



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

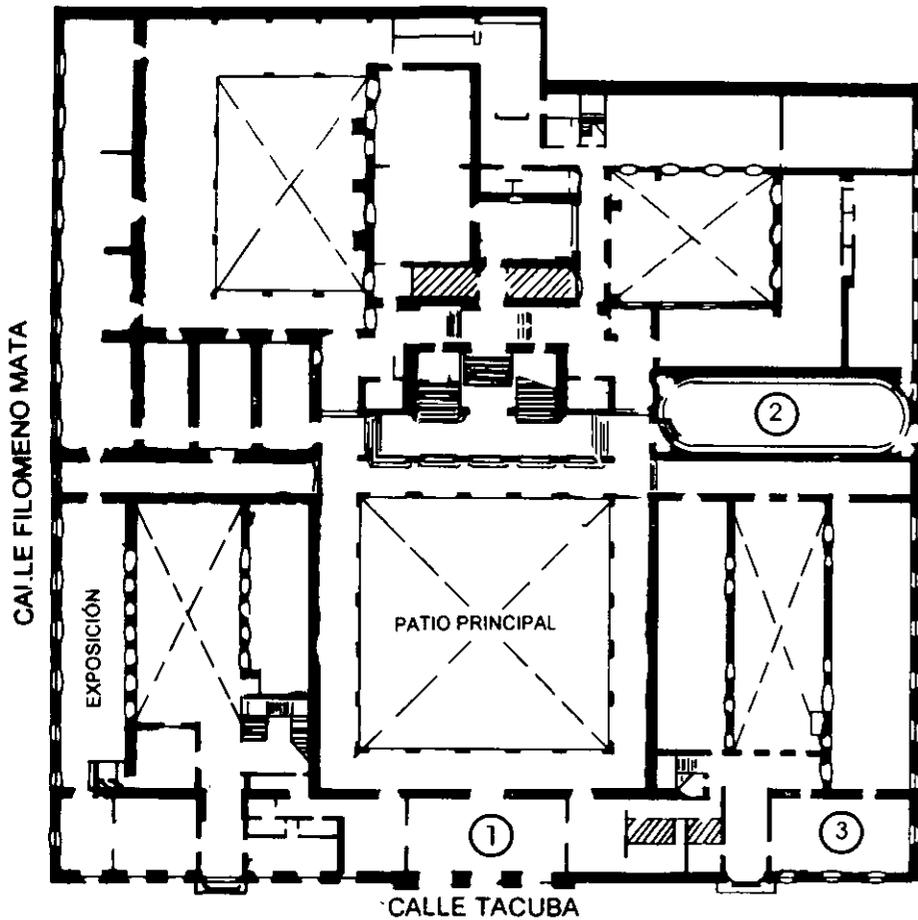
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

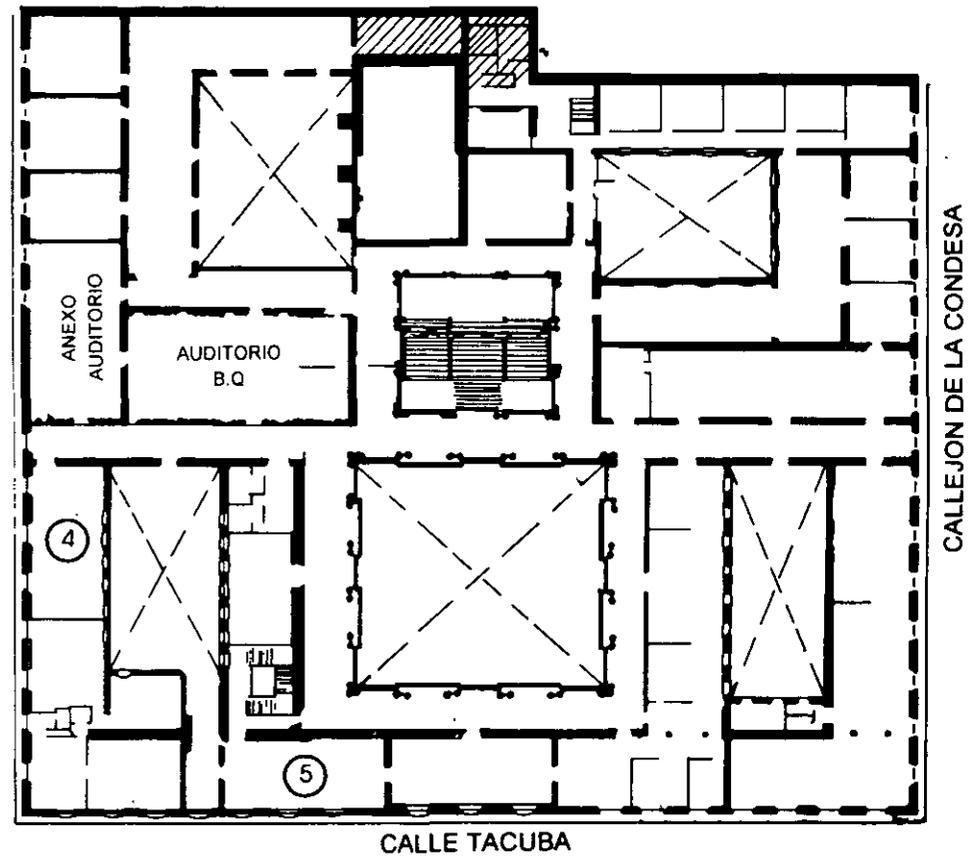
Atentamente

División de Educación Continua.

PALACIO DE MINERIA

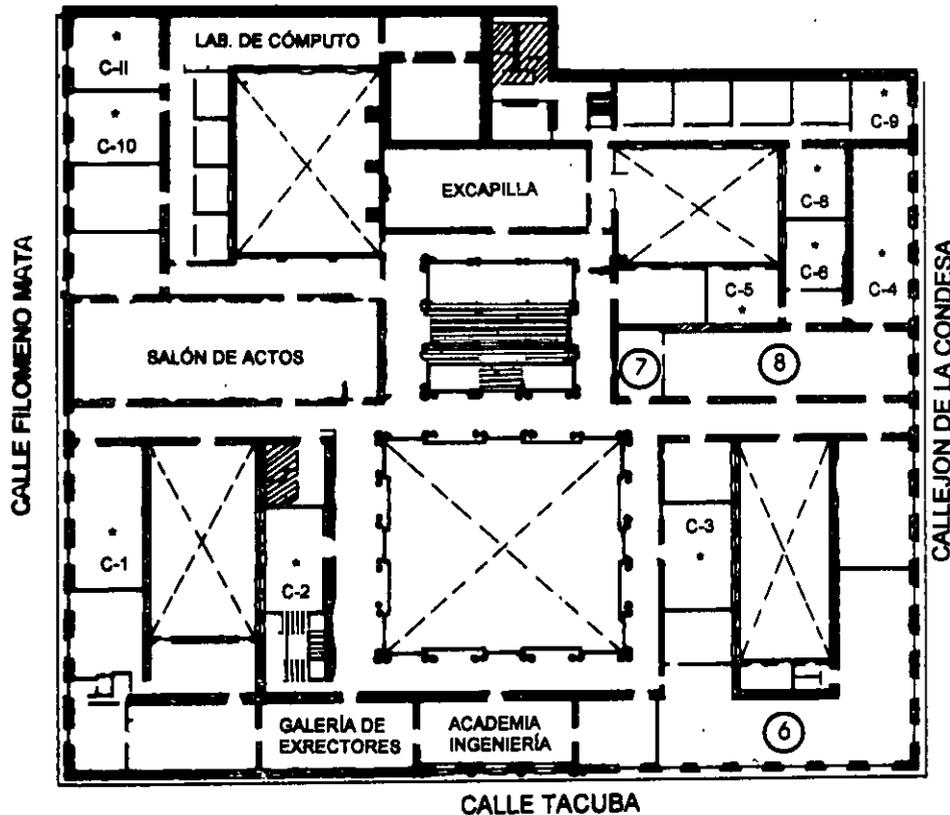


PLANTA BAJA



MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



1er. PISO

GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
 2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
 3. LIBRERÍA UNAM
 4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
 5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
 6. OFICINAS GENERALES
 7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
 8. SALA DE DESCANSO
- SANITARIOS
- * AULAS



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA





FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

INTRODUCCIÓN

*Carpetas completas
clave: CA131/92
19-6-92
m a r y*

BO SANTOYO
CIO DE MINERÍA
JUNIO 1998

División de Educación Continua-Facultad de Ingeniería-UNAM
DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE CARRETERAS
 (200 horas)

Módulo III. CONSERVACION Y OPERACION
 (50 horas)

COORDINADOR: ING. MIGUEL BAROUSSE MORENO

1) CONSERVACION (30 h)

PROFESOR	TEMA	FECHA (1998)	HORARIO
Raúl Vicente Orozco Santoyo	Introducción. Actividades de los responsables. Mantenimiento oportuno de los niveles de calidad	Lunes 15 de Junio (5 horas)	16:00 a 16:30
Ernesto Alonso Hernández Padilla	Prácticas para la conservación de pavimentos. Soluciones alternativas para rehabilitación o reconstrucción. Costos relativos		16:30 a 21:00
Manuel Zárate Aquino	Evaluación del comportamiento de pavimentos: Causas de su deterioro. Prevención de la fatiga. Obtención de desplazamientos verticales y módulos elásticos con el deformómetro de impacto	Martes 16 de Junio (5 horas)	16:00 a 21:00
Ricardo Torres Velázquez	Calificación estructural de pavimentos y simulaciones con el método del elemento finito, a partir de mediciones con el deformómetro de impacto. Ejemplos de aplicación	Miércoles 17 de Junio (5 horas)	
Juan Téllez Muñoz	Manifestaciones de deterioro en puentes y otras estructuras. Inspección sistemática. Procedimientos innovadores para rehabilitación o reparación de elementos estructurales. Alternativas de solución. Costos relativos	Jueves 18 de Junio (5 horas)	
Rodolfo Téllez Gutiérrez	Sistemas de administración de pavimentos y su aplicación en México (SIMAP). Descripción de equipos no destructivos. Casos de aplicación	Viernes 19 de Junio (5 horas)	16:00 a 18:30
Víctor Torres Verdín	Otros sistemas de administración de pavimentos en México		18:30 a 21:00
Miguel Barousse Moreno	Sistemas de administración de puentes y su aplicación en México (SIAP). Casos de aplicación	Lunes 22 de Junio (5 horas)	16:00 a 20:30
Raúl Vicente Orozco Santoyo	Conclusiones y recomendaciones		20:30 a 21:00

2) OPERACION (20 h)

Raúl Vicente Orozco Santoyo	Introducción. Actividades de los responsables. Vigilancia continua de los niveles de calidad.	Martes 23 de Junio (5 horas)	16:00 a 16:30
Ricardo Méndez Ortiz	La autopista. Finalidad. Funciones primarias y secundarias. Elementos constitutivos: puentes, viaductos y otras estructuras, casetas de cobro y servicios auxiliares, cortes y terraplenes, pavimento, túneles, obras de drenaje y complementarias		16:30 a 21:00
José Arias Dufourcq	Administración de autopistas. Estrategias económicas y financieras. Sistemas de evaluación y alternativas de rehabilitación. Modernización. Ejemplos	Miércoles 24 de Junio (5 horas)	16:00 a 21:00
Enrique Acevedo López	Sistemas de supervisión y control de calidad durante la conservación y operación de autopistas. Atención continua. Informes periódicos. Mantenimiento del índice de servicio. Señalamiento y pintura. Técnicas de aplicación práctica. Sistemas de control automático en casetas...	Jueves 25 de Junio (5 horas)	
Ricardo Méndez Ortiz	Visita a la autopista México-Cuernavaca	Viernes 26 de Junio (5 horas)	16:00 a 20:30
Raúl Vicente Orozco Santoyo	Conclusiones y recomendaciones		20:30 a 21:00

DIPLOMADO EN PROYECTO,
CONSTRUCCION Y CONSERVACION
DE CARRETERAS

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.

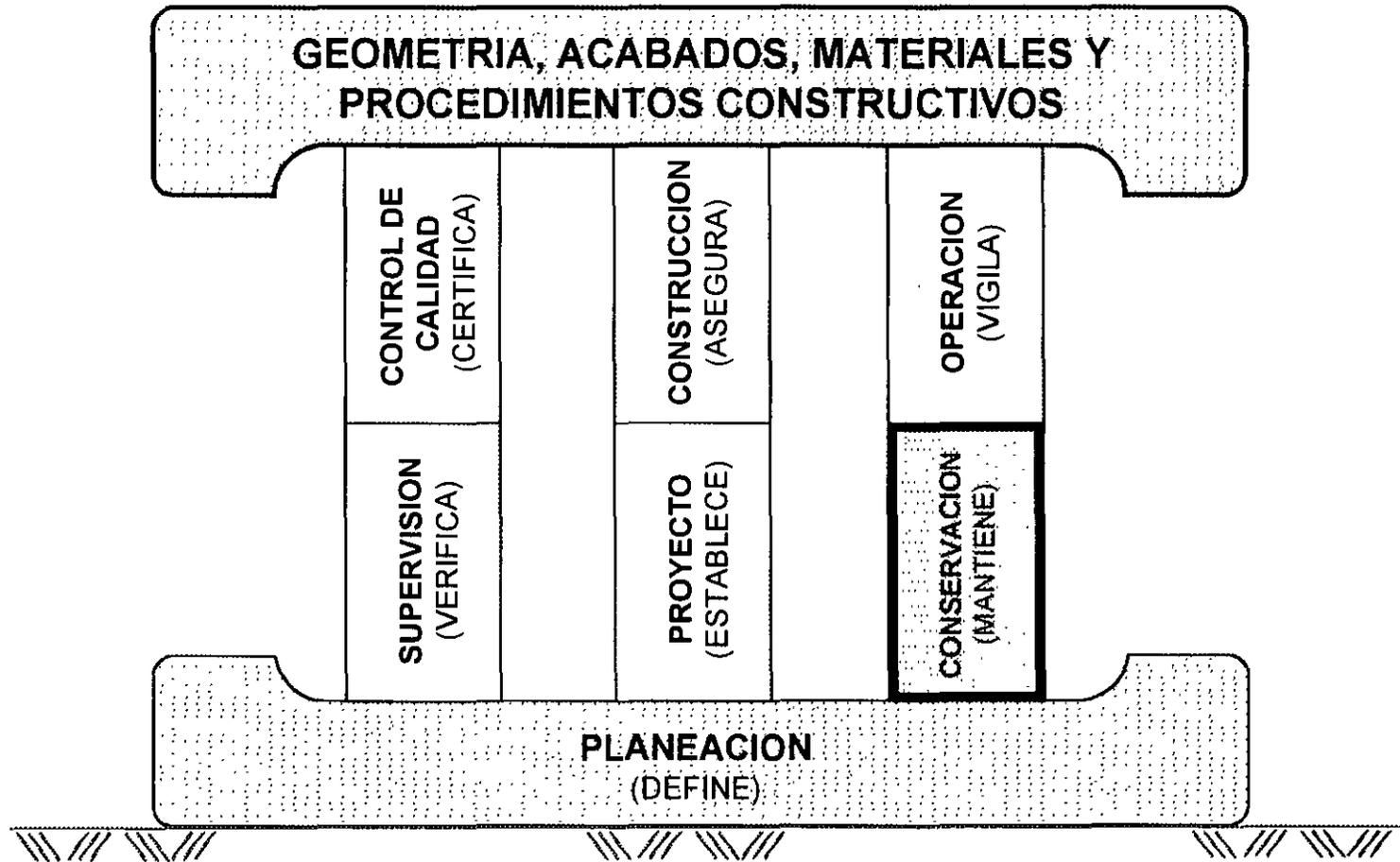
INTRODUCCION

M.I. RAUL VICENTE OROZCO SANTOYO

MODULO III
CONSERVACION Y OPERACION

JUNIO, 1998.

RESPONSABLES DEL NIVEL DE CALIDAD EN CARRETERAS





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

**SOLUCIONES ALTERNATIVAS PARA REHABILITACIÓN
RECONSTRUCCIÓN**

**ING. ERNESTO A. HERNÁNDEZ PADILLA
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA DE LA UNAM**

**Diplomado en Proyecto, Construcción y Conservación de
Carreteras**

Módulo III. Conservación y Operación

**PRACTICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE
PAVIMENTOS.**

**Soluciones alternativas para rehabilitación o
reconstrucción.**

México, D.F. a 15 de junio de 1998

PRACTICAS PARA LA CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS.

INTRODUCCIÓN

La infraestructura constituye, en todas sus variedades, y como su propio nombre lo sugiere, la base sobre la cual se apoyan tanto la actividad económica y social como el bienestar de las comunidades.

En una u otra medida dependen y se benefician de ella numerosas actividades y servicios, como la educación, la salud, la producción de todo tipo de bienes y el comercio. Así, desempeña un papel de crucial importancia en los procesos de desarrollo económico y social.

En ese contexto, las vías terrestres ocupan un lugar particularmente destacado. Con justicia se les ha llamado "la infraestructura de las infraestructuras", pues su existencia favorece la integración de la cultura y la identidad nacional y de ella depende, además, la posibilidad de que se lleven a cabo otras obras de gran impacto social.

En México, la evolución de las vías terrestres se encuentra estrechamente vinculada con el desarrollo y la consolidación del sistema de transporte nacional: primero el ferrocarril, después el autotransporte y, más tarde, el transporte aéreo, han dependido de los especialistas para contar con la infraestructura que permite atender los variados requerimientos de movilización de los mexicanos.

Dentro del ámbito de la infraestructura para el transporte, el mantenimiento adecuado de la red de carreteras lo entendemos como una labor esencial dentro de sus tareas. En primer lugar, al igual que para cualquier otra infraestructura, el mantenimiento es imprescindible para evitar la pérdida de la inversión realizada. Por otra parte, en el caso de las carreteras, las cantidades invertidas en conservación son recuperadas y multiplicadas a través de la disminución de los costos de transporte. Además, una adecuada conservación facilita la circulación de vehículos y mejora la seguridad.

Todo ello hace necesario concientizar a los diversos grupos sociales para que se preste a esta labor toda la atención y recursos necesarios; garantizando así, que las carreteras cumplan adecuadamente su papel en el desarrollo de la economía y del país.

En el contexto internacional, el Consejo de Directores de Carreteras de Iberia e Iberoamérica del cual México es miembro activo, ha elaborado un documento de síntesis, basado en los trabajos presentados por diversos países, así como respuestas de un cuestionario unificado preparado en abril del año pasado.

En dicho documento se detecta una serie de situaciones, tendencias y problemas comunes en casi todos los países participantes:

- I. Se observa una mayor sensibilidad, tanto en los ciudadanos como en los servidores públicos, con respecto a la necesidad de mantener adecuadamente la red de carreteras para proteger las inversiones realizadas y potenciar el desarrollo. Existiendo una concientización cada vez mayor de los primeros en cuanto a sus derechos como contribuyentes a disfrutar de una red de carreteras bien mantenida. Como consecuencia de ello, salvo algunas excepciones, se está produciendo una mejora y/o consolidación de los presupuestos, lo que ha redundado en un mejor estado general de las redes de carreteras. Sin embargo, los presupuestos para mantenimiento siguen considerándose insuficientes en la mayoría de los países. Muchos países se quejan de la insuficiencia de los fondos asignados a carreteras en general y al mantenimiento en particular.
- II. Varios de los países representados han apuntado la necesidad de una reorganización en la administración del mantenimiento, para mejorar la eficacia ante una situación en continua evolución. En algunos países se cita como problema la necesidad de cuadros técnicos, cada vez mejor formados, para atender las necesidades crecientes y la cada vez mayor complejidad de las actuaciones. En general, se tiende a una descentralización del mantenimiento de carreteras, poniendo en manos de administraciones regionales y locales una parte importante de la red, reservando para la administración central sólo los grandes ejes interregionales e internacionales.
- III. Se está produciendo una disminución de la conservación por medios propios, sustituidos por una participación cada vez mayor de la empresa privada. Esta intervención de la empresa privada en el mantenimiento de carreteras se realiza en la mayoría de los casos por medio de contratos plurianuales, tendientes a globalizar los servicios de mantenimiento o a través de concesiones de mantenimiento por peaje.

En el desarrollo de esta plática, se describirá qué se está haciendo en México en relación a los temas citados con anterioridad.

Actualmente confluyen muchas y muy diversas necesidades en nuestro sistema carretero, cuyas características e indicadores principales muestran lo siguiente:

- Nuestro país cuenta con 312,148 kilómetros de caminos; de ellos, el 32 por ciento se encuentra pavimentado, el resto no lo está. El sistema se clasifica en cuatro grandes grupos: red federal (16%); red estatal (19%); caminos rurales (48%) y brechas (17%).
- Anualmente, por él se mueven alrededor de 2,740 millones de personas en recorridos interurbanos, lo que equivale al 98.3 por ciento del total nacional y

alrededor de 614 millones de toneladas, es decir, el 60 por ciento del total de la carga doméstica transportada.

- ✍ En el período de 1986 a 1995 los pasajeros transportados por carretera en México se han incrementado en un 73% y la carga en un 27%.
- ✍ Con el incremento de su uso se ha propiciado el acceso de cada vez más habitantes a la educación, la salud, el comercio, la información y otros servicios indispensables; además, ha permitido incluir en estos flujos a comunidades anteriormente aisladas y ha favorecido la integración de nuestra cultura e identidad nacional.
- ✍ La red carretera federal libre de peaje; es decir, la que es responsabilidad de la SCT, consta de 41,731 kilómetros. Es una red antigua, ya que el 53% tiene más de 30 años y solamente el 16% tiene menos de 15 años.
- ✍ El 21% de la longitud de la red federal, soporta tránsitos diarios de más de 5,000 vehículos y el 29% tiene problemas de capacidad para atender sus tránsitos en condiciones óptimas de seguridad y economía.
- ✍ La red carretera por la que circula la mayor parte de los flujos vehiculares, está constituida por cerca de 22,000 kilómetros.
- ✍ El estado físico de la red federal para fin de 1997 se pronostica en 23% en estado bueno, 31% en estado regular y 46% en estado malo.
- ✍ Nuestro país, como país en vías de desarrollo, se encuentra enmarcado por la necesidad de optimizar al máximo los recursos que son asignados para el mantenimiento de carreteras. Con un producto interno bruto de 5,857 MDP (732 MDD) a precios de 1980 y una tasa de crecimiento anual de 3.5 %.
- ✍ Además de todo ello, las carreteras son de especial relevancia para el empleo y la economía. Por ejemplo, el transporte carretero ocupa alrededor de 800 mil personas en forma permanente, lo que representa el 90% del empleo en transporte.
- ✍ El componente principal del sistema nacional de carreteras son los 10 ejes troncales que comunican al país. Su modernización, en particular de los tramos cuya capacidad requiere ser ampliada, constituye una de las prioridades del Programa de Inversión en Carreteras 1998-2000 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, del cual surge el Programa de Trabajo para 1998, cuyas principales características son las siguientes:

El presupuesto de inversión en infraestructura asciende a 7,284 millones de pesos. De estos recursos, 2,979 millones se destinarán a la conservación de la red federal libre; 2,498 millones a la construcción y modernización de carreteras federales pavimentadas; 1,717 millones a la atención de los caminos alimentadores y rurales así como 90 millones a programas de capacitación, estudios y proyectos.

En materia de conservación, se atenderá de manera rutinaria la totalidad de la red federal; de manera periódica 6,549 kilómetros; se reconstruirán 176 puentes y 816 kilómetros de caminos; asimismo, se atenderán 267 puntos negros en los que se registran casi 2 mil accidentes cada año.

Como se observa, el programa de obras de conservación de carreteras federales libres de peaje, se divide básicamente en dos grandes rubros: en el programa de reconstrucción de puentes y tramos y el programa de conservación periódica y rutinaria. Para poder definir los trabajos a realizar dentro del programa de reconstrucción de tramos y el de conservación periódica, se utiliza como herramienta de planeación el Sistema de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero (SISTER), el cual explicaré a continuación haciendo una breve introducción en lo que consiste un Sistema de Gestión de Conservación de Carreteras.

MODELO SISTER PARA LA CONSERVACION DE CARRETERAS

Los responsables de la gestión de una red vial están generalmente confrontados a apremios presupuestarios que no permiten realizar todas las operaciones de mantenimiento deseadas, ni aplicar todas las alternativas técnicas para resolver los problemas de degradación.

Sin embargo y ya que es evidente que financieramente es imposible llevar a cabo todas las obras de conservación que se requieren, se plantea la interrogante de cuales serían las prioridades por considerar en los programas anuales optimizando los recursos. De ahí la necesidad de contar con una herramienta de planeación que permita aplicar estrategias y soluciones en la programación de las obras, lo cual sin la ayuda de una herramienta informática adecuada sería prácticamente un problema insoluble.

Es por ello que las decisiones tomadas durante un año dado, tienen consecuencias sobre los niveles de servicio de los años siguientes y; las decisiones tomadas al definir los programas de obras a mediano plazo, tienen influencia sobre el futuro de la red. Por ejemplo, un mantenimiento mínimo a muy corto plazo conducirá a la degradación de la carretera en pocos años y exigirá una rehabilitación más costosa, con lo cual la economía realizada resulta ficticia, puesto que generará gastos mas elevados a mediano plazo.

En consecuencia, los responsables de atender la conservación de una red carretera deben ser capaces de prever la evolución de la red, teniendo en cuenta las obras programadas y medir las consecuencias futuras de sus elecciones presentes.

Lo anterior plantea dos tipos de problemas:

- I. Programar las obras anualmente teniendo en cuenta los apremios presupuestarios.
- II. Prever a mediano plazo la evolución de la red en función de las asignaciones financieras y/o de igual forma, prever los recursos presupuestarios que permitan la conservación y/o el mejoramiento de la red.

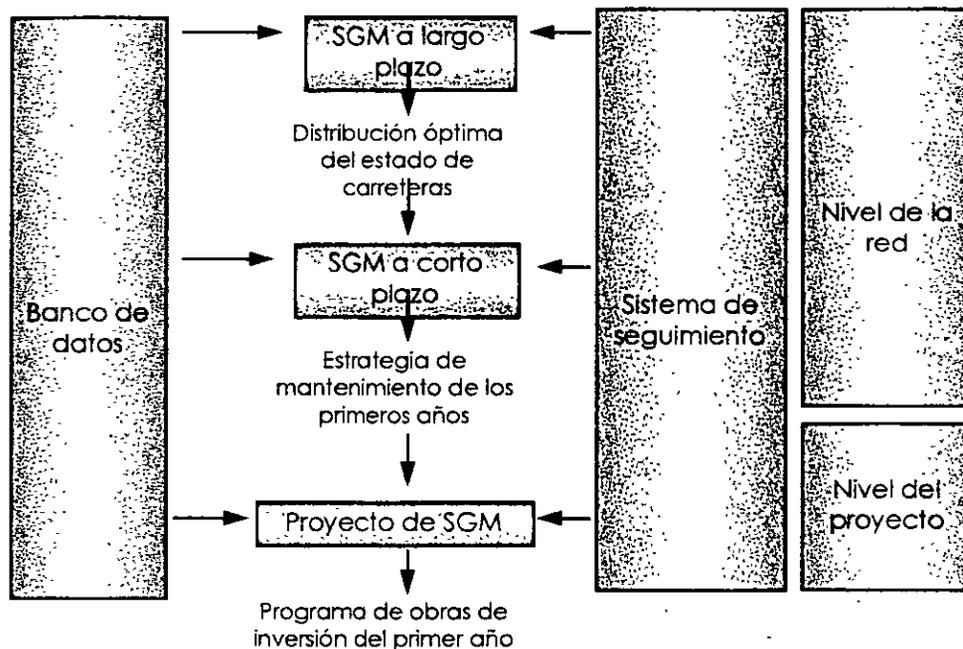
Debe destacarse que la gestión vial, es una actividad fundamentalmente intelectual en la que trabajan casi exclusivamente profesionales especializados; tales como, ingenieros y técnicos de carreteras, economistas, contadores y abogados. Así, no incluye virtualmente ningún tipo de trabajo manual en los caminos mismos, salvo lo necesario para obtener la información que se necesita para llevarla a cabo en buena forma.

La gestión vial requiere de una organización que le permita responder en la mejor manera posible a las condiciones y características particulares de la red vial de que se trate, al interés público relativo a los caminos y a las necesidades de los usuarios. Es probable que en todos los países en que se pretenda modificar la estructura tradicional de la gestión vial, se abra un debate sobre las diversas alternativas posibles y sobre las ventajas y desventajas que ofrece cada una de ellas.

La búsqueda de procedimientos que le dieran racionalidad a la utilización de los recursos destinados a la conservación de las carreteras no ha sido nuevo en nuestro país; ya que desde hace años, la elaboración de los programas anuales trataban de incorporar características tanto de operación como físicas de la superficie de rodamiento. Es así que se incorporaron como elementos de decisión los volúmenes de tránsito y la calificación de las carreteras.

Un sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de pavimentos, es un procedimiento de gestión que permite determinar de forma sistemática y objetiva, el estado de las carreteras y programar las actividades de mantenimiento según las condiciones observadas, las restricciones presupuestarias y las exigencias de optimización en el plano económico (reducción de costos para el usuario y optimización de costos del mantenimiento para la administración afectada). El sistema constituye una ayuda útil para los ingenieros responsables de la programación, realización y seguimiento del mantenimiento.

Estructura del sistema global de gestión de mantenimiento



Objetivos.

Los principales objetivos de un sistema de ayuda a la gestión del mantenimiento de pavimentos son los siguientes:

- 1.- Constituir un marco económico para decidir los niveles óptimos de financiación del mantenimiento y del estado de las carreteras en el conjunto del país, tanto a largo como a corto plazo.
- 2.- Ofrecer métodos de preparación de los programas anuales de trabajos y definir los requisitos en materia de recursos y presupuestos.
- 3.- Permitir la racionalización y la optimización del reparto de fondos entre las diferentes labores de mantenimiento y las diferentes administraciones, en especial en condiciones de restricción presupuestaria.
- 4.- Permitir la programación y la realización de los trabajos.
- 5.- Permitir el control de la realización de los trabajos y la verificación de su eficacia.

En nuestro país, a partir de 1993 se viene aplicando el modelo de simulación de estrategias de mantenimiento carretero con buenos resultados y que a continuación describiré.

En México, la necesidad de disponer de un modelo específico de simulación presupuestaria que permita la comparación rápida de estrategias de mantenimiento con una precisión aceptable, aliviando las fases de recopilación y de actualización de datos, de manera que permita garantizar la perennidad del sistema, se planteó hace algunos años. El Programa SISTER desarrollado por una empresa europea de Ingeniería fue concebido con esta óptica y está al servicio de los responsables encargados de la definición de la política de mantenimiento dentro de su zona de competencia. Les permite; así mismo, soportar sus proposiciones durante la presentación a las autoridades políticas y argumentar con los organismos financieros nacionales e internacionales la inversión requerida para la red carretera.

La originalidad de SISTER radica en el hecho de que define simultáneamente los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de las carreteras tanto estructuralmente como de la superficie, estableciéndose así la crónica de los trabajos y la degradación.

Este proceso esta sustentado en tres premisas básicas.

- ⊗ Considerar el conjunto de la red por administrar a partir de un Banco de Datos Viales.
- ⊗ Estudiar una estrategia óptima de mantenimiento de la red simulando las consecuencias de varias alternativas.
- ⊗ Adoptar un método racional de programación plurianual de las obras de mantenimiento periódico, rehabilitación y reconstrucción.

De ahí que el punto de partida para su implementación sea la constitución del Banco de Datos Viales que permita conocer la red carretera a cargo de la Dependencia, lo que se logra a través de un inventario preferentemente a pie de las características geométricas y del drenaje de las carreteras, obteniéndose entre otros datos su sección, número de carriles, señalamiento, obras de drenaje etc., agrupándolos por tramos con ciertas condiciones de homogeneidad, como son las características geométricas y topográficas, los niveles del tránsito, el estado de la carretera y la zona geográfica en que se encuentran.

Es muy importante que al llevarse a cabo este inventario, se registren también los daños que se observan en la superficie de rodamiento, investigando las posibles causas de las mismas a fin de contemplar todas las soluciones posibles para la reconstrucción de la carretera, teniendo en cuenta las obras de drenaje y el mejoramiento de las terracerías si ese fuera el caso, con el fin de mejorar la capacidad de soporte de la subrasante.

Con tal fin, los Residentes Generales de Conservación de cada Centro S.C.T. y responsables de la realización del inventario a pie, llevan a cabo sondeos cada 300, 500 o 1000 mts. considerando las condiciones de homogeneidad

mencionadas al definir los tramos, anotando en los formatos establecidos para el mismo, las propuestas de mantenimiento sugeridas; así como, el costo aproximado de las mismas.

Constituido el Banco de Datos Viales que debe actualizarse año con año, el interés estratégico principal consiste en segundo término en la simulación informática de la degradación de las diversas carreteras según sus naturalezas, las obras de mantenimiento ejecutadas, las condiciones meteorológicas etc., a partir de una asignación presupuestal "x" que permita prever el horizonte de degradación total de la red si dicha asignación es insuficiente; o en su caso, el estado futuro de la misma o del "y" tramo si se mantienen los niveles de inversión efectuando diversos trabajos de mantenimiento periódico y rutinario.

Sobre la estrategia de mantenimiento, el programa SISTER permite producir una verdadera programación de las obras de mantenimiento periódico, y al permitir la conexión de los módulos de degradación de las carreteras, del módulo de evaluación económica de la rehabilitación y del Banco de Datos, el sistema puede efectuar una simulación por cada sección o tramo carretero archivado, evaluando para cada año del período de estudio, los efectos económicos directos correspondientes al nivel de estado de la carretera.

Asimismo, la comparación de las situaciones con o sin mantenimiento pesado, el balance de las ventajas económicas generadas confrontadas con el monto de las inversiones necesarias para rehabilitar la carretera, permite calcular la Taza Interna de Retorno del tramo de carretera considerado.

El SISTER es un modelo de planeación y no diseña estrategias de mantenimiento; sino, que calcula los efectos de la aplicación a la red de una estrategia específica y de sus consecuencias técnicas, financieras y económicas sobre un período fijado por el ingeniero encargado del proyecto.

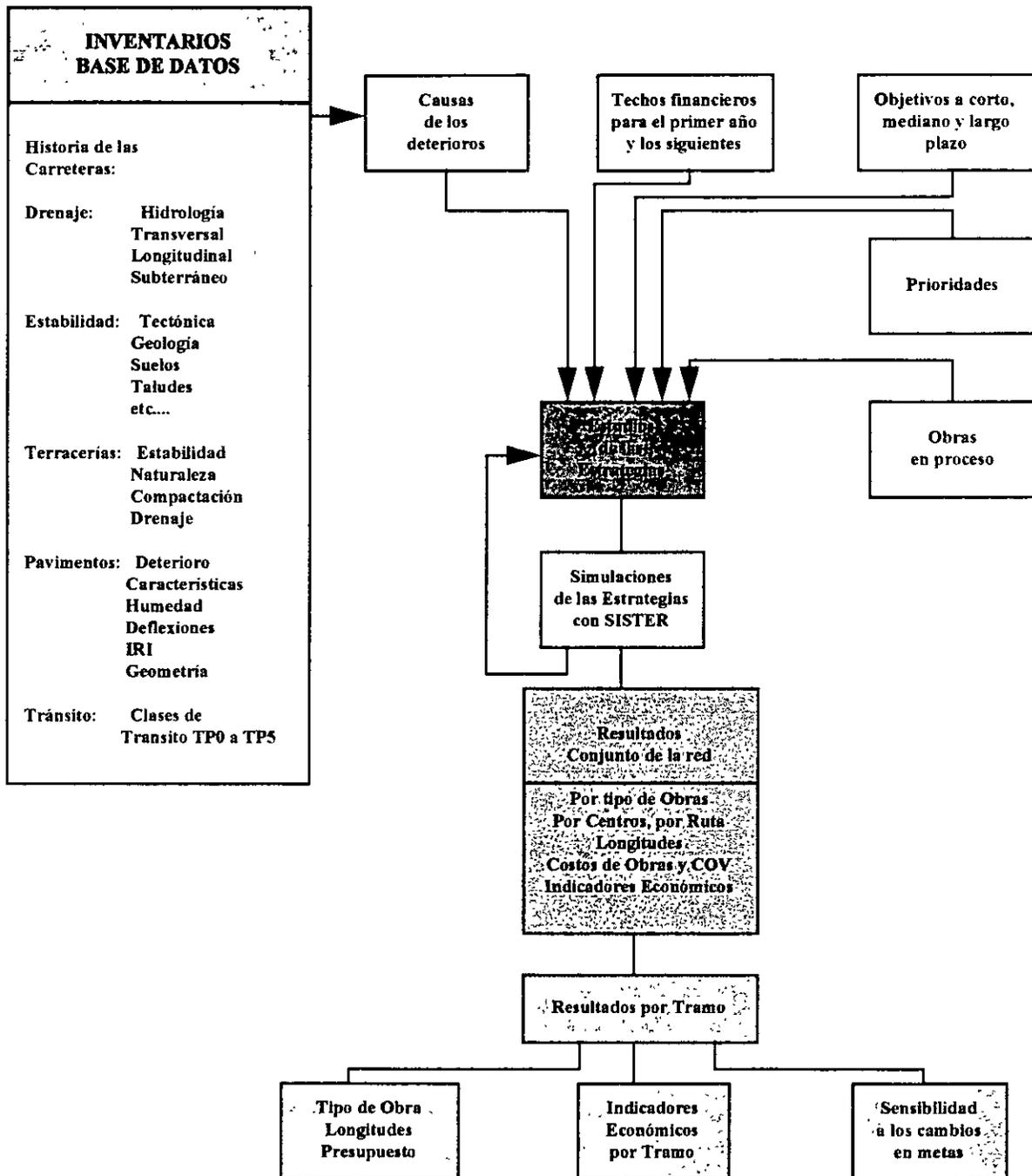


Fig. Proceso de Planeación del "SISTER".

De ahí que la parte importante del sistema, es evidentemente la definición de las estrategias de mantenimiento para la cual se requiere la experiencia del especialista encargado del proyecto, que permita al programa la adaptación rápida

a las situaciones particulares desde el punto de vista de las técnicas como de los medios de investigación disponible.

Permite entonces verificar las estrategias de mantenimiento definidas por el usuario y medir los efectos a largo plazo sobre la evolución técnica de la red, su nivel de servicio y de los costos recurrentes; es decir, de las necesidades presupuestarias.

La estrategia y cada uno de sus escenarios son descritos a lo largo de todo un "ciclo de vida" de la carretera, cuya duración es fijada para utilizarse en función de la estrategia y de las condiciones particulares de los grupos de tramos homogéneos. Cada ciclo de vida se termina normalmente por una rehabilitación o al menos un trabajo de refuerzo de la carretera. Cuando este año es alcanzado, el programa regresa sobre el primer año del escenario y comienza el siguiente hasta el año del fin del proyecto.

Para poder correr una estrategia en el modelo SISTER, cada tramo carretero es evaluado mediante una "nota de calidad" la cual permite plantear un escenario teórico de evolución del camino, ésta se obtiene de un inventario de la red carretera realizado a pie el cual se actualiza cada año.

Cabe mencionarse, que el programa SISTER no esta limitado en cuanto al número de rutas y de tramos y actualmente se trabajó en una red de 42,000 km. de longitud que incluye 450 rutas con tránsito variable, 1,574 secciones con tránsito diferente y 4,000 tramos.

Cada estrategia esta compuesta de un cierto número de escenarios que se refieren cada uno a las condiciones particulares del clima, del nivel del tráfico y de la política general en materia de rehabilitación. Así dentro de una misma estrategia, resultan los mismos principios generales de política vial (mantenimiento mínimo, mantenimiento normal, rehabilitación rápida o progresiva, etc.), se pueden diferenciar los tratamientos particulares de grupos de tramos homogéneos desde el punto de vista de las condiciones mencionadas anteriormente.

La Red.

La Red Carretera esta dividida en tramos homogéneos desde el punto de vista de muchos parámetros descritos más adelante. Estos parámetros están ligados en particular en su identificación administrativa, su localización en las zonas geográficas predefinidas, su nivel de tráfico y su estado actual.

El estado de la red está caracterizado por dos notas "nota de calidad", representativa de su estado estructural y "nota de rugosidad", representativa de su nivel de servicio al usuario. La apreciación del valor de partida de estas notas resulta de un inventario técnico de mantenimiento cuyo nivel de precisión depende de los medios disponibles.

Análisis Económico.

Los Costos de Operación de los Vehículos (COV) son estimados para permitir las comparaciones económicas de las estrategias consideradas.

La variable explicativa principal es entonces el estado de la superficie de la carretera, medido por la "nota de rugosidad". Esta "nota" pueden ser en las unidades de medida clásicas del estado de la superficie como la rugosidad expresada en mm/km. o el IRI, etc. a fin de permitir comparaciones más cómodas.

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

El modelo no toma en cuenta la naturaleza del terreno (plano, lomerío, montañoso), considerado prácticamente neutro en relación a la estimación de las ventajas. Esta opción evita la captura de esta información y también la división en tramos demasiado pequeños de la red estudiada. La referencia elegida es un terreno considerado como promedio en la zona estudiada, en general lomerío.

El programa compara todas las estrategias a una estrategia de referencia definida por el usuario, calcula el balance actualizado y la relación entre el beneficio en los COV y los costos adicionales de mantenimiento.

DATOS QUE DESCRIBEN LA RED CARRETERA

La red estudiada es dividida en tantos tramos homogéneos como sea necesario. La noción de homogeneidad recupera a la vez las nociones relacionadas a las zonas geográficas, a los niveles de tránsito, a las características geométricas y al estado de la carretera. Esta dirige la estructura del fichero de tramos.

- ⊗ Identificación: categoría administrativa, número administrativo de la carretera, PK inicial, PK final, ruta, itinerarios.
- ⊗ Situación geográfica: zona administrativa, zona climática, zona de costos.
- ⊗ Nivel de tránsito (año de referencia): Tránsito observado, volumen total, % de vehículos pesados.
- ⊗ Características geométricas y estado: estándar técnico, año de construcción o el año de reconstrucción futura si existe proyecto, nota de calidad de la estructura (año de origen) y nota de rugosidad o de calidad de la superficie (año de origen).
- ⊗ La decisión se toma en cuanto a (i) el mejoramiento previo de la carretera, o (ii) al mantenimiento normal inmediato.

DATOS QUE DESCRIBEN LAS ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO.

Es aquí donde el usuario describe las estrategias de mantenimiento que se desean probar y comparar.

Por convención se llama "ESTRATEGIA" al conjunto de los escenarios que se aplican a los tramos de características diferentes. Existen tantos escenarios como combinaciones de valores para los parámetros característicos. Por ejemplo si se definen tres zonas climáticas y cinco clases de tráfico se construirán 15 escenarios que; en conjunto, constituirán una estrategia.

Por otra parte, es necesario diferenciar las carreteras según el nivel de tránsito que soportan, o si es necesario realizar los trabajos de reforzamiento antes de comprometerse con una política de mantenimiento "normal". Se puede entonces describir dos escenarios completos para las rutas cuyas características generales son semejantes (zonas climática, tráfico, etc.) antes y después del reforzamiento.

Las estrategias son definidas por los parámetros siguientes.

- Identificación: código, nombre.
- Campo de aplicación (los escenarios): zona climática, clase de tráfico, decisión en cuanto al estatuto, a la prioridad etc.
- Descripción año por año: año de reparación (cronológico del ciclo), nota de calidad de la estructura, nota de rugosidad, naturaleza de los trabajos (tres campos autorizados).

RESULTADOS.

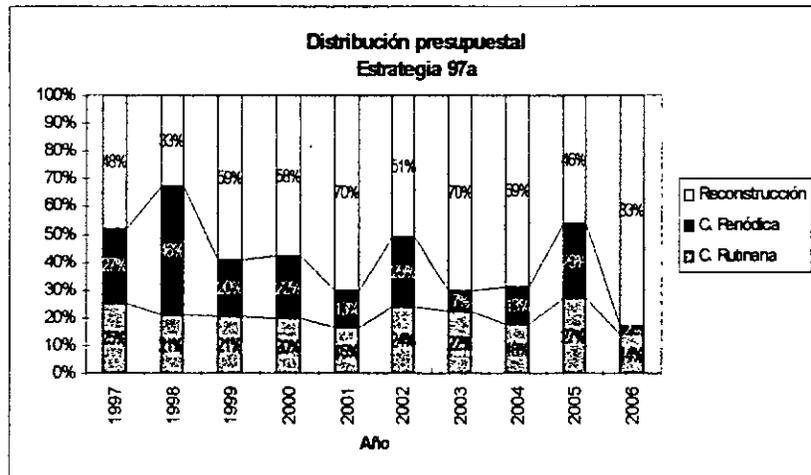
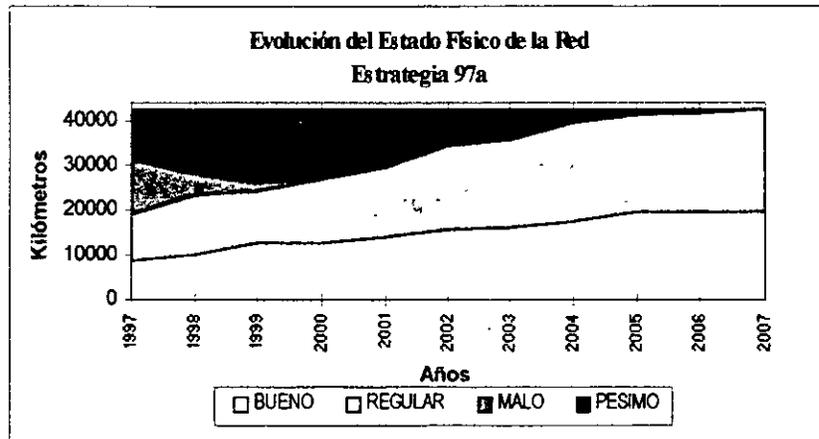
Los resultados están almacenados en ficheros informáticos que pueden ser visualizados en la pantalla o impresos en forma de tablas o gráficos. Pueden también ser exportados hacia hojas de cálculo y/o hacia bases de datos para realizar tratamientos adicionales o preparar documentos gráficos personalizados.

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

- ⊕ Zonas administrativas (Residencias Generales)
- ⊕ Estándares técnicos
- ⊕ Naturaleza de las obras
- ⊕ Período de estudio, etc.

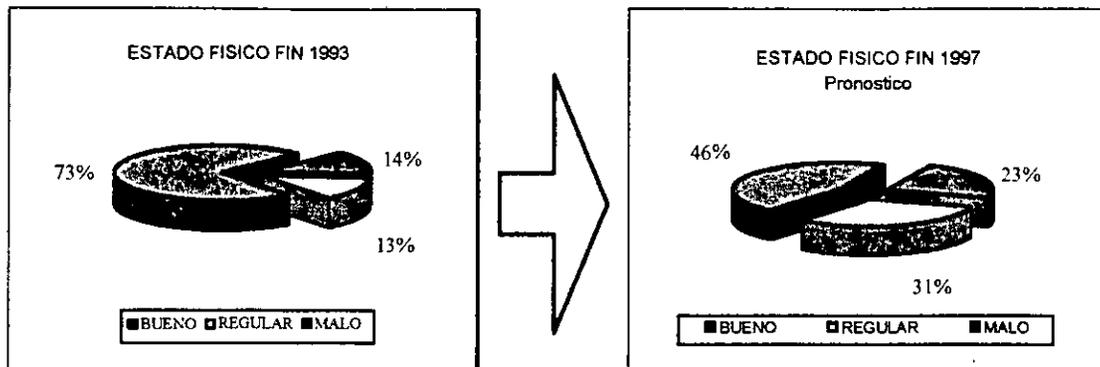
A manera de ejemplo, se ilustra a continuación la estrategia en vigor denominada 97ª, la cual contempla la recuperación total de la red carretera para el año 2007, de

acuerdo a inversiones que varían de 2,299 a 3896 MDP (287 a 487 MDD)¹, mediante las cuales será posible realizar las obras especificadas para alcanzar las metas de 50% de la red en buen estado y el otro 50% en regular.



A continuación se ilustra el estado físico de la red federal desde 1993 hasta el pronosticado para finales de 1997, como se puede observar hay una mejora substancial.

¹ precios de Enero de 1997



Ahora veamos como se seleccionan los trabajos necesarios para la reconstrucción y conservación periódica de los puentes incluidos en la red federal de carreteras libres de peaje de México.

SISTEMA DE PUENTES DE MEXICO (SIPUMEX)

En 1992 las autoridades de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes tenían varias preocupaciones en relación con los puentes de la red:

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

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

En el año de 1991, conscientes las autoridades de la Secretaria de la necesidad de contar con un procedimiento sistemático para atender el mantenimiento de los puentes de México, se inicio una investigación a nivel mundial para conocer sistemas de gestión de puentes de otros países, estudiando su factibilidad para adecuar un sistema a los puentes de nuestro país. Se encontró que en Dinamarca se había implantado hacia algunos años el sistema conocido con el nombre de

DAMBRO, el cual era sencillo de aplicar, moderno y se había adoptado también con buenos resultados en otros países como Arabia Saudita, China, Taiwan, Tailandia e Indonesia. Conviene mencionar que por aquellos días no se contaba en México con ningún sistema que pudiera ser implementado para los fines correspondientes. En el año de 1992, se firmó con el Directorado Danés de Carreteras la Primera Fase del Sistema de Puentes de México "SIPUMEX", cuyos objetivos fueron establecidos como sigue:

OBJETIVOS FUNDAMENTALES

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

La primera fase está constituida por las siguientes actividades:

INSPECCIONES PRINCIPALES

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

Inventario. Con las inspecciones principales se pudo obtener el inventario de los puentes existentes en la Red Federal Carretera, resultando que el número de éstos es de 6,568. Se ha visto que los principales problemas que presentan las estructuras consisten en: a) agrietamientos de nervaduras y traveses por esfuerzo cortante y por flexión; b) fallas de apoyos de concreto (mecedoras) con placas de plomo y; c) inestabilidad por erosión o socavación en los elementos de la cimentación o en los conos de derrame de estribos y caballetes.

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

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

Mantenimiento menor y limpieza. Es la ejecución de trabajos menores, tales como reparación de baches, resanes de concreto y de pintura, limpieza de calzada y de drenes y reparación de parapetos.

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

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

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

A mediados de 1993 se firmó el contrato de la fase 2, cuyos trabajos finalizaron a fines de 1996. En ésta segunda fase se concluyeron las siguientes actividades:

Elaboración de un manual de diseño de reparaciones. Preparación de un manual de diseño de reparaciones de puentes, con base en las inspecciones especiales.

Diseño y especificaciones para los puentes nuevos. Incluye el ajuste a las normas de diseño existentes, con base en las experiencias obtenidas de las inspecciones.

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

Presupuesto y control de avance. Un sistema que elabora presupuestos y controla los avances de los trabajos.

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

Sistema de archivo. Para manejar todo el material de archivo del SIPUMEX.

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

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

Juntas asfálticas para puentes de concreto. Entrenamiento en diseño y construcción de una nueva junta de expansión para puentes.

Fotografías. Se estableció una base de datos que contiene fotografías de los puentes tomadas durante las inspecciones principales.

Finalmente, conviene señalar que para que el Sistema funcione adecuada y permanentemente, es necesario cumplir con los siguientes puntos:

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

El sistema de Puentes de México arroja los siguientes resultados en cuanto al estado físico de las estructuras de la red carretera federal libre de peaje.

CALIFICACION	No. DE PUEENTES	NOTAS
5 <i>Desconchamientos severos, agrietamientos generalizados, socavación avanzada, etc.</i> <i>Atención en un plazo de 1 a 2 años.</i>	28	19 serán atendidos durante el ejercicio 1998 y 9 en el ejercicio de 1999
4 <i>Deterioros en menor grado que el grupo anterior.</i> <i>Atención en un plazo de 1 a 5 años.</i>	197	109 serán atendidos durante el ejercicio 1998 y en el programa 1999 están considerados 88
3 <i>Primeros indicios de deficiencia estructural, como fisuras, socavación ligera, etc.</i> <i>Plazo de atención mayor de 5 años.</i>	1,258	26 serán atendidos durante el ejercicio 1999
2 <i>Problemas menores como falta de juntas, parapetos dañados, etc.</i> <i>Plazo de atención indefinido.</i>	2,411	
1 <i>Puentes en buen estado. No requieren atención.</i>	2,608	
0 <i>Estructuras en muy buen estado.</i>	66	
TOTAL	6,568	

De los 6,568 puentes de la red carretera a cargo de la Dirección General de Conservación de Carreteras, el 23% presenta alguna deficiencia de tipo estructural o de ancho de calzada.

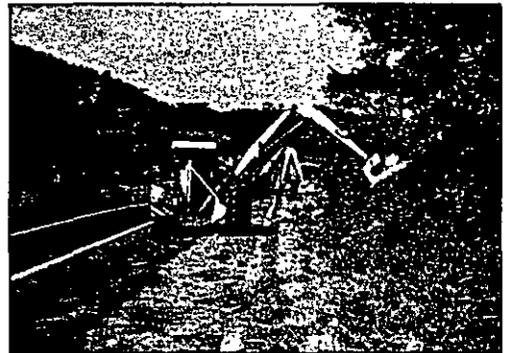
Hasta éste punto hemos citado al modelo SISTER, el cual nos ayuda en la planeación de los trabajos de reconstrucción de tramos y a los trabajos de conservación periódica; así mismo, se ha citado el Sistema de Puentes de México

(SIPUMEX), el cual se utiliza para la planeación de los trabajos de reconstrucción de puentes. Resta mencionar los trabajos de conservación rutinaria efectuados en la red federal de carreteras de México.

LA CONTRATACIÓN MULTIANUAL DE LA CONSERVACIÓN RUTINARIA

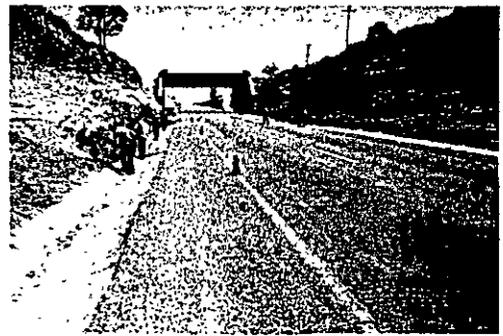
Por lo que hace al esquema permanente para la conservación de carreteras, se ha logrado realizar contrataciones con carácter multianual para atacar a fondo y con mayor efectividad las necesidades de conservación de la red troncal federal. Los objetivos que se pretenden alcanzar bajo este esquema de contratación son:

1. Lograr una mayor eficiencia en los trabajos de conservación.
2. Racionalizar las estructuras responsables de la conservación en los estados.
3. Tener mayor certidumbre en la disponibilidad de insumos para la conservación.
4. Disponer de equipo y maquinaria adecuados y en cualquier momento.
5. Reducir los costos asociados a los trabajos de conservación.



La experiencia internacional de contratar la conservación rutinaria ha sido positiva; en México se contrató la conservación rutinaria en 1989 (840 km.), 1990 (12,100 km.) y 1991 (13,600 km.), no obteniéndose los resultados esperados. Sin embargo, a partir de 1996 se ha retomado esta idea, adquiriendo experiencias de otros países como España, Francia, Canadá, Estados Unidos además de las obtenidas en México. Es un hecho que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha sufrido un fuerte impacto en cuanto a sus recursos humanos debido a la política gubernamental de adelgazamiento. En la actualidad cuenta con cuadros exiguos de personal capacitado, existiendo además muchas dificultades administrativas para adquirir maquinaria y equipo.

Para poder implementar un programa de contratación de la conservación rutinaria con carácter multianual, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, desde 1995 se propuso estudiar diversos aspectos técnicos, administrativos financieros y legales, tarea concluida a la fecha. Entre estas tareas destacan:



I. Aspectos Técnicos.

- a) Definir la red básica factible a contratar.
- b) Definir el catálogo de conceptos, forma de pago y especificaciones particulares.
- c) Determinar la plantilla básica, en cuanto a equipo y personal con que deberán contar las empresas contratistas para garantizar los trabajos de conservación rutinaria en forma permanente.
- d) Definir el costo anual por km. de conservación rutinaria, tomando en consideración las diversas zonas geográficas del país.
- e) Definir el procedimiento de supervisión para evaluar los trabajos que efectúen las empresas contratadas para conservación.

II. Aspectos Administrativos.

- a) Efectuar un análisis detallado del personal foráneo con que cuentan las Residencias Generales de Conservación de Carreteras.
- b) Implementar un programa de Capacitación a nivel foráneo que permita concientizar al personal de la Secretaría en las labores de supervisión de los trabajos que se ejecutarán a contrato, así como capacitar a las empresas participantes en este nuevo esquema.

III. Aspectos Financieros.

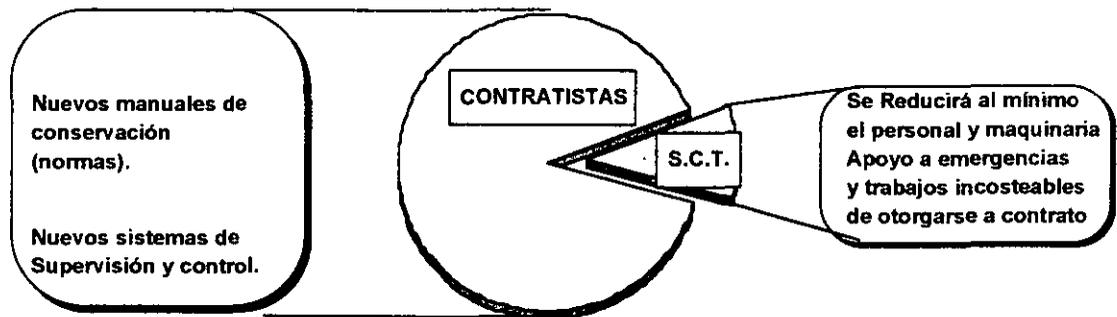
- a) Someter a la consideración de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público el aseguramiento de los recursos para el cumplimiento de los contratos multianuales.
- b) Establecer el compromiso por parte de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, para que el calendario anual se distribuya en forma equitativa, de tal manera que nunca falten recursos para el Programa de Conservación.
- c) Establecer el compromiso de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, para que gire los oficios especiales de autorización de inversión o de secas.

IV. Aspectos Legales.

- a) Fundamentar el procedimiento con apoyo en la ley y normatividad.
- b) Gestionar la autorización del modelo de contrato.

Bajo el esquema anterior, surge la necesidad de que se norme la conservación, para lo cual se deberá actualizar parte de la normatividad e implementar nuevos sistemas de supervisión y control. Con las acciones descritas se reducirá al mínimo el personal y maquinaria dedicados a la conservación de la red federal de carreteras libres de peaje.

CONSERVACIÓN DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS
100%



Durante el ejercicio de 1996, se llevó a cabo la contratación de la conservación rutinaria en 29 Centros SCT, para lo cual se efectuaron 62 licitaciones por un monto total de 128.4 mdp (16 MDD) abarcando una longitud de 8,752 kms., correspondiendo a 115 tramos carreteros seleccionados en base a cuatro considerandos: 1. Tramos con calificación mayor de 300 puntos ², 2. Tramos correspondientes a rutas prioritarias; 3. Tramos con longitud mínima de 100 km. y 4. Continuidad de los tramos.

Ante la experiencia favorable de la contratación de la conservación rutinaria, en el mes de diciembre de 1996 se lanzó una Convocatoria Nacional para llevar a cabo la contratación de los trabajos de este tipo de conservación, bajo la modalidad de "Multianual" con una duración de cuatro años (1997-2000). Dicha convocatoria comprendió 104 concursos, abarcando una longitud de 15,052 km. (la longitud promedio por concurso es de 144 kms.). Durante el año de 1998, se pretende contratar 5,533 kms. adicionales para el periodo 1998-2000.

Los plazos de los contratos de conservación rutinaria multianual, se han establecido entre 3 y 4 años por considerarse un período de tiempo adecuado para que las empresas contratistas puedan amortizar las inversiones necesarias para realizar la obra. Por economías de escala y restricciones presupuestales, no se han contratado todos los conceptos de la conservación rutinaria; así como, la atención a las posibles emergencias que se susciten en la red federal de carreteras por requerir una inmediata atención a las mismas.

² Esta calificación es una medida establecida por la SCT, en donde 500 puntos es la calificación máxima que puede obtener un tramo.

PROGRAMA NACIONAL DE ATENCIÓN DE PUNTOS DE CONFLICTO

Con objeto de aumentar la seguridad de los usuarios y abatir los índices de accidentes en los tramos más peligrosos, el programa de conservación de la red federal incluye también, al igual que en 1997, acciones orientadas a identificar y eliminar puntos negros en los que se produce una alta concentración de accidentes. El programa no solo incluye las acciones en sí, sino también un proceso de evaluación para medir su efectividad y así contribuir a retroalimentar los programas de años subsecuentes.

En éstos momentos, en México se está realizando un proceso de descentralización en diversos sectores, en lo concerniente a la red federal secundaria, a continuación daré una breve reseña sobre la forma y avances en que se lleva a cabo éste proceso.

DESCENTRALIZACIÓN DE LA RED FEDERAL SECUNDARIA LIBRE DE PEAJE

La red federal de carreteras federales libres de peaje, se ha clasificado en red federal básica y red federal secundaria; para que un tramo carretero se considere dentro de la primera, debe cumplir con alguno de los siguientes aspectos:

- » Comunicación a dos o más entidades federativas,
- » Comunicación a lo largo de litorales o fronteras,
- » Comunicación a todas las capitales estatales y a los principales puertos,
- » Continuidad de la circulación en grandes ejes troncales y/o
- » Alto volumen de tránsito.

De esta forma, los 41,731 kms de red carretera federal están conformados por 22,713 kms. de red federal básica y por 19,018 kms. la red federal secundaria, los cuales se pretenden *descentralizar* a los gobiernos de los estados.

La Real Academia Española define la palabra descentralización, como el hecho de dividir la autoridad del supremo gobierno del Estado, transfiriendo una parte de ella a diversas corporaciones o personas; sin embargo, para los fines de esta exposición, se entenderá por *descentralización*, el proceso por el cual una actividad se efectúa en diferentes espacios geográficos, incluyendo la capacidad de decisión que desencadena o que matiza dicha actividad. La descentralización es la situación extrema de una concepción del actuar que tiene como paso intermedio lo que ha dado el llamarse desconcentración.

En la desconcentración se produce la derrama geográfica de los recursos y las acciones, al igual que en la descentralización, pero se conserva en un punto central la capacidad de decisión. En la descentralización, lo único que se permite

que permanezca en un punto central es la **normatividad** de las acciones y, en ocasiones, su planeación central.

Proyecto de descentralización de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes desde principios de 1995 llevó a cabo un **diagnóstico** de algunas de sus unidades administrativas en los estados de la República **desde tres ámbitos; su relación con las autoridades centrales, su relación con los diferentes agentes económicos y la eficiencia de su operación**. Lo anterior, con el fin de conocer y diseñar la plataforma que pudiera impulsar la transferencia a los estados de diversas funciones operativas, con pleno respeto a su autonomía política, jurídica, financiera y administrativa, en un contexto de armonía y coordinación con el Gobierno Federal.

Los resultados del diagnóstico permitieron identificar como áreas críticas las de infraestructura, autotransporte, medicina preventiva, administración y sistemas, para llevar a cabo un proceso de desconcentración y descentralización racional y ordenado, por lo que en agosto de 1995 se iniciaron los estudios correspondientes de estas áreas específicas, mismos que se terminaron en enero del siguiente año.

De éstos estudios se realizaron más de 300 entrevistas con funcionarios de la SCT, autoridades estatales, cámaras de la construcción y del autotransporte, empresas particulares, así como con funcionarios gubernamentales de otros países, para conocer los mecanismos de coordinación utilizados entre los estados y el gobierno federal, con el fin de determinar las condiciones en que podría sustentarse el proceso de descentralización de la SCT.

A pesar de que un factor determinante para enfrentar el proceso de descentralización es la asignación estable y suficiente de recursos financieros para atender las necesidades de la infraestructura carretera que se transfiera, existen otros aspectos que requieren resolverse y que tienen una gran influencia sobre el proceso de descentralización, para materializarlo eficazmente en tiempo y forma.

Por ello, es preciso reconocer, como punto de partida, que la descentralización es un proceso en el que se requiere que concurren las voluntades autónomas de los estados y de la federación, respetándose con ello el espíritu federalista que se persigue reforzar.

El ejercicio de la autonomía financiera estatal pone de manifiesto la necesidad de contar con mecanismos que enlacen apropiadamente las diversas fuentes de recursos y, simultáneamente, controlen su aplicación en el objeto de la descentralización.

La descentralización por si sola no resuelve de fondo el problema que representa la conservación y operación de la red carretera que se transfiera. Sin embargo, constituye una medida eficaz para que, por conducto de los gobiernos estatales, se

logre una mejor aplicación de los recursos con que se cuenta para la conservación de caminos y carreteras, así como para mejorar la seguridad y eficiencia en la operación del autotransporte.

El proceso de descentralización podría quedar acotado por un esquema integral de productividad, entendido como la capacidad para, simultáneamente, incrementar disponibilidades y abatir costos. En este sentido, la productividad constituye la condición esencial para que tenga éxito la descentralización y se rompan las desigualdades entre los participantes.

Las expectativas que introducen los esquemas de productividad, permiten sumar a los recursos fiscales disponibles ingresos adicionales por la regularización del autotransporte, la reducción de costos y la contracción de las estructuras organizacionales. El efecto neto de estas acciones posibilitaría una mayor cobertura en la conservación y modernización de las carreteras y caminos, con la misma cantidad de recursos fiscales disponibles actualmente.

Para fortalecer la autonomía administrativa de los estados, se requiere conjuntar capacidades; con el fin de promover el uso racional de los recursos mediante instrumentos de planeación, organización y control apropiados.

Programa de descentralización 1995 - 2000

El Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000 establece que en la construcción del nuevo federalismo, es imperativo llevar a cabo una profunda redistribución de autoridad, responsabilidad y recursos del Gobierno Federal hacia los órdenes estatal y municipal, bajo criterios de eficiencia y equidad en la provisión de los bienes y servicios a las comunidades.

A consecuencia, dentro del Programa de Desarrollo del Sector Comunicaciones y Transportes 1995 - 2000 aparece como lineamiento estratégico:

Impulsar, en apoyo al federalismo y en coordinación con los gobiernos estatales y municipales, programas de desconcentración y descentralización de funciones, responsabilidades y recursos del Sector"

El Programa de Descentralización 1995 - 2000 tiene cuatro **objetivos**:

- ◇ Fortalecer la capacidad institucional y los recursos públicos en los órdenes de gobierno más cercanos a la vida cotidiana de las comunidades, donde surgen los problemas se generan las demandas y deben aplicarse las soluciones.
- ◇ Redistribuir autoridad, responsabilidad y recursos del gobierno federal hacia los estados y municipios, con objeto de impulsar un renovado federalismo.
- ◇ Articular armónicamente acciones y programas de los tres órdenes de gobierno para:
 - a) Mejorar la prestación de servicios;
 - b) Satisfacer necesidades sociales;

- c) Aprovechar en forma óptima la infraestructura, y
- d) Contribuir a la integración nacional.

◇ Enfatizar la función normativa, reguladora y promotora de la SCT.

En virtud de lo anterior y en concordancia con las políticas del Plan Nacional de Desarrollo, en la presente exposición se describen las acciones coordinadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes ejecutadas por los Centros SCT ubicados en las 31 entidades federativas de México para la descentralización de facultades, atribuciones y recursos hacia los Gobiernos Estatales. Así mismo, se explica la transferencia de recursos presupuestales, la asignación de personal técnico y de vehículos, equipo y maquinaria a los Estados.

La SCT firmó con 30 Entidades Federativas acuerdos de coordinación general que involucran los siguientes aspectos esenciales y conceptuales:

- ✓ Materias de la Descentralización
- ✓ Etapas del Proceso de Descentralización
- ✓ Recursos Humanos
- ✓ Recursos Financieros
- ✓ Recursos Materiales
- ✓ Capacitación y Asistencia Técnica

Posteriormente, se elaboraron y firmaron con doce Entidades Federativas convenios específicos para descentralizar funciones por áreas o dependencias afines al Sector, en los que se especifican con toda claridad las atribuciones, responsabilidades y recursos que se descentralizan, así como la forma y tiempo en que se lleva a cabo este proceso.

Con el propósito de llevar a cabo de manera ordenada los trabajos de descentralización, ésta se está realizando en dos etapas: Preparación y Consolidación.

En la **etapa de Preparación** o de transición, la conservación de la red secundaria es por parte de los estados y municipios con recursos federales. En esta etapa, la responsabilidad de mantener la red carretera secundaria a descentralizar en condiciones óptimas de operación corresponde exclusivamente al Gobierno Federal, razón por la cual los recursos federales que se autoricen para su conservación y reconstrucción deben destinarse a los tramos previamente determinados por el modelo de gestión de la Secretaría, manteniéndose la jurisdicción federal. En esta etapa la SCT asume las contingencias (reclamos legítimos de terceros y daños causados por fenómenos naturales).

En esta etapa, el Gobierno Federal transferirá al Gobierno Estatal los recursos autorizados en el Presupuesto de Egresos de la Federación para el ejercicio fiscal 1997, en materia de conservación de la red carretera y caminos rurales que será materia de descentralización, para que el Gobierno Estatal lleve a cabo los trabajos

de conservación conducentes, sin que ello implique el cambio de jurisdicción de la infraestructura transferida. El ejercicio y control de los recursos estará sujeto al marco jurídico de orden federal; así como a las normas y criterios aplicables en este ámbito. Así, en la ejecución de los trabajos inherentes en la conservación y reconstrucción de la red carretera federal secundaria, el gobierno estatal se ajustará a las normas técnicas emitidas por la SCT.

En la Segunda **etapa de consolidación**, se formalizará el cambio de jurisdicción y, por ende, se transferirán los recursos y facultades en materia de conservación y operación de la red transferida; para lo cual, el Gobierno Federal y el Gobierno Estatal prestarán especial atención a la regulación del autotransporte de manera que se logre una adecuada armonización de las disposiciones a órdenes federal y estatal.

En ésta etapa, la SCT reasignará al gobierno estatal los recursos financieros que, en su caso, sean autorizados por la Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, en el Presupuesto de Egresos de la Federación de cada año para las tareas de conservación y reconstrucción anual, de conformidad con una fórmula de distribución sustentada en criterios de homogeneidad y equidad.

La SCT proporcionará al Gobierno Estatal la asesoría y capacitación técnica que se requiera para la ejecución de las funciones que se descentralizan. Así mismo, se brindará el apoyo necesario en materia de normatividad para que los Gobiernos Estatales desarrollen la actividad transferida de una manera adecuada.

La SCT transmitirá al Gobierno Estatal los bienes-muebles destinados a las actividades de conservación y reconstrucción de la red carretera y caminos rurales a transferir; así como, en su caso, los espacios físicos que les correspondan, observando para ello lo dispuesto en la normatividad aplicable.

La SCT adoptará las medidas necesarias para establecer el enlace y la comunicación adecuada con los gobiernos estatales para dar debido seguimiento a los compromisos asumidos.

El objetivo del programa de descentralización 1995 - 2000 es llegar a este último año con la Red Carretera Federal Secundaria totalmente descentralizada, en favor de los gobiernos estatales y que éstos cuenten con los recursos suficientes para atender las necesidades tanto de la red transferida como de su propia red de carreteras estatales.

La SCT proporcionará a los gobiernos de los estados, un modelo de gestión que permita la programación de los recursos con base en las prioridades de cada entidad federativa y que permita incorporar a su red estatal la red secundaria descentralizada y, de esta suerte, aplicar los recursos que se le transfieran conforme a las necesidades que los propios estados determinen. La Dirección General de Conservación de Carreteras considera que el Sistema Mexicano de

Administración de Pavimentos (SIMAP) concebido y desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte, es una opción para llevar a cabo esta tarea; es así que en materia de planeación y programación de las actividades de conservación, se les brindará la asesoría y capacitación técnica necesaria para que en el ámbito estatal puedan implementar el SIMAP.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes está realizando las siguientes acciones en materia de descentralización de la red carretera secundaria:

- ⊗ Se continuará el proceso de descentralización a los gobiernos estatales de la red federal secundaria.
- ⊗ Se establecerán mecanismos de capacitación, transferencia tecnológica y apoyo financiero y organizacional, que fortalezcan la gestión técnica de la SCT y contribuyan a incrementar la capacidad de los gobiernos locales.
- ⊗ Se procurará la homogeneización de las normas y especificaciones técnicas en materia de carreteras.
- ⊗ Se transferirán a los municipios los tramos carreteros con grandes volúmenes de tránsito urbano ubicados en las inmediaciones de algunas ciudades.

LA DESCONCENTRACIÓN DE FUNCIONES

La desconcentración de funciones, es una de las políticas del Gobierno Federal, por lo que la Dirección General de Conservación de Carreteras, ha desconcentrado a partir del año 1995 las acciones que a continuación se mencionan, lo que ha permitido que las labores correspondientes sean más ágiles y oportunas al ser realizadas directamente por los Centros SCT.

- ↳ Análisis de precios unitarios extraordinarios y determinación de los ajustes de costos.
- ↳ Licitación de los Estudios y Proyectos de las diversas obras bajo la responsabilidad de la Dirección General de Conservación de Carreteras.
- ↳ Dictámenes Técnicos relativos a las solicitudes de permisos para la transportación de objetos voluminosos y/o de gran peso, para las carreteras y puentes de jurisdicción federal.
- ↳ Dictámenes Técnicos referentes a solicitudes de permisos para la afectación del derecho de vía por la construcción de accesos, entronques, paraderos de autobuses, puestos semifijos, instalación de anuncios o señales, vibradores y otras obras.
- ↳ Licitación de las obras de conservación de la red de carreteras federales.

- ↳ Dictámenes Técnicos en relación con las solicitudes de permisos para la instalación marginal de ductos, para sus cruzamientos y adosamientos en puentes y alcantarillas, así como para la construcción de paradores turísticos.

TRANSFORMACION DEL SECTOR COMO ORGANO NORMATIVO

El eje rector de esa transformación, es el hecho de que la Secretaría desempeñará cada vez en menor medida un papel de ejecutor directo de acciones y, en cambio, tendrá que intensificar su labor en materia de asesorías, asistencia técnica, normatividad y gestión de programas. En consecuencia, en los años próximos será mucho lo que deberá trabajarse en el desarrollo de instrumentos de apoyo que puedan ser puestos a disposición de los gobiernos estatales y otros entes involucrados en la conservación de carreteras.

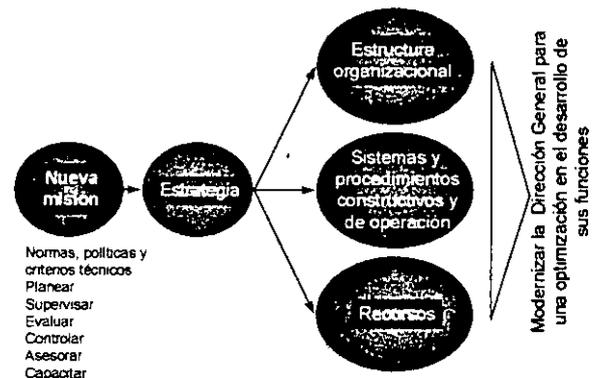
Un apoyo importante para la labor de asesoría y asistencia técnica lo constituye indudablemente, la actualización de la normativa técnica en materia de carreteras. Con la participación del Instituto Mexicano del Transporte, durante 1998 se pretende avanzar en forma significativa en la elaboración de una versión actualizada de las normas técnicas de la SCT. Se espera que con esa actualización, se contribuya de manera importante a la modernización de la práctica de la Ingeniería de las Vías Terrestres en México y, a la vez, se abran nuevos campos a la acción del ingeniero en áreas como el control de calidad, la supervisión y el desarrollo de proyectos carreteros.

Por lo que hace a la Dirección General de Conservación de Carreteras cambió su papel de coordinar la ejecución a la rectoría (normar, inspeccionar y apoyar). La DGCC era la unidad central que coordinaba la ejecución de la conservación de la red federal de carreteras en los Centros SCT, además de tener bajo su responsabilidad la construcción de obra pública.

En la actualidad la DGCC es la unidad que:

- ★ Norma la supervisión,
- ★ Realiza la planeación,
- ★ Supervisa la ejecución,
- ★ Evalúa desviaciones,
- ★ Propone medidas correctivas,
- ★ Asesora técnicamente y Capacita.

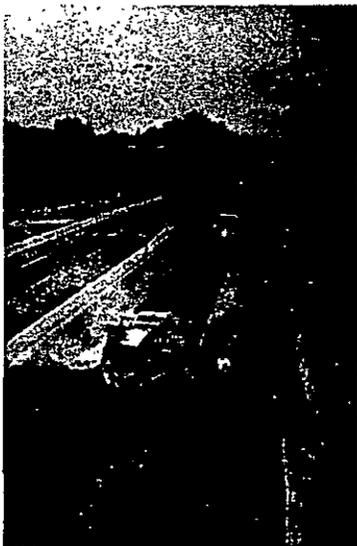
CAMBIO ORGANIZACIONAL.



Dentro de éstos dos últimos temas veamos algunos ejemplos en materia de innovaciones tecnológicas

INNOVACIONES TECNOLÓGICAS

La DGCC ha implementado tecnología de punta en el ámbito de conservación de carreteras, ejemplo de esto, es la utilización de nuevos procedimientos para evaluar pavimentos como pueden ser el KUAB y el DYNATEST y rugosímetros para obtener el IRI; nuevos materiales como pueden ser los geosintéticos, los modificadores de asfalto, los hules, etc.; y novedosos procedimientos de construcción que se han venido utilizando en los últimos años como la recuperación de pavimentos, espuma asfáltica, modificadores de asfalto, Open Graded, subdrenes geocompuestos etc. Veamos algunos de éstos.



Corte del pavimento con máquina recuperadora RR-250

Recuperación de pavimentos.

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

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

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

Lo anterior es una gran ventaja al efectuar la recuperación; además existe otra como la de homogeneizar la capa recuperada, respetar niveles de banquetta por el paso de las ciudades o puentes. Cuando existe exceso de asfalto, la recuperación es la mejor opción. Antes de llevar a cabo el proceso de la recuperación, se debe hacer acopio de todos los materiales requeridos en el tramo.

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

mismo), para después volver a incorporar el material al camino, para su tendido y compactación trayendo como consecuencia altos costos y pérdida de tiempo.

A fines del año de 1992, la DGCC, en su afán de abatir el costo de este proceso, adquirió 20 máquinas recuperadoras de caminos RR-250 y rentó con opción a compra 5 más, haciendo un total de 25 unidades de este tipo.

Esto fue en razón de que con una máquina recuperadora se suplían en el lugar de la obra todas esas actividades inherentes a la recuperación, con una sola pasada.

Dicha máquina es autopropulsada, tiene un rotor o tambor de púas con puntas de carburo de tungsteno, lo que permite que el trabajo se efectúe rápidamente con un equipo mínimo y pocas interrupciones del tránsito vehicular.

Por motivos económicos, para un ancho de corona de 3.5 metros el grosor más apropiado para la recuperación de las capas de la estructura en un pavimento, se recomienda sea por lo menos de 152 mm. (6") y el proceso a seguir es el siguiente:

1. Se aplica y dimensiona la penetración y corte de la base y carpeta asfáltica, dependiendo del resultado del estudio de pavimento que se haya efectuado al respecto.
2. Se crea una base disgregada que requiere, en términos generales, ser mejorada de acuerdo a los análisis del laboratorio.
3. De acuerdo al estudio de laboratorio del material a recuperar, se incorporan los agregados necesarios; en caso de no contar con el suministro directo de asfalto del autotanke, se empleará la petrolizadora.
4. Se afina el tendido con una motoconformadora.
5. Se compacta previamente con un rodillo liso, posteriormente con uno vibratorio y para finalizar con un compactador neumático.
6. Según las condiciones a que va a ser sujeta la nueva base asfáltica, se aplica rigurosamente una carpeta o riego de sello.

El avance en una jornada en este tipo de trabajos con una máquina recuperadora RR-250 es de 400 a 600 metros lineales por ala; y el costo promedio por kilómetro de recuperación con un corte de 15 cm es del orden de \$210,000 pesos (25,000 Dls.).

A partir del segundo semestre de 1994 se implementó un mecanismo para el control y



seguimiento a nivel nacional del Subprograma de Recuperación de Pavimentos.

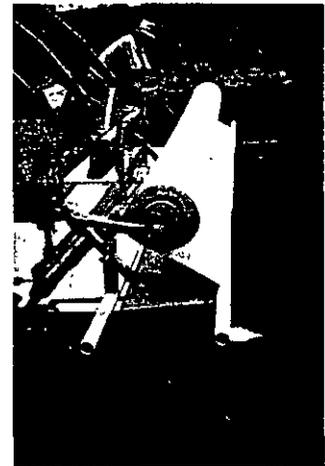
Puede afirmarse que la recuperación de pavimentos ha dado magníficos resultados, tanto desde el punto de vista funcional como económico, para las labores que la Secretaría aún realiza por administración directa.

Geosintéticos.

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

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

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



Tendido de Geotextil.

Subdrenaje.

Elemento fundamental en la conservación adecuada de nuestra infraestructura, lo constituye el subdrenaje que debe ser atendido a riesgo de padecer las consecuencias de no hacerlo. El criterio seguido e instruido por la DGCC es el de resolver primero algún problema de subdrenaje antes de resolver un problema en la superficie de rodamiento.

En los tiempos recientes, se han venido construyendo los subdrenes geocompuestos prefabricados como sistemas de subdrenaje de pavimentos constituidos por un conducto o serie de conductos de formas diversas fabricados a base de polietileno de alta densidad que se recubren con un geotextil de poliéster no tejido.



Colocación de subdrén geocompuesto prefabricado en la zanja.



Este sistema, a diferencia del subdrenaje tradicional no requiere de tubería perforada, material de filtro ni de plantilla de arena; sino, que la zanja se rellena con el material producto de la excavación, la que se realiza con una máquina zanjadora que puede tener anchos de cepa tan reducidos como de 30 a 50 cm, minimizando el volumen de excavación que requiere el sistema convencional. Lo anterior se traduce en importantes ahorros de tiempo y recursos, sin menoscabo en la calidad.

Subdrén geocompuesto prefabricado colocado en la zanja

CONCLUSIONES

He expuesto los lineamientos estratégicos en materia de conservación de carreteras que se llevan a cabo en la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y en específico en la Dirección General de Conservación de Carreteras.

Como podrán haber observado, nos encontramos en una época en donde el cambio no nada más es necesario sino indispensable para optimizar las inversiones realizadas en la red federal de carreteras, mejorando con ello, el bienestar y seguridad de los usuarios que circulan por nuestras carreteras.

Como ejemplo de este cambio, hemos citado la implementación de sistemas de gestión de pavimentos y puentes, la reciente contratación de la conservación rutinaria de forma plurianual, la descentralización de la red federal secundaria así como la desconcentración de funciones y finalmente la implementación de nuevos procedimientos y materiales para la conservación de carreteras.

