple, a la vez que económico, para la detección de las necesidades de mantenimiento, de refuerzo o de eventual reconstrucción.

5.1.1 Bases Conceptuales del Sistema Mexicano.

El sistema mexicano se fundamenta en tres puntos básicos:

- a. Ha de aceptarse algún tipo de correlación entre la evolución del estado superficial del pavimento y su condición general, de manera que, cuanto más pobre sea la calidad superficial y más rápidamente se deteriore, peor debe ser la condición estructural.
- b. Ha de aceptarse que la deficiencia estructural puede correlacionarse con alguna medida hecha desde la superficie del pavimento. La deflexión o cedencia del pavimento bajo una carga patrón preestablecida, 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.

5.1.2 Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

Se denomina así al conjunto de operaciones que tienen por objeto conocer el estado actual del tramo carretero por conservar, estimando las acciones y costos necesarios para llevarlo a una determinada condición considerada aceptable con una indicación del costo necesario para ello. Se trata de un sistema de gestión de la sección estructural de carreteras.

1. El primer paso ha de ser una prospección del estado superficial de la carretera. Esta se hace utilizando un perfilómetro de trazo continuo o instrumento similar, que trabaja incorporado al tránsito a velocidades en el orden de los 30 km/hora y que proporciona un índice de servicio o índice internacional de rugosidad del camino recorrido. En países con redes muy deterioradas, podría estimarse que índices de servicio por arriba de 2 ó 2.5 liberan al camino hasta el siguiente año, sin acciones especiales de mantenimiento. El perfilómetro ha de pasar una vez al año sobre todo tramo de la red básica sujeta a análisis de conservación preventiva.

El paso en años sucesivos dará la evolución del índice de servicio, señalando la necesidad de estudios más a fondo en los tramos de evolución rápida. En ese tiempo, habrá de tomarse en cuenta que los trabajos de conservación normal pueden enmascarar la evolución desfavorable que se tendría en los tramos donde exista una deficiencia estructural más acusada, que lógicamente serían los escogidos para ejercer dicha conservación normal; ésta es información esencial para manejar en el banco de datos disponible en computadora.

A modo de ilustración es de esperar que en la red mexicana, unos 6 mil kilómetros de los 30 mil kilómetros bajo observación muestren un índice de servicio abajo del límite escogido y con una evolución suficientemente rápida como para justificar que esos tramos sean objeto de tratamiento en la segunda fase de aplicación del sistema.

2. El segundo paso será realizar en los tramos o carreteras en que se haya demostrado la necesidad, un estudio de deflexiones. El volumen de trabajo por ejecutar hace aconsejable la utilización de deflectómetros móviles, de tipo automático, que circulan sobre la carretera a velocidades del orden de 3 ó 4 km/hora o mayores, según el tipo de medidor.

Una condición fundamental para que la medida de deflexiones tenga un sentido físico interpretable es que se comparen las provenientes de tramos homogéneos, en materiales, características estructurales, condiciones topográficas y aún en condiciones de detalle, tales como el drenaje o el subdrenaje. La selección de estos tramos homogéneos debe hacerse entonces con base en recorridos de personal experimentado. Este personal llena formas que reflejan la situación general de tramo con información almacenable en el banco de datos.

Una vez dividido el camino en estudio en tramos homogéneos, se seleccionan en cada uno, uno o dos subtramos representativos del orden de 300 a 500 metros, que no deben representar más del 10% del segmento en estudio. Esto hace congruente al estudio de deflexiones con la prospección del estado superficial, de manera que esta segunda etapa del análisis puede completar en un año, longitudes correspondientes a las que resultan de haber completado el paso del perfilómetro en los 30 mil kilómetros, en el mismo período de tiempo.

Actualmente se está considerando para el caso mexicano que un valor estadístico de la deflexión superior a 1 mm indica que ese tramo debe ser estudiado en la tercera etapa del sistema.

No cabe duda de que puede suceder que la longitud de caminos y tramos que de acuerdo con lo anterior requieran ser analizados en la tercera etapa, puede resultar mayor que las disponibilidades de recursos económicos de que se disponga para un año dado. Cuando ello es así, son otras consideraciones tales como la importancia social del camino, su volumen de tránsito y otras de carácter económico, las que llevan a seleccionar el conjunto compatible con los recursos disponibles. No hay que decir que los caminos que han quedado fuera de tratamiento en este caso deben ser objeto de preferente atención al año siguiente o sujetos a conservación normal cuidadosa.

3. En la última fase de aplicación del sistema de prospección del camino, un sistema computarizado de cálculo puede colocar todos los tramos que hayan resultado merecedores de acciones especiales de conservación en iguales condiciones de calidad. El sistema de cálculo debe poder decir que espesor de refuerzo (por ejemplo, grava equivalente o refuerzo de concreto asfáltico) hay que ponerle a cada tramo para dejarlo en un cierto índice internacional de rugosidad o índice de servicio (por ejemplo, índice de servicio igual a 3.5). De esta

manera, como resultado final de esta etapa, se tiene un módulo de comparación de la condición de cada tramo, expresado por el espesor de refuerzo que habría de colocarse para llevarlos todos a la misma condición. El cálculo debe también hacerse con el mismo horizonte temporal seleccionado (por ejemplo, fijando para todos los tramos el refuerzo necesario para darles un índice de servicio de 3.5, que evolucione a un mínimo de 2 ó 2.5 en un mismo plazo fijo, quizá de 4 ó 5 años).

Es posible visualizar la operación del sistema de gestión en un diagrama de flujo como el que se muestra en la Figura 1.

Aquellos tramos que resulten merecedores de una acción especial de conservación por efecto del estado de la superficie de rodamiento únicamente, podrán ser resueltos con acciones de simple refuerzo en carpeta, pero aquellos otros que muestren además deficiencia estructural según el criterio de deflexiones habrán de ser objeto de estudios especiales, que incluyan no sólo detallados reconocimientos de campo, que siempre serán necesarios, sino también trabajos de exploración, de laboratorio, de necesidad de subdrenaje y, en general, de todos los aspectos que permitan conocer la deficiencia estructural que se padezca y elaborar los proyectos de recuperación correspondientes. Toda esta información deberá figurar en el banco de datos del tramo, como importante contribución al conocimiento de su evolución histórica.

Un criterio fundamental a mantener en todos estos aspectos es que arreglos someros sobre secciones estructurales falladas en lo profundo constituyen siempre un dispendio.

El Apéndice 1 (Referencia 6) está dedicado a presentar en detalle el Sistema de Administración de Pavimentos que se ha descrito en lo general en los párrafos anteriores.

El Instituto Mexicano del Transporte (I.M.T.) está también dando a su Sistema de Administración de Pavimentos de las Carreteras un complemento adicional, colocándolo dentro del ambiente del conjunto de técnicas que actualmente reciben el nombre genérico de Sistemas de Información Geográfica. Estas técnicas, relativamente recientes, no sólo facilitan en forma muy conveniente el manejo de los datos propios del Sistema de Administración, sino que ofrecen un muy vasto campo para enriquecerlo en forma continua con múltiples formas de información adicional.

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

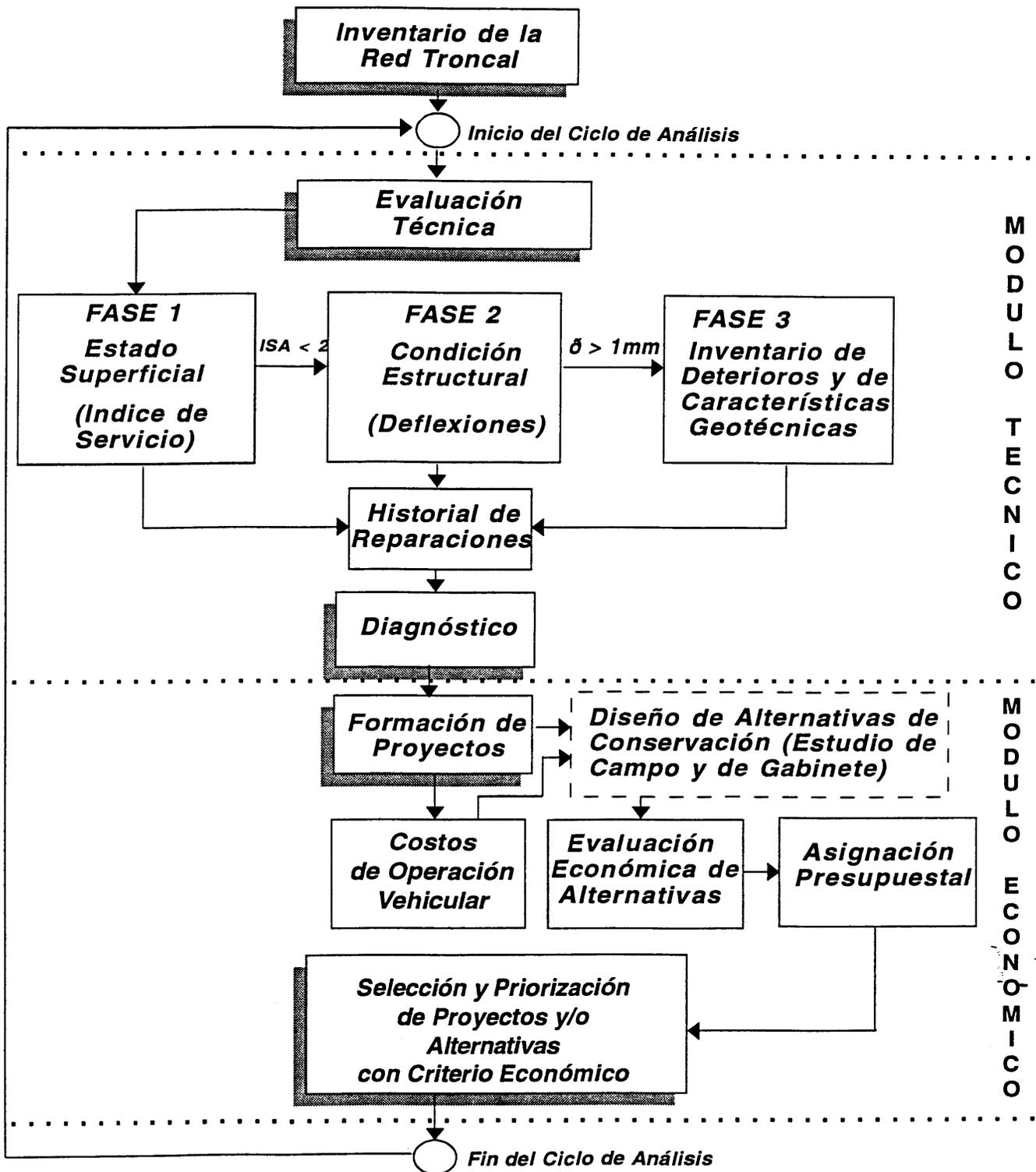


Figura 1.

En la Referencia 7 se describe la metodología que se adopta y se da cuenta de algunas de sus potencialidades. Es opinión de los autores de este trabajo que estos sistemas de información geográfica constituyen en efecto una complementación quizá indispensable para los sistemas de administración de carreteras.

5.2 Módulo Económico del Sistema de Gestión.

El sistema de gestión ahora descrito se complementa con lo que ha dado en llamarse su Módulo Económico (Referencias 8 y 9). Es éste fundamentalmente una herramienta de cálculo computacional destinada a trabajar con los tramos que han quedado igualados en los horizontes de calidad y de tiempo al final de la etapa anterior de los trabajos, que fue denominada Módulo de Gestión de la Condición Estructural de las Carreteras.

Este programa computacional ya elaborado, permite, para cada uno de los caminos o tramos, obtener un abanico de variantes tanto para el nivel de calidad deseado como para su evolución en el tiempo; es decir, ahora a cada uno de los tramos que serán objeto de acciones de conservación especial, puede asignárseles diferentes índices internacionales de rugosidad o índices de servicio, indicativos de distintos niveles de calidad, teniendo además para cada caso, diferentes horizontes temporales y también para cada caso el costo que supondría alcanzar esos diferentes niveles de calidad y mantener su evolución por arriba del valor mínimo permisible, teniendo el costo de cada una de esas acciones.

Esta información permite asignar acciones de conservación a cada camino y/o tramo, según su importancia relativa dentro de la red, conociendo el costo de cada una de esas acciones.

Operativamente, el "software" realizado en este momento permite introducir en el análisis cinco alternativas diferentes de mejoramiento para cada tramo. En rigor, todas ellas parten de que el estado superficial tras la corrección es bueno; lo que difiere es el tiempo en el cual ese estado superficial llega a un límite apenas tolerable (en el paquete actual, índice de servicio igual a 2). Al proponer secciones de evolución más lenta, implícitamente se están introduciendo secciones de mayor calidad.

Puede también jugarse con una acción que llegue de un alto índice de servicio al mínimo tolerable en un largo tiempo, comparándola con varias acciones que empiecen en el mismo límite superior y lleguen al mismo límite inferior pero en pasos sucesivos más cortos, en cada uno de los cuales el camino se recupere hasta el límite superior y vaya cayendo a valores cada vez más bajos hasta llegar al mismo final (véase la Figura 2). El "software" que se comenta permite también:

- Estimar en términos de índice internacional de rugosidad la evolución temporal de los deterioros actuales, en caso de no corregirlos por una acción de conservación.
- Correspondientemente, permite calcular el aumento de los costos de operación vehiculares si no se emprenden acciones de conservación o, si se emprenden, en relación con su profundidad y calidad.
- El estimar los ahorros en costos de operación vehicular imputables a la carretera, en cada horizonte de calidad de los diversos tramos o caminos, llevados a diferentes estados por acciones de conservación cada vez más ambiciosas y manejar los costos de estas acciones, permite comparar las acciones con sus resultados de un modo que orienta realmente la elección de alternativas. Desde luego, para la elección de una alternativa concreta, tendrá preferencia la carretera más importante. De esta manera, el criterio que defina la importancia de la carretera pasa a ser vital en la estrategia general; de dicho criterio se hablará más adelante.

En el Apéndice 2 se detalla el Módulo Económico descrito anteriormente, incluyendo aspectos conceptuales y computacionales.

**COMPORTAMIENTO DE UN TRAMO ANTE
ACCIONES ALTERNAS DE CONSERVACION**

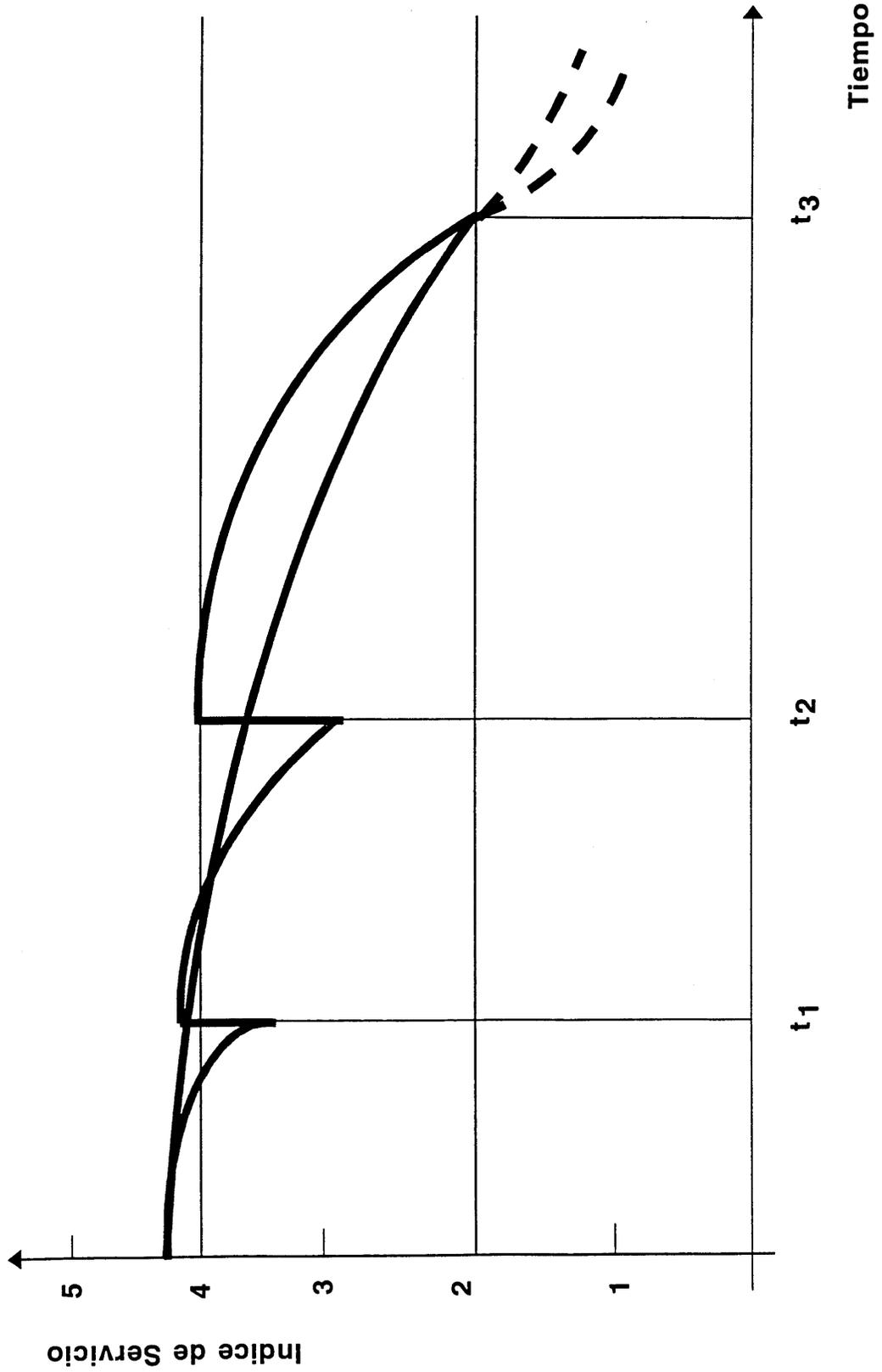


Figura 2.

6. Análisis de los Costos de Operación.

Se trata en esta sección de cómo obtener los sobrecostos de operación vehicular imputables a la carretera y que sean evitables.

Estos sobrecostos se deben fundamentalmente a la pendiente y al estado superficial de la propia carretera. La velocidad de operación juega un papel y en los estudios del Instituto se pensó que la curvatura jugaba otro también de interés. Cuando se concluyeron estos estudios, por lo menos a un nivel capaz de proporcionar información conveniente para una toma razonable de decisiones, se vio que la velocidad efectivamente resultaba muy condicionada por los dos factores primero mencionados y que la curvatura, cuyo papel no es fácil de dilucidar, quedaba muy emboscada por el efecto de la pendiente, pues donde la curvatura es fuerte, las pendientes también suelen serlo y causan un efecto mucho mayor en los costos. En resumen, los sobrecostos de operación vehicular que se hacen intervenir en la Estrategia de Conservación presentada en este trabajo son básicamente los debidos a la influencia de la pendiente y a la del estado superficial de las carreteras.

El Instituto Mexicano del Transporte realizó los trabajos correspondientes y piensa que hoy tiene a disposición de los diversos sectores usuarios de estos temas, una herramienta razonable que permite discriminar lo suficiente.

En los trabajos del Instituto se consideran 5 tipos de vehículos de características mecánicas nacionales (México) que van desde automóviles y los más ligeros vehículos de carga hasta arreglos articulados. En todos los casos, se expresa un factor de sobrecosto que parte de 1, correspondiente a una carretera recta, plana y en magnífico estado superficial (índice de servicio del orden de 4.5 que corresponde a un índice internacional de rugosidad del orden de 2. Quizá deba mencionarse que el propio Instituto estableció una correlación que espera sea válida para México entre estos dos parámetros arbitrarios de medición).

Para efecto de conservación, el estado superficial es el más influyente en los sobrecostos; los otros dejan sentir todo su peso en proyectos de construcción y/o reconstrucción.

Huelga decir que este análisis de los costos de operación vehiculares es el que proporciona los elementos que se mencionaron dentro del Módulo Económico del Sistema de Administración de Pavimentos.

Los estudios originales del Instituto Mexicano del Transporte están contenidos en las Referencias 10 y 11. La misma Referencia 11 incluye la correlación a que se llegó en el Instituto Mexicano del Transporte entre el índice internacional de rugosidad y el índice de servicio con base en pruebas hechas en carreteras mexicanas.

El Apéndice 3 proporciona información adicional sobre estos temas y las gráficas para la estimación de los sobrecostos de operación vehicular a que llegó el I.M.T.

7. El Paradigma para Ordenar la Importancia de las Carreteras.

Como atrás quedó dicho, 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 infraestructural, 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 orden de importancia para los fines perseguidos, falta un criterio calificador de dicha importancia.

Obviamente criterios pudieran no faltar, pero cuando abundan, surgen las contradicciones entre ellos, aparece la confusión y se entorpecen o paralizan las acciones, sin olvidar que criterios controvertidos son el campo adecuado para la acción de la opinión y preferencias personales.

En el Instituto Mexicano del Transporte se ha buscado que el criterio para la ordenación de la importancia de las carreteras fuera sencillo y, de preferencia, único. El criterio escogido fue tan simple como 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. Obviamente no se ignora la posibilidad de existencia de casos de diferente comportamiento, pero éstos existirían en cualquier otro paradigma seleccionado.

También, en su momento se dio atención al criterio tradicional de otorgar importancia al camino en proporción a su aforo vehicular, pero se juzgó y éste ha sido ampliamente comprobado por estudios de campo, que el criterio de valor de la carga no coincidiría siempre con el mayor número de vehículos y desde el punto de vista que se consideró primordial, el de contribuir a la generación de riqueza, el del valor monetario se consideró preferible.

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 Instituto Mexicano del Transporte se ha denominado el Estudio de Campo para Determinar Pesos y Dimensiones de Vehículos de Carga, estudio de fundamental importancia en varios aspectos que trascienden a la Estrategia de Conservación que aquí se discute.

Este estudio ha sido elevado a la categoría de permanente y anual en la Secretaría de Estado Mexicana responsable del transporte nacional 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 suficiente de los vehículos de carga circulantes, que puede ser la totalidad de ellos sin causar mayores problemas, se la 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 transportado.
- Diversas instituciones nacionales publican datos de origen hacendario útiles a los fines que siguen. De ellas, el Instituto Mexicano del Transporte 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. Esto cierra el circuito y permite conocer el valor de la carga circulante en el lapso de prueba. A título informativo, la Tabla 2 reproduce esta información para el año que en ella se indica. El Apéndice 4 contiene una explicación un poco más amplia del tipo de carga incluido en cada uno de los rubros considerados en la Tabla 2.

En México se han realizado ya campañas como la anterior y como se señaló, se realizará una cada año (quizá unas 25 estaciones anuales). Acumulando esta información, podrá tenerse en un tiempo muy razonable, un conocimiento de lo que realmente transita por las carreteras de México del que hoy se carece. Hasta donde los autores tienen conocimiento, información parecida es poco frecuente en la actualidad en otros países.

Tabla 2. VALOR MONETARIO UNITARIO POR TIPO DE CARGA

CLAVE	TEXTOS	P.U. USD/KG	CLAVE	TEXTOS	P.U. USD/KG
88	Navegación aérea o espacial...	401.75	40	Caucho y manufacturas de caucho	2.11
89	Navegación marítima o fluvial.	263.97	36	Pólvoras y explosivos;	2.07
50	Seda	25.48	85	Máquinas, aparatos y material	1.99
87	Vehículos automóviles, tractor	16.76	86	Vehículos y material para vías	1.95
43	Peletería y confecciones	16.19	56	Guata, fieltro y telas	1.87
92	Instrumentos musicales; partes	11.84	9	Café, té, yerba mate y especias	1.85
64	Calzado, polainas, botines y	11.81	76	Aluminio y manufacturas	1.84
71	Perlas finas o cultivadas,	10.89	21	Preparaciones alimenticias	1.78
99	NO	10.82	96	Manufacturas diversas	1.73
97	Objetos de arte, de colección	10.30	41	Pieles (excepto la peletería)	1.71
75	Níquel y manufacturas de níquel	10.22	52	Algodón	1.69
84	Reactores nucleares, calderas,	10.11	4	Leche y productos lácteos;	1.60
66	Paraguas, sombrillas, quitasol	9.35	79	Cinc y manufacturas de cinc ..	1.49
61	Prendas y complementos de vestir	9.01	38	Productos diversos de la industria	1.37
37	Prod.fotográficos o cinematográf.	8.97	6	Plantas vivas y productos	1.36
93	Armas y municiones, sus partes	8.28	39	Materias plásticas y manufacturas	1.32
51	Lana y pelo fino u ordinario;	8.13	98	Importación de mercancías	1.21
59	Tejidos impregnados, recubiertos	6.84	19	Preparaciones a base de ce	1.19
30	Productos farmacéuticos	6.79	27	Combustibles minerales, aceite	1.17
33	Aceites esenciales y resinoide	6.74	34	Jabones, agentes de superficie	1.16
60	Tejidos de punto	6.54	14	Materiales trenzables y demás	1.14
13	Gomas, resinas y demás jugos	5.99	53	Las demás fibras textiles veg	0.99
65	Artículos de sombrería y sus	5.95	73	Manufacturas de fundición,	0.99
42	Manufacturas de cuero;	5.43	48	Papel y cartón; manufacturas	0.95
81	Los demás metales comunes;	5.42	2	Carnes y despojos comestibles	0.93
80	Estaño y manufacturas de estaño	5.28	29	Productos químicos orgánicos...	0.88
82	Herramientas y útiles, artículos	4.77	20	Preparaciones de legumbres	0.88
58	Tejidos especiales;	4.37	78	Plomo y manufacturas de plomo	0.87
49	Productos editoriales,	4.09	70	Vidrio y manufacturas de vidrio	0.84
90	Instrumentos y aparatos de o	3.89	5	Los demás productos de origen	0.84
95	Juguetes, juegos y artículos	3.88	7	Legumbres y hortalizas, planta	0.69
3	Pescados y crustáceos y moluscos	3.75	68	Manufacturas de piedra, yeso	0.60
83	Manufacturas diversas de metal	3.43	0	NO	0.52
94	Muebles; mobiliario médico	3.36	15	Grasas y aceites animales o veg	0.43
77	NO	3.22	8	Frutos comestibles; cortezas	0.39
57	Alfombras y demás revestimientos	3.22	69	Productos cerámicos	0.39
45	Corcho y sus manufacturas	3.13	72	Fundición, hierro y acero	0.38
63	Los demás artículos textiles	3.07	44	Madera, carbón vegetal y manufac.	0.37
32	Extractos curtientes tintoreos	3.06	26	Minerales, escorias y cenizas	0.35
35	Materias albuminoideas;	3.00	22	Bebidas, líquidos alcohólicos	0.35
67	Plumas y plumón preparados	2.97	0A	NO	0.32
24	Tabaco y sucedáneos del tabaco	2.84	17	Azúcares y artículos de confit.	0.31
55	Fibras sintéticas o artificial	2.59	47	Pastas de madera o de otras	0.31
74	Cobre y manufacturas de cobre	2.48	28	Productos químicos inorgánicos	0.31
46	Manufacturas de espartería	2.42	12	Semillas y frutos oleaginoso	0.30
16	Preparaciones de carne,	2.39	23	Residuos y desperdicios de las	0.29
54	Filamentos sintéticos o artificiales	2.38	11	Productos de la molinería;	0.26
	CAP. SIN DESCRIPCION	2.28	31	Abonos	0.14
18	Cacao y sus preparaciones	2.20	10	Cereales	0.12
1	Animales vivos	2.18	25	Sal; azufre; tierras y piedras	0.04
91	Relojería	2.15			

La Tabla 3 hace ver que para el grupo de estaciones que se señalan no existe una correspondencia consistente entre el aforo vehicular y el valor de la carga transportada. La ubicación de las estaciones se ilustra en el plano contenido en la Figura 3. Se observan también las ingentes cifras monetarias involucradas en el transporte. Por ejemplo, sólo en la Estación # 1 de la tabla, si se piensa que la diferencia en sobrecosto de operación en un camino considerado como regular a otro considerado como muy bueno, puede ser de un 15 a un 20% y se aplica ese sobrecosto al costo de operación vehicular según el aforo de esa estación, se llegaría a un ahorro anual del orden de 150 millones de dólares sólo por sobrecosto vehicular evitable, más una cantidad no cuantificable de ganancia en concepto de seguridad, rapidez y oportunidad del transporte. De hecho, como se hará ver más adelante, el costo total de operación de la red básica mexicana de 30 mil kilómetros se estima (1994) en 43,500 millones de nuevos pesos, excluyendo el originado en las autopistas de cuota (Referencia 1). De continuar con las tendencias actuales, dicho costo total de operación alcanzará la cifra de 54,500 millones de nuevos pesos en el año 2000 y la de 65,500 en el año 2006 (13,200, 16,500 y 20,000 millones de dólares, aproximada y respectivamente). Los sobrecostos evitables con el actual estado de la red (primer cuatrimestre de 1994) se ubican, después de los análisis respectivos, en las cifras de 4 mil millones, 6 mil millones y 9 mil millones para los años 1994, 2000 y 2006 (1,200, 1,850 y 2,700 millones de dólares, respectivamente). Estos sobrecostos evitables, que responden a un análisis detallado, reflejan el estado de la red al momento del estudio y establecen un promedio nacional del orden de 12% del costo total de operación para el caso de México y en ese momento; debe añadirse también que el estado óptimo de la red no se definió en el estudio con un índice de servicio o índice internacional de rugosidad único para los 30 mil kilómetros, sino que se definió con base en números deseables diferentes para los diversos tramos, de acuerdo con la importancia asignada a cada uno de los mismos en el análisis.

Huelga decir que los resultados del estudio descrito con base en la investigación de pesos y naturaleza de cargas vehiculares probablemente no tienen mayor precisión que la necesaria para rendir óptimos resultados prácticos. El valor de la carga que se transporta por cada tramo de las carreteras principales de México es el criterio que el Instituto Mexicano del Transporte propone para jerarquizar la importancia de los caminos y dar así ordenamiento a las acciones de conservación.

PESOS Y DIMENSIONES

PRINCIPALES DATOS OBTENIDOS EN CADA ESTACION

ESTACION DE AFORO	NUMERO DE CAMIONES POR DIA (miles)	JERARQUIZACION POR CANTIDAD DE CAMIONES	TONELADAS POR DIA (miles)	JERARQUIZACION POR TONELADAS	VALOR DE LA CARGA POR DIA (miles de millones de pesos)	JERARQUIZACION POR VALOR DE LA CARGA
TEPOTZOTLAN	5.25	1	102	1	547	1
ALLENDE	3.33	2	67	2	281	2
STA. ROSA	1.88	6	22	7	191	3
PIMIENTA	2.22	5	41	4	157	4
SALAMANCA	1.67	7	26	5	150	5
LA LUZ	2.60	3	44	3	129	6
SN. MARCOS	2.34	4	22	8	124	7
TAJIN	1.43	9	20	9	93	8
LA GRANDE	1.48	8	22	6	81	9
AMOZOC	0.54	10	6	10	26	10

Tabla 3.

LOCALIZACION DE LAS ESTACIONES
DE PESOS Y DIMENSIONES
SOBRE LA RED CARRETERA PRINCIPAL

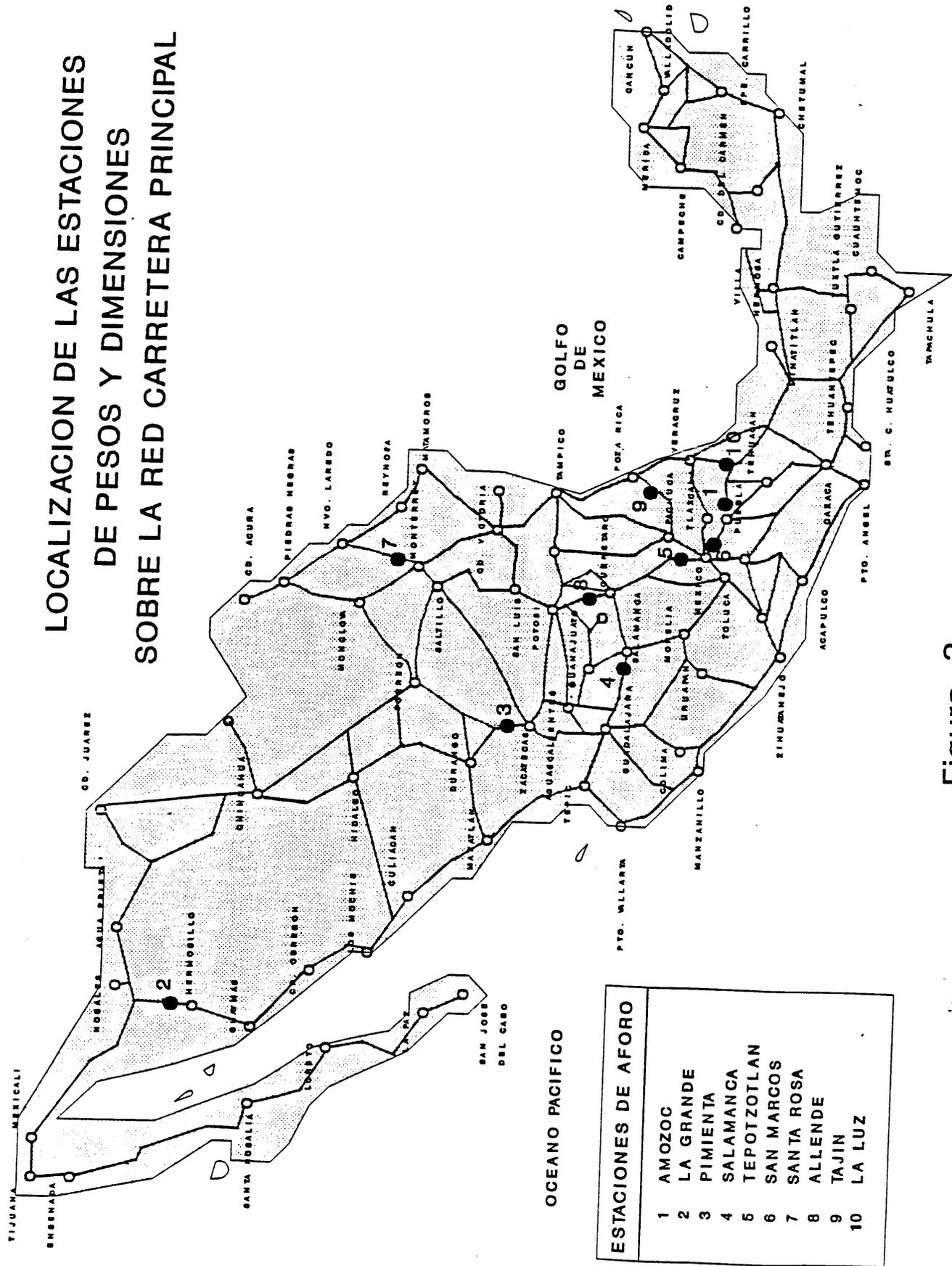


Figura 3.

8. Comentarios Adicionales sobre el Estudio de Pesos y Dimensiones.

Debe hacerse en este momento una disgresión en relación a este estudio de pesos y dimensiones que tan someramente se acaba de mencionar. Ante todo debe considerarse, en opinión de los autores de este trabajo, que difícilmente cualquier entidad responsable del transporte en cualquier país, pudiera encontrar un estudio más importante y más trascendente. Al ir conociendo en el transcurso de los años los movimientos de carga que ocupan las carreteras nacionales se obtiene información de incalculable valor que trasciende en mucho la contribución de este estudio a la Estrategia Nacional de Conservación aquí propuesta, cuya importancia por otra parte no puede disminuirse. Se ha señalado que el estudio podría basarse en el establecimiento de 20 ó 25 estaciones temporales cada año (en México), lo que significa, a un costo estimado por estación que trabaje una semana de 130 mil nuevos pesos (40 mil dólares), un costo total anual del orden de 3.3 millones de nuevos pesos (1 millón de dólares), cifras no impresionantes y en forma proporcional, al alcance pleno de las posibilidades de cualquier país. Obviamente un mayor número de estaciones temporales instaladas cada año llevaría a una aceleración del proceso de adquisición de información a escala nacional, pero debe tenerse modestia en el gasto y, sobre todo, realismo, en el sentido de que 20 ó 25 estaciones proporcionan en el caso de México, información que ha de ser procesada, computarizada y, muy especialmente, digerida; es posible que los números mencionados resulten apropiados ante las circunstancias reales.

Además del apoyo a la Estrategia General de Conservación que ya ha quedado descrito, la información obtenida tendría las siguientes utilidades:

- Al ir conociendo los flujos de carga en las diferentes carreteras del país, se adquirirá un elemento contribuyente hacia el adecuado conocimiento del preocupantemente desigual desarrollo regional tan frecuente en países en vías de desarrollo y de incalculable utilidad para la planeación nacional a esa escala.
- El conocimiento de la distribución de la carga en las regiones y carreteras del país sería una contribución decisiva para la planeación de la red nacional de carreteras.