Al cumplir con las metas que la Secretaría se ha trazado en materia carretera para este año, seguiremos contribuyendo al repunte de la actividad económica nacional, particularmente en el sector del mantenimiento de carreteras, cuya capacidad de generación de empleo es ampliamente conocida por todos nosotros, como lo son también sus poderosos efectos detonadores. Estamos ciertos de que contaremos con su más amplia colaboración y una prueba de ello, es la realización de eventos como el que hoy nos reúne.

Con lo anterior, me resta agradecerles su atención brindada en los últimos 30 minutos y espero que esta plática haya satisfecho sus expectativas.

Muchas Gracias.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS

**ING. MANUEL ZARATE AQUINO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

DIPLOMADO EN PROYECTO,
CONSTRUCCION Y CONSERVACION
DE CARRETERAS

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.

EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS

ING. MANUEL ZARATE AQUINO

MODULO III
CONSERVACION Y OPERACION

JUNIO, 1998.

Un pavimento es un operador que funciona a base de respuestas, cuando es activado por funciones de excitación.

Físicamente el pavimento es un sistema multicapa, constituido por materiales de características mecánicas conocidas, dispuestos en capas de espesor conocido. De esta manera, el pavimento está caracterizado por las propiedades, disposición y cantidad de los materiales utilizados así como de la calidad de la construcción.

Cuando actúan sobre el pavimento funciones tales como las cargas producidas por el tránsito, se generan respuestas inmediatas del pavimento que obedecen leyes físicas identificadas como estados de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones.

La aplicación constante de esas sollicitaciones, conjuntamente con factores de tipo ambiental, entre otros, producen la presencia continua y repetida de los estados de esfuerzos, deformación permanente y deflexiones, lo que genera efectos de naturaleza permanente progresiva, acumulada interactuamente y dependientes del tiempo, denominados deterioros.

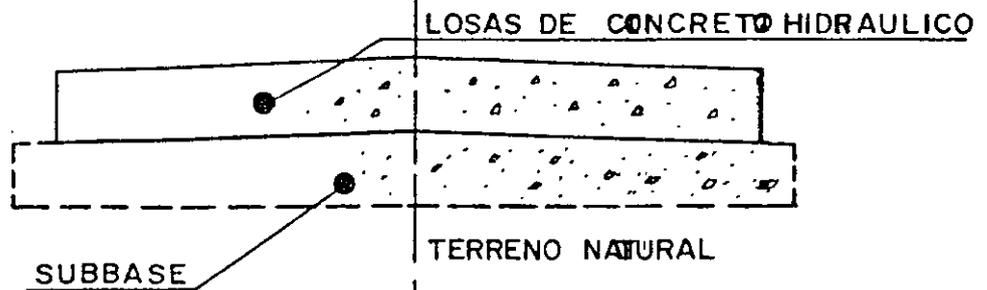
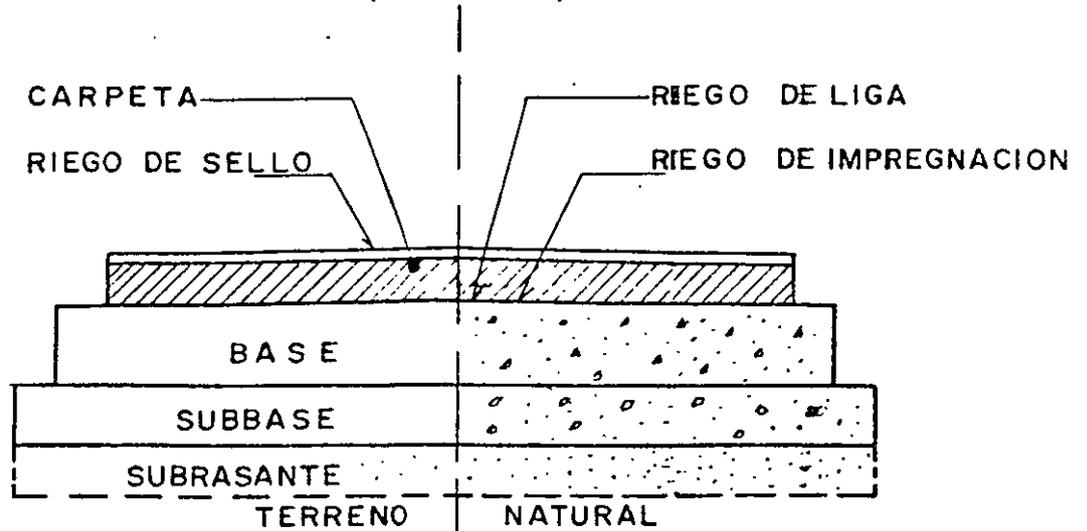
Los deterioros se clasifican principalmente en agrietamientos, distorsiones, desintegraciones y disminución de la resistencia al derrapamiento, cuya magnitud y extensión progresan con el tiempo, hasta alcanzar valores críticos, límite o terminales, que definen las condiciones de falla de los pavimentos.

El tiempo transcurrido hasta alcanzar las condiciones de falla constituye el ciclo de vida del pavimento, durante el cual, las condiciones y características del pavimento se degradan con el tiempo, dando lugar a una curva de comportamiento, que refleja propiamente el nivel de servicio que el pavimento proporciona al usuario, lo cual tiene a su vez importantes implicaciones de tipo económico.

El comportamiento es una medida de la eficiencia con la que el pavimento cumple con sus funciones respecto al usuario, en cuanto a los conceptos de seguridad, comodidad y economía.

El proyecto de un pavimento debe involucrar los aspectos de diseño estructural, materiales y su disposición, tránsito, clima, aspectos constructivos y estrategias de conservación, cuya eficiencia debe juzgarse a través de su curva de comportamiento y una evaluación beneficio costo.

ESTRUCTURAS
PAVIMENTO ASFALTICO
(FLEXIBLE)



PAVIMENTO DE CONCRETO
(RIGIDO)

PAVIMENTO: SUPERESTRUCTURA DE UNA OBRA VIAL QUE HACE POSIBLE EL TRÁNSITO DE VEHÍCULOS CON LA COMODIDAD, SEGURIDAD, EFICIENCIA, ECONOMÍA Y EN EL PLAZO PREVISTOS EN EL PROYECTO

- ATRIBUTOS:**
- a) CAPACIDAD PARA SOPORTAR LAS CARGAS
 - b) RESISTENCIA ADECUADA AL DERRAPAMIENTO
 - c) REGULARIDAD SUPERFICIAL LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL
 - d) RÁPIDA ELIMINACIÓN DEL AGUA SUPERFICIAL
 - e) BAJO NIVEL DE RUIDO
 - f) BAJO NIVEL DE DESGASTE DE LAS LLANTAS
 - g) ADECUADAS PROPIEDADES DE REFLEXIÓN LUMINOSA
 - h) APARIENCIA AGRADABLE

IMPORTANTE: RELACIÓN PROYECTO - CONSTRUCCIÓN-SUPERVISIÓN

CONCEPTOS ESTABLECIDOS A PARTIR DE LA PRUEBA AASHO

- DIFERENCIACION ENTRE FALLA ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL
- INDICE DE SERVICIO Y CALIFICACION ACTUAL
- NIVEL DE RECHAZO
- COMPORTAMIENTO
- INDICE DE ESPESOR
- CARGA EQUIVALENTE

ESTRUCTURAL.- COLAPSO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO O DE ALGUNO DE SUS COMPONENTES, DE TAL MANERA QUE EL PAVIMENTO ES INCAPAZ DE SOPORTAR LAS CARGAS O BIEN, SE REDUCE A UNA INTERRUPCION EN SU CONTINUIDAD O INTEGRIDAD. PUEDE DEGENERAR EN FALLA FUNCIONAL.

TIPO DE FALLA

FUNCIONAL.- EL PAVIMENTO NO CUMPLE CON SU FUNCION PRIMORDIAL, PROVOCANDO INCOMODIDAD E INSEGURIDAD EN EL USUARIO, ASI COMO ESFUERZOS IMPREVISTOS EN LOS VEHICULOS. NO SIEMPRE ESTA ACOMPAÑADA DE FALLA ESTRUCTURAL.

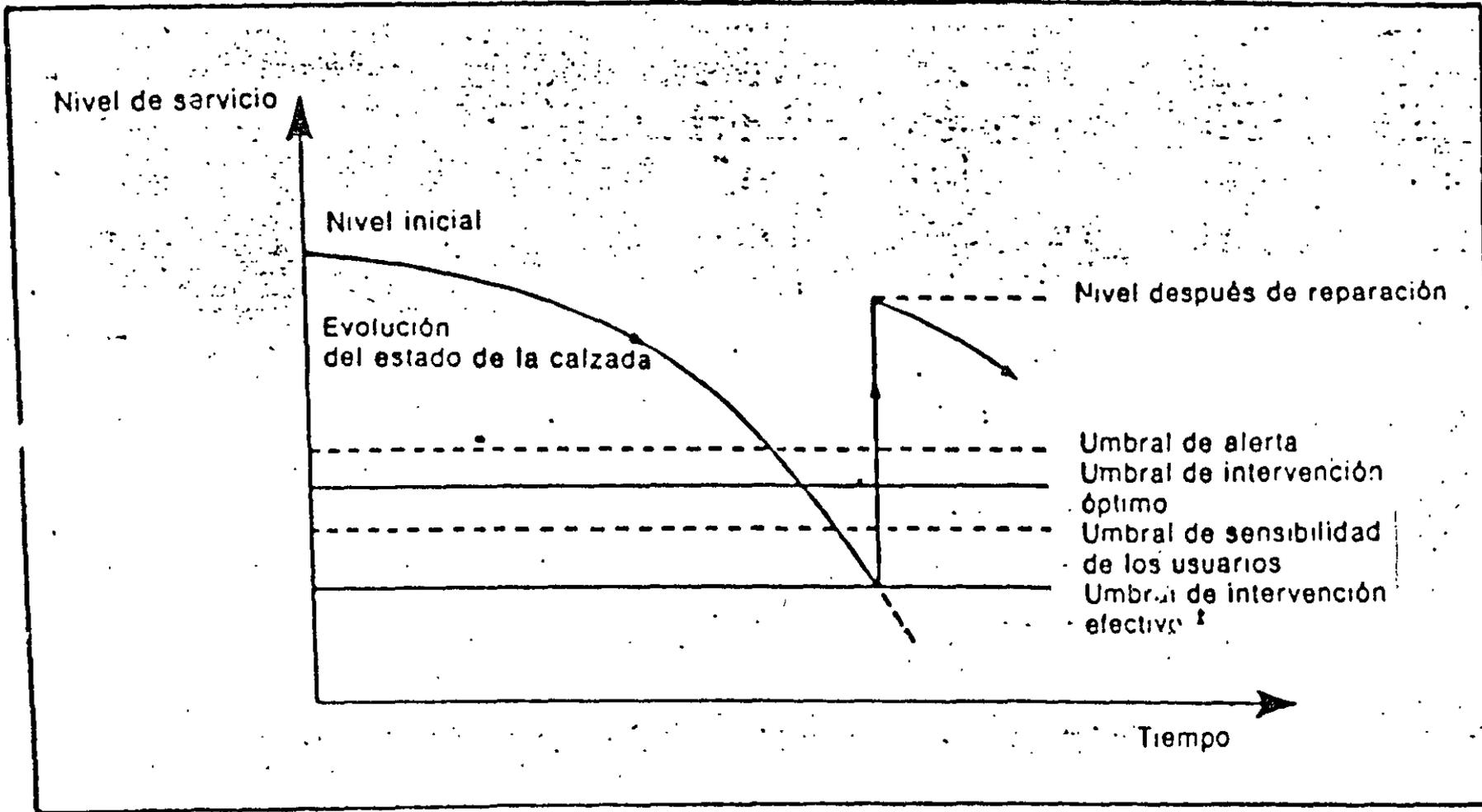
- NIVEL DE RECHAZO

· MINIMO NIVEL DE SERVICIABILIDAD ACEPTADO EN UN TRAMO DE PAVIMENTO, SE ELIGE EN FUNCION DE LA CATEGORIA DE LA CARRETERA.

- COMPORTAMIENTO

VARIACION DE LA SERVICIABILIDAD CON RESPECTO AL TIEMPO. SE DETERMINA MEDIANTE EVALUACIONES PERIODICAS DEL PAVIMENTO.

Figura 9. Evolución del nivel de servicio de una calzada



INDICE DE ESPESOR

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3$$

$$SN = 0.44 D_1 + 0.14 D_2 + 0.11 D_3$$

CARPETA CONCRETO ASFALTICO

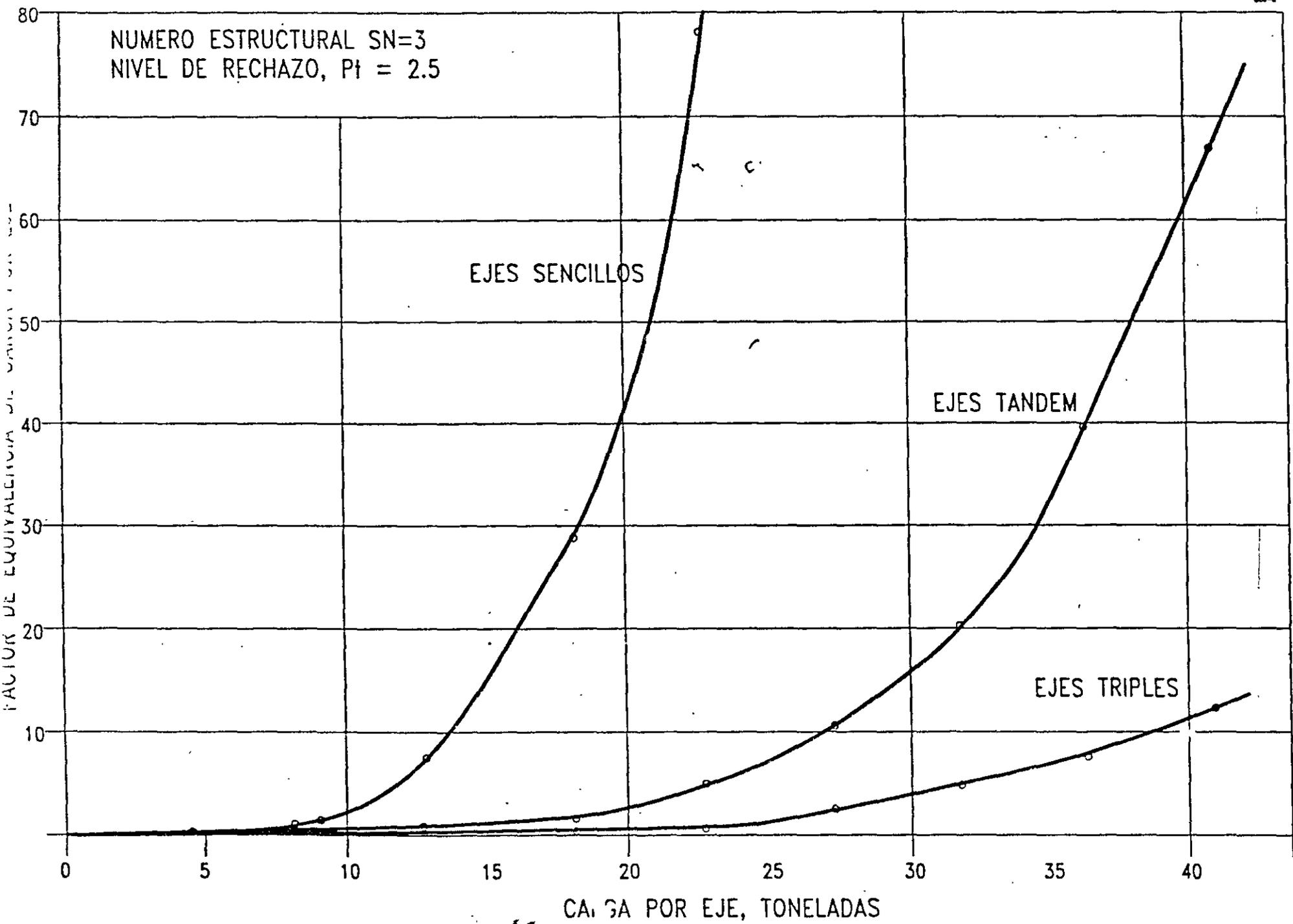
D₁

BASE GRAVA TRITURADA

D₂

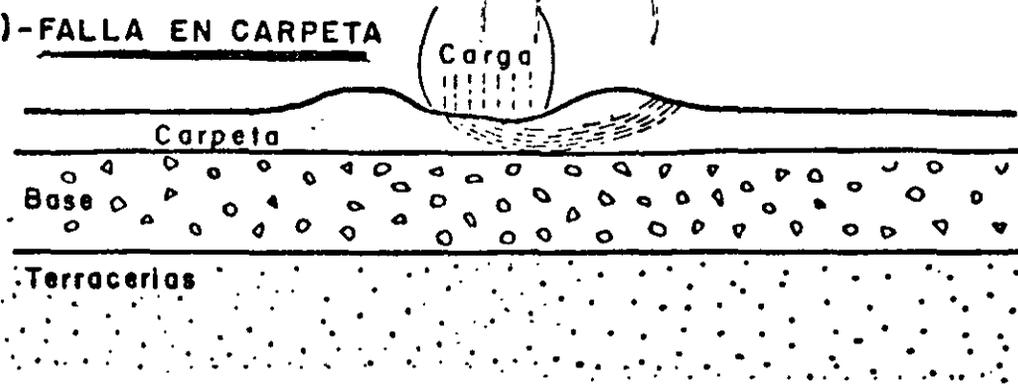
SUBBASE GRAVA Y ARENA

D₃

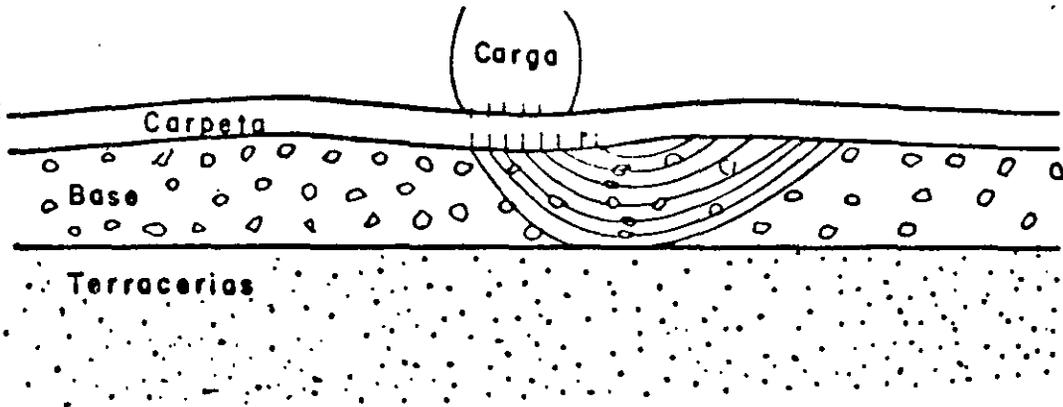


TIPOS DE FALLA

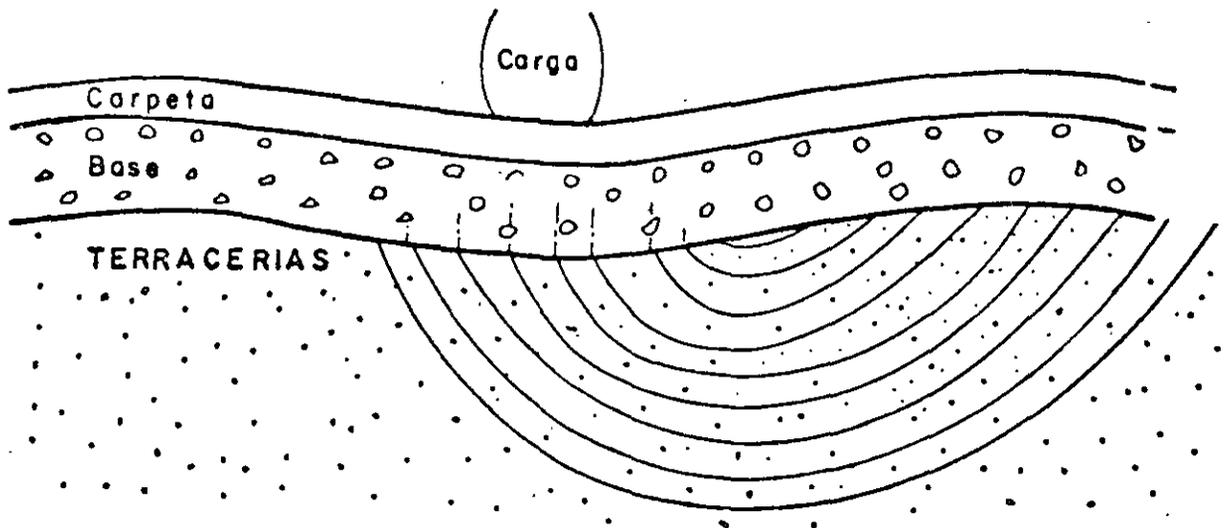
a) - FALLA EN CARPETA



b) - FALLA EN LA BASE

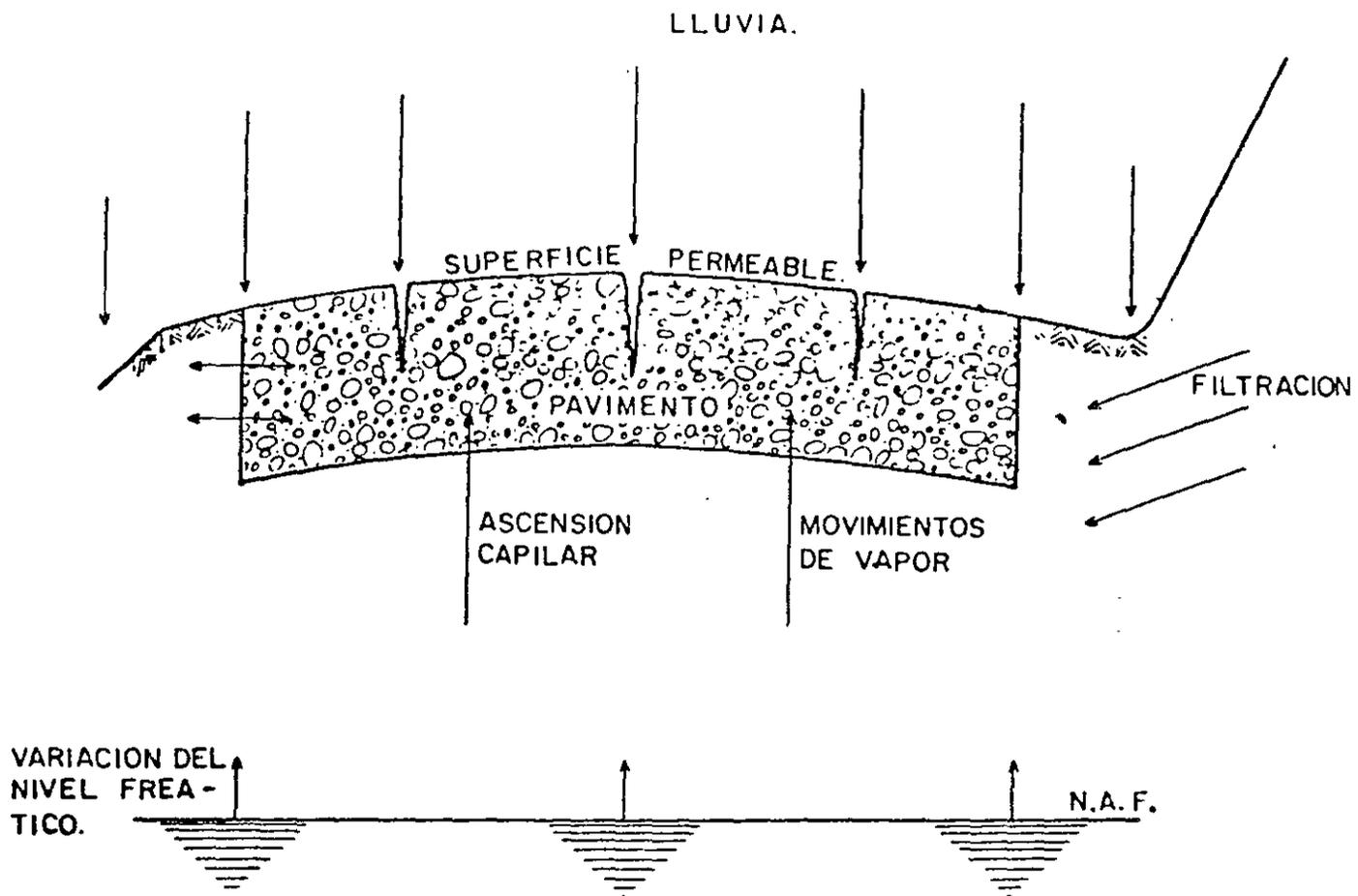


c) FALLA GENERAL DEL TERRENO DE CIMENTACION



FACTORES QUE AFECTAN A LA VIDA UTIL DE UN PAVIMENTO

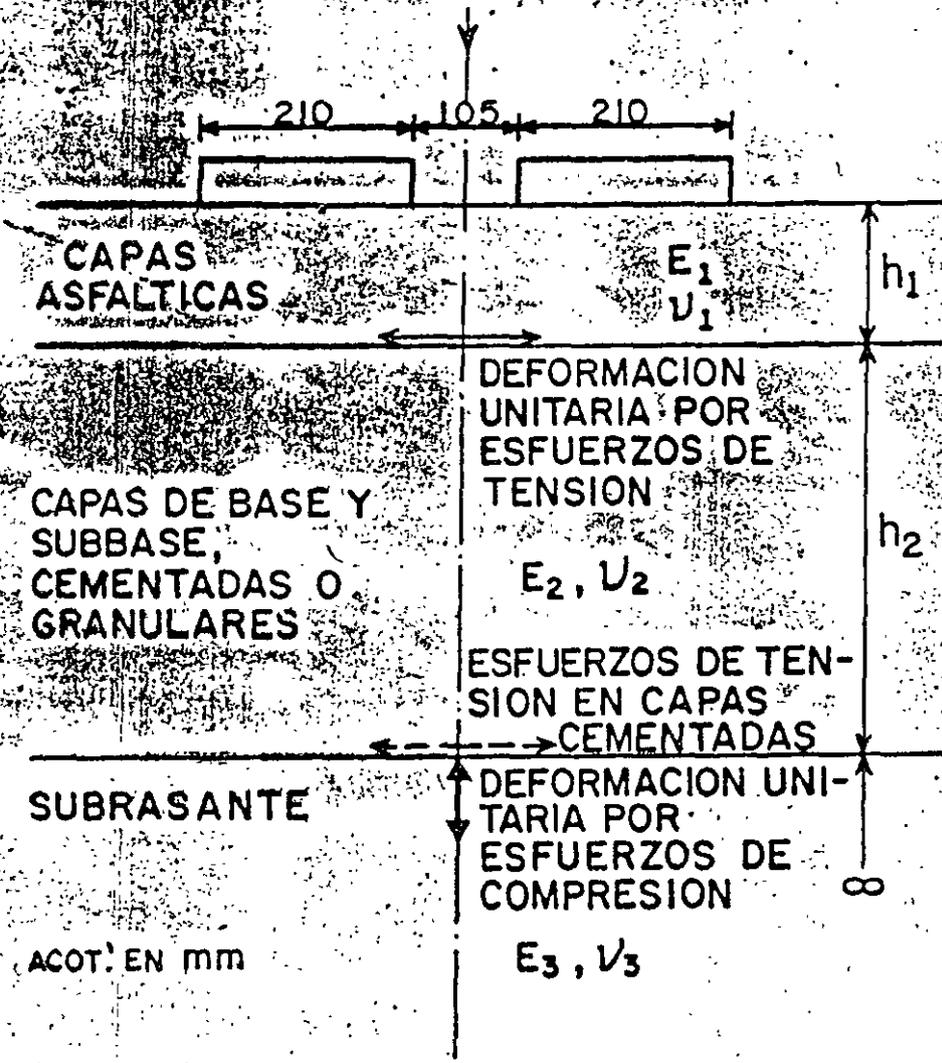
- TRANSITO
- MEDIO AMBIENTE
- CALIDAD DE LOS MATERIALES
- RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE
- CONDICIONES DE DRENAJE
- CALIDAD DE LA CONSTRUCCION
- NIVEL DE MANTENIMIENTO

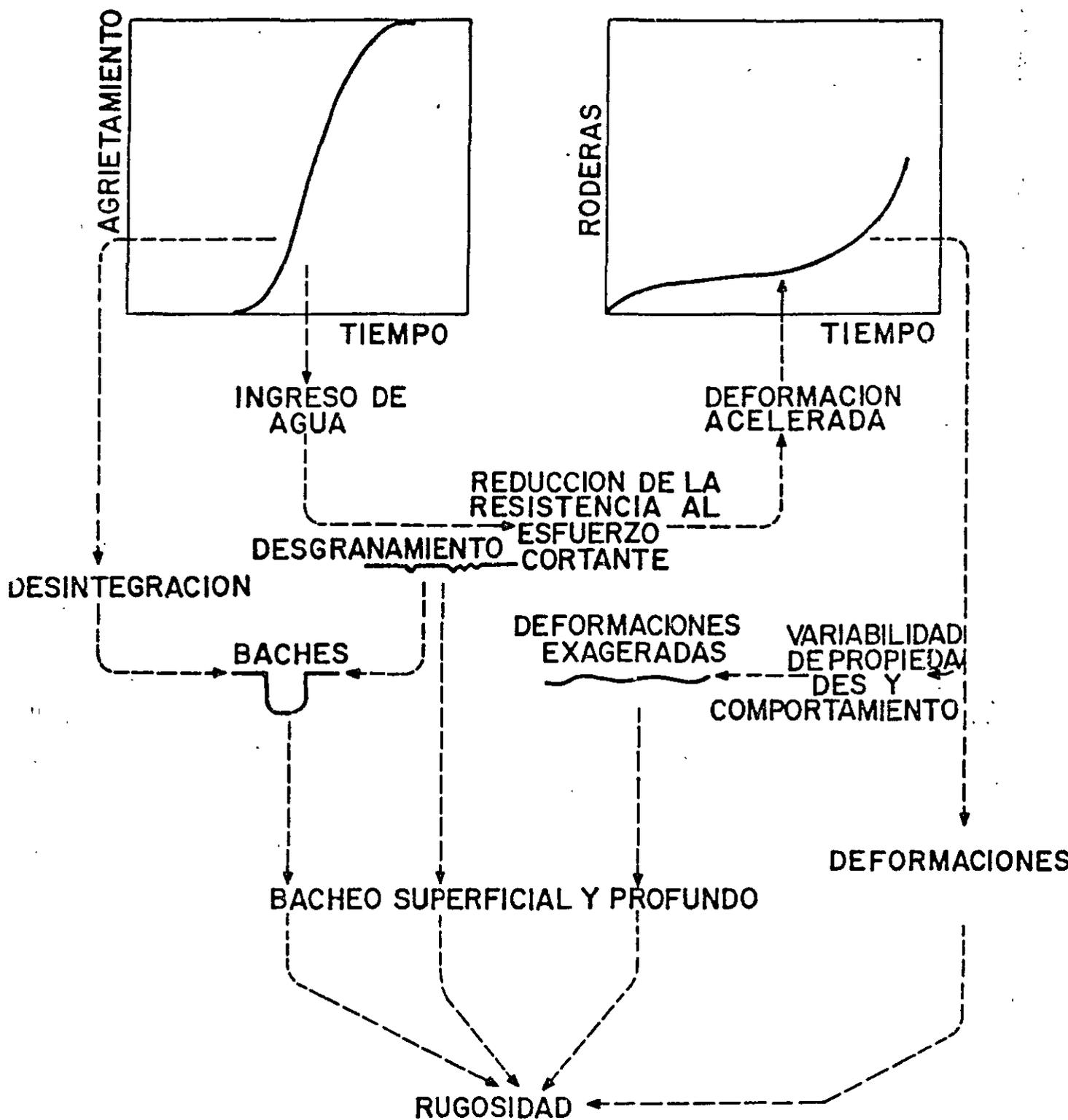


FORMAS EN QUE PUEDE ENTRAR EL AGUA AL PAVIMENTO.

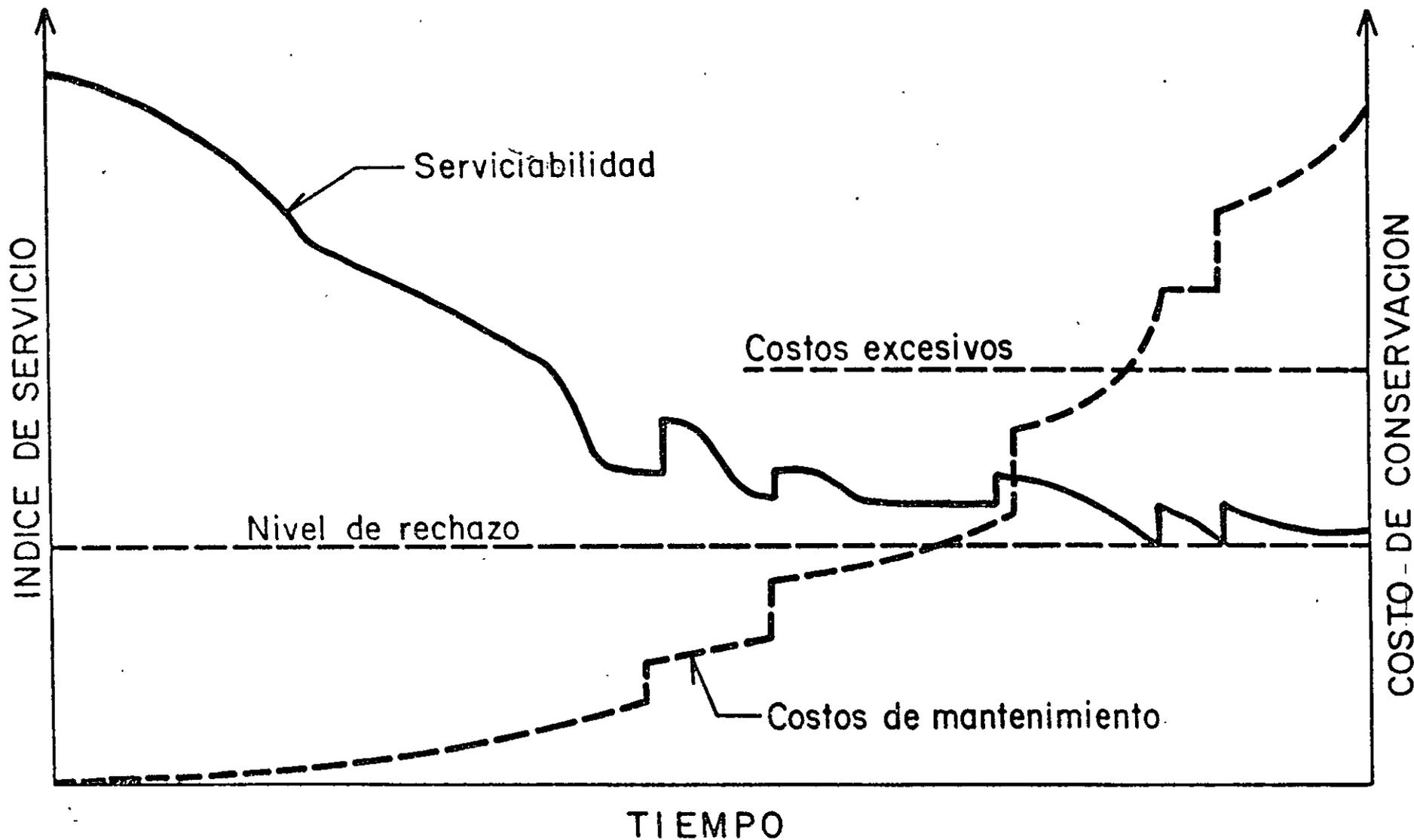
EFECTOS DEL AGUA

- Resistencia
- Deformabilidad
- Cohesión
- Expansión
- Agrietamiento
- Solubilidad
- Colapsabilidad
- Licuación
- Corrosión
- Erosión
- Tubificación
- Congelamiento - deshielo



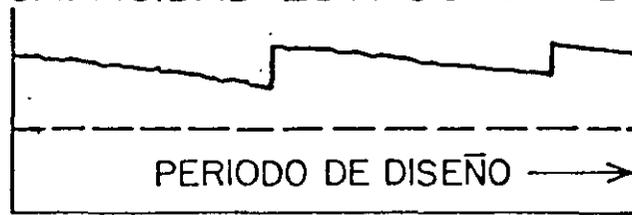


MECANISMOS E INTERACCIONES DE LOS DETERIOROS



COMPORTAMIENTO Y COSTOS DE CONSERVACION EN EL TRANCURSO DEL TIEMPO

CAPACIDAD ESTRUCTURAL



TIEMPO

COMPORTAMIENTO



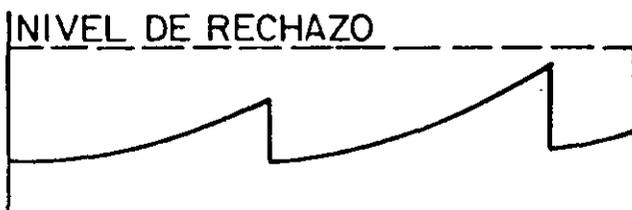
DETERIORO



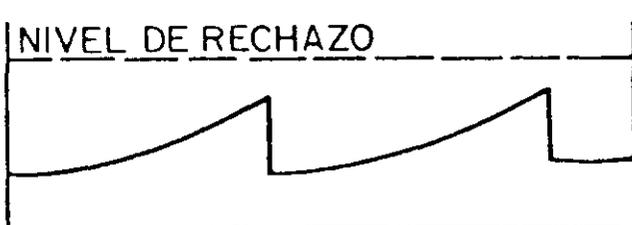
FRICCION



COSTO DE MANTENIMIENTO

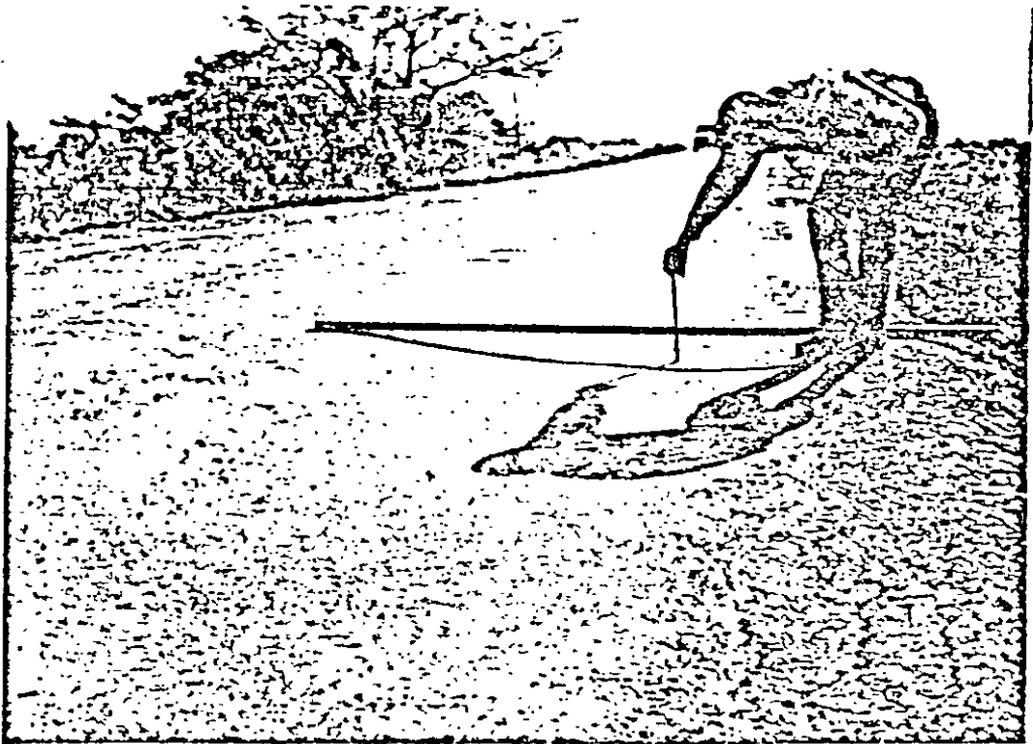


COSTO DE OPERACION



PARAMETROS MEDIDOS AL EVALUAR EL PAVIMENTO

PARAMETROS NECESARIOS PARA EL ANALISIS ECONOMICO



EVALUACION

MEDICION PERIODICA DE LAS CARACTERISTICAS PRINCIPALES DEL PAVIMENTO:

- CAPACIDAD ESTRUCTURAL
- RUGOSIDAD
- DETERIOROS
- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

CAPTA Y TRANSMITE INFORMACION ACERCA DE LA FORMA EN QUE EL PAVIMENTO CUMPLE CON SUS FUNCIONES.

PERMITE: COMPROBAR LAS PREDICCIONES DEL PROYECTO-PROGRAMAR LOS TRABAJOS DE REHABILITACION-MEJORAR LOS MODE--
LOS DE DISEÑO-MEJORAR TECNICAS DE CONSTRUCCION' Y
DE MANTENIMIENTO, PRONOSTICAR LA VIDA UTIL DEL PA
VIMENTO.

INFORMACION

- RUGOSIDAD
- DETERIORO SUPERFICIAL
- EVALUACION ESTRUCTURAL
- RESISTENCIA AL
DESPLAZAMIENTO

CAUSAS DE DETERIOROS
Y FALLAS

DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO

DEFICIENCIAS EN LOS MATERIALES

DEFICIENCIAS DE CONSTRUCCION

DEFICIENCIAS DE MANTENIMIENTO

EFFECTOS DEL TIEMPO, MEDIO AMBIENTE, ETC.

DEFICIENCIAS EN EL DISEÑO

- . TRANSITO . EVALUACION INCORRECTA DEL TRANSITO INICIAL
 - . CAMBIOS E INCREMENTOS FUTUROS

- . MATERIALES. DETERMINACION INCORRECTA DE SUS CARACTERISTICAS
 - . DESCONOCIMIENTO DE SU COMPORTAMIENTO
 - . MATERIALES POCO CONOCIDOS O MARGINALES

- . CLIMA Y MEDIO AMBIENTE. DATOS INSUFICIENTES O POCO CONFIABLES
 - . POCO CONOCIMIENTO DE SU INFLUENCIA EN EL COMPORTAMIENTO DE MATERIALES

- . OBRAS AUXILIARES Y COMPLEMENTARIAS. OMISION O INSUFICIENCIA

- . ESTRUCTURACION. CRITERIOS INADECUADOS

- . ESPECIFICACIONES. INSUFICIENTES O INADECUADAS

DEFICIENCIAS EN LOS MATERIALES

- . PROPIEDADES INTRINSECAS INADECUADAS
- . DESCONOCIMIENTO DE SU COMPORTAMIENTO
- . DEFICIENCIAS EN SU PROCESAMIENTO, MANEJO, TRATAMIENTO Y COLOCACION

DEFICIENCIAS DE CONSTRUCCION

- . EQUIPOS Y PROCESOS INADECUADOS
- . FALTA DE EXPERIENCIA EN EL MANEJO DE ALGUNOS MATERIALES
- . CALIDAD DE ACABADO INADECUADA
- . CONTROL DE CALIDAD DEFICIENTE

DEFICIENCIAS DE MANTENIMIENTO

- . REZAGOS

- . INOPORTUNO

- . INSUFICIENTE

EFFECTOS DEL TIEMPO, MEDIO AMBIENTE, ETC.
(NO RELACIONADOS CON EL TRANSITO)

- . ENVEJECIMIENTO
- . CONTAMINACION
- . DEGRADACION
- . SATURACION
- . OXIDACION
- . VARIACIONES VOLUMETRICAS
- . REFLEXION DE GRIETAS, JUNTAS, ETC.
- . REDUCCION DE LA RESISTENCIA A LA FRICCION

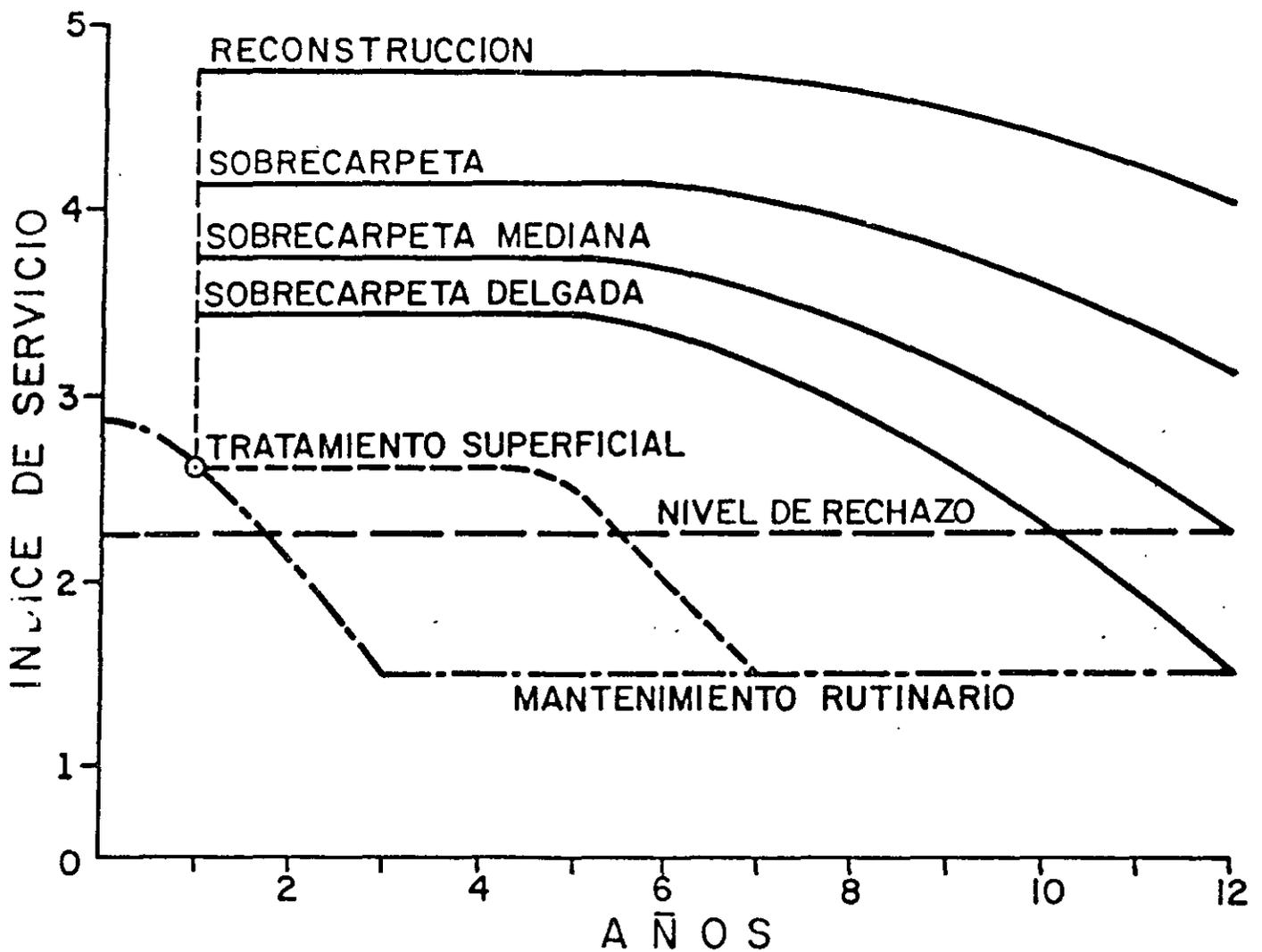
COSTOS

- COSTO INICIAL
- COSTO DE MANTENIMIENTO Y REHABILITACION

- COSTO DE OPERACION

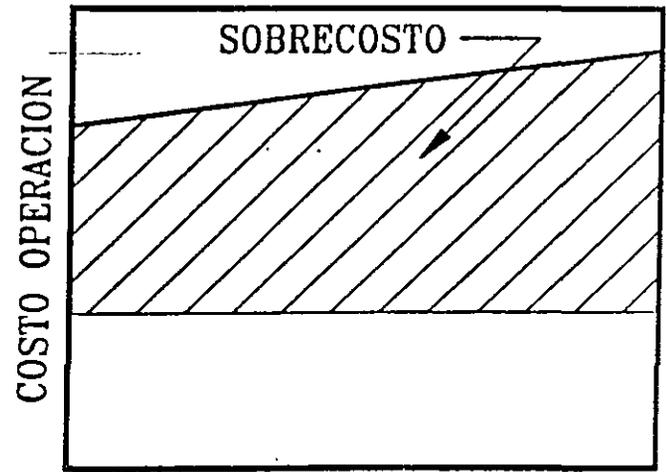
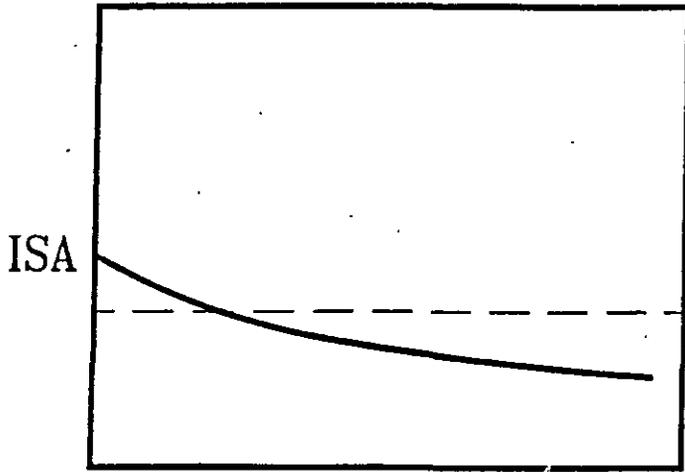


VEHICULO
DEMORAS
ACCIDENTES
INCOMODIDAD

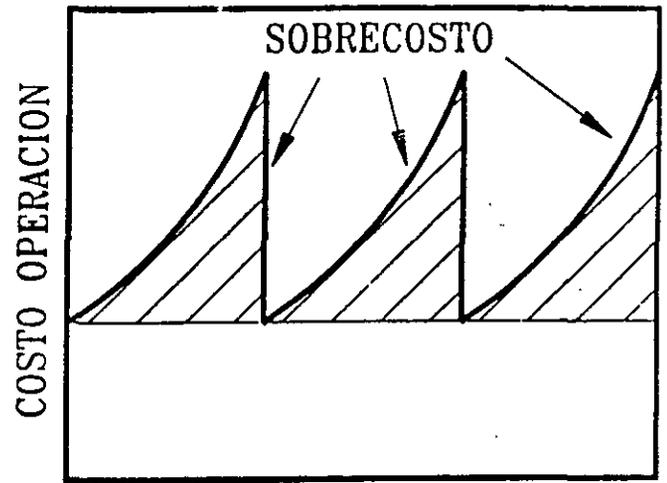
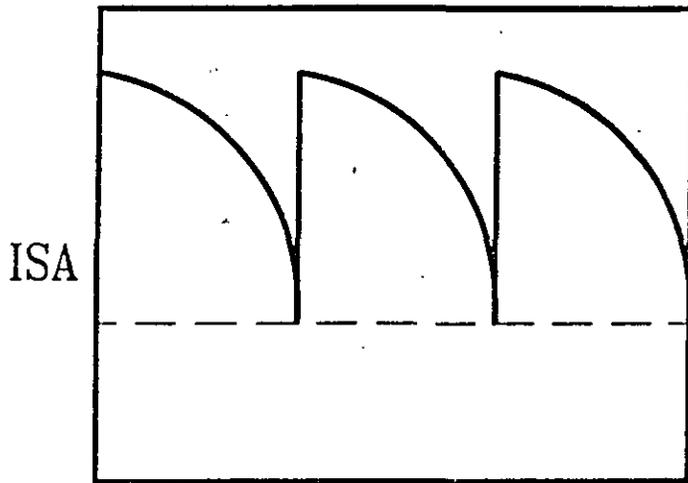


COMPORTAMIENTO TIPICO DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE CONSERVACION Y REHABILITACION

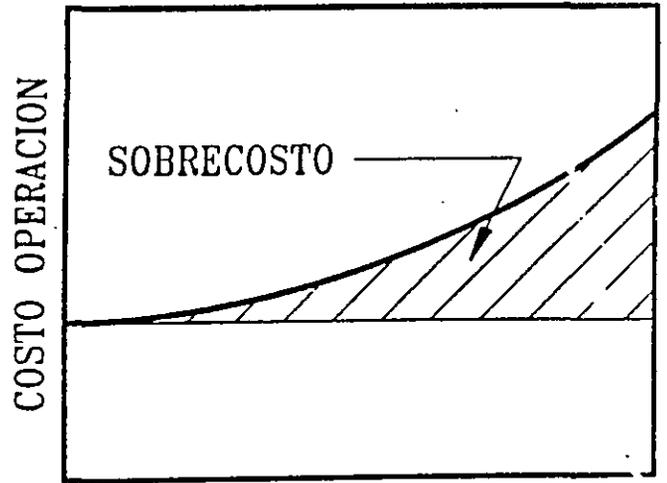
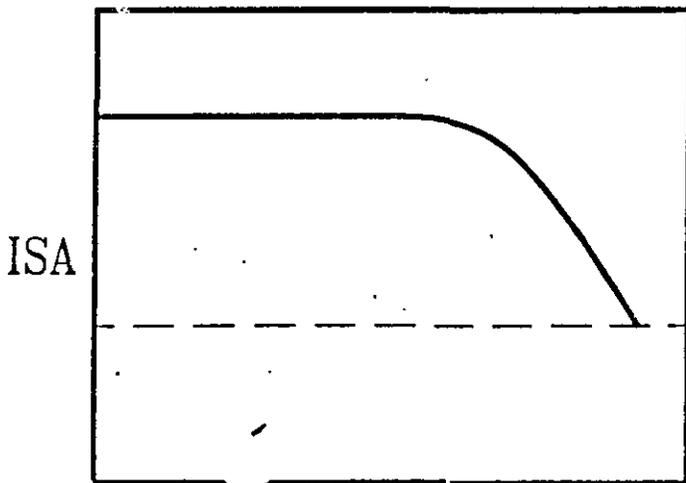
ALTERNATIVA 1



ALTERNATIVA 2



ALTERNATIVA 3

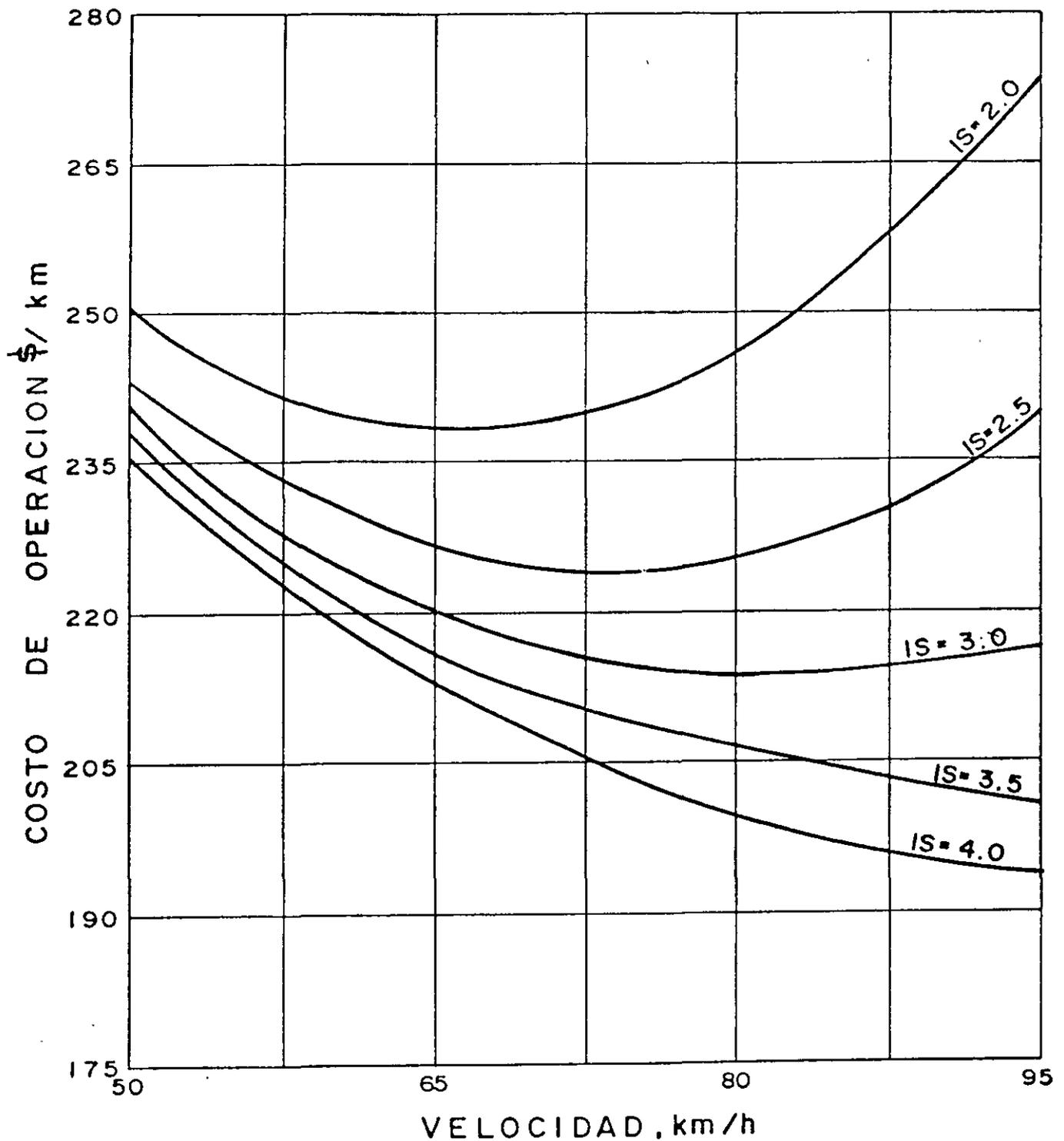


TIEMPO, ANOS

COMPARACION DE ALTERNATIVAS

CARACTERISTICAS DEL PAVIMENTO QUE AFECTAN
LOS COSTOS DE OPERACION

- 1.- RUGOSIDAD
- 2.- RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO
- 3.- COLOR
- 4.- APARIENCIA
- 5.- REFLEXION DE LA LUZ



COSTO DE OPERACION DE UN TRACTOR
 CON SEMIRREMOLQUE PARA DIFERENTES
 VALORES DE INDICE DE SERVICIO

TECNICAS DE EVALUACION DE PAVIMENTOS

EVALUACION	METODO	PROCEDIMIENTO
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	INVESTIGACION DIRECTA POR METODOS DESTRUCTIVOS RESPUESTA INMEDIATA AL EFECTO DE CARGAS	CALAS Y POZOS PRUEBAS DE PLACA (LCN) VIGA BENKELMAN DEFLECTOMETRO DE IMPACTO (HWD)
COMPORTAMIENTO	SERVICIABILIDAD	PERFILOGRAFO TIPO CALIFORNIA (INDICE DE PERFIL) CALIDAD DE RODAMIENTO MEDIANTE RUGOMETRO MAYS
DETERIORO SUPERFICIAL	LEVANTAMIENTO DE DAÑOS	INSPECCION VISUAL
SEGURIDAD	DETERMINACION DE LA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO	MEDIDOR DE FRICCION MU-METER
APARI CIA	OPINION	INSPECCION VISUAL

LOS DETERIOROS O FALLAS OBSERVADOS SON EL RESULTADO DE UN PROCESO DE DESGASTE O DEBILITAMIENTO DEL PAVIMENTO QUE SE INICIA -- CUANDO TERMINA SU CONSTRUCCION. SON LA EVIDENCIA VISIBLE DEL AVANCE DE DICHO PROCESO, CUYOS MECANISMOS DEBEN BUSCARSE EN LOS ESFUERZOS PRODUCIDOS POR EL TRANSITO, CAMBIOS DE HUMEDAD Y TEMPERATURA, MOVIMIENTOS EN EL TERRENO DE CIMENTACION, ETC.

CLASIFICACION DE DETERIOROS DE LOS PAVIMENTOS

FORMA	TIPO	DESCRIPCION
AGRIETAMIENTO	COCODRILO	POLIGONOS MENORES DE 30 CM
	LONGITUDINAL	GRIETAS LINEALES A LO LARGO DEL PAVIMENTO
	TRANSVERSALES	GRIETAS LINEALES TRANSVERSALES AL PAVIMENTO
	IRREGULARES	GRIETAS NO CONECTADAS CON PATRON INDEFINIDO
	MAPA	POLIGONOS MAYORES DE 30 CM
	BLOQUE	GRIETAS INTERCONECTADAS CON PATRON RECTANGULAR, CON ESPACIAMIENTOS MAYORES DE UN METRO
DESINTEGRACION	DESGRAMAMIENTO	PERDIDA DE PARTICULAS
	BACHES	CAVIDADES (MAYORES DE 15 CM DE DIAMETRO Y MAS DE 5 CM DE PROFUNDIDAD)
	FRACTURAS EN LAS ORILLAS	PERDIDA DE FRAGMENTOS EN LA ORILLA DEL PAVIMENTO
DEFORMACION	RODERAS	DEPRESION LONGITUDINAL EN LAS RODADAS
	DEPRESION	DEFORMACION EN FORMA DE CUENCA
	PROTUBERANCIA	ELEVACION LOCALIZADA EN LA SUPERFICIE
	BORDO	ELEVACION LONGITUDINAL DE LA SUPERFICIE
	CORRUGACION	DEPRESIONES TRANSVERSALES POCO ESPACIADAS
	ONDULACION	DEPRESIONES TRANSVERSALES CON ESPACIAMIENTO MAYOR DE 5 M
	RUGOSIDAD	IRREGULARIDAD DE LA SUPERFICIE EN LAS RODADAS
BAJA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO	SUPERFICIE LISA	PULIMENTO DE ADEGADOS, EXPULSION DE ASFALTO, PRESENCIA DE HULE, ARCILLA, ETC.

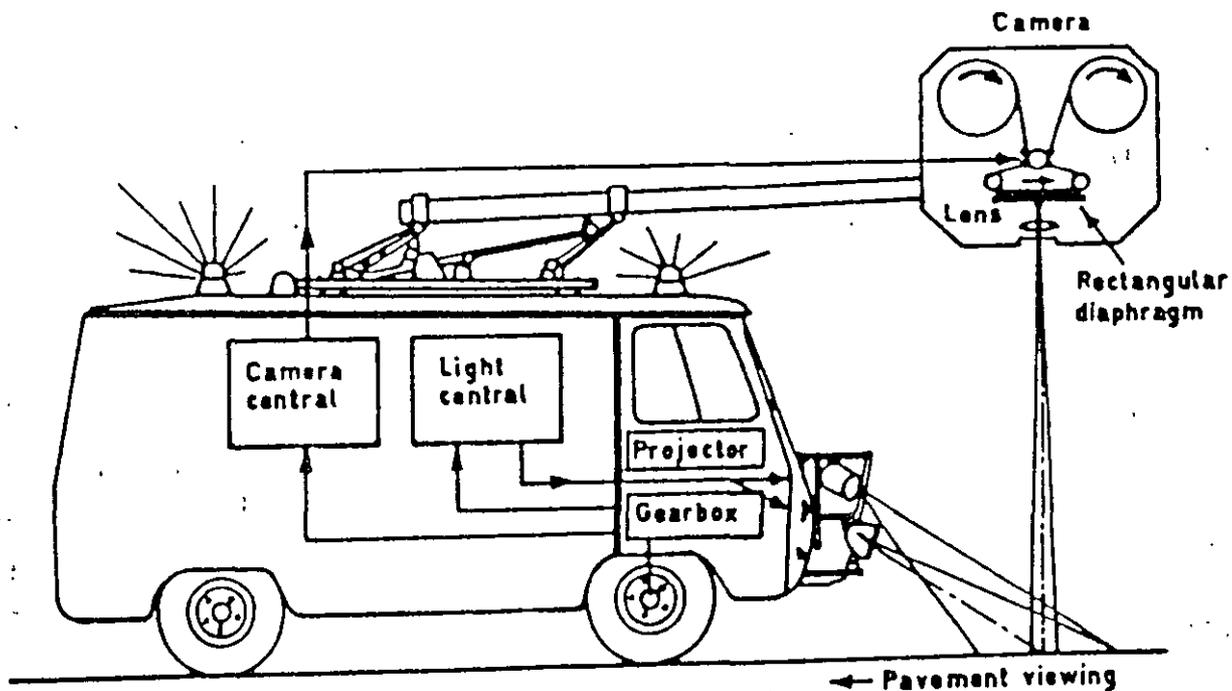


FIGURA 2.- ESQUEMA GENERAL DE FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO GERPHO

FORMAS PRINCIPALES DE DETERIORO QUE DEBEN CONSIDERARSE EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

<u>DETERIORO</u>	<u>CAUSA GENERAL</u>	<u>CAUSA ESPECIFICA QUE LO PRODUCE</u>
AGRIETAMIENTO O FRACTURAS	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CARGAS REPETIDAS (FATIGA) DESLIZAMIENTO (PRODUCIDO POR ESFUERZOS AL FRENAR) GRIETAS DE REFLEXION (PUEDEN INCREMENTARSE POR EL TRANSITO)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	CAMBIOS TERMICOS CAMBIOS DE HUMEDAD CONTRACCION DE LOS MATERIALES SUBYACENTES
DEFORMACIONES	ASOCIADAS CON EL TRANSITO	RODERAS (POR CARGAS REPETIDAS) FLUJO PLASTICO (CARGAS EXCESIVAS)
	NO ASOCIADAS CON EL TRANSITO	EXPANSION (PRODUCIDA POR ARCILLAS EXPANSIVAS O POR CONGELAMIENTO) DEFORMACIONES POR CONSOLIDACION
DESINTEGRACION RESISTENCIA DEFICIENTE AL DESARRAPAMIENTO	SE ASOCIA CON LAS CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES, MAS QUE CON CONSIDERACIONES DE DISEÑO ESTRUCTURAL. NO SE CONSIDERA EN LA FASE INICIAL DE DISEÑO.	

DETERIOROS TÍPICOS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

1.- AGRIETAMIENTOS

- 1.1.- PIEL DE COCODRILO
- 1.2.- GRIETAS EN ORILLA
- 1.3.- JUNTAS ENTRE PAVIMENTOS Y ACOTAMIENTOS
- 1.4.- JUNTAS DE CONSTRUCCION LONGITUDINALES
- 1.5.- GRIETAS DE REFLEXION
- 1.6.- GRIETAS DE CONTRACCION
- 1.7.- GRIETAS DE DESLIZAMIENTO DE CARPETA
- 1.8.- JUNTAS DE AMPLIACIONES DE PAVIMENTO

2.- DEFORMACIONES Y DISTORSIONES

- 2.1.- CANALIZACIONES O RODERAS
- 2.2.- CORRUGACIONES Y PROTUBERANCIAS
- 2.3.- DEPRESIONES
- 2.4.- EXPANSIONES
- 2.5.- DEPRESIONES O ASENTAMIENTOS EN RELLENOS

3.- DESINTEGRACION

- 3.1.- BACHES
- 3.2.- DISGREGACION

4.- BAJA RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO

- 4.1.- SANGRADO O EXPULSION DE ASFALTO
- 4.2.- PULIMENTO DE AGREGADOS

5.- PROBLEMAS DERIVADOS DE LA APLICACION INCORRECTA DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

- 5.1.- DESPRENDIMIENTO DE AGREGADOS
- 5.2.- RAYADO LONGITUDINAL
- 5.3.- RAYADO TRANSVERSAL

CATEGORIZACION DE LA OBRA					Z = ZERRO M = MODERADO Γ = FEAL MED = NO EXISTE DEBEROSO
1.5 ACOLMIENTO		50'0			
1.1 CANTON		80'0			
CONCEPTO	CATEGORIZACION BASICA	ALCANTARADO	DISTRIBUIDO	ZONA A+B	(δ) = (Δ) + (BC) CATEGORIZACION DE LA OBRA
		A	B	C	
(e)	(j)	AVALOR REGIONAL DEL CONCEPTO			(a)

CATEGORIZACION DE ACOLMIENTO										
E) BIECO DE ZERRO	1'0	2'2	5'2	5'0						
D) DESACOLMIENTO DE CURBETA	1'0	2'2	2'0	5'0						
C) TROVADO	1'0	2'2	5'2	5'0						
B) HOMBROS CUIDOS	1'0	2'2	2'0	5'2						
A) ANCHO	1'0	2'2	5'2	0'2						
1.5 ACOLMIENTO										

CATEGORIZACION DE CANTON										
K) BIECO DE ZERRO	1'0	2'2	5'2	5'0						
J) REBAYACIONES	1'0	2'0	5'0	1'0						
I) DESACOLMIENTO DE CURBETA	1'0	2'2	2'0	5'0						
H) TROVADO	1'0	2'2	5'2	5'0						
G) CUNILLEROS Y BUCHEZ	1'0	2'0	1'2	0'2						
F) MUREO	1'0	2'0	5'0	0'2						
E) BIEG DE CORDONITO	1'0	2'0	5'0	0'2						
D) CRISTAL	1'0	2'0	5'0	0'2						
C) MODEROS	1'0	2'2	5'0	0'2						
B) ONDULACIONES	1'0	2'0	1'2	0'2						
A) AZERMIENTOS	1'0	2'0	1'2	0'2						
1.1 CANTON										

CONCEPTO	BASICA	MED	Γ	M	Z	MED	Γ	M	Z	MED	Γ	M	Z	(2) = A+B+C+D ETEMULO DEL CATEGORIZACION
		EVALUACION DEL DEBEROSO				VALORACION (X) INTELIGENCIA O AREA				A	B	C	D	
(1)	(j)	(5)				(3)				(4)				(2)

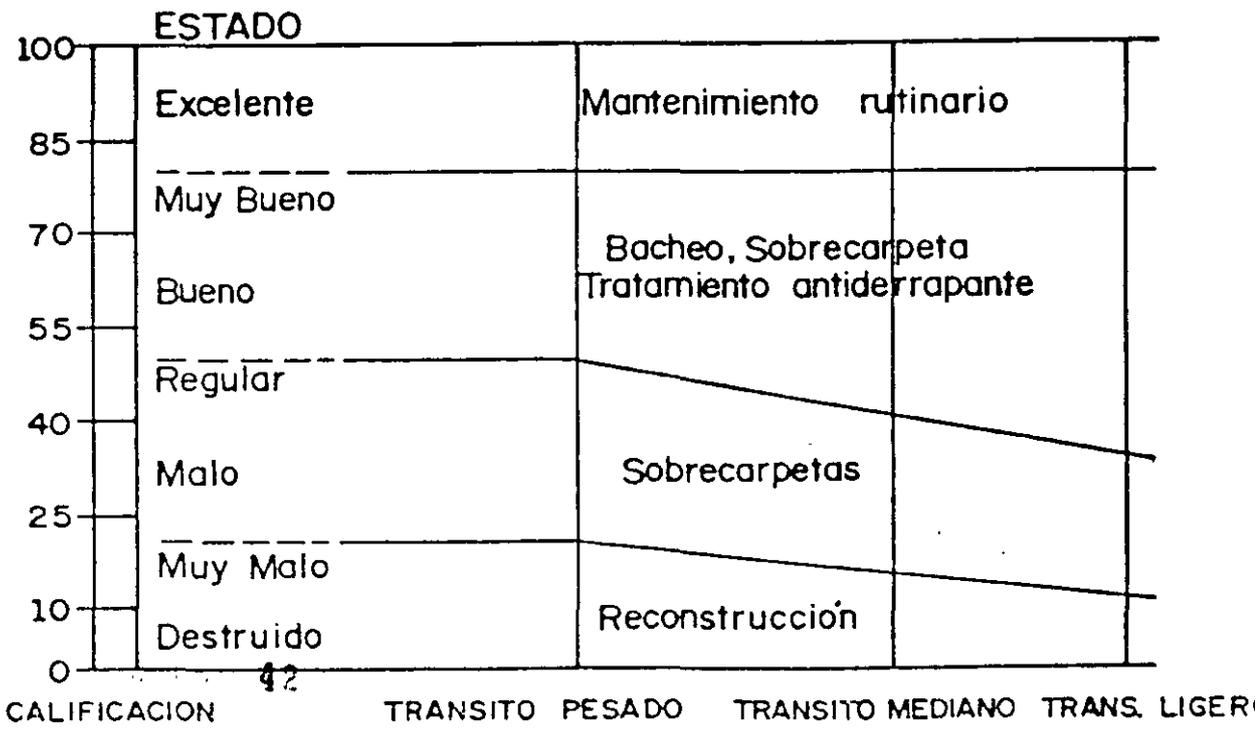
 DE INGRESOS Y SERVICIOS COMERCIALES CANTONALES Y FUENTES FEDERALES	REALIZADO: DEL DIA: CATEGORIA:	VALOR: DE:	ZONA NO. 1 OBRA	AÑO: EVALUADOR: TIPO:	FECHA: CATEGORIA: CLASE:
---	--------------------------------------	---------------	-----------------	-----------------------------	--------------------------------

CARRETERA _____ TRAMO _____
 SUBTRAMO _____ ANCHO CORONA _____ ANCHO CARPETA _____
 TIPO DE PAVIMENTO _____ FECHA _____

DEFECTOS:		CALIFICACION
Grietas Transversales _____	0-5	___
Grietas Longitudinales _____	0-5	___
Piel de cocodrilo _____	0-10	___
Grietas de contracción _____	0-5	___
Roderas _____	0-10	___
Corrugaciones _____	0-5	___
Desgranamiento _____	0-5	___
Deformaciones plásticas _____	0-10	___
Baches _____	0-10	___
Exceso de asfalto _____	0-10	___
Agregados pulidos _____	0-5	___
Deficiencias de drenaje _____	0-10	___
Calidad de Rodamiento (0 es excelente y 10 es muy malo) _____	0-10	___
	Suma de Defectos	___

Calificación de Condición = 100 - Suma de Defectos
 = 100 - _____

Calificación de Condición del Pavimento =



METODOS PARA MEDIR LA RUGOSIDAD

- 1.- PERFILOMETRO CHLOE (SLOPE INDICATOR)
- 2.- RUGOMETRO TIPO BUREAU OF PUBLIC ROADS (BPR)
- 3.- PERFILOMETROS TIPO ROAD RESEARCH LABORATORY (RRL) O HVEI
- 4.- MEDIDORES DE CARRETERAS TIPO (CAR ROAD METER), PCA Y MAYS

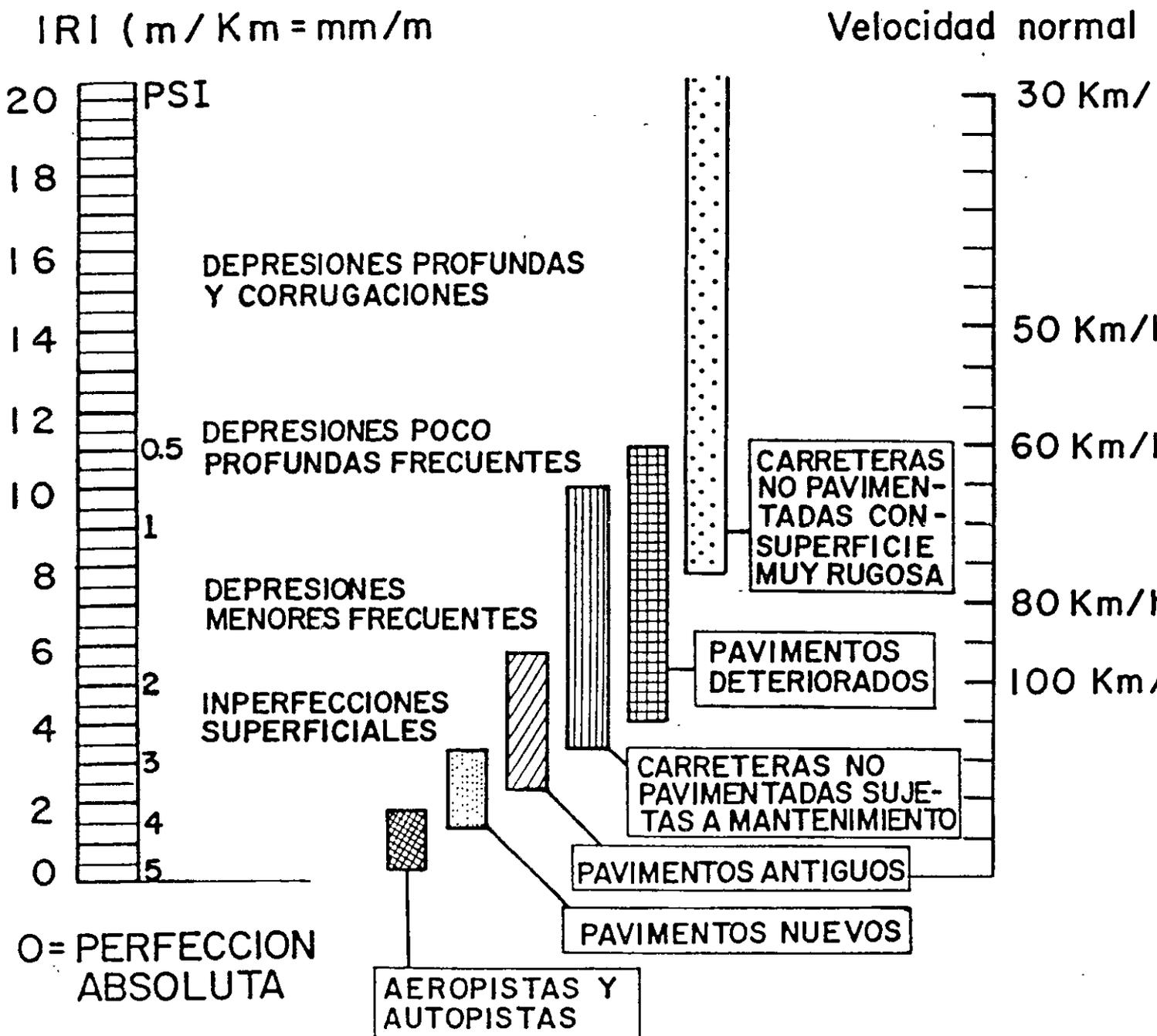
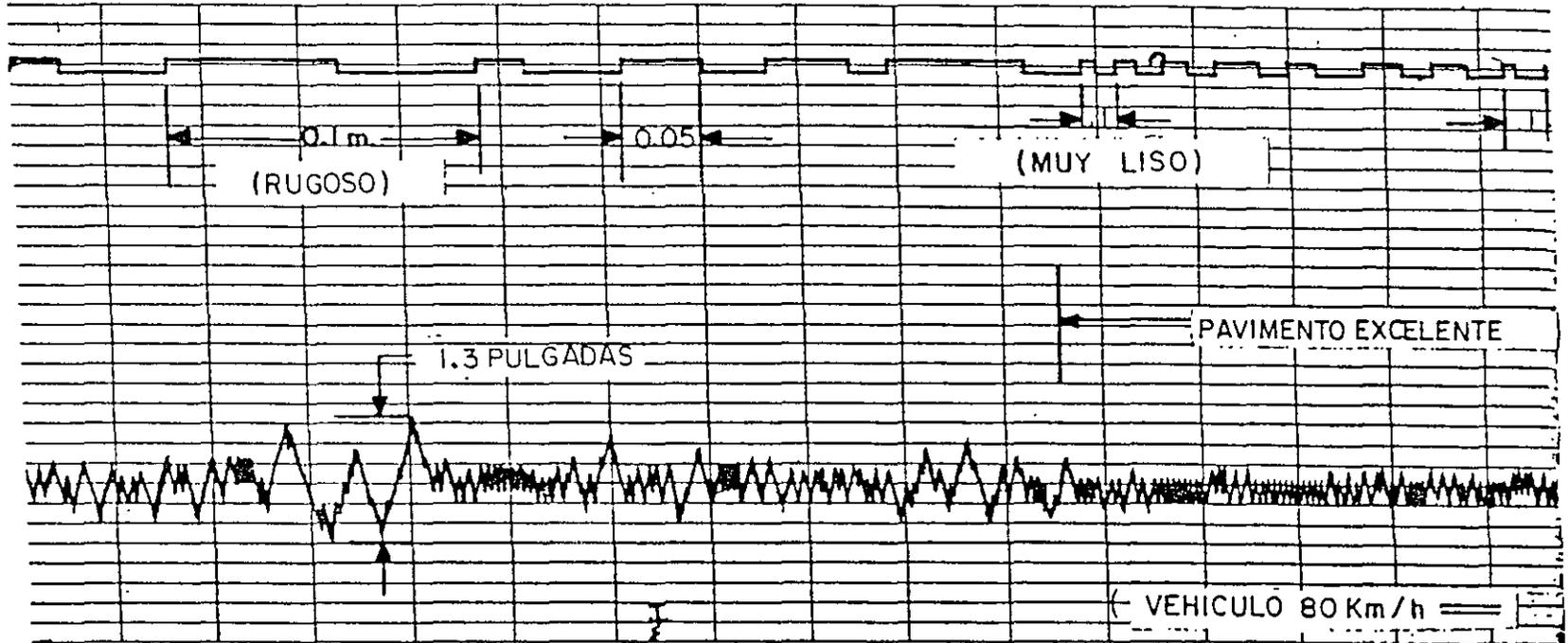
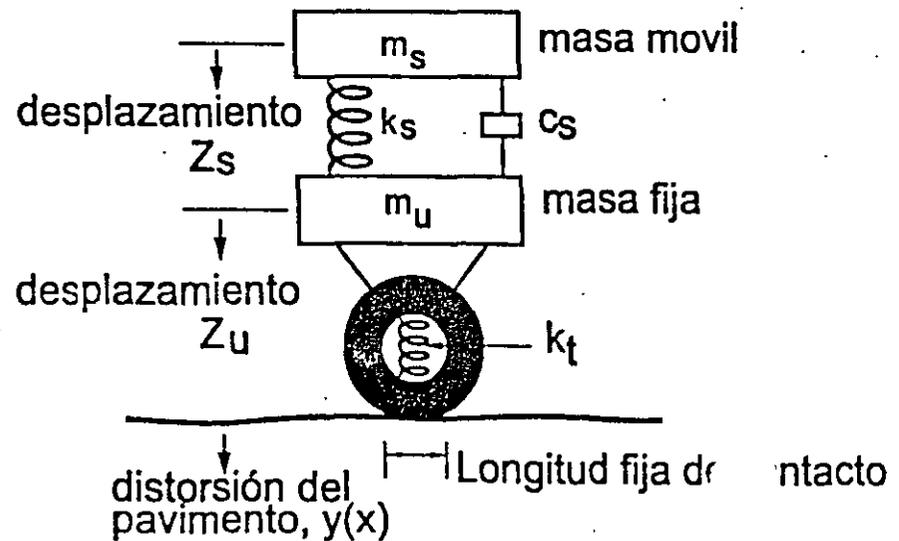


FIG. 1.- VALORES CARACTERÍSTICOS DE LA RUGOSIDAD

ESQUEMA DE RUGOMETRO TIPO MAYS RIDE METER



25

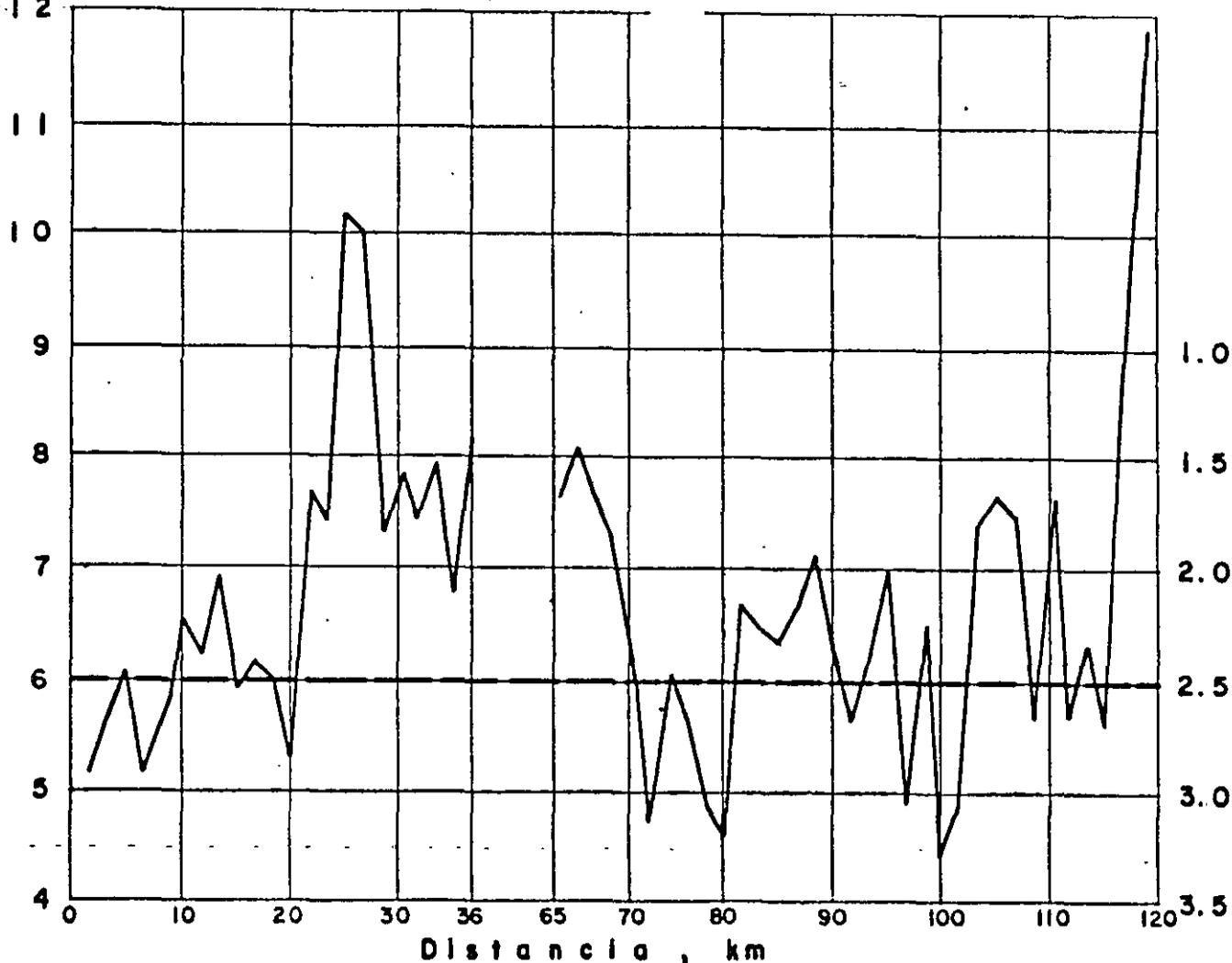


MODELO DINAMICO PARA LA SIMULACION



12
11
10
9
8
7
6
5
4
m/km

ISA



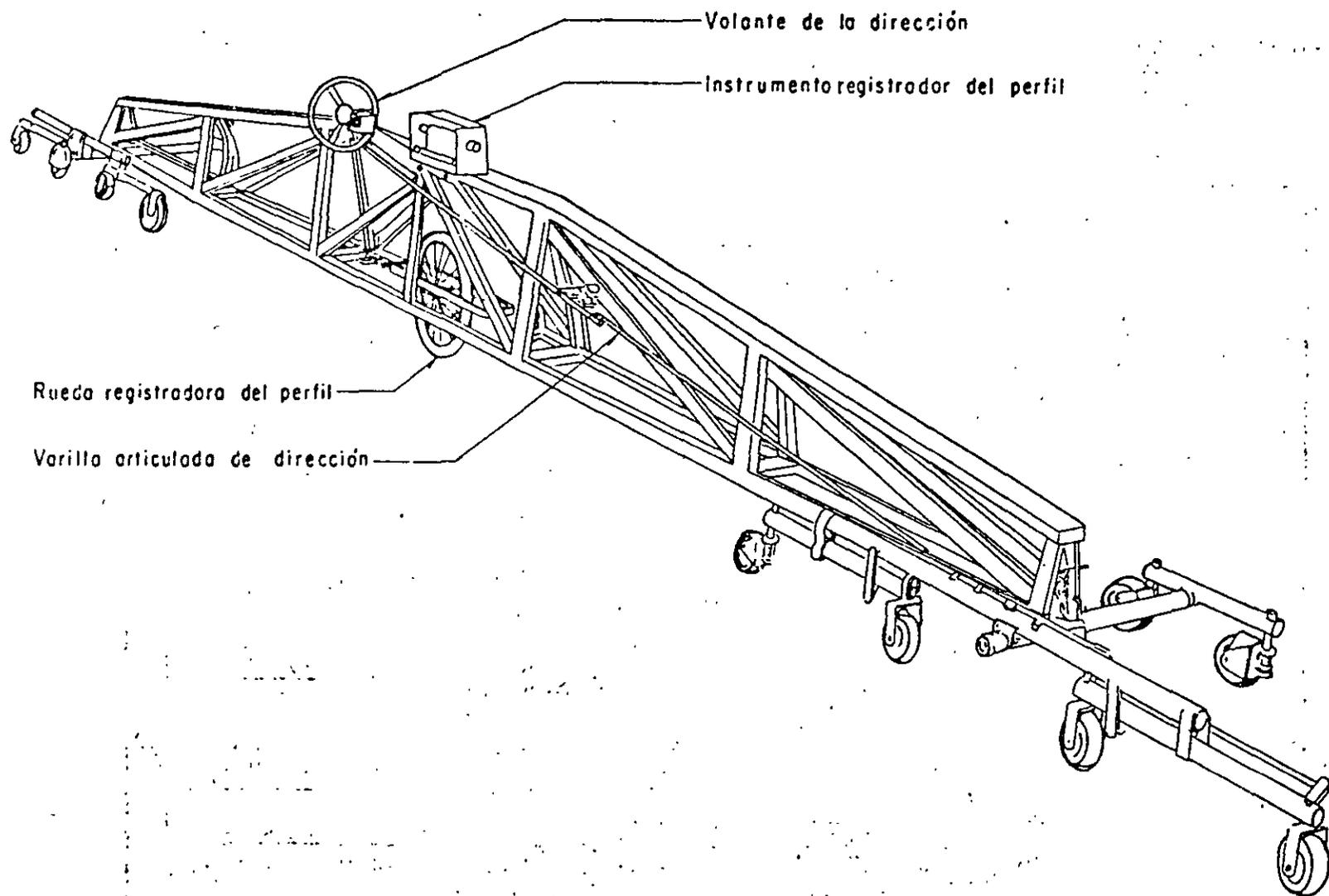
Indice de rugosidad internacional, (IRI), determinado con Mays Ride Meter.