- El mismo conocimiento sería una contribución muy importante para la evaluación y planeación operativa de la red nacional de ferrocarriles.
- Tan detallado conocimiento de la distribución de cargas permitiría planear el intermodalismo en el transporte cada vez con mejor conocimiento de detalle. Esto afectaría a la planeación adecuada de estaciones de transferencia para carga y mercancías, para almacenamientos, para estaciones de concentración y reparto a ciudades y para otras finalidades necesarias del mismo orden. Con la información podría definirse con conocimiento creciente la distribución de mercados, con todo lo que ello implica en la planeación nacional del transporte y la detección de oportunidades de negocio para los transportistas privados.
- Se definirían cada vez mejor los grandes corredores del transporte nacional y, lo que pudiera ser aún más importante, sus cambios y variaciones.
- El resultado del estudio es obviamente esencial para adquirir criterios que sustenten un adecuado reglamento de pesos y dimensiones de los vehículos de carga circulantes, pues no sólo conduce al conocimiento de los pesos sino de los sobrepesos.
- Conectado con el punto inmediatamente anterior, el estudio permite conocer el grado de agresión del transporte que realmente circula y que sucede en la infraestructura carretera, pero permite también comparar este efecto negativo con la ventaja que pudiera dar al autotransporte nacional la posibilidad de llevar más carga, disminuyendo el número de viajes y aumentando la rentabilidad de cada uno. De hecho, ya en la etapa incipiente de aplicación en que ahora se halla el estudio en México, ha rendido importantes frutos en tan controvertido terreno (Apéndice 5).
- Del análisis de los diferentes tipos de vehículos circulantes y de su agresividad comparativa sobre la carretera a cargas netas iguales transportadas, saldrán criterios para alentar la fabricación, armado y uso de los arreglos vehiculares menos agresivos, con el correspondiente desaliento para los vehículos cuya disposición de ejes produzca daños comparativamente mayores a iguales capacidades de transportación.

- También ha demostrado ya la incipiente información disponible, su gran potencialidad para poder estimar el efecto de diferentes medidas reglamentarias en los costos con que las mercancías llegan al mercado usuario (Apéndice 5).
- Las estaciones temporales que se utilizan para adquirir la información podrían servir colateralmente como estaciones de control para cualquier reglamento de pesos y dimensiones que sea establecido, con la ventaja de producir un control no previsible por los usuarios, suficiente y, de hecho, gratuito.
- Es evidente la potencialidad del estudio para detectar necesidades de modernización, ampliación, refuerzo, libramientos y otros aspectos de detalle de la infraestructura carretera nacional.
- Como beneficio colateral proporciona un nivel de estudios origen y destino desconocido hasta el momento, que fácilmente podrán en el futuro cercano conducir a reales posibilidades de simulación del transporte.
- Es evidente la contribución del estudio a cualquier reglamentación sobre transporte de sustancias peligrosas cuyos corredores serían fácilmente identificados por el estudio.

9. Equiparación del Criterio de Jerarquización Basado en el Valor de la Carga con otros Criterios comúnmente utilizados.

La jerarquización de las carreteras para definir su importancia relativa se ha realizado en el pasado con base en dos criterios principales. El más común y popular en la práctica ha sido el aforo vehicular. Según este criterio, la carretera más importante es aquella por la que transitan más vehículos; en cuestiones de transporte propiamente dicho, a veces el aforo se circunscribe a únicamente el número de camiones de carga o al de éstos y autobuses de pasajeros. En análisis de más detalle, se ha utilizado como índice de importancia de las carreteras, un criterio beneficio/costo, que obviamente se aplica a muy diversas facetas del papel de las carreteras dentro de la vida social; en este criterio, se compara el beneficio económico del influjo de la carretera misma o de algo que a ella se le haga con el costo que tal cosa conlleve.

En el caso del estudio de pesos y dimensiones vehiculares atrás detallado, aplicado a la Estrategia Nacional de Conservación Carretera, el aforo vehicular refleja de algún modo el costo de operación de los camiones de carga circulantes por cada estación; éste es un dato usualmente tomado en cuenta para definir la importancia de una carretera (por ejemplo, para analizar la conveniencia y oportunidad de acciones de conservación) empleando un criterio tradicional beneficio/costo, en el que el costo es lo que haya que invertirle a la carretera para el fin deseado y el beneficio es el ahorro en costos de operación vehicular que se tenga con la acción emprendida. La jerarquización por valor económico de la carga recoge indudablemente de algún modo el costo de operación vehicular, pero induce a dar la mayor importancia a los tramos carreteros que más inciden en la generación de la riqueza nacional, respaldando acciones (de planeación, proyecto o conservación) que tiendan a reducir los costos del transporte de mercancías, haciendo al país más eficiente en el interior y competitivo.

Los autores de este trabajo piensan que la jerarquización por valor económico de la carga va más lejos que la interpretación literal de los aforos y que representa un criterio más trascendente para valuar la importancia de la vía terrestre, sea carretera o ferroviaria. A modo de simple ejemplo, se ve en la Tabla 4 que la estación Santa Rosa ocupa el lugar 7 por aforo, pero el 3 por valor de la carga; esta estación está

Tabla 4. RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS ESTACIONES CARRETERAS INSTALADAS DURANTE 1991

ESTACION DE AFORO	NUMERO DE CAMIONES POR DIA (miles)	JERARQUIZACION POR CANTIDAD DE CAMIONES	TONELADAS POR DIA (miles)	JERARQUIZACION POR TONELADAS	VALOR DE LA CARGA POR DIA (millones de dólares)	JERARQUIZACION POR VALOR DE LA CARGA	RELACION BENEFICIO/COSTO	JERARQUIZACION POR RELACION BENEFICIO/COSTO
TEPOTZOTLAN	5.25	1	102	1	182	1	17.6	1
	3.33	2	67	2	94	2	14.2	2
STA. ROSA	1.88	7	22	8	64	3	4.4	8
PIMIENTA	2.22	5	41	4	52	4	3.2	9
SALAMANCA	1.67	8	26	5	50	5	5.1	6
LA LUZ	2.60	3	44	3	43	6	8.6	3
SN. MARCOS	2.34	4	22	9	41	7	7.7	4
AMOZOC	2.16	6	24	6	35	8	6.8	5
TAJIN	1.43	10	20	10	31	9	4.7	7
LA GRANDE	1.48	9	22	7	27	10	3.2	10

situada en el corredor Monterrey-Nuevo Laredo, vale decir entre uno de los distritos industriales más importantes de México y el principal puerto fronterizo con los Estados Unidos; se piensa que lo que en ese corredor sucede en cuanto a transporte va mucho más lejos del número de camiones de carga que transitan y que cualquier consideración que se haga en torno a un corredor como éste debe referirse a su funcionamiento como transportador de riqueza. Por otra parte, la estación de La Luz representa la situación inversa a la anterior; es importante, pero está en un corredor que transporta productos de mucho menor valor agregado y que incide menos en la trascendencia del transporte nacional desde un punto de vista económico.

La importancia económica del transporte se hace notar en la estación que figura en primer lugar en cualquiera de las jerarquizaciones señaladas (situada en la principal entrada a la ciudad de México desde el norte y el noroeste del país). Puede destacarse que el valor anual de la carga registrada en esa estación equivale a un tercio del producto nacional bruto mexicano.

En la última columna de la misma tabla se ve una jerarquización en términos de la relación beneficio/costo ya descrita. Los costos corresponden a estimaciones reales dada la condición actual de los tramos, considerando la erogación para pasar del índice de servicio actual a un valor de 4.2 (índice internacional de rugosidad igual a 2.5). Puede verse que no necesariamente el ahorro en costo de operación vehicular refleja la contribución final a la optimización del transporte nacional desde un punto de vista económico. La simple evaluación por beneficio/costo tiene un primer factor de confusión en países en vías de desarrollo, pues dicho costo está fuertemente influenciado por la condición estructural que tenga la carretera en el momento de hacer la evaluación; carreteras muy importantes pudieran resultar mal si se encuentran muy deterioradas, lo que por otra parte pudiera ser consecuencia de su especial importancia. También se piensa que el criterio de la mayor contribución a facilitar el transporte más valioso resulta más apropiado a países cuya prioridad inmediata sea generar actividad económica y riqueza nacional.

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 a niveles de índice de servicio ordenadamente más bajos. 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. En la sección subsiguiente se profundizará sobre este importante tema.

10. Niveles de Calidad Según la Importancia Económica de la Carretera.

Es evidente que en este aspecto se impone una jerarquización basada en criterios comparativos entre los diferentes tramos carreteros. La condición ideal del logro de la perfección en cada uno de los tramos carreteros de cualquier país es una empresa no sólo imposible, sino también indeseable. Imposible, porque el nivel de recursos necesario para colocar toda una red nacional en los más altos niveles de índice de servicio (en los más bajos niveles de índice internacional de rugosidad) resultará siempre inalcanzable. Indeseable, porque aunque ese costo pudiera erogarse, resultaría excesivo y no rendidor de frutos; no debe olvidarse que la consideración de una relación entre el costo de una acción de conservación y su beneficio en ahorro de costos de operación vehicular (con su correspondiente repercusión en costos nacionales totales), tiene que ser un evidente mecanismo de control en cuestiones de gasto público, independientemente de las limitaciones que para ese criterio se han comentado. Lo esencial radica en el costo nacional total; si la acción de conservación, debidamente considerado su costo, conduce a un abatimiento del costo nacional total, será justificable desde el punto de vista económico.

Pero en lo anterior, justificable no siempre quiere decir posible; se posibilita si existen recursos suficientes.

Lo anterior plantea uno de los problemas fundamentales de los responsables de la conservación de una red carretera; con un conjunto de recursos siempre menores que la demanda ideal, deberán mantener la red a su cargo buscando la optimización del balance de costos nacionales totales arriba señalada.

El problema anterior sólo puede resolverse fijando para los diferentes tramos carreteros diferentes niveles de calidad buscada, de acuerdo con la importancia que para el país tenga esa carretera. Cabe mencionar que la Estrategia propuesta en este trabajo pretende proporcionar los elementos para resolver ese problema en cada una de sus fases, pero el trabajo específico de tanteo y ajuste deberá ser resuelto acuciosamente, siempre con el criterio de optimizar los costos nacionales totales.

Algunos elementos de criterio para realizar esa operación de balance de la derrama de recursos en toda la red, adicionales a la parte puramente

operativa contenida dentro de la Estrategia General, podrían ser:

- Un arco carretero cualquiera puede tener un valor adicional a si mismo de mucha importancia, cuando se le considera como elemento de un corredor de transporte. En rigor, el concepto corredor de transporte es el que debe regir, en lugar del simple concepto de tramo carretero entre dos puntos (Referencia 13).
- A medida que se vaya aplicando la Estrategia de Conservación, se irá conociendo el volumen y naturaleza de la carga transportada en cada corredor de transporte. De hecho, estos mismos se irán conformando cada vez con mayor justeza.
- A la vez, se irá conociendo también con mayor detalle, la evolución histórica del estado de cada tramo. Se irán corrigiendo deficiencias estructurales causantes de evoluciones demasiado rápidas.
- También será posible conocer cada vez mejor el estado real de la red carretera básica, en su condición estructural y en sus condiciones operativas en materia de capacidad, diversos tipos de cuellos de botella, etc.
- Se adquirirá también una idea mucho más ajustada de todas las acciones de conservación preventiva a realizar, su horizonte temporal y sus costos.

Con todo ese conjunto de información será posible llegar a un modelo confiable de simulación, en el que sea mucho más sencillo y rápido repartir los recursos acertadamente y conocer las repercusiones que sobre los demás corredores de la red pueda tener una cierta erogación específica para un corredor dado. Con este modelo, se simplificará en forma muy conveniente el proceso de asignación de recursos a los diferentes tramos.

La búsqueda de corredores homogéneos de transporte parece ser un criterio insoslayable. Cuando un corredor es heterogéneo en condición estructural, estado superficial, condiciones de capacidad y otras, se compromete gravemente al transporte carretero.

11. Estrategia de Conservación Propuesta.

Vertiente de Generación de Recursos.

11.1 Ideas Generales.

Un escollo al que se enfrentan prácticamente todos los países de la tierra es el de la obtención de los recursos necesarios para la conservación de la red carretera básica. Generalmente, la fuente tradicional de ellos es el paquete de recursos fiscales. El crecimiento que han tenido las redes carreteras en todas partes hace que el monto de dinero necesario para mantenerlas alcance cifras realmente muy elevadas; al crecimiento se une el mayor número y peso de los vehículos de carga que circulan.

La competencia por los recursos dentro de un paquete fiscal general es evidentemente enorme; la conservación compite con necesidades tan claramente perentorias como la educación, la salud, la seguridad pública, la defensa y otras por el estilo. No es extraño y quizá es más bien lógico que esta combinación de factores conduzca a que la conservación no disponga prácticamente en ningún país de las cifras necesarias para llevar a buen puerto su tarea. Los elementos humanos involucrados en la conservación han de reconocer en el mundo entero que, con cierta frecuencia, los criterios con los que se aplica el gasto carecen de una estrategia altamente coherente, lo que conduce a aplicaciones no óptimas, en las que no se jerarquizan adecuadamente los niveles de inversión en los caminos más prioritarios para el bienestar de la nación, en los que se cae en aplicaciones de los recursos de carácter general, asignando cantidades fijas por kilómetro en amplias extensiones de las redes nacionales, en las que se dan tratamientos meramente superficiales a tramos con deficiencias estructurales profundas en los que tales tratamientos tendrán duraciones reducidas y otras deficiencias.

Sin duda la carencia de esa Estrategia Nacional que a veces no permite llegar a una relación claramente convincente entre gasto y beneficio debe producir un cierto desencanto en la sociedad, que puede llegar a considerar más rentable la inversión en aquellas otras necesidades perentorias atrás mencionadas. En rigor, hacer una aportación a esa Estrategia ha sido la preocupación del Instituto Mexicano del Transporte.

Lo importante parece ser plantear las necesidades de conservación en términos de un ahorro en los costos reales totales de la nación, al comparar la inversión necesaria con el beneficio nacional y no sólo

con el beneficio del transporte, pues este último pudiera ser simplemente un beneficio sectorial. Los beneficios de la conservación pueden ir mucho más allá de los que obtenga el transporte considerado como una actividad aislada; deben conducir al precio justo de las mercancías en los mercados, a la preservación de recursos no renovables, a la preservación de la seguridad y la salud, a la preservación del medio ambiente y a otras muchas cosas todas emanantes de una utilización más racional y eficiente de los recursos nacionales.

Aparece así en la Estrategia de Conservación una nueva vertiente, ya no destinada a cubrir baches o reforzar estructuras sino a encontrar caminos convincentes y válidos para la obtención de los recursos necesarios.

Al hecho de que una conservación adecuada tiene que ser benéfica para el país, en el sentido de disminuir sus costos reales, puede llegarse por una reflexión que combina elementos sociales con consideraciones físicas bien conocidas.

La falta o deficiencia de conservación lleva a mala operación o a uso inapropiado de los medios de transporte y su interacción; a fin de cuentas, se traduce en energía de diversas índoles quemada al aire, sin provecho social. Se antoja proponer un concepto de entropía social con un sentido bastante similar al de la entropía de los sistemas físicos. La energía que una sociedad pierde sin un ordenado provecho previsible y previsto, puede ser considerada como sumada al caos universal e interpretada como un incremento de la entropía social. Es obvio que todo movimiento social incrementa la entropía social, pero también es obvio que la meta de toda sociedad tiene que ser minimizar ese incremento; de hecho, debe pensarse que todo exceso sobre ese mínimo, que consume recursos de la sociedad sin generar riqueza para la misma, es indeseable e incrementa los costos sociales reales. Visto así, el que la conservación beneficia los costos reales del país pasa a ser ley de la naturaleza. Se trata pues únicamente de dar significados puntuales y concretos a esa ley para estimular acciones que proporcionen recursos para la conservación de la red carretera; de llegar a esquemas que permitan obtener lo necesario para que, debidamente aplicado, minimice el desperdicio social que desde muchos puntos de vista representa el transporte.

Esos esquemas parece que deben cumplir cuatro condiciones importantes:

- Ser permanentes; habría que resistir la tentación de aprovechar una coyuntura que permitiera dedicar a la conservación en un año dado un monto importante de recursos, pero que no fuera garantizadamente repetible. El atenerse a soluciones de este estilo no sólo no conduciría a una solución a largo plazo, en una red que breve tiempo después estaría en la misma condición de partida, sino que sería perjudicial en su efecto económico y desgastante en la posición de los organismos encargados del trabajo, ante la opinión pública.
- Los esquemas a que se llegue deben estar claramente ligados a la actividad del transporte carretero nacional. Cualquier esquema que eche mano de recursos provenientes de otros sectores encontrará oposición, pues en ellos no faltarán necesidades que demanden recursos adicionales provenientes de esquemas similares.
- Los mecanismos financieros que se establezcan deben procurar que los recursos se capten de quienes se benefician del uso de las carreteras. Las propuestas deben ser equitativas, en el sentido de que los cobros por el uso de la infraestructura deben definirse de tal manera que paguen más quienes más se benefician y quienes impongan los mayores costos a la infraestructura; a la vez, el mecanismo debe contener la demostración de que los usuarios que están aportando recursos obtienen beneficios económicos substancialmente mayores que su aportación.
- El esquema de financiamiento que se proponga debe tener la característica de ir proporcionando recursos crecientes a medida que vaya teniendo éxito en el logro de una mejor conservación; es decir, debe ser un mecanismo que produzca beneficios que directamente se puedan relacionar con el objetivo al que se destinan, a la vez que ser una muestra evidente de las virtudes de la conservación desde el punto de vista económico.

Corresponde a los técnicos en el manejo de los recursos económicos y sus mecanismos financieros el establecer los esquemas adecuados, con el apoyo técnico que puedan requerir para ello. Lo que parece una perspectiva obligada es que bajo las bases anteriores, la sociedad en su

conjunto coopere para la adecuada solución de tan importantes problemas; desde este punto de vista, la conservación debe tener un tratamiento similar al de otros muchos servicios públicos, sostenidos de alguna manera por el cuerpo social usuario.

El Instituto Mexicano del Transporte ha realizado estudios que podrían arrojar alguna luz a la tarea de las autoridades hacendarias directamente responsables de la distribución de los fondos públicos destinados a la conservación de carreteras. Estos estudios serán glosados en lo que sigue. También debe mencionarse a la Referencia 14 como una muy interesante fuente de reflexión sobre estos temas. Independientemente de que en ella se sostienen criterios muy similares a los sustentados por el Instituto Mexicano del Transporte, presenta variantes y líneas de argumentación del mayor interés, muy contribuyentes al análisis general de la situación y de las alternativas que puedan ofrecerse para encontrar soluciones.

En los planteamientos de las sugerencias que pudieran hacerse a los responsables de la asignación de recursos destinados a la conservación de redes viales, existen algunos conceptos básicos que conviene señalar.

Las carreteras son un servicio público, como tantos, entre los que figuran el agua potable, la energía eléctrica, las telecomunicaciones en muchos aspectos y otros. Es universalmente aceptado que los usuarios de esos servicios contribuyan de alguna manera a sus costos. También es cierto que existen otros servicios públicos no menos importantes que la práctica universal acepta que deben ser por lo menos parcialmente subsidiados, en el sentido de que se reconoce que su capacidad de generar recursos no puede alcanzar lo necesario para que esos sectores puedan rendir toda la utilidad que de ellos se demanda; la educación, la salud básica, la defensa o la propia administración pública son ejemplos no únicos de tales sectores. El caso de la conservación carretera no está en esta condición, pues aparentemente los usuarios de esa infraestructura no deben constituir, en términos generales, un sector necesitado de subsidio.

La conservación carretera ha de ser pagada directamente por los usuarios de los vehículos que las transitan. Ello podría producir los recursos suficientes, además de una muy importante conciencia del usuario en el lazo que existe entre su aportación y la superior ganancia

que de la conservación reciban; ello produciría un muy saludable interés del usuario en la conservación y generaría una conveniente presión en pro de la eficiencia en las tareas de mantenimiento.

11.2 Sistemas de Generación de Recursos.

La búsqueda de recursos destinados a la conservación de carreteras ha recurrido a diversos esquemas de tipo socioeconómico. De ninguna manera se pretende en este trabajo hacer un repaso de todos los utilizados, pero algunos de los más usados no pueden dejar de mencionarse en lo que sigue.

Una idea básica en la que se ha insistido reiteradamente en páginas previas, pero que no puede dejar de mencionarse ahora es que cualquier esquema que se proponga a un gobierno nacional para obtener recursos para la conservación de la red vial debe ir precedido de una clara y sencilla estrategia para su gasto; estrategia que debe contener acciones técnicas para la definición del estado actual de las cosas, acciones técnicas para corregir y mejorar lo que convenga en el estado de los caminos y hasta los límites a que convenga llegar en cada caso particular, acciones que permitan definir los costos de conservación a diversos niveles de calidad y a diversos niveles de permanencia y evolución en el tiempo y, finalmente, criterios y acciones que permitan jerarquizar la importancia de las carreteras, para definir en cada una, niveles de calidad y horizontes temporales realmente compatibles con los recursos disponibles, y que permitan, a la vez, el desarrollo de políticas congruentes hacia el futuro. Se espera que en las páginas anteriores haya quedado establecido que los trabajos del I.M.T. han dado atención a este requisito básico.

En el pasado se popularizó la idea de que el financiamiento de la conservación carretera podría realizarse con la creación de impuestos especiales etiquetados específicamente para ese fin. Hasta cierto punto se buscaba que dichos impuestos gravaran principalmente al usuario del servicio al que se destinaban los fondos. Este tipo de políticas comenzó a tener detractores al aparecer cierta confusión en muchas de las relaciones entre los hechos gravados y el destino concreto de los recursos. Las coyunturas económicas y sociales de muchas naciones, especialmente aquéllas en rápido desenvolvimiento social y demográfico fueron inclinando a los gobiernos a manejar los recursos financieros en

un paquete único, más flexible para atender con la debida oportunidad las situaciones coyunturales, surgidas de la vida diaria de la sociedad. Debe reconocerse que este desencanto hacia los impuestos etiquetados a un servicio específico está muy extendido en la actualidad y que a los detractores del sistema no les faltan sólidos argumentos.

El peaje ha sido otro socorrido procedimiento para la obtención de recursos con posible destino hacia la conservación. El peaje requiere ciertos niveles mínimos de tránsito para obtener una justificación popular y aún económica; la Referencia 14 fija ese límite en 800 vehículos diarios, de manera que aforos menores hacen que la administración del sistema conduzca a gastos que hacen la operación muy poco atractiva. De hecho, la pobreza de los aforos es un argumento contra el peaje en muchos países y ejerce influencia en todos. En el área de América Latina y el Caribe, seguramente no más del 10% de cualquier red carretera podría hacer al peaje una operación realmente interesante; obviamente, no puede cobrarse peaje en toda la red. El sistema queda quizá confinado a la obtención de recursos para la conservación de una red de autopistas. En el caso de México, un sistema tal conduce de hecho a ciertos sobrantes de recursos pero en montos que no alcanzarían para atender de manera significativa la conservación de la red federal.

Los análisis realizados por el I.M.T. (1994), aún reconociendo que dejan amplio lugar a posteriores esfuerzos y a la imaginación creadora de todos los involucrados, han llegado por el momento a la idea de que lo conveniente es investigar el efecto de una elevación muy pequeña en el precio de los combustibles (gasolina y diesel) complementado por un análisis general del impacto de tales incrementos en los diversos sectores de la economía. Estos resultados deben compararse con los ahorros en los costos del transporte nacional y su correspondiente repercusión en aquellos mismos sectores. Si el resultado final de esta comparación resulta a favor de los costos generales del transporte en todos esos sectores o en una proporción abrumadora de ellos, los costos nacionales totales habrán disminuido en forma suficientemente significativa como para que el sistema resulte convincente a los ojos de los responsables de la política hacendaria.

Con estas ideas, se presenta en lo que sigue una propuesta concreta para el caso de México y referida únicamente a lo que se ha considerado como la red básica carretera, de mayor influencia en la vida comercial e

industrial de la nación y la de mayor impacto en los mecanismos que respaldan la generación de la riqueza nacional.

La propuesta da por hecho la asignación de un monto de recursos asignados, que sea suficiente para la conservación obligada y rutinaria de la red básica (limpieza de taludes, limpieza de cunetas, reposición de señalamiento, atención a drenaje y subdrenaje, bacheos, etc) y toma en cuenta la necesidad de recursos de esa red básica para ser reforzada estructuralmente, de tal forma que vaya adquiriendo en forma oportuna y duradera la capacidad estructural requerida para que tales refuerzos vayan siendo menos y menos necesarios con el transcurso del tiempo, ante el incremento del tránsito en número y peso de los vehículos de carga.

Desde este punto de vista, la propuesta tiene un carácter relativamente contingente, sirviendo para colocar la red básica en una condición tal, en alineamiento, seguridad y condición estructural, que en el futuro pueda mantener un estado satisfactorio con inversiones ya principalmente enfocadas al mantenimiento rutinario y no tanto, ni mucho menos, al refuerzo y/o la reconstrucción. Así, al cabo de los períodos de tiempo que se señalarán en la propuesta, la continuación de los programas de obtención de recursos que se exponen podrían inclusive reforzar las necesarias políticas de construcción de nuevas vías, que probablemente nunca dejarán de presentarse.

Los estudios del I.M.T. que amparan la propuesta presentada contienen muchos detalles analíticos que no se incluyen en este trabajo, que se limita a una presentación de resultados.

Los estudios realizados toman en cuenta el hecho de que aún los 30 mil kilómetros de red básica considerados en los análisis no deben llegar al mismo nivel de calidad. La estrategia general elaborada por el propio I.M.T. contiene los elementos para jerarquizar el estado final de índice internacional de rugosidad a que debe llegarse en los diferentes arcos de la red, estableciendo prioridades y jerarquías de acuerdo con criterios que ya han sido expresados en este trabajo.

Todos los arcos de la red fueron analizados individualmente, con base en su contribución económica al transporte general, expresada por el valor de la carga transportada por cada uno, cuando esta información estuvo disponible y con base en aforos (con énfasis en los vehículos de carga),

cuando no lo estuvo. Debe tenerse en cuenta que el estudio de campo de pesos y dimensiones de los vehículos, tantas veces mencionado, es aún joven en México, pero es de esperar que cuando vaya rindiendo más de su vital información, puedan realizarse los ajustes necesarios; otro tanto ocurrirá cuando por avatares obligados en la futura vida nacional, ocurran cambios que los justifiquen.

Todos los arcos fueron analizados con el criterio de integrarlos en corredores homogéneos de transporte (Referencia 13) a través del territorio nacional, pues estos elementos deben constituir la unidad de estudio, antes que los arcos aislados definidos geográficamente o por cualquier otro sistema que no sea el transporte carretero mismo y sus posibilidades de integración con otros modos, tales como puertos marítimos o fronterizos, el ferrocarril, el abasto a ciudades o consideraciones de desarrollo regional.

11.3 Una Propuesta Específica para la Obtención de Recursos para la Conservación Vial en el Caso de México.

La propuesta que a continuación se menciona en su parte conceptual y conclusiva, está contenida en forma más detallada en la Referencia 1. Sin embargo, antes de entrar a su parte medular, conviene proporcionar algunos datos correspondientes a la situación concreta de México (1994) que serán útiles para proporcionar un marco de referencia. También debe aclararse desde ahora que la propuesta se refiere a la red federal básica de carreteras mexicanas, de unos 30 mil kilómetros de longitud que no considera la red nacional de autopistas, muchas de ellas de muy reciente construcción.

Análisis realizados por el I.M.T. hacen ver que el valor de la red básica mexicana en 1994 está en el orden de los 30 mil millones de dólares (valor de reposición). El costo de las operaciones de transporte que sobre ella ocurrirán durante 1994 puede calcularse en un valor de 15 mil millones de dólares. De continuar las tendencias actuales de desarrollo de tránsito, esta cifra anual será de 17 mil millones de dólares en el año 2000 y de 20 mil millones de dólares en el año 2006.

Los estudios detallados realizados hacen ver que, por el estado actual de la red, las cifras anteriores comprenden sobrecostos evitables en la

operación del transporte, que obviamente podrán reducirse de mejorar la conservación carretera. Estos sobrecostos anuales se han calculado en 1,200 millones de dólares en 1994, 1,850 millones en el año 2000 y de 2,700 millones de dólares en el año 2006, supuesto que continuara en tales períodos una derrama de similares tendencias a las actuales de los recursos dedicados a la conservación vial. Debe aclararse que estos sobrecostos están calculados no con respecto a una situación idealmente perfecta de la red, sino con respecto a lo que debería considerarse razonablemente una situación operativa, en la que diferentes tramos y corredores de transporte tuvieran diferentes niveles de calidad, según la importancia de su contribución a la generación de la riqueza nacional. El I.M.T. también cree que esa situación operativa razonable es perfectamente compatible con las capacidades técnicas de la ingeniería nacional y con todas las demás realidades inherentes al problema, en los aspectos técnicos y administrativos. La afirmación que acaba de hacerse incluye la consideración de que se aplicará a los trabajos una Estrategia Nacional del estilo propuesto en este escrito.

Como ya se insinuó anteriormente, otro marco de referencia de la propuesta presentada es la búsqueda de la eliminación de los sobrecostos operativos evitables hasta los niveles convenientes; esa conveniencia queda establecida por el límite que se alcanzaría cuando los costos para conservar un cierto corredor a un determinado nivel de calidad, fueran superiores a los beneficios que tal calidad reportara a la sociedad en conjunto. En otras palabras, conviene conservar en tanto los costos totales nacionales se reduzcan.

Los ahorros que la conservación produce no son despreciables; por el contrario, son enormemente cuantiosos. Esto ya ha quedado señalado, pero analizando el problema desde otro punto de vista, puede decirse que estudios realizados en el I.M.T. y citados más atrás en este trabajo, indican que un camión articulado puede gastar por kilómetro un 15-20 por ciento más, al transitar por una carretera con índice de servicio de 4 (índice internacional de rugosidad de 2.5), con respecto a otra con índice de servicio que apenas exceda el 2 (índice internacional de rugosidad que llegue a 7), considerando un camino de alineamiento vertical normal en México. Esto representa de 0.15 a 0.21 dólares por cada vehículo y cada kilómetro. Como se dijo, el I.M.T. ha estudiado también el efecto trascendental de la pendiente que, aunque no tan directamente ligado con la conservación, sino más bien paradigma del proyecto, puede tener mucho que ver con rectificaciones y/o modernizaciones.

Con estas bases se ha estimado que al levantar el índice de servicio (o reducir el índice internacional de rugosidad) en los valores promedio que se muestran en la Tabla 5, podría llegarse a un ingreso acumulado en 20 años de más de 42 mil millones de dólares, con respecto a lo que sucedería durante esos 20 años, de continuar con una asignación tal como la actual, que se considera de 180 millones de dólares anuales. Conviene decir algo sobre la manera de leer la tabla. La primera columna supone una asignación inicial de 180 millones de dólares en el año cero, la cual irá creciendo en años subsecuentes al mismo ritmo en que se desarrolle el tránsito (supuesto del orden de 3.5% anual, como un promedio para toda la red de 30 mil kilómetros). En tales condiciones (inversión inicial de 180 millones de dólares) se ve que un índice actual de servicio de 2.79 se convierte en 2.54 al cabo de 20 años y que los sobrecostos evitables aumentan en el mismo lapso del orden de 100%.

Si a la conservación se dedicaran 610 millones de dólares en el año cero, con una tasa de crecimiento de esa inversión igual a la del tránsito, se reducirían, en 20 años, en un 60% los sobrecostos evitables y el índice de servicio promedio de la red de 30 mil kilómetros podría mejorar en el lapso, de 2.79 a 3.9.

Consideraciones análogas se presentan en la Tabla 5, para inversiones iniciales de 305, 455 y 760 millones de dólares.

En todas las alternativas de inversión, aparece una columna denominada "Egreso", que representa la asignación de recursos que habría que dar en el año que se indica por encima de la histórica, obtenida a partir de la inicial de 180 millones de dólares, en el año de que se trate.

También aparece una columna de "Ingresos". Esta se obtiene restando el sobrecosto evitable que se tiene cada año con la inversión propuesta, del sobrecosto evitable que ese mismo año se tendría con la inversión inicial de 180 millones de dólares. Por ejemplo, en el año 10, en la alternativa de inversión de 610 millones de dólares, se tiene un ahorro acumulado en sobrecostos evitables (ingreso para el país) de 13 mil millones de dólares, en relación a lo que se tendría si se hubiera llegado a ese año 10 a partir de la inversión inicial de 180 millones de dólares.

En la parte más baja de la tabla se muestra la tasa interna de retorno (rentabilidad) de cada uno de los niveles de inversión, observándose que

11. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente de Generación de Recursos

AÑO	NIVELES DE ASIGNACION									
	180		305				455			
	INDICE DE SERVICIO	SOBRECOSTO EVITABLE	INDICE DE SERVICIO	SOBRECOSTO EVITABLE	EGRESO ACUMULADO	INGRESO ACUMULADO	INDICE DE SERVICIO	SOBRECOSTO EVITABLE	EGRESO ACUMULADO	INGRESO ACUMULADO
0	2.79	1 699	2.79	1 699	120	0	2.79	1 699	267	0
1	2.61	1 847	2.67	1 804	245	43	2.72	1 548	552	299
2	2.45	2 138	2.58	2 016	376	164	2.69	1 650	849	786
5	2.23	2 535	2.54	2 180	798	988	2.72	1 703	1800	3006
10	2.16	3 000	2.63	2 293	1619	3910	2.93	1 398	3638	9661
15	2.34	3 375	2.74	2 193	2600	8899	3.23	1 082	5863	19757
20	2.54	3 385	2.95	1 848	3515	16509	3.66	787	7995	32633
TASA INTERNA DE RETORNO (%)			50.9				77.0			

AÑO	610				760			
	INDICE DE SERVICIO	SOBRECOSTO EVITABLE	EGRESO ACUMULADO	INGRESO ACUMULADO	INDICE DE SERVICIO	SOBRECOSTO EVITABLE	EGRESO ACUMULADO	INGRESO ACUMULADO
0	2.79	1 699	415	0	2.79	1 699	570	0
1	2.76	1 443	862	405	2.80	1 350	1106	497
2	2.76	1 462	1321	1079	2.80	1 341	1773	1294
5	2.85	1 357	2768	4192	3.00	1 104	3802	5098
10	3.25	904	5655	13000	3.57	632	7622	15402
15	3.73	639	9077	25443	3.86	593	9773	28448
20	3.90	648	10145	39461	3.91	641	10637	42505
TASA INTERNA DE RETORNO (%)			65.0		55.7			

NOTA: Los montos en esta tabla son en millones de dólares.

Tabla 5.

la inversión inicial de 455 millones y la de 610 millones ofrecen las mejores rentabilidades. La elección entre la asignación de 455 y la de 610 millones no es sencilla.

Volviendo a la Tabla 5, se puede estimar que si la asignación del año cero se transforma de 180 a 455 millones de dólares, el costo de levantamiento del índice de servicio medio de la red a 3.66 llegaría en 20 años, a una cifra del orden de 8,000 millones de dólares adicionales al mantenimiento rutinario (precios actuales). Si la inversión del año cero es de 610 millones, el mismo costo será del orden de 10 mil millones, obteniéndose mejores y más rápidos resultados. También se insiste en que los valores medios asignados a la red en índice de servicio provienen de una ponderación razonable de los valores convenientes en los distintos tramos, pero no son un valor generalizado para todos ellos.

Es de destacar la sorprendente y enorme diferencia que se tiene en el horizonte de 20 años entre los beneficios de la conservación y sus costos; tal parece que esta diferencia justifica por si misma cualquier incremento en la inversión en conservación.

La cuestión de obtener el incremento necesario en los recursos para la conservación de carreteras es urgente, pero ardua. La gran mayoría de los países en desarrollo dedican a la conservación apenas lo necesario para la conservación rutinaria o aún menos, pero no atienden prácticamente en nada al deterioro natural y menos al verdadero concepto de conservación, que implica la necesidad de ir adaptando lo que se usa, a las nuevas necesidades que aparezcan durante su vida útil; el tránsito crece en forma continua en todos los países en vías de desarrollo, lo que obliga a que los recursos de la conservación tengan también que crecer dentro de este concepto de "conservar".

Supóngase que se decide la alternativa de dedicar 610 millones de dólares a la conservación carretera por simple dedicación de recursos fiscales. Si se regresa a la Tabla 5, se verá que, supuesto que 180 millones son de gasto obligado (en el sentido de que ya se están ejerciendo), al transcurrir el primer año ya el país recibió un ingreso por mejoría en la conservación de prácticamente 405 millones de dólares y que a partir del año 1, ya siempre el ingreso del país por atención a la conservación va siendo gradualmente superior a la demanda de recursos que la alternativa señala. De manera que sólo los 405 millones de asignación inicial adicional son gasto no recuperado previamente por la

nación y que habría de ser financiado, por ejemplo con préstamo externo.

La Figura 4 muestra el flujo de las cosas en la alternativa que se propone.

La primera consideración es que el ahorro nacional se distribuye de alguna manera en la sociedad mexicana, pero no representa un efectivo, que es lo necesario para sustentar el programa de conservación. Ese efectivo tendría que ser proporcionado por el Estado. En la Figura 4, se muestra una curva de incremento de las asignaciones necesarias, en añadidura a los 180 millones de dólares que se consideran un recurso inicial fijo u obligado; como se dijo, la asignación va creciendo con la tasa de crecimiento del tránsito; es de 405 millones en el año cero.

En la misma figura aparece una curva de captaciones que tiene la siguiente génesis. Es preciso considerar algún mecanismo que proporcione dinero para conservar. En este trabajo se propone que ese mecanismo sea basado en recursos fiscales y respaldado por un incremento en el precio de la gasolina y el diesel. Dicho incremento sería del orden de 0.003 dólares por litro de cada combustible cada año a partir del año 1, por las razones arriba explicadas. Se propone que este aumento se considere "ad valorem" en los años subsecuentes y que no exceda de un tercio del ahorro en costos nacionales del año anterior.