Carretera Huajuapán - Oaxaca

Tramos 0+000-36+000 y 63+000-122+000

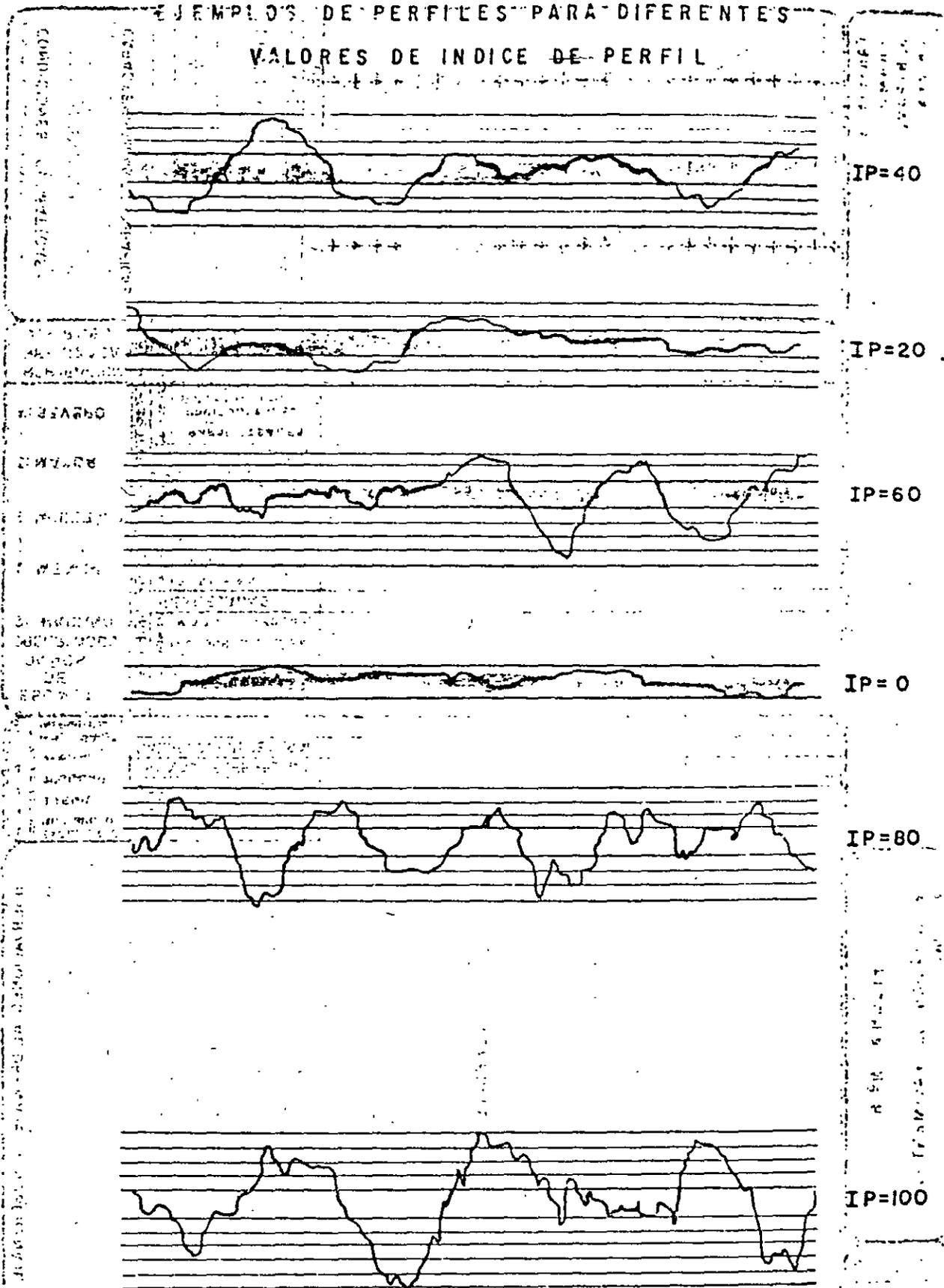
GEOSOL, s.a de c.v

Fig



PERFILOGRAFO LONGITUDINAL TIPO HVEEM (400)

EJEMPLOS DE PERFILES PARA DIFERENTES VALORES DE INDICE DE PERFIL



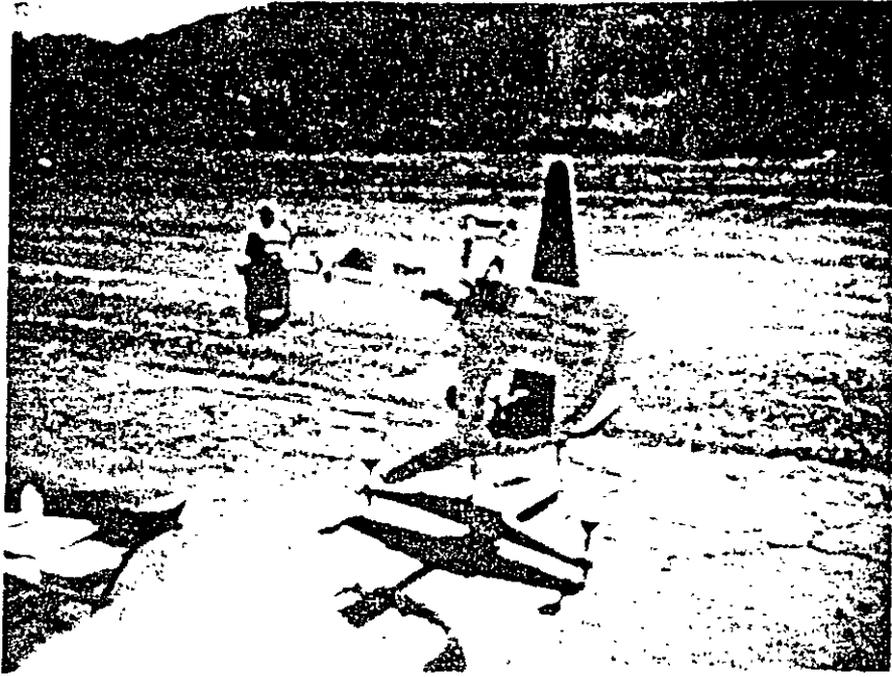
Esc.H. 1:300
 Esc.V. 1:1

FIGURA Nº 5

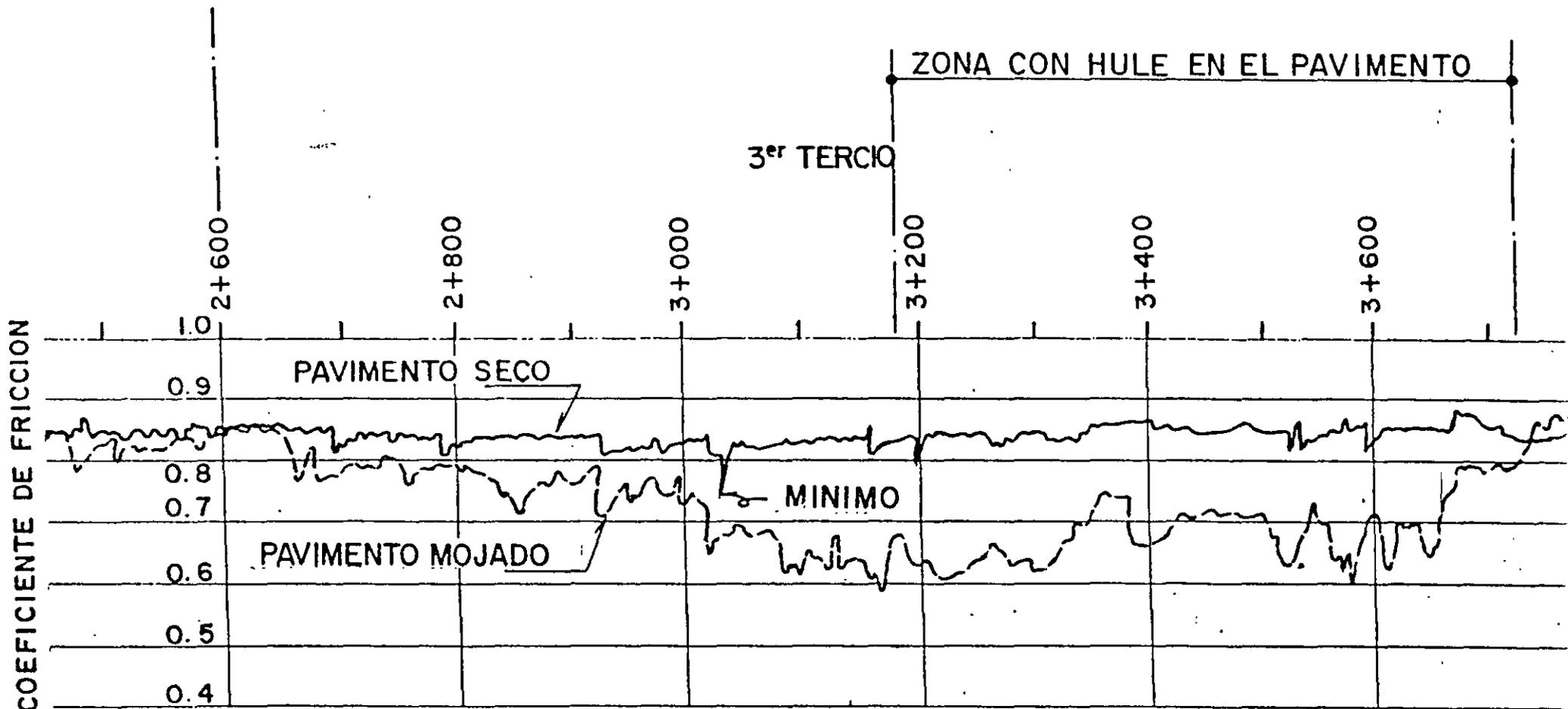
EVALUACION DEL PAVIMENTO EN CUANTO A SEGURIDAD

C O M P O N E N T E S :

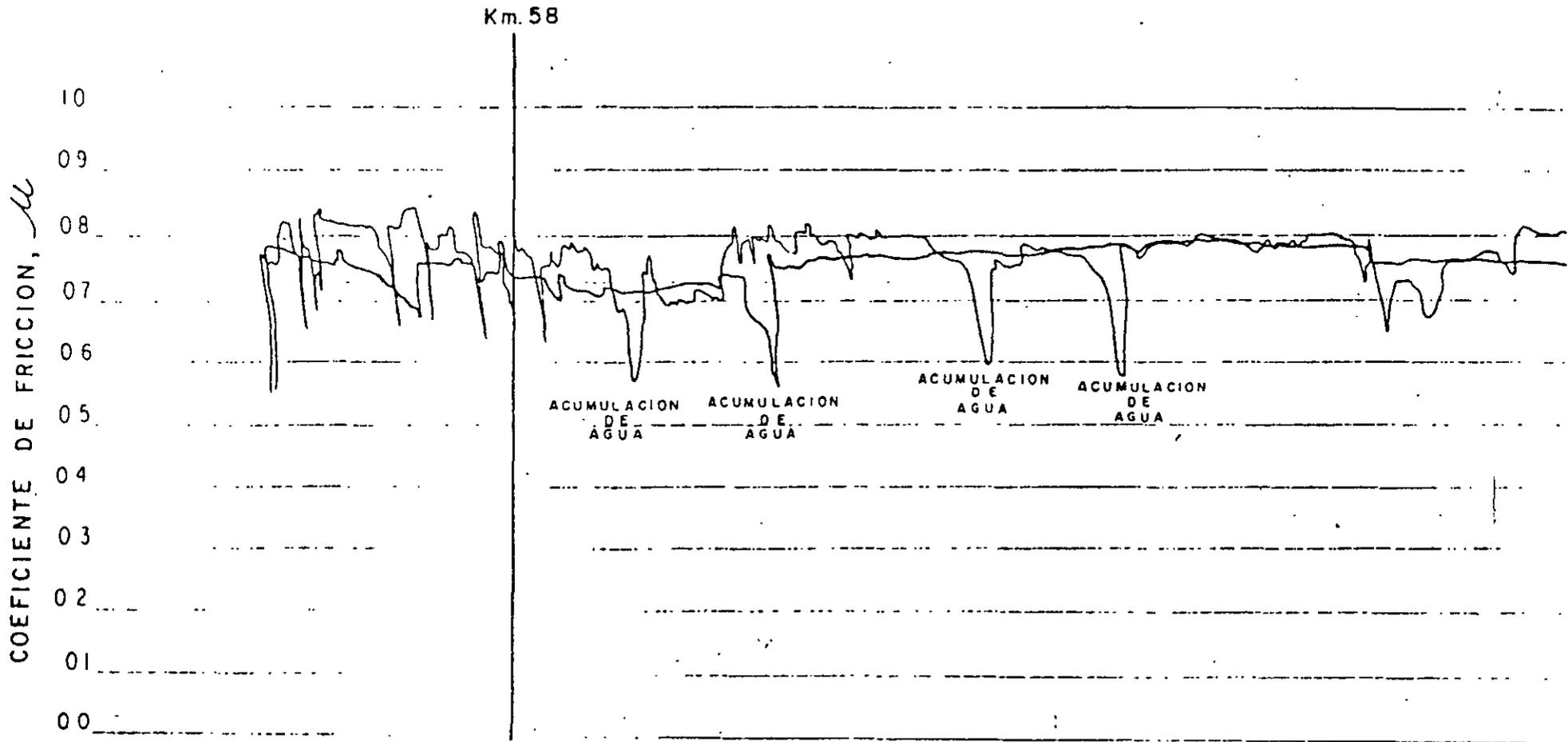
- 1 - RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO (SKID RESISTANCE)
- 2 - FORMACION DE SURCOS, EN RELACION A LA ACUMULACION DE AGUA O NIEVE (PELIGRO DE ACUAPLANEO)
- 3 - REFLECTIBILIDAD DE LA LUZ
- 4 - LINEAS DE DEMARCACION
- 5 - PARTICULAS SUELTAS U OBJETOS EXTRAÑOS



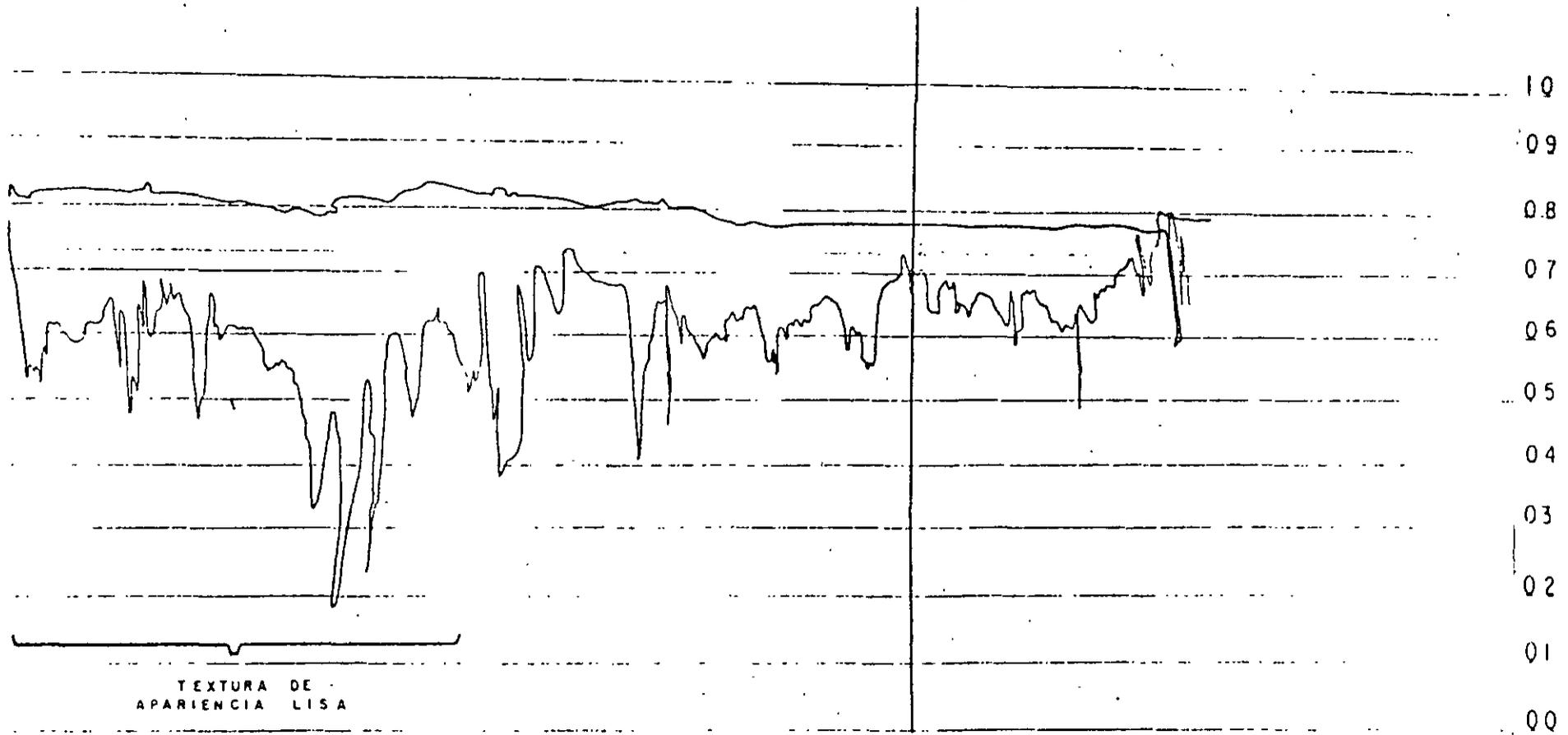
RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO DEL PAVIMENTO DETERMINADA CON MU-METER



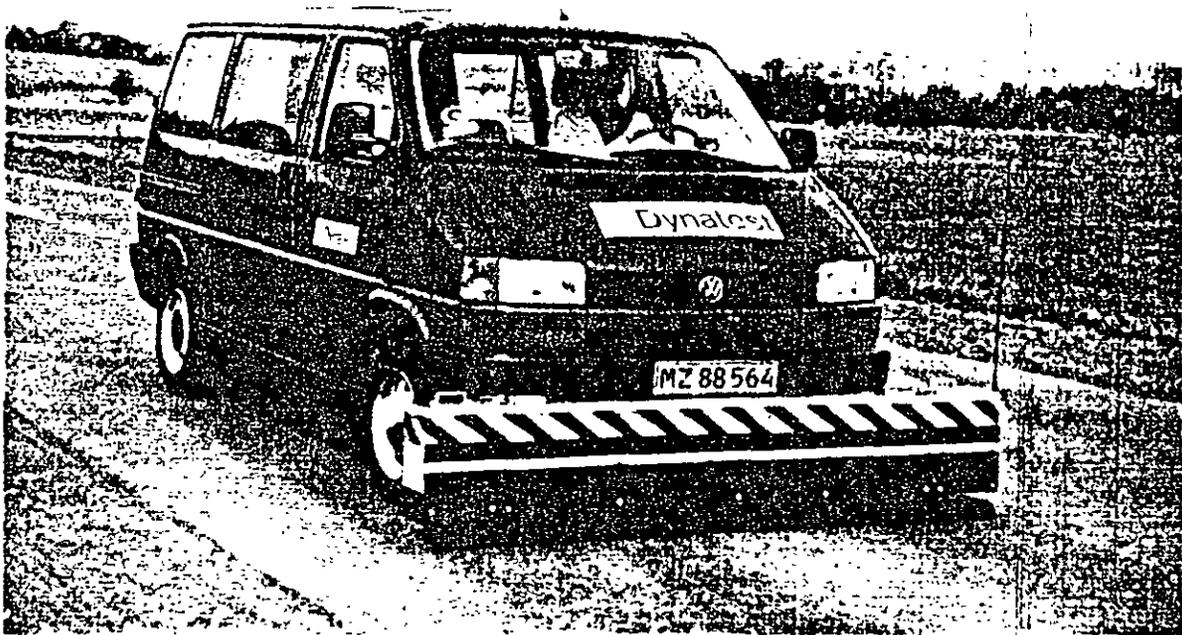
AEROPUERTO INTERNACIONAL
GUADALAJARA, JAL.



Km. 55



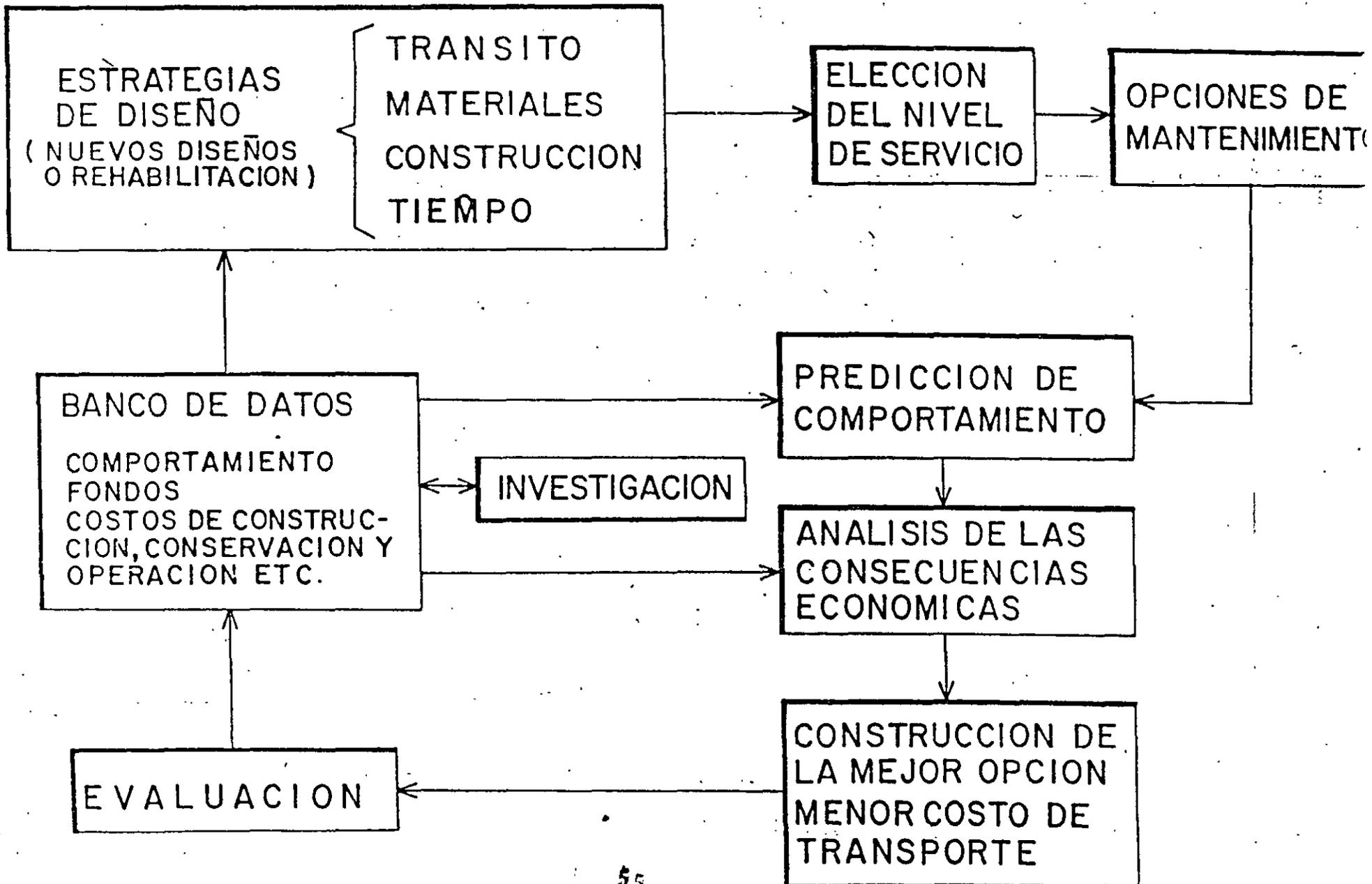
TEXTURA DE APARIENCIA LISA

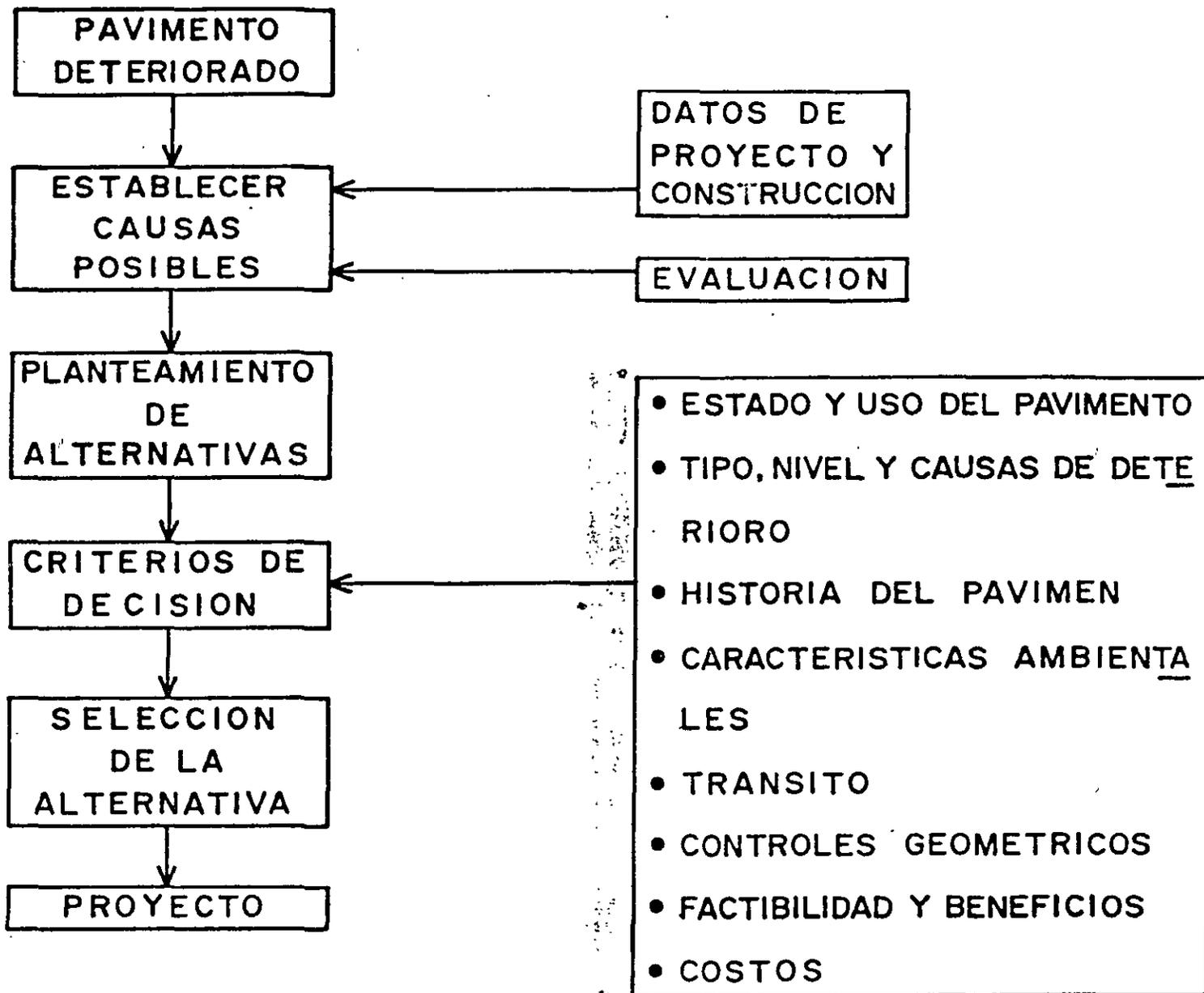


DYNATEST 5051 RSP TEST SYSTEM



GripTester
(Surface Friction Tester)



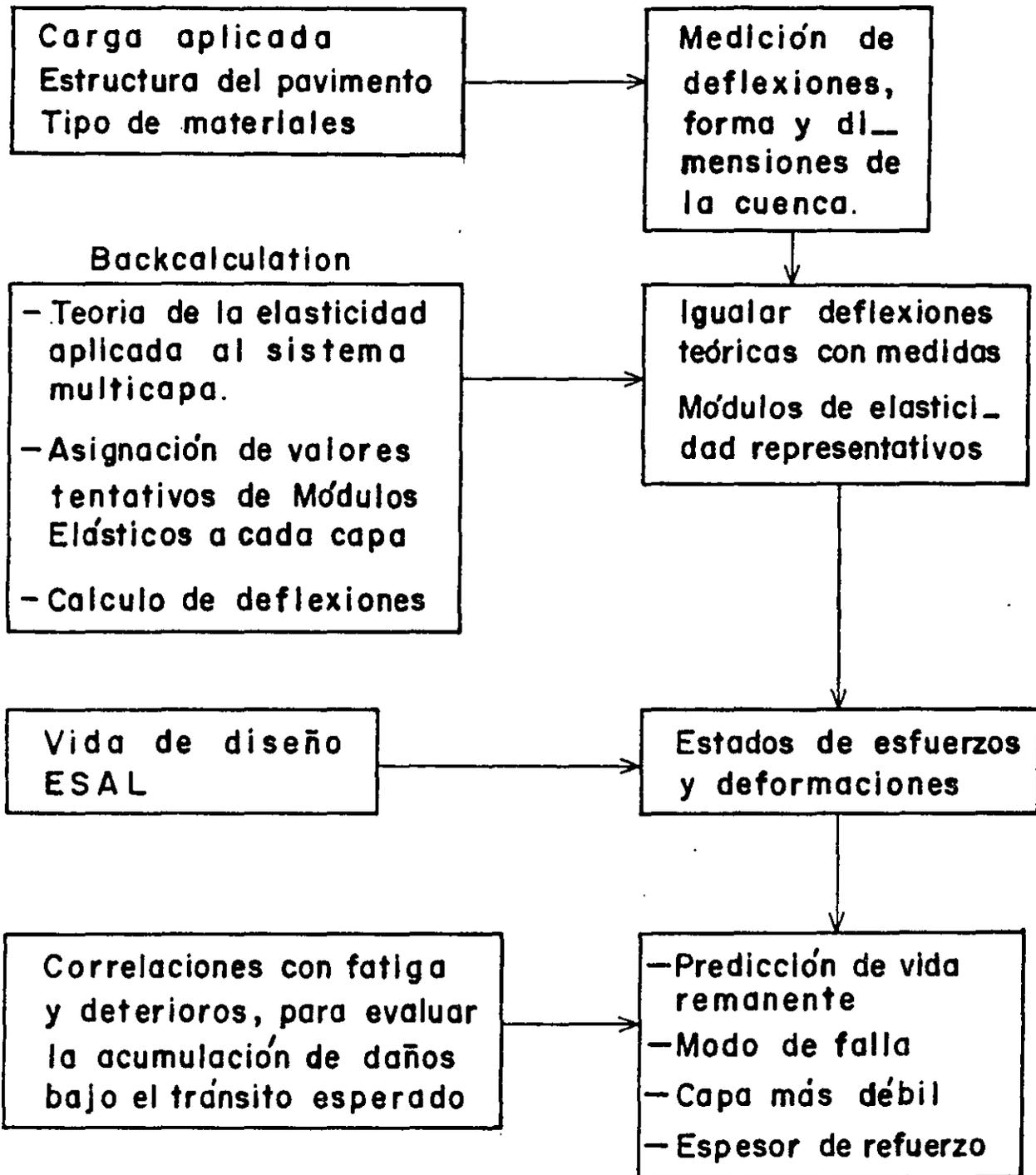


PROCEDIMIENTO

- 1.- EFECTUAR UNA EVALUACION DEL PAVIMENTO, INVESTIGANDO SU ESTADO, TIPOS DE FALLAS Y CAUSAS PROBABLES.
- 2.- DEFINIR SI LAS FALLAS SON ESTRUCTURALES, FUNCIONALES O DE -- FATIGA.
- 3.- DEFINIR ESPESORES PARA CADA CASO.
PROPONER ALTERNATIVAS.
- 4.- HACER UN ANALISIS DE PREDICCIÓN DE COMPORTAMIENTO.
- 5.- HACER ANALISIS ECONOMICO
- 6.- ELEGIR LA MEJOR ALTERNATIVA.

(FWD) DYNATEST

SISTEMA ELMOD



CENTRO DE EDUCACION CONTINUA

APLICACION DE LA COMPUTADORA EN EL CALCULO PARA EL DISEÑO Y LA REHABILITACION DE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES.

Programa PAS5
American Concrete Pavement Association.
ACPA

Ejemplo: Determinación del refuerzo de concreto asfáltico requerido en la rehabilitación de un camino para un horizonte de proyecto a 15 años, conocidos los siguientes datos de proyecto.

- * TDPA (ambos sentidos)..... 5000 (tránsito balanceado)
- * Tasa de crecimiento.....[r].. 4%
- * Composición vehicular:

A	B2	B3	C2	C3	T3-S2	T3-S3	Total
68	3	9	8	7	3	2	100

- * Carretera de cuatro carriles de circulación (dos por sentido)

Estructura actual del pavimento:

Carpeta de CA..... 12 cm [5"]
Base Hidráulica..... 20 cm [8"]
Subbase hidráulica..... 15 cm [6"]

Condiciones superficiales de la carpeta:

Agrietamiento transversal incipiente en tramos no continuos menor que 10% de la superficie.
Formación de rodera externa en ambos carriles externos de circulación. (14 mm)

Condiciones de drenaje.

- * % de tiempo en que la estructura se encuentra expuesta a niveles de humedad próximas a la saturación 4%
- * Suficiencia en el drenado:
 - carpeta..... buena
 - base..... buena
 - Subbase..... buena

Características de la Base y la Subbase

- * Granulometría Dentro del proyecto

- * Degradación del material..... No
- * Contaminación con finos No
- * Efecto de bombeo (pumping)..... No

Capa Subrasante

- * CBR..... 5%

Calculo de datos viales

TDPA_{cd}.....2000 (5000 x 0.5 x 0.8)

Determinación del número de ejes por año de diferentes tipos y cargas.

Clasif.	*Tipo de eje	Num. Veh día	Num. Ejes Año	Carga/Eje lbs.
A2	1	1360	496400	2205
	1		496400	2205
B2	1	60	21900	12125
	1		21900	22046
B3	1	180	65700	12125
	2		65700	30865
C2	1	160	58400	12125
	1		58400	22046
C3	1	140	51100	12125
	2		51100	39683
T3-S2	1	60	21900	12125
	2		21900	39683
	2		21900	39683
T3-S3	1	40	14600	12125
	2		14600	39683
	3		14600	49604
TOTAL		2000	730000	

- * 1) eje sencillo
- 2) eje doble
- 3) eje triple

Capa subrasante.

Espesor..... 30 cm
CBR..... 5 %

Estimación del número estructural SN

$$SN_{eff} = a_1 t_1 + a_2 t_2 m_2 + a_3 t_3 m_3 + \dots +$$

donde

a_i = Coeficiente de capa
 t_i = Espesor de la capa
 m_i = Coeficiente por drenaje

Datos de proyecto para la rehabilitación:

Estimación del espesor de losa	12"
(Para el caso de una rehabilitación con sobre losa de Cemento Portland)	
Estimación del Número Estructural SN	5.0
(para el caso de una rehabilitación con sobrecarpeta de Concreto Asfáltico)	
Nivel terminal de servicio [Pt].....	2.5
(Terminal Serviceability)	
Indice inicial de servicio [PSI].....	4.0
(Present Serviceability Index)	
Tasa de Crecimiento Anual	4 %
(Annual Growth Rate)	
Espesor total del Pavimento [D]	19"
(Incluye todas las capas por encima de la capa Subrasante: 5" CA + 8" Base H. + 6" Subbase)	

TRAFFIC

Pavement & Traffic Factors
 E 18 Determination by Axle Da
 E 18 Determination by Vehicle

PAVEMENT & TRAFFIC FACTORS

Rigid Thickness: 12.00
 Flexible SN: 5.00
 Terminal Serviceability: 2.50
 Design Life: 15.00
 Annual Growth Rate: 4.00

UNITS
 Inches

09-18-1995

State: EJEMPLO DE CLASE Job Number: PROYECTO
 Agency: CENTRO DE EDUCACION CONT Location:
 Company: UNAM
 Contractor:
 Engineer: LANDEROS

==== Traffic Conversion To E 18's =====

E 18 CONVERSION FROM AXLE DATA

Estimated: Rigid Depth = 12.00 Structural Number = 5.00 Pt = 2.50
 Annual Growth Rate = 4.00
 Design Life = 15.00

Input Number	Axle Type	Axle Weight	Annual Number	Rigid E 18's	Flexible E 18's
1	1	2.20	2,452,800	13,216	12,267
2	1	12.13	21,900	79,565	86,624
3	1	22.05	21,900	1,065,406	964,441
4	1	12.13	65,700	238,695	259,873
5	2	30.86	65,700	1,700,683	972,898
6	1	12.13	58,400	212,174	230,998
7	1	22.05	58,400	2,841,083	2,571,842
8	1	12.13	51,100	185,652	202,124
9	2	39.68	51,100	3,931,895	2,063,933
10	1	12.13	21,900	79,565	86,624
11	2	39.68	21,900	1,685,098	884,543
12	2	39.68	21,900	1,685,098	884,543
13	1	12.13	14,600	53,043	57,750
14	2	39.68	14,600	1,123,398	589,695
15	3	49.60	14,600	872,714	344,850
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

Sum = 15,767,285 10,213,005

Key: 1-Single 2-Tandem 3-Tridem

State: EJEMPLO DE CLASE
 Agency: CENTRO DE EDUCACION CONT
 Company: UNAM
 Contractor:
 Engineer: LANDEROS

Job Number: PROYECTO

Location:

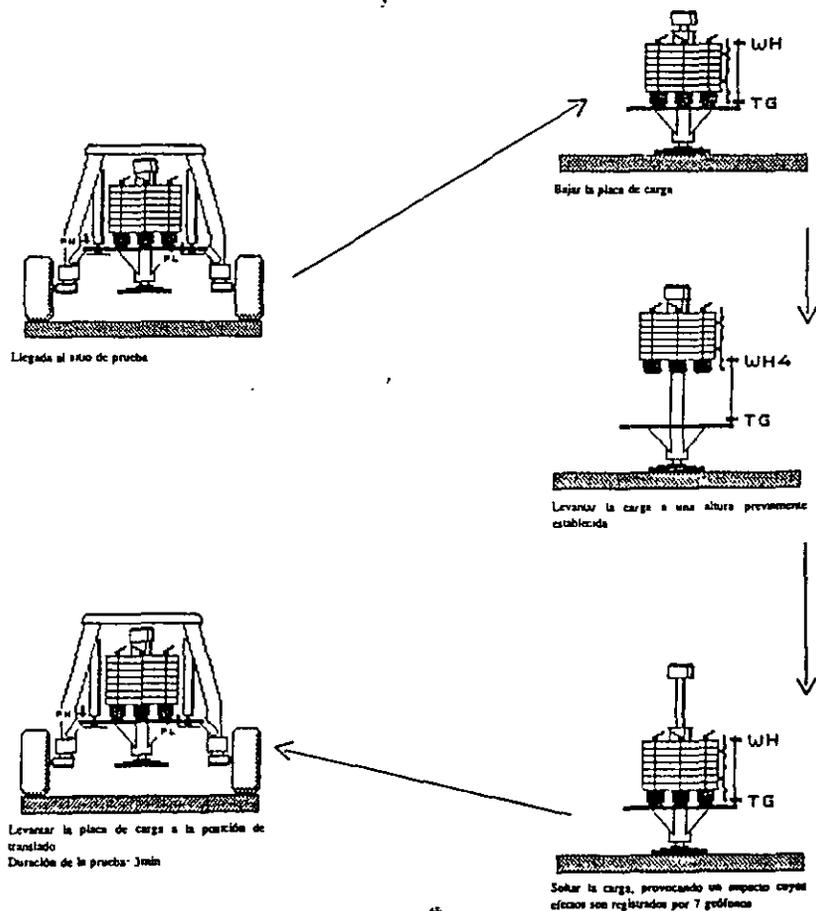
===== FLEXIBLE PAVEMENT DEFLECTION INFORMATION AND BACKCALCULATION =====

Total Pavement Thickness, inches: 19.0
 Radius of Load Plate, inches: 5.9
 Subgrade Mr Correction Factor, C: .33
 Distance from Center of Load Plate, r, inches: 24

BACKCALCULATION OF SUBGRADE Mr and Ep:

	LOAD (lbs)	d0 (mils)	dr (mils)	Subgrade Mr (psi)	Effective Pavement Modulus, Ep (psi)
	=====	=====	=====	=====	=====
1)	18002	34.46	10.12	5,870	57,987
2)	18085	34.53	10.55	5,657	59,293
3)	18085	34.28	10.25	5,822	59,110
4)	17967	34.41	9.97	5,947	57,592
5)	18015	34.42	10.02	5,933	57,835
				-----	-----
			Average:	5,846	58,363

CICLOS EN LA PRUEBA DEL EQUIPO DYNATEST



HELP SCREEN FOR EXISTING RESILIENT MODULUS OF THE SOIL

The existing resilient modulus of the soil is required for all types of overlays of existing ac pavements. The amount of subgrade support under the existing flexible layers can be determined by one of the following methods:

- a) Backcalculate the effective soil resilient modulus from non-destructive deflection testing. Divide the existing soil resilient modulus by 3 to obtain a value consistent with the results of the AASHTO Road Test.

The DEFLECTION TESTING INFORMATION section of the program provides a method for backcalculating the existing resilient modulus of the soil.

- b) Estimate from data on the existing soil.

Regardless of the method used, the existing resilient modulus of the soil used for overlay design may need to be adjusted for seasonal effects.

PRESS SPACE BAR TO ESTIMATE SOIL RESILIENT MODULUS FROM SOILS AND BASE DATA

Help Screen for the Resilient Modulus

Ready

Empirical relationships have been developed between the CBR (California Bearing Ratio) value (using dynamic compaction), the R-value, and the in-situ resilient modulus of the soil.

CBR Value: 5.0

R-Value: _____

Resilient Modulus, psi: 5,842

or

Resilient Modulus, psi: _____

Subgrade Resilient Modulus: 5,842 psi

The correlations used in this program were developed under NCHRP Project 128, "Evaluation of AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures." This study found a non-linear relationship between resilient modulus and CBR or R-Value. Although equation 1.5.1 of the AASHTO Guide suggests a relationship of $1500 * CBR$ for the resilient modulus of the subgrade, this correlation is only valid for fine-grained soils with low CBR values. Other studies (Indiana, Ohio) have shown a correlations as low as $800 * CBR$, and ranging from 750 to 3,000 times the CBR value. This range agrees with the correlation established in NCHRP Project 128.

EXISTING FLEXIBLE PAVMENT INFORMATION

1) Layer Material	Existing Layer Thickness <u>t</u>	Existing Drainage Coefficient <u>m</u>	Existing Layer Coefficient <u>a</u>
AC Surface	5	1.00	0.40
Stabilized Base			
Stabilized Base			
Granular Base	8	1.20	0.12
Granular Subbase	6	1.20	0.12
Granular Subbase			

Total Pavement Thickness: 19 inches

UNITS Inches

2) Existing Soil Resilient Modulus: 5,846

3) Effective Modulus of the Pavement, E_p : 58,363

COEFICIENTE DE DRENAJE (m_i)

Help Screen for the Existing Flexible Pavement Drainage Coefficient

Be sure to include any subdrainage improvements to be included in the rehabilitation. Note that the poor drainage situation at the AASHTO Test Road would be given a drainage coefficient of 1.0.

Percent of Time Pavement Structure
is Exposed to Moisture Levels Approaching Saturation

Quality of Drainage	Less than 1%	1 - 5 %	5 - 25 %	Greater than 25%
Excellent	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Good	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Fair	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80
Poor	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Very Poor	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

COEFICIENTE DE CAPA (a_1)

CONDICION SUPERFICIAL DE LA CARPETA CA.

Help Screen for Existing AC Surface Layer
Depending on the types and amounts of deterioration present, the layer coefficient values assigned to materials in existing flexible pavements should in most cases be less than the values that would be assigned to the same materials for new construction.

Limited guidance is presently available for the selection of layer coefficients for existing pavement materials. Each agency should adopt its own set of values. Some suggested layer coefficients are as follows:

MATERIAL	SURFACE CONDITION	COEFFICIENT
AC Surface	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.35 - 0.40
<	10% low-severity alligator cracking and/or	0.25 - 0.35
<	5% medium- and high-severity transverse cracking	0.20 - 0.30
>	10% low-severity alligator cracking and/or	0.14 - .20
>	10% medium severity alligator cracking and/or	
>	5-10% medium- and high-severity transverse cracking	
>	10% medium-severity alligator cracking and/or	
<	10% high-severity alligator cracking and/or	
>	10% medium- and high-severity transverse cracking	0.08 - 0.15
>	10% high-severity alligator cracking and/or	
>	10% high-severity transverse cracking	

DEFICIENTE DE CAPA (a_i)
BASE ESTABILIZADA

Help Screen for Existing Stabilized Base Layer
Depending on the types and amounts of deterioration present, the layer coefficient values assigned to materials in existing flexible pavements should in most cases be less than the values that would be assigned to the same materials for new construction.

Limited guidance is presently available for the selection of layer coefficients for existing pavement materials. Each agency should adopt its own set of values. Some suggested layer coefficients are as follows:

MATERIAL	SURFACE CONDITION	COEFFICIENT
Stabilized Base	Little or no alligator cracking and/or only low-severity transverse cracking	0.20 - 0.35
<	10% low-severity alligator cracking and/or 5% medium- and high-severity transverse cracking	0.15 - 0.25
>	10% low-severity alligator cracking and/or 10% medium severity alligator cracking and/or 5-10% medium- and high-severity transverse cracking	0.15 - 0.20
>	10% medium-severity alligator cracking and/or 10% high-severity alligator cracking and/or 10% medium- and high-severity transverse cracking	0.10 - 0.20
>	10% high-severity alligator cracking and/or 10% medium- and high-severity transverse cracking	0.08 - 0.15
>	10% high-severity alligator cracking and/or 10% high-severity transverse cracking	

COEFICIENTE DE CAPA (a_i)
BASE O SUBBASE GRANULAR

Help Screen for Existing Granular Base or Subbase

Depending on the types and amounts of deterioration present, the layer coefficient values assigned to materials in existing flexible pavements should in most cases be less than the values that would be assigned to the same materials for new construction.

Limited guidance is presently available for the selection of layer coefficients for existing pavement materials. Each agency should adopt its own set of values. Some suggested layer coefficients are as follows:

MATERIAL	SURFACE CONDITION	COEFFICIENT
Granular Base or Subbase	No evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.10 - 0.14
	Some evidence of pumping, degradation, or contamination by fines	0.00 - 0.10

Help Screen for Determining S_{Neff} from NDT

The NDT method of S_{Neff} determination follows an assumption that the structural capacity of the pavement is a function of the total thickness and overall stiffness.

Total thickness, D,
of all pavement layers above the subgrade: D= 19.00 inches

Effective modulus, E_p,
of all pavement layers above the subgrade: E_p= 58,363 psi

Effective Structural Number, S_{Neff}: 3.3

The effective modulus of all pavement layers may be backcalculated from deflection data using DEFLECTION TESTING INFORMATION section of the program.

Help Screen for Effective Structural Number from Condition Survey

The condition survey method of S_{Neff} determination involves a component analysis using the structural number.

Layer Material	Existing Layer Thickness <u>t</u>	Existing Drainage Coefficient <u>m</u>	Existing Layer Coefficient <u>a</u>	a*C _d *t
AC Surface	5	1.00	0.40	2.00
Stabilized Base				
Stabilized Base				
Granular Base	8	1.20	0.12	1.15
Granular Subbase	6	1.20	0.12	0.86
Granular Subbase				

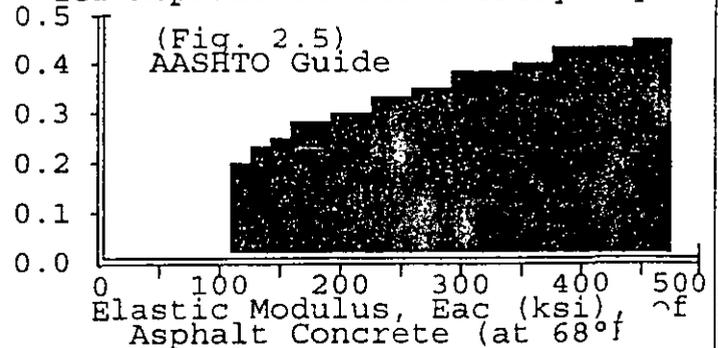
Effective Structural Number, S_{Neff}: 4.02

UNITS
No Units

Help Screen for the AC Overlay Layer Coefficient

Material	Typical Values
Asphalt Cement Concrete	0.20 - 0.44
Asphalt Overlay	Layer Coefficient: 0.35

Structural Layer Coefficient, a₁ for Asphalt Cement Overlay Layer



AC OVERLAY OF AC PAVEMENT

Structural Number for Future Traffic

Future Structural Number	6.00
Future E 18's	10,213,005
Overlay Reliability	97.64
Overall Deviation	0.40
Effective Soil Resilient Modulus	5,846
Initial Serviceability	4.00
Final Serviceability	2.50

Solve For

Future Structural Number 6.00

Effective Structural Number

Effective SN (NDT)	3.32
or	
Effective SN (Condition Survey)	4.02
Effective SN for Analysis	3.32
AC Overlay Layer Coefficient	0.35

AC OVERLAY THICKNESS
7.67 inches

UNITS
No Units

Si los Coeficientes de capa [a_i] cambian a los valores siguientes:

Capa Material	a_i
Carpeta de CA	0.30
Base Granular	0.10
Subbase Granular	0.09

El Número Estructural efectivo [SN_e] resulta igual a 3.11

Valor utilizado en el cálculo de sobrecarpeta, cuyo valor requerido resulta ser de:
8.26 pulg

Help Screen for Effective Structural Number from Condition Survey

The condition survey method of S_{Neff} determination involves a component analysis using the structural number.

Layer Material	Existing Layer Thickness <u>t</u>	Existing Drainage Coefficient <u>m</u>	Existing Layer Coefficient <u>a</u>	<u>a*Cd*t</u>
AC Surface	5	1.00	0.30	1.50
Stabilized Base				
Stabilized Base				
Granular Base	8	1.20	0.10	0.96
Granular Subbase	6	1.20	0.09	0.65
Granular Subbase				

Effective Structural Number, S_{Neff}: 3.11

UNITS
No Units

AC OVERLAY OF AC PAVEMENT

Structural Number for Future Traffic	Effective Structural Number
Future Structural Number 6.00	Effective SN (NDT)
Future E 18's 10,205,700	or
Overlay Reliability 97.64	Effective SN 3.11
Overall Deviation 0.40	(Condition Survey)
Effective Soil	Effective SN for Analysis 3.11
Resilient Modulus 5,848	AC Overlay
Initial Serviceability 4.00	Layer Coefficient 0.35
Terminal Serviceability 2.50	
	AC OVERLAY THICKNESS
	8.26 inches
	UNITS
	None

Solve For

Future Structural Number 6.00

TABLA DE RESULTADOS DE ESPESORES REQUERIDOS DE SOBRECARPETA AL REALIZAR AJUSTES EN LOS DATOS DEL PROYECTO

Programa: PASS

Carpeta = 5 pulg.
 Base H = 8 pulg.
 Subbase = 6 pulg.

Datos de proyecto		VALORES CALCULADOS POR EL PROGRAMA				
Tasa de Crecimiento r	Coef. de Capa Carpeta Base Subbase a _i	Ejes Equivalentes ΣL	SN _{eff} Dynatest	SN _{eff} Condiciones físicas examinadas	Futuro Número Estructural	Espesor Req. pulg
4	0.40 0.12 0.12	10,205,700	3.32		6.00	7.66
	0.30 0.10 0.09			3.11		8.26
6	0.40 0.12 0.12	11,863,390	3.32		6.12	8.02
	0.30 0.10 0.09			3.11		8.61
8	0.40 0.12 0.12	13,839,000	3.32		6.25	8.38
	0.30 0.10 0.09			3.11		8.97

Sysop: MARIO R LUCERO ARELLANO
 File: C:\DYNATEST\DATA\PUE-HUJ .FWD
 Road: Puebla - Huajuapán de León
 Program Edition: 25.11
 Operator: MARIO R LUCERO ARELLANO
 Trailer: 8082-036

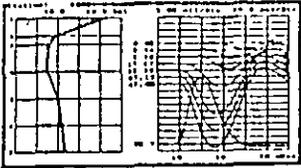
08-Aug-1996 Page: 1

File Format: R80-20F GEOSOL R80-20F FORMAT
 Test Setup: ASFALTO Prueba Asfalto(cuenca)
 Subsec: Puebla - Izucar de M., km.2+000 a 60+000
 Diameter of Plate: 11.81 in
 X: 0.00 7.87 11.81 23.62 35.43 47.24 59.09
 Y: 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

09:10:42 --

2000 Meters Lane:Der Alpha
 Remark:00
 Asphalt: 25.0 Air: 20.5 Surface: 18.0

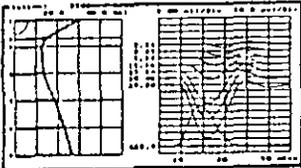
	lb/ft ²	psi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
2	10842	99.0	51.42	42.25	34.33	17.51	8.58	5.77	4.39
2	10810	98.7	47.40	39.15	32.35	17.17	8.70	5.96	4.45



09:12:50 --

2200 Meters Lane:Der Alpha
 Remark:00
 Asphalt: 25.0 Air: 20.5 Surface: 19.0

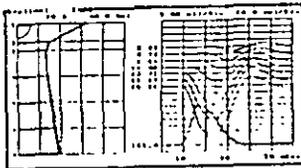
	lb/ft ²	psi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
2	12733	116.2	42.05	32.24	24.87	11.20	5.45	3.27	2.24
2	12804	116.9	39.30	30.46	23.84	11.16	5.57	3.35	2.31



09:15:39 --

2400 Meters Lane:Der Alpha
 Remark:00
 Asphalt: 25.0 Air: 20.5 Surface: 20.0

	lb/ft ²	psi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
2	13488	123.1	40.94	31.33	24.23	11.39	6.46	4.55	3.24
2	13257	121.0	38.71	29.87	23.41	11.48	6.66	4.72	3.32



09:18:36 --

FWD test 12/8 - 96

Parameterfile: TRIALFLX

Project:

File/Roadway: PUE-HJ2 (Puebla - Huajuapán de León)

Stationing: 2100.000 to 8000.000

Layer no. 1 consist of asphalt

Layer No. 1 is 105 mm thick

Layer No. 2 is 285 mm thick

Layer No. 3 is 235 mm thick

Design period: 15 years

Delta PSR = 2

Type	Number/lane/year
------	------------------

18 KIP EAL	6153729
------------	---------

Season	Temp(C)	Percent of loads
--------	---------	------------------

1	7.2	15
2	36.7	30
3	59.8	35
4	30.3	20

Structural condition

12/8 - 96

Temp(C): 34 to 35

Station	E1,MPa	E2,MPa	E3,MPa	E4,MPa	CC	N
2100.000	6189	419	225	100	120	-0.15
2300.000	7735	986	529	219	229	-0.03
2500.000	3985	163	88	55	83	-0.30
2700.000	789	103	55	32	68	-0.50
2900.000	3536	624	335	145	168	-0.11
3100.000	2584	208	112	120	135	-0.06
3300.000	1789	158	85	52	82	-0.30
3500.000	4584	200	107	203	203	+0.00
3700.000	1825	522	280	286	286	+0.00
3900.000	1575	265	142	117	223	-0.32
4100.000	2581	326	175	156	192	-0.10
4300.000	2806	292	157	89	105	-0.10
4500.000	1779	366	196	111	154	-0.18
4700.000	2110	371	199	281	296	-0.02
4900.000	1381	270	145	80	137	-0.30
5100.000	1141	511	274	179	228	-0.12
5300.000	1391	405	217	181	181	+0.00
5500.000	2435	204	109	150	157	-0.02
5700.000	2170	289	155	117	159	-0.16
5900.000	1593	460	247	181	200	-0.05
6100.000	2883	443	237	152	233	-0.23
6300.000	4029	172	92	116	146	-0.12
6500.000	2071	369	198	108	158	-0.21
6700.000	1845	384	206	400	400	+0.00
6900.000	2885	555	297	220	280	-0.11
7100.000	1899	326	175	79	144	-0.36
7300.000	808	571	306	211	322	-0.19
7500.000	1521	165	89	216	222	-0.01
7700.000	2080	360	193	104	156	-0.21
7900.000	3136	396	213	102	158	-0.25

CARRETERA: PUEBLA - UAJUAPAN DE LEON
km 2+000 a 10+000

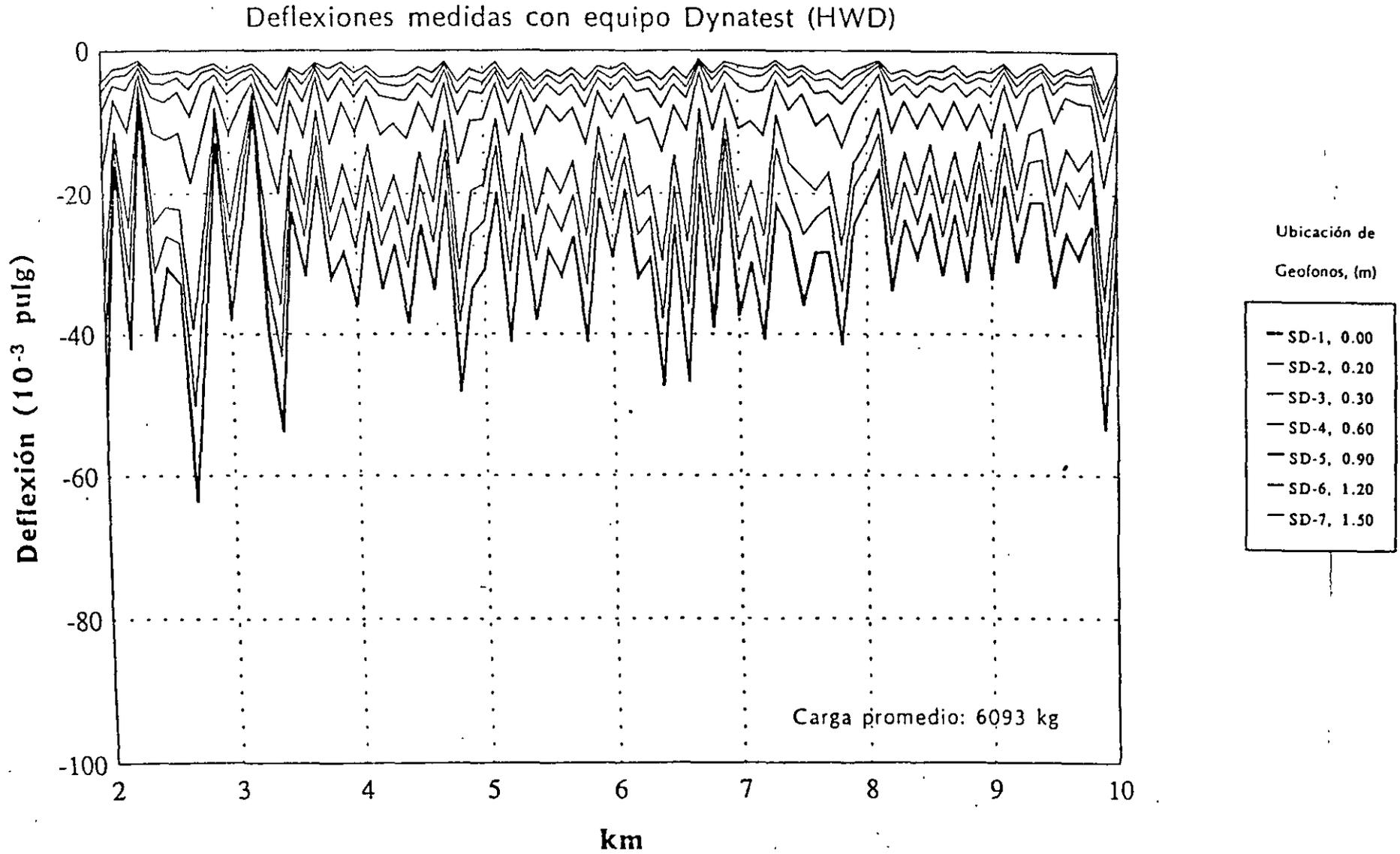


Fig.1 Perfil de deflexiones

Carretera: PUEBLA - HUAJUAPAN DE LEON
km 2+000 a 10+000

GEOSOL S.A. de C.V.

52

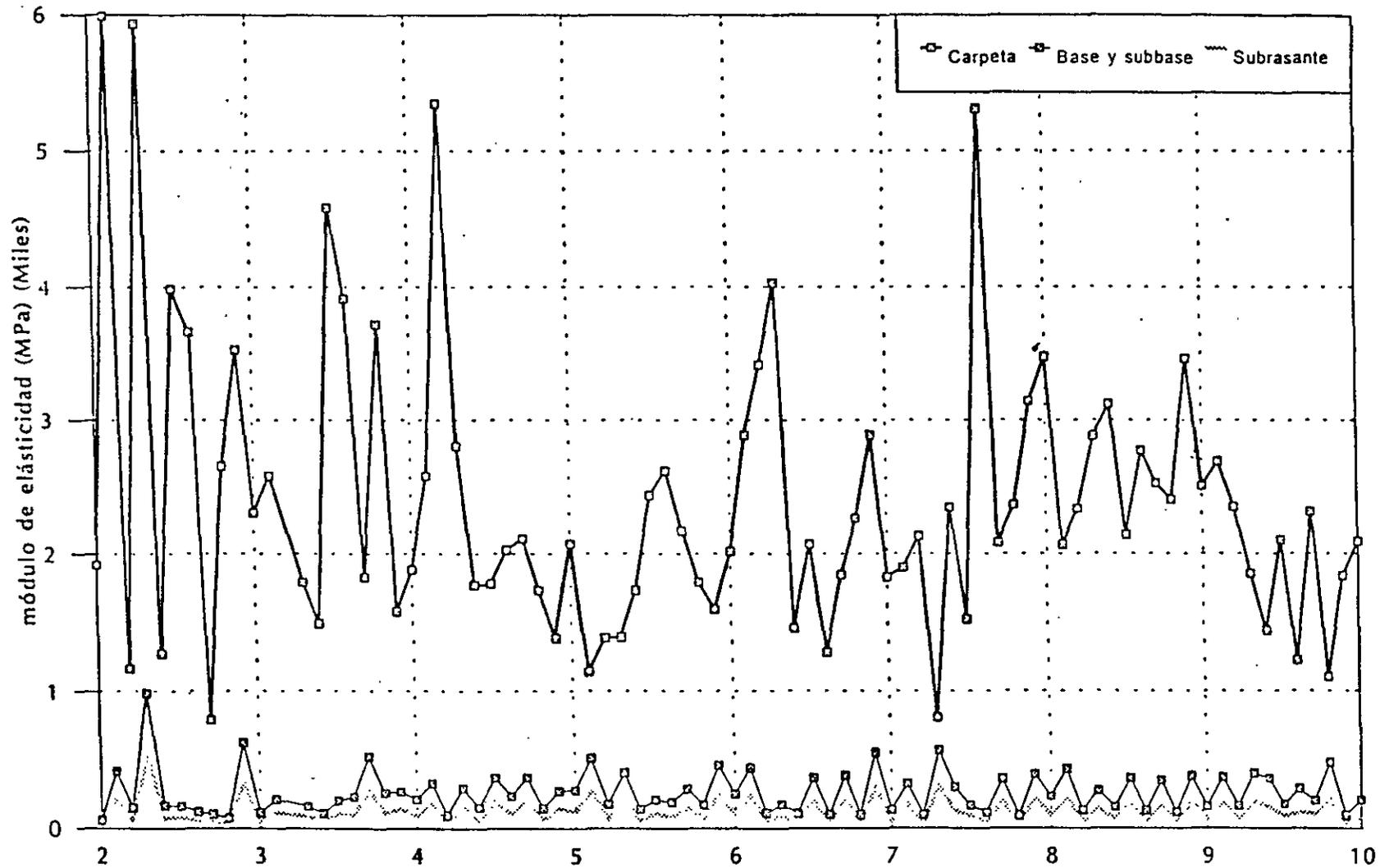
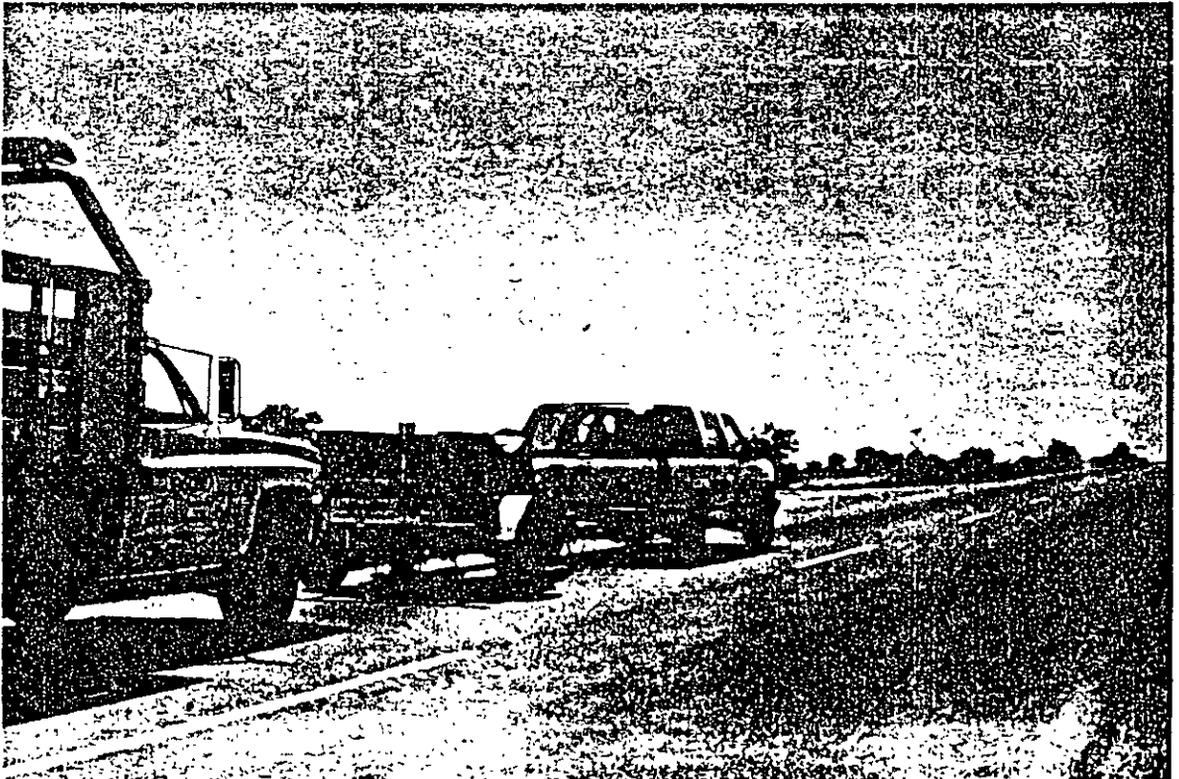
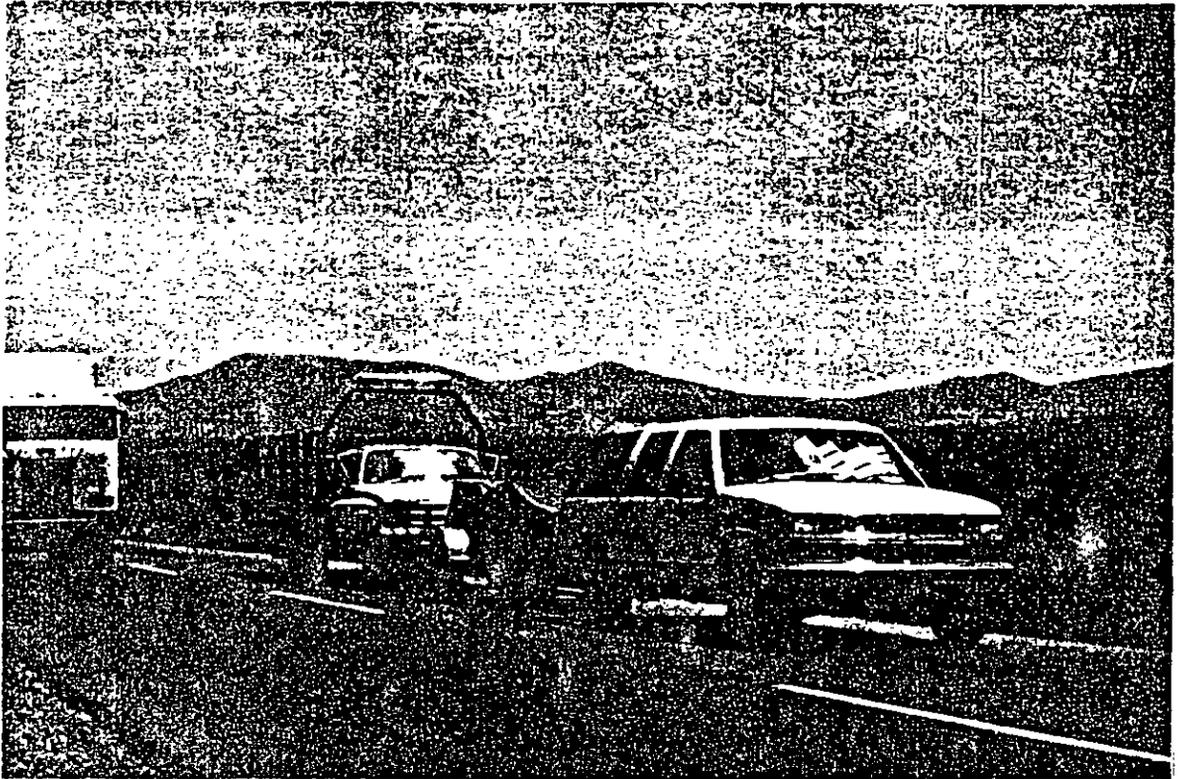


Fig.2 Variación del módulo de elasticidad en las capas del pavimento



Residual life and needed overlay

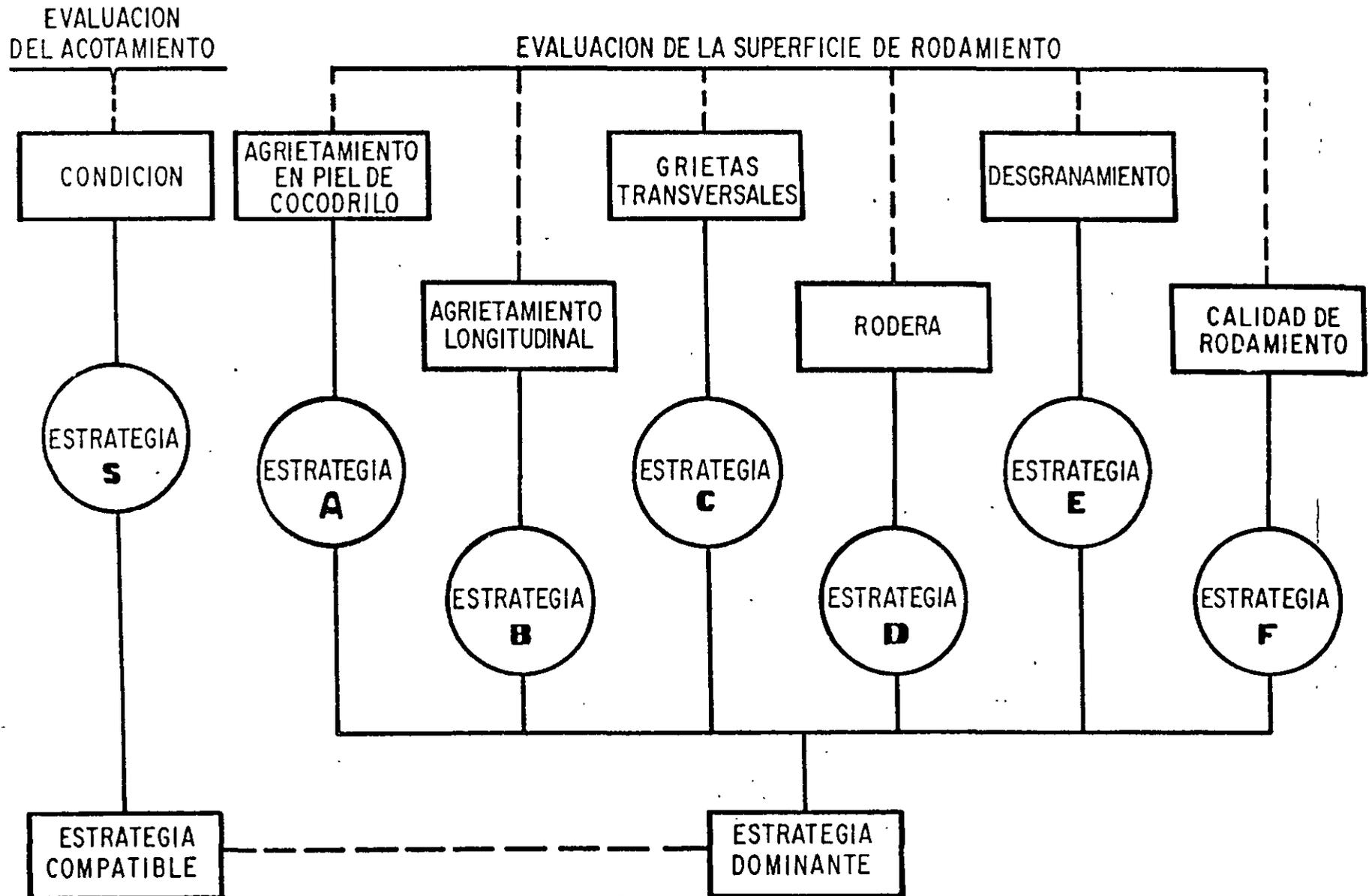
Station	Life	layer	Mode	Overlay(mm)
2100.000	0	2	func	122.0
2300.000	4	2	func	48.0
2500.000	0	2	func	257.0
2700.000	0	2	func	376.0
2900.000	1	2	func	104.0
3100.000	0	2	func	224.0
3300.000	0	2	func	279.0
3500.000	0	2	func	219.0
3700.000	0	2	func	131.0
3900.000	0	2	func	210.0
4100.000	0	2	func	182.0
4300.000	0	2	func	191.0
4500.000	0	2	func	177.0
4700.000	0	2	func	172.0
4900.000	0	2	func	211.0
5100.000	0	2	func	141.0
5300.000	0	2	func	157.0
5500.000	0	2	func	228.0
5700.000	0	2	func	196.0
5900.000	0	2	func	143.0
6100.000	0	2	func	134.0
6300.000	0	2	func	247.0
6500.000	0	2	func	172.0
6700.000	0	2	func	170.0
6900.000	1	2	func	116.0
7100.000	0	2	func	187.0
7300.000	0	2	func	136.0
7500.000	0	2	func	273.0
7700.000	0	2	func	175.0
7900.000	0	2	func	156.0

0.200
0.761

184.5 Average
63.3 Standard deviation

Number of calculated points: 30

PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DE PAVIMENTO FLEXIBLE



CONSERVACION O MANTENIMIENTO ES EL CONJUNTO DE TRABAJOS RUTINARIOS EJECUTADOS PARA MANTENER UN PAVIMENTO TAN CERCA COMO SEA POSIBLE DE SUS CONDICIONES ORIGINALES, O POSTERIORES A SU REHABILITACION BAJO CONDICIONES NORMALES DE TRANSITO Y DEL MEDIO AMBIENTE, PARA PROPORCIONAR UNA TRANSPORTACION SEGURA Y COMODA. LA CONSERVACION ES REALIZADA GENERALMENTE POR EL PROPIO ORGANISMO.