En la Figura 4 puede verse que en el año 9, ya la totalidad de los recursos necesarios en la alternativa provienen de la captación. La gráfica incluye una curva de ahorros nacionales totales en costos de operación, obtenidos de la Tabla 5.

De hecho, en la alternativa de inversión de 610 millones de dólares, se comenzaría con un aumento de 0.003 dólares por litro al final del año 1 y el precio iría aumentando hasta un aumento acumulativo total de 0.015 dólares por litro en el año 8 (el precio aumentó en 0.015 dólares por litro a lo largo de 8 años). Con ese tolerable aumento se garantiza el flujo de recursos necesario.

Merece atención la parte sombreada de la izquierda de la figura entre asignaciones y captaciones, pues en esa zona, que dura 8 años, se da a la conservación más de lo que se capta por aumento de precio de combustibles (independientemente de que represente un tercio del

ASIGNACION INICIAL = 610'000,000 USD

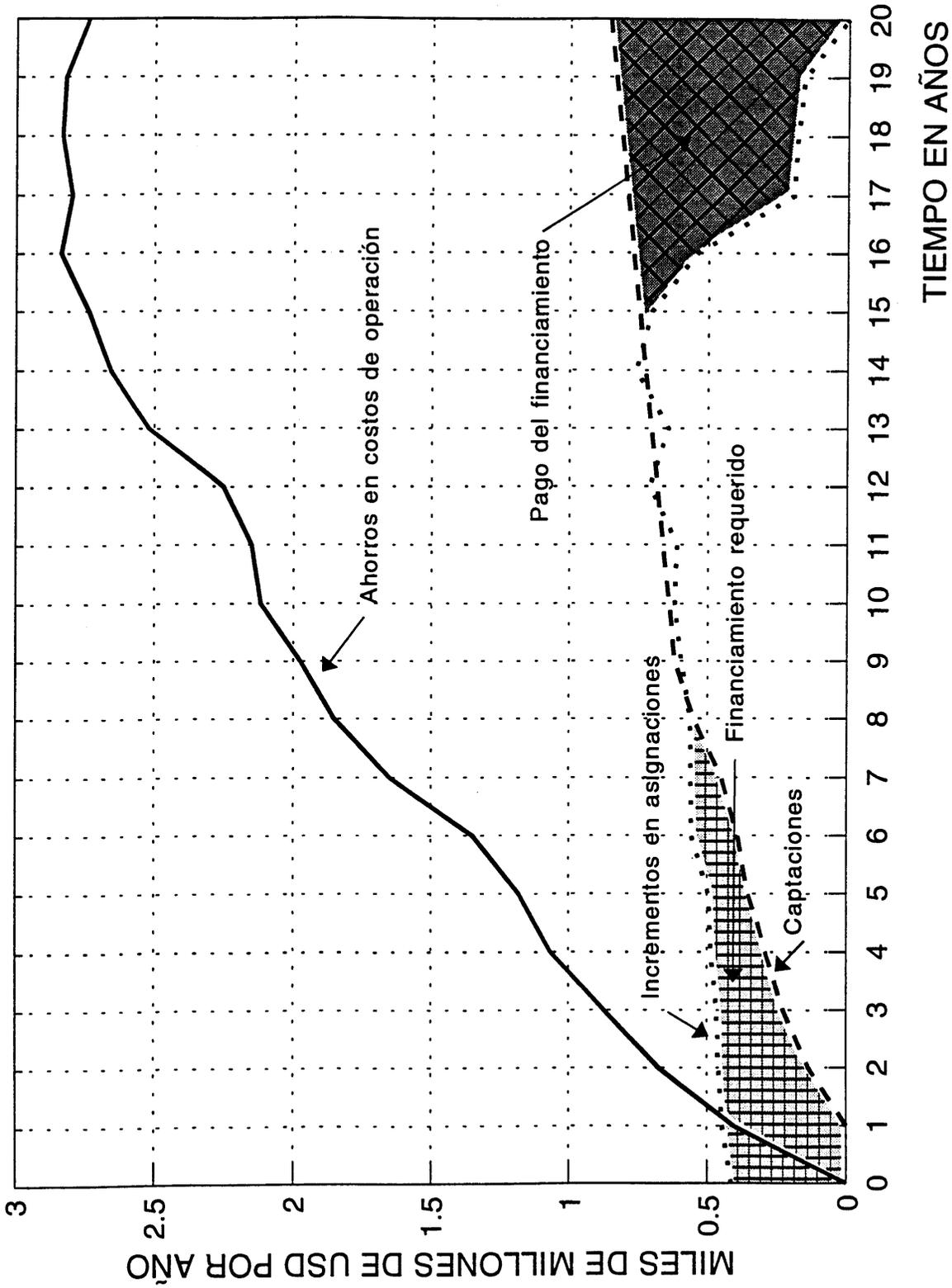


Figura 4.

ahorro nacional). Esa brecha económica habría de llenarse en la propuesta contenida en este trabajo, vía un financiamiento. Los cálculos respectivos hacen ver que entre el año 8 y el año 14 ya se recauda lo necesario y que a partir del año 15, el mejoramiento logrado en el estado de la red hace que las captaciones por incremento en el precio de los combustibles (que se llevó un máximo de 0.015 dólares por litro en los primeros 8 años), permiten obtener recursos para el pago del financiamiento, pues a partir del año 15, el buen estado de la red ya no requiere asignaciones tan importantes para la conservación, las cuales se irán acercando cada vez más a la conservación simplemente rutinaria y preventiva, pero ya sin demanda de drásticas acciones para elevar el nivel de servicio.

En la Figura 4 se ha añadido un criterio adicional para evitar efectos inflacionarios en la inversión en conservación; en primer lugar, la captación se da después del primer año, cuando ya se generaron ahorros en el transporte; en segundo lugar, la captación de recursos fiscales nunca excederá de una asignación total de 610 millones de dólares, ni de un tercio del ahorro nacional del año anterior. Si a partir del año 9 la captación es mayor de 610 millones de dólares, ello se debe a un crecimiento del producto interno bruto por crecimiento de la actividad económica.

La propuesta que se acaba de describir ha sido formulada en el I.M.T. y fundamentada en mucho cálculo de detalle que ahora se omite. Por ejemplo, se calculó el impacto de las captaciones en los distintos sectores del aparato productivo, utilizando la matriz insumo-producto más reciente disponible (fuente: Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática de México) y se pudo demostrar que con excepción del sector pesquero, los ahorros transferidos a las distintas actividades son siempre mayores que los incrementos de los costos originados por el gravamen propuesto; las captaciones supuestas no son inflacionarias y el hacer el transporte más eficiente abarata el ciclo económico.

Tampoco hay presiones inflacionarias en el ejercicio de las asignaciones, puesto que la mayor parte va a dar a la industria de la construcción o a servicios profesionales, ambos rubros que en México tienen capacidad instalada disponible.

Se considera también que el monto y condiciones del financiamiento que se propone no tienen una repercusión negativa de importancia, por existir un claro mecanismo de recuperación.

Por otro lado, la propuesta aquí formulada tiene algunos beneficios calculables no desdeñables.

Una parte del ahorro generado en los distintos sectores del aparato productivo se convertiría en mayores utilidades para las empresas, lo cual a su vez se traduciría en una mayor recaudación de impuestos.

En un sistema competitivo, otra parte del ahorro tendería a convertirse en reducción de fletes, con los correspondientes beneficios a los distintos sectores del aparato productivo.

La conservación carretera conduce a menores gastos de combustibles. Se ha estimado que dentro del lapso de 20 años que se contempla, significa la eliminación de una capacidad de refinación de 100 mil barriles diarios, con inversión de 3 mil millones de dólares o, como alternativa una importación de combustibles por 1,000 millones de dólares al año.

Se ha podido estimar que la implantación de la política de conservación propuesta puede significar en compra de equipo y refacciones una reducción de salida de divisas del orden de 800 millones de dólares por año.

Se estima que una alternativa económica como la propuesta conduciría a trabajos que significarían la creación de 100 mil empleos directos y 200 mil indirectos, por efecto multiplicador.

No hay que decir que acciones como las que ahora se proponen contribuirían al logro de una mejor imagen de la Administración Pública.

12. Estrategia de Conservación Propuesta. Vertiente Organizacional.

Una estrategia de conservación que atienda todos los aspectos necesarios, tal como pretende ser la presentada en este trabajo, no puede dejar de incluir ideas sobre la organización, pues parece un hecho fuera de duda que la gran mayoría de los organismos que enfrentan estas tareas no están del todo preparados en el momento presente, desde este punto de vista, para hacer frente a las actuales condiciones técnicas, económicas, financieras, etc.

La organización para la conservación debe contemplarse en dos aspectos. En primer lugar, se presenta un problema general, que se refiere a la responsabilidad de los trabajos, a como se reparten éstos entre la administración gubernamental y las empresas privadas y otros elementos de la misma índole. En segundo lugar, conviene hacer algunas indicaciones sobre la organización interna de los grupos profesionales que atienden la labor.

12.1 Organización General de los Trabajos de Conservación.

Los trabajos de conservación deberán organizarse en cada país considerando sus propias realidades, las formas operativas prevalecientes, sus tradiciones y evolución histórica y, desde luego, las condiciones y características de cada red nacional de carreteras.

Lo que no tiene duda es que parecen presentarse dos criterios rectores que independientemente de que han existido siempre, adquirieron en los últimos años (por lo menos en los países en desarrollo) una relevancia muy notable. Uno es el hecho, ya tan mencionado, de que los costos de la conservación adecuada de una red nacional son tan cuantiosos que su correcta administración se ha convertido en una empresa vital, vigilada por muchos sectores y de gran trascendencia intrínseca. El segundo criterio rector se refiere al objetivo mismo de la conservación: la enorme difusión, creciente complejidad y decisiva influencia de las actividades comerciales del país y del adecuado fomento hacia el desarrollo industrial, producen una clara y perentoria obligatoriedad de que el fin de las tareas de conservación sea la optimización del transporte, con muy especial énfasis en el de carga. Ya no se trata de

tener buenas carreteras; se trata ahora de tenerlas en un estado debidamente jerarquizado, de acuerdo con la importancia de la ruta en tanto forme parte de un corredor de transporte que contribuya a los desarrollos anteriores. Esta idea debe conducir a un cierto cambio en el criterio de los típicos ingenieros de caminos, vinculando su actividad, antaño frecuentemente orientada en demasía a aspectos exclusivamente técnicos, hacia los terrenos del fomento al comercio, al desarrollo industrial y al intercambio social.

La Referencia 15 presenta un útil panorama de las prácticas seguidas en muchos países y de las principales preocupaciones que en ellos se tienen en torno a los trabajos de conservación y a la contribución de las empresas privadas en los mismos. La fuente de información de la referencia proviene del reporte World Bank-INU 91 ("Assessment of Road Maintenance by Contract").

Lo más destacable en el panorama mundial se resume a continuación, en la inteligencia de que se conjunta información de países de los más diversos rangos de desarrollo económico y tecnológico:

- Se detecta dondequiera la necesidad de mejorar la conservación carretera.
- La participación de los contratistas privados en la conservación que tenga carácter de reforzamiento, modernización o reconstrucción (llamada conservación periódica) es muy abundante y creciente.
- En la conservación rutinaria, la contratación con empresas privadas comienza a ser una opción a la que se recurre.
- Se manifiesta una preocupación importante por mejorar la eficiencia de los trabajos de conservación hechos por la Administración Pública.
- Prevalece la idea de que la repartición de los trabajos entre la Administración Pública y las empresas privadas debe ser casuística y flexible.
- Realizar toda la conservación por medio de empresas privadas se considera una opción, pero no la única opción.

- Se acepta que la Administración Pública debe planear los trabajos de conservación, con especificaciones claras y fijación estricta de niveles de calidad, tanto para los trabajos realizados por la Administración Pública como por los contratistas privados. En otras palabras, se reconoce dondequiera la necesidad de lo que en este trabajo se ha llamado una Estrategia Nacional de Conservación.
- Existe una marcada tendencia a aceptar con los contratistas privados, términos de contratación de 3 ó más años. Períodos menores no permiten inversiones en equipos variados y especializados que optimicen las labores de conservación.
- La mayor parte de los países no reportan una diferencia importante en costos entre los trabajos realizados por sus administraciones públicas y por los contratistas privados, pero el trabajo gubernamental puede tener incrementos de eficiencia muy significativos cuando se le pone a competir con el trabajo privado.
- En la labor de los contratistas privados, existe a nivel mundial una preocupación por propiciar la intervención de empresas pequeñas.
- Cuando se han dividido los trabajos de conservación entre contratistas privados e instituciones de gobierno, se han reportado beneficios mutuos por incremento en la competitividad de ambas fuerzas de trabajo.
- Las economías de escala que pueden conseguirse dando grandes contratos de conservación a grandes empresas, son por otra parte, a menudo contrarrestadas por una disminución del nivel de competitividad y de eficiencia de tales grandes empresas.
- Suele considerarse al trabajo gubernamental como más capaz de dar respuesta pronta a casos de emergencia.

De lo anterior se desprende claramente que no existen tendencias totalmente favorables al trabajo privado o al público; ambos han de ser cuidados, protegidos de alguna manera y convenientemente entrenados. La conclusión universalmente aceptada de que el buen desenvolvimiento de sistemas de conservación privada requiere contratos de duración mayor que la usual, es importante. Esta necesidad es quizá mayor en

países en vías de desarrollo, en los que las redes carreteras suelen adolecer de deficiencia estructural, pues en tales casos, los primeros tiempos de la evolución de un contrato implican refuerzos o reconstrucciones muy demandadoras de inversiones que sólo podrán recuperarse en años subsecuentes, en los que la conservación tenga un carácter más rutinario.

Los autores de este trabajo piensan que los trabajos de conservación ofrecen amplio campo para la intervención privada. Coinciden en considerar prácticamente inevitables los contratos de duración razonablemente larga, que permitan las inversiones necesarias y los tiempos de recuperación suficientes. Piensan también que la gran empresa tiene cabida en estos programas, así como lo tiene la mediana; la diferencia entre ambas puede centrarse en la longitud del tramo a conservar, objeto del contrato. Estas longitudes podrían llegar a ser del orden de 500 kilómetros en los grandes contratos y de 100 a 200 kilómetros en los contratos con empresas medianas.

No se ve con la misma claridad la posibilidad de contar con la deseable presencia de empresas pequeñas en estos trabajos. Esta presencia sería conveniente para fomentar el desarrollo local y como un elemento de justicia general, pero estas ideas no deben llevar a encomendar los trabajos a quien no tenga la fuerza necesaria para hacerlos bien.

El encomendar la conservación rutinaria a una empresa pequeña, dejando la conservación de refuerzo y reconstrucción inicial o periódica a una empresa mayor, no es un criterio que se recomiende por si mismo. La superposición de ambos trabajos es, en la práctica, continua en mil pequeños detalles; esta superposición de responsabilidades generaría confusión y una poco clara línea de responsabilidad, lo que siempre es fuente de malentendidos y conflictos. Una solución que propiciaría la presencia de empresas pequeñas en estos trabajos sería la aparición de la figura de una empresa procuradora de empresas, figura creada por la asociación de varias pequeñas compañías. La procuradora de empresas podría inclusive ser una firma independiente que buscara las asociaciones locales que resultaran convenientes.

En el régimen de trabajo privado, la empresa debe asumir la responsabilidad total sobre el mantenimiento de su tramo. La norma de calidad básica deberá ser el valor que la administración oficial considere conveniente para el tramo, del índice internacional de rugosidad mínimo

que en él debe existir. La empresa podrá proponer los ciclos temporales correspondientes; es decir, la empresa seleccionará y propondrá el índice internacional de rugosidad con el que iniciará cada ciclo temporal, así como el tiempo en que dicho valor inicial llegará al mínimo valor pactado en el contrato. También habrá de proponer las acciones de conservación, los materiales y los sistemas con los cuales realizará sus trabajos.

Corresponde a la Administración Pública, con la planeación que emane de su Estrategia Nacional de Conservación, fijar las características mínimas de calidad del tramo (índice internacional de rugosidad mínimo). La Administración Pública señalará en cada caso, el sistema de medición que utilizará en su inspección y los márgenes de tolerancia estadística aceptados. De no cumplirse este último requisito, el contratista privado estaría obligado a realizar sus trabajos con la perspectiva de lograr valores de calidad más altos que los necesarios, de acuerdo con la Estrategia Nacional utilizada, encareciendo innecesariamente la conservación de la red carretera y violando la Estrategia adoptada. No debe olvidarse que los eventos y resultados de la construcción pesada suelen responder razonablemente a distribuciones estadísticas normales (curvas de Gauss), de manera que la empresa que busque un determinado valor, tratando de lograrlo en forma precisa, tendrá un 50% de probabilidades de llegar a valores menores que la norma, lo que resulta ser fuente inagotable de dificultades y malentendidos cuando se utilizan criterios estrictamente determinísticos, sin tolerancias bien definidas respecto a la norma. En efecto, considérese la Figura 5 que presenta conceptualmente el problema. Supóngase que el objeto del contrato, al ser llevado a la realidad de la obra, alcanza un valor que aparece con la frecuencia representada por la curva de Gauss que se dibuja. Supóngase que se pacta el valor 30 como meta del contrato. Si el contratista dispone sus trabajos para llegar a ese 30, quedará por abajo en un 50% de los casos. Si el contrato se maneja determinísticamente, el contratista no tendrá más solución para salir bien de las inspecciones que buscar un valor superior, tal como por ejemplo 40 (y aún en ese caso obtendría un pequeño porcentaje de valores por abajo de 30).

La forma racional de pactar sería estipular que el contratista debe obtener valores con un mínimo (28 en la figura) y aún habría que aceptarle que un cierto porcentaje de los valores muestreados quedaran por abajo de ese límite inferior del rango (en la figura se ha imaginado

CONCEPTO DE TOLERANCIA ESTADISTICA

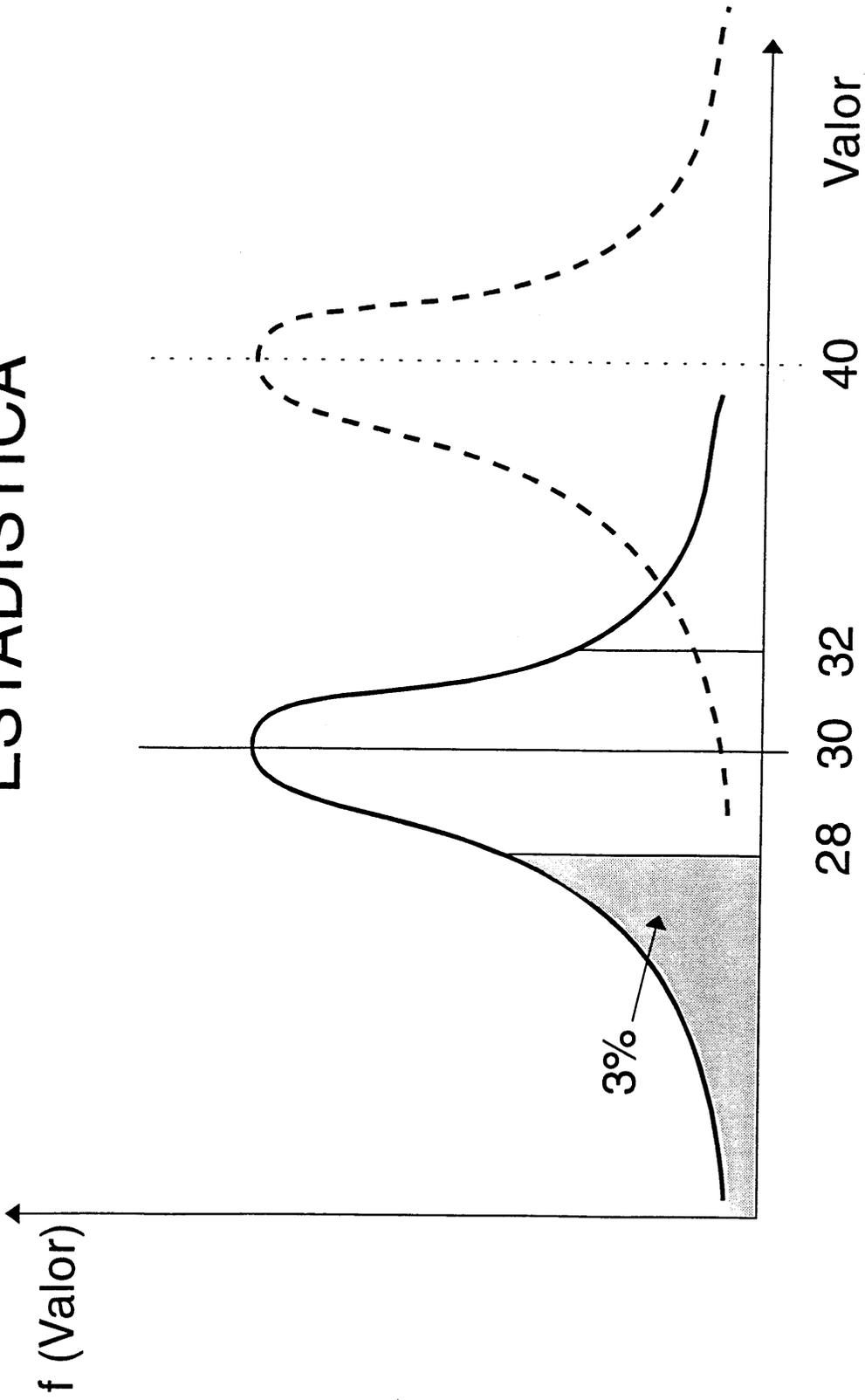


Figura 5.

que esa pequeña cola abajo de 28 representa el 3% del área total bajo la curva; es decir, que estadísticamente hablando un 3% de las muestras medidas podrían acusar un valor menor inclusive que 28).

Corresponde al contratante fijar valores congruentes de la meta y de las tolerancias, según el trabajo por realizar y los medios disponibles para ello.

Parece conveniente exigir, en los términos del contrato, que se firme con la empresa contratista, una reconocida asesoría de obras y la utilización de adecuados laboratorios.

La franquicia o la concesión podrán ser figuras jurídicas utilizables para el otorgamiento de contratos de concesión allí donde existan claros mecanismos de financiamiento dirigidos al mantenimiento de las carreteras o cuando el Estado reciba para su operación, carreteras concesionadas que hayan cumplido el término de la concesión original.

Ya se ha insistido lo suficiente sobre la importancia del hecho de que el Estado posea una Estrategia Nacional de Conservación, con objetivo único de lograr el mejoramiento del transporte nacional, eliminando los sobrecostos operativos eliminables y que contenga un claro elemento de jerarquización de la importancia de los caminos por conservar, claramente congruente con el objetivo de mejorar el transporte nacional, en fomento de las actividades comerciales e industriales del país. En este trabajo se ha propuesto que sea el valor monetario de la carga transportada sobre un determinado tramo o sobre un corredor, el paradigma de dicha jerarquización, aceptando que los caminos de mayor importancia económica en el sentido señalado, son los más contribuyentes a la generación de la riqueza nacional. Este parece un criterio razonable de jerarquización, por lo menos en los países en desarrollo, muy especialmente necesitados de generar dicha riqueza.

De acuerdo con lo anterior, corresponde a la Administración Pública el fijar las metas de la conservación jerarquizada, en forma anual y compatible con los recursos disponibles. También será atribución de la Administración Pública ir variando en forma conveniente estas metas, sea por la evolución natural del mejoramiento que imponga la disponibilidad de recursos o por los cambios que se detecten en las modalidades de transporte dentro de la red por conservar, que aparecerán en forma frecuente por generación de nuevos polos

industriales y comerciales o por cualesquiera situaciones que influyan y hagan variar los corredores de transporte utilizados por la carga.

12.2 Organización Institucional de los Trabajos de Conservación.

Si se aceptan los puntos de vista expresados por los autores de este trabajo, resulta clara la necesidad de modificar de alguna manera la organización interna de los organismos gubernamentales que los apliquen. Tradicionalmente, estos organismos son Comisiones, Direcciones Generales o Departamentos muy orientados hacia la realización de los trabajos de ingeniería civil que la conservación implica; sin embargo, estas organizaciones resultan poco sensibles a las realidades y los cambios que prevalecen en el transporte nacional, último objetivo de su labor. De esta manera, habrán de aparecer en las organizaciones directamente conectadas con el mantenimiento carretero, elementos humanos competentes para acopio y digestión de estadísticas sobre el transporte y análisis de sus cambios en los aspectos operacionales, capaces además de interpretar los distintos horizontes económicos que vayan presentándose. También habrá de fomentarse la dedicación de grupos de análisis financiero, atentos a la generación de sistemas productores de recursos y a la distribución de éstos. Ello implicará la aparición de personal preocupado de ciencias económicas y sus afines, en colaboración estrecha con los tradicionales ingenieros de caminos. Estos elementos podrán estar en permanente y productivo diálogo con las autoridades hacendarias de la nación, responsables de las asignaciones presupuestales.

La fundamental importancia de la conservación carretera en el devenir del desarrollo regional, hará aconsejable en muchos países en vías de desarrollo, la incorporación de sociólogos y hombres de intereses afines, a estos grupos de trabajo. Es frecuente que el desarrollo regional no sea muy armónico en muchos países y no debe desaprovecharse la oportunidad que el transporte representa como elemento propiciador de cambios adecuados, de la misma manera que la existencia de esos desequilibrios de desarrollo ejerce una influencia que no puede ser ignorada en el propio transporte.

Los elementos humanos que manejan los programas de conservación deben estar convencidos de que los dictados de cualquier estrategia

estarán llenos de particularidades, situaciones que han cambiado o de simples errores. Las grandes extensiones de las redes de carreteras actuales imponen tratamientos estratégicos automatizados y de carácter muy general; la observación y la continua revisión de la información disponible sobre las operaciones del transporte, podrán efectuar correcciones oportunas, pero a pesar de todo, muchos errores y falsas apreciaciones subsistirán; éste es el precio de la generalidad y tales errores habrán de corregirse pacientemente cuando se hagan visibles.

Naturalmente que la técnica ingenieril propiamente dicha tendrá siempre un papel tan importante como el que le ha sido tradicional en los trabajos de conservación. Independientemente de cualquier método automático de medición o de los esfuerzos del cómputo, nada substituirá al conocimiento personal y detallado que los ingenieros tengan de un tramo carretero; la matización de sus informes, la realización de faenas correctivas o constructivas y la interpretación de los resultados obtenidos estará siempre teñida de ese conocimiento personal, que constituye el matiz de todo el sistema de trabajo.

La formación de una base continuamente renovada de datos, que permita la construcción de un acervo histórico y evolutivo de la situación de la red carretera es otra meta esencial a lograr por el personal involucrado. Esta información histórica juega un papel imposible de exagerar. En este sentido, la realización anual del estudio aquí llamado de pesos y dimensiones será altamente valiosa.

Apéndice 1. Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

1. Metodología de Campo para la Evaluación de la Red.

Se trata de obtener el índice de servicio o el índice internacional de rugosidad del tramo objeto de prospección.

El índice de servicio resulta de la calificación subjetiva promedio de 4 personas que recorren el tramo en cuestión en un vehículo comercial, a la velocidad normal de operación y que proporcionan una calificación de 1 a 5, evaluando la comodidad y condiciones de seguridad del viaje.

El índice internacional de rugosidad resulta, por procedimientos bien conocidos, del paso de un medidor automático de perfil; la medición obtenida es de carácter objetivo y resulta de la acumulación de las desviaciones verticales del sensor del instrumento por cada kilómetro andado. El Instituto Mexicano del Transporte ha obtenido una correlación, que se juzga adecuada para el caso, entre el índice de servicio y el índice internacional de rugosidad (Ref. 7).

Para el caso mexicano y teniendo en cuenta que en los primeros tiempos de aplicación de la estrategia habrá posiblemente numerosos casos en que exista un cierto rezago de conservación en los tramos, podría ser conveniente considerar que índices de servicio (o sus equivalentes índices internacionales de rugosidad) que queden por abajo de 2 ó 2.5 requerirán continuar adelante con el estudio del tramo; valores superiores liberan al camino por un año de acciones especiales de conservación preventiva (sólo estarán sujetos a conservación normal). El conjunto de tramos que definan la red básica a la que se aplique la estrategia nacional deberá ser evaluado cada año.

El paso en años sucesivos dará la evolución del índice internacional de rugosidad, resaltando aquellos tramos de evolución desfavorable más rápida, que deberán considerarse como especialmente necesitados de atención. Habrá de tomarse también en cuenta que trabajos recientes de conservación normal pueden enmascarar la evolución desfavorable que se tendría en los tramos donde exista una deficiencia estructural más acusada, que lógicamente serían seleccionados para ejercer dicha conservación normal; ésta será una información esencial para manejar en banco de datos disponible en la computadora.

El segundo paso de la prospección a realizar en los tramos o carreteras en que el índice de servicio sea menor que el límite tolerable, será un estudio de deflexiones.

Es aconsejable hacerlo con deflectómetros automáticos móviles que puedan incorporarse con mínimas molestias a la corriente del tránsito, de los cuales existen numerosos modelos en el mercado. En el caso de no contar con estos equipos podrá recurrirse a otros de más lenta operación, incluyendo el empleo de Vigas Benkelman.

Una condición fundamental para que la medida de deflexiones tenga un sentido físico interpretable es que se comparen las provenientes de tramos homogéneos, en materiales, características, condiciones topográficas y aún en condiciones de detalle, tales como el drenaje o el subdrenaje. La selección de estos tramos homogéneos debe hacerse, entonces, con base en recorridos de personal experimentado. Este personal llena formatos que reflejan la situación general del tramo con información almacenable en el banco de datos.

Una vez dividido el camino en estudio en tramos homogéneos, se selecciona en cada uno, un subtramo representativo de 500 m, que no debe representar más de 10% del segmento en estudio.

Debe insistirse en la necesidad de realizar medidas de deflexión sobre tramos que sean realmente homogéneos en los aspectos señalados; de otra manera, las deflexiones obtenidas no son comparables, en el sentido de no poseer la misma significación como elemento índice de características de comportamiento fundamental de las secciones estructurales de la carretera. Por ejemplo, en dos cortes carreteros análogos, uno puede presentar grandes deflexiones en su pavimento y otro menores, pero si el de mayor deflexión tiene un severo problema de subdrenaje, será ese factor y no ninguno inherente a la propia sección estructural el culpable del deterioro que se observe. La deformación bajo una llanta tiene diferentes repercusiones en el funcionamiento de materiales distintos; muchos materiales volcánicos resilientes se deforman fuertemente, agrietándose las carpetas pero sin que se produzcan deformaciones diferenciales permanentes; esos materiales con gran deflexión pueden mantener sobre ellos carpetas muy microfisuradas, pero con excelente condición de rodamiento durante largos períodos de tiempo. Deflexiones similares o aún mucho menores pueden significar una futura evolución desastrosa, por ejemplo, en

materiales que contengan finos plásticos tradicionales. Los ejemplos al respecto podrían multiplicarse, todos ellos indicativos de que deflexiones parecidas pueden tener significados muy diferentes cuando cambian los materiales de la sección estructural o cuando cambian condiciones de subdrenaje o inclusive de topografía.

La muestra de 500 m en que se haga un completo análisis de deflexiones y que represente longitudes no mayores de 5 km es suficiente como para justificar un tratamiento estadístico extensivo a todo el tramo.

Todo lo anterior hace congruente al estudio de deflexiones con la prospección del estado superficial, de manera que la segunda etapa del análisis puede completar en un año, longitudes correspondientes a las que resultan de haber completado el paso del perfilómetro o equivalente en la longitud total de la red estudiada en el mismo período de tiempo.

En el caso de México, se considera que un valor estadístico de la deflexión superior a 1 mm, (0.04 pulgadas) indica que ese tramo debe ser estudiado en la tercera etapa del sistema.

No cabe duda de que puede suceder que la longitud de caminos y tramos, que de acuerdo con lo anterior requieran ser analizados en la tercera etapa, puede resultar mayor que las disponibilidades de recursos económicos de que se disponga para un año dado. Cuando ello es así, son otras consideraciones tales como la importancia económica del camino, su volumen de tránsito y otras de carácter social, las que lleven a seleccionar el conjunto compatible con los recursos disponibles. No hay que decir que los caminos que han quedado fuera de tratamiento en este caso, deben ser objeto de preferente atención al año siguiente o sujetos a conservación normal cuidadosa.

En la tercera etapa del sistema debe hacerse un análisis cuidadoso de los caminos sobre los que habrá que ejercer acción de mantenimiento especial, refuerzo o eventual reconstrucción. Esto debe hacerse por procedimientos convencionales que incluyan exploración de campo y trabajo de laboratorio, a fin de conocer el comportamiento estructural al detalle y sus fallas y elaborar los proyectos de refuerzo o reconstrucción respectivos.

Un elemento esencial del sistema es el banco de datos, sin el cual no cabe pensar en el establecimiento a largo plazo de la metodología general que se ha descrito.

En primer lugar, el I.M.T. cuenta con un programa (disponible en el I.M.T.) que permite manejar los índices de servicio, para definir zonas por arriba y por abajo del límite de rechazo previamente seleccionado.

En segundo lugar, desarrolló también un programa (disponible en el I.M.T.) para el manejo de la información de las deflexiones.

Es de recalcar la conveniencia a que ha llegado la experiencia mexicana en el sentido de incorporar en todo lo que sea posible al sistema, la acción personal de los ingenieros a cargo del camino, a fin de robustecer su conocimiento del mismo y de tener información de primera mano sobre su estado general (Ref. 2).

2. Lineamientos Generales del Sistema.

El Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (S.I.M.A.P.) 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 la sección estructural de las carreteras y que permitan una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles. Se considera al S.I.M.A.P. en su fase I específicamente, como la herramienta actual necesaria para ejecutar los trabajos de conservación correctos a las necesidades existentes en el lugar y el momento precisos.

El S.I.M.A.P. está compuesto básicamente por 7 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 fallas o deterioros de tramos evaluados; el HISTOREP que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento menor/mayor efectuadas; el CARGEOT que se encarga de procesar las características 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 6 primeros subsistemas para llegar a

a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir.

La Figura A1.1 muestra un diagrama que ilustra la interrelación de los distintos componentes del S.I.M.A.P.

3. Equipo de Cómputo.

El S.I.M.A.P. puede ser usado en cualquier microcomputadora personal I.B.M. de los modelos PC/XT, PC/AT, PS/2 o compatibles.

Es recomendable contar con disco duro (20 megabytes) para así 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 2 drives para disco flexible de 5 ¼ ó 3 ½ pulgadas.

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

El banco de datos debe contener la siguiente información básica:

- Información base, incluyendo: nomenclatura y clasificación, características geométricas, estructura del pavimento y trabajos, tráfico y accidentes.
- Resultado de la auscultación, incluyendo: adherencia, uniformidad y deflexión.

Asimismo, se establecen las siguientes recomendaciones específicas:

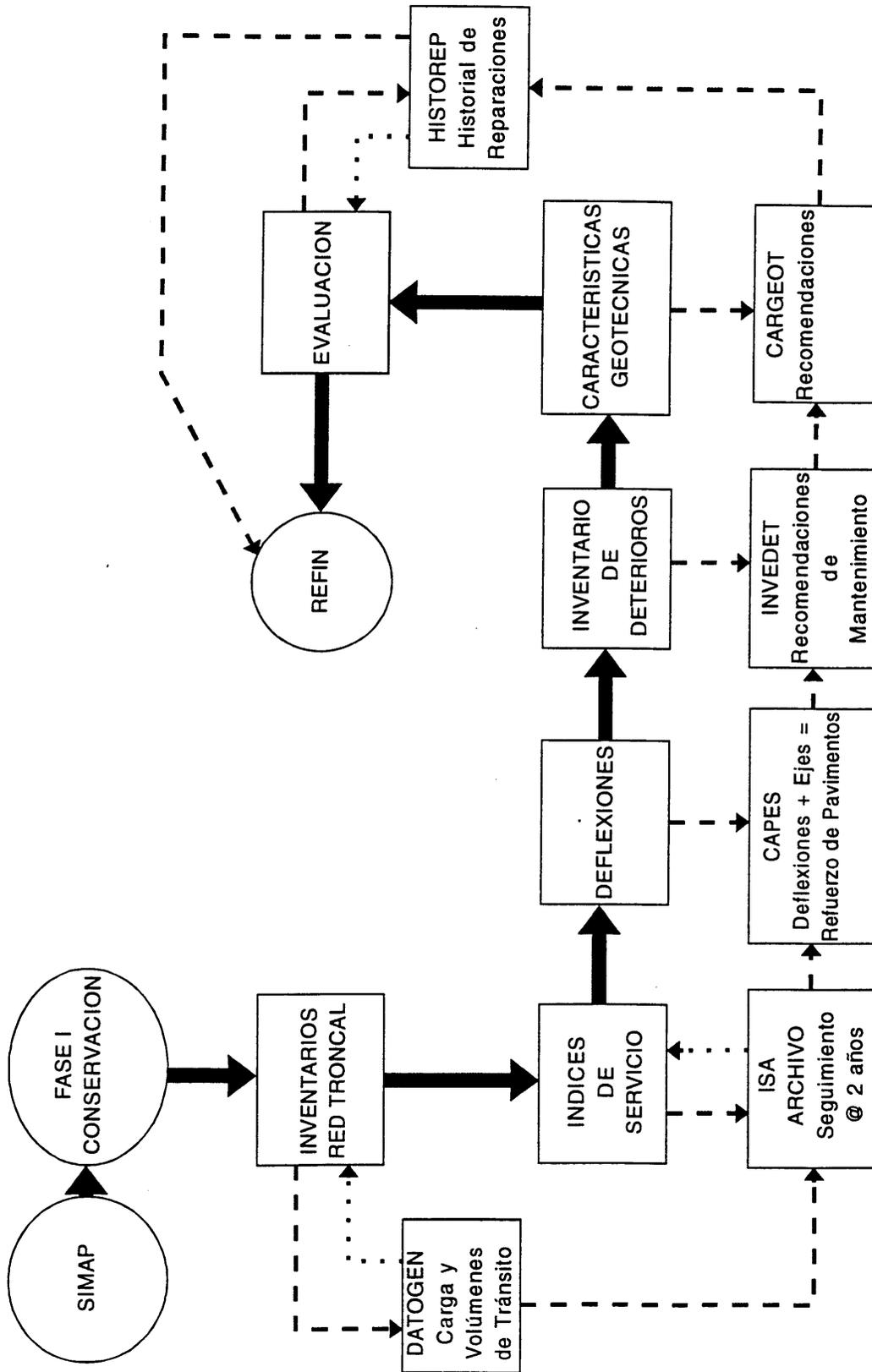


Figura A1.1

- La creación de NOMENCLATURA para identificación de las carreteras se considera indispensable, tanto para uniformizar criterios a nivel nacional como para facilidad y eficiencia en el proceso de corridas de programas de cómputo, por lo que se sugiere utilizar las coordenadas geográficas para orígenes y destinos.
- Se recomienda agilidad y/o velocidad en el proceso del manejo de datos para contar en todo momento con una consulta ágil por parte de los usuarios y/o autoridades responsables.
- Deberán contarse con dos tipos de archivos: FIJO, que contenga datos iniciales que no cambien; y VARIABLES, que contenga datos producto de los subsistemas móviles.
- La retroalimentación será indispensable en todos los pasos o etapas del sistema, para así disponer de resultados y datos que se requiera consultar, permanentemente actualizados. Esto tendrá un valor significativo en la etapa de seguimiento e implantación.
- Se considera preferible introducir el Banco de Datos por etapas, en principio MODULAR.