POLÍTICAS DE CONSERVACION

- 1.- ELECCION DEL NIVEL DE SERVICIO
- 2.- DEFINICION DE VALORES CRITICOS O TERMINALES
- 3.- DISPONIBILIDAD DE FONDOS
- 4.- IMPORTANCIA DE LA CARRETERA
- 5.- VOLUMEN DE TRANSITO Y SU MANEJO
- 6.- RELACIONES CON EL USUARIO
- 7.- COSTO Y VIDA UTIL DE LAS ALTERNATIVAS

NECESIDAD DE LA CONSERVACION

GRÁCIAS A LOS TRABAJOS DE CONSERVACION SE MANTIENEN LAS CONDICIONES QUE GARANTIZAN LA SEGURIDAD Y COMODIDAD DEL USUARIO Y LA - ECONOMIA DE LA TRANSPORTACION. DURANTE SU VIDA LOS PAVIMENTOS SE DETERIORAN Y ES NECESARIO SOMETERLOS A TRABAJOS DE CONSERVACION PARA QUE SIGAN PRESTANDO SERVICIOS DENTRO DE UN PROCESO CICLICO.

CONSERVACION PREVENTIVA

LA LABOR PRINCIPAL DE LA CONSERVACION ES LA DETECCION Y CORRECCION TEMPRANAS DE LOS DETERIOROS, ANTES DE QUE SE ACELERE SU -- PROCESO DE INTENSIDAD, SEVERIDAD Y EXTENSION. POR ELLO ES NECESARIA LA VIGILANCIA ESTRECHA DE LA CARRETERA POR PARTE DE PERSONAL CALIFICADO PARA DETECTAR CON OPORTUNIDAD LA PRESENCIA DE DETERIOROS.

IMPORTANCIA DEL DRENAJE

LA PRESENCIA DE AGUA ES MUY IMPORTANTE EN EL COMPORTAMIEN- TO DE LOS PAVIMENTOS. LA CONSERVACION DEBE COMPRENDER LA INSPECCION, MANTENIMIENTO Y COMPLEMENTACION DEL SISTEMA DE DRENAJE.

CONSERVACION OPORTUNA

LOS TRABAJOS DE CONSERVACION DEBEN SER REALIZADOS TAN PRONT- TO COMO SEA POSIBLE DESPUES DE HABER SIDO DETECTADA SU NECESIDAD, - SOBRE TODO CUANDO ENTRAÑA PELIGRO PARA EL USUARIO. EN OCASIONES ES- TO ENTRAÑA LA NECESIDAD DE EFECTUAR REPARACIONES TEMPORALES O PROVISIONALES EN TANTO PUEDE REALIZARSE LA CORRECCION DEFINITIVA.

ELIMINACION DE LA CAUSA QUE PROVOCA EL DETERIORO

ES MUY IMPORTANTE DETERMINAR LA CAUSA QUE ORIGINO EL DETRIORO, PARA CORREGIR NO SOLO EL DAÑO SINO EVITAR QUE VUELVA A OCU- RRIR. POR ELLO ES IMPORTANTE CONOCER Y DETECTAR LAS CAUSAS QUE ORIGINAN EL DETERIORO.

INVENTARIO DE LOS ELEMENTOS FISICOS DE LA RED

DEBE INCLUIR AL PAVIMENTO Y SU ENTORNO, INCLUYENDO LOS FACTORES FÍSICOS, OPERACIONALES Y AMBIENTALES QUE PUEDAN INFLUIR EN LA MAGNITUD O REQUERIMIENTOS DE LA CONSERVACION. (TRANSITO, SUELOS, TALUDES, CLIMA, DRENAJE, ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO, ETC.)

EVALUACION DE RECURSOS

CONOCIMIENTO DEL PERSONAL DISPONIBLE, EQUIPOS, TECNICAS, MATERIALES Y RENDIMIENTOS. SISTEMA DE ORGANIZACION Y ADMINISTRACION, DISPONIBILIDAD DE FONDOS. LOS FONDOS SON INSUFICIENTES EN GENERAL, PROVOCANDO REZAGOS Y BAJOS NIVELES DE CALIDAD Y SERVICIO. DEBE HACERSE LO MAS CON LO MENOS.

EL INDICE DE SERVICIO DEBE SER HOMOGENEO EN LA RED, CONSTITUYE UN DERECHO ADQUIRIDO POR EL USUARIO Y HAY EXIGENCIA DE NIVELES MAYORES

LA MAXIMA EFICIENCIA DE UNA RED SE OBTIENE CUANDO ES HOMOGENEO EL INDICE DE SERVICIO EN ELLA. POR OTRA PARTE LOS VEHÍCULOS MODERNOS Y LA ACTIVIDAD ECONOMICA MODERNA REQUIEREN DE MAYORES NIVELES DE SERVICIO. ES IMPORTANTE TENER EN CUENTA QUE ESTO REPERCUTE EN LOS COSTOS DE TRANSPORTACION, LOS CUALES AFECTAN TANTO A LOS USUARIOS DIRECTOS COMO AL PUBLICO EN GENERAL.

VIGILANCIA DE LOS COSTOS DE CONSERVACION

EL ORGANISMO DEBE VIGILAR LOS COSTOS DE CONSERVACION. LOS TRABAJOS EFECTUADOS SON COSTOSOS PORQUE ESTAN DISPERSOS, SE TIENEN QUE EFECTUAR SIN INTERRUMPIR EL TRANSITO, REQUIEREN MUCHA MANO DE OBRA O EQUIPOS DE BAJO RENDIMIENTO, ETC.

IMPORTANCIA DE PERSONAL CAPACITADO

LOS TRABAJOS DE CONSERVACION REQUIEREN DE UNA APROPIADA SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD, PERSONAL CAPACITADO Y MANO DE OBRA CALIFICADA. ES IMPORTANTE TENER UN BUEN CONOCIMIENTO DE LOS MATERIALES, ASFALTOS, EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS. EL PERSONAL DEBE SER CAPACITADO, ENTRENADO Y ESTIMULADO.

IMPORTANCIA DEL CLIMA PARA LA CONSERVACION

PREFERENTEMENTE LA CONSERVACION DEBE EFECTUARSE EN LA EPOCA DE ESTIAJE, Y CUANDO LA TEMPERATURA SEA MAYOR DE 10°C. LAS BAJAS -- TEMPERATURAS Y EXCESO DE HUMEDAD REQUIEREN UN TRABAJO MAS CUIDADOSO Y EN OCASIONES LA REPARACION SEA TEMPORAL CUANDO SE EFECTUA EN CONDICIONES ADVERSAS.

SEGURIDAD EN LA CONSERVACION

DURANTE LA EJECUCION DE LOS TRABAJOS DEBE CUIDARSE LA SEGURIDAD DE LOS USUARIOS Y DE LOS TRABAJADORES. PARA TAL EFECTO DEBE - CONTROLARSE EL TRANSITO EN EL TRAMO EN REPARACION, CON LOS DISPOSITIVOS, PERSONAL Y TECNICOS ADECUADOS.

RELACION DE LA CONSERVACION CON EL PROYECTO Y LA CONSTRUCCION

LA CONSERVACION HEREDA LAS DEFICIENCIAS DEL PROYECTO Y LA - CONSTRUCCION. EN LA MEDIDA EN QUE ESTOS SE MEJOREN, LA CONSERVACION SERA MENOR Y MENOS COSTOSA. LA CONSERVACION DEBE SER TOMADA EN CUENTA EN EL PROYECTO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO Y EN LA CONSTRUCCION DEEBE CUMPLIRSE CON LAS ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO.

LA CONSERVACION DEBE GARANTIZAR EL TRANSITO EN TODO TIEMPO

LOS TRABAJOS DE CONSERVACION DEBEN REALIZARSE EN TODO TIEMPO Y EN CUALQUIER HORARIO CON EL OBJETIVO DE PERMITIR SIEMPRE EL PASO DE VEHICULOS.

ESTABLECER EL NIVEL DE MANTENIMIENTO DESEADO

DEBE ESTABLECERSE EL NIVEL, AMPLITUD, Y DURABILIDAD EN FUNCIÓN DEL COSTO E IMPORTANCIA DE LA CARRETERA, DEBEN CONOCERSE LOS COSTOS ASOCIADOS A DIFERENTES NIVELES DE MANTENIMIENTO.

ESTABLECER RENDIMIENTOS DE TRABAJADORES, CUADRILLAS Y UNIDADES

TOMAR EN CUENTA EL EQUIPO DISPONIBLE, TIEMPO DE TRANSPORTE, PREPARATIVOS Y DE TRABAJO EFECTIVO, TIEMPOS MUERTOS, VENTAJAS DE LA CAPACITACION E INTRODUCCION DE NUEVAS TECNICAS, EQUIPOS, TAMAÑO DE LA CUADRILLA, ETC. PARA MEJORAR RENDIMIENTOS Y COSTOS EN CONDICIONES DADAS DE TRANSITO Y MEDIO AMBIENTE.

DESARROLLO DE SISTEMAS AGILES Y CONFIABLES DE EVALUACION Y REPORTE

PARA COMPARAR LA EFICIENCIA REAL Y LA PROGRAMADA, DEBEN TENERSE SISTEMAS DE INFORMACION ADECUADOS, CON EL FIN DE MEJORAR LA EFICIENCIA, DETECTAR PUNTOS DEBILES Y PROGRAMAR LOS TRABAJOS. ASIMISMO DEBEN CONOCERSE LOS COSTOS DE LOS TRABAJOS EJECUTADOS, LA CALIDAD ALCANZADA Y EL COMPORTAMIENTO POSTERIOR DEL PAVIMENTO.

DESARROLLO DE MEJORES PROCEDIMIENTOS, MATERIALES Y EQUIPOS

SON NECESARIOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA, ECONOMIA Y DURABILIDAD, SE REQUIERE EL COMPLEMENTO DE SISTEMAS DE EVALUACION DE PAVIMENTOS, INFORMACION Y RETROALIMENTACION, PARA JUZGAR LA BONDAD DE LAS ESTRATEGIAS ADOPTADAS.

ESTABLECER PRIORIDADES, ESTRATEGIAS Y COMPORTAMIENTO FUTURO

PRIORIDADES, SEGUN LOS NIVELES DE RESISTENCIA AL DERRAPAMIENTO, DEFLEXION, COMODIDAD Y MAGNITUD Y SEVERIDAD DE LOS DETERIOROS.

ESTRATEGIAS, SEGUN EL TIPO, EXTENSION Y SEVERIDAD DE LOS DETERIOROS, Y EL NIVEL DE MANTENIMIENTO DESEADO.

COMPORTAMIENTO FUTURO DE LA RED AL APLICAR UNA ESTRATEGIA Y PODER DETERMINAR LOS FONDOS NECESARIOS PARA DETERMINADO NIVEL DE SERVICIO, O EL NIVEL DE SERVICIO QUE SE PUEDE ESPERAR CON LOS FONDOS DISPONIBLES.

Nivel de servicio

COSTO DE CONSERVACION, REHABILITACION Y RECONSTRUCCION, DOLARES POR KILOMETRO

300 - 500

8000 - 40000

50000 - 200000

60000 - 300000

Nivel inicial

Evolución del estado de la calzada

Nivel después de reparación

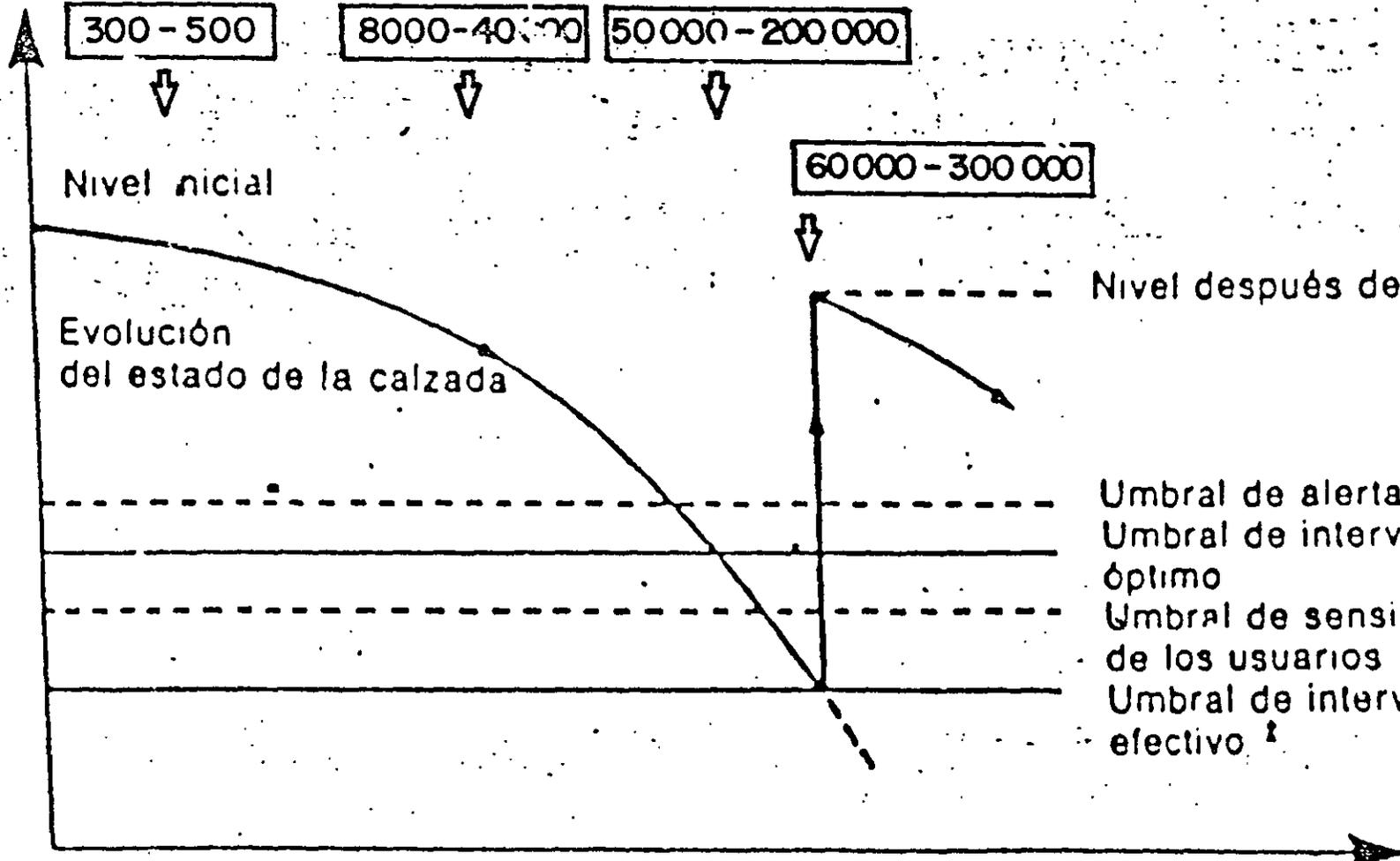
Umbral de alerta

Umbral de intervención óptimo

Umbral de sensibilidad de los usuarios

Umbral de intervención efectivo

Tiempo



TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

TIPO		APLICACION
-	TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
	RANURADO	CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAMAMIENTO.
	REBAJADO	
	PRODUCTOS QUIMICOS	
	CALAFATEO	RELLENO DE GRIETAS
	SLURRY SEAL	CORREGIR TEXTURA Y DERRAMAMIENTO, IMPERMEABILIZAR, MEJORAR APARIENCIA.
	RIEGOS DE SELLO	
-	BACHEO	
	SUPERFICIAL	CORREGIR FALLAS DE CARPETA.
	PROFUNDO	CORREGIR AREAS DEBILES
-	RENIVELACIONES	CORREGIR DEFORMACIONES
-	RECICLADO	CORREGIR FALLAS DE CARPETA, REJUVENECERLA Y FORZARLA.
-	SOBRECARPETA	REFUERZO, ESTRUCTURAL Y CONTRA FATIGA.
-	MODERNIZACIONES	ADECUAR PARA TRANSITO -- MAS IMPORTANTE, AMPLIACIONES Y RECTIFICACIONES MEJORAR DRENAJE.
-	RECONSTRUCCION	ADAPTACION PARA UN TRANSITO MAS PESADO.

EFFECTOS DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO EN LOS PAVIMENTOS.

- 1. REDUCIR LA VELOCIDAD DE DETERIORO Y PROLONGAR SU DURACION**
- 2. DISMINUIR LOS COSTOS DE OPERACION**
- 3. AUMENTAR LA EFICIENCIA DE LA CARRETERA**

SU REZAGO U OMISION CONDUCE A:

- 1. RAPIDO DETERIORO DEL PAVIMENTO**
- 2. AUMENTO EN COSTOS DE OPERACION**
- 3. INCREMENTO DE ACCIDENTES**
- 4. MAYORES COSTOS DE REPARACION, REHABILITACION O RECONSTRUCCION**
- 5. PERDIDA DE LA INVERSION**

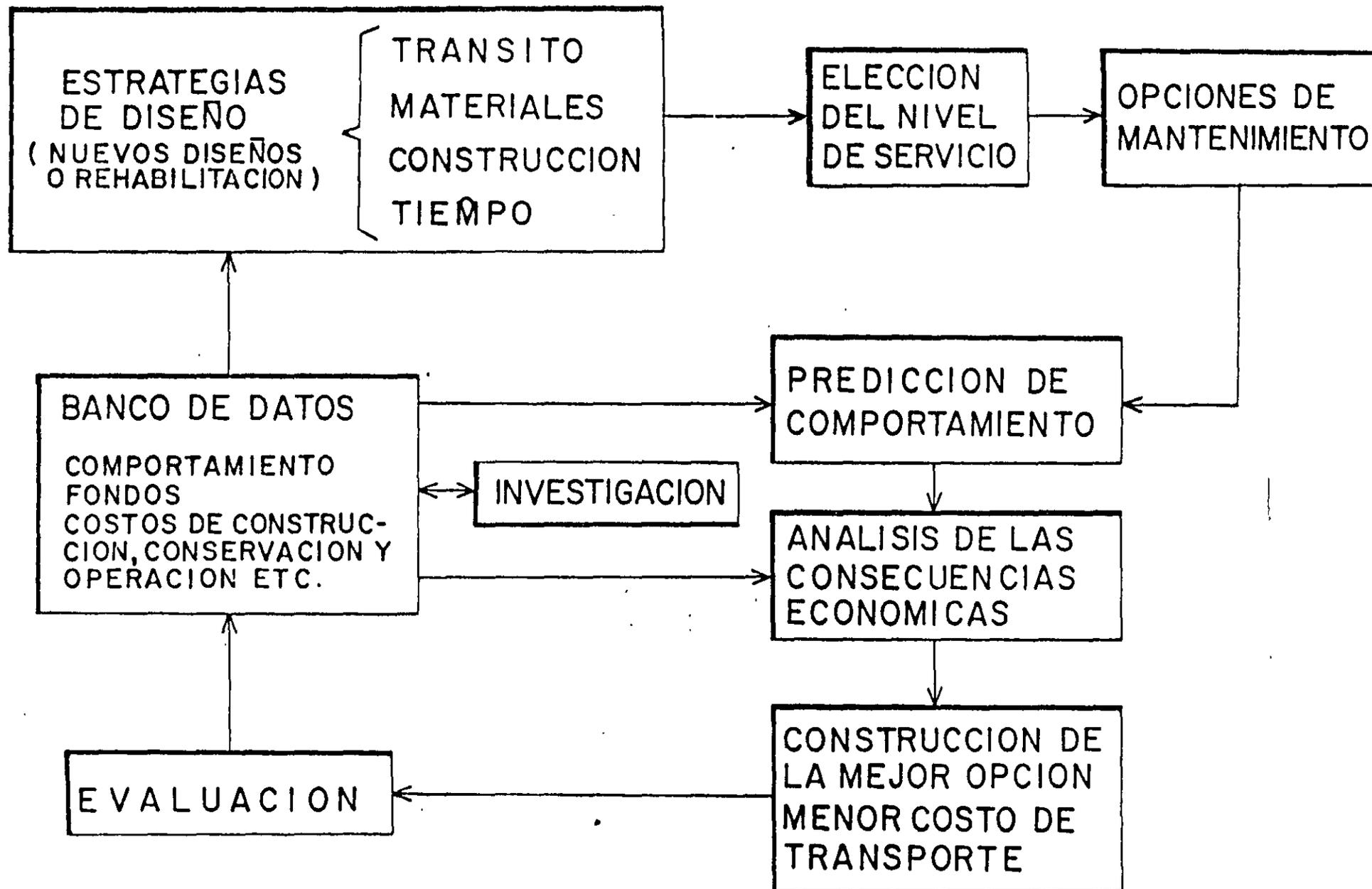


FIG 24.- DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA SELECCION DE ESTRATEGIAS

IDENTIFICACION Y ANALISIS TECNICO-ECONOMICO DE SOLUCIONES

INSUMOS PRINCIPALES

TRANSITO

TOPOGRAFIA

MEDIO AMBIENTE

DRENAJE Y SUBDRENAJE

ESTADO DEL PAVIMENTO

SOLUCIONES APLICABLES

ASPECTOS TECNICOS

COMPORTAMIENTO

COSTOS

REPERCUSIONES

ECONOMICAS

PRESUPUESTO DISPONIBLE Y

POLITICA DE MANTENIMIENTO



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

**CALIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS Y
SIMULACIONES**

**ING. RICARDO TORRES VELAZQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

DIPLOMADO EN PROYECTO,
CONSTRUCCION Y CONSERVACION
DE CARRETERAS

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.

CALIFICACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS Y SIMULACIONES

ING. RICARDO TORRES VELAZQUEZ

MODULO III
CONSERVACION Y OPERACION

JUNIO, 1998.

CRITERIOS DE EVALUACION ESTRUCTURAL PARA LA RECUPERACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Ricardo Torres Velázquez
Gerente Técnico, Raúl Vicente Orozco y Cía., S.A. de C.V

RESUMEN

La evaluación de un pavimento tiene como propósito conocer el estado actual del mismo desde los puntos de vista superficial y estructural, además de establecer las razones por las que se encuentra en esa condición. Los equipos más usuales para determinar la condición estructural son: la viga Benkelman, el curvómetro Dehelen, el Dynaflect, etc. Con la finalidad de simular lo mejor posible el efecto producido por el tránsito de vehículos, se han diseñado equipos como los llamados deformómetros de impacto (Falling Weight Deflectometer). Con estos equipos se puede determinar la condición estructural de un pavimento a través de índices y calificaciones y, posteriormente, conocer los módulos elásticos de las diferentes capas que lo forman.

1. INTRODUCCION

El estudio de los pavimentos en México data de los años treinta y fue en el año de 1934 cuando se fundó el primer laboratorio con la finalidad de estudiar y controlar los materiales que se utilizaban en esa época. Paralelamente a esto, surgió la necesidad de analizar el estado de los pavimentos construidos, desde los puntos de vista servicio y condiciones superficial y estructural. Para valuar la condición estructural se han utilizado diversos equipos y aparatos, tales como la viga Benkelman, el curvómetro Dehelen y el Dynaflect, entre otros. Hasta la fecha, estos equipos son una poderosa herramienta para la evaluación de pavimentos; sin embargo, con el constante desarrollo de la tecnología universal, se han creado otros equipos que resultan más eficientes. Tal es el caso del deformómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer) que, por sus características, reproduce el efecto de la carga originada por el tránsito de un vehículo, con lo cual se valúa la condición estructural del pavimento.

Seleccionar el tipo de rehabilitación en un pavimento es una decisión de considerable significado económico. Por ello, tomar tal decisión sin tener el adecuado conocimiento de la condición estructural del pavimento, puede acarrear consecuencias muy graves.

2. MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES

La capacidad estructural de un pavimento está correlacionada directamente con los desplazamientos verticales ("deflexiones") registrados por equipos especiales, como el KUAB.

El equipo dinámico permite la simulación del efecto producido por el tránsito vehicular al dejar caer libremente unas pesas sobre una placa segmentada y transmitir así una carga específica al pavimento. Durante el impacto se registran los desplazamientos verticales y sus tiempos de ocurrencia mediante 7 sismómetros (sensores), con espaciamiento usual de 20, 30, 45, 90, 120 y 150 cm, a partir del sensor localizado bajo la carga. Esta varía de 2 a 8 t para autopistas, con placa de 30 cm, hasta 3 a 15 t para aeropistas, con placa de 45 cm. El impacto está proyectado para producir un desplazamiento vertical igual al causado por una rueda.

El equipo está provisto de siete sismómetros, que registran los desplazamientos verticales y sus tiempos de ocurrencia producidos por el impacto (Figs. 1 y 2). A partir del punto de impacto, la posición usual de los siete sensores es la siguiente:

SENSOR	DISTANCIA (cm)
S0	0
S1	20
S2	30
S3	45
S4	90
S5	120
S6	150

La distancia usual entre una estación y otra varía de 50 a 100 m, sin embargo, se pueden efectuar lecturas a la distancia deseada.

3. CALIFICACION ESTRUCTURAL

En cada estación donde se efectúa una medición con el equipo KUAB se procede a obtener el área comprendida entre la curva de desplazamientos verticales registradas y los ejes cartesianos. La Fig. 3 muestra una curva típica de desplazamientos verticales, donde se graficaron los valores registrados por los siete sismómetros (en el eje vertical) y la distancia de éstos a partir del punto de impacto (eje horizontal). A esta área se le denominó Índice Estructural (I_e), el cual está expresado en mm^2 .

Este índice proporciona un indicador cualitativo muy útil para conocer la condición estructural del pavimento, ya que toma en cuenta todos los sismómetros y, por consecuencia, considera la respuesta producida por las capas del pavimento.

La escala de calificación estructural del pavimento se indica a continuación, a partir del Índice Estructural (I_e):

CALIFICACION ESTRUCTURAL		I_e (mm^2)
10	Excelente	< 100
9	Muy buena	100 a 200
8	Buena	200 a 400
7	Regular	400 a 800
6	Mala	800 a 1600
5	Pésima	> 1600

En la Fig. 4 se observa una gráfica donde se aprecia el índice y la calificación estructurales de un tramo carretero.

Es importante mencionar que, paralelamente a esta calificación estructural, se efectúa una calificación de servicio actual y un levantamiento de deterioros del pavimento, con la finalidad de correlacionarlos.

4. OBTENCION DE MODULOS ELASTICOS DE LAS CAPAS

Los desplazamientos verticales registrados en cada uno de los sismómetros se almacenan en la computadora del equipo KUAB. Con ayuda de un programa especial de computadora (Uddin, 1993) y con base en la información de los desplazamientos verticales medidos con el equipo dinámico, de la carga aplicada y de los espesores de las capas, se calculan los módulos elásticos de los materiales que forman el pavimento de la autopista (carpeta, base, sub-base y capas inferiores).

El programa de computadora calcula los desplazamientos ocasionados al aplicar una carga conocida, proporcionada por el equipo dinámico, sobre una estructura de pavimento (cuyos espesores de capas fueron medidos en los sondeos). Inicialmente dicho programa propone módulos elásticos de las capas que constituyen el pavimento. Con estos módulos se calculan los desplazamientos que son comparados con las lecturas de los siete sensores del equipo (Figura 3). Si existen diferencias, entonces se proponen nuevos valores de módulos elásticos y se repite el proceso. El cálculo finaliza cuando los desplazamientos verticales calculados y medidos convergen. Cabe mencionar que este proceso se efectúa para cada sitio donde existe una medición de desplazamientos verticales.

En la Fig. 5 se aprecia la gráfica de módulos elásticos de la carpeta asfáltica. Mientras que en la Fig. 6 se encuentran graficados los módulos elásticos de las capas de base, sub-base e inferiores. En estas gráficas aparecen unos límites recomendados, los cuales se enlistan a continuación:

CAPA	MODULOS ELASTICOS (kg/cm ²)		
Carpeta	30,000	a	40,000
Base	3,000	a	5,000
Sub-base	2,000	a	4,000
Capas inferiores	300	a	1,500

5. ANALISIS DE ESTRUCTURACIONES DE PAVIMENTO

La capacidad de predicción de esfuerzos y desplazamientos con el Método de Elementos Finitos (MEF) ha sido ampliamente demostrada en un número considerable de aplicaciones a diversos tipos de obras civiles. Por ello, este método es una poderosa herramienta que permite obtener soluciones aproximadas a estos problemas.

5.1 Principios básicos del MEF

El MEF es un procedimiento que permite evaluar el estado de esfuerzos y deformaciones en un medio continuo. Básicamente consiste en discretizar el medio en un número finito de elementos de formas arbitrarias, interconectadas en sus fronteras por nodos comunes a dos o más elementos (Fig. 7).

Por medio de una función polinomial se efectúan interpolaciones dentro del campo de desplazamientos, para obtener la matriz de rigidez del elemento. Posteriormente se ensamblan las matrices de rigidez de los elementos para obtener la matriz de rigidez global. Por otra parte, el vector de cargas se aplica en los nodos y se resuelven las ecuaciones de equilibrio para los desplazamientos nodales. Por último, se calculan los esfuerzos y las deformaciones en cada elemento a partir de dichos desplazamientos (Hughes, 1987; Romo y Torres, 1993; Torres, 1992).

5.2 Análisis de fatiga

5.2.1 Debido a las numerosas variables que intervienen en el comportamiento de los pavimentos y a que existe mucha interacción entre ellas, el proyecto de pavimentos es muy complejo. Sin embargo, en la actualidad hay consenso sobre los principales tipos de daño que se deben de tomar en cuenta, para lo cual es necesario conocer lo siguiente:

1. La máxima deformación unitaria a tensión (horizontal) en el plano inferior de la carpeta asfáltica.

2. La máxima deformación unitaria a compresión (vertical) de las capas inferiores a la carpeta asfáltica.
3. El esfuerzo máximo de tensión en el plano inferior de las capas del pavimento, cuando están rigidizadas.

5.2.2 Número de ciclos a la falla

Existen correlaciones experimentales para obtener el número de ciclos (repeticiones o aplicaciones de carga de los ejes de los vehículos) para llegar a la falla en la(s) capa(s) de los pavimentos (N_f), en función de las deformaciones unitarias máximas a compresión y a tensión o los esfuerzos máximos a tensión.

Para el caso de las capas de suelo compactado, se aplica la siguiente expresión:

$$N_f = \left[\frac{0.021}{\varepsilon_v} \right]^{0.24} \quad (1)$$

en donde:

ε_v = deformación unitaria máxima a compresión

Para el caso de la carpeta asfáltica, se utiliza la siguiente expresión (Marchand, 1984).

$$N_f = \left(\frac{0.00296692}{\varepsilon_t} \right)^5 \quad (2)$$

en donde:

ε_t = deformación unitaria máxima a tensión

En las capas rigidizadas con cemento Portland se utiliza la siguiente correlación:

$$N_f = 10^{12 \left(0.8686 - \frac{\sigma_t}{21} \right)} \quad (3)$$

en donde:

σ_t = esfuerzo máximo de tensión en la parte inferior de la capa rigidizada
(kg/cm²)

5.2.3 Vida esperada

Debido a que se tienen resultados para los diferentes tipos de vehículos y su número diario de aplicaciones (N_f) es diferente, se necesita tomar en cuenta conjuntamente todos los valores de N_f (mínimos), con el fin de estimar el daño que recibirá el pavimento durante su vida esperada. Esto se logra al aplicar la Ley de Miner (Dauzats, 1984), por medio de la cual se acumulan los daños causados por cargas diferentes. Esta ley establece que la condición de falla se alcanza cuando:

$$\sum_{i=1}^e \left(\frac{n_i}{N_i} \right) = 1 \tag{4}$$

en donde

n_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que se tienen previstas durante la vida esperada.

N_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que puede resistir el pavimento. Se obtiene al aplicar las ecuaciones de fatiga (Ecs. 1 a 3)

e = número total de tipos de eje considerados

El valor de N_i , para un tipo de eje dado, corresponde al valor mínimo de los siguientes parámetros: $N_f(\epsilon_v)$ en la Ec. 1, $N_f(\epsilon_t)$ en la Ec. 2 y $N_f(\sigma_t)$ en la Ec. 3.

Por otra parte, el pronóstico del número acumulado de aplicaciones de carga de un eje dado está dado por:

$$n_i = \frac{365E_o}{Ln(1+r)} \left[(1+r)^a - 1 \right] \tag{5}$$

en donde:

E_o = número total de aplicaciones de carga del eje considerado, el primer día del período de análisis

r = tasa de crecimiento vehicular anual (decimales)

a = vida esperada (años)

Al sustituir la Ec. 5 en la Ec. 4, es decir:

$$\frac{365}{Ln(1+r)} \left[(1+r)^a - 1 \right] \sum_{i=1}^e \frac{E_{oi}}{N_i} = 1 \quad (6)$$

en donde:

E_{oi} = número total de aplicaciones de carga del eje i , el primer día del período de análisis (el subíndice "i" corresponde a la sumatoria).

Por tal motivo el problema se reduce a despejar el valor de la vida esperada (a) de la Ec. 6.

6. CONCLUSIONES

Ante los intercambios de tipo comercial con otros países, así como el crecimiento poblacional de la nación, la demanda en el transporte carretero tiende a incrementarse de tal forma que la infraestructura carretera deberá tener la calidad y la cantidad de vías suficientes para afrontar este reto.

Una de las acciones que se antoja desarrollar para lograrlo, es la investigación tanto en la caracterización de los materiales empleados en la construcción de carreteras, como en la elaboración de métodos de proyecto acordes a las condiciones reales del país. Por ello, toda innovación tecnológica que sirva como herramienta para lograr estos fines deberá ser tomada en cuenta.

7. REFERENCIAS

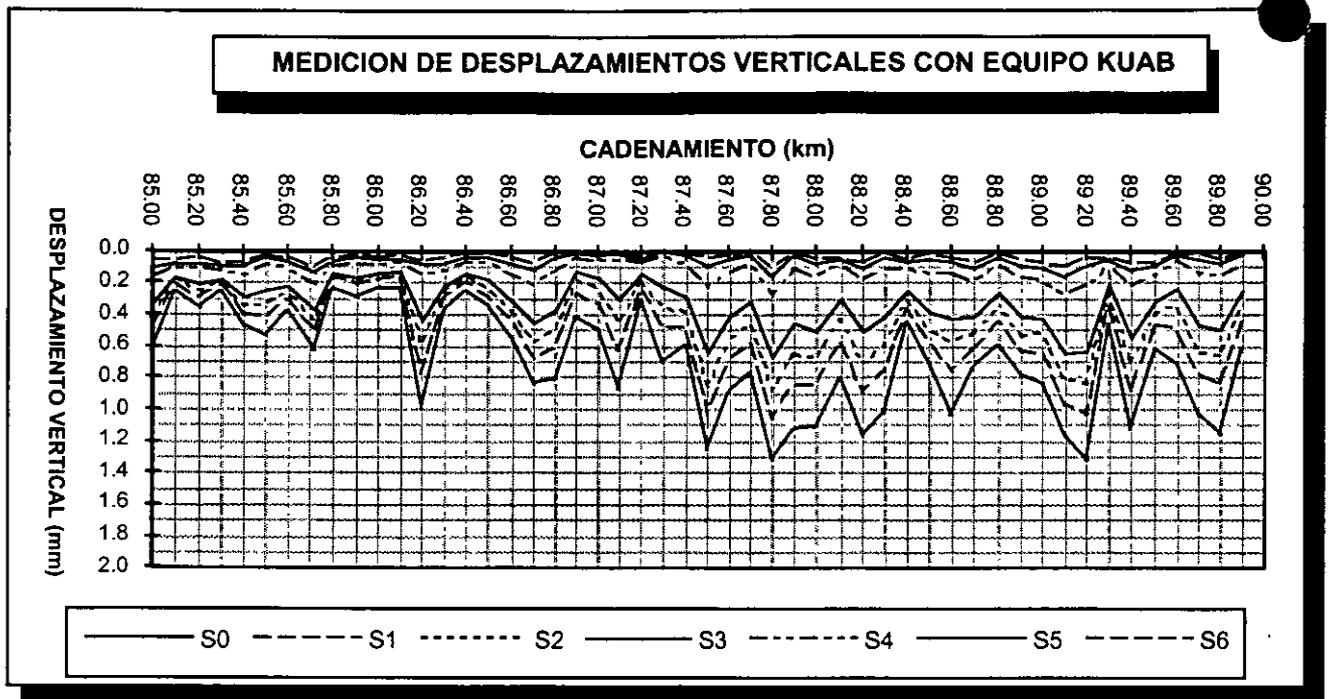
- Uddin, W. (1993). "Pavement Evaluation Based on Dynamic Deflection" PEDD1 Versión 1.1 Owner's guide. Programa elaborado especialmente para RVO y Cía., Silver Spring, Maryland, USA
- Hughes, T (1987). "The finite element method. Linear static and dynamic finite element analysis. Englewood, New Jersey, USA
- Romo, M.P.; Torres R. (1993). "Procedimiento simplificado para el diseño geométrico de pavimentos flexibles". Proyecto realizado en el Instituto de Ingeniería-UNAM, con patrocinio de Raúl Vicente Orozco y Cía., S.A. de C.V. México

Torres R. (1992). "Método para el diseño geométrico de pavimentos flexibles", Tesis de Maestría, UNAM, México

Marchand, J.P., Dautzats, M. Lichtenstein, H y Kobisch, R. (1984). "Quelques Formules utiles pour le calcul des chaussées sur petites programmables" Numéro especial, Mécanique des chaussées, del Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées, París, Francia.

Dautzats, M., Lichtenstein, H. y Marchand J. P. (1984). "Exemple d'utilisation de la Méthode Rationnelle de Dimensionnement: le transfert d'un Eugin Exceptionnel dans l'Enceinte du Port Autonome de Marseille", Numéro especial, Mécanique des chaussées, del Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées, París, Francia.

AUTOPISTA: LIBRAMIENTO CUERNAVACA
 TRAMO DEL km 80 AL km 95
 LADO DERECHO, CARRIL IZQUIERDO

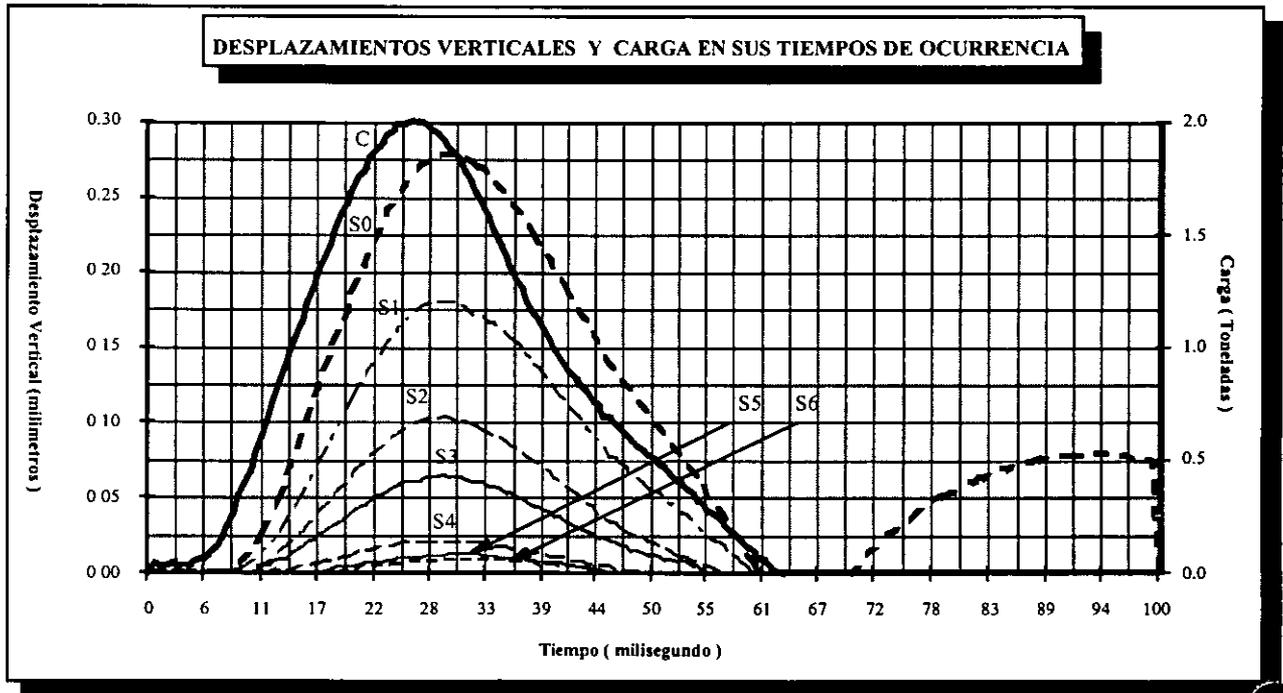


(S=Sismómetro)

PROMEDIO DE CARGA 5,948 kg

Fig.- 1 Gráfica de desplazamientos verticales

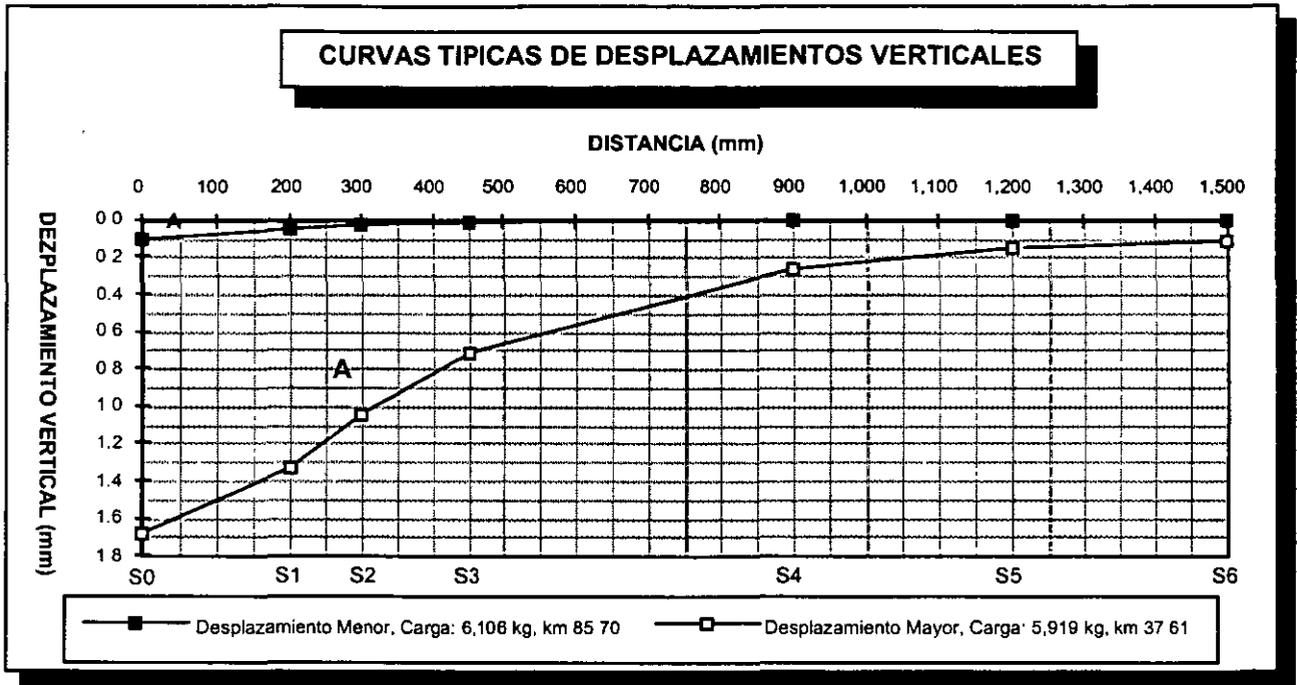
CAMINO DIRECTO: PUEBLA - CORDOBA
 TRAMO: ESPERANZA-Cd. MENDOZA km 259.4



S = Sismómetro
 C = Carga

Fig.- 2 Gráfica de desplazamientos verticales y carga vs. tiempo de ocurrencia

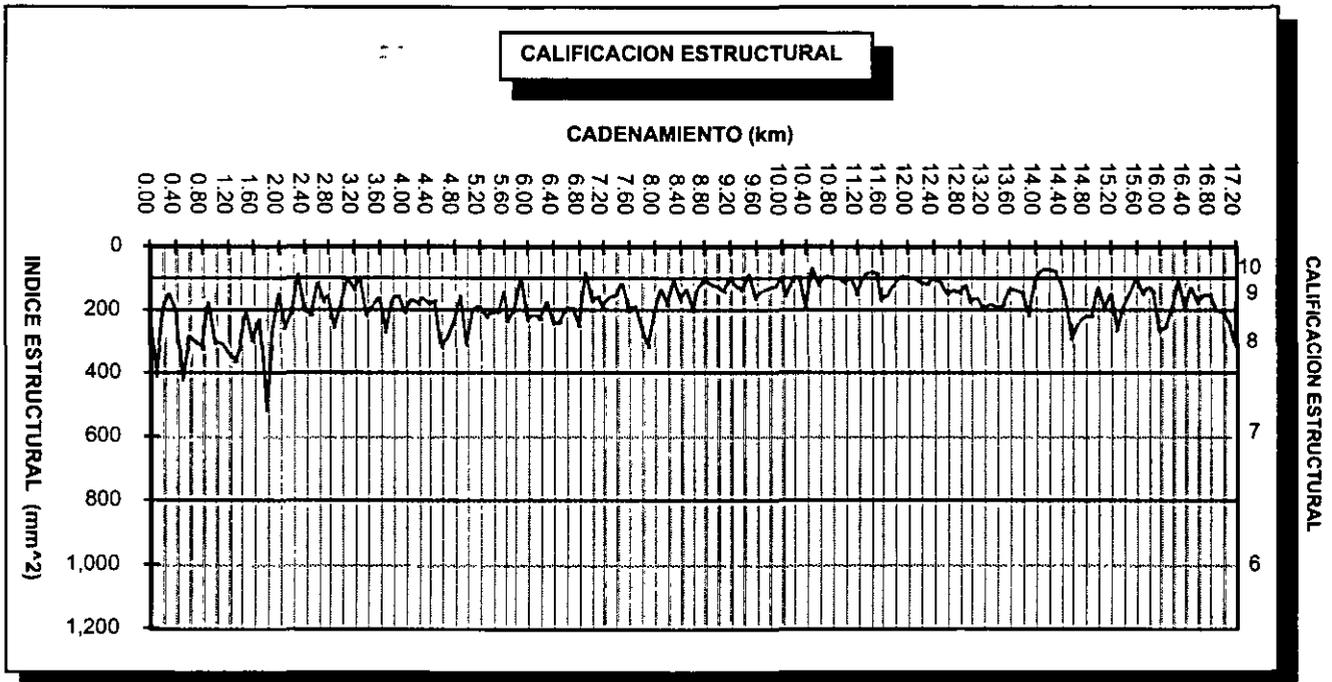
CAMINO DIRECTO: PTE DE IXTLA-IGUALA
 TRAMO DEL km 34 AL km 96
 CARRIL DERECHO



A = AREA = INDICE ESTRUCTURAL
 (S=Sismómetro)

Fig.- 3 Gráfica de Curvas típicas de desplazamientos verticales para dos casos extremos

CAMINO DIRECTO: ZACAPALCO-RANCHO VIEJO
 TRAMO DEL km 0 AL km 17.20
 CARRIL DERECHO



CALIFICACION		
10	EXCELENTE	10.34 %
9	MUY BUENA	57.47 %
8	BUENA	30.46 %
7	REGULAR	1.72 %
6	MALA	0.00 %

Fig.- 4 Gráfica de Calificación e Índice Estructurales

AUTOPISTA: LIBRAMIENTO CUERNAVACA
 TRAMO DEL km 80 AL km 95
 LADO DERECHO, CARRIL DERECHO

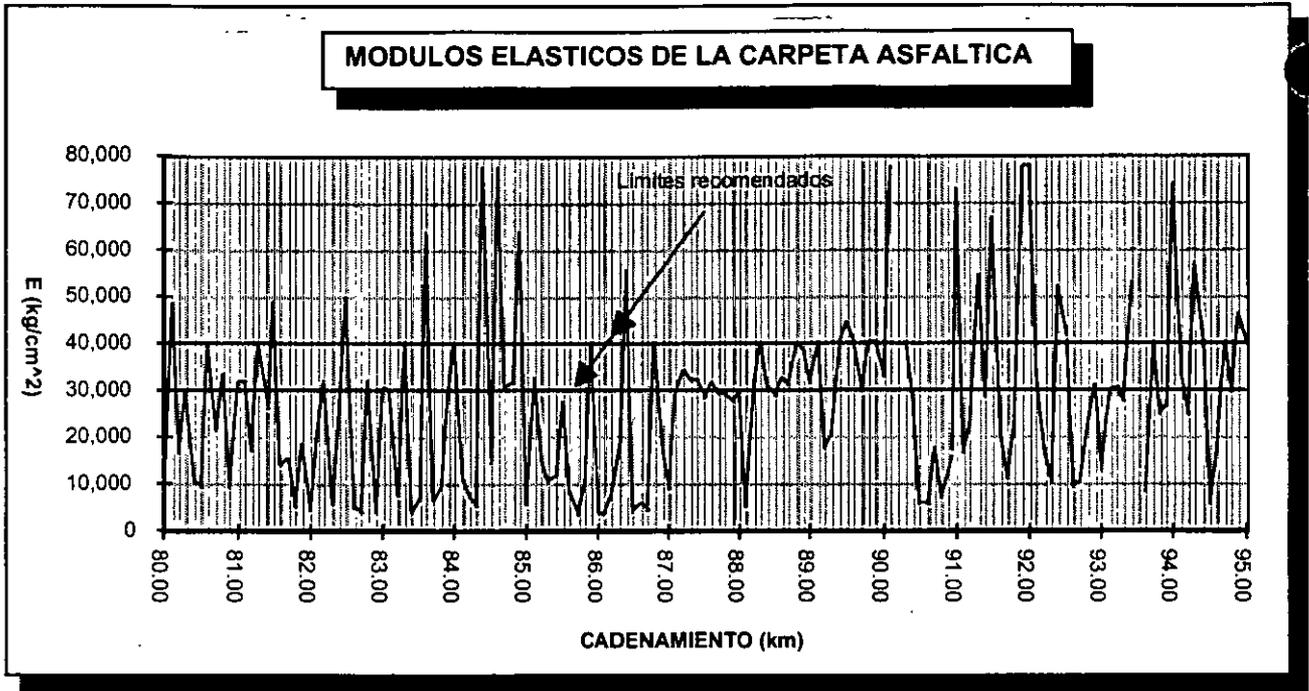
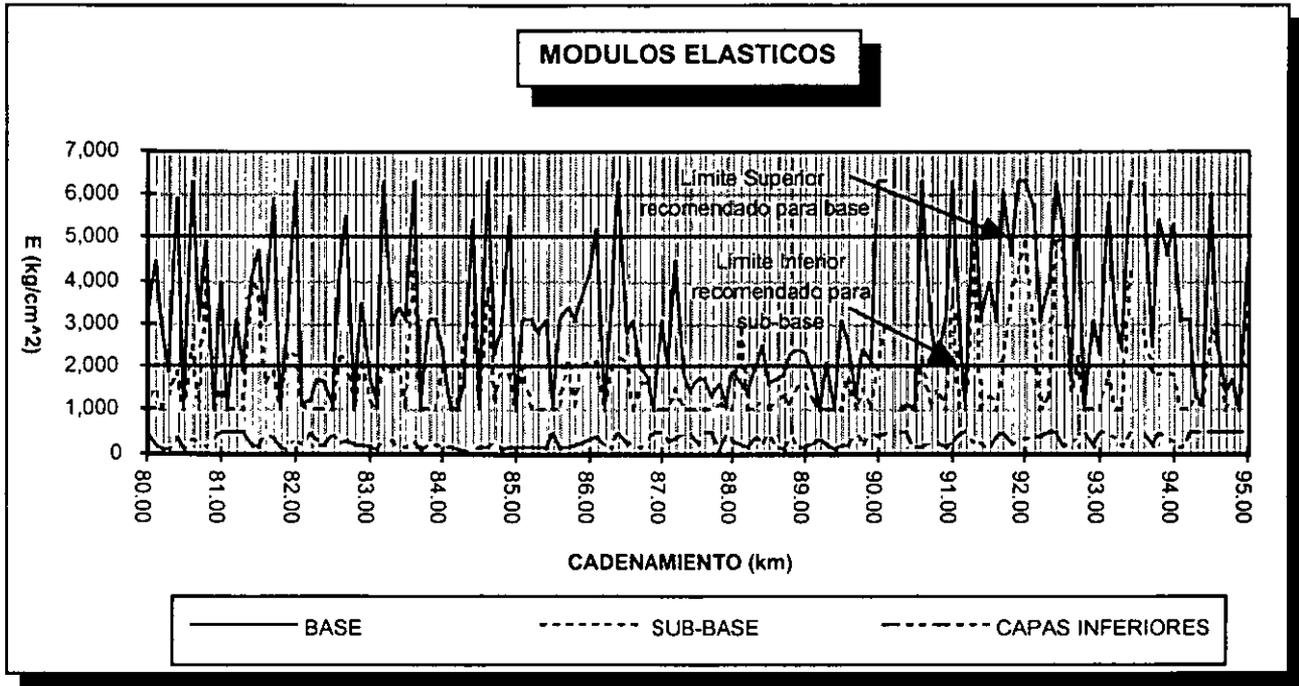


Fig.- 5 Gráfica de Módulos elásticos de carpeta asfáltica

AUTOPISTA: LIBRAMIENTO CUERNAVACA
 TRAMO DEL km 80 AL km 95
 LADO DERECHO, CARRIL DERECHO



CAPAS INFERIORES
 SUBRASANTE
 SUBYACENTE
 TERRAPLEN
 TERRENO NATURAL

Fig.- 6 Gráfica de Módulos elásticos de las capas de base, sub-base e inferiores

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS

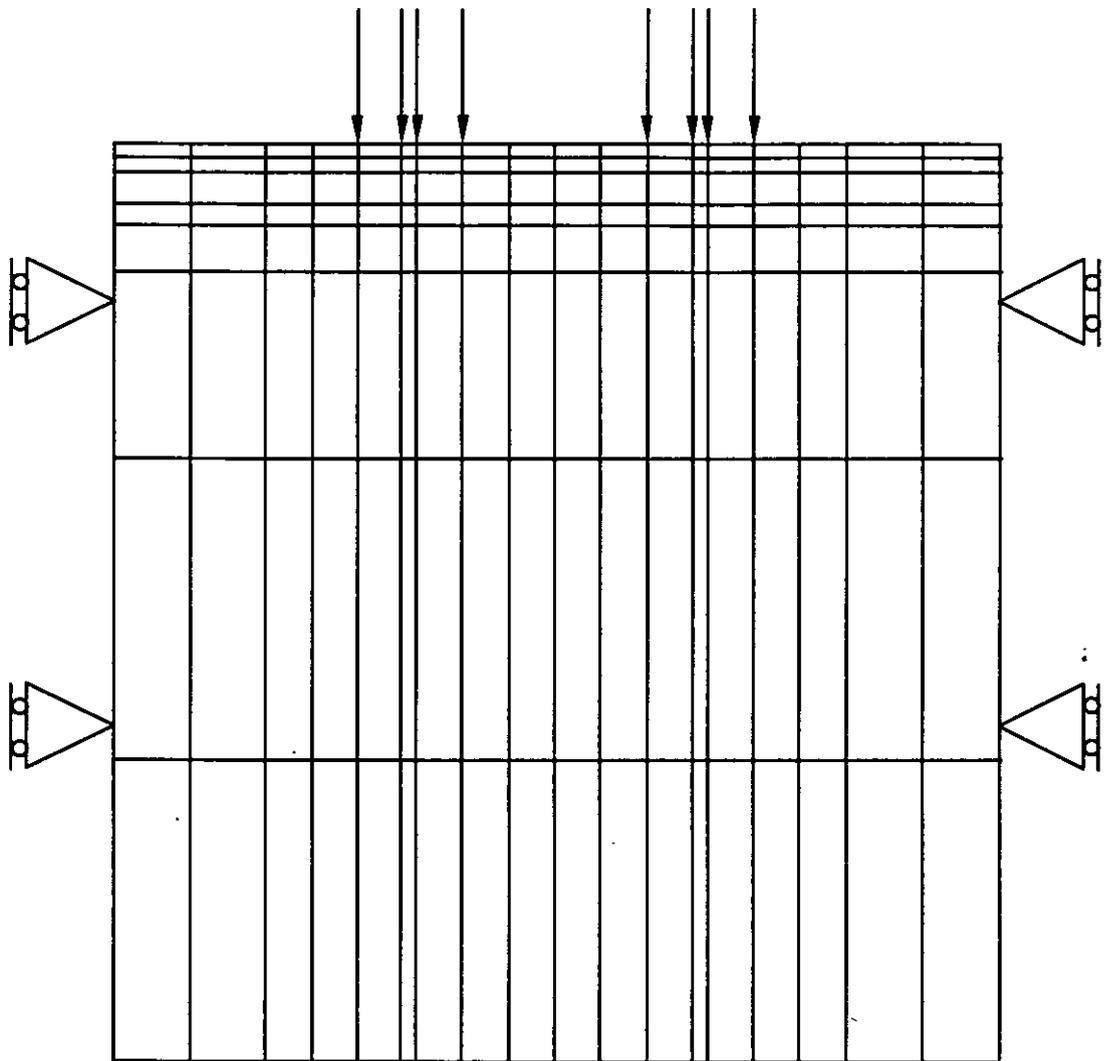
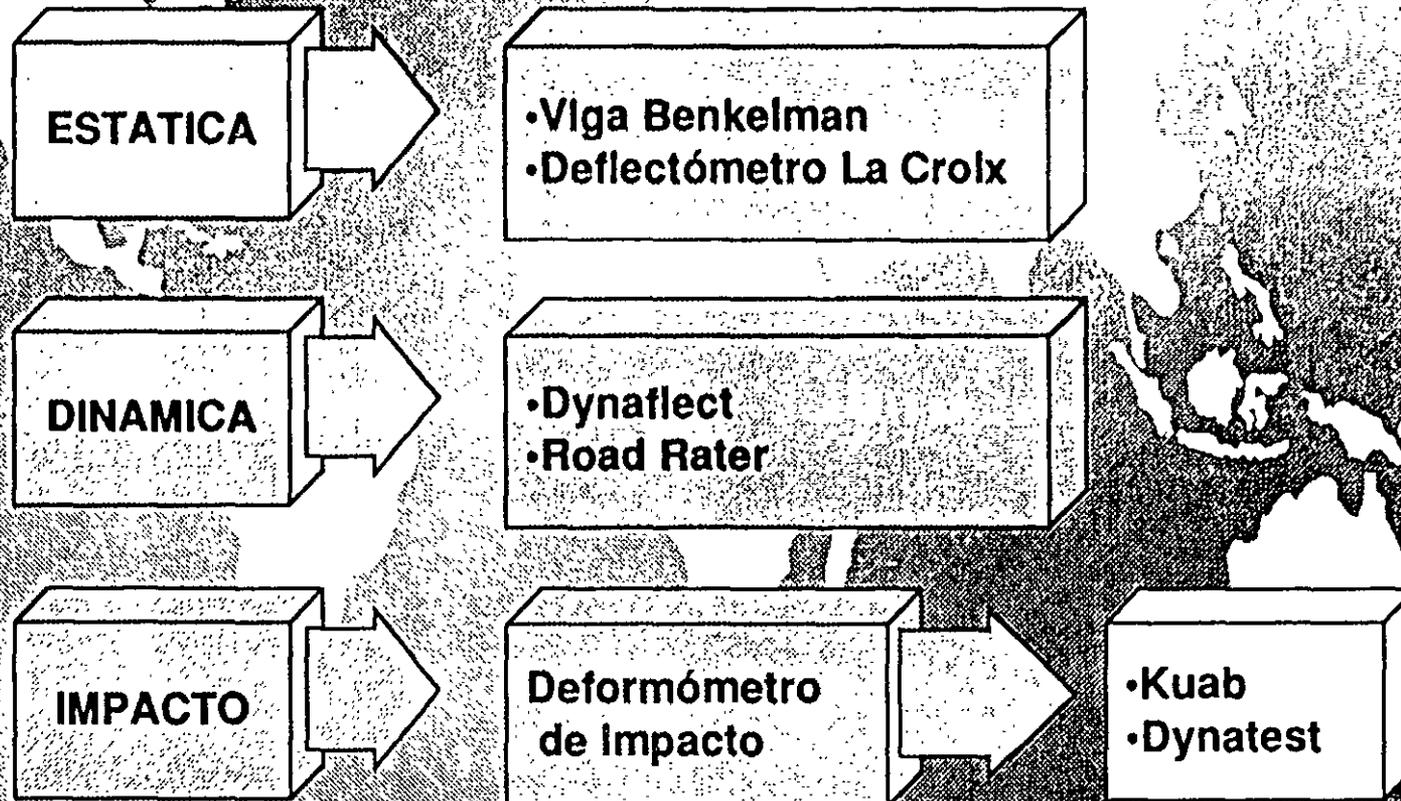
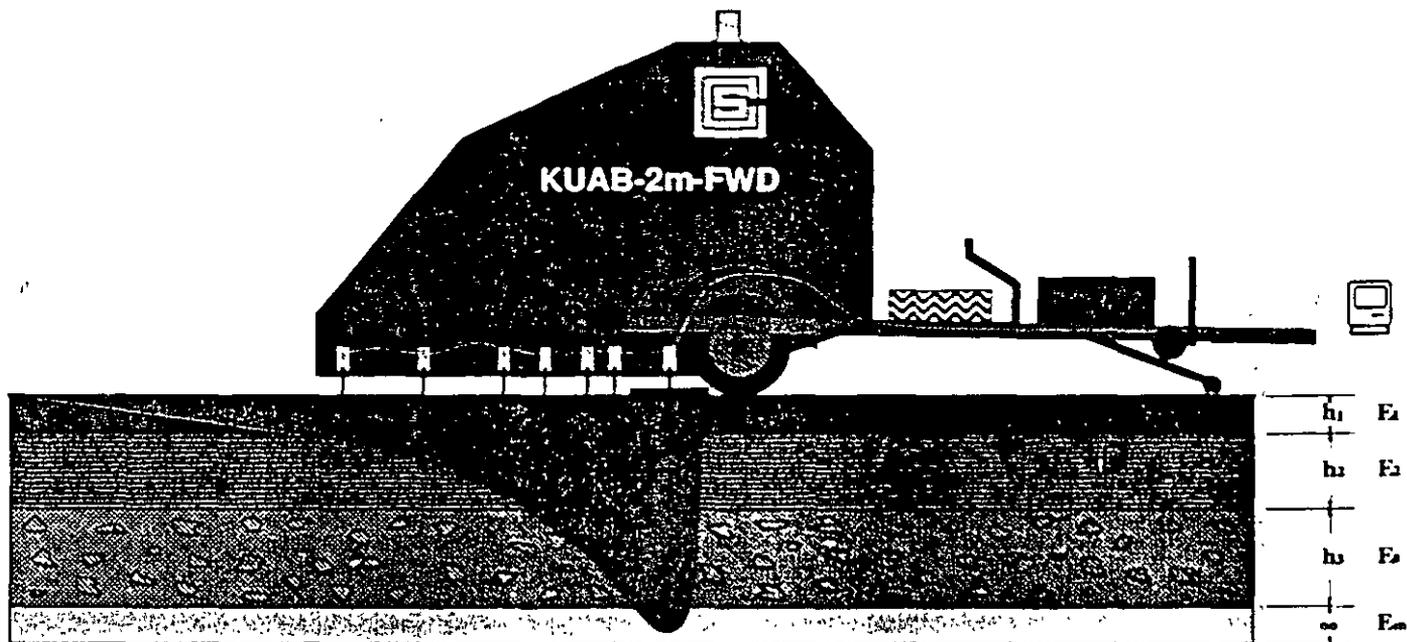


Fig.- 7 Malla de elementos finitos

EVALUACION ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS



**EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE
PAVIMENTOS CON EL EQUIPO KUAB-2m-FWD
(FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER)**



1. MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES POR IMPACTOS
2. CALIFICACION ESTRUCTURAL
3. OBTENCION DE MODULOS ELASTICOS EN LAS CAPAS
4. ANALISIS DE ESTRUCTURACIONES DE PAVIMENTO

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS



153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171
127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	
134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152
109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	
115	116	117	118	119	120	121	122	125	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	
77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

15

NODE	X	Y		
1	0.0	0.0	1	1
2	0.5	0.0	0	1
3	1.0	0.0	0	1
4	1.3	3.0	0	1
5	1.6	0.0	0	1
6	1.9	0.0	0	1
7	2.0	0.0	0	1
8	2.3	0.0	0	1
9	2.6	0.0	0	1
10	2.9	0.0	0	1
11	3.2	0.0	0	1
12	3.5	0.0	0	1
13	3.8	0.0	0	1
14	3.9	0.0	0	1
15	4.2	0.0	0	1
16	4.5	0.0	0	1
17	4.8	0.0	0	1
18	5.3	0.0	0	1
19	5.8	0.0	1	1
20	0.0	1.5	1	0
21	0.5	1.5	0	0
22	1.0	1.5	0	0
23	1.3	1.5	0	0
24	1.6	1.5	0	0
25	1.9	1.5	0	0
26	2.0	1.5	0	0
27	2.3	1.5	0	0
28	2.6	1.5	0	0
29	2.9	1.5	0	0
30	3.2	1.5	0	0
31	3.5	1.5	0	0
32	3.8	1.5	0	0
33	3.9	1.5	0	0
34	4.2	1.5	0	0
35	4.5	1.5	0	0
36	4.8	1.5	0	0
37	5.3	1.5	0	0
38	5.8	1.5	1	0
39	0.0	3.0	1	0
40	0.5	3.0	0	0
41	1.0	3.0	0	0
42	1.3	3.0	0	0
43	1.6	3.0	0	0
44	1.9	3.0	0	0
45	2.0	3.0	0	0
46	2.3	3.0	0	0
47	2.6	3.0	0	0
48	2.9	3.0	0	0
49	3.2	3.0	0	0
50	3.5	3.0	0	0
51	3.8	3.0	0	0
52	3.9	3.0	0	0
53	4.2	3.0	0	0
54	4.5	3.0	0	0
55	4.8	3.0	0	0
56	5.3	3.0	0	0

# Elem.		Incidencias			# Mat.	# Layer
1	1	2	21	20	5	1
2	2	3	22	21	5	1
3	3	4	23	22	5	1
4	4	5	24	23	5	1
5	5	6	25	24	5	1
6	6	7	26	25	5	1
7	7	8	27	26	5	1
8	8	9	28	27	5	1
9	9	10	29	28	5	1
10	10	11	30	29	5	1
11	11	12	31	30	5	1
12	12	13	32	31	5	1
13	13	14	33	32	5	1
14	14	15	34	33	5	1
15	15	16	35	34	5	1
16	16	17	36	35	5	1
17	17	18	37	36	5	1
18	18	19	38	37	5	1
19	20	21	40	39	5	1
20	21	22	41	40	5	1
21	22	23	42	41	5	1
22	23	24	43	42	5	1
23	24	25	44	43	5	1
24	25	26	45	44	5	1
25	26	27	46	45	5	1
26	27	28	47	46	5	1
27	28	29	48	47	5	1
28	29	30	49	48	5	1
29	30	31	50	49	5	1
30	31	32	51	50	5	1
31	32	33	52	51	5	1
32	33	34	53	52	5	1
33	34	35	54	53	5	1
34	35	36	55	54	5	1
35	36	37	56	55	5	1
36	37	38	57	56	5	1
37	39	40	59	58	4	1
38	40	41	60	59	4	1
39	41	42	61	60	4	1
40	42	43	62	61	4	1
41	43	44	63	62	4	1
42	44	45	64	63	4	1
43	45	46	65	64	4	1
44	46	47	66	65	4	1
45	47	48	67	66	4	1
46	48	49	68	67	4	1
47	49	50	69	68	4	1
48	50	51	70	69	4	1
49	51	52	71	70	4	1
50	52	53	72	71	4	1
51	53	54	73	72	4	1
52	54	55	74	73	4	1
53	55	56	75	74	4	1
54	56	57	76	75	4	1

Carga	Nodo	Posicion	Lugar	Magnitud
1	157	2	1	-1.125
2	158	2	1	-1.125
3	159	2	1	-1.125
4	160	2	1	-1.125
5	164	2	1	-1.125
6	165	2	1	-1.125
7	166	2	1	-1.125
8	167	2	1	-1.125

Tipo de elemento 6
 Numero total de elementos 144
 Numero de puntos nodales en cada elemento 4
 Numero de grados de libertad 2
 Numero de grupos de materiales 5
 Numero de propiedades de materiales 9
 Numero de componentes de esfuerzo 3

DATOS DE LOS ELEMENTOS SOLIDOS

Grupo # 1 de materiales

propiedad # 1 = 350000
 propiedad # 2 = 0.35
 propiedad # 3 = 2.1
 propiedad # 4 = 33980.6
 propiedad # 5 = 0
 propiedad # 6 = 0.61
 propiedad # 7 = 10.3
 propiedad # 8 = 1
 propiedad # 9 = 0

Grupo # 2 de materiales

propiedad # 1 = 700000
 propiedad # 2 = 0.35
 propiedad # 3 = 1.8
 propiedad # 4 = 67961.2
 propiedad # 5 = 0
 propiedad # 6 = 0.61
 propiedad # 7 = 10.3
 propiedad # 8 = 1
 propiedad # 9 = 0

Grupo # 3 de materiales

propiedad # 1 = 20000
 propiedad # 2 = 0.4
 propiedad # 3 = 1.8
 propiedad # 4 = 1941.7
 propiedad # 5 = 0
 propiedad # 6 = 0.61
 propiedad # 7 = 10.3
 propiedad # 8 = 1
 propiedad # 9 = 0

Grupo # 4 de materiales

propiedad # 1 = 10000
 propiedad # 2 = 0.4
 propiedad # 3 = 1.8
 propiedad # 4 = 960.9
 propiedad # 5 = 0
 propiedad # 6 = 0.61
 propiedad # 7 = 10.3
 propiedad # 8 = 1
 propiedad # 9 = 0

Grupo # 5 de materiales

propiedad # 1 = 8000
 propiedad # 2 = 0.45
 propiedad # 3 = 1.8
 propiedad # 4 = 776.7
 propiedad # 5 = 0
 propiedad # 6 = 0.61
 propiedad # 7 = 10.3
 propiedad # 8 = 1
 propiedad # 9 = 0

1	0.00E+00	0.00E+00	56	2.98E-05	-3.86E-04	111	2.58E-05	-5.42E-04
2	-1.59E-05	0.00E+00	57	0.00E+00	-3.61E-04	112	2.13E-05	-4.74E-04
3	-2.69E-05	0.00E+00	58	0.00E+00	-3.65E-04	113	1.19E-05	-3.95E-04
4	-2.99E-05	0.00E+00	59	-2.61E-05	-3.91E-04	114	0.00E+00	-3.67E-04
5	-3.00E-05	0.00E+00	60	-4.55E-05	-4.64E-04	115	0.00E+00	-3.67E-04
6	-2.72E-05	0.00E+00	61	-5.05E-05	-5.25E-04	116	-9.54E-07	-3.95E-04
7	-2.57E-05	0.00E+00	62	-4.72E-05	-5.88E-04	117	-1.86E-06	-4.74E-04
8	-1.91E-05	0.00E+00	63	-3.56E-05	-6.38E-04	118	-2.40E-06	-5.42E-04
9	-1.02E-05	0.00E+00	64	-3.05E-05	-6.50E-04	119	-2.28E-06	-6.16E-04
10	-3.15E-08	0.00E+00	65	-1.64E-05	-6.71E-04	120	-1.11E-06	-6.74E-04
11	1.02E-05	0.00E+00	66	-6.31E-06	-6.76E-04	121	-6.61E-07	-6.86E-04
12	1.91E-05	0.00E+00	67	-5.46E-10	-6.77E-04	122	4.65E-07	-7.03E-04
13	2.56E-05	0.00E+00	68	6.31E-06	-6.76E-04	123	5.53E-07	-7.01E-04
14	2.72E-05	0.00E+00	69	1.64E-05	-6.71E-04	124	2.90E-09	-6.99E-04
15	3.00E-05	0.00E+00	70	3.05E-05	-6.50E-04	125	-5.48E-07	-7.01E-04
16	2.99E-05	0.00E+00	71	3.56E-05	-6.38E-04	126	-4.61E-07	-7.03E-04
17	2.69E-05	0.00E+00	72	4.72E-05	-5.88E-04	127	6.63E-07	-6.86E-04
18	1.59E-05	0.00E+00	73	5.05E-05	-6.26E-04	128	1.11E-06	-6.74E-04
19	0.00E+00	0.00E+00	74	4.55E-05	-4.64E-04	129	2.28E-06	-6.16E-04
20	0.00E+00	-2.67E-04	75	2.61E-05	-3.91E-04	130	2.40E-06	-5.42E-04
21	-2.36E-05	-2.76E-04	76	0.00E+00	-3.65E-04	131	1.87E-08	-4.74E-04
22	-3.99E-05	-3.03E-04	77	0.00E+00	-3.67E-04	132	9.58E-07	-3.95E-04
23	-4.39E-05	-3.22E-04	78	-2.18E-05	-3.95E-04	133	0.00E+00	-3.67E-04
24	-4.29E-05	-3.42E-04	79	-3.89E-05	-4.72E-04	134	0.00E+00	-3.67E-04
25	-3.71E-05	-3.60E-04	80	-4.44E-05	-5.37E-04	135	9.92E-06	-3.95E-04
26	-3.43E-05	-3.65E-04	81	-4.13E-05	-6.05E-04	136	1.77E-05	-4.74E-04
27	-2.41E-05	-3.79E-04	82	-2.87E-05	-6.58E-04	137	2.08E-05	-5.42E-04
28	-1.24E-05	-3.88E-04	83	-2.32E-05	-6.71E-04	138	1.94E-05	-6.16E-04
29	-2.62E-08	-3.91E-04	84	-9.23E-06	-6.90E-04	139	1.32E-05	-6.73E-04
30	1.23E-05	-3.88E-04	85	-1.89E-06	-6.93E-04	140	9.90E-06	-6.86E-04
31	2.41E-05	-3.79E-04	86	5.24E-09	-6.92E-04	141	3.22E-06	-7.03E-04
32	3.42E-05	-3.65E-04	87	1.90E-06	-6.92E-04	142	1.36E-07	-7.01E-04
33	3.70E-05	-3.60E-04	88	9.21E-06	-6.90E-04	143	-1.12E-09	-6.99E-04
34	4.28E-05	-3.42E-04	89	2.32E-05	-6.71E-04	144	-1.33E-07	-7.01E-04
35	4.39E-05	-3.22E-04	90	2.87E-05	-6.58E-04	145	-3.21E-06	-7.03E-04
36	3.99E-05	-3.03E-04	91	4.13E-05	-6.05E-04	146	-9.89E-06	-6.86E-04
37	2.36E-05	-2.77E-04	92	4.44E-05	-5.37E-04	147	-1.32E-05	-6.73E-04
38	0.00E+00	-2.67E-04	93	3.89E-05	-4.72E-04	148	-1.93E-05	-6.16E-04
39	0.00E+00	-3.61E-04	94	2.18E-05	-3.95E-04	149	-2.08E-05	-5.42E-04
40	-2.98E-05	-3.86E-04	95	0.00E+00	-3.67E-04	150	-1.77E-05	-4.74E-04
41	-5.05E-05	-4.56E-04	96	0.00E+00	-3.67E-04	151	-9.93E-06	-3.95E-04
42	-5.51E-05	-5.13E-04	97	-1.19E-05	-3.95E-04	152	0.00E+00	-3.67E-04
43	-5.18E-05	-5.71E-04	98	-2.13E-05	-4.74E-04	153	0.00E+00	-3.68E-04
44	-4.17E-05	-6.18E-04	99	-2.58E-05	-5.42E-04	154	1.54E-05	-3.96E-04
45	-3.73E-05	-6.29E-04	100	-2.39E-05	-6.15E-04	155	2.74E-05	-4.75E-04
46	-2.36E-05	-6.51E-04	101	-1.57E-05	-6.72E-04	156	3.28E-05	-5.42E-04
47	-1.10E-05	-6.58E-04	102	-1.09E-05	-6.85E-04	157	3.04E-05	-6.16E-04
48	-6.71E-09	-6.59E-04	103	-2.23E-06	-7.02E-04	158	2.08E-05	-6.73E-04
49	1.10E-05	-6.58E-04	104	1.09E-06	-7.01E-04	159	1.48E-05	-6.86E-04
50	2.36E-05	-6.51E-04	105	7.16E-09	-6.99E-04	160	4.43E-06	-7.03E-04
51	3.73E-05	-6.29E-04	106	-1.08E-06	-7.01E-04	161	-2.73E-07	-7.01E-04
52	4.17E-05	-6.18E-04	107	2.23E-06	-7.02E-04	162	-3.44E-09	-6.99E-04
53	5.17E-05	-5.71E-04	108	1.09E-05	-6.85E-04	163	2.75E-07	-7.01E-04
54	5.51E-05	-5.13E-04	109	1.57E-05	-6.72E-04	164	-4.42E-06	-7.03E-04
55	5.05E-05	-4.56E-04	110	2.39E-05	-6.15E-04	165	-1.48E-05	-6.86E-04
						166	-2.07E-05	-6.73E-04
						167	-3.04E-05	-6.16E-04
						168	-3.28E-05	-5.42E-04
						169	-2.74E-05	-4.75E-04
						170	-1.54E-05	-3.96E-04
						171	0.00E+00	-3.68E-04

Esfuerzo Acumulado de solidos en la capa 1

Elem.	X	Y	Sxx	Syy	Sxy	E	Elem.	X	Y	Sxx	Syy	Sxy	E
1	0.106	0.211	-5.526	-6.324	-0.010	10000	127	0.106	3.521	3.410	-2.007	-3.945	350000
1	0.106	0.789	-5.695	-6.462	-0.031	10000	127	0.106	3.579	10.093	1.591	-3.928	350000
1	0.394	0.211	-5.620	-6.438	-0.018	10000	127	0.394	3.521	3.634	-1.590	3.766	350000
1	0.394	0.789	-5.789	-6.576	-0.039	10000	127	0.394	3.579	10.317	2.008	3.785	350000
2	0.606	0.211	-5.417	-6.323	-0.035	10000	128	0.606	3.521	2.372	-2.050	-3.902	350000
2	0.606	0.789	-5.524	-6.410	-0.090	10000	128	0.606	3.579	8.000	0.981	-3.882	350000
2	0.894	0.211	-5.865	-6.625	-0.040	10000	128	0.894	3.521	2.603	-1.620	2.592	350000
2	0.894	0.789	-5.772	-6.713	-0.095	10000	128	0.894	3.579	8.232	1.411	2.612	350000
3	1.063	0.211	-5.415	-6.483	-0.045	10000	129	1.063	3.521	0.216	-2.219	-3.499	350000
3	1.063	0.789	-5.442	-6.505	-0.109	10000	129	1.063	3.579	5.997	0.894	-3.329	350000
3	1.237	0.211	-5.587	-6.693	-0.046	10000	129	1.237	3.521	1.408	-0.006	0.503	350000
3	1.237	0.789	-5.614	-6.715	-0.110	10000	129	1.237	3.579	7.188	3.107	0.673	350000
4	1.363	0.211	-5.379	-6.574	-0.047	10000	130	1.363	3.521	-2.286	-1.385	-2.532	350000
4	1.363	0.789	-5.345	-6.547	-0.112	10000	130	1.363	3.579	-4.375	-2.509	-2.521	350000
4	1.537	0.211	-5.555	-6.790	-0.046	10000	130	1.537	3.521	-2.214	-1.250	-3.978	350000
4	1.537	0.789	-5.522	-6.763	-0.111	10000	130	1.537	3.579	-4.303	-2.375	-3.968	350000
5	1.663	0.211	-5.348	-6.670	-0.044	10000	131	1.663	3.521	-5.680	-2.797	1.955	350000
5	1.663	0.789	-5.268	-6.606	-0.106	10000	131	1.663	3.579	-15.749	-8.219	2.039	350000
5	1.837	0.211	-5.515	-6.877	-0.041	10000	131	1.837	3.521	-5.090	-1.701	-5.016	350000
5	1.837	0.789	-5.437	-6.813	-0.104	10000	131	1.837	3.579	-15.159	-7.123	-4.931	350000
6	1.921	0.211	-5.380	-6.799	-0.039	10000	132	1.921	3.521	-6.021	-1.909	2.416	350000
6	1.921	0.789	-5.282	-6.719	-0.097	10000	132	1.921	3.579	-26.828	-13.113	2.423	350000
6	1.979	0.211	-5.432	-6.863	-0.038	10000	132	1.979	3.521	-6.003	-1.876	-2.386	350000
6	1.979	0.789	-5.334	-6.783	-0.096	10000	132	1.979	3.579	-26.810	-13.080	-2.378	350000
7	2.063	0.211	-5.314	-6.795	-0.034	10000	133	2.063	3.521	-5.394	-1.800	4.931	350000
7	2.063	0.789	-5.205	-6.706	-0.086	10000	133	2.063	3.579	-15.249	-7.106	4.854	350000
7	2.237	0.211	-5.454	-6.965	-0.031	10000	133	2.237	3.521	-5.934	-2.804	-1.892	350000
7	2.237	0.789	-5.345	-6.876	-0.083	10000	133	2.237	3.579	-15.789	-8.110	-1.969	350000
8	2.363	0.211	-5.309	-6.881	-0.023	10000	134	2.363	3.521	-3.191	-1.493	3.700	350000
8	2.363	0.789	-5.192	-6.786	-0.058	10000	134	2.363	3.579	-5.099	-2.520	3.728	350000
8	2.537	0.211	-5.404	-6.998	-0.020	10000	134	2.537	3.521	-2.995	-1.129	2.379	350000
8	2.537	0.789	-5.288	-6.903	-0.055	10000	134	2.537	3.579	-4.903	-2.157	2.407	350000
9	2.663	0.211	-5.324	-6.951	-0.009	10000	135	2.663	3.521	-0.594	-0.184	-0.893	350000
9	2.663	0.789	-5.206	-6.855	-0.022	10000	135	2.663	3.579	3.971	2.274	-1.024	350000
9	2.837	0.211	-5.358	-6.993	-0.006	10000	135	2.837	3.521	-1.511	-1.888	2.267	350000
9	2.837	0.789	-5.241	-6.897	-0.019	10000	135	2.837	3.579	3.053	0.570	2.136	350000
10	2.963	0.211	-5.358	-6.993	0.006	10000	136	2.963	3.521	-1.513	-1.888	-2.268	350000
10	2.963	0.789	-5.241	-6.897	0.018	10000	136	2.963	3.579	3.049	0.568	-2.137	350000
10	3.137	0.211	-5.324	-6.951	0.009	10000	136	3.137	3.521	-0.594	-0.183	0.890	350000
10	3.137	0.789	-5.206	-6.855	0.022	10000	136	3.137	3.579	3.967	2.273	1.021	350000
11	3.263	0.211	-5.404	-6.998	0.020	10000	137	3.263	3.521	-2.997	-1.128	-2.377	350000
11	3.263	0.789	-5.288	-6.903	0.055	10000	137	3.263	3.579	-4.910	-2.159	-2.405	350000
11	3.437	0.211	-5.309	-6.881	0.023	10000	137	3.437	3.521	-3.193	-1.492	-3.702	350000
11	3.437	0.789	-5.192	-6.786	0.058	10000	137	3.437	3.579	-5.106	-2.523	-3.730	350000
12	3.563	0.211	-5.454	-6.965	0.031	10000	138	3.563	3.521	-5.935	-2.803	1.894	350000
12	3.563	0.789	-5.345	-6.876	0.083	10000	138	3.563	3.579	-15.794	-8.111	1.971	350000
12	3.737	0.211	-5.314	-6.795	0.034	10000	138	3.737	3.521	-5.395	-1.799	-4.931	350000
12	3.737	0.789	-5.205	-6.706	0.086	10000	138	3.737	3.579	-15.253	-7.108	-4.854	350000
13	3.821	0.211	-5.432	-6.863	0.038	10000	139	3.821	3.521	-6.003	-1.875	2.387	350000
13	3.821	0.789	-5.334	-6.783	0.096	10000	139	3.821	3.579	-26.811	-13.079	2.379	350000
13	3.879	0.211	-5.380	-6.799	0.039	10000	139	3.879	3.521	-6.021	-1.909	-2.415	350000
13	3.879	0.789	-5.282	-6.719	0.097	10000	139	3.879	3.579	-26.830	-13.114	-2.423	350000
14	3.963	0.211	-5.515	-6.877	0.041	10000	140	3.963	3.521	-5.090	-1.701	5.016	350000
14	3.963	0.789	-5.437	-6.814	0.104	10000	140	3.963	3.579	-15.157	-7.122	4.931	350000
14	4.137	0.211	-5.346	-6.670	0.044	10000	140	4.137	3.521	-5.680	-2.798	-1.954	350000

Ciclos a la falla a tensión

$$N_{ft} = \left[\frac{0.00195085}{\epsilon_t} \right]^{5.25} \quad \text{Marchand}$$

$$\text{Log } N_{ft} = -9.38 - 4.16 \text{ Log } \epsilon_t \quad \text{Transport and road research laboratory}$$

$$N_{ft} = 1.13 \times 10^{-15} \left(\frac{1}{\epsilon_t} \right) \quad \text{Pell y Brown}$$

Ciclos a la falla a compresión

$$N_{fv} = \left[\frac{2.8}{\epsilon_v} \right]^{0.25} \quad \text{Compañía Shell}$$

$$N_{fv} = \left[\frac{0.021}{\epsilon_v} \right]^{0.24} \quad \text{Marchand}$$

$$\text{Log } N_{fv} = -7.21 - 3.95 \text{ Log } \epsilon_v \quad \text{Transport and road research laboratory}$$

$$N_{fv} = \left[\frac{105}{\epsilon_v} \right]^{0.223} \quad \text{Compañía Chevron}$$

$$N_{fv} = \left[\frac{2.16}{\epsilon_v} \right]^{0.28} \quad \text{Universidad de Nottingham}$$

$$n_i = \frac{365 E_o}{Ln(1+r)} \left[(1+r)^{\bar{a}} - 1 \right]$$

en donde:

E_o = número total de aplicaciones de carga del eje considerado, el primer día del período de análisis

r = tasa de crecimiento vehicular anual (decimales)

a = vida esperada (años)

$$\sum_{i=1}^e \left(\frac{n_i}{N_i} \right) = 1$$

en donde:

n_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que se tienen previstas durante la vida esperada.

N_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que puede resistir el pavimento. Se obtiene al aplicar las ecuaciones de fatiga

e = número total de tipos de ejes considerados

$$\frac{365}{\text{Ln}(1.03)} [1.03^a - 1] \sum_{i=1}^e \frac{E_{oi}}{N_i} = 1$$

en donde:

E_{oi} = número total de aplicaciones de carga del eje i , el primer día del período de análisis (el subíndice "i" corresponde a la sumatoria).



CARRETERA: Puebla-Huajuapán de León
 TRAMO: Atlixco-Acahón de Osorio
 SUBTRAMO: del km 60 al km 100

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (RESULTADOS)

CASO LADO	ZONA	SUBTRAMO		ESPESOR DE CAPA (mm)	CARGA (t)	DEFORMACION UNITARIA		ESFUERZO DE TENSIÓN EN CAPA RIGIDIZADA (σ_1) kg/cm ²	CICLOS A LA FALLA (N _f)			
		km	a km			COMPRESION 1x10 ⁻⁴ (mm/mm)	TENSION 1x10 ⁻⁴ (mm/mm)		POR COMPRESION 1 x 10 ⁶	POR TENSION 1 x 10 ⁶	POR ESFUERZO DE TENSIÓN 1 x 10 ⁶	
1	A	60.0	68.0	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	10	6.5	4.89	0.73	-	6.39	114.00	-
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	11.0	5.89	1.25	-	3.38	7.48	-
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	15	18.0	5.13	0.87	-	5.20	46.70	-
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	19.5	5.34	1.12	-	4.42	13.30	-
2	B	68.0	73.8	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	10	6.5	4.42	0.81	-	9.68	37.70	-
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	11.0	4.96	1.58	-	6.01	2.35	-
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	15	18.0	4.62	1.29	-	8.10	6.35	-
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	19.5	4.82	1.40	-	6.76	4.25	-
3	C	73.6	79.4	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	14	6.5	4.80	1.07	-	6.89	16.80	-
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	23	11.0	5.59	1.84	-	3.63	1.08	-
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	18.0	5.01	1.51	-	5.74	2.90	-
						19.5	5.09	1.84	-	5.37	1.85	-
4	D	79.4	89.4	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	13	6.5	4.47	0.87	-	9.22	47.20	-
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	18	11.0	5.23	1.63	-	4.79	1.97	-
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	18.0	4.67	1.34	-	7.73	5.35	-
						19.5	4.90	1.45	-	6.33	3.50	-
5	E	89.4	96.8	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	16	6.5	5.28	1.01	-	4.68	22.40	-
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	14	11.0	6.08	1.73	-	2.55	1.50	-
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	18.0	5.49	1.41	-	3.83	4.19	-
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	19.5	5.70	1.53	-	3.36	2.78	-

Tabla 1.6



CARRETERA: Puebla-Huajuapán de León
 TRAMO: Atlixco-Acatlán de Osorio
 SUBTRAMO: del km 60 al km 100

**ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (VIDA ESPERADA)**

CASO SIMULADO	ZONA	SUBTRAMO		ESPESOR DE CAPA		VIDA ESPERADA (AÑOS)
		km	a km	(cm)		
1	A	60.0	68.0	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	10	2.8
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	15	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	
2	B	68.0	70.0	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	10	2.9
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	15	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	
2	B	70.0	73.6	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	10	3.0
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	15	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	
3	C	73.6	79.4	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	14	3.5
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	23	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	
4	D	79.4	89.4	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	13	5.8
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	18	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	
5	E	89.4	95.8	CARPETA ASFALTICA (EXISTENTE)	16	4.3
				BASE GRANULAR (EXISTENTE)	14	
				SUB-BASE GRANULAR (EXISTENTE)	16	
				CAPAS INFERIORES (EXISTENTES)	300	

NOTAS:

a) La distribución vehicular considerada es: A = 68 %, B = 10 % y C = 22 % para un TDPA = 7954 (del km 60 al km 70)

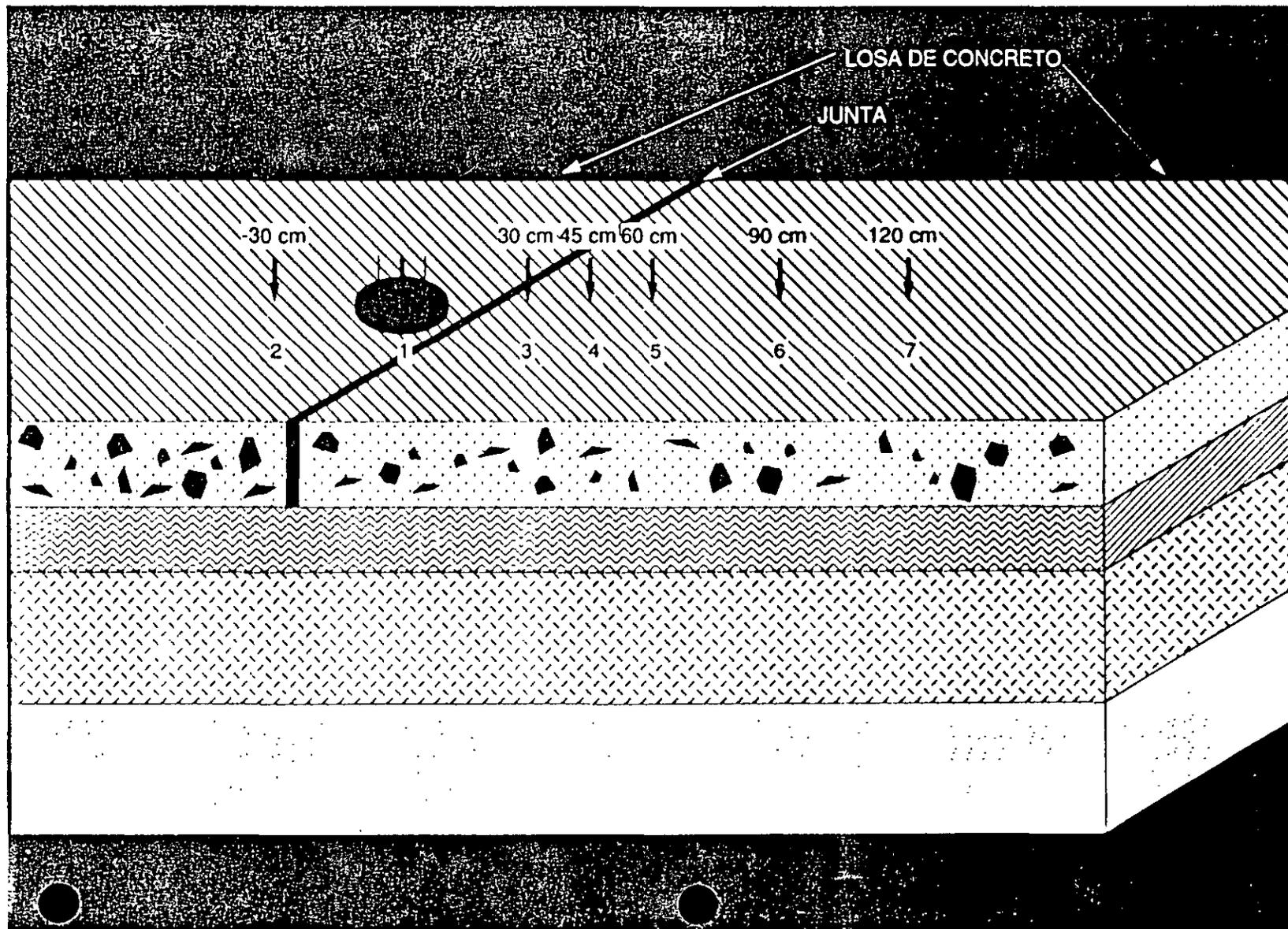
b) y A = 74 %, B = 8 % y C = 18 % para un TDPA = 4140 (del km 70 al km 100)

b). Las cargas consideradas son de 6.5 y 11 t para eje sencillo y de 18 y 19.5 t para eje "tandem"

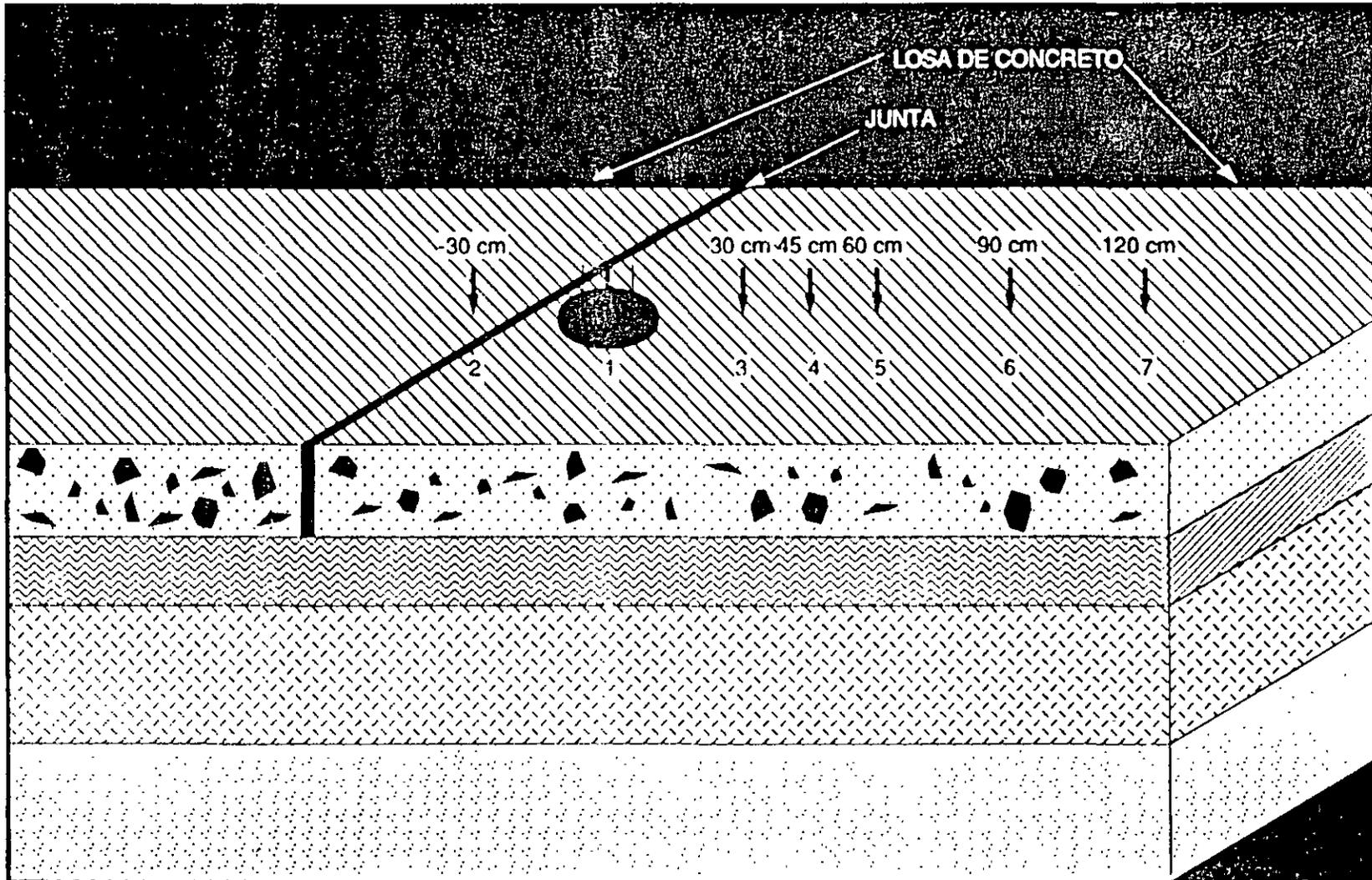
c) La tasa de crecimiento vehicular considerada es 4 % anual

Tabla 1.10

CONFIGURACION PARA TRANSFERENCIA DE CARGA



CONFIGURACION PARA TRANSFERENCIA DE CARGA



AVENIDA VICENTE VALTIERRA

LOSA	DIST. (m)	IMPACTO	CARGA (kg)	DESPLAZAMIENTO VERTICAL (Micras)							TEMPERATURA (°C)		HORA	TRANSFERENCIA DE CARGA	DIFERENCIA (S2-S3)
				S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	AIRE	PAV.			
FRANCISCO VILLA															
1	3	1	6119	377	324	323	289	256	207	164	19	20	2:21:18		1
	5	1	6047	833	802	601	491	385	242	156	19	20	2:23:59	0.749	
	5	1	6092	778	581	785	668	537	344	204	18	20	2:25:01	0.740	
2	34	1	6168	352	326	295	256	226	178	134	19	20	2:28:24		31
	35	1	6114	830	748	617	516	414	265	159	19	20	2:27:23	0.825	
	36	1	6127	789	540	594	527	443	315	202	19	20	2:28:17	0.909	
3	84	1	6117	345	299	281	244	207	159	121	19	20	2:29:45		18
	85	1	6106	574	558	426	353	288	193	132	19	20	2:32:16	0.763	
	86	1	6155	583	443	536	453	375	250	160	19	21	2:33:17	0.826	
4	191	1	6163	444	370	360	304	257	190	140	19	20	2:34:50		10
	193	1	6145	764	714	558	457	357	224	143	19	20	2:35:51	0.779	
	193	1	6129	771	575	696	574	457	288	171	19	20	2:36:44	0.826	
5	263	1	6129	272	254	250	231	212	182	152	19	20	2:38:22		4
	265	1	6091	419	394	339	302	266	211	163	19	19	2:39:18	0.860	
	265	1	6102	410	342	385	341	302	236	183	19	19	2:40:09	0.888	
6	315	1	6091	275	251	246	224	204	171	139	19	19	2:41:11		5
	316	1	6085	386	360	307	270	237	185	141	19	20	2:42:15	0.853	
	317	1	6108	387	314	352	307	262	200	149	19	19	2:43:10	0.892	
7	409	1	6144	207	192	186	170	157	132	107	19	20	2:44:40		6
	412	1	6114	278	260	229	203	180	145	112	19	19	2:45:33	0.881	
	413	1	6088	326	261	249	217	191	151	114	19	21	2:46:24	1.048	
8	499	1	6128	307	283	278	255	231	188	148	19	20	2:47:51		5
	501	1	6068	465	449	385	343	299	233	175	18	21	2:48:55	0.857	
	502	1	6060	406	331	430	385	334	258	190	19	20	2:51:42	0.770	
9	656	1	6132	260	238	236	219	205	177	149	18	21	2:54:19		2
	658	1	6129	462	458	369	321	275	208	152	18	21	2:55:20	0.806	
	659	1	6034	485	382	452	397	340	253	182	18	21	2:58:15	0.845	
10	811	1	6132	260	235	237	223	212	190		20	19	2:57:59		-2
	813	1	6095	447	315	343	296	254	188		19	19	2:59:42	1.089	
	813	1	6089	457	354	332	287	246	182	132	18	19	3:00:40	1.066	
SAN SERGIO															

29

CONCLUSIONES

- Mayor representatividad de las condiciones reales



- Reducción en la probabilidad de errores



- Datos in situ

- Prueba no destructiva



- Mayor rapidez

- Económico





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

**OTROS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN
MÉXICO**

**ING. VÍCTOR TORRES VERDIN
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

DIPLOMADO EN PROYECTO,
CONSTRUCCION Y CONSERVACION
DE CARRETERAS

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.

OTROS SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS EN MEXICO

ING. VICTOR TORRES VERDIN

MODULO III
CONSERVACION Y OPERACION

JUNIO, 1998.

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

MÓDULO III, CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

**TEMA:
"OTROS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN
DE PAVIMENTOS EN MÉXICO"**

PROFESOR:

DR. VÍCTOR TORRES VERDÍN

México, D.F., a 19 de junio de 1998.

Nota: este documento corresponde a la ponencia denominada: "Los Sistemas de Administración de Pavimentos como Herramienta Básica de Planeación, Programación y Ejecución de Obras", la cual fue presentada en el Segundo Encuentro de Ciudades en Vialidad y Transporte Urbano, organizado por la SEDESOL y el Gobierno del Edo. de Puebla en el mes de septiembre de 1997.

ÍNDICE

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN	1
I.1. ANTECEDENTES	1
I.2. CONCEPTOS GENERALES DE UN SAP.....	1
I.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SAP SEDESOL.....	2
II. ESTABLECIMIENTO DE LAS UNIDADES BÁSICAS DE ANÁLISIS DEL SAP SEDESOL.....	4
III. INSPECCIÓN VISUAL DEL DETERIORO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS	7
III.1. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS.....	8
III.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO	9
IV. CALIFICACIÓN DE SERVICIO DE LOS PAVIMENTOS	10
V. DATOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO	12
VI. DATOS ADICIONALES DEL INVENTARIO DEL PAVIMENTO Y DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA	13
VI.1. INSPECCIÓN VISUAL DEL SEÑALAMIENTO VIAL.....	13
VI.2. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS SEMÁFOROS	14
VI.3. INSPECCIÓN VISUAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO	16
VI.4. DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA	16
VII. DATOS DE LOS SONDEOS Y PRINCIPALES RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO Y EN EL LUGAR.....	17
VIII. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS EN SERVICIO	19
IX. EVALUACIÓN INTEGRAL DEL ESQUEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO VIAL	20
X. ANÁLISIS DE PLANEACIÓN A NIVEL DE RED VIAL DEL SAP SEDESOL.....	20
XI. PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA ANÁLISIS DEL SAP SEDESOL.....	22
XII. MEDIDAS DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL.....	24
XIII. PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA IMPLANTACIÓN INICIAL DEL SAP SEDESOL.....	24
XIV. CONCLUSIONES	25
XV. REFERENCIAS.....	26

“OTROS SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN MÉXICO”

I. INTRODUCCIÓN

Para efectos de los estudios dirigidos por la Secretaría de Desarrollo Social (la SEDESOL) se utilizan de manera intercambiable los términos “sistema de administración de pavimentos” (SAP) y “sistema de administración del mantenimiento vial”, puesto que se apoyan en los mismos principios. En ambos casos, el principal objetivo de estos sistemas, denominados “SAP SEDESOL”, es el de garantizar una mejor aplicación de los recursos disponibles en los ayuntamientos en obras de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos, así como en el mantenimiento del señalamiento vial, los semáforos y el alumbrado público.

Es conveniente poner énfasis en que en el SAP SEDESOL, se le ha dado una acepción muy amplia al término “mantenimiento vial”, para que incluya todas las actividades relacionadas con la construcción de pavimentos nuevos, así como el mantenimiento rutinario, la rehabilitación y la reconstrucción de los pavimentos existentes; asimismo, se han considerado elementos complementarios de la infraestructura vial, tales como las banquetas, las guarniciones, el drenaje pluvial, los señalamientos horizontal y vertical, los semáforos y el alumbrado público.

I.1. ANTECEDENTES

En los años de 1995 y 1996, la SEDESOL implantó los Sistemas de Administración del Mantenimiento Vial de las ciudades de Saltillo y Torreón, Coah., respectivamente. Actualmente, la SEDESOL aplica este tipo de sistema en las ciudades de Campeche, Camp., y San Luis Potosí, S.L.P. En el año de 1994, el H. Ayuntamiento de León, Gto., desarrolló por iniciativa propia el primer sistema de administración de pavimentos utilizado en la República Mexicana para una red vial urbana. Es conveniente indicar que todos estos estudios han estado a cargo de la empresa TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V., con sede en la Ciudad de México (Refs. 1-5).

I.2. CONCEPTOS GENERALES DE UN SAP

En una red vial dada, un SAP tiene como objetivo principal la coordinación eficiente de todas las actividades relacionadas con la planeación, el proyecto, la construcción, el mantenimiento, la rehabilitación, la reconstrucción, la evaluación y la investigación de pavimentos. En la Fig. 1 se indican esquemáticamente las principales actividades de un SAP.

La implantación de un SAP permite optimizar los recursos disponibles en los organismos municipales a cargo del manejo de los pavimentos de una red vial. Desde el punto de vista del usuario, un SAP tiene como fin primordial garantizar la circulación de los vehículos en forma segura, económica y cómoda.

En el ámbito internacional, los sistemas de administración de pavimentos son considerados como la herramienta más eficiente para la administración y la programación del mantenimiento vial. Estos sistemas son utilizados por las dependencias a cargo de la construcción, de la operación y del mantenimiento de redes de carreteras o de vialidad urbana.

En un SAP normalmente se distinguen dos niveles: red y tramo. En el nivel de red generalmente se efectúan todas las actividades de programación, planeación y distribución del presupuesto, las cuales están a cargo del personal directivo responsable de la administración. Con base en los datos existentes de todos los tramos de la red vial, se define la mejor estrategia de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, asignando prioridades entre ellos y teniendo como restricción el presupuesto total disponible. Una vez seleccionado un tramo, en éste se efectúan actividades detalladas de evaluación y proyecto, antes de llevar a cabo la medida requerida para mejorar el estado del pavimento. Mediante ciclos de retroalimentación se establece un enlace dinámico entre los dos niveles de un SAP, tal como se ilustra en la Fig. 2.

I.3. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DEL SAP SEDESOL

Como parte central de este sistema, se crea un banco de datos para la red vial de cada ciudad y se utiliza un programa de cómputo desarrollado específicamente para el manejo de esta información y para la realización de los diversos análisis requeridos.

El SAP SEDESOL normalmente se complementa con una serie de medidas de fortalecimiento institucional, las cuales son identificadas como resultado de la evaluación integral del esquema de mantenimiento vial utilizado por los ayuntamientos. De esta manera, el SAP SEDESOL no es la única medida propuesta para mejorar las operaciones de mantenimiento vial a cargo de los ayuntamientos ni funcionaría adecuadamente sin la aplicación de otras acciones complementarias.

El SAP SEDESOL es básicamente un conjunto de procedimientos de que disponen las autoridades municipales para planear y organizar todas las actividades de mantenimiento vial. Como punto de partida para la implantación inicial del SAP SEDESOL se utilizan los siguientes elementos: evaluación de las actividades de mantenimiento vial realizadas por los ayuntamientos; características y estado de la red vial existente; perspectivas de crecimiento de los trabajos relacionados con el mantenimiento vial en los años futuros.

Para la realización de cualquier tipo de análisis es necesario crear previamente un banco de datos con la información básica estipulada para el SAP SEDESOL. Los

datos sobre los principales elementos de la infraestructura vial son recopilados directamente por el consultor, a cargo de la implantación inicial de este sistema en una parte de la red vial de la Ciudad. Una vez concluido el estudio respectivo, las autoridades municipales continúan recopilando información del resto de la red vial y se hacen cargo de la operación permanente del SAP SEDESOL.

Los análisis del SAP SEDESOL son efectuados con un paquete de cómputo proporcionado por la SEDESOL. Esta herramienta integra un sistema de información geográfica, con el que se logra una gran versatilidad en la representación gráfica de la principal información almacenada en el banco de datos o de los resultados más importantes generados en los análisis del SAP SEDESOL.

Los grupos de actividades más importantes de que consta la implantación inicial del SAP SEDESOL, por orden cronológico, son los siguientes:

1. Recopilación de la información existente sobre mantenimiento vial en diversas dependencias municipales.
2. Inventario de las principales características de la infraestructura vial. Como parte de los trabajos de campo, se obtiene información sobre la geometría y otros aspectos de los tramos viales, entre la que se encuentra la siguiente: longitud, anchura de la sección transversal, número de carriles y tipo de pavimento.
3. Recopilación de datos básicos sobre el estado de la infraestructura vial. En el caso del SAP SEDESOL, la principal información recopilada, a nivel de red vial es la siguiente: inspección visual del deterioro superficial del pavimento; calificación de servicio actual o irregularidad superficial del pavimento; inspección visual de las banquetas; inspección visual de las guarniciones; inspección visual del drenaje superficial; inspección visual del señalamiento vial; inspección visual de los semáforos; inspección visual del alumbrado público.
4. Aforos vehiculares en estaciones maestras. Con el fin de obtener información básica de volúmenes de tránsito a lo largo de la red vial evaluada en los estudios, se realizan recuentos vehiculares en estaciones maestras.
5. Evaluación estructural destructiva del pavimento en tramos selectos. Se efectúan sondeos en sitios estratégicos de la red vial, para establecer la variación de la estructura del pavimento y las características de los materiales empleados.
6. Análisis diversos para la planeación, la programación y la distribución de recursos para el mantenimiento rutinario, la rehabilitación y la reconstrucción de los pavimentos existentes, así como para la construcción de pavimentos en nuevos enlaces de la red vial o en enlaces cuya sección transversal vaya a ser ampliada.

7. Implantación inicial del SAP SEDESOL. Con base en toda la información recopilada por el Consultor, se realiza la primera etapa de aplicación del SAP SEDESOL, la cual finaliza con la transferencia del mismo a los ayuntamientos.
8. Propuesta definitiva de medidas complementarias de fortalecimiento institucional. Para la implantación del SAP SEDESOL también se proponen este tipo de medidas, encaminadas a lograr una operación más eficiente de la dependencia municipal a cargo del mantenimiento vial.

En la Fig. 3 se ilustran las principales actividades de que consta la implantación inicial del SAP SEDESOL en una ciudad media de la República Mexicana. Para garantizar la transferencia del SAP SEDESOL a las autoridades municipales a cargo del mantenimiento vial, normalmente la SEDESOL efectúa una donación de equipo y programas de cómputo. Esta donación se canaliza a la dependencia municipal que se hará cargo de continuar con la implantación del SAP SEDESOL en el resto de la red vial no incluida en el estudio respectivo.

II. ESTABLECIMIENTO DE LAS UNIDADES BÁSICAS DE ANÁLISIS DEL SAP SEDESOL

En el SAP SEDESOL, a cada unidad básica le corresponde un número único, el cual es fijado por el programa de cómputo desarrollado para el Estudio, a partir de la información almacenada por el usuario; dicho número de identificación sirve de enlace entre los diferentes bancos de datos numéricos que son creados y el sistema de información geográfica:

El tramo-cuerpo es la unidad más pequeña desde el punto de vista de recolección de datos, análisis y representación gráfica del SAP SEDESOL. En esencia, un tramo-cuerpo es un tramo vial homogéneo, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Por intersección de dos o más tramos viales. Este criterio de geometría de la red vial corresponde al caso en que se interrumpe la continuidad de un tramo en la intersección con otro; en tal caso, es necesario decidir, de acuerdo con los demás criterios de homogeneidad, cuál tramo-cuerpo se prolongará a través de la intersección, definiendo conjuntamente de esta manera los límites de los demás tramos-cuerpo que confluyan en un cruce dado.
- Clasificación funcional del tramo; por ejemplo, primario, secundario y local. Esta clasificación es importante desde el punto de vista de los volúmenes de tránsito que se presentarán en el tramo-cuerpo, los cuales son un dato básico para la evaluación económica del SAP SEDESOL.
- Tipo de pavimento. Al variar el tipo de pavimento también cambian los datos recopilados y los métodos de análisis, entre otros aspectos.

- Deterioro superficial. Mediante una observación rápida, se pueden establecer los límites de los tramos-cuerpo a partir del deterioro superficial existente en el pavimento, de tal manera que se mantenga poca variación en los principales defectos visibles en un tramo-cuerpo dado.
- Estructura del pavimento. Aun cuando se mantenga el mismo tipo de pavimento, si cambia su estructura se presentará un comportamiento diferente. Es conveniente aclarar que a menudo no se dispone de la información sobre la estructura del pavimento, por lo que normalmente se requieren sondeos para determinar las capas que conforman al pavimento.
- Anchura de la sección transversal. Cuando se presenten variaciones importantes en la sección transversal se deberán considerar dos o más tramos-cuerpo, a pesar de que las demás características se mantengan uniformes. Este aspecto es muy importante en el análisis de costos del SAP SEDESOL, ya que normalmente se supone una anchura constante de la sección transversal en un tramo-cuerpo dado.
- Separación longitudinal. En aquellos casos en que en un tramo vial exista una franja separadora central o una clara división de los carriles de circulación, se deberán considerar dos o más tramos-cuerpo, separados longitudinalmente. Esta separación también se requiere en el caso de los carriles exclusivos de autobuses, en los que el pavimento de estos carriles es sometido únicamente a cargas vehiculares elevadas, en comparación con los carriles para el tránsito normal, en los que la mayor parte de los vehículos son automóviles.
- Longitud. Después de una evaluación detallada de los aspectos prácticos de la recopilación de información y de los análisis requeridos, se decidieron establecer como longitudes máxima y mínima de los tramos-cuerpo 500 y 50 m, respectivamente. Sin embargo, solamente en casos especiales, se puede utilizar una longitud efectiva del tramo-cuerpo menor de 50 m; por ejemplo, zonas centrales de intersecciones en las que se utiliza el concreto hidráulico para evitar problemas de erosión ocasionados por el encauzamiento del agua de lluvia cuando el drenaje pluvial se realiza por superficie.

Es importante hacer hincapié en que en un tramo vial dado pueden existir varios tramos-cuerpo separados longitudinal y/o transversalmente, dependiendo de las características del pavimento.

A través del sistema de información geográfica que está integrado al programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL, se pueden obtener diversas representaciones gráficas de datos almacenados y de resultados, según lo solicite el usuario. Al respecto, los tramos-cuerpo son identificados por medio de los objetos denominados "polilíneas", a los cuales se les pueden asignar diversas propiedades, tales como grosor y color.

Dependiendo de la longitud de los tramos-cuerpo con todo o parte de su eje longitudinal en forma curva, es posible emplear una "polilínea" compuesta por varias líneas rectas de pequeña longitud o una "polilínea" con uno o más segmentos de arco circular o una combinación de los dos casos anteriores; de esta manera, se puede lograr una representación más precisa de este tipo de tramos-cuerpo. Sin embargo, se aclara que la representación utilizada es puramente esquemática y es adecuada para los fines del SAP SEDESOL. En la Fig. 4 se presenta un ejemplo hipotético de la representación gráfica de los tramos-cuerpo a partir de la cartografía digital de una zona urbana.

El sistema de referencias de los tramos-cuerpo del SAP SEDESOL es bastante flexible y permite abarcar todos los casos que se presentan en una red vial urbana. En general y de acuerdo con las formas utilizadas para la recopilación de información de campo, los datos requeridos para establecer las referencias de un tramo-cuerpo son los siguientes:

- "Calle, avenida o boulevard". Este dato corresponde al nombre de la calle principal en que se encuentra alojado longitudinalmente el tramo-cuerpo. La nomenclatura que puede ser utilizada es la almacenada previamente en el catálogo de nombres de calles del SAP SEDESOL. Con el fin de uniformar los nombres de las calles, de acuerdo con la nomenclatura correcta u oficial del ayuntamiento, se debe dar de alta en el catálogo de nomenclatura cualquier nombre nuevo de calle, habiendo verificado previamente que éste no exista con otra denominación similar o que se utilice un nombre incorrecto. El catálogo de nomenclatura de calles puede ser consultado y/o modificado a través del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL, con lo que se facilita significativamente su utilización.
- "Tramo inicia en". En este caso, se emplea el nombre de la calle perpendicular en donde inicia el tramo-cuerpo. El inicio es arbitrario, pero normalmente corresponde al sentido del recorrido de la inspección del pavimento. El nombre de la calle perpendicular donde inicia el tramo-cuerpo también debe ser obtenido del catálogo de nomenclatura de calles.
- "Tramo termina en". Este dato se refiere al nombre de la calle en donde termina el tramo-cuerpo, el cual debe aparecer en el catálogo de nomenclatura de calles.
- "A o D". Dado que normalmente se deben incorporar las intersecciones a un tramo-cuerpo, es necesario indicar si un tramo-cuerpo inicia o termina antes o después de la calle perpendicular de referencia. De esta manera, la clave "A" se refiere a la ubicación "antes" y la clave "D" a "después" de la intersección. Dichas claves siempre van asociadas a una calle perpendicular, de inicio o terminación de un tramo-cuerpo.

- “Cuerpo”. En muchos casos existen dos o más tramos-cuerpo paralelos delimitados en sus extremos por las mismas calles perpendiculares. Con el fin de identificar claramente a estos tramos-cuerpo aproximadamente paralelos, se utilizan claves especiales.

En el caso de aquellos tramos viales representados por un solo tramo-cuerpo, se utiliza la clave “U” para indicar que se trata de un “cuerpo único”.

Cuando se presentan dos tramos-cuerpo paralelos, se utilizan las claves “D” o “I” para designar al cuerpo “derecho” e “izquierdo”, respectivamente. La denominación de “D” o “I” generalmente corresponde al sentido del recorrido utilizado para el levantamiento de la información básica de los tramos-cuerpo, pero se deja a juicio del personal a cargo de esta actividad. La división en tramos-cuerpo paralelos corresponde al criterio de “separación longitudinal” descrito previamente. Sin embargo, en el caso de una avenida o bulevar se deberá tratar de mantener en toda su longitud el mismo criterio para designar cuál cuerpo es el derecho y cuál el izquierdo; de esta manera, se pretende evitar posibles confusiones al consultar el SAP SEDESOL o al actualizar la información almacenada.

En algunas partes de la red vial pueden existir tres o más tramos-cuerpo “paralelos”. Tal es el caso de las avenidas o bulevares con cuerpos centrales y cuerpos laterales de servicio. Con el fin de poder abarcar cualquier combinación posible de cuerpos centrales y laterales, se establecieron claves especiales para identificar a los cuerpos laterales; como máximo podrán existir dos cuerpos centrales y los demás cuerpos se deberán considerar como laterales. Los cuerpos laterales se designan por la clave “DLi” o “ILi”, la cual corresponde a “derecha, lateral Núm. i” o a “izquierda, lateral Núm. i”, respectivamente; “i” representa el número del cuerpo lateral, utilizando una numeración consecutiva y ascendente, del centro hacia afuera, empezando por el número 1 y terminando en el número que se requiera.

Además de las referencias de cada tramo-cuerpo, la información mínima requerida para todos los tramos-cuerpo es la siguiente:

- Tipo de pavimento.
- Longitud.
- Anchura de la sección transversal.
- Número de carriles.

III. INSPECCIÓN VISUAL DEL DETERIORO SUPERFICIAL DE LOS PAVIMENTOS

Desde el punto de vista del SAP SEDESOL, esta inspección proporciona datos muy importantes sobre el estado del pavimento. Una de las mayores ventajas de dicha actividad es que no se requiere de equipo especial para establecer el deterioro del

pavimento, sino que la inspección se hace de acuerdo con un inventario de los defectos existentes en el pavimento, de su severidad y del área afectada. Posteriormente, los datos del inventario se convierten a un índice, mediante el cual se expresa de manera general el estado del pavimento.

Para el caso del SAP SEDESOL, se decidió utilizar la metodología básica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. (*US Army Corps of Engineers*). Este enfoque es relativamente nuevo y ha sido utilizado exitosamente en sistemas de administración de pavimentos actualmente en operación en los E.U.A. y en otros países, entre ellos México.

En el SAP SEDESOL, los datos del deterioro superficial del pavimento son utilizados directamente para establecer las estrategias más eficaces de mantenimiento rutinario, rehabilitación o reconstrucción, las cuales corresponden a los defectos observados.

En general, el grado de deterioro de un pavimento es función del tipo de defecto observado, de su severidad y de su densidad (o área afectada de pavimento). Con el fin de obtener información confiable, objetiva y reproducible sobre el deterioro superficial de los pavimentos se desarrolló el concepto del índice de la condición del pavimento, o ICP (*pavement condition index*, o *PCI* por sus siglas en inglés). El ICP es un índice numérico que varía de 0, para un "pavimento" completamente destruido, hasta 100, para un pavimento en estado perfecto; este índice corresponde a la calificación de la condición del pavimento, desde el punto de vista de los defectos superficiales observados. El ICP puede ser aplicado en pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico. Una importante ventaja de la utilización del ICP sobre otras formas de presentación de resúmenes del deterioro superficial radica en la fácil interpretación de los resultados en forma gráfica; esto no se puede lograr con la mayoría de los métodos disponibles, puesto que no emplean índices. En consecuencia, se tiene una gran versatilidad en la representación gráfica con el sistema de información geográfica que fue integrado al programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.

En general, los defectos que se consideran en la inspección visual del deterioro superficial de los pavimentos son los mismos que en el procedimiento *PAVER* del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A. (Refs. 6, 7 y 8). Sin embargo, se eliminaron ciertos defectos que no se consideraron aplicables a las condiciones específicas de la redes urbanas viales de la República Mexicana.

III.1. PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Por medio de claves se identifican los defectos considerados para los pavimentos asfálticos, los cuales son los siguientes:

1. Agrietamiento de piel de cocodrilo.
2. Exudación de asfalto.
3. Agrietamiento con patrón de mapa.

4. Bordo o depresión localizados.
5. Ondulaciones transversales.
6. Depresión por asentamiento.
7. Agrietamiento en la orilla.
8. Grietas de reflexión.
9. Acotamiento en desnivel.
10. Grietas longitudinales y transversales.
11. Baches o cortes reparados en el pavimento.
12. Textura lisa.
13. Baches abiertos.
14. Roderas.
15. Corrimientos en la carpeta.
16. Agrietamiento por deslizamiento.
17. Levantamiento por expansión.
18. Desgaste o erosión.

En comparación con el método convencional para obtener el ICP de los pavimentos asfálticos, solamente se excluyó la manifestación de deterioro correspondiente al "cruce del ferrocarril". En México normalmente no se consideran como un defecto a los cruces de la vialidad con el ferrocarril, aun cuando normalmente corresponden a zonas de alta irregularidad superficial.

III.2. PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

En el SAP SEDESOL, para el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, se incluyen en la inspección visual los tipos siguientes de deterioro:

1. Rotura por empuje de losas.
2. Agrietamiento en esquinas.
3. Losa dividida.
4. Desnivel en juntas.
5. Pérdida o defecto de sellado en juntas.
6. Acotamiento en desnivel.
7. Grietas longitudinales, transversales y diagonales.
8. Baches de gran tamaño o cortes reparados en el pavimento.
9. Baches pequeños reparados en el pavimento.
10. Textura lisa.
11. Cavidades superficiales.
12. Bombeo.
13. Bloques separados de losa.
14. Grietas superficiales con desgaste o erosión.
15. Grietas de contracción.
16. Despostillamiento en esquinas.
17. Despostillamiento en juntas.

Al igual que en los pavimentos asfálticos, los números indicados anteriormente corresponden a la clave de identificación de los defectos. En relación con el método original del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los E.U.A., en el caso de los pavimentos de concreto hidráulico, se excluyeron los defectos siguientes: "cruce de ferrocarril" y agrietamiento en forma de "D". El primer "defecto" se excluyó por la misma razón expuesta para el pavimento asfáltico y el otro porque es causado por la expansión resultante de los ciclos de congelamiento-deshielo, los cuales no se presentan en la mayor parte de las ciudades medias del país.

Con el fin de simplificar el cálculo del ICP, se decidió generar las subrutinas requeridas para el análisis correspondiente. Estas subrutinas fueron incorporadas al programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL, con el que los cálculos requeridos se pueden realizar fácil y rápidamente.

Una vez almacenados los datos del deterioro del pavimento de un tramo-cuerpo, el programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL calcula el valor del ICP correspondiente. Este valor queda registrado en el banco de datos, para cualquier consulta o análisis posterior. De esta manera, el usuario es liberado de todos los cálculos tediosos que se requieren para determinar manualmente el ICP.

A partir de la información almacenada del deterioro superficial del pavimento, por medio del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL, se puede calcular el valor del ICP de todos los tramos-cuerpo inspeccionados. En la Fig. 5 se proporciona un ejemplo de las gráficas obtenidas de dicho programa para los pavimentos asfálticos de la red vial de Torreón, Coah. En dicha gráfica se presenta un resumen de la densidad de cada defecto observado, por nivel de severidad. Por ejemplo, en el caso de los pavimentos asfálticos, el agrietamiento de piel de cocodrilo es el defecto más común y se registra en cerca del 4% de los tramos-cuerpo inspeccionados, con una severidad ligera.

En cuanto al ICP, si se consideran conjuntamente todos los tramos-cuerpo evaluados en la implantación inicial del SAP SEDESOL en Torreón, Coah., el valor medio de este parámetro es de 56.9, según se indica en la Fig. 6. Asimismo, se obtuvo una gran variación del valor de ICP en los tramos-cuerpo, desde 3 hasta 100.

IV. CALIFICACIÓN DE SERVICIO DE LOS PAVIMENTOS

En el SAP SEDESOL, uno de los principales datos requeridos para la evaluación económica de las acciones de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción es la irregularidad superficial de los pavimentos. En este sentido, se propuso determinar dicho parámetro a partir de datos de la calificación de servicio actual, la cual puede ser obtenida de manera sencilla y sin equipo especial.

El concepto de calificación de servicio, tal como se utiliza en el SAP SEDESOL, se basa en la definición original del Camino de Prueba AASHO ("*AASHO Road Test*"), en el cual se desarrolló la idea de que se pueden emplear calificaciones para representar el "servicio" que proporciona un tramo de pavimento. La primera publicación

en que se menciona la calificación de servicio de un pavimento apareció en el año de 1960 (Ref. 9). El término "servicio" (*"serviceability"*) se define en relación con el propósito principal para el que fue construido el pavimento; es decir, para permitir un manejo suave, cómodo y seguro de los vehículos.

El nombre correcto y completo del parámetro utilizado en el SAP SEDESOL para evaluar la "calidad" de manejo que proporcionan los pavimentos al tránsito de vehículos es el de "calificación de servicio actual" (*"present serviceability rating"*). El término "actual" se emplea para poner énfasis en el hecho de que la calificación obtenida es válida estrictamente sólo para el momento mismo de la evaluación. En algunos métodos de proyecto de pavimentos, como el de la AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*), se predice el comportamiento de los pavimentos con base en la variación de un índice de servicio, el cual representa a la calificación de servicio.

Para los fines del SAP SEDESOL y después de una evaluación cuidadosa de las necesidades de las ciudades medias del país, se decidió utilizar la calificación de servicio actual (CSA). La calificación de servicio se registra al circular en un automóvil por los tramos-cuerpo seleccionados.

En general, la calificación de servicio se refiere a la opinión de los conductores sobre el confort que se logra al circular en un vehículo por un pavimento dado. Este parámetro de evaluación varía de 0 a 5, correspondiendo el valor de 0 a un "pavimento" intransitable y el valor máximo teórico de 5 a un pavimento cuya superficie de rodamiento se encuentra en perfectas condiciones. El enfoque de calificación de servicio proporciona un criterio general para evaluar pavimentos asfálticos y de concreto hidráulico, así como terracerías.

En el SAP SEDESOL la escala utilizada para la calificación de servicio actual del pavimento fue establecida por la SEDESOL a partir de la definición original y es la indicada a continuación:

- 0.0-1.0, servicio "pésimo".
- 1.1-2.0, servicio "deficiente".
- 2.1-2.5, servicio "malo a regular".
- 2.6-3.0, servicio "regular a bueno".
- 3.1-4.0, servicio "bueno".
- 4.1-5.0, servicio "muy bueno".

Es importante aclarar que, en la práctica, la calificación de servicio ha sido relacionada con mediciones mecánicas o electrónicas de la superficie del pavimento. Esto ha sido hecho con objeto de eliminar la necesidad de contar con un equipo permanente de personas, quienes se dediquen a evaluar el pavimento. De una manera general, se puede afirmar que la variable más significativa para estimar la calificación de servicio, a partir de mediciones mecánicas o electrónicas, es la irregularidad superficial o el perfil longitudinal de la superficie de rodamiento (*"roughness"*); de manera incorrecta se ha empleado en español el término "rugosidad" para referirse a

estas mediciones. Conviene indicar que cuando la calificación de servicio es estimada a partir de mediciones mecánicas o electrónicas se utiliza el término "índice de servicio". De hecho, este parámetro es el que aparece en las ecuaciones básicas del método de proyecto de la AASHTO (Ref. 10).

En ciertos análisis del SAP SEDESOL, se requiere convertir la calificación de servicio actual al índice internacional de irregularidad superficial (IIS), el cual es el parámetro normalmente utilizado en las actividades de evaluación económica y determinación de costos de operación de los vehículos. Para tal efecto, se emplearon ecuaciones disponibles en la literatura técnica, las cuales fueron incorporadas al programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL. Para el análisis a mediano y largo plazos de diversas estrategias de rehabilitación y reconstrucción de pavimentos en el SAP SEDESOL, se utilizan ecuaciones de predicción basadas en la CSA o en el IIS; de allí la importancia de la obtención de parámetros de este tipo en el SAP SEDESOL.

Para la determinación de la calificación actual de servicio, en el SAP SEDESOL se requiere que dos o más evaluadores califiquen el pavimento de cada tramo-cuerpo. Al respecto, la calificación de cada evaluador se denomina "calificación individual de servicio actual del pavimento", tal como se estableció originalmente en el Camino de Prueba AASHO (Ref. 9).

Cuando un evaluador registra su calificación individual, éste debe tomar en cuenta exclusivamente los aspectos relacionados con la calidad de manejo que proporciona el pavimento. Se deben excluir aspectos ajenos al pavimento, como son la anchura de la sección transversal, la pendiente longitudinal, el alineamiento, el drenaje y el control de la operación del tránsito, entre otros. Asimismo, un evaluador no se debe dejar influir por la opinión de los demás evaluadores, aun cuando está permitido que todos ellos sean ocupantes del mismo vehículo durante el recorrido para obtener la calificación de servicio.

Por definición, la calificación de servicio actual de un tramo-cuerpo de pavimento es igual a la media aritmética de las calificaciones individuales de los evaluadores. Esta operación la realiza automáticamente el programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL, una vez que se han almacenado los datos correspondientes.

En la Fig. 7 se presenta un resumen de los resultados de la calificación de servicio actual para todos los tramos-cuerpo evaluados por el Consultor en la red vial de Torreón, Coah. El valor promedio de este parámetro para esta parte de la red vial es de 2.57 y los valores varían entre 1.20 y 3.15, con la gran mayoría de los tramos-cuerpo con valores cercanos a la media.

V. DATOS DE INGENIERÍA DE TRÁNSITO

En los análisis del SAP SEDESOL, es importante disponer de datos básicos de ingeniería de tránsito de cada uno de los tramos-cuerpo para poder evaluar las posibles estrategias que se propongan de mantenimiento, rehabilitación y/o reconstrucción.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP SEDESOL son necesarios los datos siguientes de ingeniería de tránsito:

- Clasificación funcional del tramo. Es decir, si el tramo-cuerpo es parte de la vialidad primaria, secundaria o local. Para efectos del SAP SEDESOL, se consideró adecuada esta clasificación en tres categorías funcionales para las redes viales de las ciudades medias del país.
- Sentido de circulación. Al recopilar información sobre el estado del pavimento, se utiliza cierto sentido del recorrido, el cual puede ser diferente del sentido de circulación; por tal motivo, se requiere proporcionar este dato para identificar adecuadamente el resto de la información sobre el tránsito vehicular.
- Fecha del aforo vehicular, la cual corresponde al día en que fue recopilada la información sobre el tránsito vehicular.
- Volumen de tránsito total diario. Éste corresponde al número total de vehículos del sentido de circulación indicado. En caso de que el período de observación de los aforos vehiculares haya sido menor de 24 h, lo cual sucede normalmente, se deberá utilizar algún factor de expansión para convertir los volúmenes de tránsito a totales diarios. Este volumen es equivalente al tránsito diario promedio anual (TDPA) **solamente** para los tramos-cuerpo de doble sentido de circulación.
- Composición del tránsito por tipo de vehículo. Este parámetro se refiere a la distribución del tránsito en hasta seis tipos de vehículo: (A) automóvil; (M) minibús; (B) autobús; (C-2) camión de dos ejes; (C-3) camión de tres ejes; (C-4) camión de cuatro o más ejes. La clasificación indicada es la especificada por la SEDESOL para los sistemas de administración de pavimentos. En el caso de los autobuses y los camiones es común que solamente se disponga de volúmenes de tránsito para una sola clasificación; cuando esto suceda, se deberán agrupar todos los minibuses y autobuses en la categoría "B" y todos los tipos de camión en la categoría "C-2".

Los datos de ingeniería de tránsito son indispensables en el SAP SEDESOL, principalmente en los análisis requeridos para la evaluación económica de las acciones propuestas para el pavimento.

VI. DATOS ADICIONALES DEL INVENTARIO DEL PAVIMENTO Y DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA

Como complemento de los datos del inventario de los tramos-cuerpo recopilados en las primeras actividades de la implantación inicial del SAP SEDESOL, se requiere información adicional de las banquetas, guarniciones y acotamientos, así como del señalamiento vial, de los semáforos y del alumbrado público.

VI.1. INSPECCIÓN VISUAL DEL SEÑALAMIENTO VIAL

En general, la inspección visual del señalamiento vial se clasifica por intersecciones o subtramos viales, según corresponda. Un tramo-cuerpo, desde el punto de vista del SAP SEDESOL, puede estar constituido por una o más intersecciones y/o uno o más subtramos viales. Normalmente se presenta una mayor concentración de dispositivos para el control del tránsito en las intersecciones que en los subtramos viales, por lo que se consideró conveniente registrar por separado la información correspondiente a estos dos elementos de la vialidad urbana.

En cada tramo-cuerpo se deberá anotar la información siguiente:

- Número total de intersecciones. Las intersecciones deberán ser agrupadas en las dos categorías siguientes:
 - De 4 o más ramas.
 - De menos de 4 ramas.
- Inspección visual del señalamiento vertical. Tanto para las intersecciones como para los subtramos viales del tramo-cuerpo en turno, se deberá registrar el número y el estado de las señales verticales. La inspección se deberá hacer identificando los tipos existentes de señal, los cuales deberán corresponder a las tres categorías que se indican a continuación:
 - Restrictivas.
 - Preventivas.
 - Informativas.
- Inspección visual del señalamiento horizontal. Estas señales consisten básicamente en marcas realizadas en la superficie de rodamiento.

En el caso de las intersecciones, se deberá registrar el porcentaje de las mismas en que se dispone de este tipo de señalamiento y su estado. Esta información se deberá anotar en la columna adecuada, según se trate de los tipos de señal siguientes:

- Cruce de peatones.
- Línea de alto.
- Flechas.

En lo que concierne a los subtramos viales, también se anota el porcentaje con señalamiento horizontal y su estado. Al respecto, se consideraron los tipos de señal que se indican a continuación:

- Rayas de carriles.
- Flechas.
- Marcas en guarniciones.

VI.2. INSPECCIÓN VISUAL DE LOS SEMÁFOROS

Cada grupo de semáforos pertenecientes a una intersección dada debe ser asignado a un tramo-cuerpo que haya sido dado de alta previamente. La información requerida corresponde básicamente a los postes, las caras de semáforos y a las luces de las indicaciones; asimismo, se incluye la ubicación aproximada del controlador.

Con el fin de identificar la posición de los elementos inspeccionados, éstos quedan referidos con respecto a uno de los accesos de la intersección y el cuerpo respectivo de la calzada. Se inicia la identificación con los postes, ya que en los mismos normalmente se montan los demás componentes de la infraestructura de los semáforos.

Como primer paso, se debe proponer el tramo-cuerpo al que quedarán asociados los datos de los semáforos. En seguida, se deberán identificar los accesos que confluyen a la intersección, ya que otros datos están referidos a los mismos. El resto de la información quedará ligada a los diferentes postes existentes en la intersección en los que se encuentren instalados componentes de los semáforos (caras de semáforos y controlador).

En cada poste de la infraestructura de semáforos se deberán registrar los datos que se indican a continuación:

- Número de poste. Se deberá utilizar una numeración consecutiva para cada intersección, iniciando con el número uno (1).
- Ubicación del poste. Ésta se definirá de acuerdo con los datos siguientes:
 - Acceso Núm. De acuerdo con la descripción y numeración proporcionada en otra parte de la forma.
 - Cuerpo al que quedará referido el poste, de acuerdo con la definición de cuerpo utilizada en el SAP SEDESOL.
 - Izquierda o derecha, según el acceso de referencia.
 - Antes o después de donde termina el acceso. El acceso normalmente termina en la línea de la primera guarnición de la calle perpendicular que cruza en la intersección.
- Tipo de poste, de acuerdo con las opciones indicadas en la forma.

- Estado del poste, en función de los tres casos estipulados en la forma.

En un poste pueden existir una o más caras de semáforo; para cada una de éstas, se requiere la información siguiente:

- Número de cara de semáforo, utilizando una numeración consecutiva y que inicie con el número uno (1), para un poste dado.
- Acceso Núm. Este dato corresponderá al acceso al que están dirigidas las indicaciones la cara de semáforo en turno, independientemente de su posición.
- Tipo de montaje, según las opciones indicadas en la forma.
- Posición de la cara de semáforo: horizontal o vertical, según corresponda.
- Estado de la cara del semáforo, correspondiente a una de las tres categorías indicadas en la forma.

Para una cara de semáforo dada, se deberán registrar los datos más importantes de sus lentes o indicaciones. Los lentes se clasifican por el color de su luz, las maniobras indicadas o permitidas y su condición.

VI.3. INSPECCIÓN VISUAL DEL ALUMBRADO PÚBLICO

Esta actividad se efectúa en tramos-cuerpo completos y se concentra en las luminarias existentes a lo largo de la vialidad. En cada tramo-cuerpo se registran los datos siguientes:

- Número total de luminarias, clasificadas por tipo y ubicación. De manera práctica, se consideran dos tipos de luminaria: sencilla y doble. La ubicación es con respecto al sentido en que fue dado de alta el tramo-cuerpo en turno y se consideran solamente dos casos: lado izquierdo y lado derecho.
- Recuento de las luminarias por estado y ubicación. Existen tres opciones de estado de las luminarias. La ubicación se establece de la misma manera que la descrita en el párrafo anterior.

VI.4. DATOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL COMPLEMENTARIA

Esta información incluye datos diversos de las banquetas, las guarniciones y los acotamientos, así como de la estructura del pavimento correspondiente a su construcción original, rehabilitación o reconstrucción. La información sobre la estructura del pavimento puede ser de carácter histórico o bien puede ser almacenada en el

banco de datos del SAP SEDESOL a medida que se aplica en un tramo-cuerpo dado cualquiera de las tres medidas citadas.

Para cada tramo-cuerpo que sea dado de alta en el SAP SEDESOL se recomienda obtener la información siguiente:

- Datos de las banquetas. Para esta parte de la infraestructura vial, se requiere la información siguiente, para las banquetas izquierda y derecha:
 - Porcentaje construido.
 - Tipo (concreto hidráulico, adoquín o recintocreto).
 - Anchura.
- Datos de las guarniciones. En cuanto a las guarniciones, se debe proporcionar lo siguiente:
 - Porcentaje construido.
 - Tipo (colada en el sitio y prefabricada).
- Datos de los acotamientos. En caso de que en el tramo-cuerpo existan uno o dos acotamientos, se deberán registrar los datos siguientes:
 - Porcentaje construido.
 - Tipo (carpeta asfáltica, empedrado y terracería).
 - Anchura.
- Datos del pavimento. Esta información es histórica y normalmente debe provenir de los archivos del ayuntamiento. En primer lugar, se debe indicar a qué tipo de medida corresponden los datos (construcción original, sobrecarpeta y reconstrucción) y la fecha en que la medida fue implantada. Para cada tipo de medida se requieren los datos siguientes para cada una de las capas que conforman el pavimento:
 - Espesor.
 - Tipo de capa (por ejemplo, base, subbase, carpeta asfáltica, etc.)
 - Tipo de material (por ejemplo, concreto asfáltico, concreto hidráulico, etc.)

VII. DATOS DE LOS SONDEOS Y PRINCIPALES RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO Y EN EL LUGAR

Los sondeos en el pavimento forman parte de las actividades conocidas como "evaluación estructural destructiva de los pavimentos". Normalmente los sondeos se utilizan en el nivel de tramo vial de un SAP, en el cual son necesarios para el proyecto definitivo de las medidas propuestas (construcción, rehabilitación y reconstrucción, principalmente). Sin embargo, a pesar de que la implantación inicial del SAP SEDESOL corresponde básicamente al nivel de red vial, normalmente se efectúan una serie de sondeos a lo largo de la red vial de las ciudades en que se aplica este sistema.

Dada la carencia de datos históricos sobre los pavimentos de la red vial que se presenta comúnmente en las ciudades medias del país, la realización de los sondeos

resulta sumamente provechosa, ya que permite obtener información muy valiosa sobre la estructura de los pavimentos.

Los sondeos normalmente tienen una profundidad máxima de un metro y de ellos se extraen muestras de un número máximo de cuatro capas granulares, incluyendo el terreno natural. Para cada una de las capas inferiores del pavimento se efectúan los ensayos siguientes:

1. Granulometría.
2. Contenido de agua.
3. Límites de Atterberg y contracción lineal.
4. Valor relativo de soporte estándar (VRS).

Mediante ensayos en el lugar se determinan los parámetros siguientes:

1. Valor relativo de soporte (solamente en el terreno natural).
2. Peso volumétrico seco máximo.
3. Grado de compactación.

A diferencia de otras actividades de evaluación del SAP SEDESOL, en el caso de los sondeos en el pavimento en servicio pueden existir una o más series de datos en un mismo tramo-cuerpo; cada serie de datos corresponde a un sondeo diferente. Cuando se efectúan sondeos con extracción de muestras se genera información muy detallada de cada una de las capas del pavimento; la mayor parte de los datos se obtiene de ensayos de laboratorio, aunque parte de la información se genera a partir de pruebas en el lugar.

Es necesario verificar que el tramo-cuerpo en que se efectúe el sondeo haya sido dado de alta antes de proceder a almacenar la información de campo y/o de laboratorio. De manera resumida, los datos de los sondeos que son obtenidos en el SAP SEDESOL son esencialmente los siguientes:

- Datos de identificación del sondeo. Éstos corresponden a los aspectos indicados a continuación:
 - Carril.
 - Distancia con respecto al inicio del tramo-cuerpo.
 - Fecha del sondeo.
 - Tipo de sondeo (con extracción de muestras o para verificación de la estructura del pavimento).
- Datos de identificación de la capa. Para cada una de las capas detectadas en el sondeo se requiere lo siguiente:
 - Número de capa.
 - Espesor.
 - Tipo de capa (por ejemplo, base, subbase, carpeta, etc.)
 - Tipo de material (por ejemplo, concreto asfáltico, concreto hidráulico, etc.)

- Datos de las muestras. En una capa dada del pavimento se pueden obtener una o más muestras. Normalmente las muestras corresponden a las capas granulares, sin estabilizar, del pavimento. Este tipo de información se deberá anotar solamente para los sondeos con extracción de muestras. Para cada muestra se requieren los datos siguientes:
 - Número de muestra en el sondeo.
 - Peso volumétrico seco máximo.
 - Peso volumétrico en el lugar.
 - Grado de compactación.
 - Humedad óptima.
 - Humedad en el lugar.
 - Material que pasa las mallas de 1 1/2 y 3/8", así como las Núm. 4, 40 y 200.
 - Límite líquido.
 - Límite plástico.
 - Índice plástico.
 - Contracción lineal.

Las características de las pruebas citadas anteriormente se pueden encontrar en un sinnúmero de publicaciones técnicas en la materia, así como en las especificaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). En lo que concierne a la presente ponencia, no se consideró práctico el incluir una descripción de dichos ensayos ni de otros detalles de mecánica de suelos o de la ingeniería de pavimentos.

VIII. EVALUACIÓN ESTRUCTURAL NO DESTRUCTIVA DE PAVIMENTOS EN SERVICIO

Esta actividad es una de las más importantes para el análisis objetivo del comportamiento de los pavimentos en servicio y para el proyecto racional de medidas de rehabilitación y reconstrucción. Por lo tanto, la evaluación estructural no destructiva (EEND) es una actividad que corresponde comúnmente al nivel de tramo vial de un SAP.

En los sistemas implantados recientemente no se ha efectuado la EEND de pavimentos en servicio, por medio de la viga Benkelman. Sin embargo, se espera que en los años subsecuentes a la implantación inicial del SAP SEDESOL, los ayuntamientos realicen esta actividad en tramos selectos de pavimentos que sean seleccionados para la posible construcción de una sobrecarpeta asfáltica.

En función de su costo, la viga Benkelman es un equipo muy práctico y económico. En cuanto a la EEND, este dispositivo es el de mayor antigüedad en el medio internacional y varios métodos de proyecto de rehabilitación de pavimentos en servicio se basan en las mediciones obtenidas con el mismo. La aplicación de la viga Benkelman corresponde principalmente a los pavimentos asfálticos, ya que la carga estándar que se emplea es relativamente pequeña para medir desplazamientos verticales en pavimentos de concreto hidráulico.

La viga Benkelman debe cumplir con las especificaciones pertinentes de la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y del Transporte (AASHTO, por sus siglas en inglés). La carga aplicada corresponde a un eje sencillo de 8.2 t, bajo la cual se mide el desplazamiento vertical máximo con la viga Benkelman.

Es sumamente importante poner énfasis en que la EEND es una actividad propia el nivel de tramo vial de un SAP y que la mayor parte de los trabajos de la implantación inicial del SAP SEDESOL corresponden al nivel de red vial, caracterizado por un detalle mucho menor.

Para un tramo-cuerpo dado, puede existir más de una serie de datos de EEND, dependiendo de la ubicación de la carga, en relación con el inicio del tramo, con los carriles y con el tipo de medición (rodada interna, rodada externa, eje central, etc.). En el banco de datos del SAP SEDESOL se diferencian las mediciones de acuerdo con datos clave que varían para cada una de las pruebas efectuadas.

Es necesario que se verifique que el tramo-cuerpo en que se efectúen las mediciones de EEND haya sido dado de alta previamente en el banco de datos del SAP SEDESOL, antes de proceder a almacenar la información recopilada. Los datos requeridos para la EEND con la viga Benkelman son básicamente los siguientes:

- Datos de identificación de las mediciones. Éstos corresponden a los aspectos indicados a continuación:

- Tipo de pavimento.
 - Sentido del recorrido.
 - Distancia a partir del inicio del tramo.
 - Carril.
 - Rodada.
 - Ubicación de la carga. Este dato corresponde exclusivamente a la EEND de los pavimentos de concreto hidráulico; en general, este tipo de pavimento no se evalúa con la viga Benkelman. Básicamente la ubicación de la carga se hace en relación con las discontinuidades de las losas (juntas transversales y longitudinales, así como grietas transversales).
- Carga del eje trasero del vehículo de prueba. Esta carga normalmente no varía de una medición a la otra. El valor estándar de la misma es de 8.2 t, de acuerdo con las especificaciones pertinentes de la AASHTO para la realización de la prueba.
 - Desplazamiento vertical máximo, medido bajo la aplicación de la carga especificada.
 - Temperatura del pavimento.
 - Hora de la medición.

IX. EVALUACIÓN INTEGRAL DEL ESQUEMA ACTUAL DE MANTENIMIENTO VIAL

A partir de la información proveniente del Estudio Integral de Vialidad y Transporte Urbano de la ciudad, de los archivos del ayuntamiento y de los diversos trabajos de campo que realice el consultor, así como de entrevistas con funcionarios del ayuntamiento, se establece un diagnóstico del esquema utilizado para el mantenimiento vial. Asimismo, se hace una revisión de los marcos jurídico e institucional vigentes.

Con base en la inspección visual de los pavimentos y otras actividades, se prepara un resumen sobre el estado general de esta infraestructura vial. Asimismo, se identifican las posibles causas del deterioro observado y se proporciona un dictamen sobre las actividades de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos efectuadas por el ayuntamiento.

X. ANÁLISIS DE PLANEACIÓN A NIVEL DE RED VIAL DEL SAP SEDESOL

Como parte de los análisis básicos del SAP SEDESOL se seleccionan los tramos-cuerpo cuyo pavimento recibirá alguna acción de mantenimiento correctivo rehabilitación o reconstrucción. Para referirse a estas acciones, se utilizan las siglas "MRR" (cuyo equivalente en el idioma inglés es "M,R&R"). Los análisis en cuestión se

efectúan a nivel de red vial y corresponden a actividades propias de la planeación y programación del presupuesto. Por medio de una evaluación económica, se selecciona la estrategia óptima para cada uno de los tramos-cuerpo de la red vial. Posteriormente, se asignan prioridades para la ejecución de las acciones propuestas, en función del estado del pavimento y de la importancia de los tramos-cuerpo. Para efectos de la distribución de recursos, se considera la restricción del presupuesto disponible. Con el fin de identificar claramente las actividades correspondientes a este rubro, se decidió utilizar específicamente el término "análisis de planeación a nivel de red vial del SAP SEDESOL"; es importante recalcar que estos análisis son muy diferentes de los correspondientes a la generación de resultados a partir de la información recopilada en campo, sobre parámetros como la calificación de servicio actual y el índice de la condición del pavimento, entre otros.

En esencia, los análisis de planeación a nivel red vial del SAP SEDESOL pueden ser clasificados en los grupos siguientes:

- Lineamientos para seleccionar las medidas de MRR que pueden ser aplicadas para el pavimento de un tramo-cuerpo dado, con base en la información recopilada en campo del deterioro superficial, de la calificación de servicio y, en algunos casos, de la evaluación estructural no destructiva.
- Evaluación económica de las acciones propuestas, la cual incluye el cálculo de la inversión requerida, del costo del usuario y de los beneficios generados.
- Asignación de prioridades entre los tramos-cuerpo seleccionados como candidatos para la aplicación de una acción dada, en función de los resultados de la evaluación económica y de su importancia.
- Selección de acciones para los programas anuales y multianuales, en función de diferentes niveles del presupuesto disponible.

Para la realización de los análisis anteriores, se estableció una metodología aplicable a las condiciones particulares de las ciudades medias del país. Todos los cálculos requeridos pueden ser efectuados a través del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL. Es importante poner énfasis en que la evaluación económica del SAP SEDESOL se realiza básicamente de acuerdo con la metodología del programa de cómputo "USER" (Ref. 11). Al respecto, se integraron las rutinas correspondientes en el programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.

La evaluación económica de las estrategias de MRR incluye principalmente el cálculo de los beneficios y de los costos de los usuarios de la red vial y tiene diversas aplicaciones en la planeación del transporte y en los sistemas de administración de pavimentos. En el desarrollo de un programa racional de trabajo anual y en la determinación del presupuesto correspondiente para el mantenimiento correctivo, la rehabilitación y la reconstrucción de pavimentos, se requiere el análisis del ciclo de vida de todos los costos que intervienen en el proceso. Éstos incluyen la inversión por parte

de la dependencia municipal a cargo de las actividades citadas y los costos del usuario, los cuales normalmente corresponden a los costos de operación vehicular. A su vez, ambos costos son función del estado del pavimento a lo largo del periodo de análisis. Por ejemplo, en el caso de una red vial típica de una ciudad media del país, se requerirá de una inversión importante para restablecer el estado de la superficie de rodamiento de un gran número de tramos-cuerpo, pero esta medida se traducirá en un menor costo de operación de los vehículos que circulan por los mismos, a mediano y largo plazos, principalmente; esta estrategia también permitirá reducir la depreciación de la infraestructura vial, lo cual redundará en un ahorro significativo en el presupuesto futuro de los municipios destinado a la rehabilitación o la reconstrucción de los pavimentos, medidas que se requieren cuando no se adopta un sistema eficiente de administración de pavimentos. Por lo tanto, la intervención oportuna para realizar las acciones requeridas de MRR permite preservar por un periodo mayor la infraestructura vial disponible y puede representar ahorros considerables en el presupuesto de los municipios, además de que se logran reducciones notables en los costos de operación vehicular.

XI. PROGRAMA DE CÓMPUTO PARA ANÁLISIS DEL SAP SEDESOL

Toda la información generada en la implantación inicial del SAP SEDESOL puede ser almacenada y ordenada en un banco de datos. La manipulación de datos y la generación de resultados se puede realizar a través de un programa de cómputo desarrollado con base en las necesidades específicas de este sistema.

Al programa de cómputo en cuestión se le asignó el nombre de "Programa de Cómputo para Análisis del SAP SEDESOL" (el Programa). El Programa consta de un conjunto de rutinas ejecutables, mediante las cuales se manejan los bancos de datos, se procesa la información almacenada y se genera una serie de listados. El Programa funciona dentro de un entorno amigable que permite su utilización en forma sencilla, por parte de una persona con solamente conocimientos básicos de computación. Al respecto, esta herramienta se ejecuta dentro del ambiente denominado "*Windows*", el cual es ampliamente conocido por su orientación hacia el usuario.

Para la representación gráfica de la información recopilada y de sus resultados, se utilizó un programa de cómputo adicional. El programa en cuestión es el llamado "*SIGPAV*" y pertenece a la categoría de los sistemas de información geográfica.

En la Fig. 8 se presenta un esquema simplificado de los componentes básicos del Programa, el cual está compuesto por todas las rutinas que se requieren para el almacenamiento de datos y la obtención de los resultados estipulados para el SAP SEDESOL. Asimismo, el Programa tiene la capacidad de desplegar toda la información almacenada y los resultados más importantes, ya sea mediante la utilización de una impresora o bien en la pantalla de la computadora.

Los elementos básicos de la estructura del programa incluyen: ventanas, menús "descolgables" y botones asociados a funciones específicas que pueden ser activadas a través del teclado o del "mouse". Todas las instrucciones y los términos utilizados en el manejo del Programa y los que aparecen en los listados de resultados son en español y corresponden al lenguaje técnico habitual de México.

El Programa tiene la flexibilidad suficiente para permitir al usuario la consulta de datos y resultados para diferentes combinaciones de las principales variables almacenadas; por ejemplo, se puede obtener un listado de todos los tramos-cuerpo en que la calificación de servicio actual sea menor de 3.0 o que tengan una longitud máxima de 500 m, ordenando los tramos-cuerpo por número de carriles.

El Programa proporciona ayuda permanente al usuario mediante el despliegue de ventanas que describen los aspectos relacionados con la zona de trabajo que se encuentre activa.

Aunque la mayor parte de los análisis y procesos requeridos en el Estudio son efectuados directamente con el Programa, se integró a éste un sistema de información geográfica, con el cual se puede lograr una gran versatilidad en la representación gráfica de la información almacenada en el banco de datos numéricos o de los resultados generados por cualquier proceso de análisis. Tal como se indicó anteriormente, el sistema de información geográfica que se utiliza es el programa de cómputo denominado "SIGPAV", el cual fue desarrollado por la empresa TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V., y está orientado específicamente al SAP SEDESOL; funciona dentro del ambiente del programa "AutoCAD" y fue escrito en el lenguaje de programación denominado "AutoLISP".

El Programa fue desarrollado para computadoras personales que cuenten con las siguientes características:

- Procesador 80386SX, 80486SX, 80486DX, "Pentium" u otro compatible.
- Al menos 6 Mb de memoria de acceso aleatorio ("RAM").
- Sistema operativo "MS-DOS"; versión 3.1 o más reciente.
- Ambiente "Microsoft Windows"; versión 3.0 o más reciente.
- Monitor a colores de súper alta resolución ("SVGA").
- Espacio disponible en disco duro de al menos 15 Mb para el almacenamiento de los archivos relacionados exclusivamente con la operación del Programa.
- Impresora láser.

En el caso de "SIGPAV", es necesario disponer del programa de cómputo "AutoCAD" y de cuando menos 16 Mb de memoria de acceso aleatorio.

El Programa utiliza dos mecanismos de seguridad para controlar el acceso de los usuarios al Programa, con lo que se evita su operación por personal no autorizado. Dichos mecanismos consisten en: introducción de una clave de acceso e

inhabilitación automática de opciones no permitidas. Ambos mecanismos, descritos a continuación, se activan como resultado de la implantación de rutinas de protección incluidas en el Programa.

XII. MEDIDAS DE FORTALECIMIENTO INSTITUCIONAL

Con base en el diagnóstico del esquema de mantenimiento vial utilizado por las autoridades municipales, se efectúa una propuesta de medidas de fortalecimiento institucional. Algunas de las acciones más importantes que se plantean comúnmente están dirigidas a garantizar la continuidad del SAP SEDESOL.

Normalmente las medidas de fortalecimiento institucional que se proponen como resultado de los estudios realizados por la SEDESOL son de los tres tipos siguientes: estrategia general para la operación del organismo municipal a cargo del mantenimiento vial; contratación de personal adicional; adquisición de equipo adicional.

En cuanto al personal, comúnmente también se proponen medidas para la capacitación del mismo y se establecen los perfiles recomendados para el principal personal que participará en las siguientes etapas de la implantación del SAP SEDESOL, las cuales estarán a cargo de la dependencia municipal que reciba este sistema.

De acuerdo con los procedimientos empleados en cada ciudad en particular, se recomienda la adquisición de equipo de construcción para realizar eficazmente las actividades de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes, así como para la construcción de nuevos pavimentos. En general, se hacen recomendaciones sobre las actividades que pueden ser efectuadas más eficientemente por empresas constructoras. Adicionalmente, en algunos casos se recomienda la adquisición de equipo para la evaluación estructural no destructiva de los pavimentos en servicio.

Dependiendo de las características particulares de cada municipio evaluado, se propone la adquisición de equipo y programas de cómputo, principalmente para las actividades relacionadas con el SAP SEDESOL.

XIII. PRINCIPALES PRODUCTOS DE LA IMPLANTACIÓN INICIAL DEL SAP SEDESOL

Como parte de la implantación inicial del SAP SEDESOL, al final de los estudios respectivos, se hace entrega a los ayuntamientos de una serie de documentos, así como de equipo y programas de cómputo. De esta manera, se trata de garantizar la continuidad del SAP SEDESOL, una vez realizada la transferencia de este sistema a las autoridades municipales.

Los documentos, equipo y programas de cómputo entregados por la SEDESOL a los ayuntamientos normalmente son los siguientes:

- Un ejemplar de la versión definitiva del Informe final del Estudio.

- Un ejemplar de los manuales de procedimientos del SAP SEDESOL.
- Una copia del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.
- Una copia registrada de los programas comerciales “AutoCAD” y “SIGPAV”, incluyendo toda su documentación.
- Una copia del banco de datos completo del SAP SEDESOL con la red vial de evaluada.
- Una copia del Manual del Usuario y del Manual del Administrador del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.
- Equipo de cómputo, consistente en una computadora personal y una impresora láser.

En el caso de los sistemas implantados por la SEDESOL en los años de 1995-1996, también se incluyeron proyectos definitivos de pavimentos y de señalamiento vial. Como parte de éstos, se efectuaron levantamientos topográficos de la infraestructura vial existente a lo largo del trazo de proyecto.

Durante la implantación del SAP SEDESOL normalmente participa personal de los ayuntamientos, con lo que se proporciona la capacitación práctica más importante requerida para garantizar la transferencia de este sistema a las autoridades municipales. En la etapa final de los estudios, se dicta un curso en el que se cubren los principales aspectos de la utilización del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.

XIV. CONCLUSIONES

El SAP SEDESOL incluye un conjunto de procedimientos que permiten lograr una operación más eficaz de todas las actividades relacionadas con el mantenimiento vial de las ciudades medias de la República Mexicana. Una de las principales ventajas de este sistema es el ordenamiento, en un banco de datos, de información diversa sobre la infraestructura vial. Esta información puede ser consultada, actualizada y analizada por medio de un programa de cómputo desarrollado por la SEDESOL, el cual funciona en un ambiente sencillo y orientado al usuario.

Las principales conclusiones sobre la implantación del SAP SEDESOL en una serie de ciudades medias del país son las siguientes:

1. El SAP SEDESOL ha sido desarrollado específicamente para las condiciones que se presentan en la infraestructura vial básica de las ciudades medias de la República Mexicana. En este esfuerzo han participado especialistas de la SEDESOL, de empresas consultoras y de las ciudades medias en donde se ha implantado el SAP SEDESOL.

2. En el desarrollo del SAP SEDESOL se trató de incorporar la tecnología más novedosa disponible en el medio internacional. Sin embargo, no se transplantaron directamente métodos desarrollados en otros países; en este sentido, se utilizaron y adaptaron los procedimientos que se consideraron realmente aplicables a las condiciones imperantes en las redes viales de las ciudades medias de la República Mexicana. De esta manera, se generó un sistema práctico y de fácil utilización que podrá auxiliar al personal directivo de los municipios en sus actividades cotidianas de planeación de las acciones de mantenimiento rutinario, rehabilitación y reconstrucción que requieren los pavimentos.
3. El éxito de la transferencia del SAP SEDESOL a las autoridades municipales y de su operación permanente depende, en gran medida, de la aplicación de las medidas propuestas de fortalecimiento institucional. Asimismo, es importante que se le conceda la importancia debida a la ejecución oportuna de las actividades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos existentes. Mediante las acciones programadas en el SAP SEDESOL se podrá preservar por un período mucho mayor la infraestructura vial disponible.
4. A medida que transcurra el tiempo de aplicación del SAP SEDESOL se irá enriqueciendo el banco de datos con información proveniente de las actividades simplificadas, a nivel de red vial, y de los trabajos más detallados realizados en todos los tramos viales que hayan sido seleccionados para la implantación de una acción dada. Asimismo, con el tiempo será posible verificar las principales hipótesis de los pronósticos del comportamiento de los pavimentos. De esta manera, se presentará un ciclo de retroalimentación que permitirá ir afinando los algoritmos básicos del SAP SEDESOL, de tal manera que se lograrán análisis más eficientes y precisos.

XV. REFERENCIAS

1. "Estudio para el Fortalecimiento de las Áreas a Cargo del Mantenimiento de las Vialidades en la Ciudad de León, Gto.", Informe Final del Estudio, H. Ayuntamiento de León, Gto., julio de 1995 (Consultor: TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V.).
2. "Sistema de Administración del Mantenimiento Vial de la Ciudad de Saltillo, Coah.", Informe Final del Estudio, Secretaría de Desarrollo Social, diciembre de 1995 (Consultor: TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V.).
3. "Sistema de Administración del Mantenimiento Vial de la Ciudad de Torreón, Coah.", Informe Final del Estudio, Secretaría de Desarrollo Social, diciembre

- de 1996. (Consultor: TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V.).
4. "Sistema de Administración de Pavimentos de la Ciudad de Campeche, Camp.", Informe de Diagnóstico (en elaboración), Secretaría de Desarrollo Social, septiembre de 1997 (Consultor: TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V.).
 5. "Sistema de Administración de Pavimentos de la Ciudad de San Luis Potosí, S.L.P.", Informe de Diagnóstico (en elaboración), Secretaría de Desarrollo Social, septiembre de 1997 (Consultor: TORRES, CONSULTORES EN INGENIERÍA, S.A. de C.V.).
 6. Shahin, M.Y., y Walther, J.A., "*Pavement Maintenance Management for Roads and Streets Using the PAVER System*", US Army Corps of Engineers, Construction Engineering Research (USACERL), Informe Técnico M-90/05, Actualización de PAVER, Champaign, Illinois, E.U.A., julio de 1990.
 7. "*Micro PAVER - User's Guide -*", Versión 3.0, USACERL, Champaign, Illinois, E.U.A., enero de 1992.
 8. Shahin, M.Y., "*Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots*", Editorial Chapman & Hall, Nueva York, N.Y., E.U.A., 1994.
 9. Carey, W.N., e Irick, P.E., "*The Pavement Serviceability-Performance Concept*", Boletín Núm. 250 del *Highway Research Board* de los E.U.A., Washington, D.C., E.U.A., 1960.
 10. "*AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, 1986*", American Association of State Highway and Transportation Officials de los E.U.A., Washington, D.C., E.U.A., 1986.
 11. Uddin, Waheed, y George, K.P., "*User Cost Methodology for Investment Planning and Maintenance: Management of Roads and Highways*", *Transportation Research Record No. 1395*, Consejo de Investigación del Transporte (*Transportation Research Board*), Washington, D.C., E.U.A., 1993.