5. Formatos.

Se deberá contar con 6 formatos básicos para la recolección de datos de entrada al sistema. Estos deberán ser sencillos y fáciles de llenado, con el objetivo principal de uniformizar en todo el país la información colectada, para facilidad de su ordenamiento y proceso y con ello lograr la estandarización. Estos formatos son:

- DATOS GENERALES.
- INDICE DE SERVICIO ACTUAL.
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL, CON DEFLEXIONES.
- INVENTARIO DE DETERIOROS.
- HISTORIAL DE REPARACIONES.
- CARACTERISTICAS GEOTECNICAS.

Se hace notar que para el plan piloto o primera fase, la información requerida y procesada cubrirá únicamente la red troncal federal o parte de ella; por ejemplo, los tramos de mayor tránsito pesado y mayores volúmenes de circulación.

6. Evaluación Sistemática de la Red y su Implementación.

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 FOTOGRAFICO.
- ESTRUCTURA REFORZADA.
- MATERIALES UTILIZADOS.
- INCIDENTES EN PROCESO DE CONSTRUCCION.
- CAPACIDAD ESTRUCTURAL (lecturas periódicas de deflexión).
- INSPECCIONES VISUALES (avance de deterioros).
- CALIDAD DE RODAMIENTO (evolución gráfica del ISA).
- ALTERNATIVAS DE REHABILITACION.
- SELECCION DE ESTRATEGIAS.
- RETROALIMENTACION.

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

La Figura A1.2 ilustra las diferentes fases de la evolución de la vida de un pavimento.

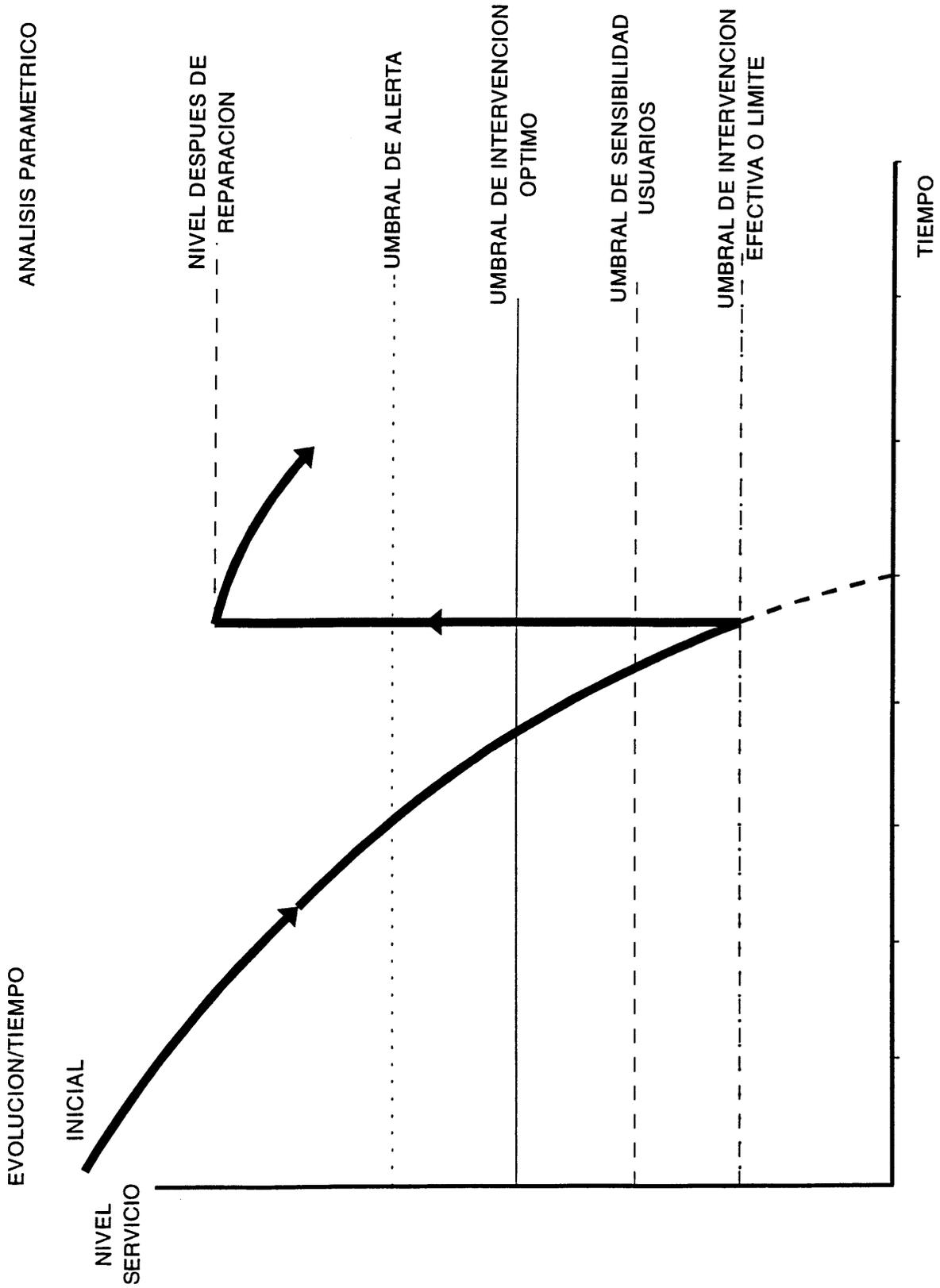


Figura A1.2

7. Recomendaciones para la Implantación del Sistema.

1. Se deberán obtener los datos de aforos de tránsito de los tramos a evaluar, para así poder estar en posibilidad de llenar los datos que se piden en el formato No. 1 DATOGEN.
2. Obtener los promedios de índice de servicio de cada tramo de 5 km, para determinar los críticos que resulten con ISA menor o igual a 2 ó 2.5, según sea el límite fijado.
3. Dependiendo de los resultados anteriores, se sugiere realizar los recorridos para inspección visual de los tramos críticos y así poder llenar los datos que se requieren en los formatos No. 4 y 6.
4. Se deberán efectuar las mediciones de deflexiones, según la metodología descrita en este apéndice, para así llenar los datos necesarios del formato No. 3 CAPES.
5. Llenar datos del historial de reparaciones, según el formato No. 5.
6. Habiéndose completado todos los datos requeridos por los 6 formatos, tanto en el campo como en el gabinete, ya se estará en posibilidad de correr el programa y obtener resultados específicos de trabajos de conservación.

8. Instructivo para Llenado de los Formatos.

8.1 Aspectos Generales.

En esta sección se presenta un instructivo que tiene por objeto el facilitar al usuario el poder llenar adecuadamente los 6 formatos estandarizados con los datos indispensables de entrada y así poder conformar el "BANCO DE DATOS" del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos en la Red Carretera sujeta a la Estrategia General.

En su primera etapa, el trabajo está orientado a la conservación y mantenimiento de los pavimentos de la red considerada y el primer paso para desarrollar el sistema de una manera efectiva y práctica, es poder contar con un inventario confiable de la red en su estado actual.

Para ello, se requieren los formatos de datos generales para uso común, índices de servicio, capacidad estructural en función de la deflexión, inventario de deterioros, características geotécnicas e historial de reparaciones.

Se consideró suficiente para esta etapa, el llenado de los 6 formatos básicos que se mencionan en las hojas siguientes (resumidos en la Figura A1.3) y se pretende describir en forma breve su instructivo de llenado.

8.2 Datos Comunes para todos los Formatos.

Se llenarán los renglones con la fecha en que se vierten los datos, el origen y destino de la carretera, así como el tramo y subtramo correspondiente y sus coordenadas geográficas (grados y minutos para el origen y el destino).

Para que el usuario pueda detectar fácilmente el origen, destino y longitud de los tramos y subtramos a estudiar, se sugiere utilizar los mapas actualizados de la red carretera federal de la S.C.T.

8.3 Formato No. 1: DATOS GENERALES (DATOGEN).

Este formato deberá llenarse para todos los tramos de la longitud total de la red troncal bajo estudio y contiene los datos generales del tránsito, crecimiento, cargas que soporta, etc.

El tránsito diario promedio anual de los vehículos (TDPA) en circulación deberá contener los vehículos que circulan, separando automóviles y camiones (2, 3, 4, 5 y 6 ejes), importando su clasificación por ejes y en ambas direcciones, así como el peso promedio de los camiones pesados, la carga máxima por eje y la tasa anual de crecimiento. Conviene disponer del porcentaje anual de accidentes, para en otra fase posterior, relacionarlo con el estado superficial de los pavimentos. También se vaciarán los datos de número de carriles de la carretera bajo estudio, así como el período de diseño en años para los cuales se pretende "extender" la vida útil del pavimento.

FORMATOS 1a. FASE BANCO DE DATOS

FORMATO		REGISTRO DE
1	DATOGEN	Datos generales para identificación o uso común.
2	ISA	Indice o nivel de servicio.
3	CAPES	Capacidad estructural en función de deflexiones.
4	INVEDET	Inventario o levantamiento de deterioros.
5	HISTOREP	Historial de reparaciones, menor o igual a tres años.
6	CARGEOT	Características Geotécnicas.

SIMAP

Figura A1.3

Por último se deberá registrar en el formato el origen de los datos, por ejemplo, Centro SCT _____, conviniendo anotar las tres letras de abreviatura del Estado donde se localiza el tramo.

En la Figura A1.4 se muestra el formato DATOGEN; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

8.4 Formato No. 2: INDICE DE SERVICIO (ISA).

Este formato contiene la información indispensable para obtener el I.S.A. (índice o nivel de servicio actual) de la carretera en estudio. Es referente al confort del usuario y su seguridad al transitar y es un indicador de las condiciones superficiales y estructurales del pavimento en sí, para fines de estudios más detallados, como se verá adelante.

Se indica en la parte derecha del formato una "guía" muy simple recomendada por la A.A.S.H.T.O. y que utilizarán los evaluadores para calificar el grado de confort y seguridad que otorgan a la superficie de rodamiento.

Se requiere de 4 evaluadores y forzosamente uno con experiencia en técnica carretera a bordo de un vehículo con buena suspensión, buena alineación de ruedas y dirección estable; deberán hacer recorridos continuos a la velocidad de operación promedio en el tramo e ir registrando en el formato, cada 5 kilómetros, la calificación estimada por cada observador hasta completar los 50 kilómetros que contiene el formato. En los casos de estar evaluando carreteras con mayores longitudes, se empleará otra hoja del mismo formato.

Es importante hacer notar que las calificaciones promedio servirán para decidir la intervención en los tramos; esto es, segmentos de 5 kilómetros de longitud que obtengan una calificación menor o igual que el límite mínimo, manifiestan condición crítica, lo que requiere continuar con otras mediciones, indicadas en los formatos No. 3, 4 y 6.

En los tramos de calificación "promedio" mayor al límite mínimo aceptable, el sistema analizará los tramos que tiendan a llegar en el corto plazo al límite permisible (por ejemplo, 2.5 ó 3 sería un umbral de alerta), graficándose automáticamente el comportamiento futuro de la carretera.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

D A T O G E N

Carretera:
Tramo:
Subtramo: Sentido:
Código:

COORD.: FECHA: __-__-__

T. D. P. A.

AUTOS: ____ 2EJ: ____ 3EJ: ____ 4EJ: ____ 5EJ: ____ 6EJ: ____

CREC.TRANS. ANUAL: __. __ % ACCID.ANUALES: __ % TEMPERATURA: __ °C

PESO PROMEDIO: __. __ Ton. CARGA POR EJE: __. __ Ton. No. CARRILES: __

ORIG. DATOS: _____

PENDIENTE LONGITUDINAL: __. __ % PENDIENTE TRANSVERSAL: __. __

I N D I C A C I O N E S

Figura A1.4 Formato para datos generales.

Por otro lado, el sistema analizará y obtendrá recomendaciones de conservación para todos los tramos evaluados, en función de los datos que se vacíen en los formatos de INVEDET y CARGEOT.

La Figura A1.5 muestra el formato ISA; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

Si la evaluación se hace con base en el índice internacional de rugosidad, el sistema de cómputo desarrollado por el I.M.T., que considera índice de servicio, será igualmente útil sin más que usar la equivalencia entre ambos conceptos, desarrollada por el propio I.M.T. (Referencia 10).

8.5 Formato No. 3: CAPACIDAD ESTRUCTURAL (CAPES).

Este servirá para procesar y deberá ser llenado para los tramos que obtuvieron una calificación de índice de servicio igual o menor que el mínimo aceptable.

El formato registra la capacidad estructural del pavimento en función de la deflexión, que será medida con algún deflectómetro en el campo.

En el caso de que las mediciones se hagan con Viga Benkelman, se requiere contar con el siguiente equipo como mínimo:

- Una Viga Benkelman standard con relación 2:1.
- Un camión de volteo, lastrado a 8.2 ton en el eje trasero.
- Tres operadores (un chofer, uno para lecturas y un ayudante para movimiento de la viga).
- Un termómetro.
- Dos bandereros.

Se registrarán 25 lecturas de deflexiones a cada 20 metros, hasta completar los 500 metros que es la longitud de estudio. El tramo de estudio de deflexiones deberá ser elegido de entre los 5 kilómetros evaluados con índice de servicio, al seleccionar la zona más crítica.

Se necesita obtener las 25 lecturas de deflexión en el campo, dejando al programa S.I.M.A.P. el cálculo de la deflexión característica y de la promedio.

Se requiere obtener la temperatura, en grados centígrados, en la carpeta en el momento en que fueron obtenidas las mediciones de deflexión, para que el programa calcule los factores de ajuste correspondientes.

Se considera conveniente para esta etapa, el hacer sondeos para conocer las características estructurales del pavimento (uno por cada 500 metros de longitud de estudio); por último, deberá llenarse el período crítico en que fueron obtenidas las deflexiones, asignándoles "T" para el período crítico de máximas temperaturas o la letra "F", si se realizaron fuera del período crítico.

La Figura A1.6 muestra el formato CAPES; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

8.6 Formato No. 4: INVENTARIO DE DETERIOROS (INVEDET).

Contiene la información suficiente indispensable para hacer el inventario o levantamiento de deterioros, con su cuantificación estimada.

Se requiere forzosamente realizar una "inspección visual" detallada a pie, a lo largo del tramo bajo estudio. Este trabajo lo realizarán técnicos con suficiente experiencia en el reconocimiento de fallas y deterioros en pavimentos.

El recorrido deberá cubrir el ancho total del camino bajo estudio. En el caso de evaluación de carreteras de 4 carriles, el recorrido a pie se realizará sobre el carril de mayor tránsito pesado.

Se registrarán las fallas listadas en el formato, que se consideran son las más comunes y representativas en la carpeta asfáltica, así como alguna especial no indicada en el formato. Lo anterior, en función de su longitud o área deteriorada, en porcentaje del total bajo estudio (500 metros). También se registrará la gravedad o severidad estimada en las observaciones de los deterioros, auxiliándose con una fotografía de la falla y las profundidades o anchos para el caso de depresiones o agrietamientos respectivamente.

- Roderas.
- Baches.
- Grietas Longitudinales.

- Grietas Transversales.
- Desprendimientos/Erosión.
- Asfalto Aflorado.
- Agrietamientos en Piel de Cocodrilo.
- Adhesividad de la Carpeta por Fricción.
- Hundimiento/Depresiones.

En la última columna correspondiente a la gravedad estimada, se deberán considerar únicamente los grados de severidad siguientes: despreciable, de consideración, media, grave y muy grave.

La Figura A1.7 muestra el formato INVEDET; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

8.7 Formato No. 5: HISTORIAL DE REPARACIONES (HISTOREP).

Este formato deberá llenarse para todos los tramos de la red inventariada troncal, independientemente de la calificación de índice de servicio obtenida.

Registra el historial de las reparaciones efectuadas de 3 años a la fecha, tanto de operaciones de mantenimiento menor o preventivo como de mantenimiento mayor o correctivo, indicando las fechas de ejecución y el tipo o clase de trabajo efectuado.

En el último renglón de la tabla del formato deberá indicarse la fecha y tipo de la más reciente intervención de mantenimiento.

Se incluyen dos renglones para observaciones que se consideren pertinentes sobre el tema.

La Figura A1.8 muestra el formato HISTOREP; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

8.8 Formato No. 6: CARACTERISTICAS GEOTECNICAS (CARGEOT).

Este formato deberá ser llenado sólo para los tramos que obtuvieron una calificación de índice de servicio igual o menor que el mínimo aceptable.

S.C.T. S I M A P I.M.T.

H I S T O R E P

Carretera:

Tramo:

Subtramo:

Segmento:

COORD.:

Código:

FECHA: _ - _ - _

MANTENIMIENTO MENOR

MANTENIMIENTO MAYOR

FECHA	DESCRIPCION	FECHA	DESCRIPCION
_ - _ - _	_____	_ - _ - _	_____
_ - _ - _	_____	_ - _ - _	_____
_ - _ - _	_____	_ - _ - _	_____
_ - _ - _	_____	_ - _ - _	_____
_ - _ - _	_____	_ - _ - _	_____

I N D I C A C I O N E S

Figura A1.8 Formato de historial de reparaciones efectuadas.

Registra los datos más indispensables de las características geotécnicas de la zona y tramo bajo estudio.

- a. Temperatura ambiente de la zona, en promedio anual, indicando la más alta (máxima) y la más baja (mínima), en grados centígrados. Esto es de particular importancia en zonas con climas extremosos que afectan radicalmente el comportamiento del pavimento y su vida útil de servicio.
- b. En la "topografía adyacente" se indicará si existen cortes, terraplenes o balcones en el tramo en estudio. En el caso de presentarse situaciones alternas a lo largo del tramo, se reportará la que predomine.
- c. Precipitación pluvial anual promedio, en milímetros, en la zona en que se localiza el tramo bajo estudio.
- d. Tipo de drenaje superficial o subdrenaje o su inexistencia, así como el estado del mismo a la fecha de la evaluación.
- e. Para conocer la estructura del pavimento en sí, se requiere de un sondeo como mínimo en el tramo de 500 metros bajo estudio localizado, procurando seleccionar un punto en las áreas más críticas. Se determinará el espesor de cada capa hasta la sub-base y el total de la estructura. Asimismo, los materiales componentes y si fue o no estabilizada alguna capa y con que material o producto (cal, asfalto, cemento, etc).
- f. Para el terreno natural de soporte, es indispensable registrar en el formato, el tipo o clasificación del suelo que lo conforma, su valor relativo de soporte y por último si el suelo posee alguna característica especial que haga problemático al mismo, tal como las arcillas con potencial de expansión, colapsables, turbas, etc.

La Figura A1.9 muestra el formato CARGEOT; en el Anexo No. 1 se presenta un ejemplo de llenado del mismo.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

C A R G E O T

Carretera:

Tramo:

Subtramo:

Segmento:

COORD.:

Código:

FECHA: __-__-__

TEMP. MIN.: __ °C

TEMP. MAX.: __ °C

TOPOGRAFIA: __

TIPO DREN.: __

EDO. DREN.: __

P.P.A.: __

CAPA	ESPESOR	COMPONENTES	ESTABIL.
CARPETA:	_____ cm.	_____	
BASE:	_____ cm.	_____	__
SUB-BASE:	_____ cm.	_____	__
SUB-RASANTE:	_____ cm.	_____	

ALTURAS: DE CORTE: ____ DE TERRAPLEN: ____

SUELO DE SOPORTE: _____ C.B.R.: ____ %

CARACT. ESP.: _____

ORIGEN DATOS: _____

I N D I C A C I O N E S

TOPOGRAFIA:	TIPO DREN.:	ESTADO DREN.:	ESTABILIZACION:
A = CORTE	A = SUPERFICIAL	A = LIMPIO	S = SI
B = BALCON	B = SUBDRENAJE	B = AZOLVADO	N = NO
C = TERRAPLEN	C = NULO	C = DETERIORADO	

Figura A1.9 Formato de características geotécnicas.

9. Descripción de la Mecánica de Desarrollo de los Subsistemas que Conforman el S.I.M.A.P.

El Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos de las Carreteras está compuesto básicamente por 7 subsistemas o subrutinas: 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 fallas/deterioros de tramos evaluados; el HISTOREP que lleva un registro de archivo de reparaciones de mantenimiento mayor/menor 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 las 6 primeras subrutinas para llegar a resultados y recomendaciones finales de acciones a seguir.

Se pretende en este capítulo describir de una manera general la mecánica de desarrollo de cada subsistema, para así comprender el panorama de acción de todo el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos de las Carreteras.

9.1 Subsistema DATOGEN.

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

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

Por otro lado, registra y procesa el número de carriles de la carretera en estudio, el porcentaje anual de accidentes, que se relacionará con el

estado superficial del pavimento y, por último, el período de diseño, ya que usualmente realizará los cálculos para 20 años como máximo. El programa considerará en otro subsistema, diversas alternativas para 3, 6, 9, 12, 15 y 18 años de extensión de la vida útil.

9.2 Subsistema ISA.

El subsistema ISA sobre los índices de servicio actual registrados en el campo, se alimenta de los datos obtenidos en el formato No. 2.

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

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

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

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

9.3 Subsistema CAPES.

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

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

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

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

Una ventaja sobresaliente del sistema consiste en la obtención de 6 alternativas adicionales proporcionando diferentes espesores versus años de extensión de la vida útil del pavimento, lo que representa una ventaja en tiempos difíciles de presupuestos austeros. Por lo anterior, el sistema da opciones para cuando se dispone de escasos, medianos o abundantes recursos; esto es, refuerzos para extender la vida útil 3, 6, 9, 12, 15 ó 18 años, optimizando los resultados obtenidos para que el usuario o autoridades correspondientes dispongan de esa variedad de alternativas que se ajusten a su situación específica.

9.4 Subsistema INVEDET.

Los datos básicos de entrada a este subsistema son los provenientes del formato No. 4 y fueron pensados de la manera más simple para su fácil identificación y cuantificación por parte del usuario.

Producto de los resultados del subsistema ISA, el programa se desarrolla y corre por comparación de valores existentes en el subtramo con valores especificados y/o recomendados.

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

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

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

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

9.5 Subsistema HISTOREP.

El subsistema HISTOREP utiliza datos de entrada provenientes del formato No. 5 y básicamente informa sobre el historial de las reparaciones efectuadas de mantenimiento menor y mayor en los últimos 5 años, mismo que servirá al usuario para conocer las intervenciones, su periodicidad y costos globales invertidos a lo largo de la vida útil del pavimento.

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

9.6 Subsistema CARGEOT.

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

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

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

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

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

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

9.7 Subsistema REFIN.

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

Básicamente se eligió la solución de procesar cada subsistema como un "módulo" independiente, para poder estudiar con detalle todos los parámetros que intervienen y al final del programa, crear un último subsistema que se encargara de la liga o interacción de los 6 módulos individuales.

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

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

En la etapa de proceso de revisión y liga de resultados con el módulo CAPES, el subsistema revisa el espesor convencional de refuerzo requerido para llegar a diferentes refuerzos que garanticen diferentes horizontes temporales de comportamiento adecuado. Reporta 6 alternativas de diferentes espesores para una extensión parcial por etapas de la sobrecarpeta total requerida para 20 años. Esto es, imprimirá espesores mínimos requeridos para 3, 6, 9, 12, 15 y 18 años, que proporcionarán al usuario varias opciones para decisión final en función de la disponibilidad de recursos.

En cuanto a los resultados del módulo INVEDET, el subsistema REFIN analiza y procesa los casos de deterioros o fallas que resultaron inaceptables, localizando en la forma secuencial de su archivo particular, el deterioro, las causas que lo pudieron originar y sus posibles soluciones de mantenimiento. Como ya se mencionó anteriormente, el subsistema REFIN en este paso, revisa 11 tipos o clases de fallas, 31 causas posibles y 28 recomendaciones de solución.

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

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

Las Referencias 16 y 17 proporcionan información adicional de detalle para el usuario que maneje el software descrito y para los ingenieros de campo que colaboren en la realización de los trabajos.

En relación con la definición de las estrategias de conservación para un tramo dado, la Figura A1.10 ilustra el efecto de diversos tipos de mantenimiento en la evolución del estado del pavimento, en términos tanto del índice de servicio actual como del índice internacional de rugosidad.

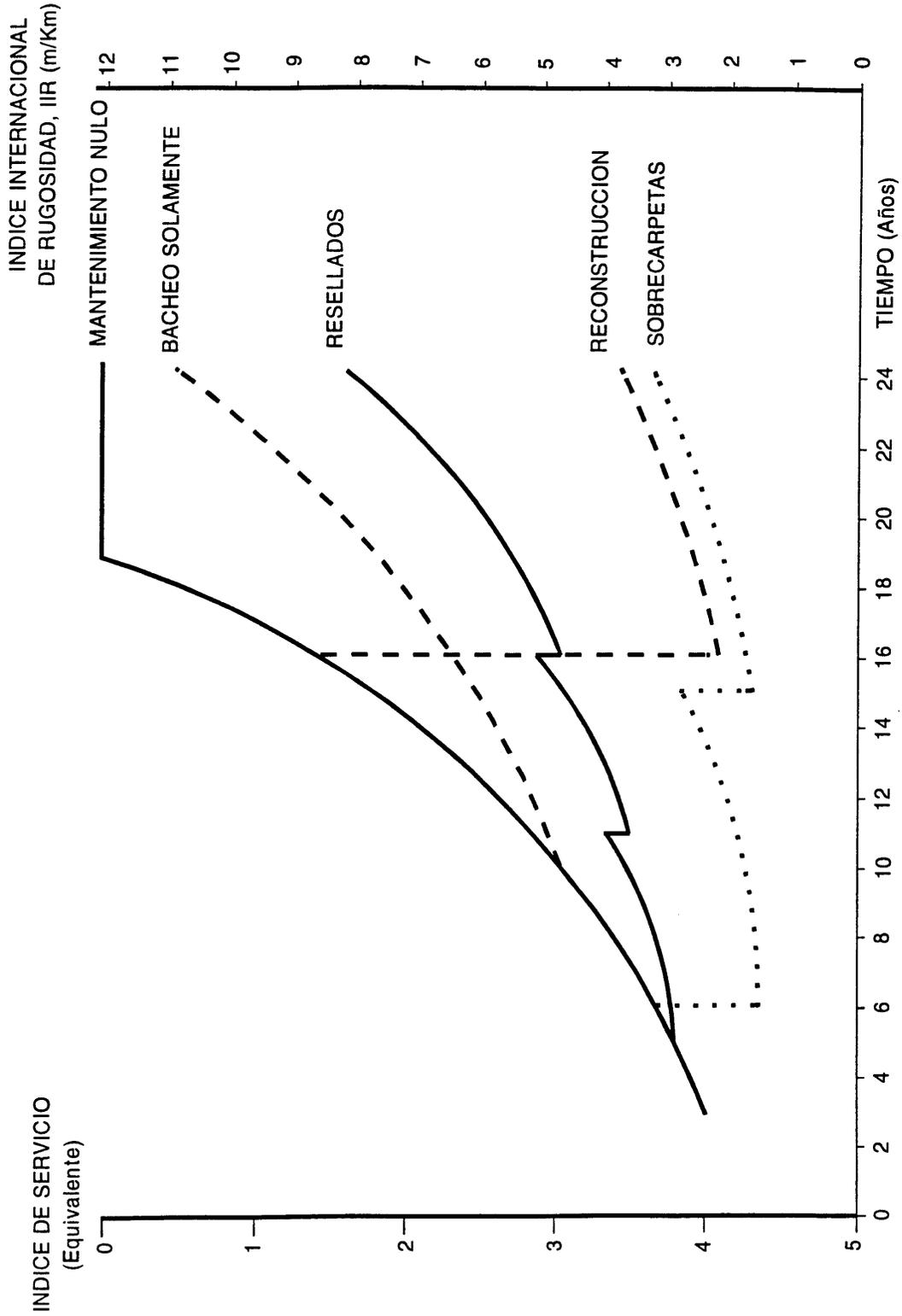


Figura A1.10 Efectos de diversos tipos de mantenimiento sobre los pavimentos sobre el tiempo en función del Índice de Servicio Actual y del Índice Internacional de Rugosidad

Anexo 1. Algunas Metodologías de Evaluación y Ejemplo de Aplicación del S.I.M.A.P.

I. Metodología para la Obtención del Índice de Servicio Actual.

I.1 Requerimientos.

1. PANEL compuesto por 4 evaluadores (uno con experiencia).
2. CALIFICACIONES según A.A.S.H.T.O de 0-5 (intransitable a excelente).
3. TOLERANCIA de ± 0.3 entre promedios de evaluadores (panel aceptable).
4. NO SE DEBERA INTERCAMBIAR información entre evaluadores durante el proceso.

I.2 Observaciones a Tomarse en Cuenta.

- a. Considerar exclusivamente la condición "actual o presente" del pavimento por calificar.
- b. La evaluación deberá basarse en el hecho de que el pavimento soportará grandes volúmenes de tránsito mixto en toda clase de climas.
- c. Deberán ignorarse las características geométricas, tales como alineamiento, anchos, hombros, etc.
- d. No se tomarán en cuenta cruces de ferrocarril, bordes en puentes, alcantarillas hundidas o salientes.
- e. Al recorrer nuevos tramos, no comparar con anteriores ya calificados. Cada sección deberá juzgarse en forma individual e independiente.
- f. Cada evaluador debe preguntarse: ¿Qué pasará si manejo este tramo en estas condiciones continuamente por 8 horas ó 800 kilómetros?

CALCULO: $ISA = \bar{X} = \sum X/n$

donde: ISA = PSI = índice de servicio actual,

\bar{X} = promedio aritmético.

X = valores individuales asignados por cada miembro del panel.

n = número de evaluadores.

II. Metodología para la Medición de Deflexiones.

II.1 Equipo Requerido.

1. VIGA BENKELMAN ESTANDAR relación 2:1, color aluminio o blanco.
2. CAMION DE VOLTEO lastrado a 8.2 toneladas en el eje trasero.
3. LLANTAS 10x20x12 cuerdas, con presión de inflado de 80 libras por pulgada cuadrada.
4. MEDIDOR DE PRESION de llantas; medir ésta una vez por día.
5. TERMOMETRO (lecturas superior, media y baja de carpeta asfáltica).
6. TALADRO.

II.2 Procedimiento.

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

II.3 Cálculos de Campo.

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

NOTAS: 1. El sistema procederá con la información obtenida en campo a calcular la deflexión característica del tramo así como la deflexión permisible.

2. En caso de utilizar equipo dinámico DYNAFLECT para las mediciones de campo, se procederá a calcular las correlaciones respectivas para así poder entrar en el programa S.I.M.A.P.

III. Ejemplo de aplicación

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

<p style="text-align: center;">— MENU PRINCIPAL —</p> <ul style="list-style-type: none">A. Capturar información en los subsistemas.B. Consultar información capturada en los subsistemas.C. Calcular espesor de grava equivalente.D. Ver gráfica de deflexiones.E. Generar reportes.F. Imprimir formatos de campo para los subsistemas.G. Modificar identificación de subtramos en DATOGEN.H. Eliminar subtramos en los subsistemas.I. Transferir datos al MODULO ECONOMICO.S. Salir.
--

Escriba su elección:

Figura A1.11 Menú principal

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

<p style="text-align: center;">— CAPTURA DE INFORMACION —</p> <ul style="list-style-type: none">A. Datos Generales (DATOGEN).B. Indice de Servicio Actual (ISA).C. Capacidad Estructural (CAPES).D. Inventario de Deterioros (INVEDET).E. Características Geotecnicas (CARGEOT).F. Historial de Reparaciones (HISTOREP).R. Regresar al menu anterior.

Escriba su elección:

Figura A1.12 Captura de información.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

D A T O G E N

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00

Sentido: 2
 Código: BCS0005
 FECHA: 06/07/94

COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30

	T. D. P. A.	8180				
AUTOS: 69.07 %	2EJ: 13.45 %	3EJ: 8.56 %	4EJ: 3.67 %	5EJ: 3.06 %	6EJ: 2.20 %	
5650	1100	700	300	250	180	

Tipo de datos a considerar [(C)antidad | (P)orcentaje]: P

CREC.TRANS. ANUAL: 5.0 % ACCID.ANUALES: 2 % TEMPERATURA: 30 °C

PESO PROMEDIO: 20.0 Ton. CARGA POR EJE: 8.0 Ton. No. CARRILES: 2
 PENDIENTE LONGITUDINAL: 2.00 % PENDIENTE TRANSVERSAL: 1.00 %

ORIG. DATOS: CENTRO SCT, BCS
 Oprima <ENTER> para avanzar un campo o <ESC> para validar toda la captura

Figura A1.13 Datos generales.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

I S A

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00

Sentido: 2
 Código: BCS0005

COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30 FECHA: 06/07/94

KILOMETRAJE	VALUADOR 1	VALUADOR 2	VALUADOR 3	VALUADOR 4
160.00 - 165.00	2.0	1.5	2.5	2.0

Si el segmento NO ha sido evaluado, ponga 8.0 como calificación.

Figura A1.14 Índice de servicio actual.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

C A P E S

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00
 Segmento: 155.00 - 160.00
 COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30

Sentido: 2
 Código: BCS0005155.00
 FECHA: 06/07/94

LECTURAS DE DEFLEXION (plg/1000)											
D01	23	D02	28	D03	30	D04	36	D05	40	D06	48
D07	50	D08	52	D09	54	D10	56	D11	53	D12	50
D13	48	D14	40	D15	50	D16	41	D17	43	D18	48
D19	40	D20	33	D21	25	D22	28	D23	27	D24	23
D25	29										

CBR TERR.NAT.: 5 % CBR TERRAPLEN: 10 %
 CBR BASE: 40 % CBR SUB-BASE: 25 % TEMP.PROM.CARP.: 58.0 °C

PERIODO CRITICO? (S/N): N ORIG. DATOS: CENTRO SCT BCS
 Oprima <ENTER> para avanzar un campo o <ESC> para validar la pantalla completa

Figura A1.15 Deflexiones.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

I N V E D E T

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00
 Segmento: 155.00 - 160.00
 COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30

Sentido: 2
 Código: BCS0005155.00
 FECHA: 06/07/94

FALLA	PORCENTAJE	PROF./ABERT.	GRAVEDAD
Roderas	18	30	C
Baches	6		C
Grietas long.	20	3	C
Grietas transv.	10	3	C
Desprendimientos	15		C
Asfalto aflorado	5		C
Piel de cocodrilo	40		C
Pulido superficie	50		C
Hundimientos	20	27	C

ORIG. DATOS: CENTRO SCT BCS
 Oprima <ENTER> para avanzar un campo o <ESC> para validar la pantalla completa

Figura A1.16 Inventario de deterioros.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

C A R G E O T

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00
 Segmento: 155.00 - 160.00
 COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30
 TEMP. MIN.: 6 °C TEMP. MAX.: 43 °C
 TIPO DREN.: A EDO. DREN.: C

Sentido: 2
 Código: BCS0005155.00
 FECHA: 06/07/94
 TOPOGRAFIA: C
 P.P.A.: 210 mm.