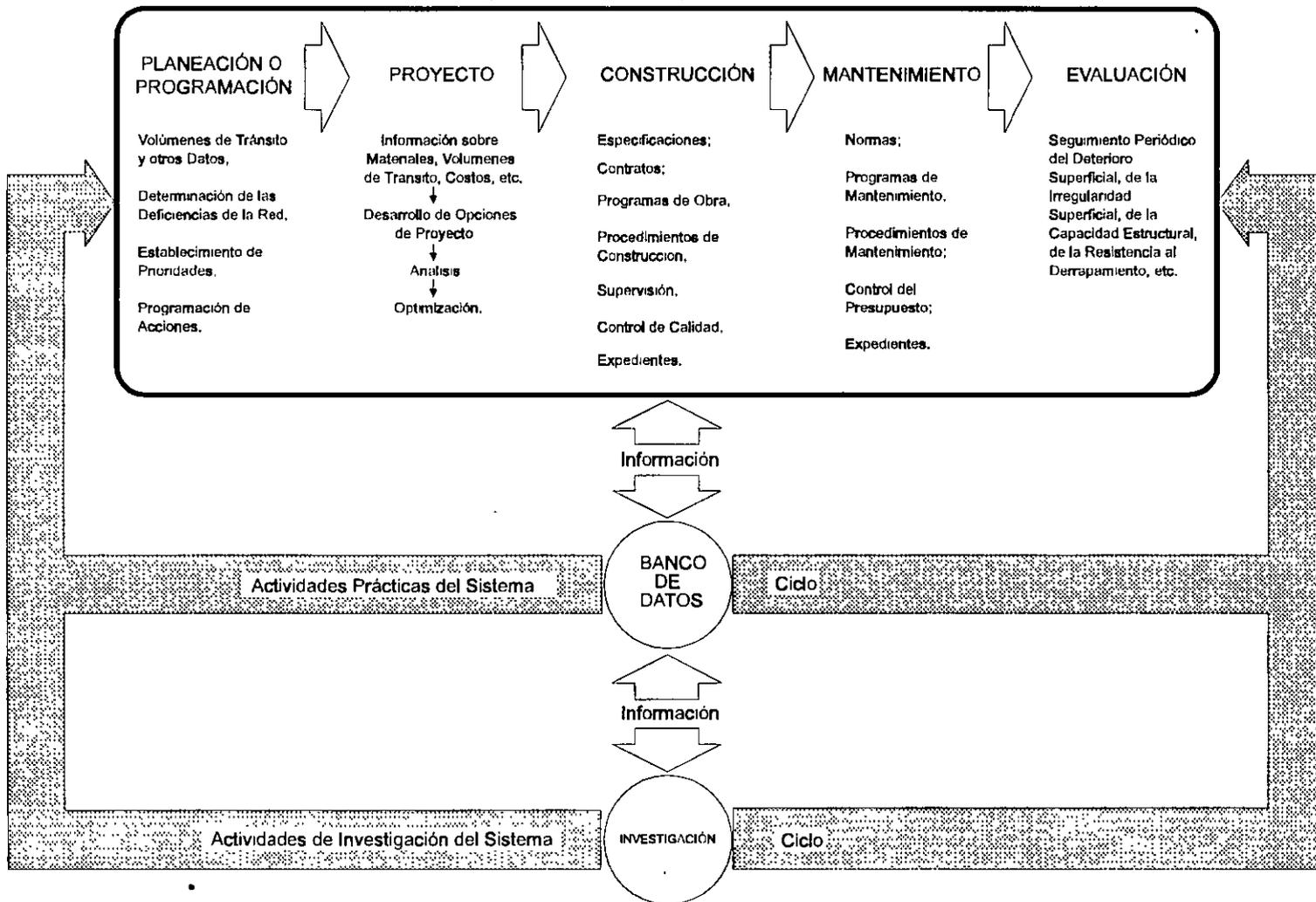


Figura 1. Principales actividades de un Sistema de Administración de Pavimentos.



Figura 2. Interrelación de los Grupos de Actividades de un Sistema de Administración de Pavimentos.

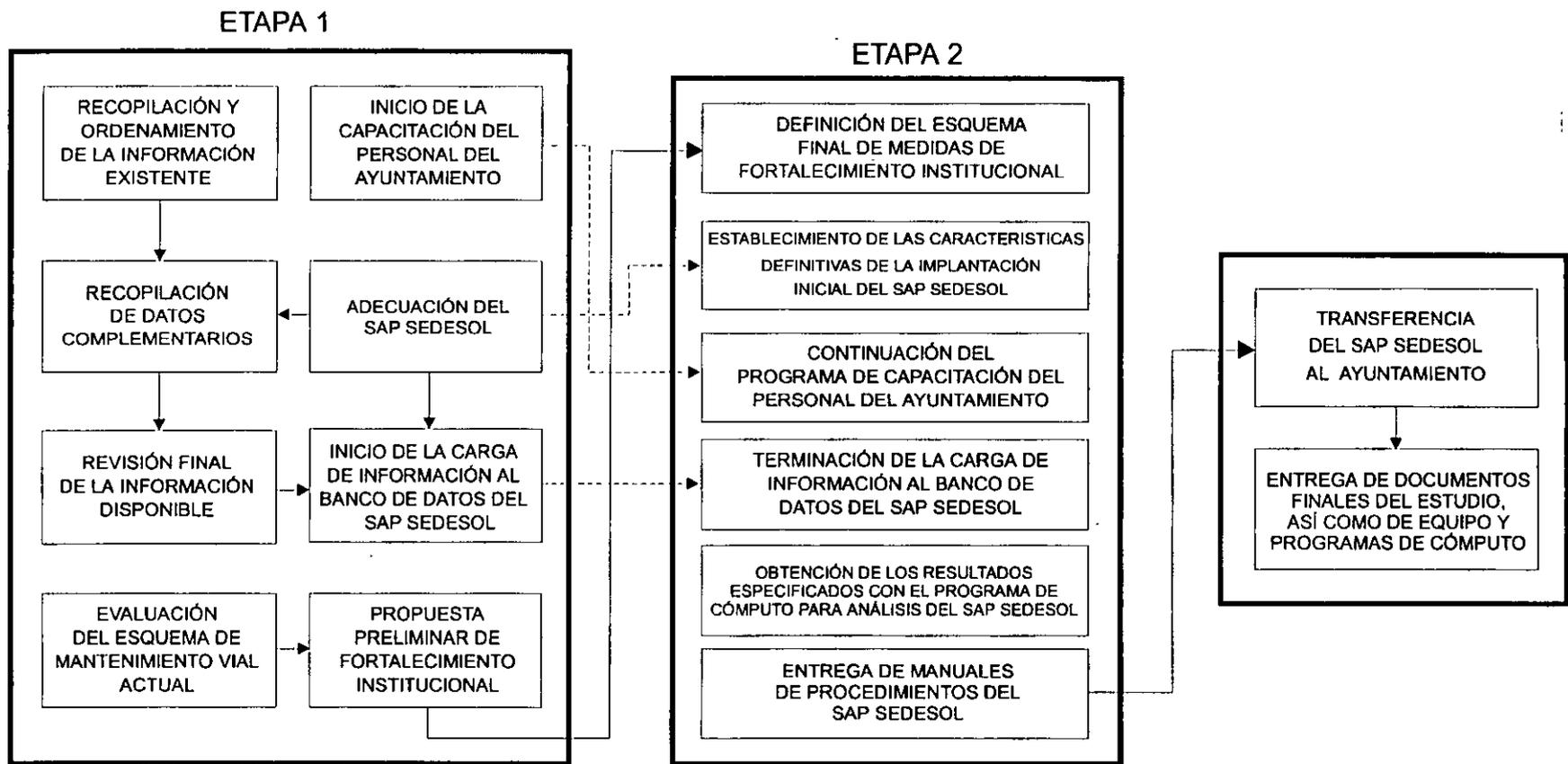


Figura 3. Principales actividades de la implantación inicial del SAP SEDESOL.

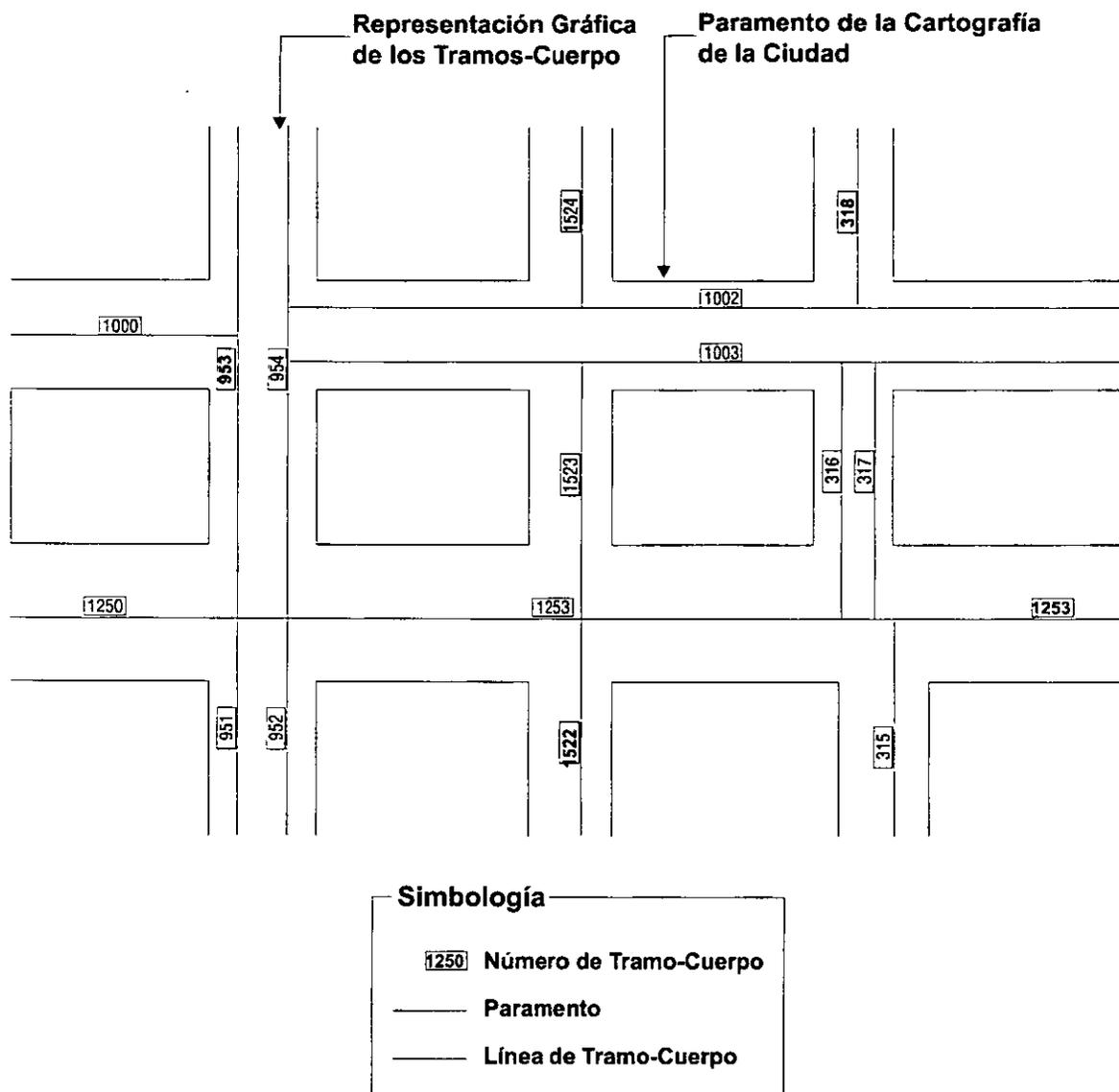


Figura 4. Ejemplo de la representación gráfica de los tramos-cuerpo, a partir de la cartografía de la Ciudad.

DENSIDAD DEL DETERIORO DE LA RED VIAL POR TIPO DE DEFECTO Y SEVERIDAD PAVIMENTO ASFÁLTICO

Criterio: Toda la Red Vial

Superficie Total, m²: 3,167,834

Longitud, km-cuerpo: 283 46

Número de Tramos-Cuerpo: 1,025

Tipo de Defecto	Densidad por Nivel de Severidad, %		
	Ligera	Moderada	Severa
1 - Agrietamiento de piel de cocodrilo.	3.68	2.42	2.09
2 - Exudación de asfalto.	0.50	0.89	0.11
3 - Agrietamiento con patrón de mapa.	0.00	0.00	0.00
4 - Bordo o depresión localizados.	0.00	0.00	0.00
5 - Ondulaciones transversales.	0.01	0.00	0.00
6 - Depresión por asentamiento.	0.15	0.09	0.08
7 - Agrietamiento en la orilla.	0.02	0.00	0.00
8 - Grietas de reflexión.	1.56	0.38	0.04
9 - Acotamiento en desnivel.	0.09	0.47	0.25
10 - Grietas longitudinales y transversales.	0.03	0.21	0.00
11 - Baches o cortes reparados en el pavimento.	1.86	0.85	0.20
12 - Textura lisa.	0.00	0.07	0.00
13 - Baches abiertos.	0.13	0.06	0.07
14 - Roderas.	1.67	0.04	0.00
15 - Corrimientos en la carpeta.	0.91	0.21	0.13
16 - Agrietamiento por deslizamiento.	0.00	0.00	0.00
17 - Levantamiento por expansión.	0.00	0.00	0.00
18 - Desgaste o erosión.	1.35	1.15	0.43

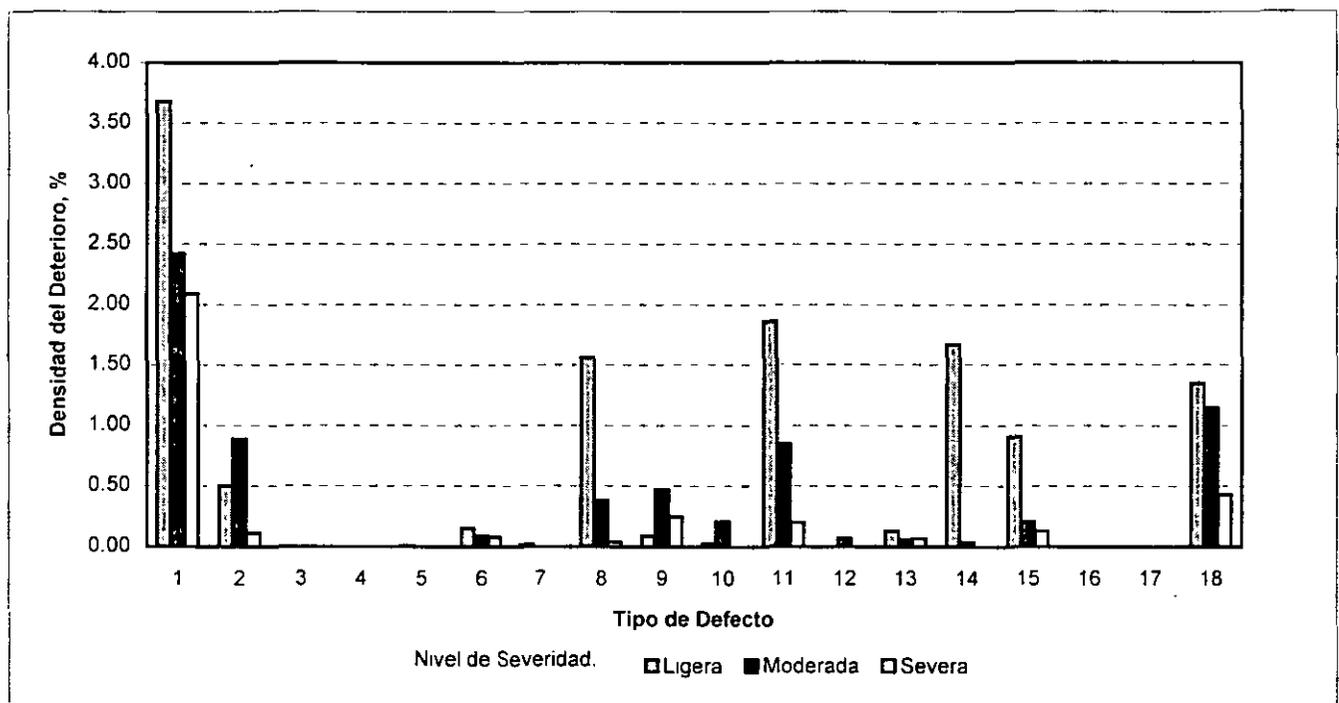


Figura 5. Resumen de los datos de deterioro superficial de los pavimentos asfálticos evaluados en la red vial de la Ciudad de Torreón, Coah., en el año de 1996.

Índice de la Condición del Pavimento

Criterio. Toda la Red Vial

Valor Promedio: 56.9

Valor Mínimo: 3.0

Valor Máximo: 100.0

Longitud Analizada, km-cuerpo: 333.29

Superficie Analizada, m²: 3,167,834

Número de Tramos-Cuerpo: 1,036

Intervalo del ICP	Número de Tramos	Distribución, %
0.0 a 10.0	25	2.41
10.1 a 20.0	99	9.56
20.1 a 30.0	69	6.66
30.1 a 40.0	89	8.59
40.1 a 50.0	96	9.27
50.1 a 60.0	120	11.58
60.1 a 70.0	143	13.80
70.1 a 80.0	134	12.93
80.1 a 90.0	112	10.81
90.1 a 100.0	149	14.38

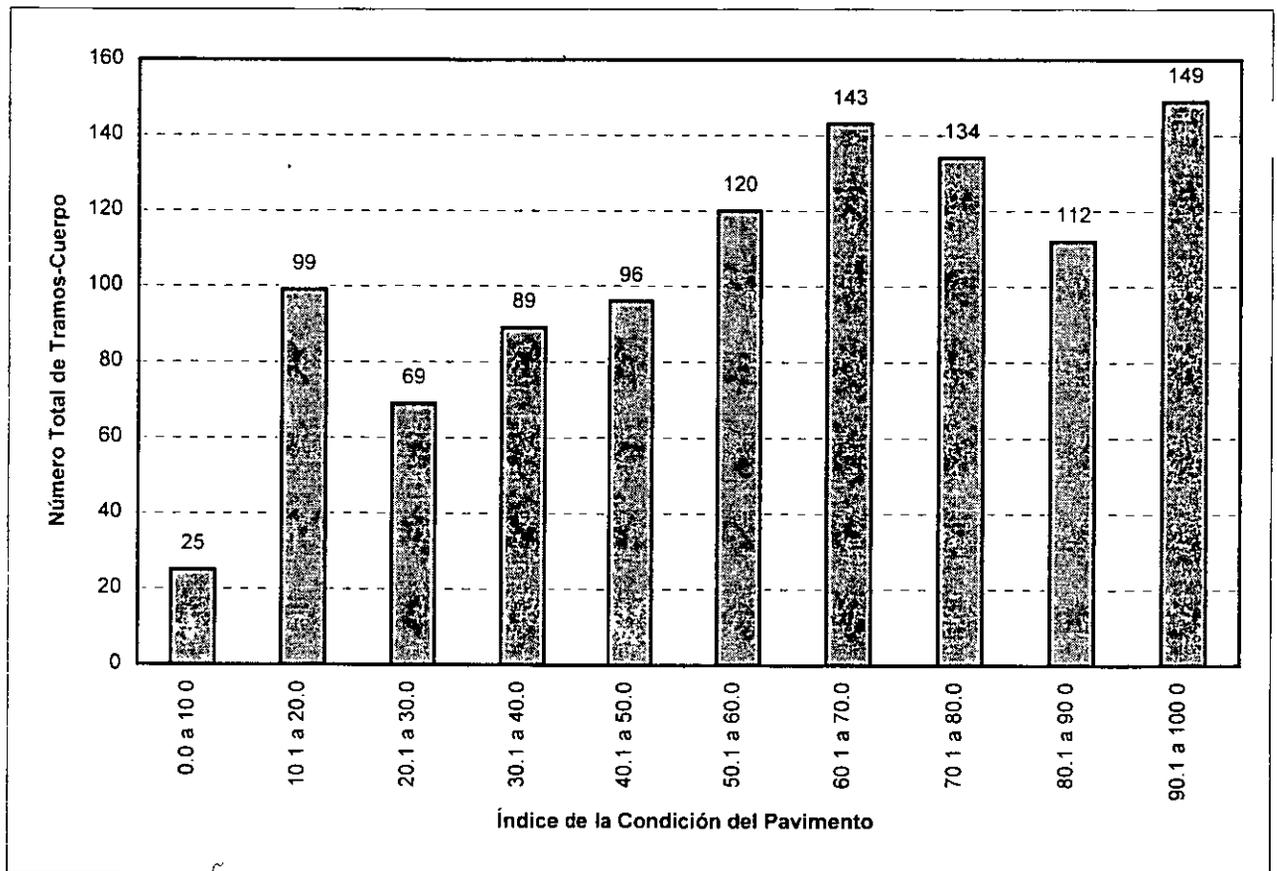


Figura 6. Resumen del Índice de la Condición del Pavimento (ICP) para toda la red vial evaluada en la implantación inicial del SAP SEDESOL en la Ciudad de Torreón, Coah., en el año de 1996.

Calificación de Servicio Actual

Criterio: Toda la Red Vial

Valor Promedio 2.57

Valor Mínimo: 1.20

Valor Máximo: 3.15

Longitud Analizada, km-cuerpo: 369.49

Superficie Analizada, m²: 3,444,114

Número de Tramos-Cuerpo: 1,076

Intervalo del CSA	Número de Tramos	Distribución, %
0.00 a 0.50	0	0.00
0.51 a 1.00	0	0.00
1.01 a 1.50	1	0.09
1.51 a 2.00	3	0.28
2.01 a 2.50	428	39.78
2.51 a 3.00	640	59.48
3.01 a 3.50	4	0.37
3.51 a 4.00	0	0.00

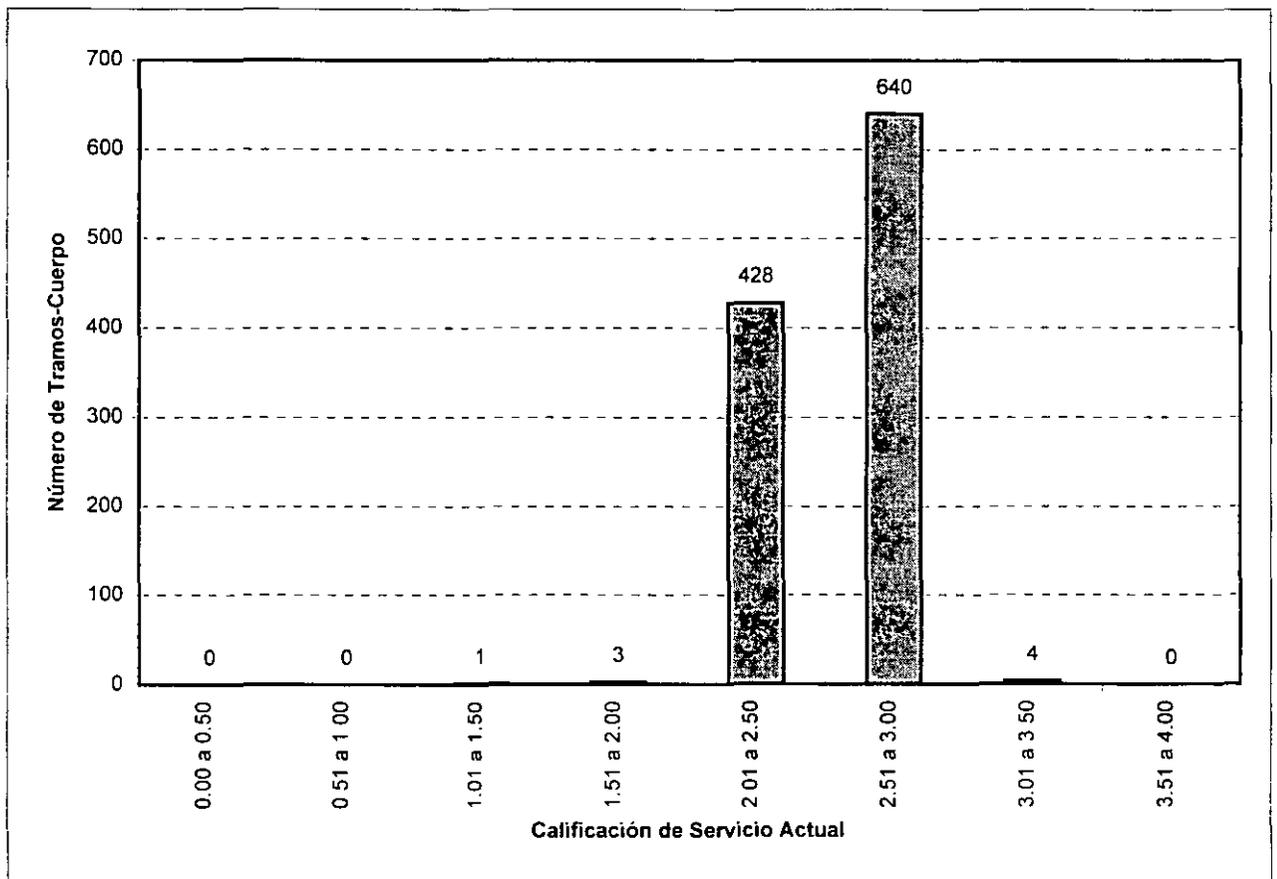


Figura 7. Resumen de la calificación de servicio actual (CSA) obtenida para toda la red vial evaluada en la implantación inicial del SAP SEDESOL en la Ciudad de Torreón, Coah., en el año de 1996.

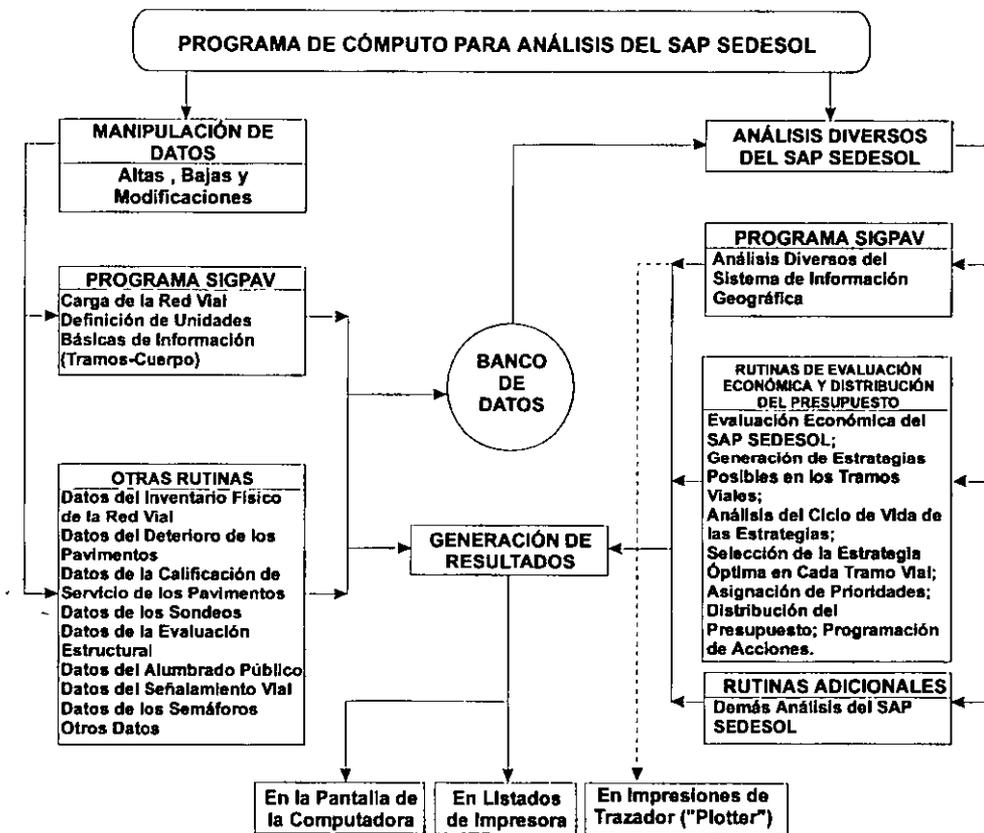


Figura 8. Esquema simplificado de los procesos principales del programa de cómputo para análisis del SAP SEDESOL.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

**SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE
PAVIMENTOS Y SU APLICACIÓN EN MÉXICO**

**ING. RODOLFO TELLEZ GUTIÉRREZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

DIPLOMADO EN PROYECTO,
CONSTRUCCION Y CONSERVACION
DE CARRETERAS

DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
U. N. A. M.

SISTEMAS DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS Y SU APLICACION EN MEXICO

ING. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

MODULO III
CONSERVACION Y OPERACION

JUNIO, 1998.

1. Introducción.

Los sistemas de administración o gestión de pavimentos tienen como finalidad ayudar a elaborar programas anuales de conservación, que distribuyan a las tareas que más convenga realizar los casi siempre limitados recursos disponibles.

En México se han realizado diversos esfuerzos por elaborar sistemas de gestión de pavimentos congruentes con la realidad nacional. Dentro de éstos se cuenta el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos, desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte.

Las prácticas de administración o gestión de pavimentos se basan en el concepto de encontrar una combinación económica de medidas a aplicar en cualquier momento para poder obtener un nivel de servicio deseado. Los sistemas de administración de pavimentos (SAP) pueden evaluar varias estrategias, usan los efectos esperados de las medidas de mantenimiento y rehabilitación sobre el comportamiento futuro de la superficie de los caminos para identificar aquellas secciones que necesiten un tratamiento, e identificar la combinación de medidas preventivas que proporcionen una condición global deseada, considerando las restricciones impuestas.

Desde un punto de vista amplio, la administración de pavimentos cubre todas las fases de la planeación, programación, análisis, diseño, construcción e investigación de los pavimentos. Puede llegar a considerar tanto las necesidades de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción de pavimentos existentes, como las necesidades de áreas adicionales de pavimento para aumentar la capacidad vial; no incluye mantenimiento rutinario (limpieza y reparación de taludes, señales, etc.), el cual suele enfrentarse a través de un presupuesto anual fijo reducido, que no requiere de un sistema o estrategia de gestión.

Los principales beneficios de la administración de pavimentos son:

- Uso más eficiente de los recursos disponibles.

- Una mayor habilidad para justificar y asegurar un mayor financiamiento para las actividades de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos.
- Una información más exacta y accesible sobre el estado de un sistema de vialidades.
- Habilidad para evaluar con el tiempo, el comportamiento de los tratamientos seleccionados.
- Habilidad de mostrar el impacto de distintas estrategias de financiamiento.

2. Aplicación del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos a la Red Carretera Federal del Estado de Puebla.

El Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos se define como el conjunto de actividades relacionadas con los procesos de organización, coordinación y control que afectan la funcionalidad, economía y vida útil de los pavimentos y que permiten una utilización adecuada de los recursos humanos y presupuestales disponibles. El Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos, para su operación, fue elaborado en dos módulos, uno técnico y otro económico; el primero permite conducir el proceso de recopilación de la información de campo requerida para la red bajo estudio, elaborar la base de datos con toda la información obtenida y generar distintos tipos de reportes a partir de dicha base de datos; el Módulo Económico permite realizar análisis de factibilidad económica para una serie de alternativas posibles de mantenimiento de los diferentes tramos, es una herramienta de cálculo computacional destinada a trabajar con los proyectos que han quedado igualados en los horizontes de calidad y tiempo al final de la etapa anterior. Las fases de éstos Módulos se muestran en la Figura 1.

Los parámetros que se evaluaron fueron los siguientes:

- Calidad de rodamiento mediante la calificación de servicio actual (CSA), el valor de un CSA de 2.5 es frecuentemente considerado como un valor de alerta, sin embargo en este estudio se fijó como límite de rechazo el valor de

CSA igual a 3.8 para permitir el análisis de un mayor número de tramos. En la mayoría de los segmentos en que se dividió la red se encuentran en estado "regular" (61.2%) y "bueno" (38.4%); y solamente 0.4% de los mismos se encuentra en estado "muy bueno"

- Información de tránsito. Los datos viales permitieron identificar, dentro de cada tramo, los subtramos con diferente nivel de tránsito, encontrándose TDPA desde 17,476 para el tramo Puebla-Izucar de Matamoros, así como tramos con TDPA de 649 como mínimo.
- Inventario de deterioros. Se registraron los distintos tipos de falla (roderas, baches, grietas longitudinales, grietas transversales y otros) que muestra la superficie de rodamiento de los tramos de la red carretera, evaluando la severidad en términos de una escala compuesta de los niveles de la A (despreciable) a la E (muy grave).
- Proyectos homogéneos de conservación. Se definieron los 57 proyectos los cuales guardaban relativa homogeneidad tanto en términos de nivel de tránsito como de estado superficial (CSA)
- Deflexiones y propiedades estructurales. En todos los segmentos de 5 km se midieron deflexiones utilizando Viga Benkelman, en los 500 m más críticos de cada segmento se tomaron 25 deflexiones para los distintos segmentos, una a cada 20 m. Los datos anteriores permitieron generar la información de deflexiones a nivel de los diferentes proyectos.
- Finalmente, para los segmentos que tuvieron deflexiones mayores de 1 mm se recabó información sobre la resistencia estructural del pavimento, en términos del espesor y el Valor Relativo de Soporte (VRS) de las distintas capas, la obtención del primero generalmente precisa de la obtención de muestras (corazones) mediante cilindros y taladros.

El programa piloto se llevó a cabo en los 1,166.01 km que constituyen la red federal del Estado de Puebla, de los cuales no cumplían con las especificaciones antes mencionadas ($CSA \leq 3.8$ y deflexiones > 1 mm) 362.44 km.

SISTEMA MEXICANO DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

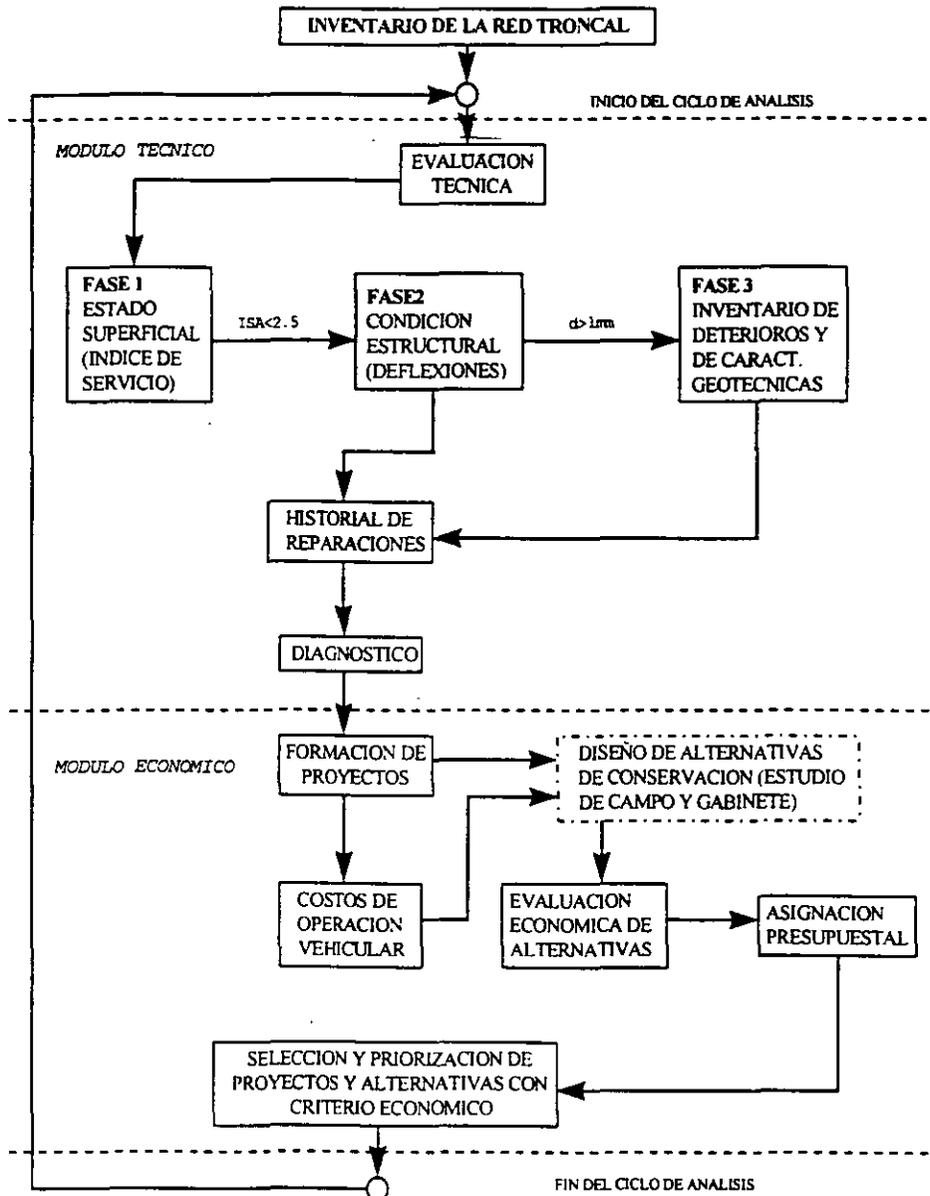


Figura 1. Fases del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

3. Resultados.

A partir del Módulo Técnico se obtuvo un reporte selectivo de tramos con CSA menor a 3.8 con la finalidad de considerarlos dentro de la evaluación económica. El reporte generado indicó que de los 57 tramos totales, debían descartarse 8 estableciendo un periodo de análisis de 15 años para todos los proyectos con una tasa anual de actualización de 12%. Los indicadores de rentabilidad económica para cada alternativa fueron el Valor Presente Neto (VPN) y la relación VPN/costo

Se propusieron 2 alternativas de conservación o mantenimiento de tipo periódico o correctivo, estableciéndose para cada una de ellas, el número de acciones de que constará, la vida útil, el valor de CSA que se recuperaría, la degradación del CSA en función de la vida útil y el costo de cada acción. Cabe destacar que cada proyecto contiene de una a tres alternativas, estableciéndose para los 49 proyectos, 105 alternativas en total.

No obstante que el monto necesario para atender la totalidad de la red fue de 200.41 millones de pesos, tomándose como restricción la inversión para el Estado durante 1997, que fue de 61.446 millones de pesos, distribuidos en acciones de conservación periódica y reconstrucción.

Los resultados aparecen en la Tabla 1, la cual incluye 12 proyectos. Adicionalmente se realizó otra evaluación con CSA menor a 3, obteniéndose los mismos resultados para los primeros 4 proyectos mostrados en la Tabla 1.

Con los resultados anteriores concluye estrictamente la aplicación del sistema; sin embargo, con la finalidad de ampliar la longitud atendida con los recursos disponibles, se propuso:

- Que los primeros 3 proyectos de la Tabla 1 representen el rubro de construcción, con una asignación de 31.475 millones de pesos, atendándose éstos en 2 años, por lo que en el primer año se actuaría sólo en la mitad de la

longitud total de los 3 proyectos con un costo de 29.622 millones de pesos. Asimismo, en el primer año se emprenderían las acciones correspondientes a la alternativa 1 del proyecto 21 (el cual tiene una longitud de 28.3 km), con un costo total de 2.264 millones de pesos. Así, el costo total para este rubro en el primer año sería de 31.886 millones de pesos con una longitud atendida en el primer año de 94.4 km.

En el mapa de la Figura 2 se muestran los tres tramos que deben atenderse para reconstrucción, según resultados del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

- Por lo que respecta al rubro de conservación periódica, al cual en 1997 se le asignaron 29.971 millones de pesos, se atenderían 2 proyectos que serían el 7 y 55, con un costo de 26.876 millones de pesos; adicionalmente se propuso atender los proyectos 18 y 27, con un costo de 3.024 millones de pesos. De esta manera la longitud total atendida en este rubro en el primer año sería de 111.20 km.

4. Conclusiones y Recomendaciones.

Con base en la experiencia obtenida en el Estado de Puebla se demostró que el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos es operable. A partir de la aplicación del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos en el Estado de Puebla se observó que con el valor de rechazo CSA menor o igual a 2.5, la longitud resultante de carreteras a estudiar era muy limitada; por esta razón, se dejó abierto este valor con el fin de que en aplicaciones posteriores del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos, el usuario lo establezca conforme a la calidad de servicio de sus carreteras y a los recursos financieros posibles.

Por otra parte se recomendaron las siguientes acciones:

- Aplicar el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos en las diferentes entidades federativas de la red federal y estatal de carreteras con el Índice de Servicio Actual y las deflexiones obtenidas durante los años de 1996.
- Actualizar los documentos técnicos relacionados con el sistema que contengan las modificaciones hechas al Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos durante el programa piloto en la red de carreteras federales del Estado de Puebla.
- Trabajar sobre la inclusión del módulo geográfico del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.
- Trabajar con la inclusión al Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos de los resultados obtenidos con los equipos de impacto KUAB y DYNATEST de tal manera que permita ingresar módulos elásticos o VRS y deflexiones obtenidas con estos equipos o con Viga Benkelman, como opciones.
- Medir el índice de rugosidad internacional (IRI) cada año en la red federal de carreteras, con la finalidad de tener mayor objetividad en los resultados del sistema.

Síntesis del documento "Aplicación del SIMAP a la Red Carretera Federal del Estado de Puebla", Mendoza A, Durán G, Mayoral E, et al. Instituto Mexicano del Transporte. Publicación Técnica en Edición. Sanfandila, Qro. 1997.

Tabla 1. Jerarquización de los Proyectos por el Valor Presente Neto de la Alternativa más Rentable (Tramos con ISA menor o igual a 3.8).

PROYECTO No.	ALTERNATIVA OPTIMA	VPN (miles \$)	LONGITUD ACUMULADA (km)	COSTOS EN EL AÑO 1 (miles de \$)	
				PROYECTO	ACUMULADO
29	1.2	646,313.25	62.50	22,187.50	22,187.50
2	3.2	581,488.43	109.00	24,877.50	47,065.00
20	1.2	474,353.43	132.20	12,180.00	59,245.00
7	1.2	409,259.45	159.80	16,146.00	75,391.00
56	2.4	371,675.50	229.50	12,894.50	88,285.50
55	2.4	346,634.79	287.50	10,730.00	99,015.50
9	2	281,156.23	323.60	6,678.50	105,694.00
18	2	259,900.29	332.90	1,720.50	107,414.50
15	2	224,470.36	380.40	1,622.50	109,077.00
19	1.2	206,967.64	392.70	4,366.50	113,443.50
27	5	205,788.79	409.00	1,304.00	114,747.50
5	2	189,639.22	449.00	5,600.00	120,347.50
				Otros	83,729.85
				Total	204,077.35

Nota:

Todas las alternativas incluyen riego de sello.

- (1) Recubrimiento del pavimento estabilizado con emulsión
- (2) Carpeta de concreto asfáltico
- (3) Recubrimiento del pavimento con material de banco
- (4) Renivelación de sello
- (5) Renivelación con concreto asfáltico

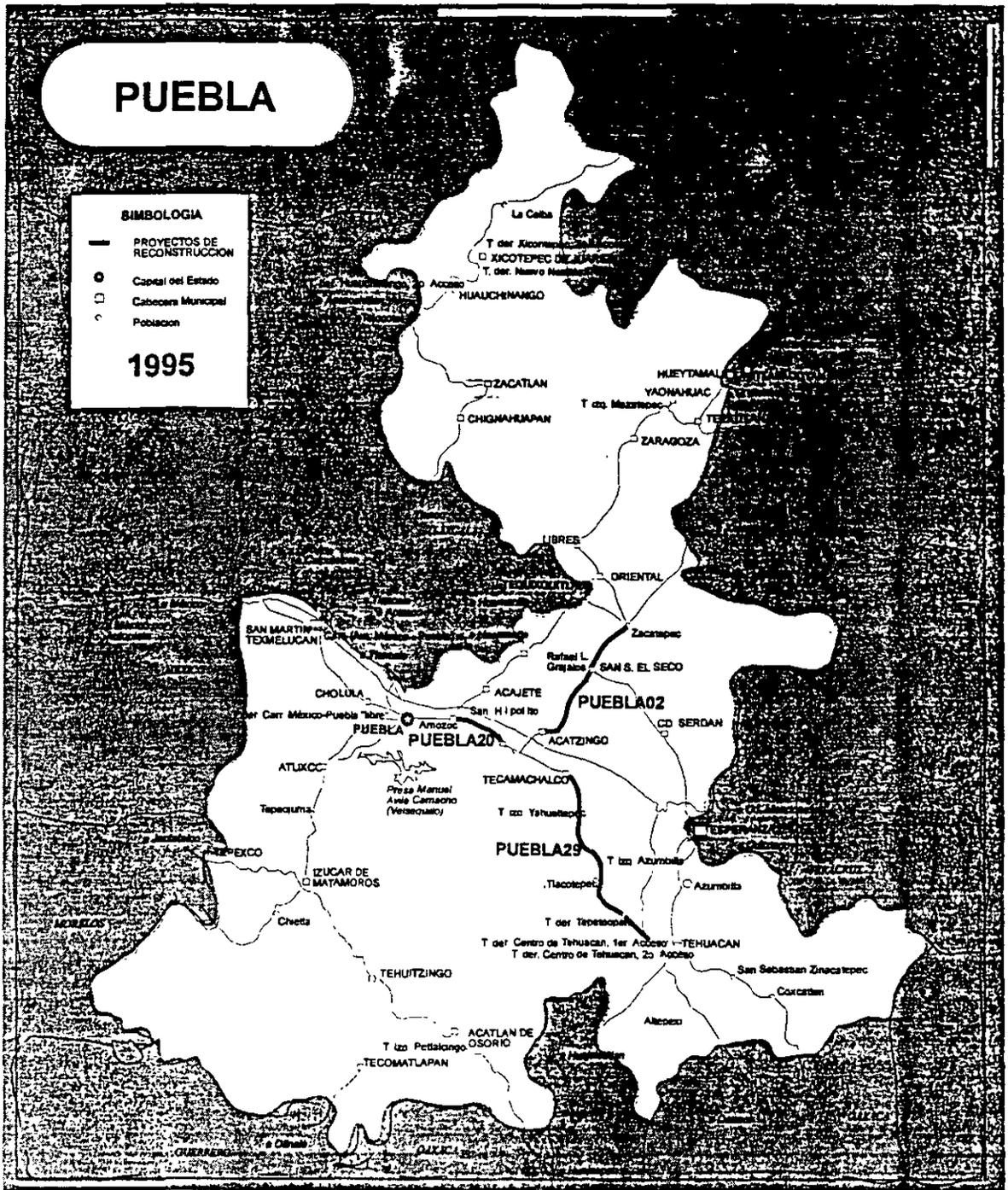


Figura 2. Resultados del Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos.

SISTEMAS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS EN EUROPA.

En las páginas siguientes se describen en forma breve cinco Sistemas de Monitoreo para el Comportamiento de Carreteras utilizados a la fecha en Europa. Se describen los sistemas de Finlandia, Francia, Suecia, Inglaterra y el nuevo Sistema propuesto por el Banco Mundial, HDM-4.

También se incluyen algunas observaciones generales donde se muestran ventajas y desventajas, así como el Sistema Ideal que propone la Asociación Mundial de Carreteras-AIPCR (PIARC).

FINLANDIA.

El sistema de administración de pavimentos en Finlandia es utilizado en la red de 77,000 kilómetros, a cargo de una Administración Central y 9 oficinas regionales. Las variables principales que intervienen son: roderas, rugosidad, deterioros superficiales, para obtener la condición superficial y la capacidad soporte para la condición estructural.

La base de datos es utilizada para condiciones existentes actuales y se segmenta en tramos de 100 metros de carretera. Se incluye el Módulo RDB, historial del camino y del subsistema KURRE para la predicción en el comportamiento de los pavimentos.

Los resultados que se obtienen entre otros, son la distribución de recursos presupuestales existentes, condiciones óptimas en el largo plazo y su presupuesto requerido, condiciones óptimas en el corto plazo y la distribución de recursos económicos entre las 9 regiones totales.

FRANCIA.

Este país europeo cuenta con una red nacional de carreteras de 30,000 kilómetros cuya responsabilidad recae en una administración central y 100 oficinas locales; una red departamental de 350,000 kilómetros y una red comunal de 600,000 kilómetros de longitud.

Los sistemas de gestión utilizados son el VISAGE, SIMULIKRN y GIRR; cuyas herramientas de software son similares para la red nacional y red local, sólo que están adaptadas a cada caso; incluyen bases de datos, catálogos, especificaciones y mapas o diagramas.

Variables:

Condición visual

Resistencia al derrapamiento

Tipo de carretera del pavimento

Tránsito

Categoría del camino

Usuarios y costos de operación no se toman en cuenta directamente

Resultados:

Escala de evaluación nacional (IQRN). Se simulan condiciones en período de 35 años obteniéndose evaluaciones globales de las secciones de los pavimentos y los costos para la agencia. Programan trabajos sobre el pavimento. Solo se utiliza el sistema con pavimento flexible. Para pavimentos rígidos está en desarrollo el sistema. Se juzgan tramos de 200 metros.

SUECIA.

Cuenta con una red carretera estatal de 98,000 Kilómetros de longitud, controlada por 7 oficinas regionales, una municipal de 37,000 kilómetros, una red privada con subsidio de 75,000 kilómetros y una red privada independiente con 212,000 kilómetros de longitud.

Sistemas:

SNRA, HITPS, PMS.

Variables:

Mediciones de condiciones existentes y deterioros del camino (con equipos láser desde 1987).

Roderas

Rugosidad

Se correlacionan con control de calidad en campo

Perfil transversal y longitudinal

Inspección visual

Análisis deflexiones (FWD)

Módulos del Sistema:

Base datos con historial de las condiciones (1987)

Administración de datos

Modelo de deterioro

Modelo de costos usuarios

Selección de estrategia

Priorización

Mapas, tablas, datos numéricos

INGLATERRA

Sistemas:

NETTER-PMS

Características:

- Usan método básico del HDM-III para proyección del deterioro en pavimentos y para el cálculo de costos de operación vehicular.
- La teoría fundamental es similar a la del sistema del Banco Mundial, pero incluye novedades como:
 - Diseño de pavimentos y sobrecarpeta de refuerzo.
 - Costos de mantenimiento de rutina.
 - Interacciones del vehículo-pavimento, incluyendo efectos de la rugosidad y costos de operación por retrasos durante acciones de conservación.
 - Restricciones presupuestales y sus efectos año con año.
 - Priorización de escenarios por valor económico o por su condición.
- El modelo actual es complejo y debe ser calibrado cuidadosamente para considerar condiciones locales.
- Sistema utilizado en India y Malasia.

BANCO MUNDIAL HDM-4

Metodología original de HDM-III mejorada y ampliada en tres áreas: análisis del proyecto; análisis de la programación de trabajos y planeación estratégica.

Incluye análisis de congestionamiento del tránsito, pavimentos de concreto, drenaje, medio ambiente y efectos en la seguridad; determina costos de operación de vehículos, accidentes carreteros y tiempos de recorrido del usuario; obtiene

efectos de la emisiones de vehículos de transporte y finalmente predice cifras de accidentes viales junto con los costos asociados.

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

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

Utiliza el IRI para medir rugosidad y efectuar el análisis a nivel de proyecto.

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

OBSERVACIONES GENERALES.

1. Los sistemas HDM-4 y Sueco están todavía en desarrollo.
2. El sistema Inglés solo se utiliza en India y Malasia.
3. Los sistemas Francés y Finlandés son bastante complicados, pues requieren en los módulos de análisis, mucha experiencia en el uso del sistema, pareciendo una "caja negra".
4. PIARC considera que cualquiera de los 5 sistemas expuestos, son útiles y proveen resultados confiables, cuando se emplean adecuadamente por expertos.
5. En el futuro, se siente que el HDM-4 será el sistema más flexible y amigable entre los analizados.
6. Entre los costos globales involucrados, la obtención de datos en campo repercute de 1-2% del presupuesto total de conservación.

7. Excepto el sistema Francés, los demás consideran en su metodología "costos de operación"

8. "SISTEMA IDEAL".

Características:

- a) Confiabilidad en datos de entrada y de salida.
- b) Flexibilidad y sencillez del sistema (Use friendly).
- c) Costos de operación del sistema 1-2% del presupuesto de conservación.
- d) Modelo económico del sistema deberá basarse en optimización matemática.
- e) Los costos de operación de usuarios deben incluirse.
- f) Importante contar con el valor presente neto y tasa de retorno o equivalente.
- g) Modelos deben utilizarse entre los diferentes niveles de la organización o dependencia.
- h) Asignación de recursos entre diferentes regiones, tipos de camino y varias actividades de mantenimiento.
- i) Considerar factores políticos, económicos e ingenieriles en el proceso de toma de decisiones.
- j) HDM-4 es el que más se acerca al sistema ideal, pero recordar que aún está en desarrollo y no existe prueba actual de su funcionamiento práctico.

REFERENCIAS.

- 1. AIPCR: "Sistemas de Monitoreo para el Comportamiento de Carreteras", 1997.
- 2. Documento Técnico No. 3, SIMAP, Primera Fase. IMT.

3. Documento Técnico No. 4, SIMAP, Manual Operativo de Campo IMT.
4. Documento Técnico No. 5, SIMAP, Manual del Usuario, IMT.
5. Documento Técnico No. 9, Módulo Económico del SIMAP, IMT.
6. Documento Técnico No. 11, Estrategia para la Conservación de la Red Carretera. IMT
7. Documento Técnico No. 15, Versión 2 del SIMAP. IMT

"NUEVAS TECNOLOGIAS PARA LA PROSPECCION Y ANALISIS DE LAS CONDICIONES FISICAS DE LA RED CARRETERA"

PONENTE: ING. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

I. ANTECEDENTES.

Desde la construcción de la primera carretera formal México-Puebla en 1926, hasta la construcción de las modernas autopistas concesionadas de altas especificaciones en los noventas, se observa un importante período durante el cual se logró la construcción de la infraestructura actual, que ostenta el quinto lugar de América y con una longitud de vías terrestres del orden de 300000 kilómetros. Se estima que los ingenieros camineros del Sector así como los contratistas constructores, desempeñaron un magnífico papel proyectando, construyendo y conservando estas vías, con tan buen desempeño que muchas de ellas, con edades que varían entre los cuarenta y sesenta años o más, continúan prestando un servicio adecuado dentro de límites razonables.

Sin embargo, el México descrito no tiene nada que ver con el presente y el futuro inmediato. Los actuales volúmenes de tránsito, cargas transmitidas por eje y dimensiones, demandan un cambio de mentalidad en todos los ingenieros, reconociendo que lo pasado fue bueno en su momento. Es por lo anterior que los ingenieros de vías terrestres, deberán estar conscientes y abiertos a las nuevas tecnologías de materiales, normas, métodos de diseño, procedimientos constructivos y en especial, a innovaciones que cubran el espectro de una estrategia óptima para la conservación de la red carretera.

Dentro de este último rubro y como herramienta fundamental de los Sistemas de Administración de Pavimentos y de una Estrategia de Conservación adecuada, se expondrán en la presente ponencia tecnologías y equipos que actualmente disponen los Sectores Público y Privado en México y el Estado del Arte en equipos automatizados para la medición de deterioros en pavimentos con que cuentan otros países.

De esta manera, el lector y/o asistente al evento, podrá hacer sus propias conclusiones y determinar si realmente el actual estatus en México sobre esta tecnología es suficiente o se requiere el cambio de mentalidad citado.

La primera parte de esta ponencia será presentada a ustedes, para fines prácticos y en obvio del tiempo, proyectando un video de siete minutos de duración, elaborado y editado por el Instituto Mexicano del Transporte, producto de una práctica de campo del Curso Internacional sobre Conservación de Carreteras, que desde hace siete años se viene impartiendo. En él, se aprecian los equipos tradicionales y los automatizados que generalmente se utilizan en México, mostrándose los que pertenecen a diversos Organismos Gubernamentales, tales como la Dirección General de Servicios Técnicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Aeropuertos y Servicios Auxiliares, empresas consultoras de estudios y proyectos y otros propiedad del Instituto Mexicano del Transporte utilizados para fines de investigación. Estos equipos se enlistan en la tabla resumen anexa al final del capítulo de acuerdo a los parámetros que proporcionan.

La segunda parte de la ponencia será expuesta con el apoyo de transparencias a color de 35 milímetros y serán mostradas a los asistentes agrupadas con el mismo criterio usado en la primera parte, para facilitar su comparación. Se cubrirá el Estado del Arte, mostrando las innovaciones tecnológicas recientes para la medición automatizada de deterioros en pavimentos flexibles y rígidos de carreteras y aeropuertos.

II. SITUACION ACTUAL EN MEXICO

1. SELECCION DE TRAMOS CRITICOS.

1.1 *Obtención del Índice de Servicio Actual (ISA).*- El Índice de Servicio es la calificación promedio que varía, desde cero para caminos intransitables, hasta cinco para los excelentes, que un grupo de 4 o 5 usuarios otorga subjetivamente al recorrer el camino en un vehículo adecuado y a velocidad normal de operación, en base al grado de confort y seguridad que proporciona la superficie de rodamiento. Dicha calificación se obtiene para cada cinco kilómetros y permite seleccionar los tramos más deteriorados que requieren mayores estudios.

1.2 *Vehículo automatizado para Inventarios del Camino.*- Este vehículo, al recorrer el camino a una velocidad promedio de cincuenta kilómetros por hora recopila, mediante video, el estado actual de la superficie de rodamiento, relacionándolo con la geometría del camino y con los espesores del pavimento que obtiene a través de un radar. Asimismo, determina el Índice Internacional de Rugosidad (IRI) de la superficie. La información obtenida también permite seleccionar los tramos más deteriorados que requieren mayores estudios.

2. DETERMINACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

2.1 *Levantamiento Visual de Daños.*- De los tramos más deteriorados del pavimento en estudio, se escogen subtramos representativos que son revisados con mayor detalle. De estos subtramos, los técnicos capacitados hacen el levantamiento visual de daños en la superficie de rodamiento, que permitirá diagnosticar con el apoyo de un catálogo de deterioros, las causas probables que contribuyeron a su deterioro.

- 2.2 **Perfilógrafo Transversal Francés.**- Con el perfilógrafo transversal, se obtienen los perfiles detallados de secciones transversales del pavimento, los que son graficados automáticamente y que muestran las deformaciones de carácter permanente que ha sufrido la superficie de rodamiento, tales como protuberancias, roderas y/o depresiones, que pueden evidenciar fallas estructurales del pavimento. El número y magnitud de dichas deformaciones tienen relación directa con la seguridad y el confort del usuario.
- 2.3 **Perfilógrafo Longitudinal Inglés.**- El perfilógrafo longitudinal inglés permite obtener gráficamente, los perfiles longitudinales en las rodadas sobre el pavimento, los que muestran las deformaciones permanentes de la superficie de rodamiento, como ondulaciones transversales y/o depresiones que pueden ser evidencia de fallas estructurales del pavimento o, mala calidad en la superficie acabada y que influyen en la seguridad y confort del usuario.
- 2.4 **Perfilógrafo Longitudinal Americano, HVeem.**- Las irregularidades longitudinales de la superficie de rodamiento pueden producir vibraciones excesivas en los equipos de transporte, con los consecuentes esfuerzos adicionales, tanto en la estructura de los vehículos, que en el caso de las aeronaves son de gran importancia, como en el propio pavimento. Estas irregularidades se obtienen gráficamente con el perfilógrafo longitudinal de Veem mediante un perfilograma, con el que se calcula el índice de perfil, que es un índice de la rugosidad del pavimento en porcentajes.
- 2.5 **Medición de Rugosidad MAYS-METER.**- Este equipo, al ser remolcado por un vehículo a la velocidad de operación normal, recopila gráficamente la sumatoria relativa de los movimientos verticales que tiene su eje de medición con respecto al vehículo, y que está relacionada con la rugosidad del pavimento.
- 2.6 **Péndulo de Fricción.**- Es muy importante para la seguridad del usuario la resistencia del pavimento al derrapamiento, que está en función de la fricción que se desarrolla entre las llantas de un vehículo y la superficie de rodamiento. Esta resistencia se evalúa en base al

desplazamiento de una zapata en el extremo de un péndulo, que al caer, golpea tangencialmente la superficie de rodamiento en seco o mojado.

2.7 Medición de Fricción MU-METER.- Con este aparato, al ser remolcado por un vehículo a tres velocidades constantes, baja, media y alta, se obtiene gráficamente el coeficiente de rozamiento del pavimento seco y mojado, que es la relación que existe entre la fuerza de fricción que sobre la superficie de rodamiento desarrollan dos llantas esviajadas con respecto a la línea de arrastre y la fuerza normal a la superficie de apoyo.

3. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.

3.1 Determinación de Deflexiones VIGA BENKELMAN.- Este equipo permite medir, mediante un brazo móvil acoplado a uno fijo, las deflexiones que en un pavimento asfáltico son producidas por las llantas de un camión lastrado con un peso estándar de 8.2 toneladas por eje. Con las deflexiones obtenidas y la totalidad de ejes equivalentes que pasan por el camino, acumulados en el período de diseño, se infiere la capacidad estructural del pavimento en estudio.

3.2 Determinación de Deflexiones DYNAFLECT.- Con este equipo se miden las deflexiones del pavimento asfáltico producidas por una carga dinámica de tipo oscilatorio. El aparato medidor viaja en un remolque, arrastrado por un vehículo en el que se disponen los controles de medición. El aparato transmite impactos sobre el pavimento cuyos efectos son recogidos por un sistema de cinco geófonos alineados y que representan las deflexiones que permiten estimar la capacidad estructural del pavimento.

3.3 Medición de Deflexiones Dinámicas KUAB.- Analiza la capacidad estructural del pavimento en base a deflexiones producidas por un dispositivo de impacto. Este equipo es altamente recomendable para evaluaciones de redes carreteras de longitudes considerables por su alta eficiencia. Se puede aplicar tanto para evaluación de pavimentos modestos, hasta secciones muy resistentes como las diseñadas para aeropuertos. Se transmiten cargas desde dos hasta treinta toneladas. Registra temperaturas ambiental y del pavimento y cuando se

requiere, extrae corazones para determinación de espesores y calidades de materiales que forman las diferentes capas.

3.4 *Medición de Deflexiones Dinámicas DYNATEST.*- Se obtiene la capacidad estructural del pavimento a través de deflexiones registradas por siete y hasta nueve sensores. La carga dinámica es transmitida por impactos, con la gran ventaja de poder variar la carga transmitida a juicio del ingeniero valuador y dependiendo del pavimento en estudio. También es un equipo de alta eficiencia.

CUADRO RESUMEN DE EVALUACION DE PAVIMENTOS

I. SELECCION DE TRAMOS CRITICOS	II. DETERMINACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE	III. DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL
1.1 Obtención del Índice de Servicio Actual (ISA): - Calificación Subjetiva (0-5) - Índice de Confort - un vehículo - 4 Valuadores - Subtramos de 5 Km. - Velocidad: operación promedio del tramo	2.1 Levantamiento visual de daños: - Tramos críticos - Recorrido a pié - Catálogo de Deterioros (IMT, P.T. 21) - Formatos - Regla de 3 metros - Cámara fotográfica	3.1 Determinación de deflexiones, Viga Benkelman: - Capacidad estructural - Medición lenta - Peso por eje fijo - Deformación 1 micrómetro - Carga estática
1.2 Vehículo Automatizado para Inventarios: - Calificación medida (0-10) - IRI - Velocidad promedio 40 Km /hr. - Sistema video, radar y cómputo - Deterioros superficiales - Espesores 60-80 cm.	2.2 Perfilógrafo Transversal Francés: - Perfiles de la sección T - Deformación permanente - Ancho carril de diseño	3.2 Determinación de deflexiones, Dynaflect: - Capacidad estructural - Peso por eje fijo - Deformación 5 geófonos - Medición media - Carga dinámica
	2.3 Perfilógrafo Longitudinal Inglés: - Perfil longitudinal - Deformación permanente - Índice en porcentajes - Viga corta - Velocidad: 3 Km./hr. - Equipo portátil	3.3 Medición de deflexiones dinámicas, Kuab: - Capacidad estructural - Peso por eje variable - Deformación 7 sensores - Medición rápida - Cargas dinámicas - Alta precisión - Equipo computarizado - Extracción corazones
	2.4 Perfilógrafo Longitudinal Americano, HVeem: - Perfil longitudinal - Deformación permanente - Índice en porcentajes - Velocidad: 3 Km./hr. - Viga de 7.5 m.	3.4. Medición de deflexiones dinámicas, Dynatest: - Capacidad estructural - Peso por eje variable - Deformación 7-9 sensores - Medición rápida - Cargas dinámicas - Alta precisión - Equipo computarizado
	2.5 Medición de Rugosidad Mays-Meter: - Velocidad continua (30-80 Km./hr.) - Rugosidad acumulada - Sumatoria IRI	
	2.6 Péndulo de Fricción: - Coeficiente de Fricción fijo - Equipo portátil - Seco/mojado - Índice Guía	
	2.7 Medidor de Fricción Mu-meter: - Coeficiente de Fricción dinámico - Índice real - Pavimento seco/mojado - 3 velocidades (B,M,A)	

III. ESTADO DEL ARTE EN EL TEMA.

Este capítulo de la ponencia describe básicamente el estado del arte en equipos automatizados para la medición de deterioros en pavimentos, basándose en observaciones y resultados del Seminario Técnico organizado por la Universidad de Iowa y el Departamento de Transportes del mismo estado, al que asistieron delegaciones de Estados Unidos, Japón, Australia, Suiza, Alemania, Holanda, Francia, Austria, Inglaterra, Canadá y México.

La parte teórica conceptual del Seminario fue cubierta por 38 expositores de primer nivel. Así también, fabricantes de equipos mostraron sus innovaciones en cuanto a la tecnología más avanzada, habiéndose tenido la oportunidad de observarlos en operación, haciendo mediciones reales en tramos de carreteras cercanas.

Brevemente se describirán cada uno de los equipos, sus componentes básicos, parámetros que pueden obtener, país que los fabrica, así como observaciones generales que se consideran pertinentes, incluyendo costos.

RODAR

El sistema **RODAR** es un equipo fabricado en Houston, Tex., E.U.A., por la empresa Pulse Radar. Funciona a base de sistemas de radar y computadoras del tipo PC; cuenta con la recomendación de la ASTM y SHRP para la obtención de los deterioros en pavimentos.

Los parámetros que se obtienen se consideran muy importantes: registra espesores de pavimento y losas de puentes hasta una profundidad de 60 cm. Localiza el acero de refuerzo interno y el utilizado para juntas entre losas. Detecta hoquedades internas en losas y pavimentos.

Por último, se obtiene el porcentaje de humedad de las diferentes capas que conforman la estructura de un pavimento, lo que auxilia al proyectista o responsable para determinar el comportamiento del subdrenaje interno.

El equipo puede operarse desde 5 hasta 40 millas/hr.; su uso es altamente recomendado, en especial para puentes. Se hace notar que es un equipo experimental que a la fecha no tiene costo de adquisición. Sin embargo, la empresa ofrece la renta del servicio a un costo de 20 centavos de dólar/pie cuadrado.

ARAN

Equipo fabricado por un consorcio franco-canadiense denominado *ARAN*. Funciona básicamente con sistemas de video de alta velocidad, ultrasonido y apoyado por computadoras del tipo P.C.

Los parámetros que se obtienen con el uso de este equipo automatizado son los siguientes: rugosidad en ambas huellas delanteras del vehículo; perfil longitudinal a través de acelerómetros colocados en el eje trasero y en combinación con el movimiento de la carrocería; roderas o canalizaciones que se forman en el pavimento a través de sensores ultrasónicos separados 4 pulgadas cada uno.

Ventajas: Cuenta con un sistema de video de alta velocidad (30 cuadros/segundo), lo que permite disponer de registros permanentes. Su velocidad de operación es de 60 millas/hr., por lo que no interrumpe la corriente vehicular de la carretera.

Desventaja: Lluvia y humedad afectan el comportamiento del ultrasonido, por lo que el equipo pudiera restringirse a regiones particulares.

El costo actual del equipo descrito es de 162,000 dólares.



El equipo *PASCO* es fabricado en Pensilvania, E.U.A. Cuentan con unidades que actualmente se emplean en varios estados de la Unión Americana, así como en investigaciones de organismos como SHRP y AASHTO.

Funciona con cámaras de 35 mm. automáticas y de alta velocidad, por lo que logra captar todos y cada uno de los deterioros en la superficie de rodamiento. Las velocidades de operación de las cámaras son de 1/2000 a 1/10000 de segundo.

Las cámaras son auxiliadas con 2 sistemas especiales de luz: uno frontal del tipo halógeno, con pantallas que dirigen la luz con cierta inclinación e intensidad sobre la superficie de rodamiento, para así poder fotografiar perfectamente todos y cada uno de los deterioros y otro trasero del tipo "estrobe", que junto con una cámara posterior, auxilia y corrobora las fotografías obtenidas en la parte frontal.

Todo lo anterior, requiere del apoyo de un sistema de cómputo IBM o compatible, que procesará la información. Cuenta también con una unidad opcional de ultrasonido, que permite determinar datos adicionales.

Los parámetros que se obtienen con esta unidad son: todo tipo de grietas, roderas o canalizaciones; índice internacional de rugosidad, perfiles transversales y longitudinales del camino por evaluar; una gran ventaja es la determinación de las características geométricas del camino.

Su velocidad de operación es de 50 a 55 millas/hr., procurando que la evaluación sea nocturna. El costo aproximado de este equipo es de 500,000 dólares. El fabricante también ofrece la opción de renta, con personal que opere y dé mantenimiento. La cuota es de 25 a 50 dólares por milla.

PAVE TECH

El equipo *PAVE TECH*, fabricado en Oklahoma, E.U.A., desarrolla su trabajo a través de múltiples sistemas de video y computadoras del tipo PC, mismas que se encargan de digitalizar en 3 dimensiones todas las lecturas registradas. Identifica, mide, cuantifica y procesa todos los datos.

Obtiene los siguientes parámetros: roderas o canalizaciones; rugosidad; todo tipo de grietas; perfiles, opcionalmente. Ventajas adicionales: 100% de cobertura del pavimento en estudio. Logra con una cámara central colocada en el techo, el inventario del señalamiento geométrico. Los resultados se indican en 3 dimensiones: deterioro, tamaño del mismo y severidad. Su costo es de 300,000 dólares.

LASER IMS

El equipo que se describe a continuación es fabricado en Suiza y se denomina *LASER IMS*. Funciona básicamente con 11 cámaras de rayos láser con velocidad de obturación de 1/32,000 de segundo. Se auxilia con computadoras y acelerómetros, y obtiene los siguientes parámetros: Índice Internacional de Rugosidad; roderas en ambas huellas del vehículo; todo tipo de grietas; coeficientes de fricción o textura; geometría del pavimento en estudio así como perfiles.

Es importante hacer notar que el diseñador de este equipo está trabajando una nueva versión más sofisticada, con el fin de poder evaluar capacidad estructural en cualquier tipo de pavimento, con deflexiones medidas a velocidad de operación continua sin detenerse.

Para ello está adaptando un total de 35 cámaras en un vehículo que pueda transmitir por eje 10 toneladas. Según datos proporcionados por la empresa, el costo actual varía entre 400,000 y 600,000 dólares, pudiendo llegar a 1'000,000 de dólares con la nueva versión. Sin embargo, se ofrece el equipo en renta, a una cuota de 26 dólares por milla.

DONOHUE

El equipo patentado por *DONOHUE*, con sede en Wisconsin, E.U.A. se utiliza principalmente en puentes, y trabaja a base de rayos infrarrojos, video, radar y sonar. Se pretende encontrar la vida remanente de tales estructuras.

Los parámetros que obtiene son los siguientes: corrimientos entre capas en la estructura del pavimento; hoquedades internas; analiza las secciones hasta 3 pies de profundidad. Se le considera muy útil, puesto que auxilia en la determinación de la corrosión de las varillas de refuerzo en puentes, con base a diferencias de temperaturas provocadas por los rayos infrarrojos.

La cobertura del equipo es de 200,000 pies cuadrados/día. Su costo es de 195,000 dólares y lo ofrece la empresa en renta por una cantidad que varía entre los 6 y 12 centavos de dólar el pie cuadrado.

ARIA

El equipo *ARIA*, fabricado en E.U.A., funciona a base de sistemas de video, en combinación con computadoras. Determina todo tipo de agrietamientos, rugosidad y perfiles. Su costo es de 142,000 dólares.

ROADMAN

El equipo denominado *ROADMAN*, fabricado en Nevada, E.U.A., funciona con sistemas de video, luces especiales y equipos de cómputo. Obtiene básicamente agrietamientos y roderas o canalizaciones. Su velocidad de operación es de 68 millas/hr.

AMES

El perfilógrafo desarrollado por la División de Carreteras de AMES, Iowa, E.U.A. obtiene perfiles longitudinales. Con 7½ m. de longitud y fabricado en aluminio, es similar al perfilógrafo de H. Veem, California. Tiene un costo de 9,000 dólares y su velocidad de operación es de 2-3 km./hr.

DYNAFLECT

El equipo Dynaflect, diseñado y producido hace 20 años, continúa proporcionando buenos resultados, con sus limitaciones, pero también ventajas. Evalúa la capacidad estructural en base a deflexiones. La nueva versión, totalmente digitalizada y electrónica se ofrece a un costo de 35,000 dólares y continúa utilizándose en forma masiva, principalmente en el estado de Texas de la Unión Americana.

KUAB

El equipo denominado **KUAB**, es fabricado en Illinois, E.U.A. por la compañía ERES International. Determina básicamente deflexiones, analizando la capacidad estructural del pavimento. Obtiene temperaturas ambiental y del pavimento al momento de tomar las lecturas. También extrae corazones automáticamente en los lugares que se determine.

La gran ventaja del equipo descrito es la variedad de modelos y su aplicación de cargas: desde 3,000 a 66,000 lbs., lo que equivale que se pueda dar hasta 30 Ton. en pavimentos para aeropuertos, cubriendo por supuesto, caminos de primer y segundo orden.

Toda la operación es a base de cargas dinámicas por impacto. Las deflexiones son registradas por 7 o más sensores colocados en una barra de 120 pulgadas de longitud, en un lapso de 45 segundos.

El equipo de cómputo colocado en el vehículo que arrastra el remolque de prueba, procesa deflexiones obtenidas versus cargas y corrige por temperatura, proporcionando deflexiones características de todo tramo en estudio para fines de priorización. Su costo es variable, dependiendo del modelo, de 110,000 a 150,000 dólares.

DYNATEST

El equipo **DYNATEST** es fabricado en Australia, y se considera que es uno de los más completos que existen a la fecha. A base de sistemas hidráulicos, electrónicos, de iluminación y cómputo, obtiene parámetros importantes: capacidad estructural del pavimento a través de deflexiones, utilizando 7 y hasta 9 sensores; determina resistencia al derrapamiento o coeficiente de fricción de la superficie; rugosidad y deterioros, como todo tipo de agrietamiento. El costo del equipo es de 300,000 dólares.

IV. CONCLUSIONES.

Se considera que los equipos y tecnología con que cuentan a la fecha los Sectores Público y Privado en México, están siendo utilizados en un bajo porcentaje para fines prácticos de evaluación masiva en la red de carreteras, pues algunos de ellos solo se aplican en pavimentos de aeropuertos y otros con fines de investigación, dejando muy pocos para la parte operativa del Sector.

El México actual de los noventas y el del futuro, exige evaluaciones de pavimentos más frecuentes, en forma permanente y con mediciones precisas para obtener proyectos óptimos de conservación y modernización de la red carretera. Por lo anterior, se estima que es tiempo de olvidarnos ya de calificaciones "sentidas o subjetivas" y obtener calificaciones o índices "medidos" con precisión.

Finalmente se concluye que el uso de equipos automatizados para medición de deterioros en pavimentos flexibles y rígidos, es altamente recomendable para carreteras donde se tienen altos volúmenes de tránsito y no conviene alterar la corriente vehicular, para identificar y cuantificar deterioros en forma rápida y confiable para así estar en posibilidad de procesar parámetros básicos de entrada a cualquier Sistema de Administración de Pavimentos. Se estima que en algunos proyectos especiales el uso en cuestión debiera ser obligatorio.

RTG/FVV

Se agradece la valiosa colaboración del Ing. Fernando Velásquez Velásquez, Asesor de Vinculación del IMT en la preparación de esta ponencia.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE CARRETERAS

TEMA

**ADMINISTRACIÓN DE AUTOPISTAS Y SISTEMAS DE
SUPERVISIÓN DE CONTROL DE LA CALIDAD DURANTE LA
CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN DE AUTOPISTAS**

**ING. ERNESTO ACEVEDO LÓPEZ
ING. JOSÉ ARIAS DUFOURCQ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

ADMINISTRACION DE AUTOPISTAS.

Y

**SISTEMAS DE SUPERVISION Y CONTROL DE
LA CALIDAD DURANTE LA CONSERVACION Y
OPERACIÓN DE AUTOPISTAS.**

ING. JOSE ARIAS DUFOURCQ.

ING. ENRIQUE ACEVEDO LOPEZ.

JUNIO DE 1998.

Prólogo.

Dentro del programa del diplomado sobre "Proyecto, Construcción y Conservación de Carreteras" se presenta en este documento, notas sobre los temas "*Administración de las Autopistas*" y "*Los sistemas de supervisión y control de calidad utilizados durante su conservación y operación*".

En documentos correspondientes a otros módulos, se han señalado los aspectos más relevantes relacionados con los procedimientos y prácticas para planear, proyectar, construir y conservar las obras de infraestructura carretera. Nuestra participación se enfoca a aquellas otras actividades de la operación de Autopistas, que tienen como objetivo su adecuada utilización y preservación.

La correcta operación y conservación de las Autopistas, en sus condiciones de aforo actual, obliga al responsable de estas funciones al manejo de políticas y estrategias de administración, que aprovechen al máximo los escasos recursos con que se cuenta.

Por resultar temas muy amplios y con la finalidad de no extendernos demasiado en aspectos de relativa importancia, se pretende dar a estas notas un enfoque práctico e ilustrativo, que muestre los conceptos de mayor interés para los participantes y que cubra un panorama general de las actividades cotidianas que se efectúan dentro de la organización de una empresa operadora de Autopistas.

Los temas presentados, se han manejado dentro de una retrospectiva de las condiciones de operación y conservación de las Autopistas concesionadas a empresas particulares, dejando de lado los métodos y sistemas propios de la administración pública.

Muchas de las referencias de los temas tratados, están relacionadas con la Autopista Concesionada "Durango - Yerbánis - Gómez Palacio" en la que los autores han participado desde sus inicios y la cual se mantiene actualmente fuera del programa de rescate carretero de 1997.

Los autores esperamos que la difusión de la información contenida en estas páginas resulte del interés de los participantes y que encuentren en ella, información útil que les permita aprovecharla en sus actividades profesionales.

Ing. José Arias Dufourcq.

Ing. Enrique Acevedo López.

Indice.

- I.- Antecedentes.***
- II.- La Empresa Operadora de Autopistas.***
- III.- Funcionamiento operacional de las Autopistas.***
 - Programas de Operación.***
 - Programas de Conservación.***
- IV.- Administración de Autopistas.***
- V.- Sistemas de control.***
 - La Supervisión en la conservación y el mantenimiento.***
- VI.- Conclusiones.***

I.- Antecedentes.

Para hablar de los aspectos más relevantes sobre la administración, supervisión y control de las Autopistas, especialmente aquellas concesionadas a empresas de la iniciativa privada, debemos hacer un poco de historia para comprender su evolución, conocer las condiciones que enfrentan y explicar los aspectos internos y externos que influyen en su operación y administración.

La operación y conservación de las Autopistas de Cuota por parte de empresas particulares, tienen sus orígenes en la apertura realizada por el Gobierno Federal en la década pasada, hacia la privatización de servicios públicos principalmente aquellos de infraestructura.

El rezago que hasta 1989 se tenía en el crecimiento y modernización de la red carretera del país, aunado a la limitación financiera del sector público para construir las obras más urgentes y la inminente incorporación de nuestra economía a un mercado globalizado; fueron entre otras, las causas que llevaron al Gobierno Federal a implantar esta estrategia de privatización, que permitiría acelerar la recuperación en la infraestructura carretera, habilitándola como una red eficiente, que ayudara a las empresas nacionales a competir con transnacionales en el nuevo marco de comercio internacional.

Así surgió el Programa Nacional de Autopistas, a través del cual la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, concesionó a la iniciativa privada la construcción, operación y explotación de nuevas obras de infraestructura, a cambio de su aportación económica en los proyectos.

Financieramente las obras carreteras concesionadas contaron con la aportación de recursos por parte de empresas privadas, con carácter de inversionistas, los cuales fueron complementados con asignaciones de parte del Gobierno Federal a través de organismos públicos como CAPUFE, BANOBRAS y Gobiernos Estatales. Estos recursos fueron fideicomitidos para su adecuado manejo y aplicación.

Los fideicomisos representan figuras jurídicas por medio de las cuales los fideicomitentes, destinan los recursos o derechos para el fin determinado, encomendando la realización de ese propósito a una institución fiduciaria, la cual atiende únicamente funciones de control sobre el uso y aplicación de los recursos, sin participar en aspectos administrativos o ejecutivos.

Legalmente los fideicomitentes tienen el derecho y obligación de designar un Comité Técnico (o de distribución de fondos), establecer las reglas para su funcionamiento y fijar sus facultades las cuales pueden ser tan amplias como los fideicomitentes lo acuerden.

Las facultades de estos comités, que alcanzan nivel de decisión, aún cuando no son obligatorias para el fiduciario, quien puede, bajo su responsabilidad, apartarse de ellas, si tienen un efecto liberatorio de responsabilidad cuando el fiduciario las sigue.

Es conveniente recalcar que las reglas establecidas en el funcionamiento de los comités, deben considerar claramente el doble papel de las empresas particulares como inversionistas y concesionarias, que difiere del tratamiento tradicional de concesiones puras, en donde los bienes fideicomitados han sido totalmente asignados por el otorgante.

Como inversionistas, esas reglas deben contemplar las condiciones relativas a su participación, aportación, recuperación y beneficio; y en lo relativo al papel de concesionario, estas deben atender a las condiciones originalmente ofrecidas por el proponente, así como aquellas otras señaladas por la ley.

Las concesiones otorgadas por el estado para su explotación, siempre han contado con la condicionante de la reversión administrativa del bien público concedido, lo cual se entiende que sea en forma gratuita cuando se ha llegado al punto de mutua conveniencia, sin embargo en aquellos otros casos en que la parte afectada no hubiera podido amortizar los bienes aportados, se deberá considerar el derecho de la parte afectada a una reparación justa, mediante una indemnización.

La evolución a la fecha del Programa Nacional de Autopistas, no ha sido acorde a las expectativas originales, motivado entre otras razones por las siguientes:

1. Las bases establecidas para los esquemas de recuperación de la inversión no fueron certeras en cuanto a aforos vehiculares y niveles tarifarios, lo que ha impactado en los ingresos recaudados.
2. Los proyectos tuvieron modificaciones durante la construcción, que incrementaron los volúmenes e importe total de las obras.
3. El programa alcanzó un 20% adicional de kilómetros totales respecto a lo originalmente previsto.

4. La crisis económica de 1995, provocó una devaluación en nuestra moneda y un fuerte incremento en las tasas de interés, lo cual por un lado afectó los pasivos financieros de los concesionarios y por otro limitó el poder adquisitivo del usuario, afectando la preferencia de transitar por las Autopistas.
5. El sector transportista de pasajeros y carga, también afectado por la situación económica del país, ha venido luchando por fuertes rebajas en las cuotas de peaje y en políticas de subvención por parte del Gobierno Federal, con escasos logros, que han motivado un uso muy reducido de las nuevas autopistas por parte de sus agremiados.
6. En algunos tramos, trabajos de post-construcción no contemplados en los presupuestos originales ni en los programas de mantenimiento, han afectado la imagen de estas Autopistas, con el consecuente impacto en sus niveles de tránsito.

Ante esta situación de las condiciones proyectadas, el Gobierno Federal optó a principios de 1994, en modificar el plazo máximo de concesión señalado en la Ley General de Vías de Comunicación, ampliándolo hasta por un máximo de 30 años.

Esta medida no resultó suficiente para la recuperación de las inversiones, por lo que a finales del mismo año, el Gobierno Federal procedió a analizar en forma detallada la situación de cada una de las Concesionarias y negociar los esquemas financieros para llevar los proyectos a niveles de deuda sostenible.

Esta reestructuración efectuada entre 1994 y 1995, tuvo resultados temporalmente satisfactorios, ya que pronto fue rebasada por los efectos de la crisis económica de 1995.

Desde principios de 1996 hasta agosto de 1997, las condiciones económicas del país fueron mejorando y con ello en parte los aforos e ingresos de algunas Autopistas Concesionadas, sin embargo el nivel de endeudamiento alcanzado y el rezago en el cumplimiento de los compromisos de pagos ante la Banca Comercial, obligaron al Gobierno Federal a rescatar aquellas concesiones sin viabilidad financiera.

Por ello el día 31 de agosto de 1997 el Gobierno Federal decretó el rescate de 23 Concesiones con una longitud global de 3,500 km de Autopista, equivalentes al 80% del total de Concesiones, dejando temporalmente la operación y conservación de estos tramos, bajo la responsabilidad de las empresas concesionarias, por un plazo de 1 año, durante el cual se definiría si estas pasan a manos del Gobierno Federal o se licitarían para un nuevo otorgamiento a empresas que cumplan con los requisitos de solvencia, capacidad técnica y oferta atractiva.

Es importante destacar que la reversión de las concesiones, en forma anticipada y bajo las condiciones establecidas en el decreto, ha venido a salvar a las concesionarias de fuertes compromisos financieros, que inclusive las colocaban en posición de quiebra, sin embargo el rescate ha resultado más favorable para los bancos acreditantes, ya que de alguna forma esta decisión les ha resuelto un problema muy grave de cartera vencida.

Respecto al futuro inmediato de las Autopistas rescatadas, se prevé que tendrán rebajas tarifas y adaptaciones que satisfagan necesidades sociales de posibilidad económica de acceso ó de integración regional, lo cual pudiera reducir sus ingresos y limitar la disponibilidad de recursos propios para su operación conservación y mantenimiento.

De cualquier manera los nuevos operadores de Autopistas, sean contratados u organismos públicos, deberán buscar el implantar esquemas novedosos, tanto financieros como operativos, con metas tales como prestar servicios de calidad y alcanzar niveles de excelencia en su organización, en donde jugará un importante papel la adecuada supervisión y control de calidad para evitar el caer en nuevas condiciones deficitarias.

II.- La Empresa Operadora de Autopistas.

El carácter empresarial de una Operadora de Autopista contratada, la lleva a incluir entre sus principales objetivos los siguientes.

- Cumplimiento de las leyes establecidas en la constitución, así como de los reglamentos y estatutos que rigen sus actividades.
- Cumplimiento de las obligaciones contractuales adquiridas, en este caso lo señalado en los títulos de concesión.
- Logro de manera lícita, del máximo rendimiento de la inversión de sus accionistas y propietarios.
- Promoción del desarrollo y capacitación de su personal, acorde a los lineamientos de las leyes en materia laboral y de ser posible en mayor escala.

Como parte de una Concesionaria del Gobierno Federal, la empresa Operadora debe considerar sus responsabilidades de cumplir con lo señalado por la Ley Federal de Vías Generales de Comunicación, con las condiciones estipuladas en el Título de Concesión de:

Prestar permanentemente bajo condiciones controladas, un servicio de vía alterna sobre la carretera libre, que ofrezca a las personas, para su traslado, mejores condiciones de seguridad, rapidez, comodidad y economía, a cambio de una cuota de peaje.

Sin olvidar que son las leyes de mercado las que afectan el éxito de sus metas, por lo que deberá ofrecer un servicio de calidad al público en general, a través del producto que representa la Autopista.

Anteriormente el éxito de las empresas era resultado de factores internos como la calidad de la organización y su capacidad técnica administrativa. En la actualidad se ha incrementado de manera importante la influencia de factores externos como son el nivel de competencia, los problemas financieros y las difíciles condiciones de competencia del mercado.

Al hablar de competencia, nos referimos a sus diversas formas, entre las que tenemos:

- En recorridos de mucha longitud, otros tramos de Autopista que resultan más atractivos para el usuario, principalmente por tarifas mas económicas por kilometro.
- Tramos alternos de carretera libre, contra los cuales las ventajas de la Autopista no justifica el costo de la tarifa de peaje.
- Tramos alternos de carretera libre que resulten paralelos al tramo de Autopista, y que cuenten con mayores ventajas de abastecimientos y servicios.
- Tramos alternos de carretera libre con muy poco tránsito y con buenas condiciones físicas del pavimento.
- Tramos alternos de carretera libre recientemente reparados o modernizados.
- Un caso muy especial de competencia lo representa la falsificación de boletos apócrifos, que se da entre transportistas o empresas, como forma de desvío a gastos para peajes o con fines de evasión fiscal.

Esta última situación se ha venido dando con mucha frecuencia desde hace mucho tiempo, a través de organizaciones que cuentan con tecnología muy avanzada en sistemas de copiado, sin que las autoridades correspondientes hagan mayores esfuerzos por acabar con este tipo de giros.

Ante el incremento de elementos en contra, las empresas operadoras están obligadas a abatir sus costos mediante la explotación de los avances tecnológicos, una mayor eficiencia en la utilización de sus recursos, la implementación de mejores sistemas operativos/administrativos, la adopción de políticas de investigación y desarrollo, un manejo mas adecuado de la mercadotecnia y la implantación de normas hacia el logro de una alta calidad en sus servicios o productos contando para ello con la supervisión y control adecuados.

El tamaño, calidad y características de la organización encargada de la administración de una Autopista, estará condicionada por los recursos económicos disponibles y por las necesidades que la propia demanda del servicio determine.

Los modelos de organigrama para una empresa concesionaria con sus departamentos de operación, conservación y mantenimiento; se indican en la figura 3.1

Las funciones y responsabilidades de los elementos que participan en la organización son los siguientes.

DIRECTOR GENERAL.

- Representa a la empresa ante organismos oficiales y privados.
- Define, establece y adecua las políticas generales de la empresa.
- Desarrolla, implementa y controla los procedimientos técnicos, financieros y administrativos de la organización.
- Responsable del cumplimiento de los compromisos adquiridos por la empresa.
- Coordina las funciones de personal subalterno.
- Busca la adecuada rentabilidad de la empresa.
- Promueve el continuo desarrollo y crecimiento de la organización.
- Reporta periódicamente al consejo de administración de la empresa sobre los resultados alcanzados.

GERENTE DE OPERACIÓN.

- Responsable del correcto funcionamiento técnico, administrativo y legal de la empresa local, destinada a la operación, la conservación, el mantenimiento y la explotación de los bienes concesionados.
- Representa localmente a la empresa concesionaria.
- Vigila localmente, en nombre de la concesionaria, el cumplimiento de todas las responsabilidades que le señala el Título de Concesión.
- Implanta y coordina los sistemas operativos definidos por la empresa concesionaria.
- Atiende y da cumplimiento a las disposiciones de la Dirección General de la empresa Concesionaria.
- Coordina los señalamientos hechos por autoridades locales, en concordancia con las políticas y procedimientos de la organización.
- Define, implanta, coordina, controla y mejora los sistemas y procedimientos técnico - administrativos, para la correcta, eficiente y segura operación de las instalaciones de la Autopista.

- Define las estrategias y desarrolla los programas de conservación y mantenimiento de la Autopista, que preserven la durabilidad, funcionalidad, seguridad e imagen de las instalaciones.
- Coordina las funciones del personal subordinado.
- Administra los recursos asignados.
- Vigila y controla los sistemas de manejo de efectivo que se requieran.
- Lleva a cabo las labores de Relaciones Públicas de la empresa operadora y promueve el continuo desarrollo y crecimiento de su organización.
- Informa periódicamente a la empresa concesionaria, sobre los resultados de la operación, conservación, mantenimiento y administración de la empresa operadora.
- Coordina acciones y requerimientos con otros departamentos de la empresa concesionaria, de acuerdo con lo señalado por la Dirección Gral.
- Implementa, desarrolla, coordina e informa sobre los programas y estudios especiales que determine la concesionaria.

GERENTE TECNICO.

- Atiende y da cumplimiento a las disposiciones que en materia técnica le señale la Dirección General de la empresa Concesionaria.
- Vigila internamente el cumplimiento de las normas y disposiciones técnicas, señaladas en el Título de Concesión.
- Atiende las relaciones con autoridades y organismos involucrados técnicamente en la operación, conservación y explotación de la concesión.
- Coordina el cumplimiento de las disposiciones oficiales, en materia de seguimiento sobre las acciones de operación, conservación, mantenimiento y explotación de la Autopista.
- Desarrolla los sistemas de control sobre la operación, conservación y mantenimiento.
- Maneja la política tarifaria.
- Desarrolla y coordina los programas y estudios especiales, que requiera la concesión.
- Coordina la investigación, promoción y desarrollo de nuevos proyectos.
- Coordina las acciones desarrolladas por la empresa contratada para la supervisión y control de calidad, en la operación, conservación y mantenimiento de la autopista.

- Informa a la Dirección sobre los aspectos técnicos de la operación, conservación y mantenimiento de la concesión.

GERENTE ADMINISTRATIVO.

- Atiende las disposiciones que en materia administrativa determine la Dirección General.
- Vigila el cumplimiento de los aspectos administrativos y legales señalados en el Título de Concesión y los establecidos en el fideicomiso.
- Atiende las disposiciones legales, fiscales y administrativas, dictadas por las autoridades en la materia.
- Administra el patrimonio y los recursos de la empresa concesionaria.
- Establece las estrategias administrativas y financieras más convenientes para la organización.
- Diseña, implanta, coordina, controla y mejora los sistemas y procedimientos de tesorería, finanzas, contabilidad, recursos humanos, recursos materiales, legales, fiscales, de auditoría y de relaciones públicas.
- Coordina las funciones del personal subordinado.
- Vigila y controla los sistemas sobre manejo de efectivo.
- Promueve el continuo desarrollo y crecimiento de su organización.
- Informa a la Dirección General, al Fideicomiso y a la autoridad sobre los aspectos administrativos.

ABOGADO.

- Atiende y da cumplimiento a las disposiciones que en materia legal determine la Dirección General de la empresa Concesionaria.
- Asesora a la Dirección General y Gerencias de la empresa, sobre aspectos de normatividad.
- Atiende ante tribunales y autoridades, los requerimientos legales hechos a la organización.
- Defiende legalmente los intereses de la empresa.
- Elabora y sanciona los contratos con autoridades, organismos y empresas; relacionados con la Concesión, su operación, conservación, mantenimiento y administración.
- Mantiene informado y actualizado al personal directivo, en materia de disposiciones legales.

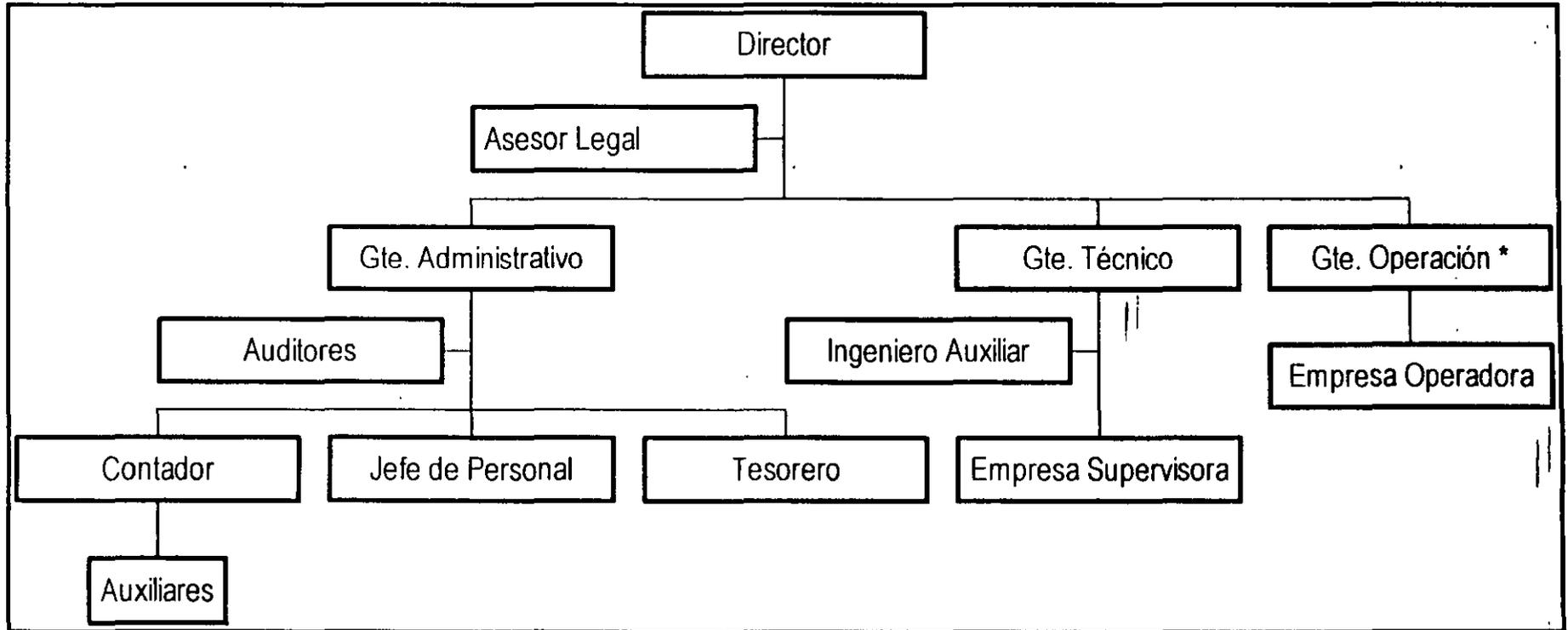
- Realiza estudios especiales que le solicite la Dirección General.
- Informa periódicamente sobre sus actividades, a la Dirección General.

SUPERVISOR.

En este caso las funciones se refieren a aquellas desarrolladas por una empresa contratada para realizar la Supervisión y el Control de Calidad.

- Atiende y da cumplimiento a las indicaciones de la empresa concesionaria.
- Diseña, implanta, controla y mejora los sistemas y procedimientos de supervisión.
- Coordina las funciones de su personal subordinado.
- Coordina con la empresa operadora, actividades de planeación, programación, adiestramiento, evaluación, vigilancia, control, mejoramiento, seguridad y comunicación; relacionadas con la operación, conservación y mantenimiento de la concesión.
- Asesora al personal de la concesionaria y de la empresa operadora, sobre aspectos técnicos relacionados con la normatividad y ejecución de labores relacionados con la conservación y el mantenimiento.
- Informa periódicamente a la concesionaria y a la empresa operadora, sobre la evolución del estado físico de los distintos elementos constitutivos de la autopista.
- Informa periódicamente a la concesionaria sobre los avances y desarrollo de actividades de conservación y mantenimiento, efectuadas por la empresa operadora.
- Atiende las solicitudes de estudios especiales y evaluaciones de carácter técnico, hechas por la concesionaria.
- Informa periódicamente al comité técnico del fideicomiso, sobre las actividades desarrolladas en la supervisión.
- Lleva el historial de las labores realizadas, indicando los sitios donde se presenten condiciones de problemas técnicos.
- Atiende la administración de su personal y necesidades de recursos para la supervisión.

Organigrama de una empresa Concesionaria de Autopistas.



*** Puede formar parte de la empresa operadora.**

En el caso de las Autopistas Concesionadas, la parte operativa, se ha manejado mediante la contratación de empresas operadoras que cuentan con recursos propios y mantienen condiciones de locales. La descripción de las funciones de su personal es la siguiente:

GERENTE GENERAL.

Sus funciones son las señaladas en la organización de la empresa concesionaria, para el Gerente de Operación.

GERENTE ADMINISTRATIVO.

- Atiende las disposiciones que en materia administrativa determine la Gerencia General.
- Vigila localmente el cumplimiento de los aspectos administrativos y legales, dispuestos por las leyes y el Título de Concesión.
- Administra el patrimonio y los recursos asignados, sean estos propios de la empresa operadora o de la concesionaria.
- Establece las estrategias, sistemas y procedimientos administrativo-financieros de su organización.
- Atiende las funciones de tesorería, finanzas, contabilidad, recursos humanos, recursos materiales, legal, fiscal y de auditoría interna.
- Vigila y controla los sistemas para manejo de efectivo.
- Promueve el continuo desarrollo y crecimiento de su organización.
- Informa y asesora a la Gerencia General, sobre aspectos administrativos.

GERENTE DE MANTENIMIENTO.

- Atiende las disposiciones que con relación a la conservación y el mantenimiento de los bienes concesionados, determine la Gerencia General.
- Diseña, implanta, coordina, supervisa, controla y mejora los sistemas, procedimientos y estrategias de la conservación y mantenimiento.
- Formula los presupuestos anuales y mensuales para los trabajos a desarrollar de conservación y mantenimiento.

- Responde del uso adecuado y la preservación de las herramientas y equipos asignados a su área para la ejecución de las labores.
- Coordina con la Gerencia administrativa, la contratación y capacitación del personal de su departamento.
- Coordina con la Gerencia administrativa, las adquisiciones necesarias y las contrataciones de bienes y servicios para su área de trabajo.
- Atiende con los elementos a su disposición, situaciones de emergencia que se presenten, ocasionadas por accidentes, condiciones meteorológicas adversas o imprevistos.
- Promueve el continuo desarrollo y capacitación del personal a su cargo.
- Da cumplimiento a los requerimientos de la SCT, señalados en el Título de Concesión como son programas y normas de conservación y mantenimiento.
- Informa periódicamente a la Gerencia, sobre las actividades desarrolladas y los avances logrados en su departamento.

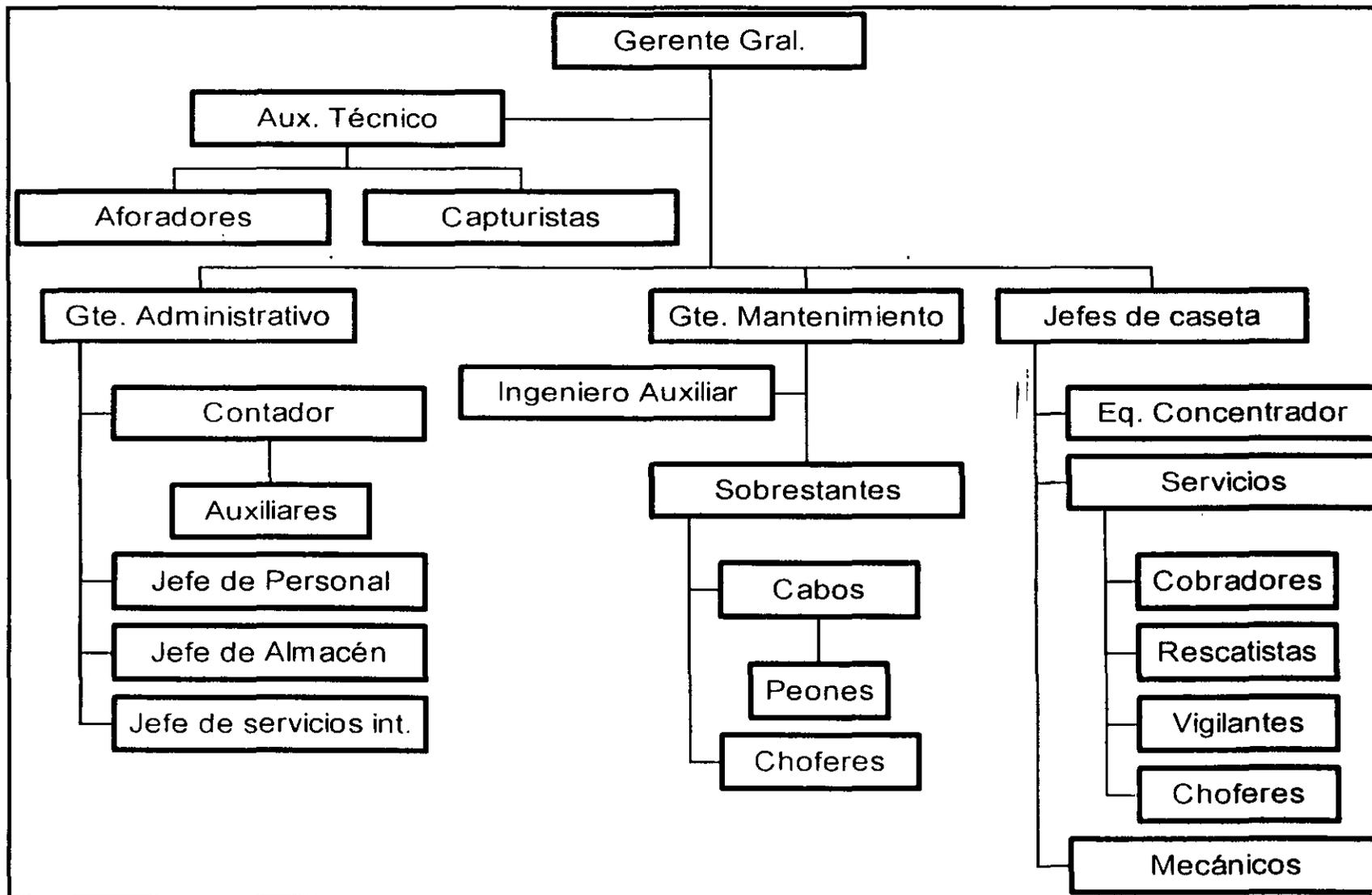
JEFES DE CASETA.

- Aplican las disposiciones que le señala la Gerencia General.
- Responden por la continuidad en el funcionamiento de la autopista.
- Vigilan la correcta operación y buen estado de las instalaciones.
- Responden por la preservación y correcto funcionamiento de los bienes y recursos de la empresa, destinados a su servicio.
- Coordinan las funciones del personal subordinado.
- Coordinan las actividades de conservación y mantenimiento que realice el Departamento de Mantenimiento en su tramo, así como los servicios contratados con terceros.
- Vigilan el correcto manejo de los ingresos.
- Informan diariamente a la Gerencia General y al Departamento Administrativo, sobre las operaciones realizadas.
- Atienden en su tramo, las solicitudes de usuarios en materia de información, auxilio vial, seguridad, etc
- Coordinan labores de auxilio en caso de accidentes.
- Coordinan labores de asistencia a otros organismos como son policías, aseguradoras, ángeles verdes, ejercito, etc.
- Promueven la capacitación y desarrollo del personal asignado.

JEFE DE SERVICIOS INTERNOS.

- Aplica las disposiciones que le señale la Gerencia Administrativa.
- Coordina con la Gerencia Administrativa, las actividades de administración en materia de recursos humanos y recursos materiales de las casetas.
- Auxilia a la Gerencia Administrativa, en labores de control, respecto a los ingresos generados en las casetas.
- Atiende las necesidades materiales y de servicios generales de la empresa.
- Informa periódicamente al Gerente Administrativo, sobre sus labores desarrolladas.

Organigrama de una empresa Operadora de Autopistas.



III.- Funcionamiento operacional de una Autopista.

Para permitir que los vehículos actuales puedan desarrollar las velocidades para las que fueron fabricados, deben circular por vías que garanticen un traslado fácil cómodo, confiable y seguro; tanto para sus ocupantes, como para el vehículo en sí y para los productos que transporte. Logrando un ahorro real en su economía, mediante la disminución de sus costos operacionales, la reducción del tiempo de recorrido y el abatimiento de riesgos de accidentes. Para ello es de gran importancia que la operación y la conservación cumplan con sus objetivos.

Se entiende por operación de las Autopistas de cuota, al conjunto de actividades que permiten ofrecer al usuario la opción de transitar por la ruta con seguridad y comodidad, con servicios y facilidades instalados a lo largo del recorrido a cambio de una cuota de peaje, aunado a todas aquellas otras actividades de carácter administrativo inherentes a dicho cobro.

Para facilidad en la descripción de las actividades desarrolladas durante la operación de la Autopista, podemos clasificar las actividades de la empresa operadora en los siguientes grupos.

1. Vigilancia y control.
2. Cobranza.
3. Servicios.
4. Administrativas.
5. Legales.
6. Investigación y desarrollo.
7. Conservación y mantenimiento.
8. Promoción y comercialización.

A continuación se presenta una breve descripción de las acciones relacionadas con cada uno de estos grupos.

1. Vigilancia y control.

La seguridad del usuario se da en la medida que se cumplen y respetan las normas establecidas, las cuales podemos clasificar en las relativas al camino y aquellas otras que corresponden al vehículo.

En el caso de las primeras, responsabilidad de la Operadora, el camino debe permanecer libre de obstáculos, en buenas condiciones físicas, bien señalizado, con elementos y estructuras que faciliten la incorporación y salida de los vehículos y con la información adecuada que permita al usuario prever sus acciones a lo largo del recorrido. Cuando alguna de estas condiciones no se cumple, es obligación del Operador hacerlo del conocimiento del usuario en forma clara y oportuna.

Por su parte los usuarios de la Autopista, deben cumplir con los lineamientos que establecen los reglamentos de tránsito, mantenerse en un estado físico que les permita desarrollar un buen manejo, hacer uso adecuado de la vía de comunicación, respetar los señalamientos preventivos y restrictivos instalados para su seguridad, dar el mantenimiento preventivo a sus vehículos para que circulen en óptimas condiciones mecánicas y utilizarlos de acuerdo a la función para la que fueron fabricados.

Cuando ambas condiciones se cumplen, la probabilidad de accidentes se reduce a su mínima expresión.

Las actividades de Vigilancia y control por parte del personal de la empresa operadora, se efectúan mediante recorridos cotidianos donde se evalúa que los elementos del camino cumplan con los parámetros antes señalados, procediendo a comunicar al responsable de la operación sobre las anomalías detectadas a fin de proceder a la reparación de las deficiencias.

Esta vigilancia se complementa con inspecciones al cumplimiento de las acciones por parte de los usuarios, a fin de prevenirlos en lo posible, mediante señalamientos oportunos, sobre los riesgos que corren y adicionalmente establecer acciones internas que refuercen o adapten medidas preventivas de seguridad extrema, en los casos en que esta se requiera.

Otras acciones también relacionadas con la vigilancia, son aquellas realizadas en puntos estratégicos, generalmente las estaciones de peaje en donde se cuenta con apoyo de elementos de seguridad pública y privada, encaminadas a realizar operativos especiales de rastreo y detección de delincuentes.

2. Cobranza.

La cobranza juega un papel fundamental en las actividades cotidianas de operación, ya que se tiene que cumplir con una serie de acciones que no solo se limitan a la recolección de las cuotas. Estas actividades incluyen: la implantación de tarifas en los elementos informativos, la alimentación de variables en los programas del sistema electrónico de control de peaje, la disposición de efectivo en moneda fraccionaria para cambios a los usuarios, la inspección y control de las operaciones realizadas por los cobradores, las auditorías realizadas en forma aleatoria, la contabilidad de los ingresos registrados, la detección de anomalías e irregularidades en las conciliaciones por turno, la custodia provisional de efectivo, la coordinación con compañías privadas responsables del traslado de valores, la emisión de la documentación comprobatoria de ingresos, la verificación de cuentas bancarias; la implantación, contabilidad, control, cobranza y facturación de cuentas por cobrar cuando se trata de formas distintas al pago en efectivo de las cuotas de peaje.

Aunado a la serie de actividades anteriores relacionadas con la cobranza, existen otras de tipo administrativo que corresponden a la documentación comprobatoria como son la fabricación, custodia, disposición y control de boletos, la documentación comprobatoria del paso de vehículos exentos de pago, las justificaciones por violaciones al sistema y las de coordinación con la administración de personal encargado de la cobranza.

3. Servicios.

En la operación de las Autopistas, se ha convertido en un factor de gran importancia, la calidad y cantidad de los servicios conexos ofrecidos a los usuarios, a cambio de su cuota de peaje.

Las Autopistas modernas en países desarrollados han alcanzado altos niveles de servicios, que aprovechan los avances en la tecnología para simplificar las actividades del operador, mantener controles más amplios sobre peajes y brindar mayor información al usuario a la vez de implementar una gama más amplia de formas para el pago del peaje.

La cantidad y calidad de los servicios al usuario, está en función de los volúmenes de tránsito, del nivel de los ingresos, del tipo de vehículos que utilizan la ruta, de la economía de la región, de las facilidades en la zona para la recepción y transmisión de información y datos, del nivel de competencia del mercado, de la capacidad tecnológica del Operador y de los costos que estos servicios representan para la empresa.

Entre los servicios que actualmente se brindan al usuario se tienen: teléfonos tipo S.O.S., auxilio mecánico, primeros auxilios con ambulancia equipada y rescatistas, paradores con sanitarios, estacionamientos, restaurantes, tiendas de artesanías y otros productos de la región, gasolineras, refaccionarias, servicio de grúa, tanques de reabastecimiento de agua para radiador, teléfonos, máquinas despachadoras de refrescos y café, seguro de viajero por daños a terceros, centros trailereros, etc.

La prestación de estos servicios crea para la Operadora otra serie de actividades de respaldo, que requieren de atención cotidiana como son: La explotación de pozos de agua, su almacenamiento y bombeo, tratamiento y disposición de aguas residuales, disposición final de desechos sólidos, suministro de energía eléctrica, mantenimiento de estaciones de radiocomunicación, equipamiento del personal de rescate, suministro de combustible y refacciones menores para atención de servicios a usuarios, atender señalamientos de las autoridades locales en materia ecológica y otros más.

La responsabilidad de mantener un control de protección al medio ambiente ha sido una medida solicitada por las autoridades competentes de la localidad desde el inicio de la concesión, cuando se presentaron los estudios de impacto ambiental y durante la construcción en donde en algunos casos hubo que restablecer daños ocasionados al paisaje por la explotación de bancos y la construcción de caminos auxiliares.

En casos muy definidos, las Operadoras por iniciativa propia, por requerimientos del proyecto o bien a solicitud de autoridades locales, han sembrado y reforestado áreas del derecho de vía. Esta acción además de la erogación original, genera una necesidad de conservación que requiere de mano de obra, traslados, agua, fertilizantes, limpieza, desecho de producto de la limpieza y la conservación.

La administración del derecho de vía es una parte muy especial de la operación, que conjunta acciones relacionadas con la vigilancia, los servicios, aspectos legales, promoción y relaciones públicas.

La expropiación realizada por el Gobierno Federal sobre terrenos ocupados por la Autopista, se efectuó en casos muy específicos, en propiedades extensas que fueron divididas, dotándolas de pasos transversales para el cruce de ganado o como servidumbres de paso. En algunos de estos casos, los pasos no tuvieron la ubicación adecuada o resultaron insuficientes, por ello el control de accesos clandestinos o la intromisión de semovientes, ha representado un problema para las empresas operadoras, que inclusive han provocado accidentes, aunado a una escasa cooperación de propietarios y autoridades locales a fin de prevenir estas irregularidades.

Para el uso y explotación del derecho de vía la Secretaria de Comunicaciones y Transportes ha generado a través de la Dirección General de Servicios Técnicos, un manual de procedimientos para el aprovechamiento del Derecho de Vía, en el que se busca marcar los lineamientos que deberán atenderse en cualquier solicitud de aprovechamiento del Derecho de Vía de parte del solicitante, de la empresa concesionaria y de las autoridades competentes, así como el marco técnico y legal que rige la explotación y uso del mismo.

Con lo anterior se busca limitar el uso inadecuado, la sobreexplotación y la ocupación de espacios donde se tiene proyectadas ampliaciones a futuro. En todos los casos que se realice la ocupación del Derecho de Vía, la empresa operadora es la responsable ante la autoridad por el incumplimiento de lo establecido en los procedimientos antes descritos, así como cuando no lo notifique oportunamente a la S.C.T.

El Título de concesión otorga a la empresa concesionaria los derechos de la explotación del Derecho de Vía, hasta por un periodo de dos años mas allá del plazo de concesión. Existen una serie de instalaciones que se han venido colocando en estos terrenos, como son: líneas de fibra óptica para telefonía, Instalaciones de PEMEX, de C.F.E., de Telmex, de C.N.A., así como algunas obras municipales de agua potable. En estos casos, corresponde a la empresa operadora la vigilancia y control de calidad de los trabajos de mantenimiento a lo largo de las mismas.

5. Legales.

Desde el punto de vista legal, la empresa Operadora, debe atender una serie de responsabilidades ligadas a su papel de representante en el sitio del concesionario.

Los aspectos legales en los que normalmente interviene la empresa operadora son entre otros: demandas laborales del personal contratado o de subcontratistas ligados con trabajos de conservación y mantenimiento; demandas de usuarios generalmente asociadas con accidentes; acciones judiciales relacionadas con actos de vandalismo, seguimiento de acciones en la procuración de justicia cuando el afectado es la propia empresa operadora; demanda de procuración de justicia en casos de incumplimiento de contrato de usuarios, proveedores y subcontratistas, seguimiento de acciones en demandas levantadas por afectaciones a la libre circulación por la Autopista (marchas y manifestaciones) o por daños a los elementos de la autopista, etc.

En casos especiales la empresa se ha visto involucrada en acciones de la autoridad ante terceros, cuando es la Autopista el escenario de delitos o detenciones.

En los casos de accidentes ocurridos en las Autopistas, se cuenta con pólizas de seguros que cubren la responsabilidad civil del usuario por daños a terceros así como los gastos médicos de ocupantes lesionados y los gastos funerarios cuando hay decesos.

Algunas Autopistas cuentan además con pólizas que las protegen en caso de siniestros tales como terremoto, incendio o colisión por daños en elementos tales como puentes, estaciones de peaje y otras estructuras importantes.

Otro caso de póliza de seguro contratada, es aquella que brinda protección en caso de asalto ó robo de efectivo.

Algunos activos de la operadora cuentan con seguros específicos, como es el caso de equipo electrónico de peaje, vehículos y maquinaria.

En algunos casos, se cuenta con seguros de gastos médicos o de vida, a favor de personal con mayor jerarquía, que más bien forman parte de prestaciones especiales otorgadas por las empresas.

6. Investigación y desarrollo.

La calidad del personal y su desarrollo dentro de la organización, es una política de inversión, que mantienen las empresas cuando tienen visión de crecimiento y competitividad, o bien cuando las facilidades para la contratación de personal se tornan difíciles.

La mayor parte de las empresas operadoras de Autopistas, tienen en diferente grado, problemas de alta rotación de personal por condiciones de trabajo adversas, de alto riesgo o con poco atractivo para el trabajador; lo que las obliga a incrementar sus costos en capacitación.

El personal de conservación y los cobradores de casetas, son aquellas categorías en donde se presenta con mayor frecuencia la deserción periódica.

En algunos sitios, el remplazo de este personal no representa mayores dificultades, debido a la abundancia de oferta y por las condiciones económicas de la región, sin embargo en otros este problema se agrava ante la escasez y es necesaria la contratación y transportación del personal desde regiones cercanas.

Al laborarse los 365 días del año, es importante tomar en consideración que el número de empleados que llegan a cubrir un puesto, como puede ser el de cobrador, llega a ser hasta de 6, tomando en consideración los reemplazos por rotación y ausentismo. Esto es importante porque se tienen que prevenir condiciones críticas que pueden presentarse en momentos de tránsito pico, sobretodo en puestos clave como es el de la cobranza.

Otras actividades de desarrollo ejecutadas por las empresas Operadoras, están relacionadas con el estudio del mercado, los niveles de competencia, las preferencias de los usuarios, análisis estadísticos de aforos, análisis e investigación de estrategias tarifarias, promociones, estudios sobre siniestralidad, análisis de costos del transporte, análisis de costos de operación,

7. Conservación y Mantenimiento.

La empresa operadora además de las labores hasta aquí descritas, tiene bajo su responsabilidad la ejecución de los trabajos de conservación rutinaria, mantenimiento preventivo y correctivo.

Para ello se apoya en la Gerencia de Mantenimiento, la cual como más adelante se describe, realiza las acciones de evaluación, programación, conservación y control sobre los trabajos por ejecutar.

En el capítulo cuatro de estas notas, se describen con mayor detalle los elementos y las actividades que desarrolla el personal de conservación y mantenimiento, sin embargo se hace mención de estos, ya que en alguna forma son parte de los trabajos ejecutados para cumplir con la función de operación que se describe en la definición de operación.

La utilización de las autopistas desde los inicios del Programa Nacional de Autopistas hasta la fecha, ha mostrado una tendencia al crecimiento, muy relacionada con la evolución de las condiciones económicas del país, sin embargo no deja de influir en la preferencia del usuario, el conocimiento de las ventajas que ofrecen estas vías de comunicación sobre su alterna libre, algo que llamamos "Cultura de las Autopistas".

Existe un punto en el cual el usuario acepta pagar el sobrecosto que representa el peaje, lo que representa su reconocimiento al valor de los servicios, la seguridad y la comodidad. Este costo que en la práctica es difícil de precisar, responde a factores de tipo personal, ya que en la realidad existe en nuestra sociedad una actitud muy especial con respecto a la teoría del valor, como puede ser que un automovilista no acepte pagar una tarifa de 100 o 200 pesos cuando se dirige a destinos en los que gastará cantidades muy superiores en servicios de menor importancia o consumos innecesarios.

Ante la situación anterior es sobre la cual, el personal de la Operadora dirige sus esfuerzos, a fin de desarrollar campañas promocionales que "vendan" el servicio que las autopistas ofrecen.

En el caso de empresas o usuarios frecuentes, la Operadora trabaja en la determinación de los costos en que incurren sus vehículos, al transitar por vías alternas a fin de establecer estrategias de comercialización que interesen al cliente potencial, mediante descuentos y promociones, a cambio de garantizar un mayor número de pasadas que compensen los descuentos negociados, ganando ambas partes por los beneficios alcanzados.

III.1.- Programas de Operación.

Como se menciona anteriormente, cuando se circula por Autopistas, el peaje correspondiente incrementa los costos del usuario, sin embargo este importe adicional siempre deberá resultar favorable en la medida de la reducción de otros costos que se logren al transitar por una Autopista.

Los organismos y empresas concesionarias de Autopistas, buscan en sus programas de operación, reducir los costos de la transportación, por medio de estrategias de mantener en buen nivel el Índice de Servicio, así como mediante esquemas promocionales que reduzcan las cuotas del peaje en la medida de las posibilidades.

Para alcanzar estas metas, es importante contar con sistemas de operación que se adecuen a las condiciones de cada tramo del sistema carretero, aunado a mecanismos dinámicos de control, que identifiquen oportunamente las desviaciones y permitan aplicar medidas correctivas.

Para llegar a este esquema se debe partir de un principio en el que la organización misma, defina claramente sus objetivos, estrategias, políticas, procedimientos, normas, responsabilidades y sistemas de evaluación.

Con motivo de aforos muy por abajo del punto de equilibrio, en algunas Autopistas no se cuenta con ingresos suficientes, no digamos para cumplir con los compromisos financieros, estos no alcanzan ni para cubrir los gastos de una operación y conservación adecuada, ni para implementar mejores servicios en beneficio del usuario.

En el caso de los tramos poco rentables en donde el concesionario mantiene estados de pérdida económica por algunos periodos, es recomendable la intervención de la autoridad, a fin de rescatar la concesión y proceder a la aplicación de medidas como programas de mejoramiento y otros de reducción tarifaria o promoción, antes de que las condiciones físicas del tramo alcancen niveles de alto riesgo para el usuario.

La falta de conservación significa el desgaste acelerado del pavimento y daños mayores a la estructura de la Autopista, lo que provoca a su vez, una pérdida anticipada de la inversión y una más escasa presencia de usuarios.

Una Autopista requiere de lo siguiente para su buena operación y conservación:

Una organización con personal capacitado y responsable, encargado de las funciones de operación, conservación, administración, finanzas, supervisión, comercialización y mercadotecnia.

- a) Equipo electrónico moderno, confiable y eficaz para el control vehicular.
- b) Programas efectivos de operación, conservación y mantenimiento.
- c) Activos fijos que faciliten una operación ágil y dinámica.
- d) Tecnología para una posición más competitiva en el mercado.

A manera de ejemplificar como se dan en la realidad las condiciones operativas de una Autopista, a continuación se presenta un esquema de lo que normalmente se presenta en la práctica.

Para medir, cobrar, controlar e informar sobre los aforos vehiculares (por clases, horarios, turnos y carriles), así como de los ingresos correspondientes, las Autopistas cuentan con estaciones de peaje, que funcionan bajo los esquemas de sistema abierto o sistema cerrado.

El primero se refiere al sistema en el que se tiene una estación de peaje entre dos o tres accesos/salidas, de manera que registre, controle y cobre por el recorrido realizado entre los puntos extremos (caseta que controla 1 tramo), o bien por recorridos parciales (casetas que controlan 3 variantes del recorrido).

En el sistema cerrado, en cada acceso/salida existe una caseta que efectúa la doble función de emitir boletos para el vehículo que ingresa y cobrar al usuario que sale de la autopista, de acuerdo al recorrido realizado según el sitio de acceso marcado en el boleto.

En cualquiera de los casos señalados, el equipo electrónico de control vehicular, deberá estar constituido con los siguientes elementos:

Consola de operación. Es el equipo que se encuentra en el interior de la cabina y a través del cual se efectúan las funciones de registro vehicular y cobro. Cuenta con un teclado y una pequeña pantalla, montados sobre un mueble metálico que tiene cajón para depósito clasificado de billetes y monedas.

Detector de presencia. Este sensor registra por medio de elementos electromagnéticos, la presencia de vehículos que crucen frente a la cabina de cobro.

Detector cuenta ejes. Consiste de sensores en forma de banda ahulada, situados en el piso frente a la cabina de cobro, los cuales registran y cuentan las pisadas de los vehículos que cruzan la zona de cobro.

Detector doble rodada. Es un sensor semejante al cuenta ejes, el cual se localiza cercano a este último, el cual detecta la pisada de llanta doble. Este mecanismo tiene la función de identificar de manera distinta un vehículo ligero de dos ejes que se clasifica como automóvil, de un camión también con dos ejes, pero con doble rodada.

Indicador de tarifas. Esta formado por una pantalla que muestra al conductor la cantidad que debe pagar.

Semáforo de paso. Es el semáforo colocado a la vista del conductor en el momento que está pagando, el cual le indica que debe esperar hasta que el operador efectúe el cobro (luz roja) y el momento en que puede pasar (luz verde).

Semáforo de línea. Es aquel colocado de manera visible a cierta distancia, para que el conductor que llega a la zona de casetas pueda identificar los carriles de las casetas en operación (luz verde), de las que están fuera de servicio (luz roja).

Equipo concentrador. Es un equipo de computo tipo PC, habilitado para recibir, monitorear y registrar las operaciones realizadas por cada consola de operación. Como su nombre lo indica este equipo concentra todos los movimientos de determinada periodicidad de cada carril, a la vez que permite la integración e impresión de los reportes necesarios. De acuerdo al programa del proveedor del sistema, será la flexibilidad y alcance de la información disponible, así como la versatilidad de formatos y otras posibilidades de los equipos de computo.

Sistema interno de comunicación. Son teléfonos de intercomunicación que se utilizan para comunicar al personal de las cabinas con el jefe de turno o encargado de la estación, a fin de resolver anomalías que se presentan durante las operaciones.

Equipo de verificación por video. En algunos casos es posible la integración al sistema de cámaras de video, con la finalidad de grabar y monitorear cada operación realizada y el paso de los vehículos respectivos. La operación de estos equipos esta sincronizada a los registros del concentrador, de manera que se puede localizar cada transacción realizada, de acuerdo a la hora y carril deseado.

Algunas marcas y sistemas de equipos de control vehicular pueden tener variante como son: sistemas de pago automatizados, detectores tipo sonar, equipos láser de detección, sistemas de telepeaje (se comentan mas adelante), y otros accesorios mas sofisticados, generalmente para instalaciones con altos volúmenes de operaciones o alto grado de automatización.

Otra de las cualidades de los sistemas automatizados de registro vehicular, es la detección y registro de operaciones anormales, violaciones al sistema y fallas del equipo en sí.

El procedimiento en general podemos resumirlo en la siguiente forma:

Al iniciar su turno, el cobrador recibe del responsable del turno anterior, un corte de caja y cierta cantidad de efectivo, en cambio, para empezar sus operaciones. Procede de inmediato a deslizar su tarjeta de identificación por la ranura de la consola de operación, de manera que queda registrada la hora, numero del carril y datos de la persona responsable del cobro.

Unicamente cuando hay modificación de tarifas, al sistema se le actualizan los importes correspondientes a cada categoría de vehículo, que aplicará en forma automática para el tramo que se cobra.

Así cuando el vehículo llega a la zona de peaje, con carril abierto (señalado con semáforo en verde), los detectores identificaran la clase de vehículo, y enviaran la señal correspondiente al sistema, el cual calculará la tarifa por aplicar. Mientras esto ocurre, el cobrador deberá marcar en el teclado de la consola, como una confirmación al sistema, la categoría del vehículo que pasará, a partir de lo cual el sistema mostrará en pantalla al usuario la cantidad a pagar, misma que el cobrador deberá ingresar en caja

El sistema permite en cualquier momento totalizar aforos clasificados e ingresos, lo cual habilita al supervisor o responsable del turno, para auditar al cobrador en forma preliminar o al termino de su turno, reiniciando así un nuevo ciclo.

Como en cualquier otra labor, existen errores involuntarios y otras anomalías que hacen se presenten discrepancias entre lo teóricamente cobrado y lo realmente recibido. En este caso el sistema, que cuenta con memoria secuencial del registro de operaciones, señala la discrepancia, lo que facilita la revisión detallada de cada operación marcada en la consola por el cobrador y su comparación con lo ingresado de manera automática por el sistema.

Además de las discrepancias, otro tipo de anomalía que suele presentarse son las violaciones. Estas ocurren cuando se da el paso de un vehículo que no ha sido clasificado previamente. Como ejemplo un vehículo que trata de dar marcha atrás cuando el equipo lo detecta y de pronto prosigue nuevamente hacia adelante. En este caso se detectan dos presencias y una sola pasada.

Existe el caso de los vehículos exentos tales como los propios de la operadora, patrullas, transporte militar y otros, que no pagan al cruzar por la caseta. En estas situaciones, el cobrador debe marcar en el equipo el paso de éstos en forma normal, para evitar el registro de discrepancias o violaciones al sistema. A fin de justificar los faltantes en el corte de caja, en este caso la operación deberá complementarse con una autorización de parte del jefe responsable del turno y el llenado de una forma específica que identifique el tipo y propietario del vehículo exento.

En casos de fallas, en el suministro regular de energía eléctrica, las estaciones de peaje cuentan con plantas generadoras y sistemas automáticos de relevo que restablecen el flujo eléctrico en cuestión de segundos. El equipo electrónico de control de peaje a su vez cuenta con reguladores tipo acumulador que en caso de falla mantienen la continuidad de funcionamiento hasta por varios minutos, lo que evita cualquier pérdida de información o interrupciones en el registro de vehículos. Como otra medida adicional de protección, la memoria de las consolas de operación, mantiene una dualidad con los registros del concentrador, lo que a su vez brinda la protección de contar con respaldos de información, hasta por periodos de varios turnos.

Por tratarse de equipos electrónicos muy sensibles, que requieren de ciertos cuidados, es importante contar con protecciones físicas que preserven su integridad y buen estado funcional. Las causas más frecuentes que afectan las instalaciones son las sobrecargas eléctricas, las caídas de voltaje, las altas temperaturas, humedad, plagas que dañan circuitos, instalaciones defectuosas y deficiencias en los servicios de mantenimiento.

El equipo electrónico de control vehicular permite entre otros la generación de los siguientes reportes:

- Aforo mensual por carril con clasificación por clases.
- Aforo semanal por carril con clasificación por clases.
- Aforo diario por carril con clasificación por clases.
- Aforo por turno por carril con clasificación por clases.
- Aforo horario por carril con clasificación por clases.

- Concentrados de aforo para cada período, para todos los carriles, con clasificación por clases.
- Concentrados de aforo para cada período, por cada carril, con clasificación por clases.
- Ingresos para cada período, por carril, con desglose por clases.
- Concentrados de ingresos para cada período, para todos los carriles, con desglose por clases.
- Concentrados de ingresos para cada período, por carril, con desglose por clases.
- Discrepancias y violaciones por período y por carril.
- Concentrados de discrepancias y violaciones por período, para cada carril.
- Concentrados de discrepancias y violaciones por período, para todos los carriles.

Como se señaló anteriormente, la definición de reportes es muy flexible, dependiendo del programa y capacidades de los equipos.

Respecto a los programas de operación, conservación y mantenimiento de la empresa operadora de la autopista podemos señalar lo siguiente.

Una adecuada operación, conservación y mantenimiento de la autopista es la clave para alcanzar el éxito en las metas de la concesión, además de representar una obligación ante la Autoridad otorgante como se indica en las disposiciones del Título de Concesión

Para vigilar y controlar el cumplimiento de estas obligaciones, la S.C.T.* ha dispuesto desde 1994 de una serie de ordenamientos, agrupados en tres categorías.

La primera parte, se basa en la identificación las actividades concretas que comprenden la operación, las que clasifica de la siguiente manera:

- a) Servicios al usuario.
- b) Operación y administración de las casetas de peaje.
- c) Política comercial.
- d) Aprovechamiento del derecho de vía.

Los servicios al usuario incluyen: Atención de emergencias y servicios médicos; Auxilio mecánico; Sistemas de ayuda en la autopista; Servicios conexos como son baños limpios, gasolina y tiendas de conveniencia; Cobertura de seguro contra accidentes e información al usuario.

El grupo de actividades de operación y administración de las casetas de peaje, se refiere a las acciones que el concesionario debe realizar para asegurar que las casetas funcionen según lo previsto, tanto en sus aspectos operativos como de manejo del efectivo que recaudan. Entre estas actividades tenemos: Funcionamiento de las casetas de cobro en sus aspectos de personal, equipos, tecnología, etc.; Control de aforos e ingresos; Expedición de comprobantes de pago; Manejo de efectivo; Vigilancia policiaca o de elementos del ejercito; Manejo de vehículos exentos de pago.

Las actividades relacionadas con la política comercial son aquellas encaminadas a incrementar el número de usuarios tales como: Política tarifaria; Convenios comerciales por tipos de usuario; Esquemas de cobranza y facturación; Ampliación de nuevos accesos o acuerdos con vecinos.

Las actividades relacionadas con el uso del derecho de vía como pueden ser: Construcción y operación de paradores; Publicidad; Utilización de la zona de derecho de vía con ductos, líneas de fibra óptica, etc.; Vigilancia y cercado del derecho de vía; acciones contra invasiones o bloque del derecho de vía.

La segunda parte se refiere a los sistemas de información para dar seguimiento a los volúmenes de tránsito, tarifas e ingresos de las obras viales concesionadas.

Para ello se estableció un sistema de reportes mensuales que comprende:

- Datos generales de la obra vial concesionada.¹
- Croquis descriptivo de la autopista.¹
- Croquis descriptivo de la operación de cada caseta.¹
- Volúmenes de tránsito horario por movimiento.
- Volúmenes de tránsito diario por movimiento.
- Volúmenes de tránsito diario total por caseta.
- Informe histórico de tarifas por movimiento.²
- Ingresos diarios por movimiento.
- Ingreso diario total por caseta.

- Información básica de volumen de tránsito ponderado.

- Información básica estadística de volúmenes de tránsito.
- Información básica de ingresos.
- Información básica estadística de ingresos y tarifas.
- Volúmenes de tránsito anual.

¹ Una sola vez con el primer informe.

² Cada vez que se modifiquen las tarifas

La tercera parte corresponde al seguimiento de la conservación de las autopistas concesionadas, a fin de permitir un tránsito fluido y seguro, así como para evitar el deterioro progresivo durante el tiempo que dure la concesión.

Esta parte del sistema incluye los siguientes programas:

- a) Conservación rutinaria.
- b) Conservación preventiva y correctiva.
- c) Post-construcción.
- d) Administración.
- e) Ampliaciones.

El programa de conservación rutinaria incluye todas las acciones que permanentemente han de ser llevadas a cabo para que la autopista esté siempre en condiciones de tránsito fluido y seguro. Su periodicidad será anual y deberá incluir actividades como inspección del derecho de vía, retiro de caídos eventuales, limpieza de la superficie de rodamiento y retiro de basura del derecho de vía, limpieza de cunetas, contracunetas, lavaderos, limpieza de servicios en general, pintura, jardinería, desazolve de drenajes y canales de entrada, bacheos, renivelaciones aisladas, calafateo de grietas, reparaciones generales, desyerbe de acotamientos, señalamiento, retiro de propaganda, reparaciones ocasionadas a la autopista por accidentes, reparaciones del alumbrado, desazolve de muros de contención, etc. Algunas acciones son de carácter permanente y otras se efectúan al surgir la necesidad.

El concesionario deberá ejecutar las actividades señaladas en el programa y en forma adicional efectuar inspecciones diarias y semanales (de acuerdo a la acción por ejercer), para detectar problemas y corregirlos.

Este programa tendrá un seguimiento por parte del centro SCT correspondiente, el cual inspeccionará bimestralmente los avances y sobretodo la capacidad instalada del concesionario para atender y cumplir las actividades programadas.

El programa de conservación preventiva y correctiva, que tiene carácter permanente, periodicidad quinquenal y actualización anual, incluye todas aquellas actividades tendientes a mantener la autopista en buenas condiciones estructurales, con objeto de prever cualquier labor que deba realizarse antes de algún problema, buscando minimizar los costos del usuario y los propios de las acciones de conservación rutinaria. Las acciones principales de este programa son: sellos, reencarpetados, reparación de puentes, señalamiento y, en casos extremos, reconstrucciones y correcciones para eliminar defectos de construcción.

En apoyo a las acciones de este programa, la SCT señala la conveniencia de implementar los programas de administración de pavimentos y puentes desarrollados por el Instituto Mexicano del Transporte (SIMAP y SIAP).

Anualmente el concesionario con la colaboración del centro SCT determinarán el Índice de Servicio (IS) de la superficie de rodamiento, de acuerdo a las normas SCT o con procedimientos alternos autorizados. En caso de que el índice IS resulte menor de tres, el concesionario deberá plantear a la SCT su propuesta de rehabilitación y el programa correspondiente.

Adicionalmente el concesionario deberá evaluar en forma anual, basado en el manual de calificación de la SCT, ó uno alternativo autorizado, el estado de: Drenajes, cortes, terraplenes, estructuras y señalamiento.

En caso de ser necesario las evaluaciones podrán ser en cualquier momento y no en forma anual.

Los centros SCT supervisarán en forma periódica, los avances de este programa, así como las medidas tomadas por los concesionarios para identificar los sitios en que habrán de aplicarse las medidas preventivas correspondientes.

En su origen el programa de post-construcción, parte de una evaluación de las condiciones físicas de la autopista. A partir de éstas, se procede a elaborar el programa especial de acciones correctivas necesarias, el cual puede incluir varias etapas.

Es posible que este programa tenga que ser modificado posteriormente, en caso de que condiciones no contempladas durante la evaluación inicial, empiecen a crear problemas de seguridad para el usuario o la autopista.

Como pasos para la evaluación inicial la SCT sugiere los siguientes pasos:

1) Obtener el Índice de Servicio Actual ó el IRI de la superficie de rodamiento.

En una evaluación de pavimento deberá incluirse la siguiente información:

- Inspección detallada de los sitios que presenten desprendimientos, deformaciones, agrietamientos y otros desperfectos.
- Descripción del tramo.
 - Localización
 - Antecedentes de construcción.
 - Trabajos realizados de conservación.
 - Características geométricas del tramo.
- Datos generales.
 - Topografía.
 - Geología.
 - Clima.
 - Drenaje y subdrenaje.
- Calificación o Índice de servicio actual.
- Levantamiento de daños.
- Medición de deformaciones.
- Exploración directa y muestreo.
- Resultados de ensayos de laboratorio para obtener calidad de materiales
- Revisión de diseño de pavimento, para estructuras críticas de tramos homogéneos.
 - Datos de tránsito.
 - Criterio de deflexiones.
 - Criterio estructural.
- Problemas especiales.
- Conclusiones.

- Recomendaciones para rehabilitación con estrategia de conservación y proyecto ejecutivo de alternativa propuesta.
- Bancos de materiales por utilizar, que cumplan con las especificaciones.
- Informe fotográfico.

2. Evaluar las obras de drenaje y subdrenaje que presenten problemas en el momento de la inspección.

En un estudio de drenaje deberá incluirse la siguiente información:

- Descripción del tramo.
 - Localización
 - Descripción del tipo de drenaje transversal y longitudinal.
 - Causas de las deficiencias del drenaje con problemas.
 - Antigüedad de las obras.
 - En caso de puentes, estudios topohidráulicos e hidrológicos.
 - En obras menores el gasto asociado a un periodo de retorno de 50 años.
 - Antecedentes de construcción.
 - Trabajos realizados de conservación.
 - Informe fotográfico de las obras con problemas.
- Conclusiones.
- Recomendaciones de rehabilitaciones.

3. Identificar terraplenes y cortes que presenten problemas de inestabilidad, movimientos inaceptables, caídos, erosión, etc.

En un estudio de cortes y terraplenes inestables, deberá incluirse la siguiente información:

- Inspección detallada de agrietamientos, erosiones, bufamientos, asentamientos, presencia de agua, etc.
- Descripción de la falla.
 - Localización.
 - Antecedentes del proyecto y la construcción.
 - Geometría de la zona, con levantamiento topográfico.

- Condiciones de drenaje y subdrenaje.
- Estudio geológico regional.
- Estudio geológico de detalle.
- Estudio geofísico.
- Exploración directa con muestreo apropiado.
- Ensayes de laboratorio para obtener los parámetros de resistencia y deformabilidad de los materiales.
- Instrumentación.
- Análisis del problema con la nueva información.
- Informe fotográfico.
- Conclusiones.
- Recomendaciones, incluyendo el proyecto ejecutivo de la solución propuesta.

4. Inspeccionar las condiciones físicas de las estructuras que presenten problemas.

En un estudio de evaluación de estructuras, deberá incluirse para cada caso, la siguiente información:

- Datos generales.
- Descripción del proyecto.
- Evaluación del comportamiento hidráulico.
- Evaluación del comportamiento vial.
- Evaluación del estado físico
- Evaluación del comportamiento estructural.
- Reporte fotográfico.
- Evaluación preliminar del problema a partir de la nueva información.
- Recomendaciones para una evaluación mas detallada.
- Recomendaciones preliminares para la rehabilitación.

5. Inspección de los sitios con señalamientos inadecuados o deficientes.
6. Contratar la ejecución de estudios con propuestas de solución.
7. Preparar el programa tentativo y someterlo a la aprobación de la SCT.

El programa de administración ofrece el respaldo para organizar la ejecución de las tareas pertenecientes a los tres programas anteriores.

En este caso el programa incluye el levantamiento físico del inventario de la autopista, el cual puede estar basado en sistemas modernos de ayudas gráficas computarizadas y georreferidas.

La información recabada deberá incluir:

- Inventario físico de la geometría de la autopista.
- Inventario físico de las obras de drenaje transversal, longitudinal y obras complementarias.
- Inventario físico de los espesores de las secciones estructurales de la autopista.
- Inventario físico del señalamiento.
- Inventario físico del señalamiento, en su caso.
- Inventario físico de bancos de materiales para rehabilitación.
- Inventario de intersecciones, salidas, entradas, retornos, etc
- Inventario de bienes muebles e inmuebles.
- Inventario de gasolineras, restaurantes, paradores y servicios en general.
- Inventario de casetas, estaciones de radio-comunicación.
- Inventario de equipos y maquinaria de conservación.
- Inventario de cualquier otro elemento especial o de interés.

El programa de ampliaciones incluye aquellas obras de la autopista y puentes, que se convierten en necesarias, por requerimientos de seguridad, de capacidad, o de confort.

Las obras a las que se refiere este último programa pueden ser: Terceros carriles, ampliación de acotamientos, rampas para frenado de emergencia, entronques, retornos, paradores, miradores, ampliaciones de puentes, modificaciones en zonas de casetas, etc.

Los estudios para determinar la necesidad de las obras de ampliación, así como la ejecución de los de factibilidad, impacto ecológico y el antepresupuesto correspondiente, serán responsabilidad de la concesionaria, quien los tendrá que someter a la SCT para su autorización

Tecnología para una posición más competitiva en el mercado.

1. Tarjeta inteligente.

Nuestra época se ha caracterizado por el alto desarrollo tecnológico, sobretodo en materia de electrónica y de comunicaciones, de tal forma que hoy en día la evolución de los medios para manejo de dinero, ha alcanzado niveles sorprendentes.

Las autopistas modernas con altos volúmenes de tránsito, en donde el pago del peaje debe ser ágil, flexible, confiable, cómodo; deben ofrecer facilidades a las empresas transportistas que la utilizan frecuentemente.

La tarjeta actualmente utilizada por CAPUFE, en sus autopistas de cuota, tiene características, que brindan ventajas a las empresas transportistas con flotillas.

Este tipo de instrumento de pago ofrece las siguientes ventajas:

- a) Elimina el uso de efectivo.
- b) Obliga al chofer a utilizar las rutas establecidas por la empresa.
- c) Reduce el tiempo de la operación de pago. El transporte inclusive no detiene su marcha al pasar por la caseta.
- d) Permite a las empresas la utilización de un crédito de varios días.
- e) Genera información que reduce el trabajo administrativo de las empresas al contar con reportes de movimientos concentrados. Además brinda información estadística de los recorridos de las unidades.
- f) El organismo CAPUFE otorga pequeños descuentos al usuario con sistema.
- g) Ayuda a evitar la falsificación de boletos.
- h) Reduce costos administrativos a la empresa concesionaria.

Actualmente este tipo de tarjeta se ve superada por la denominada "tarjeta inteligente"; que la supera por las siguientes ventajas:

- Adiciona cualidades de escritura a las de lectura.
- Su aplicación puede ser más amplia, cubriendo otros giros comerciales.
- Puede ser utilizada, mediante el respaldo de un sistema bancario, como tarjeta monedero.
- Las capacidades electrónicas son superiores, lo que le permite ser un mejor medio de control, para la empresa transportista.
- Tiene mayores ventajas para la identificación vehicular.
- El sistema cuenta con más facilidades, en especial para el manejo de información sobre el vehículo (ej. Listas negras).
- El equipo de respaldo en terminales, requiere de una menor inversión.
- El costo de la tarjeta es menor.
- Se reduce el costo por transacción.
- Reduce el tiempo de recuperación de cartera a la empresa concesionaria.
- Accesible a usuarios en general.
- Facilita el control de exentos.

Como desventajas de la "tarjeta inteligente", con respecto a la utilizada por CAPUFE podemos señalar:

- Al ser una tarjeta de contacto, obliga a efectuar una operación de cuando menos 10 segundos.
- El sistema reduce el tiempo de cobranza al transportista, por lo que se reduce su ventaja del crédito. (Negociable según la empresa).

El esquema operativo de las operaciones realizadas con tarjeta son las siguientes:

- Las transacciones con tarjeta son transmitidas, por vía telefónica, de la estación de peaje a una central (integra en el caso CAPUFE y Banco en el caso T.I.)
- En un caso el Sistema CAPUFE centraliza las operaciones, y periódicamente efectúa la facturación y cobranza.

- En el caso de la tarjeta inteligente, operada a través de una institución bancaria, la transacción se registra diariamente y se descuenta de la cuenta bancaria del transportista o usuario. El banco envía periódicamente un informe al cuentahabiente, que incluso él mismo puede generar al poder leer directamente en su tarjeta las últimas 60 transacciones (mediante una P.C. acoplada a una lectora).

Actualmente CAPUFE opera su sistema en todas sus autopistas. Por su parte Bancomer ha desarrollado e implementado su sistema y lo opera en las autopistas concesionadas "Libramiento Oriente de Querétaro" y "Libramiento Oriente de San Luis Potosí" y "Constituyentes – La Venta – La Marquesa", y tiene en etapa de negociación otras 7 autopistas, con CAPUFE, BANOBRAS y otras empresas operadoras.

2. Telepeaje.

Respecto a ésta técnica para el pago de peaje, la tecnología ha desarrollado en la actualidad una amplia gama de sistemas y productos, de muy diversas clases y costos.

Entre algunas de las principales limitantes de estos equipos se tienen:

La tecnología esta cambiando continuamente sobretodo en lo relativo a estandares de operación, lo que provoca el que su vida económica sea muy corta, con el consiguiente incremento de sus costos de operación.

Son equipos y sistemas diseñados para grandes volúmenes de tránsito.

Los costos de mantenimiento son altos, sobretodo por la dependencia tecnológica en mano de obra extranjera y por la dificultad de contar con almacenamientos adecuados de refacciones.

3. Tarjeta monedero.

En nuestro país, esta modalidad de manejo de efectivo, se encuentra en vías de desarrollo. Algunas instituciones financieras cuentan con sistemas prototipo, que no han sido lanzados al mercado, hasta que se afinen algunos detalles operativos y se logren acuerdos sobre estandarización, que permitan el abatimiento de costos por medio de una red de terminales compartidas.

4. Comunicaciones vía satélite

La posibilidad de comunicación vía satélite, ha permitido el desarrollo de equipos digitales de comunicación, identificación y rastreo; que en el medio del transporte, ofrecen una muy amplia diversidad de aplicaciones. Entre estas podemos citar algunas como las siguientes:

“G.P.S.” (Geographical Position Sistem). Equipos que permiten determinar con alta precisión, la ubicación, con sus tres coordenadas, de una señal emitida en alta frecuencia.

El uso de estos equipos ha sido principalmente en el rastreo de unidades móviles de transporte, levantamientos topográficos de instalaciones, mediciones a larga distancia, señalamiento de rutas computarizadas, etc.

5. Sistemas de seguridad en el camino:

- Defensas disipadoras de energía.
- Pavimentos drenantes.
- Sistemas de información.

6. Páginas en Internet.

Esta herramienta permite al usuario planear su viaje, establecer rutas opcionales, programar sus gastos, identificar información particular y general sobre cada tramo por recorrer, etc.

Los concesionarios podrán utilizar este medio para ampliar sus comunicaciones, desarrollar medios publicitarios, utilizar canales de comunicación con clientes y proveedores, etc.

III.2.- Programas de conservación y mantenimiento.

Los requerimientos oficiales para dar cumplimiento a los señalamientos del Título de concesión en materia de conservación y mantenimiento, deben ser la base para el establecimiento de los programas de trabajo de la empresa operadora.

Sin embargo es importante señalar que lo realmente ejecutado en algunas de las Autopistas concesionadas, en acciones de conservación y mantenimiento, difiere con lo requerido por la autoridad.

Las causas principales de estas diferencias, las podemos encontrar en los siguientes hechos:

Los presupuestos de egresos en algunos tramos han sido limitados, por lo cual los trabajos de conservación han resultado menores a lo deseado.

Las obras de post-construcción han consumido recursos que inclusive en ocasiones se salen de lo programado.

Ante este panorama, podemos señalar que los trabajos necesarios para la preservación de la superficie de rodamiento y demás elementos de una autopista, requieren adecuarse continuamente a las condiciones reales, ocasionadas por el tipo y volumen de tránsito, efectos climatológicos, calidad de los trabajos de construcción y por el desgaste normal.

El programa de conservación debe partir de una planeación estratégica, adecuada a la realidad de las acciones por desarrollar, como se señaló anteriormente acorde a la disponibilidad de recursos y basado en un sistema sencillo, práctico y flexible para su seguimiento. Cuando un programa resulta inconsistente, con demasiados cambios y falta de control, provocará con el tiempo el incumplimiento de acciones y con ello un estado de deterioro progresivo, con las consecuencias implícitas de pérdida de seguridad y elevación de los costos de operación.

La base para el programa, es el adecuado conocimiento del estado físico de todos los elementos de la autopista, la práctica de acciones cada vez más eficaces, con registros de la evolución de las condiciones en el tiempo y un control de costos

La primera parte del programa se refiere a la formación de un inventario, que se actualizará anualmente, en el que se registre la siguiente información:

- Extensión de la superficie de pavimento.
- Ubicación y descripción de cada una de las estructuras.
- Ubicación y descripción de cada obra de drenaje.

- Ubicación y clasificación de cada pieza del señalamiento vertical.
- Longitud y ubicación de cada tipo de línea del señalamiento horizontal.
- Entronques, estaciones de peaje, estacionamientos, miradores, áreas de descanso, accesos, rampas, carriles adicionales, rampas para frenado de emergencia, etc.
- Edificios, con detalle de sus instalaciones.
- Pozos de agua, instalaciones y equipos.
- Descripción ubicación y detalles de Instalaciones hidrosanitarias con su equipamiento.
- Ubicación y clasificación de los...elementos de protección como son defensas, barreras, etc.
- Instalaciones y mobiliario en zonas de estacionamiento, miradores, áreas de descanso, paradores, centros traileros, zonas comerciales, restaurantes, hoteles, monumentos, sitios de interés, etc.
- Servicios al público (teléfonos S.O.S., teléfonos públicos, tanques de agua para radiador, puestos de socorro, talleres, refaccionarias, gasolineras, puestos de vigilancia, etc.
- Publicidad.
- Alumbrado.
- Superficie jardinada.

Una vez definida la base de datos de los elementos que conforman la autopista, es necesario complementarla con la evaluación inicial de su estado físico en cada uno de sus elementos. Esta primera medición, generalmente no refleja con exactitud las condiciones reales del estado que guardan los elementos para su correcto funcionamiento. A medida que transcurra el tiempo, la incidencia y dimensión de los problemas que vayan surgiendo, serán el mejor indicador para conocer y definir las condiciones reales y necesidades de conservación.

El método inicial para cuantificar y definir el estado físico enfocado a los programas de Conservación y Mantenimiento, no debe corresponde al utilizado en la calificación del nivel de servicio, esta medición tiene que ser mucho más detallada, a fin de tratar de descubrir, por observaciones directas e indirectas, el buen estado y correcto funcionamiento de cada elemento.

La información recabada durante el recorrido de evaluación, servirá para abrir la bitácora de conservación (bajo un sistema electrónico de control), y permitir el contar con un medio sencillo de referencia y control, sobre la evolución de los problemas y los resultados alcanzados en cada acción correctiva

Los registros llevados en la base de datos, deberán incluir entre otros, los siguientes datos:

- Fecha
- Elemento y clave
- Ubicación
- Descripción de condiciones anormales
- Numero de orden para trabajos ejecutados
- Resultados alcanzados en trabajos previos de tipo preventivo o correctivo
- Alcance de trabajos programados pendientes de ejecución
- Labores ejecutadas
- Recursos utilizados
- Proveedores
- Tiempo empleado
- Costo
- Observaciones y recomendaciones

Para facilitar el manejo de la información, se deberá contar con una demarcación por zonas, como pueden ser mitades de kilómetros entre estaciones cerradas.

Los objetivos que se persiguen en el manejo de esta información son los siguientes:

- Identificación y registro de anomalías.
- Evaluación de necesidades de subcontratación y asesorías.
- Integración de presupuestos.
- Definición de prioridades en los programas de reparación.
- Formulación de programas parciales de trabajo.
- Evaluación y programación de recursos.
- Medición de avances y rendimientos en los trabajos de mantenimiento.
- Registros de las erogaciones realizadas, por claves de costo, para el control presupuestal correspondiente.
- Datos históricos para fines de información en general

Las acciones de evaluación deberán ser efectuadas conjuntamente por personal de la Gerencia de Mantenimiento y de la Supervisión, a manera de confrontar criterios y alcanzar mejores niveles de detalle.

Existen en la actualidad diversos programas comerciales que pueden ser utilizados para la integración, seguimiento y control de obra, los cuales tienen gran capacidad de manejo de información y versatilidad en la integración de informes o reportes, quedando a juicio del responsable los alcances y tipo de información que deberá manejarse.

Lo importante del sistema es el que la información se maneje con claridad y oportunidad a fin de conocer y determinar las medidas correctivas que habrán de implementarse en los programas y presupuestos correspondientes.

La optimización en la aplicación de los recursos disponibles, generalmente escasos, deberá apegarse a las siguientes prioridades:

- Seguridad del usuario.
- Prolongación de la vida útil del elemento y sus áreas de influencia en la Autopista.
- Mejoramiento de la calidad e imagen de la Autopista.
- Abatimiento de costos.
- Cumplimiento de programas.

Además de los recursos económicos limitados, otro factor que se presenta con determinada frecuencia y que impacta en los programas de Conservación y Mantenimiento, es la escasez de Mano de Obra calificada y la alta rotación de personal en determinadas épocas del año en que se dedican a cultivar sus tierras.

Para ello en los programas de actividades, deberá incluirse un capítulo de adiestramiento y capacitación que mejore la calidad de la Mano de Obra empleada y por lo que respecta a los ciclos agrícolas tratar de identificarlos a fin de prevenir carencias por ausentismo e inclusive prever la posibilidad del manejo de subcontratos que interesen a pequeños empresarios o comuneros de la región.

La integración de cuadrillas para la ejecución de los trabajos, deberá estar limitada según la actividad a desarrollar, la dispersión excesiva del personal encarece su control y transportación, la concentración facilita estos factores pero disminuye el rendimiento cuando no se manejan sistemas de control adecuado.

La programación de las actividades de conservación además de estar ligada a los recursos disponibles, deberá tomar en cuenta las condiciones meteorológicas de la región. En algunos casos los periodos adecuados pueden ser de corta temporalidad o bien de horario limitado, lo cual habrá de tomarse en cuenta a la hora de diseñar los ciclos de trabajo y dimensionamiento de cuadrillas.

La mecanización del trabajo siempre será lo más recomendable cuando el tipo de actividad, los volúmenes de trabajo y la ubicación de los mismos lo permitan. La utilización de equipo requiere de un estudio adecuado de costos en el que se consideren tiempos ociosos, traslados, almacenaje, mantenimiento, subutilización, mano de obra para su operación y conservación y algo muy importante que es la amortización real por mal uso u obsolescencia.

Actividades contempladas en un programa de conservación rutinaria:

1. Corona.

- Bacheo.
- Reparación de indentaciones.
- Reparación de desprendimientos de sello o agregados.
- Renivelación de deformaciones.
- Resane de grietas.
- Reparación de llorado del asfalto.
- Desyerbe de la orilla de la carpeta.
- Barrido de la carpeta.
- Limpieza de manchones de aceite o diesel.
- Limpieza de desprendimientos de sello.

2. Cortes y terraplenes:

- Recargue de material en taludes erosionados.
- Desyerbe en hombros de terraplenes.
- Amacize de laderas en cortes.
- Desalojo en muros alcancía, del material desprendido.
- Rehabilitación de muros alcancía.

3. Derecho de vía.

- Desyerbe.
- Limpieza de basura
- Reparaciones al cerco del derecho de vía.
- Rehabilitación de postes y alambre en el cerco del derecho de vía.
- Clausura de accesos clandestinos.

4. Obras de drenaje.

- Desazolve de alcantarillas.
- Desazolve de canales de llamada
- Reparación de cabezales.

- Recargue de material en aleros.
- Resane de alcantarillas fisuradas.
- Rehabilitación de mamposterías.
- Reparaciones en bordillos, cunetas y lavaderos.
- Repintado de bordillos, cunetas y lavaderos.

5. Estructuras.

- Desazolve de drenes y desagües.
- Reparación de golpes en defensas.
- Recargue de material en conos de abatimiento.
- Reparaciones en parapetos.
- Limpieza de juntas.
- Rehabilitación de juntas.
- Limpieza de propaganda.

6. Señalamiento.

- Limpieza de señales.
- Repintado de estructuras.
- Rehabilitado de señales.
- Enderezado de señales.
- Reinstalación de señales.
- Reposición de defensas metálicas.
- Reinstalación de fantasmas.
- Reposición de vialetas.
- Rehabilitado de vialetas.
- Repintado de señalamientos en pavimento.
- Repintado de fantasmas.
- Repintado de reflejantes en fantasmas.

7. Estaciones de peaje.

- Pintura en edificios.
- Limpieza en gral.
- Limpieza de cisternas.
- Reparaciones en sanitarios.
- Limpieza de señalamientos.
- Rehabilitado de señalamiento.
- Cambio de focos.
- Repintado de guarniciones.
- Repintado de defensas.
- Jardinería.
- Barrido de pavimentos y estacionamientos.

- Limpieza de manchones de aceite y rodadas en pavimentos.
- Retiro de basura de depósitos.
- Reparaciones en banquetas y andadores.
- Pintura en estructuras.
- Impermeabilización de azoteas y cabinas.
- Rehabilitación de interiores cabinas.
- Pintura en cabinas.
- Fumigación de instalaciones y registros.
- Trabajos de plomería en sanitarios.
- Rehabilitación de mobiliario en sanitarios.
- Rehabilitación de cancelería en sanitarios.

8. Servicios.

- Abastecimiento de agua en depósitos.
- Reparaciones al equipo y cabinas S.O.S.
- Abastecimiento de consumibles en sanitarios y paradores.

Actividades contempladas en un programa de conservación preventiva y correctiva.

1. Corona.

- Renivelaciones.
- Reencarpetado.
- Reselleado.

2. Cortes y terraplenes.

- Tendido de taludes con problemas de estabilidad.
- Colocación de mallas y geotextiles en laderas y taludes.
- Construcción de muros secos tipo alcancía.
- Concreto lanzado.
- Drenaje
- Anclajes.
- Recubrimientos especiales.
- Desazolve de contracunetas.

3. Derecho de vía.

- Reforzamientos del cercado con alambre, postes y guardas.
- Excavación de zanjas para obstaculizar accesos clandestinos

4. Obras de drenaje.

- Ampliación del área drenante.
- Desarenadores.
- Bordillos, cunetas y lavaderos adicionales.
- Enrocamientos de protección.
- Ampliación de aleros y cabezales.

5. Estructuras.

- Ampliaciones.
- Reforzamientos.
- Mamposterías.
- Obras adicionales.

6. Señalamiento.

- Repintado del señalamiento horizontal.
- Reemplazo de señalamiento vertical.

7. Estaciones de peaje.

- Mantenimiento a instalaciones eléctricas.
- Mantenimiento a instalaciones del sistema de control vehicular.
- Mantenimiento a equipos de aire acondicionado en edificios y cabinas.
- Substitución de equipos.

8. Servicios.

- Mantenimiento de sanitarios y otras instalaciones ubicadas en áreas de descanso.
- Mantenimiento de equipos de radiocomunicación.

La conservación y mantenimiento de las autopistas no cuenta con una normatividad específica. Para los trabajos por ejecutar se aplican las especificaciones vigentes de la Dirección General de Conservación de la SCT, que cubren una gama muy amplia de trabajos, en lo referente a terracerías, pavimentos, estructuras, drenaje, señalamiento, edificación, etc. tanto en lo que respecta a muestreo, pruebas de laboratorio y control de calidad de los materiales, como en lo referente a procedimientos de ejecución y tolerancias.

En el caso de las autopistas, aún cuando la labor del supervisor en el control de la calidad de los trabajos, se apegue a lo señalado en la normatividad, este deberá contar, en los casos especiales, con el apoyo de técnicos calificados de reconocida experiencia, estudios y análisis de campo y/o gabinete sobre las condiciones existentes y las causas de origen de los problemas, así como contar con facilidades de herramientas y equipos modernos de verificación y medición.

La experiencia en conservación a través del corto período transcurrido, ha resaltado la necesidad de modificar los alcances de algunas normas que no resultan totalmente satisfactorias para el caso de autopistas (lavaderos, obras de drenaje, postes del derecho de vía, tipo de sello, taludes en terraplenes, arroyos de obras de drenaje, aproches de puentes).

IV.- Sistemas de control.

Como se ha mencionado anteriormente, el cumplimiento por parte de la empresa operadora de sus funciones en materia de operación, conservación y mantenimiento; está íntimamente ligado a factores internos como: la eficacia de su organización, el control de calidad instrumentado y adecuada liquidez económica que le permita la realización de estas funciones.

Para la empresa Concesionaria, responsable ante la autoridad y demás participantes en materia económica, de las acciones realizadas por la operadora, debe existir un medio de control que le permita conocer con oportunidad y claridad, el cumplimiento de las labores contratadas, a fin de tomar medidas correctivas cuando esto sea necesario.

Es por ello que en las concesiones surge la necesidad de la participación de una empresa supervisora externa, totalmente desligada de la organización de la empresa Operadora, que controle, verifique e informe sobre el desempeño.

Esta Supervisora debe a su vez responsabilizarse de ejercer acciones preventivas que induzcan a una mejoría continua en toda la organización, complementadas con funciones de evaluación del desarrollo y certificación de la calidad.

IV.1.- La Supervisión en la conservación y el mantenimiento.

Una manera de describir a detalle las funciones realizadas por la supervisión contratada es describir la serie de informes que realiza, que son:

a) Reporte semanal de actividades desarrolladas en la conservación.

El personal de campo de la supervisora mantiene un seguimiento diario de las actividades desarrolladas por el personal de la empresa operadora, encargada de la conservación y del mantenimiento.

El objetivo de esta actividad es dar seguimiento a los programas mensuales de trabajo, llevar un control de calidad de los trabajos y reportar a la Gerencia de la operadora y a la concesionaria los avances y niveles de calidad alcanzados.

Entre las principales actividades reportadas se tienen:

- Trabajos ejecutados por el personal.
- Trabajos realizados con equipo propio.
- Trabajos realizados con equipo rentado.
- Trabajos contratados a terceros.

El reporte en su primera parte es descriptivo, y se compone de un desglose por actividades, con su ubicación, los recursos empleados y los volúmenes ejecutados.

Una segunda parte del reporte consta de observaciones y recomendaciones, encaminadas a resaltar principalmente causas y origen de deficiencias, medidas correctivas que se sugieren, condiciones especiales de elementos de la autopista que deberán ser atendidos.

La parte final del reporte es en forma tabular y se compone de:

- Concepto.
- Unidad.
- Cantidad programada en el año.
- Cantidad programada para el mes.
- Cantidad ejecutada por semana del mes.
- Avance porcentual por actividad en el mes.
- Avance acumulado anual
- Avance porcentual acumulado anual.