CAPA	ESPESOR (cm)	COMPONENTES	ESTABIL. (S/N)
CARPETA:	10		
BASE:	16		
SUB-BASE:	25		
SUB-RASANTE:	30		

ALTURAS: DE CORTE: 2.5 DE TERRAPLEN: 1.0

SUELO DE SOPORTE: ARCILLA PLASTICA

CHARACT. ESP.: EXPANSIVA

ORIG. DATOS: CENTRO SCT BCS

Oprima <ENTER> para avanzar un campo o <ESC> para validar la pantalla completa

Figura A1.17 Características geotécnicas.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

H I S T O R E P

Carretera: TIJUANA- LA PAZ
 Tramo: MULEGE - ROSARITO
 Subtramo: 150.00 - 210.00
 Segmento: 155.00 - 160.00
 COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30

Sentido: 2
 Código: BCS0005155.00

MANTENIMIENTO MENOR		MANTENIMIENTO MAYOR	
FECHA	DESCRIPCION	FECHA	DESCRIPCION
01/11/80	RIEGO DE SELLO	01/01/85	SOBRECARPETA 10 CM.
01/06/88	LIMPIEZA DRENAJE SUPERF.	/ /	/ /
/ /	/ /	/ /	/ /
/ /	/ /	/ /	/ /

Figura A1.18 Historial de reparaciones.

S.C.T.	S I M A P	I.M.T.
--------	-----------	--------

ESPESOR DE GRAVA EQUIVALENTE

Carretera: TIJUANA - LA PAZ
Tramo: MULEGE - ROSARITO
Subtramo: 150.00 - 210.00
Segmento: 155.00 - 160.00
COORD.: 112.00.26.50 - 111.40.26.30

Sentido: 2
Código: BCS0005155.00

ESPESOR DE GRAVA EQUIVALENTE: 36.5 cm.

DATOGEN...	T.D.P.A.: 8,180	Peso prom.: 20.0 ton.
		Carga por eje: 8.0 ton.
		Crecim. tránsito: 5.0 %
CAPES.....	Deflex. prom.: 1.010 mm.	Temp. carpeta: 58.0°C
	Deflex. car.: 1.252 mm.	Periodo crítico: N

Oprima cualquier tecla para continuar...

Figura A1.19 Espesor de grava equivalente.

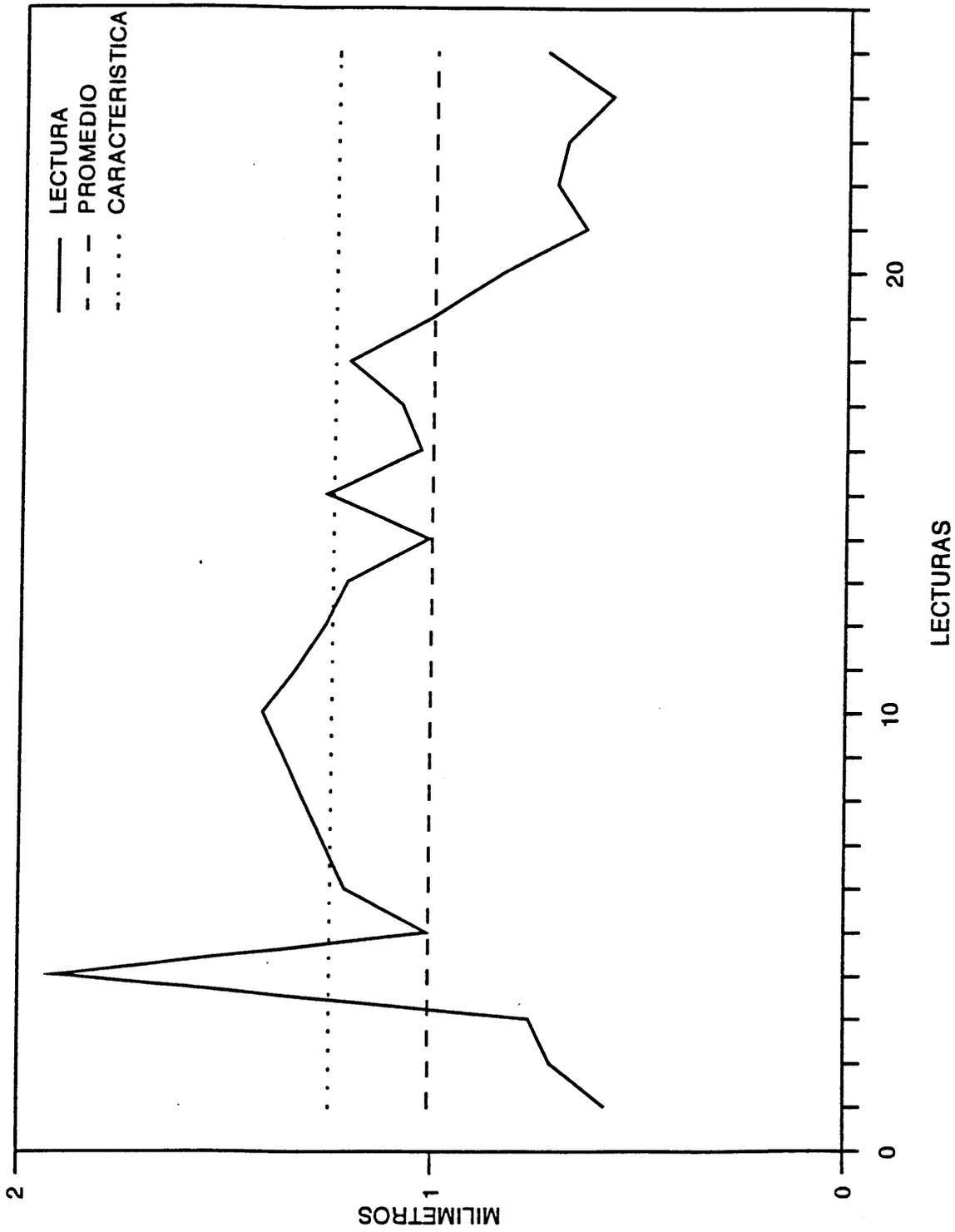


Figura A1.20 Perfil de deflexiones en el tramo de 500 mts. bajo estudio.

Apéndice 2. Módulo Económico del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (Referencias 8 y 9).

1. Introducción.

El Módulo Económico del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (S.I.M.A.P.) es una herramienta computacional para evaluar técnica y, en especial económicamente, las diferentes acciones de conservación preventiva que pueden ofrecerse para reparar un determinado tramo carretero. Obviamente, estas acciones pueden diferir de tres maneras: en la resistencia estructural pretendida para lograr un determinado índice internacional de rugosidad, en el horizonte temporal en que se desee que ocurra la evolución desde el índice internacional de rugosidad inicial (después de la acción de la conservación) hasta llegar al mínimo considerado como aceptable o en ambas cosas.

Es evidente que la resistencia estructural y el tiempo en que se desea que la solución funcione están íntimamente ligados. Soluciones de mayor horizonte temporal han de partir de secciones estructurales más reforzadas y más costosas.

Así, se evalúan alternativas de conservación de carreteras de concreto asfáltico y se pueden identificar las que representan el mayor beneficio económico. En esencia, se comparan el costo de varias posibilidades de refuerzo con la reducción de los sobrecostos de operación vehicular que se haya logrado con los refuerzos señalados.

Los sobrecostos de operación vehicular se cuantifican con base en otros estudios del Instituto Mexicano del Transporte ya mencionados en otras partes de este trabajo.

Adicionalmente, el Módulo Económico permite seleccionar, entre todas las alternativas estudiadas, las más adecuadas desde el punto de vista económico, cuando existan restricciones presupuestarias que impidan la dedicación de recursos a todos los tramos necesitados.

2. Estructura del Módulo Económico.

La Figura II.1 muestra la estructura con la que funciona el Módulo Económico. A partir de la información emanante del Módulo Técnico del Sistema, que comprende la identificación de los tramos, los aforos y distribución del tránsito, las cargas por eje que ello representan, las características estructurales y deflexiones y de índice de servicio existentes, el Módulo Económico realiza una primera acción que captura la información, la ordena y permite la continuación del análisis. La segunda etapa del proceso lleva al cálculo de los costos de operación de un tramo conformado, sea por un corredor de transporte o por un segmento del mismo, de la dimensión y características de homogeneidad apropiadas (téngase en cuenta que el Módulo Técnico del Sistema de Administración de Pavimentos trabaja considerando como unidades a segmentos de 5 kilómetros de carretera).

Los costos de operación que se utilizan son obviamente los ya mencionados, resultantes de los estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte; los valores se aplican tomando en cuenta las características de alineamiento vertical que correspondan al camino que se esté analizando; ese alineamiento vertical es altamente influyente en el costo de operación y, por ende, define los valores de partida, pero ya no es tan directamente influyente en los sobrecostos evitables, causados por el estado superficial de la carretera.

En la tercera etapa de aplicación del Módulo Económico, denominada en la Figura II.1 "Evaluación Económica", el técnico a cargo del análisis define un abanico de acciones de conservación a su elección. En rigor, sólo necesita proporcionar al sistema de cálculo, el costo de la acción en que se piense, el índice internacional de rugosidad o índice de servicio al que se pretende llegar con ella y el horizonte temporal de la misma (es decir, el tiempo en el que él calcula que a partir de un índice de servicio por él propuesto, se llegará al mínimo que él considera adecuado para ese tramo carretero en función de su importancia económica).

Conocido el índice internacional de rugosidad (o índice de servicio) de la propuesta y su evolución temporal, el proyectista puede calcular los nuevos costos de operación del tramo, ya en operación automatizada del sistema, que trabaja utilizando las gráficas de costos operativos incluidas en este trabajo. La comparación de este nuevo costo de operación con el que se tenía antes de aplicar la opción de conservación, proporciona el

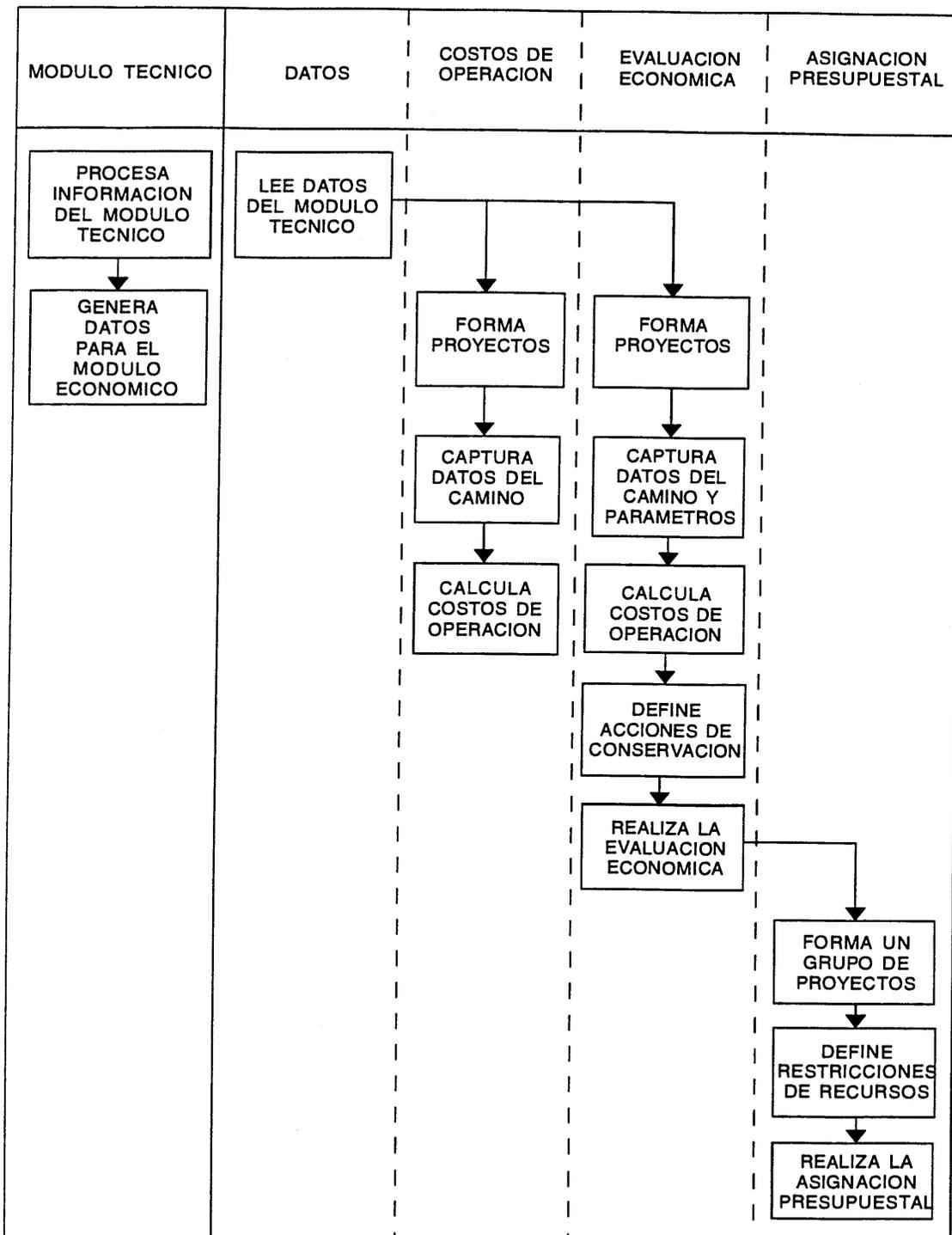


Figura A2.1 Flujo de información del Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos.

ahorro en costo evitable (beneficio) que la acción conlleva. Como se conoce el costo de la opción, automáticamente se obtiene la relación beneficio/costo y el valor presente neto (beneficio-costo) que le corresponde. El sistema está diseñado computacionalmente para analizar grupos de 5 opciones para cada tramo; si se desea analizar un número mayor de opciones, se repetirá el ciclo, desde el paso de importar datos del tramo del Módulo Técnico. La capacidad del sistema actualmente desarrollado por el I.M.T. permite analizar 50 tramos con 5 opciones de conservación cada uno, sin tener que recurrir a la importación de datos del camino, procedentes del Módulo Técnico.

El cuarto paso computacional del Módulo Económico que se describe, permite agrupar los tramos cuya conservación se estudia en grupos de 50 en 50, incluir el valor presupuestal del que se disponga y realizar automáticamente una asignación de recursos a cada tramo, dando prioridad a las soluciones y los tramos. El grupo de los 50 tramos figura otorgando a cada uno, la opción de conservación que produzca el mayor valor presente neto para el conjunto de los 50. Cabe comentar que si esa opción conjunta óptima sobrepasa el volumen de recursos disponibles para los 50 tramos, el sistema computacional indica que no existe solución posible. Es decir, que el sistema otorga a cada tramo una de las 5 opciones de conservación que se le estudiaron y obtiene el panorama priorizado conjunto que sea congruente con los recursos; obviamente, en un esquema de recursos limitados, no se llegará a la mejor opción de cada tramo, pero si a la mejor del conjunto. Si la respuesta del sistema fue en el sentido de que no hay solución conjunta posible, compatible con los recursos disponibles, el proyectista tendrá que reiniciar el juego con opciones de conservación menos ambiciosas o más baratas o bien retirar del paquete los tramos menos prioritarios.

Dado que el criterio de priorización señalado en el presente trabajo es el valor económico de la carga que circule sobre el camino o el tramo considerado individualmente, puede también jugarse con la asignación presupuestal dada al conjunto de 50, aumentándola en los paquetes más importantes. El algoritmo también permite asignar a alguno de los tramos o caminos de los 50, una opción de conservación prefijada por su importancia, de manera que los recursos necesarios para ella constituyan un invariante de la distribución.

Apéndice 3. Costos de Operación (Referencias 10 y 11).

1. Análisis del Efecto de la Pendiente, la Velocidad y la Curvatura de las Carreteras en los Costos de Operación Vehicular (Referencia 10).

Esta parte está destinada primordialmente a los responsables del proyecto geométrico de carreteras y a los especialistas en su planeación. Consta, en su parte medular, de un conjunto de gráficas que tratan de cubrir, a través de 5 tipos de los vehículos que mayoritariamente representan el tránsito en las carreteras nacionales (México), el efecto de la pendiente, la velocidad y la curvatura en los costos operacionales. Esta información es básica para los proyectistas de carreteras nuevas, pero no deja de ser muy importante en cuestiones de conservación, pues es frecuente que estas operaciones lleguen a involucrar cambios de trazo, trabajos de modernización y otros, que incidan en los factores mencionados.

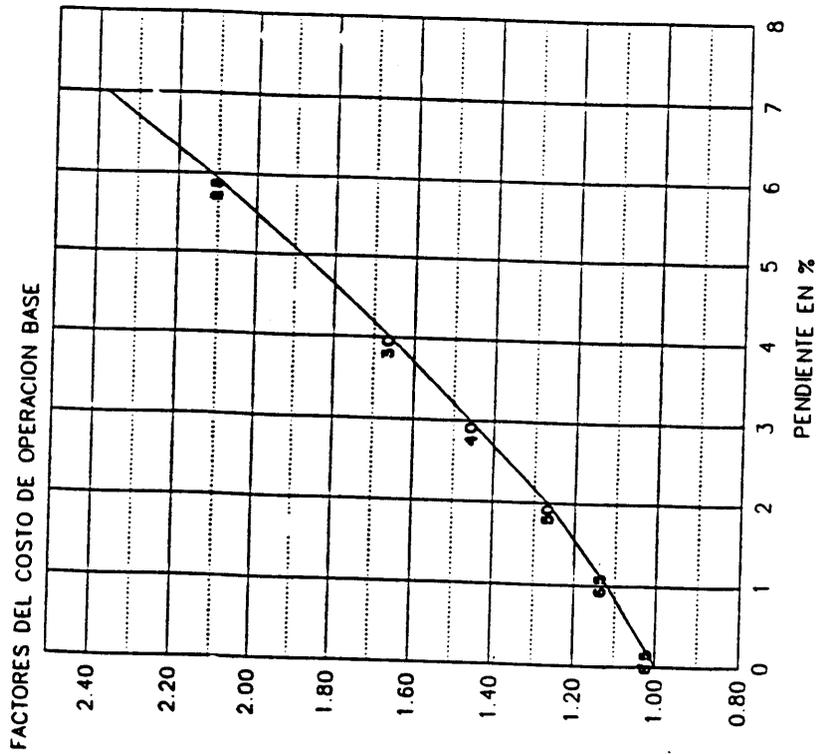
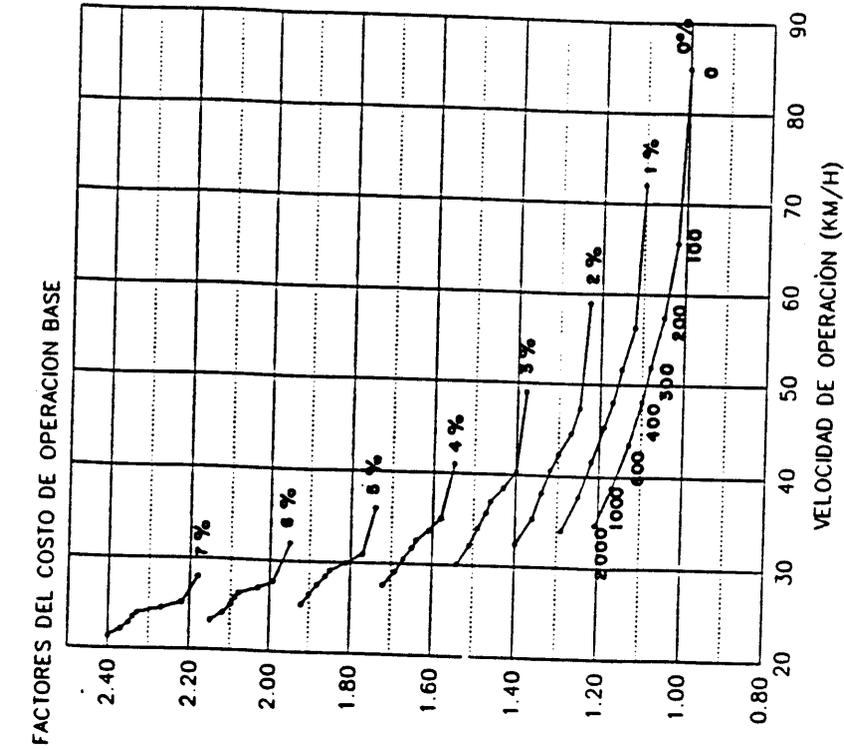
Las gráficas que se presentan relacionan la pendiente, la curvatura horizontal y la velocidad, con el costo de operación. Este se considera como 1 en un tramo recto de pendiente 0%, de manera que los costos correspondientes a otras condiciones de alineamiento horizontal y vertical se expresan como un factor siempre mayor que 1. De esta forma ha tratado de eliminarse la referencia a un precio variable.

En las Figuras A3.1 - A3.5 se presentan las gráficas que relacionan los factores de costo por cambio de pendiente, velocidad y curvatura. En un principio, en la Referencia 10, el problema se atacó para establecer el costo de operación en función de la pendiente y la curvatura, como si ambas tuvieran en el concepto un peso similar, pero pronto se vió que la influencia de la pendiente es mucho mayor que la de la curvatura, de manera que se decidió una presentación como la que se muestra, en la que básicamente se relacionan costo, pendiente y velocidad de operación típica. Debe notarse, sin embargo, que la influencia de la curvatura en la velocidad de operación es muy notable y que dicho factor también se relaciona estrechamente con la pendiente en el sentido de que ambos elementos son invariablemente coincidentes.

Independientemente del carácter de correlación de información que abarca varios ambientes y otras condiciones no siempre idénticas, se tiene la honesta convicción de que los resultados proporcionados por las gráficas constituyen una útil guía para el personal técnico al cual van dirigidos.

CAMION ARTICULADO

Pendiente en %
Curvatura acumulada en grd/km



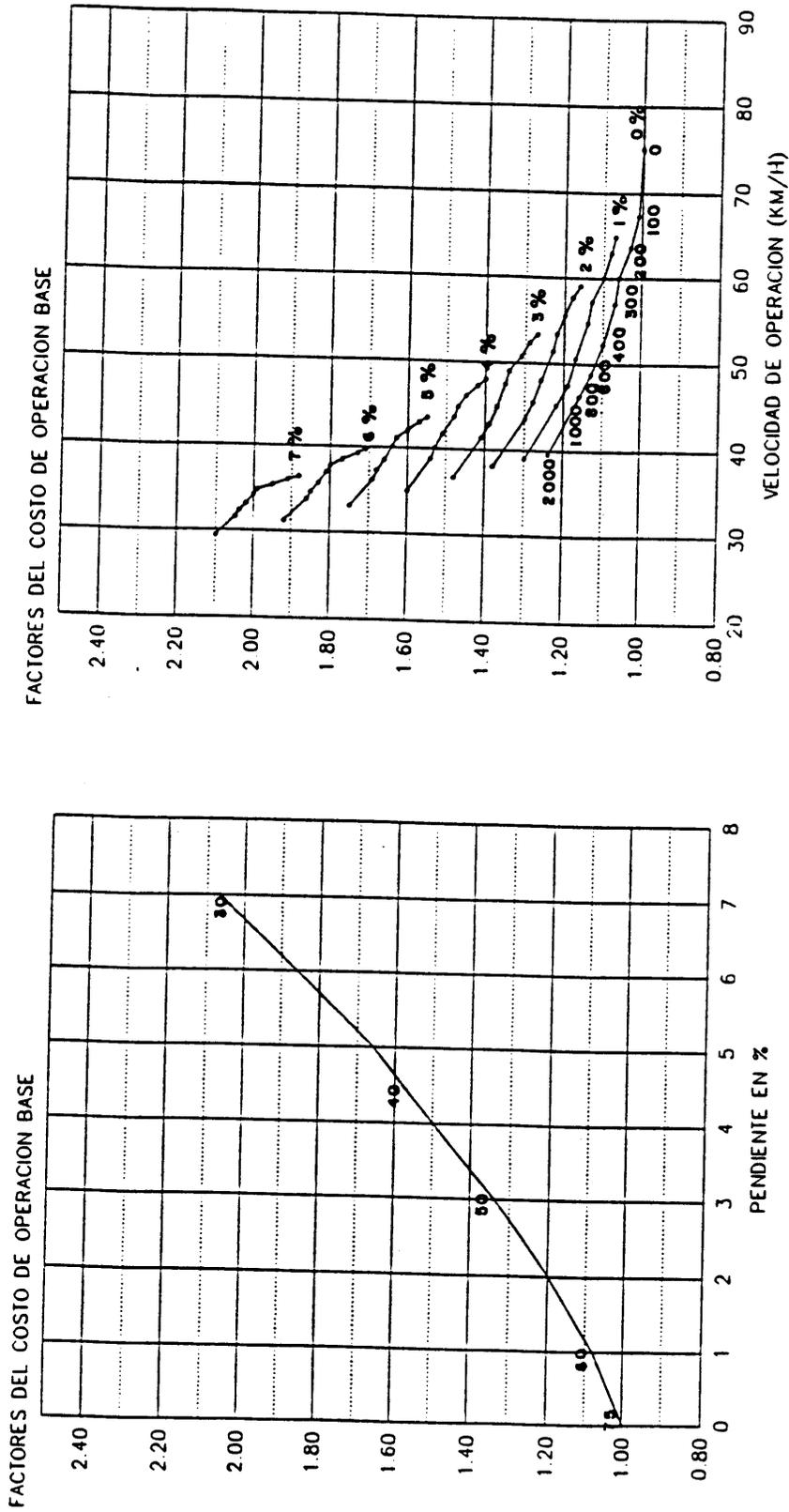
Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora

Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grd/km.

Figura A3.1

CAMION 2 EJES

Pendiente en %
Curvatura acumulada en grd/km



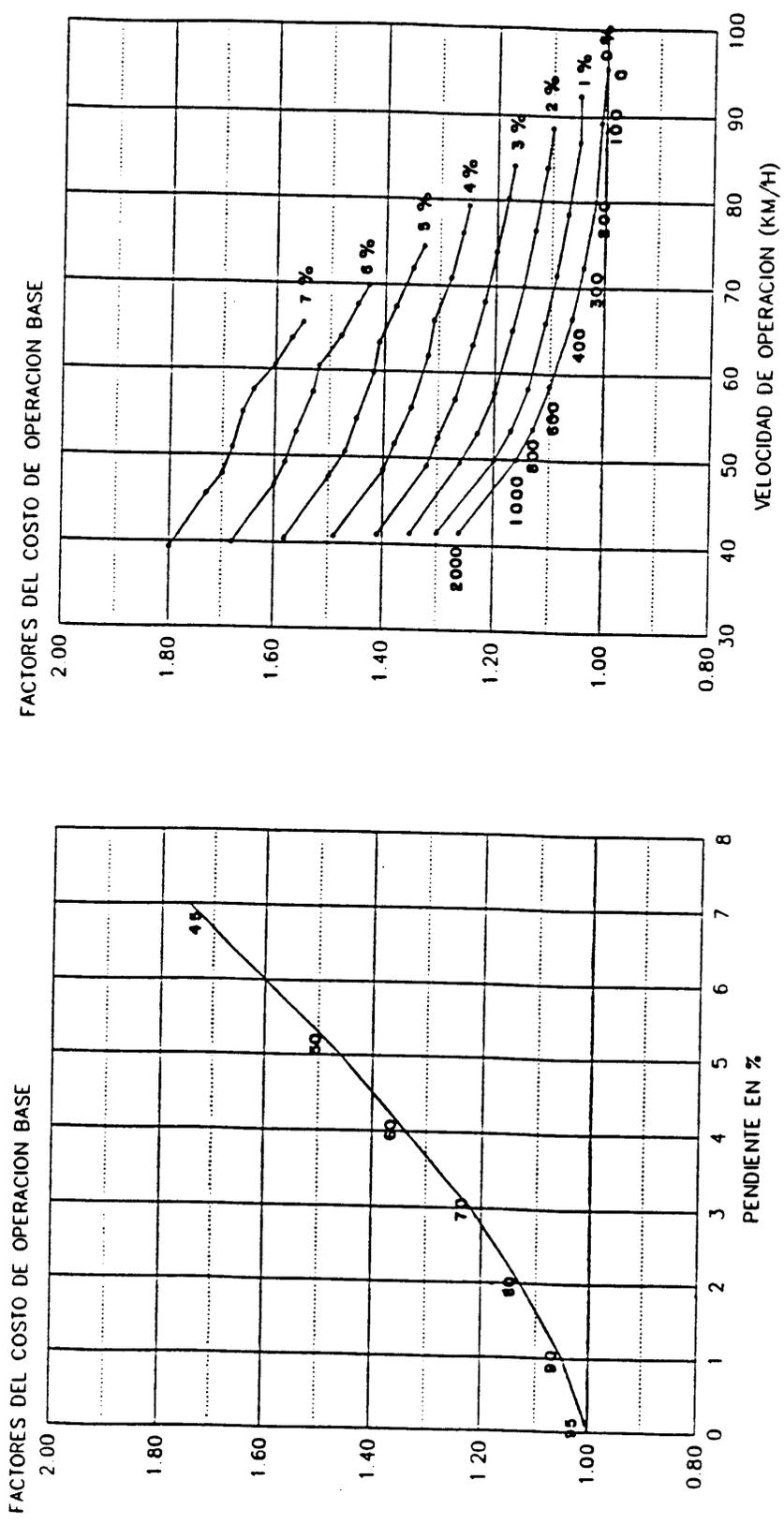
Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grd/km

Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora.

Figura A3.2

AUTOBUS FORANEO

Pendiente en %
Curvatura acumulada en grd/km



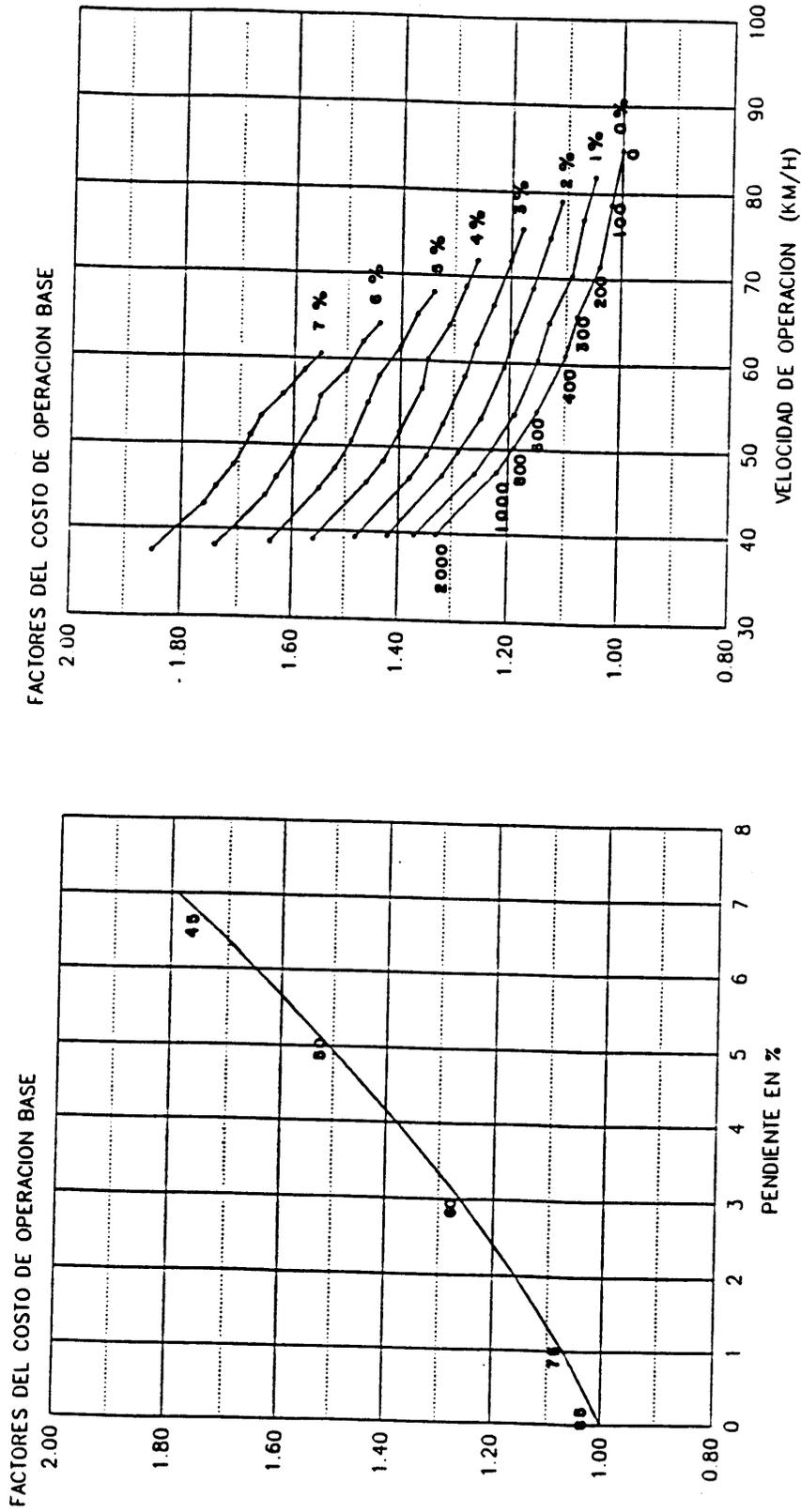
Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grd/km

Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora.

Figura A3.3

CAMION LIGERO

Pendiente en %
Curvatura acumulada en grd/km



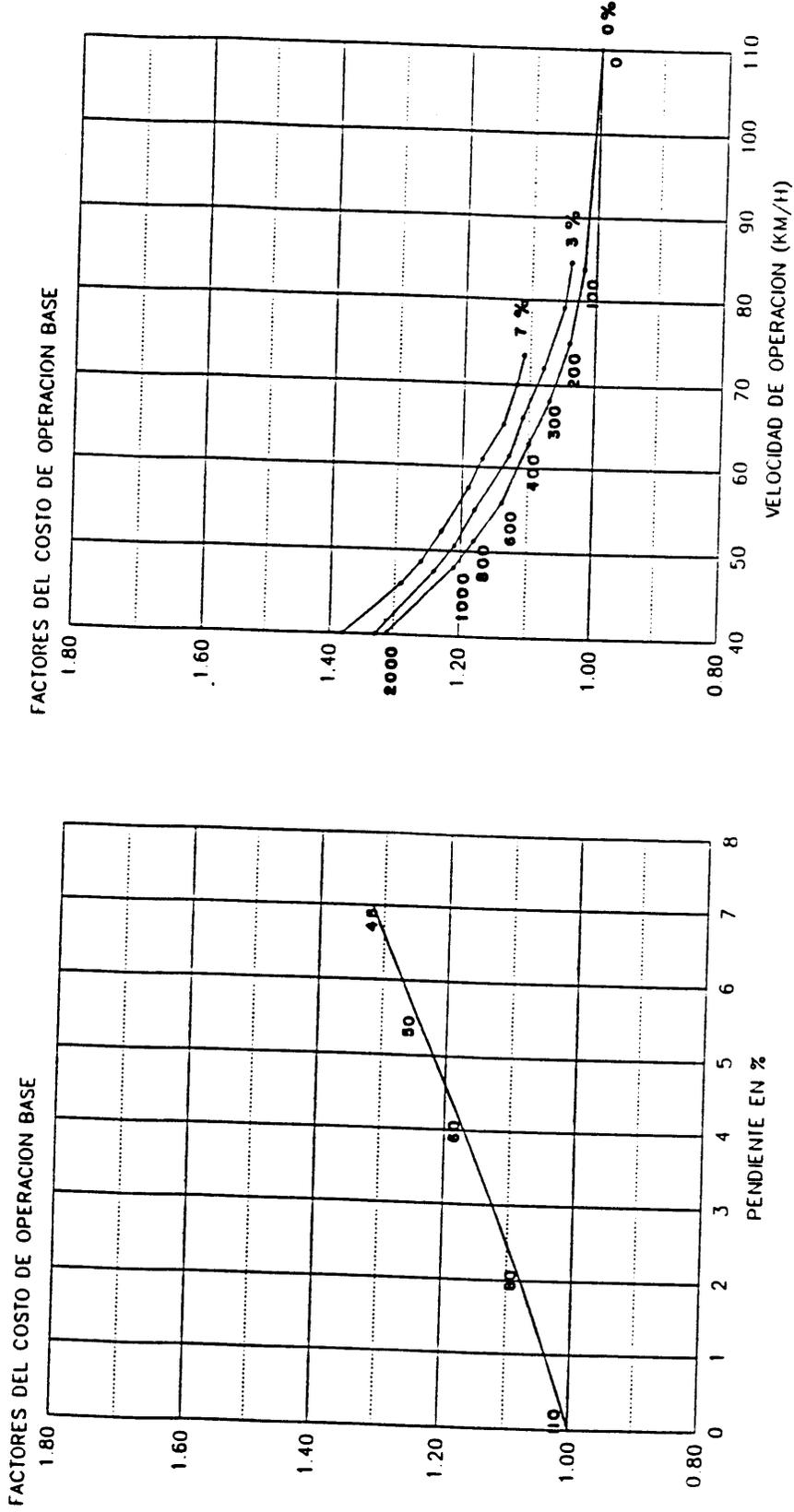
Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grd/km.

Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora

Figura A3.4

VEHICULO LIGERO
(Utilitario o Automóvil)

Pendiente en %
Curvatura acumulada en grad/km



Los números anotados junto a la curva indican las velocidades típicas de operación en kilómetros por hora

Los puntos y los números a lo largo de las líneas de igual pendiente representan diferentes niveles de curvatura acumulada en grad/km

Figura A3.5

Para cada uno de los 5 tipos de vehículos seleccionados para el estudio, se presentan dos tipos de gráficas. En el primer tipo aparecen los factores de costo de operación para diferentes pendientes (de 0 a 10 %), supuesto que se circula a las velocidades típicas de las condiciones del caso, en tramo recto. Por ejemplo, para el camión articulado, si se circula a 20 kilómetros por hora, que se considera la velocidad típica para el caso, sobre una rampa con 8% de pendiente, se tendría un factor de sobre costo de 2.6, aproximadamente, en relación a la circulación sobre un tramo recto con pendiente cero.

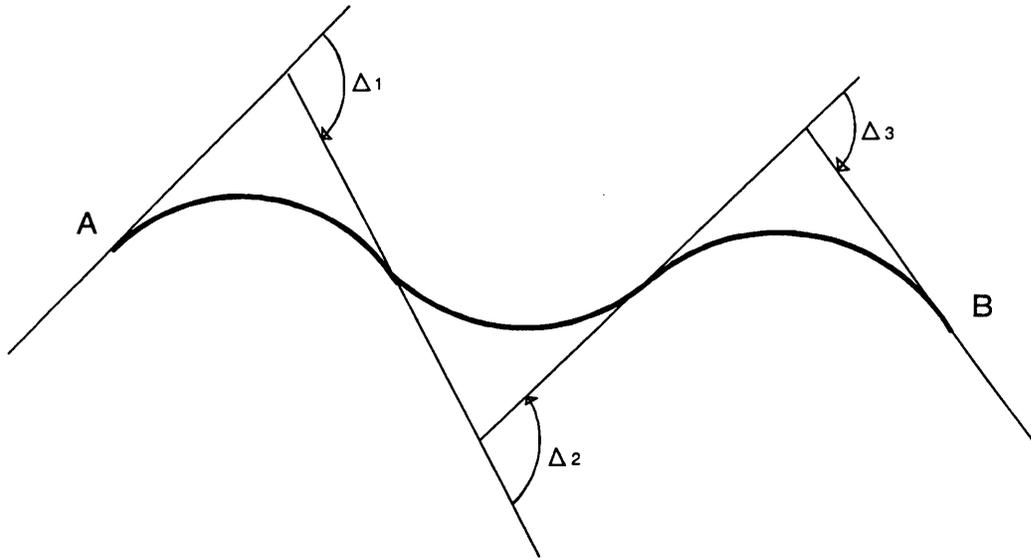
El segundo tipo de gráficas relaciona lo que sucede si se mantiene una determinada velocidad de operación por cuestas con diferentes pendientes y curvaturas. Por ejemplo, para el mismo camión articulado, si la calzada tiene pendiente nula, sólo la curvatura incide en el sobre costo llegando a un valor de factor de 1.2 si la curvatura acumulada llega a 2,000 (la misma Referencia 10 indica cómo se mide este valor; la Figura A3.6 ejemplifica la forma de estimarlo).

Si se circula por una pendiente de 4%, la velocidad máxima lógica será del orden de 40 kilómetros por hora para curvatura cero, con un valor de sobre costo del orden de 1.4, pero si para las mismas condiciones la curvatura llega a 2,000, la velocidad de operación habrá disminuido a 26 kilómetros por hora y el factor de sobre costo se habrá incrementado a 1.75.

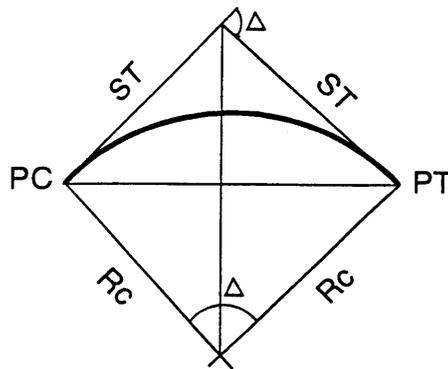
(Los puntos negros sobre las curvas indican los valores de curvatura acumulada que, por claridad, se anotaron únicamente en la gráfica de pendiente igual a cero).

También puede saberse que si se circula por ejemplo a 40 kilómetros por hora por una línea de pendiente igual a cero (posible con una curvatura acumulada máxima del orden de 800), se tendrá un factor de sobre costo del orden de 1.2; pero con una pendiente de 3%, la velocidad de operación de 40 kilómetros por hora sólo se podría sostener con una curvatura acumulada máxima del orden de 200 y ello con un factor de sobre costo del orden de 1.4.

El desarrollo del trabajo (Referencia 10) se orientó a la revisión y aplicación a México de estudios existentes sobre el tema en la literatura internacional, con información nacional actualizada.



$$\text{Curvatura horizontal promedio (grad/km)} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{L_{AB}}$$



- PC Punto de comienzo de la curva
- PT Punto de terminación de la curva
- ST Subtangente
- R_c Radio de la curva
- Δ Angulo de deflexión de la tangente

Figura A3.6 Estimación de la curvatura

Desde el inicio de la revisión destacó, por haber sido realizado expresamente en países en vías de desarrollo y por su extensión, el Estudio de Normas para el Diseño y Mantenimiento de Carreteras (Referencias 18, 19 y 20) desarrollado bajo el auspicio del Banco Mundial. En dicho estudio participaron instituciones académicas y dependencias involucradas en la planeación, construcción y operación de carreteras de diversos países. Las relaciones entre costos de operación y elementos de proyecto de carreteras fueron estudiadas en Kenia (1971-75), Brasil (1975-84), Santa Lucía (1977-82) e India (1977-83). Debido tanto a los antecedentes generados en Kenia como a una mayor disponibilidad de recursos financieros, los estudios más completos y confiables fueron los realizados en Brasil, por lo que fundamentalmente con base en sus resultados, fueron construidos los modelos matemáticos con los que el Banco Mundial estructuró posteriormente un programa de cómputo denominado Costos de Operación Vehicular (Referencia 21).

Revisando los estudios de los cuatro países mencionados en la Referencia 10, se concluyó que los de Brasil presentan no sólo mayor cobertura y semejanzas en cuanto a tipos de vehículos y características de caminos, sino también mayor similitud económica con relación a las condiciones prevalecientes en nuestro país durante el período de estudio. Por lo anterior, se decidió utilizar su metodología e información pertinente para aplicarla con datos nacionales, utilizando como herramienta principal para la adaptación, el modelo de cómputo basado en los propios estudios de Brasil.

La adaptación consistió en el uso de datos sobre características técnicas de vehículos nacionales, así como costos unitarios de sus insumos. También se definieron, con base en análisis de sensibilidad en rangos de factibilidad, datos necesarios relativos a la utilización de los vehículos. A partir de éstos y de otros datos y coeficientes originales de los modelos, cuyo listado se presenta para cada vehículo al final de este Apéndice, se calcularon velocidades y costos de operación para combinaciones de pendientes de 0 a 10% y curvaturas de 0 a 2,000 grados por kilómetro. En las tablas A3.1 y A3.2 se presentan, a manera de ejemplo, estos resultados intermedios para el caso del camión articulado.

Las velocidades obtenidas fueron, en una segunda fase, ajustadas para reflejar con mayor aproximación las que se observan en las carreteras del país. Los costos, por su parte, fueron divididos entre el costo de

VELOCIDAD DE OPERACION (KM/H) – CAMION ARTICULADO

Curvatura Horizontal Promedio (grad/Km)	Pendiente media ascendente (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	72.03	59.43	49.13	41.58	35.96	31.66	28.26	25.52	23.26	21.37	19.76
100	65.66	56.33	47.33	40.37	35.08	30.98	27.72	25.08	22.90	21.06	19.50
200	57.52	51.70	44.59	38.53	33.73	29.95	26.90	24.41	22.34	20.59	19.09
300	51.93	48.03	42.34	37.01	32.63	29.09	26.22	23.86	21.88	20.20	18.76
400	48.14	45.29	40.59	35.82	31.76	28.43	25.69	23.42	21.51	19.89	18.49
500	45.45	43.23	39.22	34.89	31.08	27.91	25.28	23.08	21.23	19.64	18.28
600	43.45	41.63	38.12	34.14	30.53	27.48	24.94	22.80	20.99	19.45	18.11
700	41.91	40.36	37.23	33.52	30.08	27.14	24.66	22.58	20.80	19.29	17.97
800	40.68	39.33	36.49	33.01	29.71	26.85	24.43	22.39	20.64	19.15	17.85
900	39.69	38.48	35.87	32.57	29.39	26.60	24.23	22.22	20.51	19.03	17.75
1000	38.86	37.76	35.34	32.20	29.11	26.39	24.06	22.08	20.39	18.93	17.67
1100	38.16	37.15	34.88	31.87	28.87	26.21	23.92	21.96	20.29	18.85	17.59
1200	37.56	36.63	34.48	31.58	28.66	26.04	23.79	21.86	20.20	18.77	17.53
1300	37.05	36.17	34.13	31.33	28.48	25.90	23.67	21.76	20.12	18.70	17.47
1400	36.60	35.77	33.82	31.11	28.31	25.77	23.57	21.68	20.05	18.64	17.42
1500	36.20	35.42	33.54	30.91	28.16	25.66	23.48	21.61	19.99	18.59	17.37
1600	35.85	35.10	33.30	30.73	28.03	25.56	23.40	21.54	19.93	18.54	17.33
1700	35.53	34.82	33.07	30.56	27.91	25.46	23.32	21.48	19.88	18.50	17.29
1800	35.25	34.56	32.87	30.41	27.80	25.38	23.26	21.42	19.83	18.46	17.25
1900	34.99	34.33	32.68	30.28	27.70	25.30	23.19	21.37	19.79	18.42	17.22
2000	34.76	34.12	32.51	30.15	27.60	25.23	23.14	21.32	19.75	18.39	17.19

Valores calculados 6/08/90

Tabla A3.1

COSTOS DE OPERACION—CAMION ARTICULADO (USD/VEH—KM)

Curvatura Horizontal Promedio (grad/Km)	Pendiente media ascendente (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.59	0.65	0.72	0.81	0.91	1.02	1.14	1.28	1.42	1.58	1.75
100	0.60	0.66	0.73	0.82	0.92	1.04	1.16	1.30	1.45	1.61	1.78
200	0.71	0.67	0.75	0.84	0.94	1.06	1.19	1.33	1.49	1.65	1.83
300	0.64	0.69	0.76	0.86	0.96	1.08	1.22	1.37	1.52	1.70	1.88
400	0.65	0.70	0.77	0.86	0.97	1.09	1.22	1.37	1.53	1.70	1.89
500	0.66	0.71	0.78	0.87	0.98	1.10	1.23	1.38	1.54	1.71	1.89
600	0.66	0.71	0.78	0.87	0.98	1.10	1.23	1.38	1.54	1.71	1.89
700	0.67	0.72	0.79	0.88	0.98	1.10	1.24	1.38	1.54	1.71	1.90
800	0.68	0.72	0.79	0.88	0.99	1.11	1.24	1.39	1.55	1.72	1.90
900	0.68	0.73	0.80	0.88	0.99	1.11	1.24	1.39	1.55	1.72	1.91
1000	0.69	0.73	0.80	0.89	0.99	1.11	1.25	1.39	1.55	1.72	1.91
1100	0.69	0.74	0.80	0.89	0.99	1.11	1.25	1.39	1.55	1.73	1.91
1200	0.69	0.74	0.81	0.89	1.00	1.12	1.25	1.40	1.55	1.73	1.91
1300	0.70	0.74	0.81	0.89	1.00	1.12	1.25	1.40	1.56	1.73	1.91
1400	0.70	0.74	0.81	0.90	1.00	1.12	1.25	1.40	1.56	1.73	1.91
1500	0.70	0.75	0.81	0.90	1.00	1.12	1.25	1.40	1.56	1.73	1.92
1600	0.70	0.75	0.81	0.90	1.00	1.12	1.25	1.40	1.56	1.73	1.92
1700	0.71	0.75	0.82	0.90	1.00	1.12	1.26	1.40	1.56	1.73	1.92
1800	0.71	0.75	0.82	0.90	1.01	1.12	1.26	1.40	1.56	1.73	1.92
1900	0.71	0.75	0.82	0.90	1.01	1.13	1.26	1.40	1.56	1.74	1.92
2000	0.71	0.75	0.82	0.90	1.01	1.13	1.26	1.40	1.56	1.74	1.92

Valores calculados 6/08/90

Tabla A3.2

operación base (en tramo recto de pendiente 0%) para obtener factores adimensionales, como los que se muestran en la Tabla A3.3 para el camión articulado.

La Referencia 10 presenta un procedimiento que permite, en cualquier momento, valuar el costo de operación base en unidades monetarias, conocidos los precios unitarios de los diferentes insumos.

Ha de mencionarse que en las gráficas presentadas en este trabajo, los diferentes factores se han valuado sin tomar en cuenta los impuestos de sus diferentes insumos, independientemente de que éstos forman parte del precio de venta al público. Ello es debido a la consideración de que cualquier impuesto de esa naturaleza es en realidad una transferencia de dinero entre las diferentes personas que forman la cadena comercial, pero no representa una pérdida de valor para la nación. El producto final de las transferencias conforma los ingresos fiscales del Estado y sigue siendo riqueza nacional. Por ejemplo, en la compra-venta de una llanta hay una transferencia de dinero de una persona a otra, pero la riqueza nacional permanece. Si la llanta se consume por el uso, el país perdió una llanta; el costo de ese consumo es el que figura en las gráficas y es el que realmente interesa a un proyectista de carreteras, habida cuenta de la naturaleza del servicio nacional que prestan estas estructuras.

Para reducir posibles errores de aproximación en la estimación de costos de operación, se recomienda analizar tramos homogéneos, minimizando así las distorsiones que causaría el uso de grandes promedios de pendiente o curvatura como datos de entrada a las gráficas.

2. Análisis del Efecto del Estado Superficial de la Carretera en los Costos de Operación Vehicular (Referencia 11).

La información contenida en los estudios realizados por el I.M.T. a este respecto, está básicamente dedicada hacia los ingenieros de conservación de carreteras, pero es evidente la importancia que el tema reviste también para los especialistas en planeación y en proyecto de obras viales.

FACTORES DEL COSTO BASE – CAMION ARTICULADO (ADIMENSIONAL)

Curvatura Horizontal Promedio (grad/Km)	Pendiente media ascendente (%)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	1.00	1.10	1.23	1.38	1.55	1.74	1.95	2.18	2.43	2.69	2.98
100	1.02	1.12	1.25	1.40	1.58	1.77	1.99	2.22	2.48	2.75	3.04
200	1.05	1.15	1.27	1.43	1.61	1.81	2.03	2.27	2.54	2.82	3.12
300	1.08	1.17	1.30	1.46	1.64	1.85	2.08	2.33	2.60	2.89	3.21
400	1.10	1.19	1.32	1.47	1.65	1.86	2.09	2.34	2.61	2.90	3.22
500	1.12	1.20	1.33	1.48	1.66	1.87	2.10	2.35	2.62	2.91	3.23
600	1.13	1.22	1.34	1.49	1.67	1.88	2.10	2.35	2.63	2.92	3.23
700	1.14	1.23	1.34	1.50	1.68	1.88	2.11	2.36	2.63	2.93	3.24
800	1.15	1.23	1.35	1.50	1.68	1.89	2.12	2.37	2.64	2.93	3.25
900	1.16	1.24	1.36	1.51	1.69	1.89	2.12	2.37	2.64	2.93	3.25
1000	1.17	1.25	1.36	1.51	1.69	1.90	2.12	2.37	2.65	2.94	3.25
1100	1.18	1.25	1.37	1.52	1.70	1.90	2.13	2.38	2.65	2.94	3.26
1200	1.18	1.26	1.37	1.52	1.70	1.90	2.13	2.38	2.65	2.94	3.26
1300	1.19	1.26	1.38	1.53	1.70	1.91	2.13	2.38	2.65	2.95	3.26
1400	1.19	1.27	1.38	1.53	1.71	1.91	2.14	2.39	2.66	2.95	3.27
1500	1.20	1.27	1.38	1.53	1.71	1.91	2.14	2.39	2.66	2.95	3.27
1600	1.20	1.28	1.39	1.53	1.71	1.91	2.14	2.39	2.66	2.95	3.27
1700	1.20	1.28	1.39	1.54	1.71	1.92	2.14	2.39	2.66	2.96	3.27
1800	1.21	1.28	1.39	1.54	1.72	1.92	2.14	2.39	2.66	2.96	3.27
1900	1.21	1.28	1.40	1.54	1.72	1.92	2.15	2.39	2.67	2.96	3.27
2000	1.21	1.29	1.40	1.54	1.72	1.92	2.15	2.40	2.67	2.96	3.28

Valores calculados 6/08/90

Tabla A3.3

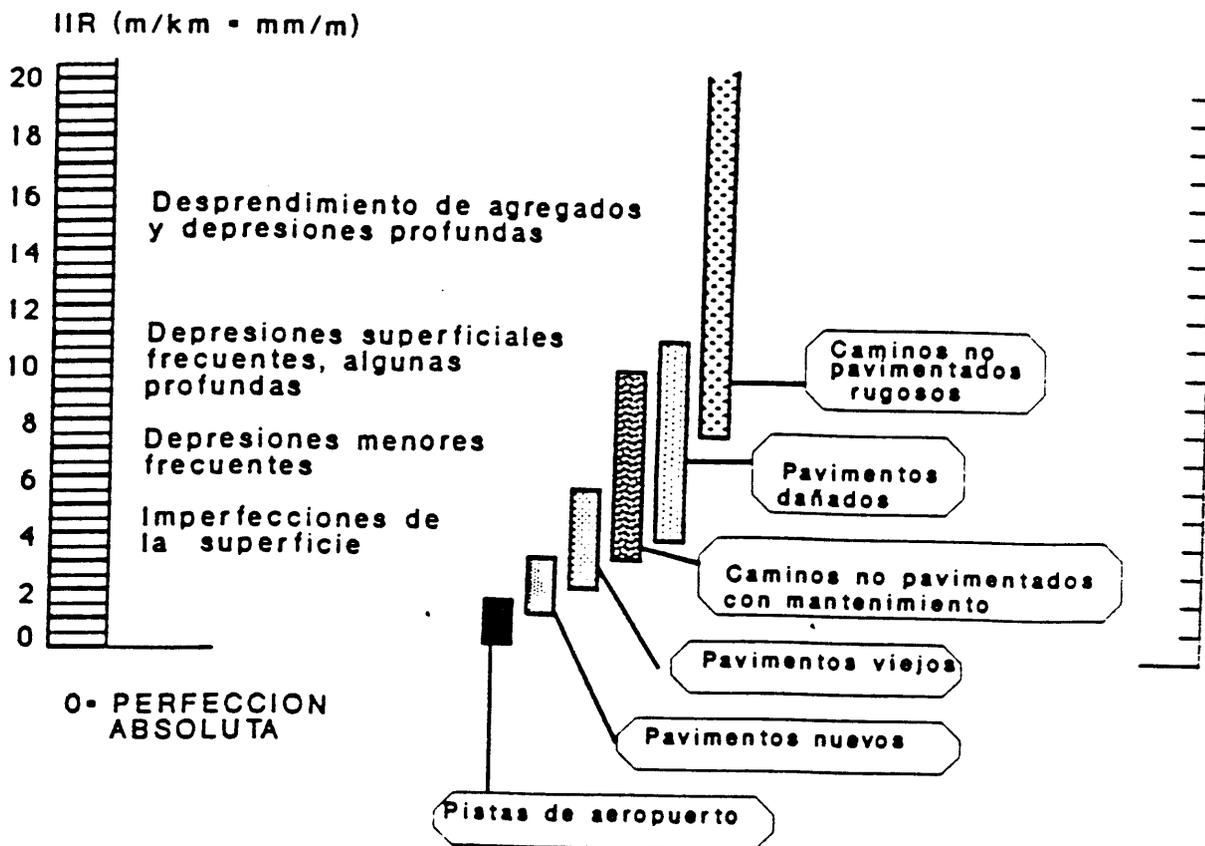
2.1 Indicadores del Estado Superficial.

Los estados de la superficie de rodamiento considerados están representados por el índice de servicio y el índice internacional de rugosidad. El primero corresponde a la valuación de la comodidad del viaje en una escala de 0 a 5, que realizan cuatro personas en un vehículo en buenas condiciones de suspensión y alineación, circulando a velocidad normal de operación (Referencias 6 y 17).

El índice internacional de rugosidad constituye una medida de la rugosidad, entendida ésta como las deformaciones verticales de la superficie de un camino con respecto a la superficie plana, mismas que afectan la dinámica del vehículo, la calidad del viaje, las cargas dinámicas y el drenaje superficial del camino. La rugosidad es, por tanto, una característica del perfil longitudinal de la superficie recorrida y el índice internacional de rugosidad puede definirse como la suma de las irregularidades verticales (en valor absoluto) a lo largo de la zona de rodadura de un tramo homogéneo de carretera, entre la longitud del mismo; su unidad de medida es m/km.

En la Figura A3.7 se muestra gráficamente la escala de dicho índice con una breve descripción del estado cualitativo del pavimento correspondiente a ciertos rangos. Para mayor objetividad, en las Figuras A3.8 se muestran algunas fotografías de pavimentos cuyo aspecto es indicativo de diferentes niveles de rugosidad en términos del índice internacional de rugosidad y del índice de servicio correspondiente.

En virtud de que los equipos disponibles para la medición de la rugosidad son muy variados y generan resultados con base en escalas propias, se incluyen las equivalencias aproximadas entre las principales escalas de rugosidad utilizadas internacionalmente (Figura A.3.9). Cabe mencionar que además del equipo móvil, existe un método muy accesible para realizar estimaciones de la rugosidad en campo por medio del procedimiento utilizado para controlar las tolerancias a las irregularidades de una superficie (Referencia 22). El método consiste en colocar manualmente una regla de 2 ó 3 metros de largo, longitudinalmente, sobre una de las huellas del camino, medir la desviación máxima bajo la regla en milímetros y repetir la operación a distancias convenientemente espaciadas. Con los datos de las mediciones, calcular las frecuencias acumuladas y sustituir el valor del 95 percentil resultante (aquél que es



Fuente:

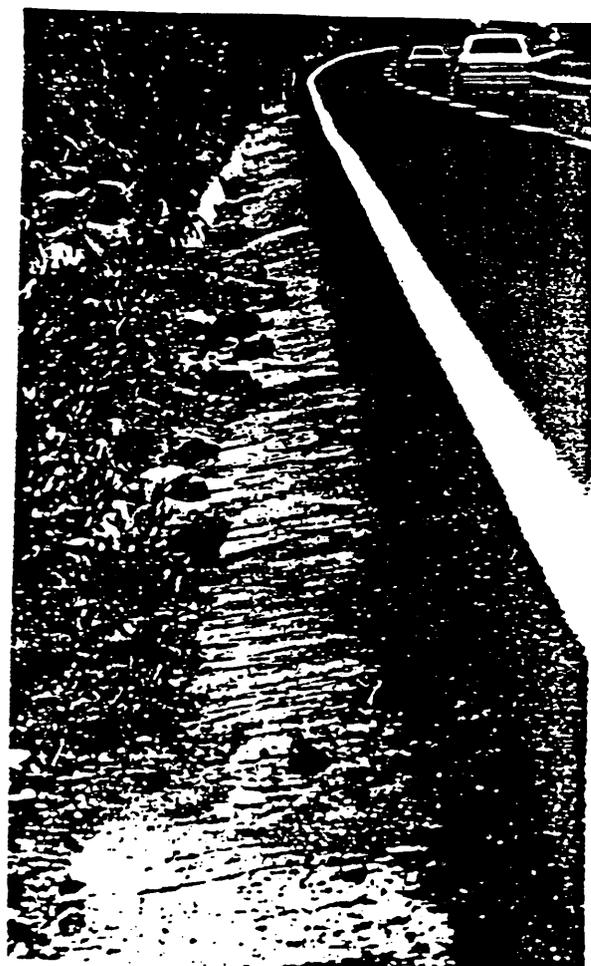
Sayers, M.W., T.D. Gillespie, and W.D.O. Paterson (1986). Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. Technical Paper 46, World Bank, Washington, D.C.

Figura A3.7 ESCALA DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD



a) $IS > 4$
IIR 2.0 - 2.5

ASPECTO DE PAVIMENTOS
CON DIFERENTES RANGOS
DE NIVEL DE SERVICIO E IN-
DICE INTERNACIONAL DE
RUGOSIDAD.



b) $IS > 4$
IIR 2.0 - 2.5

Figura A3.8

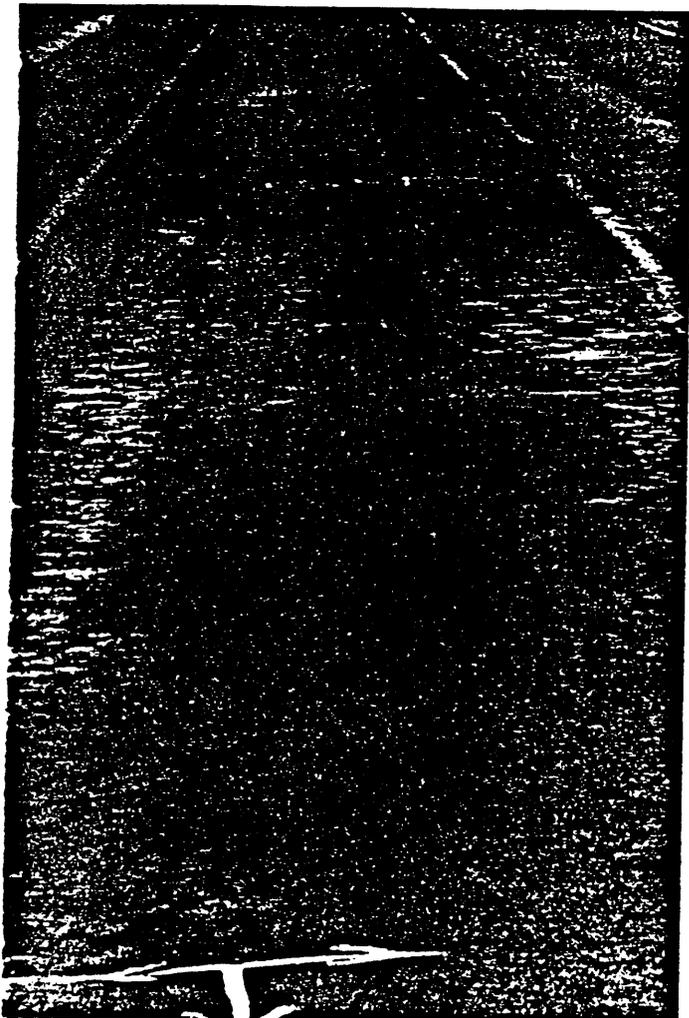
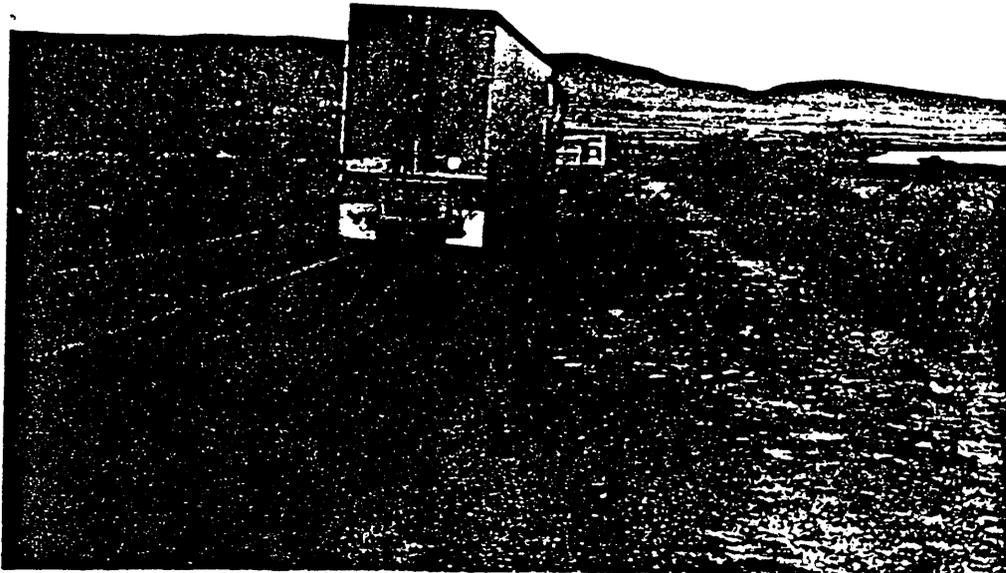
c) IS 3.5 - 4.0
IIR 2.5 - 3.5

ASPECTO DE PAVIMENTOS
CON DIFERENTES RANGOS
DE NIVEL DE SERVICIO E
INDICE INTERNACIONAL DE
RUGOSIDAD.

d) IS 3.0 - 3.5
IIR 3.5 - 5.0



Figura A3.8



e) IS 2.5 - 3.0
IIR 5.0 - 6.0

ASPECTO DE PAVIMENTOS
CON DIFERENTES RANGOS
DE NIVEL DE SERVICIO E
INDICE INTERNACIONAL DE
RUGOSIDAD.

f) IS 2.5 - 3.0
IIR 5.0 - 6.0

Figura A3.8



g) IS 2.0 - 2.5
IIR 6.0 - 7.0

ASPECTO DE PAVIMENTOS
CON DIFERENTES RANGOS
DE NIVEL DE SERVICIO E
INDICE INTERNACIONAL DE
RUGOSIDAD.

h) IS 1.5 - 2.0
IIR 7.0 - 8.5

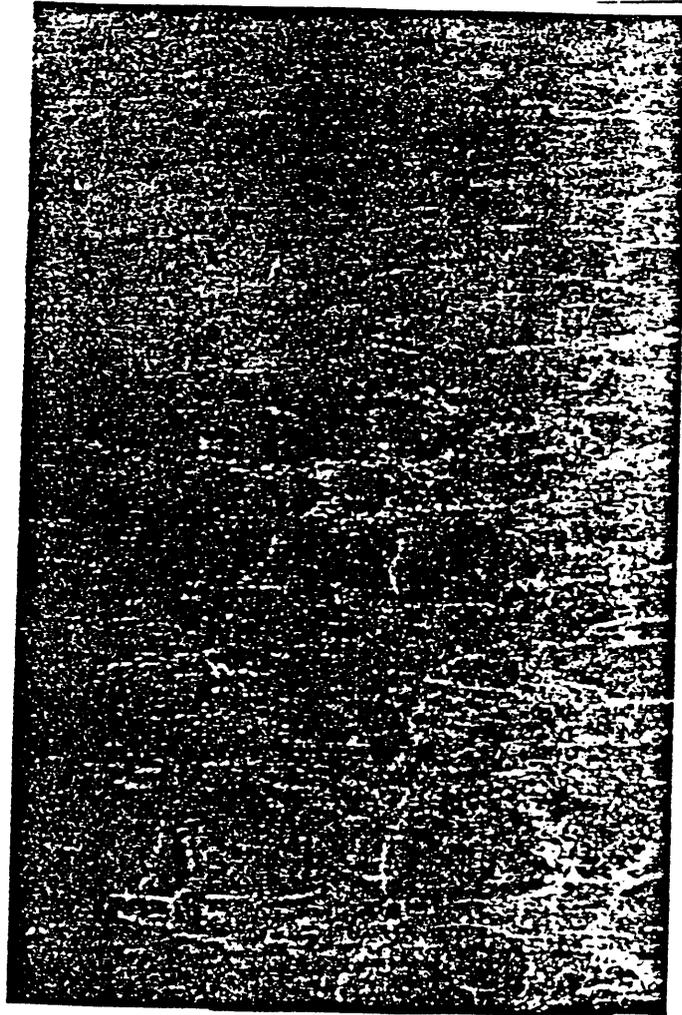
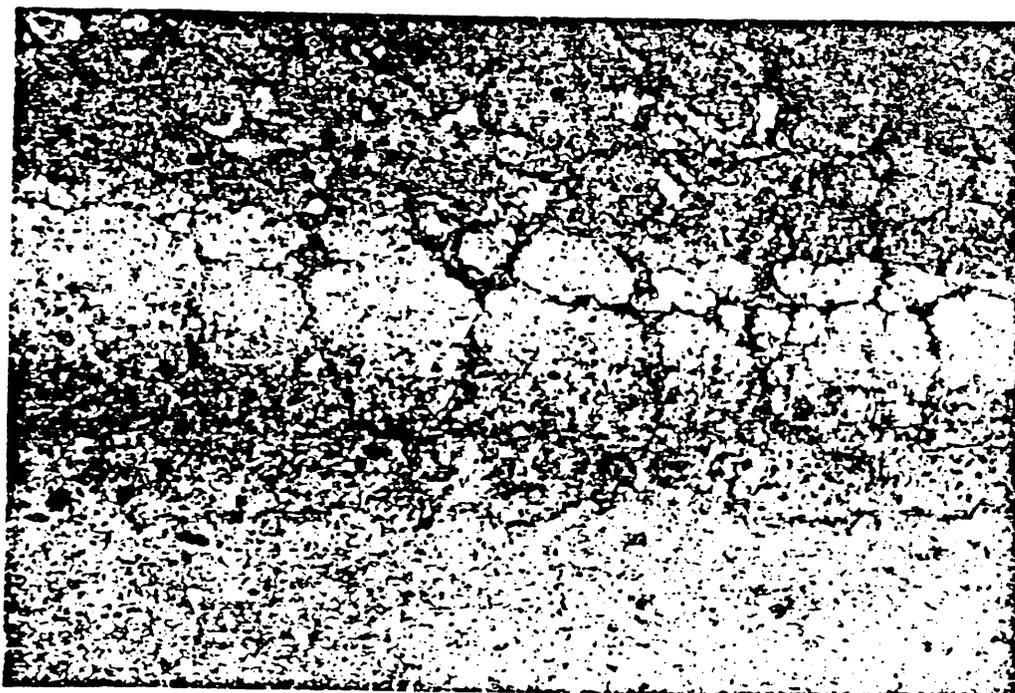


Figura A3.8

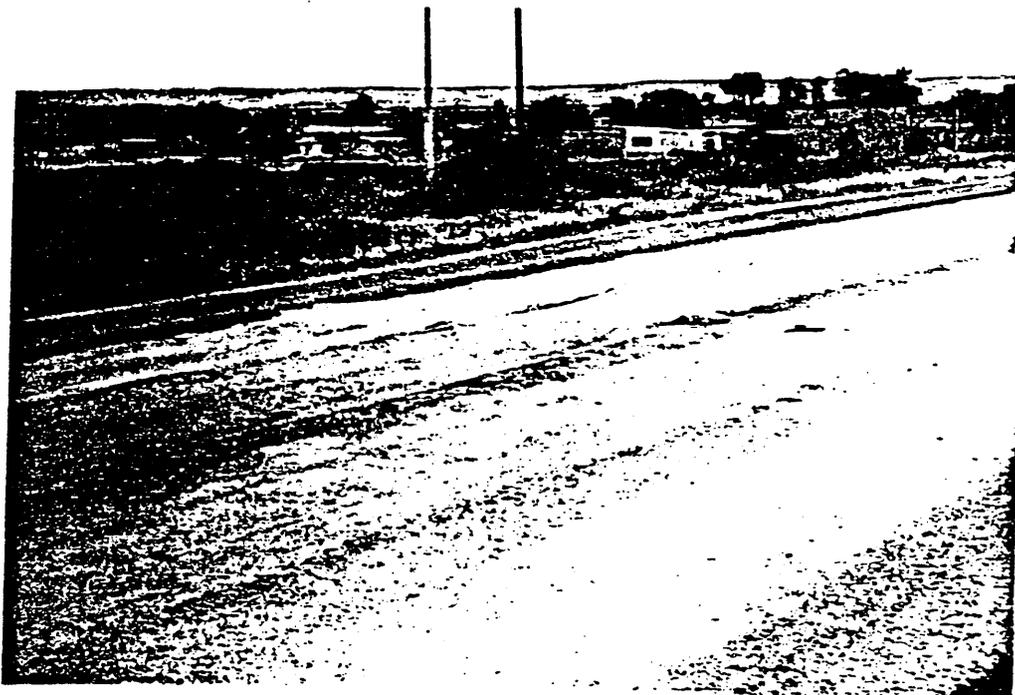


i) IS 1.0 - 1.5
IIR 8.5 - 10.0

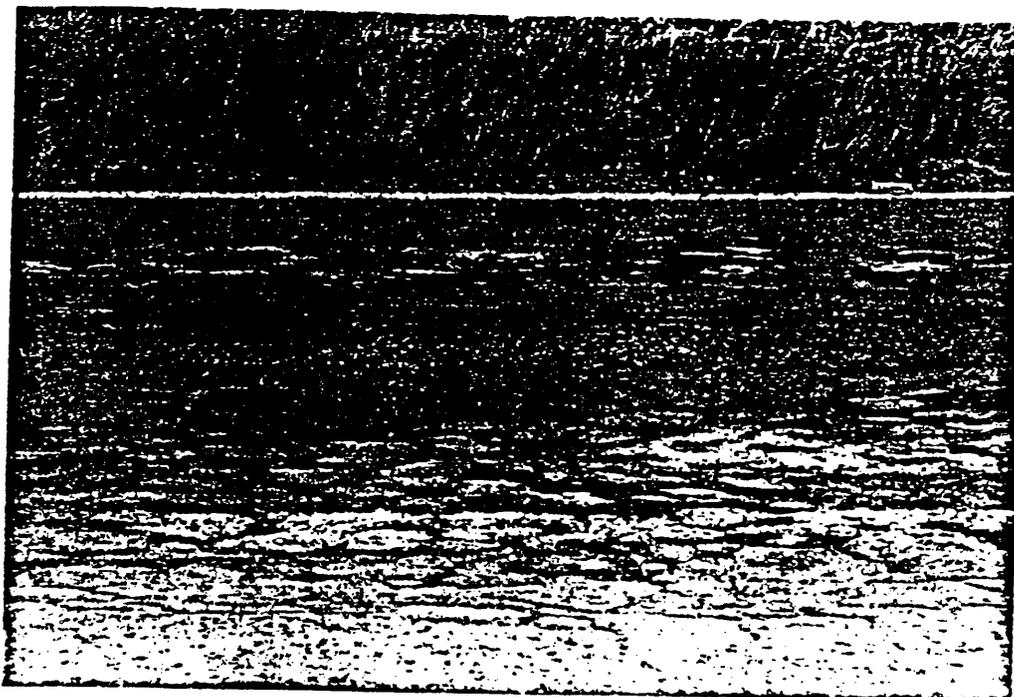


ii) IS 1.0 - 1.5
IIR 8.5 - 10.0

Figura A3.8

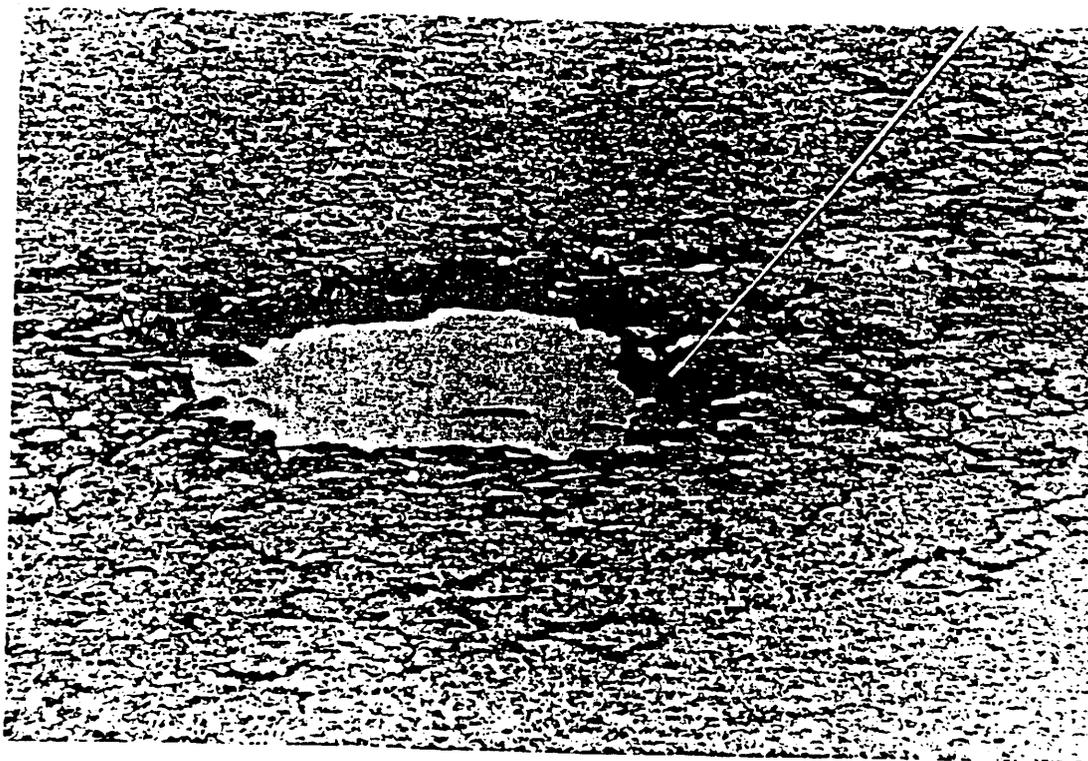


k) IS 0.5 - 1.0
IIR 10.0 - 11.0



l) IS < 0.5
IIR > 12.0

Figura A3.8



m) $IS < 0.5$
 $IIR > 12.0$

ASPECTO DE PAVIMENTOS
CON DIFERENTES RANGOS
DE NIVEL DE SERVICIO E
INDICE INTERNACIONAL DE
RUGOSIDAD.

Figura A3.8

IIR (m/km)	QIm (count/km)	Blr (mm/km)	CP2.5 (0.01 mm)	Wsw	CAPL25	IMr (pulg/mill)	IIR (m/km)
0	0	20	0	0	0	0	0
2		40	20	4	4	100	2
4	40	2000	40	8	8	200	4
6		4000	60	12	12	300	6
8	80	6000	80	20	20	400	8
10		8000	100	28	28	500	10
12	120	10000	120	36	36	600	12
14		12000	140		16	700	14
16	160	14000	160		20	800	16
18		16000				900	18
20	240					1000	20

Nota:
La línea del centro representa el valor estimado y los márgenes izquierdo y derecho con relación a dicha línea representan los límites inferior (15 percentil) y superior (85 percentil) de datos particulares en torno al valor estimado

Notas: Conversiones estimadas sobre datos de "International Road Roughness Experiment", (Sayers, Gillespie and Queiroz, 1986).

IIR Índice Internacional de Rugosidad (Sayers, Gillespie and Paterson, Public. Téc. Banco Mundial #46, 1986).

QIm "Quarter-car Index" de un "Maysmeter" calibrado, Estudio de costos en Carretera, Brasil-PNUD:
IIR= QIm/13 + 0.37 IIR; IIR<17

Blr "Bump Integrator Trailer" a 32 km/h, "Transport and Road Research Laboratory", Inglaterra:
IIR= 0.0032 BLr^0.98+0.31IIR; IIR<17

PC2.5 "Coefficient of planarity" sobre una base de 2.5 m de longitud para un perflómetro APL72 "Centre de Recherches Routiers", Bélgica:
IIR= CP2.5/16 + 0.27 IIR; IIR<11

Wsw Energía de Onda Corta para un perflómetro APL72, "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées", Francia: IIR= 0.78 Wsw^0.63+0.69 IIR; IIR<9

CAPL25 Coeficiente del perflómetro APL25, "Laboratoire Central des Ponts et Chaussées", Francia:
IIR= 0.45k CAPL25 + 16%; IIR<11
Donde k=1 para uso general, k=0.74 para superficies de concreto asfáltico, k=1.11 para tratamiento superficial, con tierra ó grava.

IMr Equivalencia del IIR en pulg/milla, de la simulación de referencia de un "Quarter-car" a 50 mill/h (ver "HSRI-reference" en Gillespie, Sayers and Segel, NCHRP report 228, 1980; y "RARS 80" en Sayers, Gillespie y Queiroz, Public. Téc. del Banco Mundial #45, 1985): IIR= IMr/63.36

Fuente: Adaptación de Paterson, W.D.O. (1987). "Road Deterioration and Maintenance Effects, Model for Planning and Management". The Highway Design and Maintenance Standards Series. pág. 36. The World Bank.

Figura A3.9 CONVERSIONES APROXIMADAS ENTRE LAS PRINCIPALES ESCALAS DE RUGOSIDAD

mayor al 95% de las observaciones e inferior al 5%) en la fórmula siguiente que corresponda, para conocer el valor del índice internacional de rugosidad (IIR), en m/km:

$$\text{IIR (m/km)} = 0.35 \text{ DMR}_3 \quad (\text{A3.1})$$

en donde:

DMR_3 = 95 percentil de las desviaciones máximas bajo una regla de 3 metros de largo;

$$\text{IIR (m/km)} = 0.437 \text{ DMR}_2 \quad (\text{A3.2})$$

en donde:

DMR_2 = 95 percentil de las desviaciones máximas bajo una regla de 2 metros de largo.

Para una solución gráfica del problema puede utilizarse la Figura A3.10.

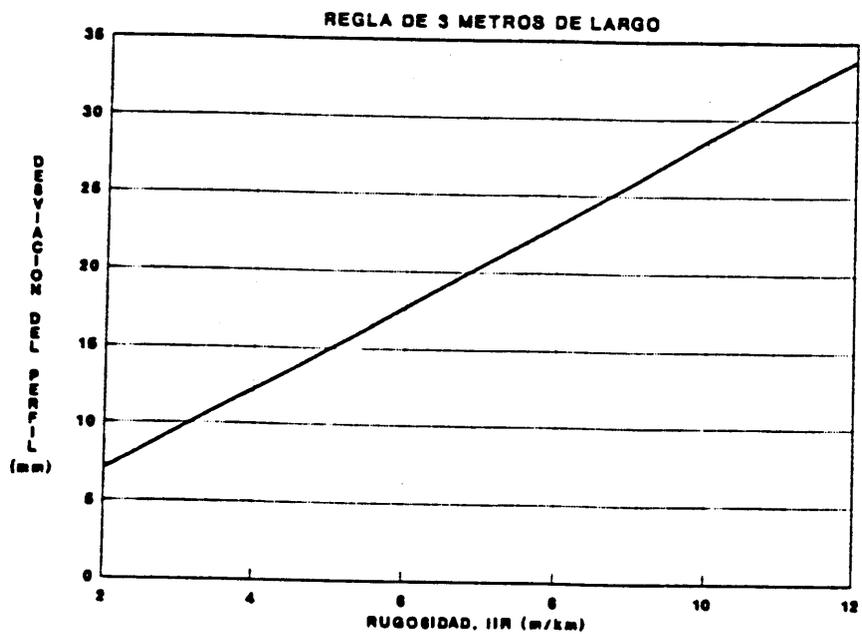
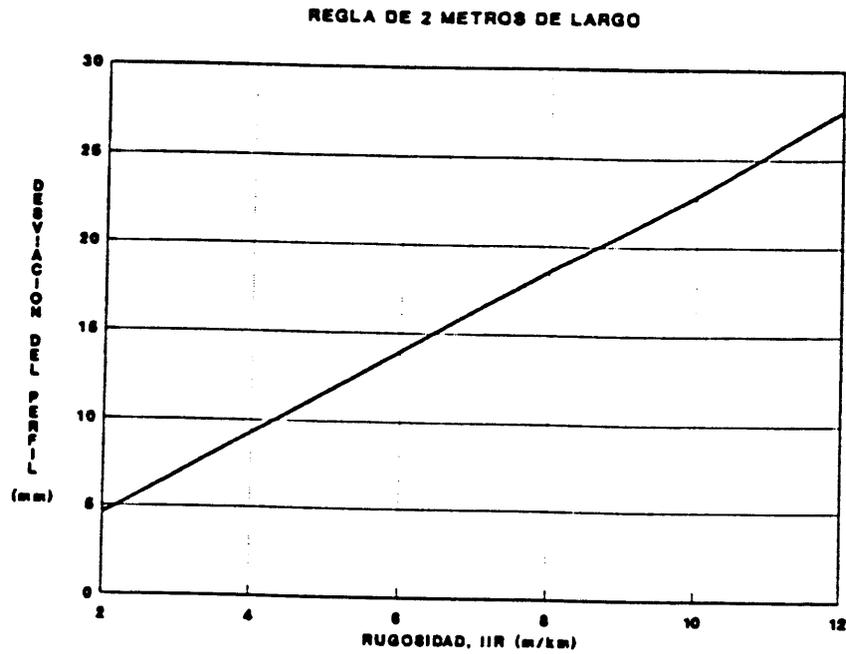
Para reducir errores en la medición de la rugosidad y, por tanto, en la apreciación de costos de operación mediante las gráficas aquí presentadas, se recomienda medir y evaluar tramos homogéneos. Con ello, se reducirán las distorsiones que causaría el uso de grandes promedios de índices de servicio o rugosidad como datos de entrada a las gráficas.

2.2 Gráficas.

El resultado final de los trabajos del I.M.T. en el asunto ahora tratado es un juego de dos gráficas para cada uno de los cinco tipos de vehículos seleccionados: un camión articulado con remolque, un camión mediano de dos ejes, una camioneta de carga o camión ligero, un autobús foráneo y un vehículo ligero (Figuras A3.11 a A3.15).

Las gráficas del primer tipo, en la parte superior de las figuras, muestran la relación entre el estado de la superficie de rodamiento, en términos del índice de servicio y del índice internacional de rugosidad y el costo de operación del vehículo como un factor de su costo de operación base, para tres tipos de terreno: sensiblemente plano (ligeras pendientes y curvas suaves), de lomerío y montañoso. Se incluye como referencia el caso base, correspondiente a un camino recto y plano, con pavimento nuevo.

EQUIVALENCIAS ENTRE LA ESCALA DEL INDICE INTERNACIONAL DE RUGOSIDAD Y DESVIACIONES CON RESPECTO A REGLAS DE 2 Y 3 M. DE LONGITUD.



NOTA: Las desviaciones del perfil corresponden al valor del 95 percentil de las mediciones bajo la regla correspondiente.

Fuente: Adaptación de Paterson, W.D.O.(1987). "Road Deterioration and Maintenance Effects, Models For Planning and Management". The Highway Design and Maintenance Standards Series, pág. 40, The World Bank.

Figura A3.10

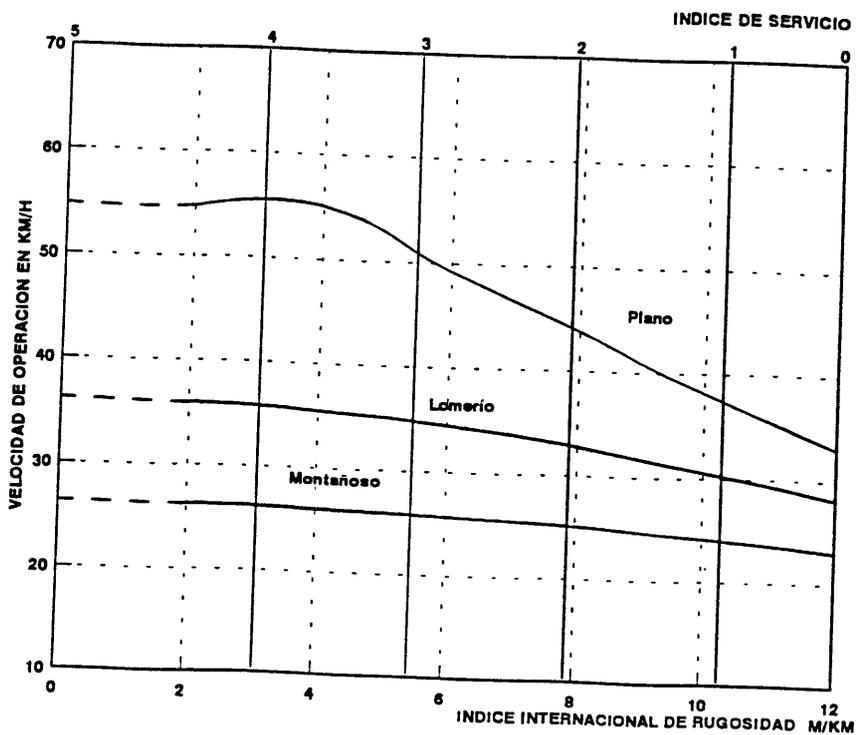
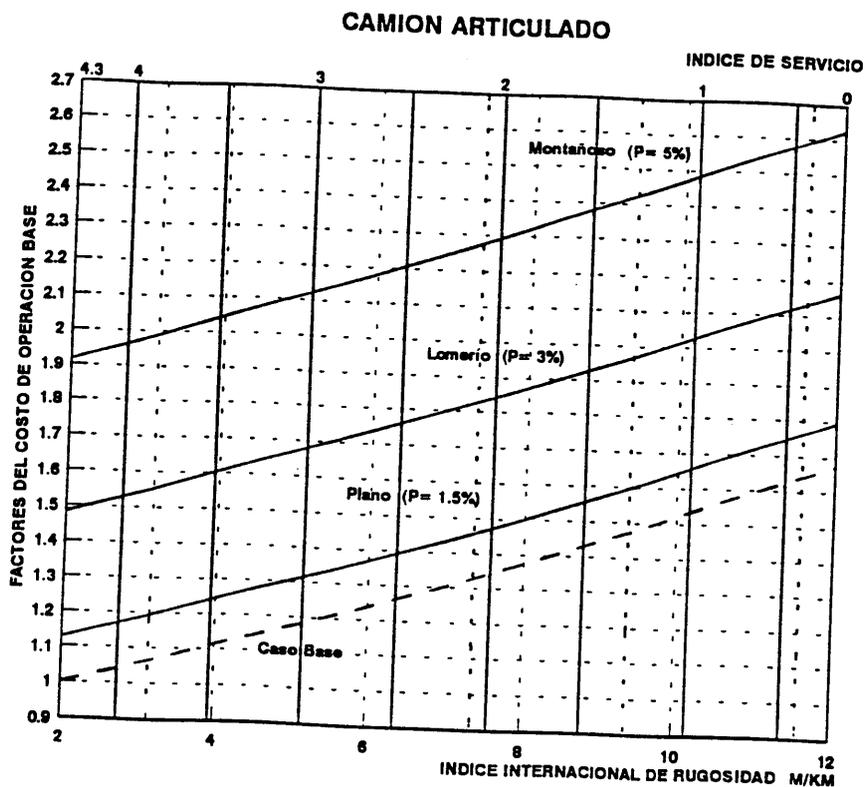


Figura A3.11

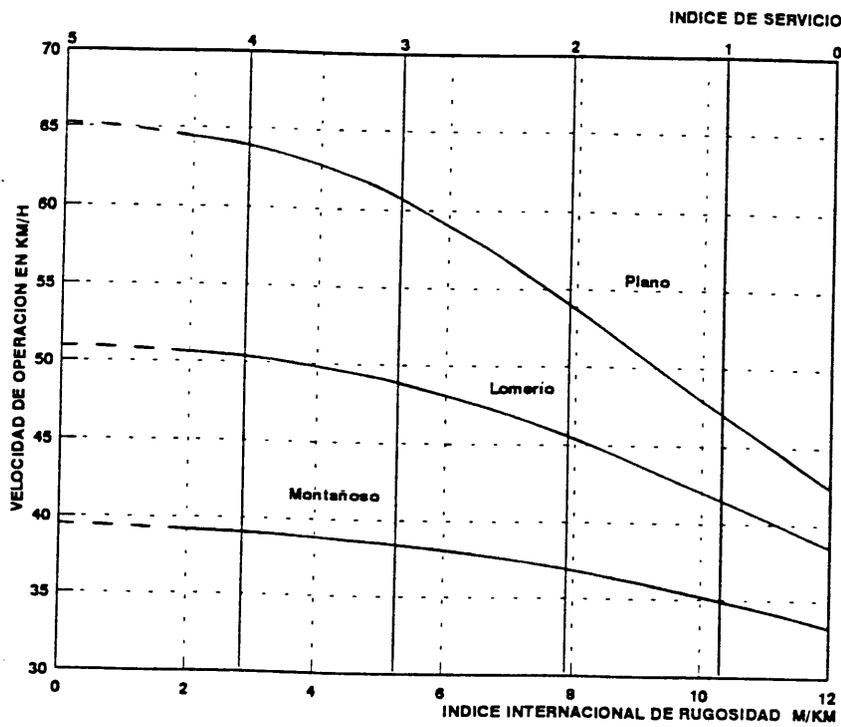
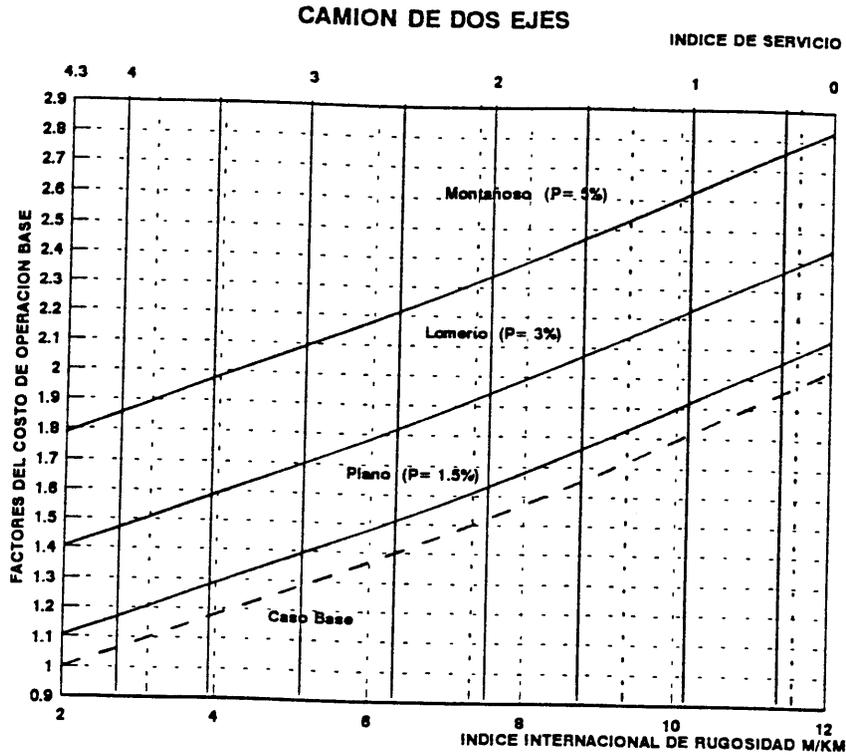


Figura A3.12

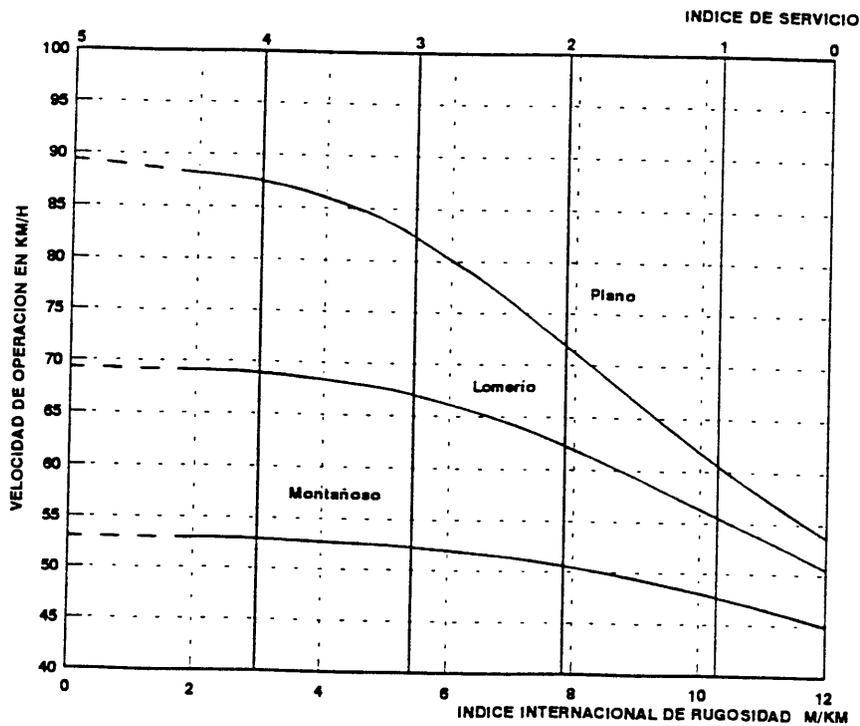
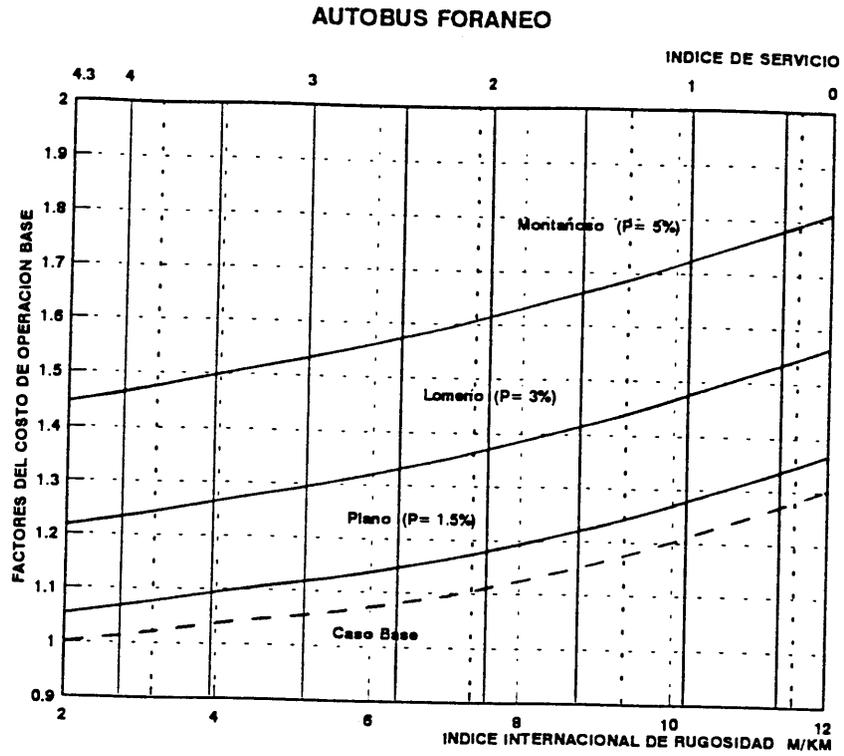


Figura A3.13

CAMION LIGERO

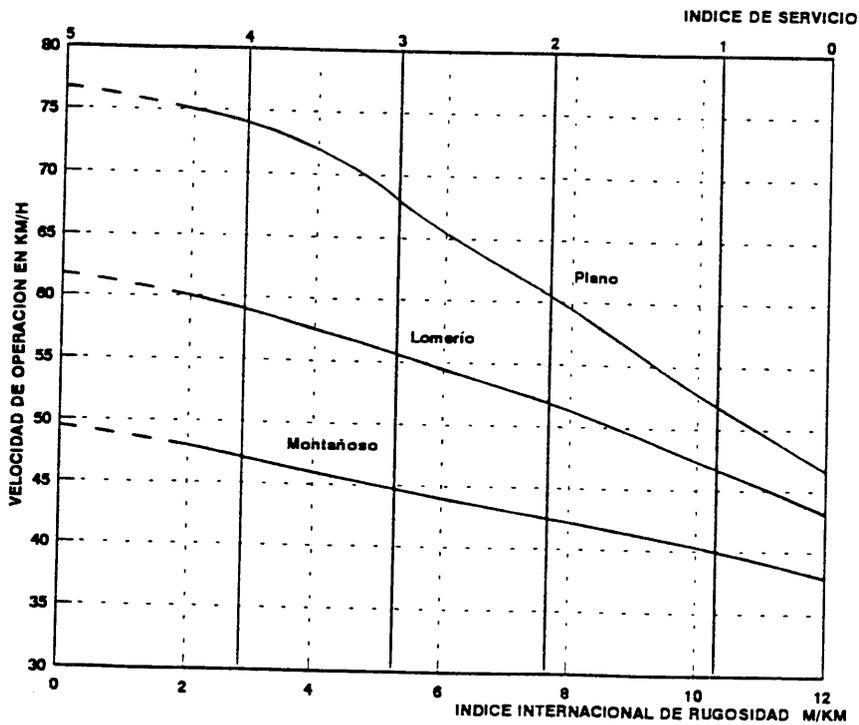
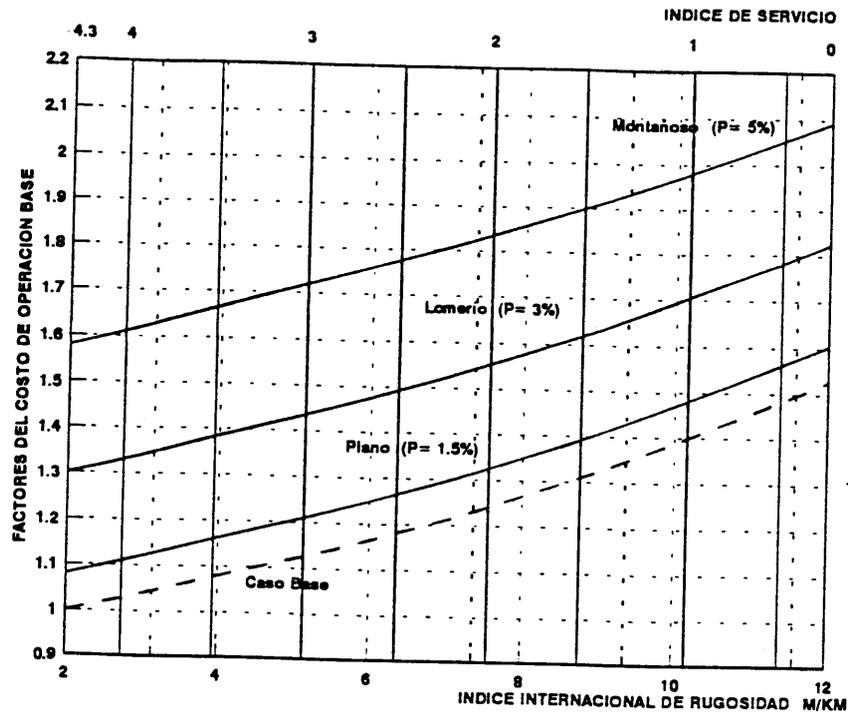


Figura A3.14

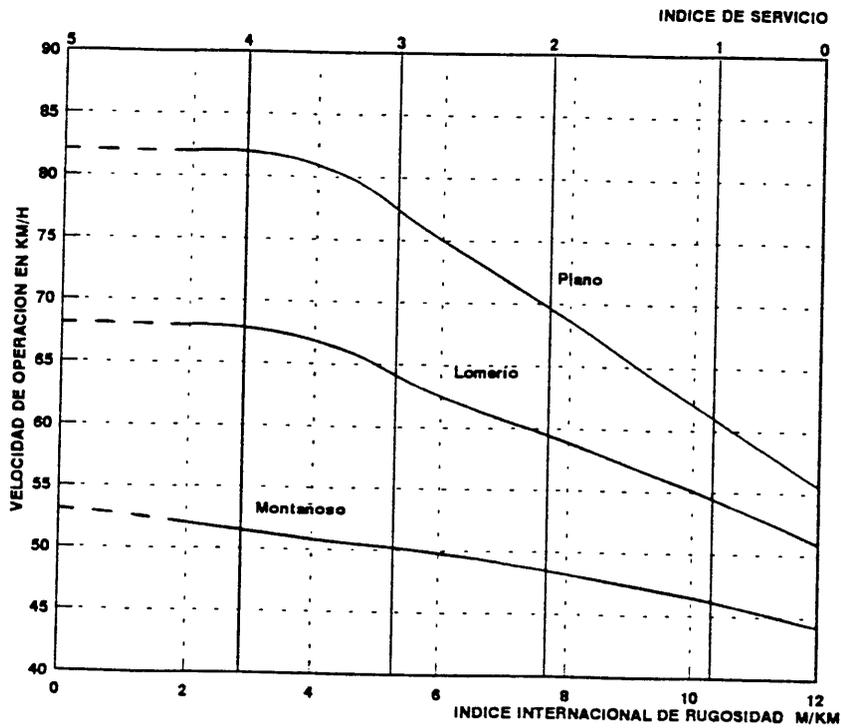
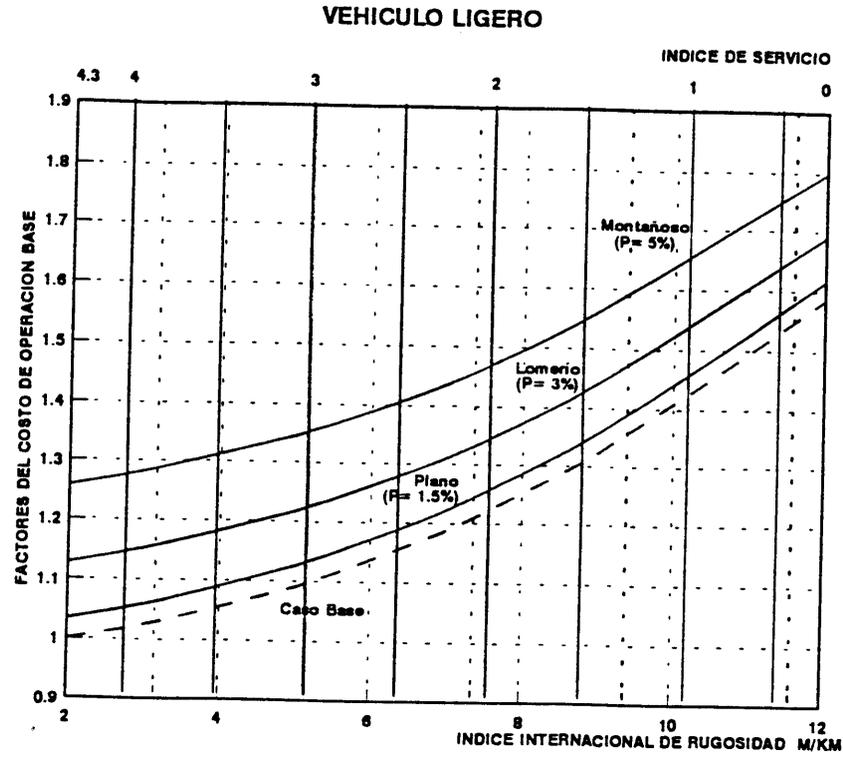


Figura A3.15

Las gráficas del segundo tipo relacionan, para los tres tipos de caminos mencionados, el estado de la superficie de rodamiento en términos del índice de servicio y del índice internacional de rugosidad, con la velocidad e operación típica (correspondiente a una velocidad de "cruce" sobre un camino de un solo carril en cada sentido, sin acotamientos).

Debido a la poca influencia de rugosidades por debajo de un índice internacional de rugosidad de 2 m/km (o por arriba de un índice de servicio de 4.3) tanto en los costos como en las velocidades, dicho rango no se incluyó en la gráfica superior y en la inferior que se presenta en forma punteada con el único fin de mantener presente la tendencia.

En ambas gráficas, las pendientes y curvaturas horizontales que corresponden a cada tipo de terreno son de aproximadamente 1.5% y 200 grados/km respectivamente, para el caso plano; de 3 a 4% y de 300 a 500 grados/km, para terreno de lomerío y más de 5% y 600 grados/km, para terreno montañoso. Al caso base le corresponden pendientes y curvaturas nulas.

De nuevo los estudios que llevaron a la formulación de las gráficas de factores de sobre costo por estado superficial, presentadas inmediatamente atrás, se basan en los realizados por el Banco Mundial en varios países ya mencionados y de nuevo el caso que se consideró más cercano al mexicano fue el de Brasil. La Referencia 21 detalla los datos utilizados y la Referencia 11 la metodología de los estudios realizados por el I.M.T. para adaptar la metodología general, ligeramente revisada, a las características técnicas de los vehículos circulantes por la red mexicana y a los costos unitarios de sus insumos. Se modificaron también los datos relativos a la utilización de los vehículos, en búsqueda una vez más de adaptación a condiciones nacionales.

Las velocidades manejadas corresponden a rugosidades comprendidas entre 2 y 12 m/km, en combinación con pendientes y curvaturas oscilantes entre el trazo totalmente plano y recto, el de terreno sensiblemente plano (aproximadamente 1.5% de pendiente y 200 grados/km de curvatura), de lomerío (de 3 a 4% y de 300 a 500 grados/km) y montañoso (pendiente superior a 5% y curvatura superior a 600 grados/km). Los costos de operación vehicular a que se llegó cubren naturalmente esos mismos rangos.

Conviene decir que todas las gráficas hacen uso de una equivalencia entre los conceptos de índice internacional de rugosidad e índice de servicio, establecida con base en estudios experimentales conducidos en el propio Instituto (Referencia 6), que representan un afinamiento hacia la realidad local de las correlaciones usualmente disponibles a nivel internacional.

Apéndice 4. Sistema de Información Comercial (SECOFI).

Sección I. ANIMALES VIVOS Y PRODUCTOS DEL REINO ANIMAL.

CLAVE	CAPITULO
1.	Animales vivos.
2.	Carnes y despojos comestibles.
3.	Pescados, crustáceos y moluscos y otros invertebrados acuáticos.
4.	Leche y productos lácteos; huevo de ave; miel natural; productos comestibles de origen animal, no expresados ni comprendidos en otras partidas.
5.	Los demás productos de origen animal no expresados ni comprendidos en otras partidas.

Sección II. PRODUCTOS DEL REINO VEGETAL.

CLAVE	CAPITULO
6.	Plantas vivas y productos de la floricultura.
7.	Legumbres y hortalizas, plantas, raíces y tubérculos alimenticios.
8.	Frutos comestibles; cortezas de agrios o de melones.
9.	Café, te yerba mate y especias.
10.	Cereales.
11.	Productos de la molinería; malta, almidón y fécula; inulina; gluten de trigo.
12.	Semillas y frutos oleaginosos, semillas y frutos diversos; plantas industriales o medicinales; paja y forrajes.
13.	Gomas, resinas y demás jugos y extractos.
14.	Materias trenzables y demás productos de origen vegetal no expresados ni comprendidos en otras partes.

Sección III. GRASAS Y ACEITES ANIMALES O VEGETALES; PRODUCTOS DE SU DESDOBLAMIENTO; GRASAS ALIMENTICIAS ELABORADAS; CERAS DE ORIGEN ANIMAL O VEGETAL.

CLAVE

CAPITULO

15. Grasas y aceites animales o vegetales.

Sección IV. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS ALIMENTARIAS; BEBIDAS, LIQUIDOS ALCOHOLICOS Y VINAGRE; TABACO Y SUCEDANEOS DEL TABACO ELABORADOS.

CLAVE

CAPITULO

16. Preparaciones de carne, de pescado o de crustáceos; de moluscos o de otros invertebrados acuáticos.
17. Azúcares y artículos de confitería.
18. Cacao y sus preparaciones.
19. Preparaciones a base de cereales, harina, almidón, fécula o leche; productos de pastelería.
20. Preparaciones de legumbres u hortalizas, de frutos o de otras partes de plantas.
21. Preparaciones alimenticias diversas.
22. Bebidas, líquidos alcohólicos y vinagre.
23. Residuos y desperdicios de las industrias alimentarias; alimentos preparados para animales.
24. Tabaco y sucedáneos del tabaco elaborados.

Sección V. PRODUCTOS MINERALES.

CLAVE

CAPITULO

25. Sal; azufre; tierras y piedras, yesos, cales y cementos.
26. Minerales, escorias y cenizas.

CLAVE

CAPITULO

27. Combustibles minerales, aceites minerales y productos de su destilación; materias bituminosas; ceras minerales.

Sección VI. PRODUCTOS DE LAS INDUSTRIAS QUIMICAS O DE LAS INDUSTRIAS CONEXAS.

CLAVE

CAPITULO

28. Productos químicos inorgánicos; compuestos inorgánicos u orgánicos de los metales preciosos, de los elementos radiactivos, de los metales, de las tierras raras o isótopos.
29. Productos químicos orgánicos.
30. Productos farmacéuticos.
31. Abonos.
32. Extractos curtientes tintóreos, taninos y sus derivados; pigmentos y demás materias colorantes; pinturas y barnices; mástiques; tintas.
33. Aceites esenciales y resinoides; preparados de perfumería, de tocador y de cosmética.
34. Jabones; agentes de superficie orgánicos; preparaciones para lavar; preparaciones lubricantes; ceras artificiales, ceras preparadas; productos de limpieza, velas y artículos similares; pastas para modelar, ceras para odontología y preparaciones para odontología a base de yeso.
35. Materias albuminoideas; productos a base de almidón o de fécula modificados; colas; enzimas.
36. Pólvoras y explosivos; artículos de pirotecnia.
37. Productos fotográficos o cinematográficos.
38. Productos diversos de la industria química.

Sección VII. MATERIAS PLASTICAS Y MANUFACTURAS DE ESTAS MATERIAS; CAUCHO Y MANUFACTURAS DE CAUCHO.

CLAVE

CAPITULO

- 39. Materias plásticas y manufacturas de estas materias.
- 40. Caucho y manufacturas de caucho.

Sección VIII. PIELES, CUEROS, PELETERIA Y MANUFACTURAS DE ESTAS MATERIAS; ARTICULOS DE GUARNICIONERIA O DE TALABARTERIA; ARTICULOS DE VIAJE, BOLSOS DE MANO Y CONTINENTES SIMILARES; MANUFACTURAS DE TRIPA.

CLAVE

CAPITULO

- 41. Pieles (excepto peletería) y cueros.
- 42. Manufacturas de cuero; artículos de guarnicionería y de talabartería; artículos de viaje, bolsos de mano y continentes similares; manufacturas de tripa.
- 43. Peletería confecciones de peletería; peletería artificial o ficticia.

Sección IX. MADERA, CARBON VEGETAL Y MANUFACTURAS DE MADERA; CORCHO Y MANUFACTURAS DE CORCHO; MANUFACTURAS DE ESPARTERIA O DE CESTERIA.

CLAVE

CAPITULO

- 44. Madera, carbón vegetal y manufacturas de madera.
- 45. Corcho y sus manufacturas.
- 46. Manufacturas de espartería o de cestería.

**Sección X. PASTAS DE MADERA O DE OTRAS
MATERIAS FIBROSAS CELULOSICAS;
DESPERDICIOS Y DESECHOS DE PAPEL O
CARTON; PAPEL; CARTON Y SUS
APLICACIONES.**

CLAVE	CAPITULO
47.	Pastas de madera o de otras materias fibrosas celulósicas; desperdicios y desechos de papel o cartón.
48.	Papel y cartón; manufacturas de pasta de celulosa, de papel o cartón.
49.	Productos editoriales, de la prensa o de las otras industrias gráficas; textos manuscritos o mecanografiados y planos.

**Sección XI. MATERIAS TEXTILES Y SUS
MANUFACTURAS.**

CLAVE	CAPITULO
50.	Seda.
51.	Lana y pelo fino u ordinario; hilados y tejidos de crin.
52.	Algodón.
53.	Las demás fibras textiles vegetales; hilados de papel y tejidos de hilados de papel.
54.	Filamentos sintéticos o artificiales.
55.	Fibras sintéticas o artificiales discontinuas.
56.	Guata, fieltro y telas sin tejer; hilados especiales; cordeles cuerdas y cordajes; artículos de cordelería.
57.	Alfombras y demás revestimientos para el suelo, de materias textiles.
58.	Tejidos especiales; superficies textiles con pelo insertado; encajes; tapicería; pasamanería; bordados.
59.	Tejidos impregnados, recubiertos, revestidos o estratificados, artículos técnicos de materias textiles.
60.	Tejidos de punto.
61.	Prendas y complementos de vestir, de punto.
62.	Prendas y complementos de vestir excepto los de punto.

Sección XIV. PERLAS FINAS O CULTIVADAS; PIEDRAS PRECIOSAS Y SEMIPRECIOSAS O SIMILARES; METALES PRECIOSOS; CHAPADOS DE METALES PRECIOSOS Y MANUFACTURAS DE ESTAS MATERIAS; BISUTERIA, MONEDAS.

CLAVE

CAPITULO

71. Perlas finas o cultivadas, piedras preciosas y semipreciosas o similares.

Sección XV. METALES COMUNES Y MANUFACTURAS DE ESTOS METALES.

CLAVE

CAPITULO

72. Fundición, hierro y acero.
73. Manufacturas de fundición, de hierro o de acero.
74. Cobre y manufacturas de cobre.
75. Níquel y manufacturas de níquel.
76. Aluminio y manufacturas de aluminio.
77. (Reservado para una futura utilización en el sistema armonizado).
78. Plomo y manufacturas de plomo.
79. Cinc y manufacturas de cinc.
80. Estaño y manufacturas de estaño.
81. Los demás metales comunes; "Cerments"; manufacturas de estas materias.
82. Herramientas y útiles, artículos de cuchillería y cubiertos de mesa, de metales comunes; partes de estos metales comunes.
83. Manufacturas diversas de metales comunes.

Sección XVI. MAQUINAS Y APARATOS, MATERIAL ELECTRICO Y SUS PARTES; APARATOS DE GRABACION O REPRODUCCION DE IMAGENES Y SONIDOS EN TELEVISION Y LAS PARTES Y ACCESORIOS DE ESTOS APARATOS.

CLAVE	CAPITULO
84.	Reactores nucleares, calderas, máquinas, aparatos y artefactos mecánicos; partes de estas máquinas o aparatos.
85.	Máquinas, aparatos y material eléctrico y sus partes; aparatos de grabación y reproducción de imágenes.

Sección XVII. MATERIAL DE TRANSPORTE.

CLAVE	CAPITULO
86.	Vehículos y material para vías ferréas o similares y sus partes; aparatos mecánicos (incluso electromecánicos) de señalización vías de comunicación.
87.	Vehículos automoviles, tractores, ciclos y demás vehículos terrestres; sus partes y accesorios.
88.	Navegación aérea o espacial.
89.	Navegación marítima o fluvial.

Sección XVIII. INSTRUMENTOS Y APARATOS DE OPTICA, FOTOGRAFIA O CINEMATOGRAFIA, DE MEDIDA, CONTROL PRECISION; INSTRUMENTOS Y APARATOS MEDICO-QUIRURGICOS, RELOJERIA; INSTRUMENTOS DE MUSICA; PARTES Y ACCESORIOS DE ESTOS INSTRUMENTOS O APARATOS.

CLAVE

CAPITULO

90. Instrumentos y aparatos de óptica, fotografía o cinematografía, de medida, control o precisión; instrumentos y aparatos médico-quirúrgicos; sus partes y accesorios de estos instrumentos o aparatos.
91. Relojería.
92. Instrumentos musicales; partes y accesorios de estos instrumentos.

Sección XIX. ARMAS Y MUNICIONES; SUS PARTES Y ACCESORIOS.

CLAVE

CAPITULO

93. Armas y municiones; sus partes y accesorios.

Sección XX. MERCANCIAS Y PRODUCTOS DIVERSOS.

CLAVE

CAPITULO

94. Muebles; mobiliario médico-quirúrgico; artículos de cama y similares; aparatos de alumbrado no expresados ni comprendidos en otras partidas; anuncios, letreros y placas indicadoras; luminosos y artículos similares; construcciones prefabricadas.
95. Juguetes, juegos y artículos para recreo o para deportes; sus partes y accesorios.
96. Manufacturas diversas.

Sección XXI. OBJETOS DE ARTE, DE COLECCION O DE ANTIGÜEDAD.

CLAVE

CAPITULO

- 97. Objetos de arte, de colección o antigüedades.
- 98. Importación de mercancías mediante operaciones de abrigo; importaciones temporales para trabajos de maquila.

Apéndice 5. Consideraciones sobre el Comportamiento de Diferentes Tipos de Vehículos Representativos del Tránsito Nacional en Relación a su Capacidad de Carga y Daño a la Infraestructura (Referencias 23 y 24).

En este apéndice se desea comentar algunos aspectos de importancia para redondear criterios que permitan manejar adecuadamente la conservación de la red carretera. Se refieren a estudios realizados por el Instituto Mexicano del Transporte que están glosados en las Referencias 23 y 24.

En la Referencia 23 se comparan los daños que diversos tipos de vehículos de carga causan a la infraestructura carretera, utilizando el concepto de coeficiente de daño tradicionalmente manejado por los especialistas en capacidad estructural de las propias carreteras. Esta información puede ser útil en el sentido de que en México y quizá en otros muchos lugares circulan vehículos de análoga capacidad de carga pero de arreglos diferentes de trenes de llantas, que causan daños significativamente distintos a la sección estructural de la ruta. Estos análisis podrían resultar útiles para sustentar acciones de aliento a la fabricación y uso de ciertos tipos de vehículos y al desaliento de otros. No se incluye el destalle en este trabajo por considerarse que se trata de un asunto no directamente conectado con la Estrategia Nacional de Conservación propuesta, pero se desea llamar la atención sobre estos estudios porque evidentemente pueden contribuir a la problemática general de la conservación.

La Referencia 24 contiene estudios detallados que también proporcionan información adecuada para la formulación de criterios de conservación y para la formulación de los necesarios Reglamentos que en todas partes regulan los pesos que se aceptan en las redes nacionales. El Estudio origen de estos análisis es el propuesto por el Instituto Mexicano del Transporte y realizado por el mismo y por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Subsecretaría de Infraestructura; Dirección General de Proyectos, Servicios Técnicos y Concesiones). Este estudio, ya fue mencionado en este trabajo con el nombre de Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos de Carga Circulantes.

En el análisis al que ahora se hace referencia se consideraron los vehículos de carga siguientes (con mucho, los más frecuentes en el flujo vehicular mexicano):

- C2: camión de dos ejes, con eje trasero dual.
- C3: camión de tres ejes, con arreglo trasero de tandem de dos ejes.
- T3-S2: camión articulado con tractor de tres ejes (dos en tandem trasero) y remolque de dos ejes en tandem trasero.
- T3-S3: camión articulado con tractor de tres ejes (dos en tandem trasero) y remolque de tres ejes en arreglo triple trasero.
- T3-S2-R4: camión articulado con tractor de tres ejes (dos en tandem trasero), un remolque de dos ejes en tandem trasero y un segundo remolque con cuatro ejes en 2 arreglos en tandem.

La Figura A5.1 resume las conclusiones a que llegaron los cálculos del Instituto Mexicano del Transporte en lo referente a daños que causan a la infraestructura carretera, los vehículos de los tipos mencionados cuando transitan con diferentes cargas. Los estudios que sustentan la información presentada han sido realizados tanto en campo como en gabinete.

En el eje horizontal figura el peso bruto vehicular hasta límites realmente medidos y en el eje vertical se ven los costos emanantes del daño a la infraestructura por tonelada-kilómetro de carga transportada. La gráfica debe leerse teniendo en cuenta la Tabla A5.1 que en su primera columna da los pesos vehiculares máximos permitidos por los Reglamentos Mexicanos de Pesos y Dimensiones establecidos en 1980 y 1994. La propia tabla explica en las columnas (2) y (3), la situación realmente encontrada en el campo, en donde en ocasiones se detectaron vehículos sobrecargados (la columna (2) proporciona el valor promedio encontrado en los vehículos que circularon sobrecargados y la columna (3) proporciona el valor máximo registrado). El significado de la columna (4) se discutirá más adelante.

La Figura A5.1 permite verificar desde otro punto de vista, la eficiencia comparativa que puede existir entre diferentes arreglos vehiculares en cuanto al daño sobre la infraestructura carretera. Ahora el sentido de la reflexión será completamente diferente al comentado en relación al trabajo incluido en la Referencia 23. Lo que ahora quiere decirse es que si se desean transportar, por ejemplo, un número de toneladas que llene

COSTOS DE DETERIORO CARRETERO PARA DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS

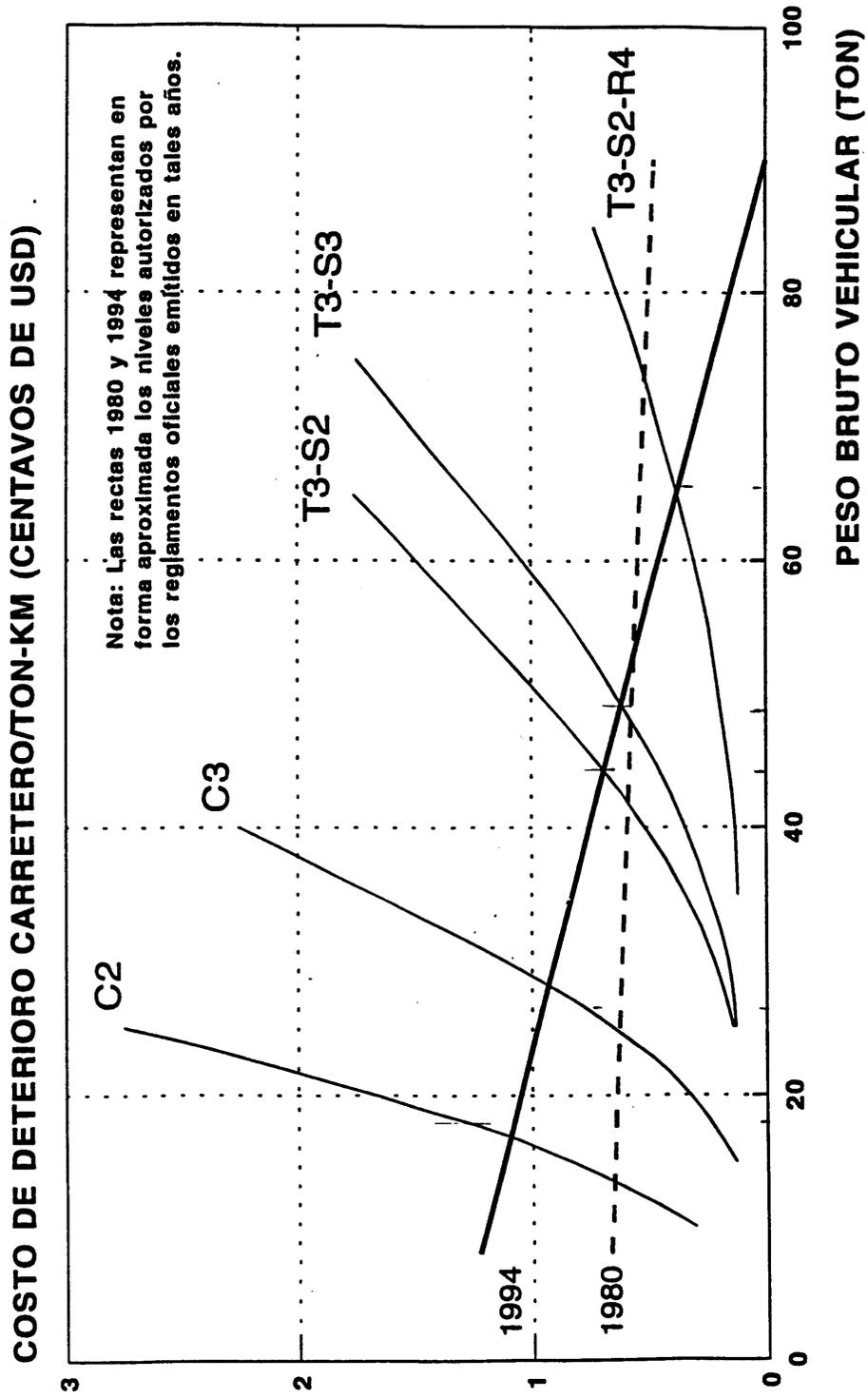


Figura A5.1

Tabla A5.1 PESOS MAXIMOS PERMITIDOS, PESOS PROMEDIO DE LOS VEHICULOS SOBRECARGADOS, PESOS MAXIMOS REGISTRADOS Y PESOS QUE MINIMIZAN EL COSTO TOTAL/TON-KM PARA CADA TIPO DE VEHICULO.

TIPO DE VEHICULO	PBV MAXIMO PERMITIDO (TON)		PBV PROMEDIO DE VEHICULOS SOBRECARGADOS (TON)	PBV MAXIMO REGISTRADO (TON)	PBV QUE MINIMIZA EL COSTO TOTAL/TON-KM (TON)
	1980	1994			
C2	15.5	17.5	23	24	20
C3	23.5	26.0	28	36	30
T3-S2	41.5	44.0	49	60	50
T3-S3	46.0	48.5	59	72	60
T3-S2-R4	77.5	65.5	79	84	90

Notas:

PBV = Peso Bruto Vehicular

un arreglo T3-S2-R4 y se transporta con ese vehículo, se hará un daño a la infraestructura varias veces menor que si la misma carga se transportase en varios viajes de un vehículo tipo C2, conclusión que resulta obvia desde varios puntos de vista, pero que incluye una idea muy clara de las ventajas del transporte organizado, en plan empresarial moderno, en relación al transporte individualizado. La diferencia citada es extrema, pero aún para el vehículo C3, el costo de reparar los daños es del orden del doble del que corresponde a la utilización de un arreglo T3-S2-R4.

La Figura A5.2 incluye otro conjunto de información útil. En ella se grafica el costo de operación vehicular versus el peso bruto vehicular de los mismos cinco tipos de arreglo a que se ha venido haciendo referencia. La figura se explica por si misma, pero hace ver la importancia de organizar el transporte para evitar tránsito en vacío o con vehículos no totalmente ocupados y vuelve a resaltar la eficiencia de un transporte bien agrupado que utilice vehículos capaces de aprovechar economías de escala. Destaca en esta figura el buen balance del Reglamento Mexicano de Pesos promulgado en 1980, que se modificó en 1994 aún con mejor balance; en ambos casos, las líneas indicadas demuestran que los pesos tolerados conducen a costos operativos muy bien ponderados para todos los vehículos. La Figura A5.2 explica la tendencia de los transportistas mexicanos a aumentar en lo posible la carga, minimizando el costo operativo.

La Figura A5.3 reúne algunos resultados de las dos anteriores, al presentar para cada tipo de vehículo de los considerados una curva en que se muestra el costo total de transporte, obtenido sumando el costo del daño a la infraestructura con el de operación vehicular. Nótese la tendencia de dicha suma a presentar un mínimo que, en principio proporcionaría el nivel de peso bruto más favorable para cada arreglo vehicular. Evidentemente, éste no puede ser el único criterio a considerar para fijar en un reglamento el peso total permitido para cada tipo de vehículo, puesto que algunas circunstancias importantes no están incluidas en el análisis (por ejemplo, el acelerado deterioro de los vehículos cuando son sobrecargados sistemáticamente y el sobrecosto que ésto representa).

Desde el punto de vista de la conservación, también habrá que razonar con la máxima cautela antes de permitir pesos brutos vehiculares

COSTOS DE OPERACION VEHICULAR PARA DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS

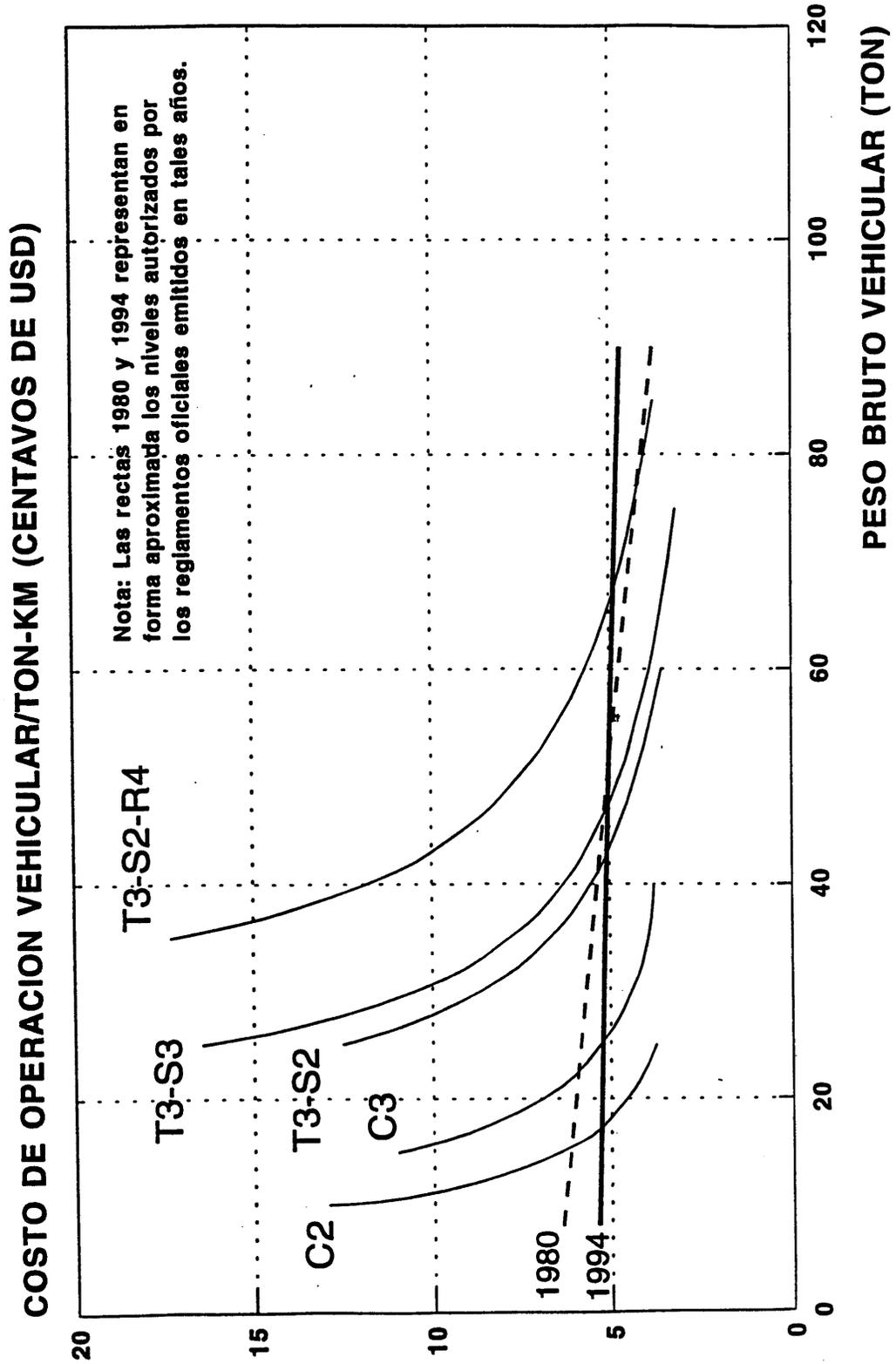


Figura A5.2

COSTOS TOTALES DE TRANSPORTE PARA DIFERENTES TIPOS DE VEHICULOS (DAÑO A INFRAESTRUCTURA Y OPERACION VEHICULAR)

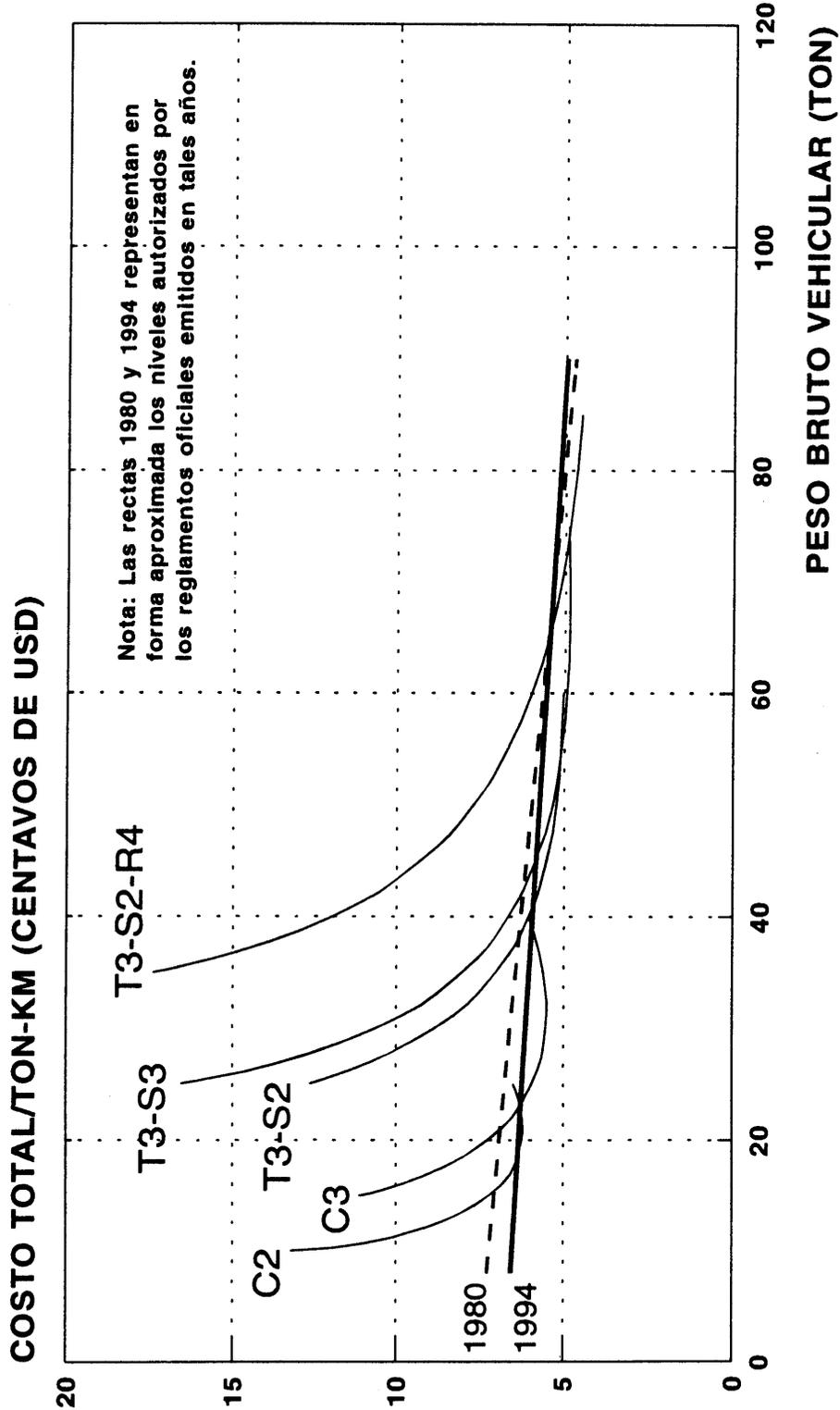


Figura A5.3

elevados (por ejemplo, en el caso de México, mayores que los especificados en los reglamentos en vigor). Ello, porque una cosa es la relación teórica óptima entre el costo de operación del transporte y el costo del daño a la infraestructura y otra diferente es el hecho de que para llegar a esa relación teóricamente óptima, representada por los mínimos en la Figura A5.3, habría que aceptar pesos brutos vehiculares mayores que los actuales, que inducirían obviamente mayores daños que los que hoy se producen, lo que produciría en muchos países un deterioro generalizado de la red carretera, habida cuenta que en ellos los recursos destinados a la conservación carretera son hoy escasos y difícilmente convertibles en lo necesario para caer dentro de esos óptimos teóricos señalados.

Lo que los estudios anteriores señalan y eso debe considerarse dentro de la filosofía de la conservación, es que un determinado incremento en la capacidad estructural de las redes carreteras nacionales, todavía podría tener una repercusión favorable en los costos totales nacionales ligados al transporte.

De hecho, hacen ver los estudios que se reseñan que para los 5 tipos de vehículos analizados, el Reglamento Mexicano de 1980 permite pesos brutos vehiculares que realmente son muy cercanos a los valores que minimizan los costos totales. Ello indica que la conveniencia de orientar los trabajos de conservación al logro de capacidades estructurales crecientes no implica márgenes demasiado grandes y está principalmente ligada al previsible desarrollo futuro del tránsito, con sus efectos de fatiga y deformación acumulada.

En un importante estudio realizado para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Referencia 25), se utilizó la información de campo proveniente del Estudio de Pesos y Dimensiones, ya varias veces mencionado, para establecer lo que podría considerarse una verdadera metodología razonable para estimar el efecto de la modificación de un reglamento de pesos vehiculares existente en un país (México), en el costo del transporte. El criterio utilizado en este excelente trabajo es el de establecer con base en información proveniente de campo, el porcentaje de vehículos de carga sobrecargados de cada tipo, calculando el valor de esa sobrecarga; después, supuesto que todos los vehículos que ahora van sobrecargados según el nuevo reglamento, no lo irán tras su implantación, calcular el número de viajes extra que

ello produciría y valorar ese costo (téngase en cuenta que en el Estudio de Pesos y Dimensiones que se lleva a cabo en México se llega a conocer el recorrido de cada vehículo encuestado en distancia).

Ese costo en el transporte se compara con el efecto de las cargas consideradas en el nuevo reglamento sobre la infraestructura. En cualquier caso real, en un país en vías de desarrollo, es probable que las cargas del nuevo reglamento resulten en menores daños sobre las carreteras, pero cualquier aumento en el número de viajes tendrá un efecto contrario. En el trabajo referido, realizado para la situación mexicana, se proporcionan elementos para la valuación de ambos efectos, con el resultado por demás previsible de que la disminución de cargas resulta favorable para la infraestructura carretera si bien trae un aumento del costo general de transporte por incremento en el número de viajes. El balance de estos conceptos para un caso particular dado, definirá una política consistente.

En el estudio referido se va más adelante en el análisis, estudiando el efecto del incremento en el costo del transporte que se acepta, como consecuencia del balance anterior, en el costo a los usuarios, en los efectos inflacionarios y demás factores económicos.

Todo lo anterior es un excelente ejemplo de los beneficios derivados de un estudio de pesos y dimensiones como el comentado.

Una reflexión final en torno al funcionamiento de un reglamento de pesos y dimensiones del tipo al que se ha hecho referencia en este apéndice es la cuestión del control de su cumplimiento en el campo, cuya importancia es evidente.

La práctica internacional suele inclinarse hacia la instalación de una serie de estaciones permanentes de control que incluyen lo necesario para pesaje y medición, deteniendo a todos o a muestras estadísticas de los vehículos circulantes. Para una red carretera de importancia, el número de estas estaciones resulta elevado y su instalación costosa. El pesaje puede hacerse por procedimientos automáticos que no necesariamente impliquen la detención del vehículo; la medición sigue requiriendo la detención.

Aparte de su costo, la instalación fija de estas estaciones de control ha sido criticada en el sentido de que pudiera propiciar desviaciones de tránsito fuera de reglamento, para evitarlas. Adicionalmente, se han mencionado otros hechos negativos relacionados con su funcionamiento.

El estudio de campo denominado en este trabajo "de Pesos y Dimensiones", al que se ha hecho abundante referencia, pudiera proporcionar una alternativa interesante para establecer el control del reglamento que se comenta. En primer lugar, las estaciones que se instalan para el estudio (más de una veintena cada año en el caso de México) actúan durante una semana cada una y en puntos aleatoriamente seleccionados de la red que, naturalmente, varían de continuo. En el caso de México, las labores de encuesta son realizadas usualmente por jóvenes estudiantes de enseñanza media o media superior (obviamente con respaldo de la autoridad), que es un personal entusiasta y confiable en todos sentidos. La instalación temporal y aleatoria no permite la organización de recorridos de evasión por parte de quien está dispuesto a transgredir el reglamento. El número de estaciones no es muy alto desde el punto de vista de un criterio de control rígido, pero seguramente pudiera bastar al paso de los años. En todo caso representa un control honesto y probablemente con presencia suficiente para cubrir sus fines.

Referencias

1. *Definición de Mecanismos Financieros y Operativos para Modernizar la Conservación de la Red de Carreteras Federales*. Estudio realizado por A. F. H. Consultores y Asociados, S. C., para el Instituto Mexicano del Transporte. (Este estudio contó con amplia colaboración directriz de varios elementos del propio Instituto Mexicano del Transporte). Querétaro, Qro., México, 1993 y 1994.
2. Rico R, Alfonso; Contribución al "Seminario Internacional sobre Administración de Pavimentos"; International Road Federation; Cartagena, Colombia; 1983.
3. Rico R, Alfonso; *"Metodología Mexicana para la Conservación de Carreteras"*; Xº Congreso Internacional de la International Road Federation; Río de Janeiro, Brasil; Octubre, 1984.
4. Rico R, Alfonso; *"Metodología Mexicana para la Evaluación de Carreteras"*; Xº Congreso Internacional de la International Road Federation; Río de Janeiro, Brasil; Octubre, 1984.
5. Rico R, Alfonso; *"Metodología Mexicana para la Evaluación de Pavimentos"*; Congreso Internacional de PIARC; Ciudad de México, México; 1985.
6. Rico R, Alfonso; Orozco O, Juan M; et al; *Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP). Primera Fase*; Instituto Mexicano del Transporte; Documento Técnico Núm. 3; Querétaro, México; 1990.
7. Backoff P, Miguel A y García O, Gabriela; *Módulo Geográfico del Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP)*; Universidad Autónoma de Querétaro; Revista Investigación No. 5; Querétaro, México; 1993.
8. Solorio M, Ricardo; Aguerrebere S, Roberto; et al; *Módulo Económico del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP)*; Instituto Mexicano del Transporte; Documento Técnico Núm. 9; Querétaro, México; 1994.

9. Aguerrebere S, Roberto; Durán H, Gandhi; et al; *Módulo Económico del Sistema Mexicano de Administración de la Sección Estructural de las Carreteras. Bases Conceptuales*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica en Edición; Querétaro, México; 1994.
10. Aguerrebere S, Roberto y Cepeda N, Fernando; *Elementos de Proyecto y Costos de Operación en Carreteras*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica Núm. 20; Querétaro, México; 1991.
11. Aguerrebere S, Roberto y Cepeda N, Fernando; *Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica Núm. 30; Querétaro, México; 1991.
12. Arredondo O, Ricardo; *La Importancia Económica de las Principales Carreteras como Criterio para Jerarquizar su Conservación*; Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería; Universidad Autónoma de Querétaro; Querétaro, México; 1993.
13. Rico R, Alfonso; De Buen R, Oscar; et al; *Metodología para el Análisis de Corredores de Transporte de Carga*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica Núm. 13; Querétaro, México; 1990.
14. Schliessler, Andreas y Bull, Alberto; *Caminos: Un Nuevo Enfoque para la Gestión y Conservación de Redes Viales*; CEPAL; Santiago de Chile, Chile; 1992.
15. Madelin, K; *Maintenance by Private Contractor or Direct Labour*; Roads Núm. 282; AIPCR; Paris, Francia; 1994.
16. Rico R, Alfonso; Orozco O, Juan M; et al; *Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP). Manual del Usuario*; Instituto Mexicano del Transporte; Documento Técnico Núm. 5; Querétaro, México; 1990.

17. Rico R, Alfonso; Téllez G, Rodolfo; et al; *Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP). Manual Operativo de Campo*; Instituto Mexicano del Transporte; Documento Técnico Núm. 4; Querétaro, México; 1990.
18. Chesher, A y Harrison, R; *Vehicle Operating Cost. Evidence from Developing Countries*; The Highway Design and Maintenance Standards Series; The World Bank; Washington, D.C; EUA; 1987.
19. Watanatada, T; Harral, C.G; et al; *The Highway Design and Maintenance Standard Model. Volume 1. Description og the HDM-III Model*; The Highway Design and Maintenance Standard Series; The World Bank; Washington, D.C; EUA; 1987.
20. Bein, P; *Adapting HDM-III User Cost Model to Saskatchewan Pavement Management Information System*; Transportation Research Record 1229; Transportation Research Board; Washington, D.C; EUA; 1989.
21. Archondo Callao, R; *Vehicle Operating Cost Model. Version 3*; The Highway Design and Maintenance Standards Series; The Wold Bank; Washington, D.C; EUA; 1989.
22. Paterson, W. D. O; *Road Deterioration and Maintenance Effects. Models for Planning and Management*; The Highway Design and Maintenance Standards Series; The World Bank; Washington, D.C; EUA; 1987. También: John Hopkins University Press. Baltimore; EUA; 1987.
23. Rico R, Alfonso; Orozco O, Juan M; et al; *Análisis de los Coeficientes de Daño Unitario Correspondientes a los Vehículos Autorizados en la Red Nacional de Carreteras Mexicanas*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica Núm. 5; Querétaro, México; 1988.

24. Mendoza D, Alberto y Gutiérrez H, José L; *Análisis Económico de los Efectos del Peso de los Vehículos de Carga Autorizados en la Red Nacional de Carreteras*; Instituto Mexicano del Transporte; Publicación Técnica en Edición; Querétaro, México.
25. *Impacto en los Precios al Consumidor de un Reglamento sobre Pesos, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos de Jurisdicción Federal*; Estudio realizado por Moreno Bonett y Asociados, S.C. para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; Ciudad de México, México; Julio de 1993.