Este informe cubre un período semanal de domingo a sábado y se envía vía fax los lunes.

b) Reporte bimestral del estado físico de la Autopista.

Mediante recorridos rutinarios de verificación, que realiza el personal supervisor de campo, así como a partir de una base de datos que forma el inventario general de la Autopista, se lleva un control de la evolución del estado físico de los siguientes elementos

- Superficie de rodamiento.
- Obras de drenaje.
- Zonas laterales del derecho de vía.
- Señalamiento.
- Obras diversas.
- Servicios.
- Cuerpos de la Autopista.
- Estaciones de peaje.
- Estructuras.

Cada uno de éstos, se subdivide a su vez en sus diversos componentes a fin de reportar en forma concisa, los desperfectos observados y los trabajos correctivos o preventivos a los que estuvo sujeta cada parte, durante el período que se reporta.

A fin de que el reporte sea más manejable, la Autopista se subdivide por tramos entre entronques, de tal manera que exista congruencia con los subtramos en que se califica el índice de servicio.

El objeto de este informe, es el de agrupar por frentes de trabajo las necesidades de mantenimiento, de tal forma que se facilite la elaboración y seguimiento de los programas periódicos de conservación y de mantenimiento, así como su control.

Este reporte se complementa con observaciones y recomendaciones de la empresa supervisora de forma particular por elemento y de tipo general para el período reportado.

Este mismo reporte incluye una segunda parte, con la calificación del Índice de Servicio de cada subtramo y un informe fotográfico con notas explicativas como pía de foto.

El informe completo se entrega a la Concesionaria con copia a la Gerencia de la empresa operadora.

c) Reporte trimestral de actividades para el comité del fideicomiso.

A fin de informar al pleno del comité técnico del fideicomiso de la concesión, sobre las actividades desarrolladas por el personal de la empresa Supervisora, cada ocasión que éste se reúne para analizar el estado que guarda la operación y las finanzas de la concesión, se entrega un reporte general de actividades.

Este reporte es de tipo descriptivo y tiene como objetivo señalar las principales actividades en que participó la supervisora, resaltar los hechos más significativos que en materia de conservación y mantenimiento se presentaron durante el período y denotar las recomendaciones y observaciones que propone la Supervisión, a fin de mantener las óptimas condiciones de la Autopista y la seguridad de los usuarios.

d) Calificación trimestral del índice de servicio.

De acuerdo a lo señalado en el Título de Concesión, la empresa concesionaria está obligada a mantener la Autopista en condiciones físicas que den por resultado una calificación del Índice de Servicio no menor a los 400 puntos. A fin de conocer la correcta atención de los desperfectos que se van presentando, la Supervisora efectúa periódicamente la evaluación de dicho índice, e informa a la concesionaria y a la empresa operadora

Esta calificación corresponde a una medida subjetiva, de las condiciones físicas de cada elemento, mediante una medida comparativa con un estado de perfección, en el que la autopista cuente con estructuras en condiciones óptimas que garanticen su funcionalidad y el usuario maneje con seguridad y comodidad.

En el caso de las Autopistas, el procedimiento interno de calificación puede ser el especificado por la SCT, que oficialmente es el indicado para las Autopistas concesionadas, o bien el utilizado por CAPUFE, que está basado en el de la SCT con adecuaciones enfocadas a las características y servicios de las Autopistas. En ambos casos la calificación máxima corresponde a una escala de 500 puntos y la mínima aceptable para autopistas es de 400 puntos.

En forma de resumen, el procedimiento de la SCT es el siguiente:

Se valoran los elementos en secciones de 10 km.

Los elementos que se califican y su factor de ponderación correspondiente son los siguientes:

Elemento	Valor relativo	Factor de influencia
Corona.	50	0.8
Drenaje.	30	0.8
Zonas laterales del derecho de vía.....	20	0.8
Señalamiento vertical.	60	0.2
Señalamiento horizontal.	40	0.2

Los elementos se califican de 0 a 5 con aproximación de un decimal, de acuerdo a la siguiente escala:

Calificación	Estado del elemento
0	Pésimo
0 - 1-	Muy malo
1 - 2	Malo
2 - 3	Regular
3 - 4	Bueno
4 - 5	Muy bueno
5	Excelente

La evaluación la realiza un "Calificador" acompañado de una persona que esté bien informada sobre las condiciones de los elementos del tramo.

El recorrido se efectúa en un vehículo a una velocidad no mayor de 60 km/hr con un mínimo de dos paradas por cada sección de 10 km, para confirmar a menor distancia el estado físico de sus elementos, principalmente obras de drenaje.

El tramo calificado no será mayor a 200 km diarios y deberá ser hecho de día, en caso de lluvia durante el recorrido, únicamente se calificara el drenaje y señalamiento vertical, efectuando un recorrido posterior en condiciones meteorológicas favorables para calificar el resto de los elementos.

Al final de cada sección el calificador detendrá la marcha para anotar en el formato correspondiente la calificación promedio de cada elemento en dicha sección.

La evaluación de cada elemento será independiente de los otros, esto es no se tomarán en cuenta influencias entre ellos.

En la calificación no deberán tomarse en cuenta condiciones particulares que afecten las condiciones de tránsito, hay que recordar que el objetivo es calificar la conservación de los elementos existentes.

Los tramos en reparación no deberán ser tomados en cuenta durante el recorrido.

El objetivo fundamental que es obtener la calificación de una sección se alcanza al sumar los productos que resultan de la multiplicación de la calificación de cada elemento por su valor relativo y su factor de influencia correspondiente. La calificación variará entre 0 a 500.

Con el mismo procedimiento puede obtenerse la calificación para cada elemento.

La calificación del tramo total será el resultado de dividir la suma de los productos resultado de multiplicar la calificación para cada sección por su longitud en kilómetros, entre la longitud total de las secciones calificadas.

Para juzgar el estado físico de un tramo, la SCT se basa en la siguiente correlación de rangos:

Calificación	Estado físico
De 0 a 250	Malo
Mayor a 250 Hasta 350	Regular
Mayor de 350 Hasta 500	Bueno

Para facilitar la evaluación de la calificación de cada elemento y que ésta no dependa enteramente del criterio del Calificador, la SCT establece los lineamientos y ayudas respectivas para el llenado de formas.

Para calificar la Corona del camino se parte de una base que cataloga la intensidad de deformaciones, y a partir de ésta se deducen en forma acumulativa fracciones de la puntuación correspondiente, según la concurrencia e intensidad de: grietas, agrietamientos poligonales, calaveras, baches y textura defectuosa.

Para medir la intensidad de defectos se consideran cinco tipos de graduación:

- a) No se observan defectos.
- b) Defectos corregidos.
- c) Tres zonas aisladas pequeñas por sección. (Se entiende por zona aislada pequeña aquella en que las deficiencias se localizan en longitudes que van desde los 5.0 m. a los 200.0 m.)
- d) Seis zonas aisladas amplias por sección. (Se entiende por zona aislada amplia aquella en que las deficiencias se localizan en longitudes que van desde los 200.0 m. hasta los 500.0 m.)
- e) Zonas Generalizadas (Cuando las deficiencias abarcan una longitud igual o mayor al 30% de la longitud total de la sección.)

En el caso de la calificación del elemento drenaje, la guía de la SCT para la puntuación correspondiente, se basa en el funcionamiento, los defectos físicos observables y las condiciones de conservación.

Esta calificación se efectúa, como se señaló anteriormente, en un mínimo de dos sitios donde por muestreo se evalúen: alcantarillas, vados y canalizaciones, representativos de la sección, a los que se les aplicará una puntuación de 0 a 5 según el grado de funcionamiento, el cual podrá ser satisfactorio, con obstrucciones parciales o totalmente obstruido. Del valor aplicado se descontaran puntos o fracciones en forma acumulativa, por los defectos físicos que se le encuentren como son grietas, cuarteaduras, socavaciones, etc. Adicionalmente se reducirá la calificación por obstrucciones en las cunetas, contracunetas o canales representativos de la sección; por daños en lavaderos, bordillos y guarniciones; y cuando la pendiente transversal, bombeo o sobre elevación, presente deformaciones menores o mayores según el grado de riesgo a que este expuesta la estabilidad del camino.

El derecho de vía es el siguiente elemento que se califica, y para ello la SCT establece una puntuación basada en la intensidad de las deficiencias que puede ser de tres categorías:

1. Sin deficiencias.
2. Deficiencias hasta en el 50% de la sección.
3. Deficiencias en mas del 50% de la sección.

La deficiencia principal es vegetación crecida en mas de 40 cm de altura dentro de los 5.0 m colindantes al hombro del camino. Para esta deficiencia se califica la sección en un rango que va de 2.5 a 5 según la intensidad de la deficiencia.

A partir de la calificación base anterior, se descuenta puntos o fracciones en forma acumulativa, por otras deficiencias como son: Vegetación en el resto del derecho de vía con mas de 1.5 m. de altura, vegetación u objetos que sean peligrosos al tránsito o al camino, cercados mal ubicados o de materiales inadecuados, falta de cercado, utilización indebida del derecho de vía con anuncios fuera de reglamento, basura o servidumbre.

Para el señalamiento vertical se sigue un procedimiento de calificación similar, en donde las deficiencias en el señalamiento preventivo, restrictivo e informativo darán lugar a una calificación base que será de 3 a 5 puntos cuando la intensidad de las deficiencias sea menor del 30% de las que podría haber por sección, de acuerdo al "Manual de dispositivos para el control de tránsito" que edita la SCT, y de 1 a 3 puntos cuando sea mayor a este mismo porcentaje.

A partir de la calificación base se deducen puntos por deficiencias en fantasmas, defensas y postes de kilometraje, estas deficiencias pueden ser: ausencia, falta de visibilidad, maltrato, falta de pintura, suciedad, etc.

El señalamiento horizontal se califica tomando como base la raya central, en donde nuevamente de acuerdo a la intensidad y a lo señalado en el "Manual de dispositivos para el control vehicular" se aplican de 4 a 5 puntos si la intensidad de deficiencias es menor del 30% y de 2 a 4 si es mayor

Las deficiencias de la raya central pueden ser: ausencia, falta de claridad, fuera de especificación especialmente en ubicación, dimensiones y color.

Las deficiencias en otras rayas como pueden ser laterales, separadoras de carril, canalizadoras, protectoras y marcas transversales del tipo de cruce de FF.CC., cruce de peatones, zonas de estacionamiento, paraderos de autobuses, cabezotes de alcantarillas, pilas y estribos de PIV, parapetos de puentes, guarniciones, etc. deducirán puntos de manera acumulativa, de la calificación base.

La calidad de la pintura por falta de elementos para su definición, quedará a juicio del Calificador basado en la visibilidad, grado de intemperismo y marcas por la acción del tránsito.

El manual de procedimiento de CAPUFE para la calificación del Índice de Servicio, esta basado en lo general sobre lo señalado por el de la SCT con algunas diferencias como las siguientes:

La sección comprende tramos de 1 km.

Las secciones se subdividen en zonas, estas en conceptos y estos en elementos.

Los elementos se califican igualmente en una escala de 0 a 5, con los siguientes niveles intermedios:

Calificación	Estado físico
0	Pésimo
0 – 1	Muy malo
1 – 2	Malo
2 – 3	Regular
3 – 4	Bueno
4 – 5	Muy bueno
5	Excelente

El recorrido deberá hacerlo el Calificador, en un vehículo que transite a 10 km/hr, con paradas suficientes para revisar a detalle elementos tales como alcantarillas, puentes, etc. Cuando la evaluación se haga sobre las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento, la velocidad deberá ser de 60 km/hr, observando simultáneamente los evaluadores hacia delante como hacia atrás, a fin de que la posición del sol ayude a detectar los puntos con daños severos.

La corona se calificará por carriles, representando el promedio de estos la evaluación de la corona.

La evaluación del funcionamiento hidráulico de la sobreelevación y bombeo deberá efectuarse en época de lluvias, de lo contrario no se tomará en cuenta en la calificación total.

El señalamiento vertical y horizontal se deberá evaluar de día y adicionalmente de noche.

Se incluye la evaluación de malla antideslumbrante (cuando la haya), la cual deberá efectuarse de noche

Las zonas por calificar en una sección y su valor relativo serán las siguientes:

Zona de la sección	Valor relativo
I.- Corona.	
1.1. Calzada	80
1.2. Acotamiento	20
II.- Drenaje.	
2.1. Alcantarillas y canalizaciones	40
2.2. Cunetas y contracunetas	30
2.3. Sobreelevación y bombeo	15
2.4. Bordillos y lavaderos	15
III.- Zonas laterales del derecho de	
3 1. Vegetación	35
3.2. Paisaje	15
3.3. Cercado	35
3.4. Uso indebido del derecho de vía	15
IV.- Señalamiento.	
4.1. Señalamiento vertical	60
4.2. Señalamiento horizontal	40
V.- Obras diversas.	
5.1. Faja separadora central	50
5.2. Defensa lateral	30
5.3. Malla	20
VI.- Servicios.	
6.1. Caseta de peaje	50
6.2. Pozos de agua	20
6.3. Paradero o mirador	10
6.4. Torres de auxilio S.O.S.	20

Zona de la sección	Valor relativo
VII.- Estructuras	
7.1. Pasos inferiores	25
7.2. Pasos superiores	20
7.3. Puentes carreteros	20
7.4. Pasos peatonales	15
7.5. Muros de contención	10
7.6. Techumbres	5
7.7. Edificación	5

Para llegar a la calificación del camino, el manual establece una guía para aplicar calificaciones de 0 a 5, a cada concepto, basadas en todos los casos en tres niveles de deterioro que son: leve, moderado y severo.

El procedimiento para llegar a la calificación por zonas, es el siguiente.

Se efectúa el recorrido y al final de cada sección se aplica una calificación a cada concepto de cada elemento así como una evaluación de la intensidad o porcentaje en que interviene cada tipo de deficiencia en la sección.

Al multiplicar cada deterioro o deficiencia por el porcentaje de afectación en la sección correspondiente, se llega a la calificación de cada concepto del elemento. La calificación mas baja en cada caso será la que se tome como puntuación del concepto.

A fin de determinar la calificación ponderada de la zona, cada concepto de la zona, en forma parcial, se multiplica por su valor relativo asignado (factor de importancia del concepto en la zona de la sección) y en casos específicos por la suma de éste último y el valor distribuido de los conceptos inexistentes.

A la suma de todos los conceptos por su valor relativo y su valor distribuido se le tomara como la calificación de esa zona en la sección.

Los valores de las calificaciones de las zonas se llevaran a un formato en donde se determine tanto la suma de las zonas de la sección, como los valores ponderados por tipo de zona, en las secciones del tramo de camino en que se califican las condiciones de servicio.

Finalmente a las calificaciones ponderadas de las diferentes zonas del camino, se les multiplica por su factor de influencia predeterminado (factor asignado y distribuido, que mide la importancia de cada zona en la calificación de las condiciones de servicio), y la suma total de las zonas afectadas por su factor, será la calificación general del camino, la cual no deberá mayor de 500 puntos, ni menor de 400 puntos en el caso de autopistas concesionadas.

e) Informes de visitas de especialistas con el fin de evaluar las condiciones de cortes y otros elementos con problemas.

En el caso de problemas específicos, la empresa Supervisora debe recurrir a los servicios de su personal especializado o a consultores asociados a fin proponer soluciones que digamos salen de la Supervisión "normal".

Los problemas más comunes que se observan en las Autopistas, corresponden a los de tipo geológico, en donde el proyecto no se adecuó de manera satisfactoria a las condiciones encontradas durante la construcción.

Cortes con gran inestabilidad, fallas expuestas con materiales degradables, cortes con rocas estratificadas empacadas con arcillas, estratos con hechados o fragmentación problemática, y algunos otros problemas, que se tienen en Autopistas como "Tehuacán – Oaxaca", "Cuernavaca – Acapulco", "Guadalajara – Tepic", "Tijuana – Ensenada", han requerido para su solución de grandes inversiones durante la operación, lo cual seguramente hubiese resultado más económico, si ésta se hubiera efectuado durante la construcción.

Las limitaciones económicas y algunas otras causas siguen siendo motivo de que algunos de estos problemas no cuenten con soluciones integrales, lo cual provoca que se efectúe una constante supervisión y evaluación de riesgos, además de implementar medidas preventivas inadecuadas.

Los reportes de estas condiciones deben ser muy descriptivos, soportados con una evaluación de parte de especialistas que delimiten claramente el problema, determinen las causas, calculen las tendencias y señalen los riesgos, recomienden soluciones y planteen líneas de acción.

En todos los casos de problemas, la asistencia de especialistas debe ser recurrente, con el fin de llevar un historial de la evolución.

Otro tipo de problema en donde se requiere el apoyo de especialistas, es el caso de estructuras como puentes y obras mayores de drenaje, donde por lo general son fenómenos naturales los que ocasionen daños, que ponen en peligro la vida de los usuarios o dañan partes importantes de las estructuras.

Los reportes de inspección, evaluación de daños y propuestas de solución para estos casos deben contener entre otros los siguientes datos:

- Tipo y descripción de la estructura.
- Ubicación

- Evaluación del daño.
- Causas que motivaron el desperfecto.
- Descripción de la falla.
- Alternativas de solución.
- Riesgos por el estado actual.
- Medidas preventivas hasta la reparación.

La importancia de este tipo de reportes va encaminada en primer lugar a evaluar la severidad del daño y la manera de repararlo, en segundo lugar como un medio indirecto de evaluación de riesgo y acción preventiva para elementos similares, ubicados a lo largo del tramo.

f) **Informes especiales sobre problemas específicos de pavimentos.**

Más común que los problemas anteriores y de mayor frecuencia en la etapa operativa, es el caso de deficiencias en que la estructura del pavimento y falta de calidad de la superficie de rodamiento, que se ven afectados por condiciones de fatiga o por fallas en la calidad de los mismos.

La temprana evaluación de desperfectos o desgaste prematuro, puede significar la oportunidad de aplicar medidas preventivas que alarguen la vida del pavimento, o bien permitir reparaciones de menor costo.

Al igual que otros tipos de desperfectos, se requiere que el informe presentado por el especialista, indique la ubicación, origen, causa, magnitud, gravedad, importancia, tendencia, grado de riesgo, alternativas de solución y medidas preventivas del problema, a fin de que se proceda a tomar las medidas necesarias hasta su total reparación.

g) Informes específicos sobre trabajos extraordinarios.

El Gobierno Federal otorgó las concesiones del Programa Nacional de Autopistas, bajo un esquema de licitación pública, al mejor postor que cumpliera con los requisitos señalados en las bases, que contara con la capacidad técnico-financiera, que ofreciera las condiciones más atractivas de plazo de concesión y monto de inversión (para las últimas concesiones otorgadas se modificó este esquema y se incluyó las tarifas de peaje propuestas por el postor). Para la formulación de su propuesta, los participantes calcularon su presupuesto y plan financiero a partir del proyecto e información entregados por la SCT.

Durante la ejecución de los trabajos, una vez otorgada la concesión, se presentaron condiciones que obligaron a modificar algunos elementos del proyecto, lo cual en la mayoría de los casos significó un incremento al monto de la inversión.

Posteriormente, iniciada la operación de la Autopista, se presentó una afluencia de usuarios muy por debajo de los volúmenes de tránsito garantizados por la SCT.

Esta última condición, así como los incrementos en la inversión original y otros efectos de la economía del país, anuló la rentabilidad de los proyectos, obligando a las partes involucradas a una reestructuración que colocó nuevamente a las concesiones en una situación de viabilidad.

A partir de ese momento volvieron a surgir necesidades de trabajos adicionales llamados de post-construcción, los cuales por no estar considerados ni en el mantenimiento menor o mayor, ni como una aportación adicional de las partes, es necesaria su cuantificación y registro a fin de dejar los antecedentes necesarios para cuando se defina su solución.

De ahí la importancia de llevar una supervisión y seguimiento de todos estos trabajos extraordinarios, además de contar con información de respaldo para previsión o solución de condiciones similares que en un futuro puedan presentarse.

Otros trabajos extraordinarios que también han requerido del apoyo de la Supervisión a fin de garantizar su correcta ejecución son algunas obras inducidas, servicios conexos, instalaciones adicionales que mejoren los servicios de la Autopista o bien trabajos de mantenimiento que se desarrollen fuera de programa, ocasionados por causas imprevistas o por conveniencia de la misma concesión.

Como ejemplos de estos últimos se pueden citar algunos trabajos de contratistas de Pemex, CFE, Cías de Telefonía y trabajos de la operadora para modernizar sistemas de control y otros de tipo comercial.

Los reportes sobre este tipo de trabajos, deben servir como antecedente de lo ejecutado señalando entre otros datos: alcances, descripción de incidentes, recomendaciones para futuras ampliaciones tanto de los trabajos motivo del reporte como de instalaciones de la autopista, etc.

V.- *Administración de Autopistas.*

Las reglas establecidas por la S.C.T. en las bases de concurso para la adjudicación de las concesiones, fueron dirigidas a empresas constructoras que contaban con capacidad técnica, económica y empresarial.

Las empresas concesionarias desde su origen, han contado con la participación de entes financieras, empresas constructoras asociadas y el mismo Gobierno Federal mediante su aportación como inversión, con la particularidad de que éste último no participa de utilidades potenciales, pero sí del beneficio que puede significar la recuperación anticipada de aquellos proyectos que alcancen los rendimientos señalados en las propuestas de los concursantes ó incumplan lo señalado en el título correspondiente.

Ante esquemas de organización distintos a los tradicionalmente manejados por los participantes, que de alguna manera continuarían desarrollando actividades propias de su giro, se acordó con la autoridad la participación de empresas concesionarias con capacidad jurídica propia y recursos aportados por sus propietarios, bajo las mismas bases originalmente convenidas.

Nacen así las concesiones otorgadas a favor de empresas distintas a las concursantes, pero en alguna forma respaldadas por estas, bajo las mismas bases ofrecidas en los concursos y respetando los lineamientos señalados en las bases de licitación.

Entra las obligaciones y derechos señalados en el Título de Concesión, se manifiesta que es responsabilidad del concesionario el cumplimiento de las normas y lineamientos del proyecto, quedando éste en libertad de contratar las obras con quien más convenga, siempre y cuando se garantice a juicio de la S.C.T. su capacidad técnica desarrollarlas.

A fin de dar cumplimiento a las condiciones de la concesión y garantizar el adecuado manejo de los recursos aportados al proyecto, el concesionario procedió a constituir ante una institución bancaria un fideicomiso para la administración de los recursos financieros.

Es de este modo que la organización y administración propia de las empresas concesionarias ha estado desligada desde su origen, de las empresas participantes como constructoras, financieras, operadoras, supervisoras y de aquellas otras que en alguna forma participen de la explotación de servicios conexos.

La organización de las empresas concesionarias está adecuada para manejar y controlar los aspectos legales, fiscales, comerciales, técnicos y administrativos que se requieren para dar cumplimiento a sus responsabilidades señaladas en el título de concesión correspondiente. En algunos casos específicos, estas empresas han conjuntado diversos proyectos dentro de su organización, contando siempre con la autorización de la autoridad y sobretodo siempre y cuando esta forma no contravenga alguna disposición de los títulos de concesión correspondientes.

La empresa concesionaria es la que responde ante la autoridad por todas las acciones realizadas en materia de operación, conservación, mantenimiento y explotación, así como lo hizo en su oportunidad durante las etapas de proyecto y construcción, aun cuando estas sean delegadas a terceros.

Como se menciona en capítulos anteriores, la operación de las Autopistas Concesionadas se ha efectuado hasta la fecha, a través de los servicios de empresas operadoras independientes de las Concesionarias. El motivo principal de ésta estrategia responde a intereses de orden legal, fiscal, operacional y administrativo.

Su responsabilidad obliga al concesionario a contar con una adecuada organización, capaz de atender aspectos tan diversos como pueden ser:

1. La estrecha relación que debe mantener con la autoridad en todo lo relativo a sus obligaciones.
2. Su adecuada actuación en labores de operación, conservación, mantenimiento y explotación de las instalaciones y demás elementos que constituyen el proyecto.
3. La resolución y seguimiento de los acuerdos establecidos con inversionistas, acreedores y autoridades.
4. El estudio y diseño de estrategias financieras, en casos especiales.
5. La estrecha vigilancia al cumplimiento de las disposiciones legales en materia fiscal, laboral, ambiental, de derecho civil, etc.
6. Los estudios y soluciones técnicas o administrativas que mejoren las condiciones del proyecto y favorezcan los resultados económicos de los inversionistas.
7. La administración vía fideicomiso, de los recursos económicos generados por la concesión, dando cabal cumplimiento de los compromisos y procedimientos establecidos para ello.

8. El desarrollo de actividades administrativas de planeación, programación y control de recursos humanos, materiales y financieros para la operación propia de la empresa concesionaria.
9. La entrega periódica al Comité Técnico y autoridades correspondientes, de Información relativa a los avances y otros aspectos de interés relacionados con la administración, operación, conservación, mantenimiento, supervisión y explotación comercial de la concesión
10. Su participación en actividades gremiales a favor del proyecto.

A partir del otorgamiento de las concesiones, las necesidades de información por parte de la autoridad, ha ido en aumento. Actualmente el concesionario entrega una gran cantidad de reportes, solicitados por la autoridad, los acreedores y los inversionistas.

Entre las causas de este cúmulo de información, se tiene: los cambios internos de las dependencias oficiales, la falta de coordinación, la evolución misma de las condiciones de operación, cambios que se han venido gestando en el control de la operación y como causa principal las condiciones críticas de los proyectos, que ha llevado a reestructuraciones y reversiones de ciertos tramos.

Entre las labores más importantes que debe coordinar el concesionario con la autoridad, se tiene la adecuación periódica de tarifas de peje, la aplicación de convenios promocionales y otras políticas de descuentos.

El título de concesión permite al concesionario la aplicación de las tarifas señaladas en dicho documento y su actualización automática cada vez que la inflación determinada por el Banco de México alcance un incremento del 5%.

En la práctica esta situación no se ha dado. Las tarifas han sido reducidas a lo largo del periodo operativo, mediante decretos, promociones oficiales, descuentos de parte de las concesionarias y una política de compactación de clases por parte de la S.C.T. para llevarlas a un nivel de congruencia con las aplicadas por Capufe.

En la actualidad las tarifas aplicadas, que siguen siendo señaladas como "altas", alcanzan un nivel de reducción del 35% en el caso de automóviles y del 50% para el caso del transporte pesado, con respecto a las tarifas oficialmente autorizadas en la reestructuración financiera de 1994.

A partir del rescate llevado a cabo por el Gobierno en septiembre de 1997, se aplicó a las carreteras incluidas en este programa, un descuento adicional del 17% a los automóviles, 27% a los autobuses y 37% a los camiones. En febrero de 1998 estas tarifas se actualizaron por única vez en 1998, con un incremento del 12%.

Las concesiones que no se incorporaron al rescate de 1997, están obligadas al cumplimiento de sus compromisos financieros y para la mayoría de ellas, en tanto no se incrementen de manera notoria los aforos, resulta apremiante el mantener el nivel real de sus ingresos y por tanto de sus tarifas.

Durante la vida del Programa de Autopistas Concesionadas, las condiciones políticas y económicas del país, han mostrado una gran influencia en los resultados de las Concesiones. En este tiempo, que en realidad ha sido corto en comparación con los plazos de las concesiones, Concesionarios y autoridades han tenido que desarrollar un gran número de estrategias, con el fin de salvar la viabilidad de los proyectos

El análisis de las condiciones de los proyectos, su evolución, el estudio de tendencias, la identificación de factores de mayor influencia en los resultados y la determinación de cursos de acción ante la diversidad de situaciones que han vivido los tramos concesionados; forman parte de un cúmulo de trabajos no considerados originalmente entre las funciones a desarrollar por el personal de las empresas, lo cual ha tenido influencia en la evolución misma de sus organizaciones.

Las concesiones a particulares, no cuentan con condiciones especiales, que las coloquen en un marco de trato preferencial, en los aspectos tradicionales de la administración de empresas.

La administración de la Autopista por parte de la empresa operadora, viene a complementar las funciones administrativas desarrolladas por la concesionaria, sin liberarla de su responsabilidad.

Estas funciones de la operadora, las cuales se mencionan en el capítulo correspondiente a la descripción de su organización, se han manejado dentro de esquemas de recursos limitados.

Las condiciones establecidas en los Memorándums de Entendimiento que sirvieron de base para la reestructuración financiera de 1994, señalan las siguientes prelacións para la asignación de los recursos disponibles, producto de los ingresos de la Concesión:

1. Gastos de operación, conservación, administración y mantenimiento menor.
2. Pago de intereses de la deuda bancaria.
3. Reserva para gastos de mantenimiento mayor.
4. Amortización del crédito.
5. Recuperación de la aportación hecha por el Banco en calidad de inversión, con rendimiento a tasa interna de retorno 0%.
6. Recuperación de las aportaciones del Concesionario, con rendimiento a tasa interna de retorno 0%.
7. Recuperación de la aportación de Capufe, mediante la reversión de la concesión al Gobierno Federal.

La forma de contratación que se ha venido manejando entre la empresa concesionaria y la operadora, es por precio alzado.

Para su funcionamiento, la empresa operadora presenta anualmente a la concesionaria un programa de trabajo de los siguientes doce meses, junto con un presupuesto de gastos mensuales, el cual abarca lo siguiente:

a) Gastos de operación.

- Personal.
- Vehículos.
- Materiales.
- Servicios.

b) Gastos de conservación.

- Personal.
- Vehículos.
- Materiales.
- Servicios.

c) Gastos indirectos.

Cada uno de los conceptos anteriores, se desglosa detalladamente por concepto, con los rendimientos y precios calculados según los registros del periodo anterior, clasificando los importes resultantes por tramos y subtramos.

Al importe total resultante, se le aplica un factor de utilidad, adecuado a las condiciones que rigen para este tipo de contrato.

La concesionaria después de evaluar los alcances y factibilidad de estos programas y presupuestos, los presenta a consideración del Comité Técnico del fideicomiso correspondiente, para que en caso de aprobación se proceda a programar estas erogaciones, conjuntamente con aquellas correspondientes al presupuesto de los gastos de administración de la propia concesionaria.

Cuando los presupuestos presentan variaciones por inflación, eventualidades extraordinarias que se tengan que atender, incrementos en costos, incrementos por aumento de los volúmenes de obra por ejecutar, etc. Se procede a calcular por parte de la empresa operadora, los incrementos de presupuesto y se presentan a la concesionaria, quien los analiza y de encontrarlos correctos los somete a la consideración del Comité Técnico en su siguiente sesión.

De contar con recursos suficientes, el fideicomiso entrega mensualmente a la Concesionaria las partidas autorizadas para su aplicación.

A la fecha existen trabajos imprevistos, obras de post-construcción y eventualidades que no han sido cubiertas por el fideicomiso. Estos casos denominados cuentas por pagar, han tenido que ser resueltos mediante aportaciones temporales de los mismos concesionarios. Entre los principales obstáculos para su liquidación por parte del fideicomiso, se tiene la falta de recursos, autorizaciones pendientes de parte de la S.C.T. y el rechazo de los acreedores del proyecto para modificar acuerdos de prelación de pago según lo establecido en los Memorándums de Entendimiento.

En ocasiones los presupuestos de conservación han sido ajustados a fin de cubrir trabajos urgentes, cuando estos corresponden a la categoría de trabajos de conservación o mantenimiento menor; Siempre y cuando lo autorice el Comité Técnico y se cuente con recursos en caja.

Otros gastos que se han tenido que afrontar por parte de la concesionaria y para lo cual también ha tenido que contar con la aprobación del Comité Técnico, han sido el pago de Auditorías operacionales y trabajos extraordinarios de supervisión externa.

VI.- Conclusiones.

El desarrollo económico de una región está ligado de manera importante a las condiciones de modernidad, integración, seguridad y economía que brinda su infraestructura carretera, por ello es fundamental que ésta cuente con las mejores condiciones de proyecto, sea realizada con calidad, se opere adecuadamente para brindar seguridad con niveles máximos de funcionalidad y finalmente se conserve y mantenga correctamente para prolongar al máximo sus cualidades y vida económica.

En condiciones de mercado fuertemente competidos o de recursos limitados, la estrategia financiera se convierte en una de las herramientas claves para situar los proyectos en condiciones de rentabilidad adecuada.

La participación del sector privado en la construcción, operación, conservación, administración y explotación de la infraestructura carretera, ha permitido mostrar las condiciones clave y las medidas que deberán ser tomadas en cuenta en futuros proyectos de desarrollo.

A futuro la operación de autopistas por parte de empresas privadas, sean estas concesionarias o simplemente contratadas para tal función, abre una oportunidad para perfeccionar esquemas de operación y administración, que permitan lograr el abatimiento de costos y la participación de nuevos sectores de la economía en el desarrollo regional.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“MANIFESTACIONES DE DETERIORO
EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS”**

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCION Y
CONSERVACION DE CARRETERAS**

**MODULO
CONSERVACION Y OPERACIÓN DE CARRETERAS**

**TEMA
“MANIFESTACIONES DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS
ESTRUCTURAS”**

CAUSAS DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

MANIFESTACIONES DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

CAUSAS DEL DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

- **INCREMENTO DE LA FRECUENCIA Y PESO, DE LA CARGA MOVIL.** Muchos de los puentes y pasos a desnivel, sobre todo los puentes, son estructuras que tienen mínimo 25 años de vida, por lo que la frecuencia de la carga móvil se ha multiplicado varias veces, respecto a los aforos que se tenían en la época de su diseño; por otro lado, las cargas móviles de diseño en muchos casos fueron la carga móvil HS15 de 24.5 ton. y actualmente las cargas son la HS20 de 32.8 ton, T3S3 de 46.0 ton y la T3S2R4 de 77.5 ton. Es obvio que la mayor frecuencia y la mayor concentración por eje o el mayor peso de los vehículos, ocasionan mayor deterioro en las estructuras de los puentes y pasos a desnivel.
- **INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE.** Indudablemente que las estructuras de los puentes y pasos a desnivel, sufren más deterioro en ambientes marinos como pueden ser los encontrados en las carreteras Costera del Golfo, Costera del Pacífico en sus zonas cercanas al mar, y Autopista Tijuana-Ensenada. En este ambiente marino el acero de refuerzo es más susceptible de sufrir ataques de corrosión que en un ambiente que no lo es. Así también el concreto sometido permanentemente a estos ambientes marinos, sufre ataques por cloruros que lo afectan tanto como al acero de refuerzo, ocasionando que por efecto de la corrosión del acero se fisure, degradándose paulatinamente.

En particular las estructuras de puentes y pasos a desnivel localizados en zonas próximas a complejos petroquímicos como el caso de Coatzacoalcos y Minatitlán en la Costera del Golfo, tienen un motivo adicional para sufrir deterioro, pues es un ambiente por naturaleza corrosivo, sobre todo agresivo para las estructuras de acero estructural, como el caso particular del tramo

levadizo del Puente Coatzacoalcos y los tirantes del Puente Ing. Antonio Dovalí Jaime.

- **DEFICIENTES O NULAS ACCIONES DE INSPECCION DE PUENTES O PASOS A DESNIVEL.** La manera de detectar los deterioros o anomalías que presenta la estructura, obras exteriores y obras complementarias de un puente o paso a desnivel, es inspeccionándolo periódicamente. Cuando estas inspecciones son deficientes o no se realizan, los daños o deterioros y anomalías que presentan se amplifican de tal manera, que su reparación es cada vez mas costosa y en condiciones cada vez mas difíciles de realizar. El cumplimiento de un programa de inspecciones preliminares que puede llevarse a cabo por la Superintendencia de Conservación de Puentes o mediante contratación de empresas especializadas, permite detectar esos daños y anomalías, cuya reparación puede realizarse a mediano plazo con costos relativamente bajos. De no ser detectados oportunamente, esos daños se amplificarán y su reparación costará cada vez más. En una plática posterior mas detallada, se aprovechará para exponer un sistema para atención de los puentes y pasos a desnivel que de unos diez años acá, se ha venido aplicando en CAPUFE.
- **DEFICIENCIA EN EL DISEÑO DEL PROYECTO Y EN LA SUPERVISION DE LA EJECUCION DE LA OBRA.** Otro motivo de deficiencias encontrado ha sido que en el diseño no se hayan respetado los mínimos del recubrimiento de acero de refuerzo en el armado de elementos estructurales, pues no se cumple con los valores indicados por las especificaciones de diseño. Este recubrimiento escaso, sobre todo en ambientes corrosivos marinos o petroquímicos, facilita el ataque de corrosión en ese acero de refuerzo, provocando el deterioro de la estructura. Sumando este problema al de una mala supervisión que no verifica recubrimientos correctos y que no se percata de colados mal vibrados que producen zonas permeables a la humedad ambiente, amplifican el deterioro que en la mayoría de los casos se manifiesta

después de varios años. El papel que juega la supervisión en la ejecución de una obra es de tal importancia, que derivado de la atención que se preste a la buena ejecución de la misma, se tendrán obras con mas o menos problemas de deterioro al paso de los años. A continuación se mostrará el "Sistema para la atención de los Puentes y Pasos a Desnivel de CAPUFE".

Como un complemento a esta exposición de causas de deterioro de los puentes y pasos a desnivel, más adelante se complementarán estas ideas con la exposición de los temas "Corrosión del acero en puentes" y "Patología del concreto y acero de refuerzo, en obras civiles".



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“MANIFESTACIONES DE DETERIORO
EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS”**

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCION Y
CONSERVACION DE CARRETERAS**

**MODULO
CONSERVACION Y OPERACIÓN DE CARRETERAS**

**TEMA
“MANIFESTACIONES DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS
ESTRUCTURAS”**

CAUSAS DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

MANIFESTACIONES DE DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

CAUSAS DEL DETERIORO EN PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS

- **INCREMENTO DE LA FRECUENCIA Y PESO, DE LA CARGA MOVIL.**
Muchos de los puentes y pasos a desnivel, sobre todo los puentes, son estructuras que tienen mínimo 25 años de vida, por lo que la frecuencia de la carga móvil se ha multiplicado varias veces, respecto a los aforos que se tenían en la época de su diseño; por otro lado, las cargas móviles de diseño en muchos casos fueron la carga móvil HS15 de 24.5 ton. y actualmente las cargas son la HS20 de 32.8 ton, T3S3 de 46.0 ton y la T3S2R4 de 77.5 ton. Es obvio que la mayor frecuencia y la mayor concentración por eje o el mayor peso de los vehículos, ocasionan mayor deterioro en las estructuras de los puentes y pasos a desnivel.
- **INFLUENCIA DEL MEDIO AMBIENTE.** Indudablemente que las estructuras de los puentes y pasos a desnivel, sufren más deterioro en ambientes marinos como pueden ser los encontrados en las carreteras Costera del Golfo, Costera del Pacífico en sus zonas cercanas al mar, y Autopista Tijuana-Ensenada. En este ambiente marino el acero de refuerzo es más susceptible de sufrir ataques de corrosión que en un ambiente que no lo es. Así también el concreto sometido permanentemente a estos ambientes marinos, sufre ataques por cloruros que lo afectan tanto como al acero de refuerzo, ocasionando que por efecto de la corrosión del acero se fisure, degradándose paulatinamente.

En particular las estructuras de puentes y pasos a desnivel localizados en zonas próximas a complejos petroquímicos como el caso de Coatzacoalcos y Minatitlán en la Costera del Golfo, tienen un motivo adicional para sufrir deterioro, pues es un ambiente por naturaleza corrosivo, sobre todo agresivo para las estructuras de acero estructural, como el caso particular del tramo

levadizo del Puente Coatzacoalcos y los tirantes del Puente Ing. Antonio Dovalí Jaime.

- **DEFICIENTES O NULAS ACCIONES DE INSPECCION DE PUENTES O PASOS A DESNIVEL.** La manera de detectar los deterioros o anomalías que presenta la estructura, obras exteriores y obras complementarias de un puente o paso a desnivel, es inspeccionándolo periódicamente. Cuando estas inspecciones son deficientes o no se realizan, los daños o deterioros y anomalías que presentan se amplifican de tal manera, que su reparación es cada vez mas costosa y en condiciones cada vez mas difíciles de realizar. El cumplimiento de un programa de inspecciones preliminares que puede llevarse a cabo por la Superintendencia de Conservación de Puentes o mediante contratación de empresas especializadas, permite detectar esos daños y anomalías, cuya reparación puede realizarse a mediano plazo con costos relativamente bajos. De no ser detectados oportunamente, esos daños se ampliarán y su reparación costará cada vez más. En una plática posterior mas detallada, se aprovechará para exponer un sistema para atención de los puentes y pasos a desnivel que de unos diez años acá, se ha venido aplicando en CAPUFE.
- **DEFICIENCIA EN EL DISEÑO DEL PROYECTO Y EN LA SUPERVISION DE LA EJECUCION DE LA OBRA.** Otro motivo de deficiencias encontrado ha sido que en el diseño no se hayan respetado los mínimos del recubrimiento de acero de refuerzo en el armado de elementos estructurales, pues no se cumple con los valores indicados por las especificaciones de diseño. Este recubrimiento escaso, sobre todo en ambientes corrosivos marinos o petroquímicos, facilita el ataque de corrosión en ese acero de refuerzo, provocando el deterioro de la estructura. Sumando este problema al de una mala supervisión que no verifica recubrimientos correctos y que no se percata de colados mal vibrados que producen zonas permeables a la humedad ambiente, amplifican el deterioro que en la mayoría de los casos se manifiesta

después de varios años. El papel que juega la supervisión en la ejecución de una obra es de tal importancia, que derivado de la atención que se preste a la buena ejecución de la misma, se tendrán obras con mas o menos problemas de deterioro al paso de los años. A continuación se mostrará el "Sistema para la atención de los Puentes y Pasos a Desnivel de CAPUFE".

Como un complemento a esta exposición de causas de deterioro de los puentes y pasos a desnivel, más adelante se complementarán estas ideas con la exposición de los temas "Corrosión del acero en puentes" y "Patología del concreto y acero de refuerzo, en obras civiles".



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

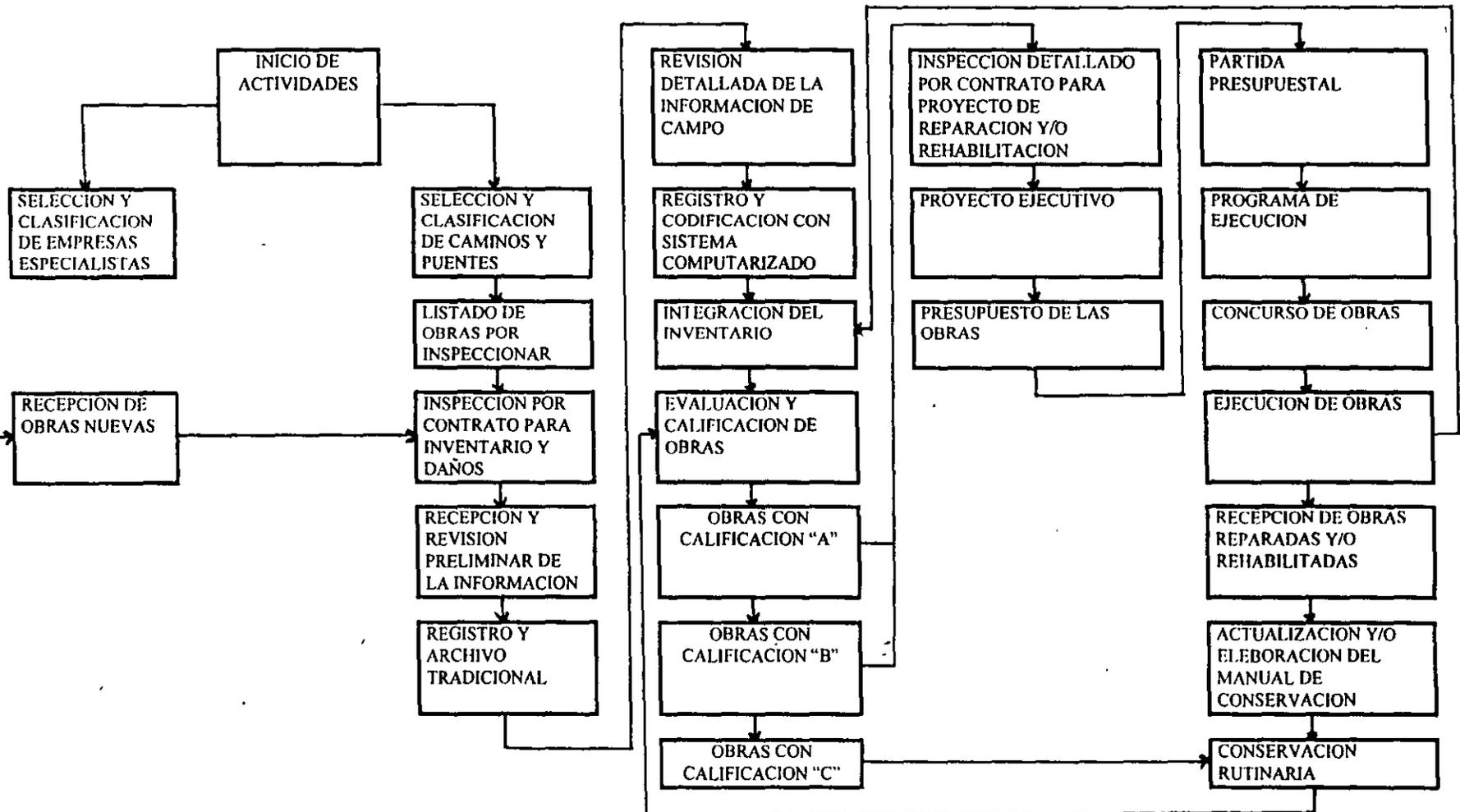
TEMA

“INSPECCIÓN SISTEMÁTICA”

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

INSPECCION SISTEMATICA

DIAGRAMA DE ACTIVIDADES
SISTEMA PARA LA ATENCION DE PUENTES Y PASOS A DESNIVEL



EVALUACION DE DAÑOS Y CALIFICACION DEL ESTADO FISICO DE LAS ESTRUCTURAS

El estado físico de las estructuras de puentes y pasos a desnivel, se califica con alguna de las tres designaciones A, B o C, dependiendo de la gravedad de su daño.

- CALIFICACION A REQUIERE ATENCION INMEDIATA.**
Puentes que presentan una o varias deficiencias graves que impliquen un peligro inminente para la seguridad pública o que puedan ocasionar la interrupción prolongada del tránsito sobre dicho puente.
- CALIFICACION B REQUIERE ATENCION A MEDIANO PLAZO.**
Aquellos puentes que presentan una o varias deficiencias importantes, que de no atenderse oportunamente pueden evolucionar hacia deficiencias graves.
- CALIFICACION C REQUIEREN MANTENIMIENTO NORMAL.**
Son los puentes que presentan deficiencias menores con evolución lenta y únicamente requieren trabajos rutinarios de conservación, tales como: deshierbe, desazolve de drenes, pintura de parapetos, limpieza y lubricación de apoyos, etc.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“INSPECCIÓN PRELIMINAR DEL ESTADO FÍSICO
DE LOS PUENTES Y PASOS A DESNIVEL”**

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

INSPECCION PRELIMINAR DEL ESTADO FISICO DE LOS PUENTES Y PASOS A DESNIVEL

INSPECCION DEL ESTADO FISICO DE LOS PUENTES

JEFE DE BRIGADA : _____		FECHA : _____	
1.- CARRETERA : _____ _____	COLINEAL A LA CARRETERA _____		
2.- TRAMO : _____ _____	TRANSVERSAL A LA CARRETERA _____		
3.- SUBTRAMO : _____			
4.- KILOMETRO : _____			
5.- ORIGEN : _____			
6.- NOMBRE : _____	NO EXISTE _____		
7.- TIPO DE SUPERESTRUCTURA			
CONCRETO REFORZADO _____	CONCRETO PRESFORZADO _____		
METALICO _____	METALICO-CONCRETO _____		
OTRO, ESPECIFICAR _____			
8.- TIPO DE SUBESTRUCTURA			
CONCRETO _____	CONCRETO PRESFORZADO _____		
PILA _____	ESTRIBO _____		
MAMPOSTERIA _____	MAMPOSTERIA _____		
9.- TRAZO GEOMETRICO			
TANGENTE _____	TANGENTE _____		
EN PLANTA CURVA DERECHA _____	EN ELEVACION EN CRESTA _____		
CURVA IZQUIERDA _____	EN COLUMPIO _____		
<u>TABLERO</u>			
NORMAL _____, ESVIAJADO _____	GRADOS DER., _____ GRADOS IZQ. _____		
(SEGUN KILOMETRAJE CRECIENTE)			

10.- ESQUEMAS

PLANTA:

11.- JUNTA DE DILATACION

EXISTE _____

NO EXISTE _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

12.- APOYOS

METALICO _____ PLOMO _____ NEOPRENO _____

OTRO _____ DESCRIPCION _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

13.- BARANDAL

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

14 a.- TABLERO DE CONCRETO REFORZADO

DIAFRAGMAS : NUMERO _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

NERVADURAS : NUMERO _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

LOSAS :

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

FLECHAS :

SE APRECIAN _____

NO SE APRECIAN _____

MANDAR MEDIR _____

14 b.- TABLERO DE CONCRETO PRESFORZADO

DIAFRAGMAS : NUMERO _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

NERVADURAS : NUMERO _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

LOSAS

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

14 b.- TABLERO DE CONCRETO PRESFORZADO

ANCLAJES

SE APRECIAN _____

NO SE APRECIAN _____

DESCRIPCION : _____

ESTADO : _____

MANCHAS :

NO SE APRECIAN _____

SE APRECIAN _____

LUGAR _____

DESCRIPCION : _____

FLECHAS :

NO SE APRECIAN _____

SE APRECIAN _____

MANDAR MEDIR _____

FISURAS :

NO SE APRECIAN _____

SE APRECIAN _____

LUGAR _____

DESCRIPCION : _____

15.- ESTUDIO DEL CAUCE

A LOS LADOS DE LA ESTRUCTURA, 200 m. EXISTE :

RIO _____ CARRETERA _____ FERROCARRIL _____

OTRO _____ ESPECIFICAR: _____

EFFECTOS DE SOCAVACION

NO SE APRECIAN _____

SE APRECIAN _____

DESCRIPCION : _____

ENCAUZAMIENTO

DEFINIDO _____ TANGENTE _____ EN CURVA _____

INDEFINIDO _____

CROQUIS (MOSTRANDO PILAS Y ESTRIBOS)

OBSTRUCCION

NO SE APRECIAN _____

SE APRECIAN _____

DESCRIPCION : _____

16.- ESTADO DE LA SUBESTRUCTURA

SOCAVACION

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

DESCRIPCION : (LUGAR Y TIPO) _____

DAÑOS POR IMPACTO

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

DESCRIPCION : (LUGAR Y TIPO) _____

HUNDIMIENTOS

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

MANDAR MEDIR _____

DESCRIPCION : (LUGAR Y TIPO) _____

DESPLOMES

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

MANDAR MEDIR _____

DESCRIPCION : (LUGAR Y TIPO) _____

AGRIETAMIENTOS

SE APRECIA _____

NO SE APRECIA _____

DESCRIPCION : _____

17.- REVISION DE ACCESOS Y CONOS DE DERRAME

ACCESOS

ACCESOS

EN TERRAPLEN _____

EN TERRAPLEN _____

ENTRADA EN CORTE _____

SALIDA EN CORTE _____

A NIVEL _____

A NIVEL _____

ESTADO DE ACCESOS Y CONOS; DESCRIPCION (REVISAR HUNDIMIENTOS Y DETERIO-
 ROS) _____

18.- DRENAJES

SUPERESTRUCTURA

EXISTEN _____

NO EXISTEN _____

ESTADO : _____

SUBESTRUCTURA

ESCURRE _____

NO ESCURRE _____

19.- SEÑALAMIENTO

INDICACION DE EXISTENCIA DE PUENTE Y/O REDUCCION DEL ACOTAMIENTO

ENTRADA	EXISTE _____	SALIDA	EXISTE _____
	NO EXISTE _____		NO EXISTE _____

20.- ALUMBRADO

EXISTE _____ NO EXISTE _____

ESTADO : _____

21.- MANTENIMIENTO

DESCRIPCION : _____

22.- REPARACION

DESCRIPCION : _____

23.- OTRAS PARTICULARIDADES

DESCRIPCION : _____

24.- REPORTE FOTOGRAFICO



RELACION DE ESTRUCTURAS QUE SE LOCALIZAN SOBRE LA AUTOPISTA TIJUANA-ENSENADA (48)

PUENTES: (9)

UBICACION		INSPECCION DETALLADA	INSPECCION PRELIMINAR	INSPECCION DETALLADA	CALIFICACION ACTUAL
KM.	NOMBRE	1990	1993	1994	
34+180	"ROSARITO"		"C"		"C"
45+015	"EL MORRO"	"B"			"C"
52+820	"MEDANOS"	"B"			"C"
56+175	"EL DESCANSO"		"C"		"C"
65+375	"ALISITOS"	"B"			"C"
69+300	"LA MISION"		"A"	"A"	"B"
73+100	"LA SALINA"		"C"		"C"
88+975	"MANANTIALES"	"B"			"C"
98+990	"EL CARMEN"	"B"			"C"

PASOS INFERIORES PARA PEATONES (4)

UBICACION		NOMBRE	INSPECCION DETALLADA	INSPECCION PRELIMINAR	INSPECCION DETALLADA	CALIFICACION ACTUAL
KM.			1990	1993	1994	
29+030		S/N				"C"
29+900		S/N				"C"
33+860		S/N				"C"
70+950		"MAL PASO I"	"A" (DESMANTELADO)		"A"	
71+789		S/N	1	"C"		"C"



PASOS INFERIORES VEHICULARES (14)

UBICACION	NOMBRE	INSPECCION DETALLADA	INSPECCION PRELIMINAR	INSPECCION DETALLADA	CALIFICACION ACTUAL
KM.		1990	1993	1994	
14+625	ENTRONQUE "LA JOYA"	"C"			"C"
22+000	ENTRONQUE "SAN ANTONIO"			"A"	"C"
24+620	ENTRONQUE "RANCHO DEL MAR"		"C"		"C"
28+875	"LA TOMATERA"	"C"			"C"
29+395	"ROSARITO NORTE I"		"C"		"C"
29+600	"ROSARITO NORTE II"		"C"		"C"
32+257	"KONTIKI"	"A"			"C"
34+650	"ROSARITO SUR I"	"C"			"C"
34+900	"ROSARITO SUR II"	"C"			"C"
37+405	S/N	"C"			"C"
52+110	"REYNOSA"	"C"		"C"	"C"
59+970	"CARDENAS"	"C"		"B"	"C"
77+710	ENTRONQUE "JATAY"	"B"		"B"	"C"
83+970	ENTRONQUE "EL MIRAD"	"C"			"C"



PASOS SUPERIORES (21)

UBICACION	NOMBRE	INSPECCION DETALLADA	INSPECCION PRELIMINAR	INSPECCION DETALLADA	CALIFICACION
KM.		1990	1993	1994	ACTUAL
9+950	"EL VIGIA" ENTRONQUE "PUNTA		"C"		"C"
16+080	BANDERA"		"C"		"C"
40+350	"POPOTLA"		"C"		"C"
44+015	"GAVIOTAS"		"C"		"C"
46+850	"LA LADRILLERA"		"C"		"C"
49+285	ENTRONQUE "CANTILES"		"C"		"C"
50+440	"PUERTO NUEVO"		"C"		"C"
53+145	ENTRONQUE "CANTA MAR"		"C"		"C"
53+785	"PRIMO TAPIA"		"C"		"C"
55+625	"LA POSTA"		"B"		"B"
56+235	S/N ENTRONQUE "CUENCA		"C"		"C"
58+530	LECHERA"		"C"		"C"
60+720	"LAS CHIVAS"		"C"		"C"
64+410	"STA. MARIA"		"C"		"C"
65+480	ENTRONQUE "ALISITOS"		"C"		"C"
68+000	S/N		"C"		"C"
68+650	S/N		"C"		"C"
69+820	"PUNTA PIEDRA"		"C"		"C"
72+900	"LA SALINA"		"C"		"C"
82+030	"JATAY"		"C"		"C"
87+640	S/N	3	"B"		"B"



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“LA CORROSIÓN DEL ACERO EN PUENTES”

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

LA CORROSION DEL ACERO EN PUENTES

LA CORROSIÓN DEL ACERO EN PUENTES

La corrosión es un proceso de deterioro que se da en los materiales, particularmente en los metálicos, cuando estos interactúan con un medio agresivo: una atmósfera contaminada o un líquido corrosivo, líquido puro o solución acuosa de electrolitos. En este último caso, las sustancias corrosivas son productos químicos que al disolverse se disocian en cargas positivas y negativas.

Así por ejemplo, atmósferas corrosivas son, como la de la ciudad de México, contaminadas con H_2S , SO_2 y SO_3 principalmente que, en presencia de la humedad ambiental forman ácidos y se disocian en iones agresivos: S^{-2} , SO_3^{-2} y SO_4^{-2} , iones éstos sulfuro, sulfito y sulfato respectivamente. Particularmente agresivas son las atmósferas de las zonas portuarias, que en la humedad que arrastran llevan, además iones Cl^{-} (cloruro).

Todos estos materiales agresivos, actúan sobre metales de las estructuras expuestas, de concreto reforzado y de concreto presforzado, en cada caso de manera específica de acuerdo con las características de los sustratos y las condiciones de ataque corrosivo.

1.- El acero expuesto

En el caso del acero estructural expuesto, como es el caso que se da en los puentes de Coatzacoalcos I o de Alvarado, por ejemplo, los procesos corrosivos dependen de factores fuertemente relacionados con las condiciones del sustrato: naturaleza del acero, propiedades y estado actual de los recubrimientos anticorrosivos y de condiciones externas como la composición atmosférica, la humedad relativa y el régimen de lluvias.

En muchas ocasiones el acero de los puentes es el mismo de origen, pero en la mayor parte de éstos las reparaciones se han realizado utilizando aceros comerciales del tipo A36 O A50, de modo tal que cada uno de esos aceros se comporta un poco diferente frente a los medios corrosivos, dando lugar a procesos y estados de deterioro diversos.

En algunos puentes como el Coatzacoalcos I, se presenta una situación particular: cada elemento metálico, dependiendo del papel estructural que juega esta conformado con un acero especial (especificaciones DIN), con la circunstancia consecuente de que ello da lugar a dos cuestiones importantes:

- Cada pieza del puente presenta un proceso corrosivo su generis frente a condiciones agresivas semejantes.
- Las consecuencias estructurales de estas acciones corrosivas, son diferentes en cada caso, aún cuando el proceso corrosivo llegue a ser similar.

Así pues, en beneficio del óptimo comportamiento mecánico de los elementos del puente, el tipo y concentración de aleantes en un acero, puede dar lugar frente a un contaminante atmosférico o en su caso marino, a diferentes tipos de corrosión y lo que en algunos casos puede ser la corrosión generalizada del alma de una pieza de puente o de un larguero, por ejemplo, en un montante o en una diagonal podría ser una forma de corrosión localizada que incluso, llegue a perforar el acero.

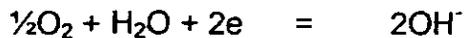
Por otro lado, un mismo tipo de corrosión con sus consecuencias deteriorantes, da lugar a cambios en las propiedades estructurales al grado de que, la afectación en un montante central de la armadura de un puente, tiene consecuencia muy diferentes de las que corresponden a una pieza similar cerca de los apoyos.

Ahora bien, las reacciones electroquímicas en las zonas anódicas y catódicas de las miles de pilas de corrosión que se forman en el proceso deteriorante, son las siguientes:

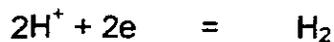
En las zonas anódicas:



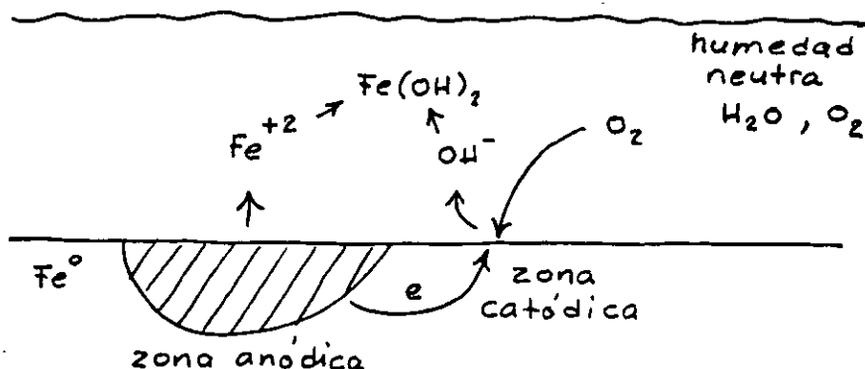
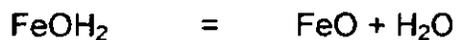
En las zonas catódicas neutras:

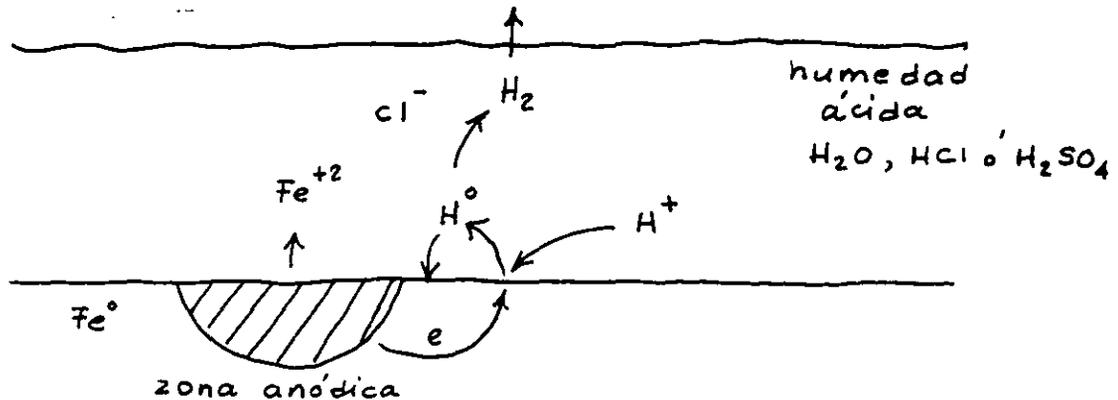


En las zonas catódicas ácidas (consecuencia de atmósferas ácidas):



Como puede observarse, en tanto que en las zonas anódicas se produce frente al contenido salino de la atmósfera corrosiva, una concentración importante de iones ferrosos (Fe^{+2}), en las zonas catódicas se forman iones alcalinos (OH^-), afectando al recubrimiento anticorrosivo y desprendiéndose en el mismo proceso, hidrógeno gaseoso que puede introducirse en el acero, fragilizándolo y favoreciendo con ello, la fractura del metal ante esfuerzos que en otras condiciones no serían críticos. Finalmente, los productos de estas reacciones dan lugar a la formación de hidróxido ferroso ($\text{Fe}(\text{OH})_2$), que al deshidratarse, produce esa mezcla de óxidos de naranja a negro, que todos hemos observado:





Por este motivo, las estructuras metálicas expuestas a atmósferas agresivas, deben protegerse mediante la aplicación de recubrimientos que cumplan con tareas como:

- Una protección de barrera que tiene como propósito, aislar al sustrato del medio ambiente (recubrimiento epóxico, por ejemplo) y
- Una protección específica del sustrato y un recubrimiento general, fuertemente resistente a la atmósfera, lo que constituye los sistemas de primario y acabado respectivamente (como puede ser un epóxico con zinc y un poliuretano elastomérico)

Cuando se trata de acero sumergido en un medio acuoso, como un río, una laguna o el mar, como es el caso de las piernas de las plataformas o las columnas que sostienen parcialmente al puente Coatzacoalcos I por ejemplo, los procesos corrosivos son similares a los mencionados, sólo que en este caso, independientemente del tipo de protección, puede aplicarse protección catódica con ánodos galvánicos o corriente impresa.

Referencias:

Demetrios E. Tonias. **BRIDGE ENGINEERING**. McGraw-Hill, Inc. N.Y. 1994.

Parsons & Brinckerhoff. **BRIDGE INSPECTION AND REHABILITATION**.

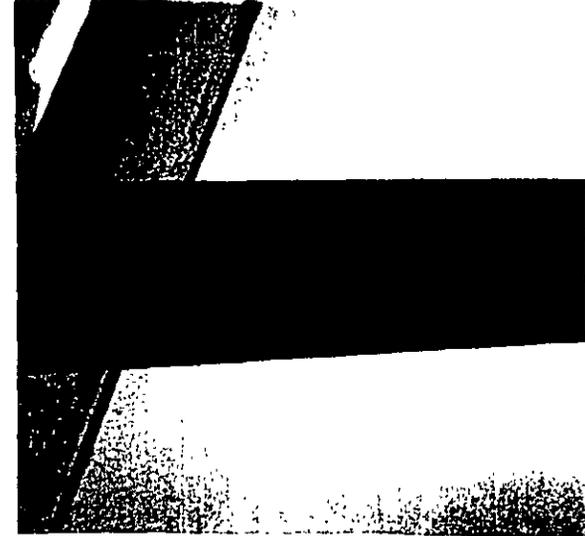
John Wiley & Sons, Inc. N.Y. 1993.

Highway Research **RECORD** No. 110. Highway Research Board. Washington. D.C. 1966.

FORMAS COMUNES DE CORROSIÓN
EN PUENTES METÁLICOS



5



CORROSIÓN EN
ZONAS OCULTAS
(reacción diferencial)

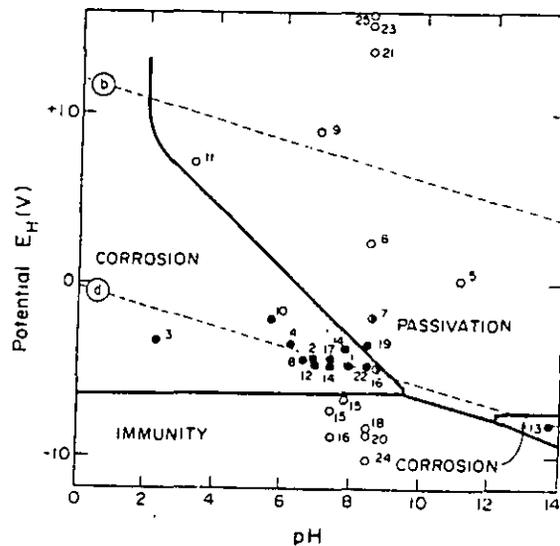
CORROSIÓN
LOCALIZADA

CORROSIÓN
GENERALIZADA

2.- El acero de refuerzo

El acero en el concreto reforzado es barra de acero al carbón embebido en un medio alcalino ($\text{pH} = 12$ a 13), que es la interfase con el concreto. En condiciones óptimas este concreto debe ser un producto con una densidad aproximada de 2500 Kg/m^3 y una relación agua cemento no mayor a 0.35 .

Generalmente, el acero de refuerzo se ahoga en el concreto, desnudo quizá con algo de cáscara de laminación que es un óxido de fierro configurando una capa muy delgada. No obstante ello, lo que en principio protege al acero en cuestión es el hecho de que el pH de 12 en la interfase acero-concreto, es lo suficientemente alto para situarlo en la zona de pasivación (Diagrama de M. Pourbaix), ésto es, para protegerlo contra la corrosión del agua de fraguado del concreto.

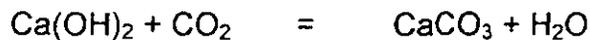


Sin embargo, dado que los "colados" en la práctica nunca son compactos ni están libres de huecos y hendiduras e incluso de fisuras, de un modo u otro las aguas de lluvia o de lavado, que siempre contienen, cuando menos iones Cl^- , SO_4 y O_2 , penetran fácilmente hasta el acero de refuerzo, provocando procesos corrosivos que oscilan entre estados de oxidación superficial y pasivante, hasta francos fenómenos de deterioro que llegan a trozar las varillas del metal.

Los procesos corrosivos y las reacciones electroquímicas correspondientes son similares a las mencionadas en el caso del acero expuesto, con algunas circunstancias particulares:

- Es típica la formación de pilas de aereación diferencial, ocasionando corrosión de zonas ocultas.
Los iones provocadores del proceso corrosivo, son básicamente los iones Cl^- y SO_4^{-2} .
- El agua que llega a la interfase acero-concreto, frecuentemente se acumula en los huecos que se forman ahí, provocando la continuidad del proceso de corrosión.
- Cuando al concreto se le ha agregado CaCl_2 para acelerar el fraguado, la corrosión se acelera y las consecuencias resultan desastrosas.

Por otra parte, conviene considerar el hecho de que al penetrar el CO_2 atmosférico al interior de las fisuras en el concreto, reacciona con el Ca(OH)_2 de éste,



abatiendo el pH de la interfase a 8-8.5, ubicándolo por detrás de la zona de pasivación, lo que favorece los subsiguientes procesos corrosivos.

Por su parte, en el ambiente marino, el problema se complica debido a que, además, la elevada concentración de Cl^- en la brisa (casi 30%), verdaderamente destruye al acero de refuerzo, al grado de que unas veces se llega a pulverizar como óxido y otras destruye al concreto la presión que ejerce el volumen que ocupan los óxidos de fierro, con frecuencia de 8 a 10 veces el del acero del que provienen.

Ahora bien, de manera simplificada puede considerarse que la protección del acero de refuerzo, se lleva a cabo de diferentes maneras:

- Protección previa de la "varilla de construcción" recubriéndosele con productos epóxicos.
- Protección del acero descubierto cuando el concreto que lo rodea se ha deteriorado, utilizando mastiques o morteros epóxicos.
- Protección catódica mediante cintas, instalada desde el colado mismo de las vigas, las losas o las columnas de concreto reforzado.

Referencias:

K. B. Pithouse. The Cathodic Protection of Steel Reinforcement in Concrete
Corrosion Prevention & Control. Oct. 1986.

Ivan Medgyesi et. al. Control de la Corrosión del Refuerzo en Estructuras
de Concreto Reforzado. Instituto FTV de Budapest,
Ungría. Traducción al español por el Centro de
Documentación Técnica de SCT. Marzo de 1990.

R. J. Cope. CONCRETE BRIDGE ENGINEERING: PERFORMANCE AND
ADVANCES. Elsevier Applied Science Publishers, Ltd.
England. 1987.

José E. Romero López. Las Resinas Epóxicas en la Rehabilitación de
Estructuras de Concreto. Construcción y Tecnología
Vol. IX. No. 107. Abril de 1997.

CORROSIÓN EN ACERO DE REFUERZO



CORROSIÓN EN ACERO DE PRESFUERZO



3. EL Acero de Presfuerzo

El acero de presfuerzo es un acero de alta resistencia a la tensión, con una composición media de:

C	0.6	a	0.9 %
Si	0.12	a	1.9 %
Mn	0.3	a	1.2 %

como aleantes fundamentales que le proporcionan un incremento de 10 Kg/mm^2 en su resistencia a la tensión, por cada unidad porcentual en el contenido de cada uno de los elementos Mn y Si. Además, el Si en la proporción referida, aumenta el límite de cedencia del material y su resistencia a la corrosión.

Sin embargo, los impactos mecánicos y los calentamientos puntuales dan lugar a incrementos en la energía libre del metal y en consecuencia facilitan las fracturas, tanto debidas a corrosión bajo tensión, como por fragilización por hidrógeno.

3.1 Fractura por corrosión bajo tensión

La fractura por corrosión bajo esfuerzo es un tipo de corrosión altamente localizado y se define como la fractura perpendicular al esfuerzo de tensión en una aleación, como resultado de la acción combinada de la corrosión y del esfuerzo estático a la tensión, aún cuando con frecuencia sea imperceptible el nivel de corrosión previo a la falla del material. Este esfuerzo al que se hace referencia, puede ser residual o bien debido a una acción externa. El efecto en el metal, puede manifestarse como una fractura intercrystalina, similar a las que se dan en la corrosión de este tipo. Sin embargo, la fractura por corrosión bajo tensión, no ocurre sin esfuerzo, aún cuando se presente corrosión intercrystalina. En general, hay un umbral de esfuerzo, por debajo del cual no se presenta la fractura.

Aún cuando no se conoce cabalmente el mecanismo de la fractura por corrosión bajo tensión, el hecho de que sólo se dé en aleaciones, revela la importancia de la composición, el tratamiento térmico y el procesamiento

mecánico a que se someten los materiales que, en estas condiciones, fallan abruptamente, sin deformarse.

En virtud pues, de que el acero de presfuerzo se utiliza bajo condiciones de fuerte tensión, este material cuando menos es susceptible de sufrir este tipo de fallas.

3.2 Fragilización por hidrógeno

En virtud de que la ductilidad del acero se reduce considerablemente al aumentar su contenido de hidrógeno, lo que puede provocar la fragilización y la falla repentina, es necesario distinguir entre la fractura por corrosión bajo tensión y la fragilización por hidrógeno. En ambos casos hay fallas violentas, pero las causas son diferentes: la corrosión bajo tensión es resultado de un proceso anódico, en tanto que la fragilización por hidrógeno es un proceso catódico.

La fragilización por hidrógeno se acelera con un mínimo de esfuerzo. El hidrógeno, producto de su formación en la reducción catódica de un proceso corrosivo, no es peligroso, pero en presencia de contaminantes, como el H_2S y el SO_2 , fácilmente es absorbido por el metal, fragilizándolo.

En síntesis, en las zonas de una trabe de concreto presforzado, donde se han quedado al descubierto alambres o torones, como resultado de la destrucción de las fundas del sistema de postensado, por ejemplo, por lo regular se manifiestan signos evidentes de corrosión en diversos grados de avance: se trata de corrosión bajo tensión. Ahí, pueden presentarse fracturas súbitas. Al mismo tiempo, la eventual presencia de agua de lluvia acumulada por diversas vías y con un cierto contenido de nitratos, característicos, constituye uno de los medios más proclives a la fractura por corrosión bajo esfuerzo. También la presencia de cloruros puede ser causa de este fenómeno.

La probabilidad de fragilización por hidrógeno es mayor cuando en la atmósfera que rodea a los cables, contiene cantidades aún mínimas de H₂S y/o SO₂, lo que con mucha facilidad se da en los puentes carreteros, como consecuencia de la concentración de emisiones de los motores de combustión interna a todo lo largo de la obra.

Por lo demás, no debe olvidarse que el acero de refuerzo, también se corroe y se destruye dejando de jugar su papel y contribuyendo a la formación de grietas, fisuras y disgregaciones que con frecuencia dan lugar a que los sistemas de presfuerzo se desnuden, con todas las consecuencias corrosivas mencionadas.

Por ahora, no existen muchas alternativas para la protección anticorrosiva del acero de presfuerzo, dadas las condiciones de su instalación. Actualmente sólo se cuenta, de manera efectiva, con procedimientos de detección de los procesos de deterioro.

Referencias:

- G. V. Karpenko e I. I. Vasilenko. **STRESS CORROSION CRACKING OF STEELS**. Freund Publishing house, Tel Aviv. Israel. 1979.
- F. Leonharat. **PRESTRESSED CONCRETO**. Wilhelm Ernst & Sons. Berlín. 1964.
- C. Figueroa Ruano. **ACEROS Y ALEACIONES**. Gráfica Turriles. México. 1984.
- Enrique Villarreal Domínguez. **SISTEMA ELECTROQUÍMICO PARA LA DETECCIÓN DE PROCESOS CORROSIVOS EN CONCRETO PRESFORZADO Y REFORZADO**. Patente de invención No. 184500. México. 1997.

PRIMARIO Y ACABADO EN EL
PUENTE DE ALVARADO



SISTEMA DE PROTECCIÓN CATÓDICA
EN LAS PILAS DEL COATZACOALCOS I





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“EL CONCRETO BAJO LA INFLUENCIA DE LOS SULFATOS”

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**EL CONCRETO BAJO LA INFLUENCIA DE LOS
SULFATOS**

EL CONCRETO BAJO LA INFLUENCIA DE LOS SULFATOS

ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES
CONTROL DISEÑO Y PATOLOGÍA D E
OBRAS CIVILES S.A. DE C.V.

1.- INTRODUCCION.

El ataque y desintegración del concreto bajo la influencia de sustancias agresivas que se pueden encontrar en forma de líquidos, vapores o materia sólida, es aún en nuestros días un fenómeno no del todo bien entendido. El estudio del deterioro de las estructuras de concreto ha tomado un interés particular a partir de los años cincuenta, situación que puede tener diferentes motivos de entre los cuales se pueden citar la creciente construcción de estructuras de concreto, la necesidad de reparar lo antes construido, la falla de estructuras en forma prematura etc.

Los tipos de daños que pueden afectar cualquier estructura se pueden clasificar en forma general en dos grupos: *Daños de carácter mecánico* y *Daños de carácter químico*, esta clasificación se realiza tomando como referencia la principal influencia de las degradaciones en una estructura, sin embargo es pertinente tener siempre presente que la relación entre los dos tipos de daños es muy íntima, esto es, un problema de tipo mecánico nos conllevará tarde o temprano a degradaciones de carácter químico y viceversa.

El análisis de los daños en el concreto ha sido tema de atención para un gran número de investigadores e instituciones en todo el mundo, los cuales concuerdan en que los síntomas de los daños en una estructura se presentan en forma de Deflexiones, Fisuras, Expansiones, Desintegración del concreto o Colapsos ya sea parciales o totales.

De los mecanismos de degradación sin lugar a dudas los más complicados por comprender son los de carácter químico, debido a que no solo es necesario conocer claramente el comportamiento del concreto como material único, sino también, la relación de éste con el acero que lo refuerza y con las sustancias que lo degradan.

Citar cada una de las sustancias o agentes que son dañinos al concreto, es una labor muy amplia, e incluye un sinnúmero de variables, por lo que en el presente escrito se pretende dar un idea general del fenómeno que a juicio de muchos investigadores y del que suscribe tiene que ver mucho con el comportamiento insatisfactorio de un gran número de obras civiles y de edificación, y que en la literatura técnica común no se encuentra aún bien especificado, siendo éste el fenómeno de los sulfatos dentro de la masa del concreto.

2.- ORIGEN DE LOS SULFATOS.

Un gran número de procesos destructivos debidos a la formación de sales se puede relacionar con la agresividad de los sulfatos.

El ión sulfato causante de la degradación del concreto puede estar presente en el suelo o en el agua subterránea o freáticas, en soluciones acuosas de ácido sulfúrico o en forma de sales. Sulfatos que son identificados como anión SO_4

Las sales de sulfatos dañinas al concreto están presentes principalmente en suelos selenitosos con yeso y en aguas freáticas de estos mismos suelos, agua de mar, aguas de desecho de la industria química. Cabe hacer mención que el agua de mar aparte de contener sales de sulfatos está compuesta de otras sales cuyo trabajo químico en conjunto la hacen ser de mediana a severamente dañina .

Las aguas principalmente dañinas son aquellas que contienen concentraciones de:

Sulfato de calcio (yeso) , sulfato de sodio, sulfato de magnesio y aguas de desechos industriales.

Los sulfatos en forma de sales altamente agresivos son:

De amonio, calcio, magnesio y de sodio .

Los sulfatos que se consideran menos agresivos son:

De cobre, de aluminio de bario, por ser insolubles al agua.

El origen de los sulfatos puede ser Natural, Biológico o industrial.

2.1.- Formación de sulfatos en la Naturaleza.

En forma general todos los suelos contienen sulfatos los cuales constituyen un material alimenticio para las plantas. Su concentración por lo regular es baja oscila entre 0.01 y 0.05% en suelos secos, Sin embargo no es raro encontrar suelos con una cantidad mayor (superior a 5%) en algunas regiones donde el suelo puede contener yeso.

Los suelos arcillosos o de aluvión son susceptibles de contener pirita que se oxida al contacto con el aire y la humedad formando ácido sulfúrico, si este es combinado con

el carbonato de calcio finamente distribuido en el suelo formará yeso al mismo tiempo que se desprenderá ácido carbónico.

Una parte de ese yeso formado podrá ser disuelto por el agua freática donde permanecerá una parte cristalizada en forma de yeso. Consecuentemente se formaran tres componentes dañinos llamados componentes finales de la descomposición de la pirita: ácido sulfúrico, sales de sulfato y ácido carbonico.

La oxidación de la pirita se torna diferente cuando se encuentran vestigios de carbón el cual tendrá un efecto reductor en la oxidación. Sin embargo si existe aire en suficiente cantidad la oxidación se llevará a cabo independientemente de la presencia de carbón y la formación de sulfatos continuará.

Bajo la acción del ácido sulfúrico el potasio y el sodio contenido en los feldespatos es transformado en sulfato de sodio y sulfato de potasio los cuales son altamente solubles al agua y dañinos al concreto.

Los sulfatos son formados e introducidos en el agua freática de la manera como se describe a continuación.

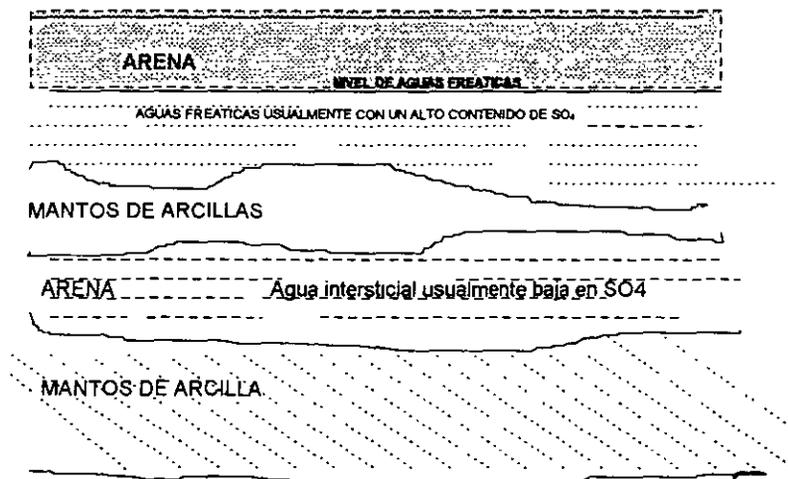


fig. 1

Como se vera más adelante el ion magnesio contenido en las aguas freaticas tienen su origen principalmente de la dolomita y en menor grado de la biotita y clorita. La mayor parte de los iones de sodio en las aguas freáticas vienen de la plagioclasa y solamente una pequeña parte de la biotita y probablemente de la glauconita. Las fuente del potasio son los feldespatos, biotita y glauconita.

El hierro contenido en la pirita y el fierro liberado por la descomposición de los silicatos son limitados por la limonita, hematita y magnetita. El calcio, liberado de la calcita, dolomita y feldespatos, son precipitados en los suelos arcillosos o en un medio como el yeso, podrá aportar una parte al agua freática en forma de iones de calcio.

Como se ha comentado, una cantidad importante de los sulfatos son debidos a la oxidación, fenómeno que no se podría desarrollar sin la presencia del aire. Por lo que es fácilmente entendible que la formación de los sulfatos en las aguas cercanas a la superficie es más fácil y en mayor escala que en las aguas de mantos artesianos profundos.

Los sulfatos de las aguas freáticas no dependen exclusivamente de la pirita, yeso y sustancias orgánicas contenidas en los suelos, sino también a los tres factores siguientes.

- 1.- Ventilación del suelo.
- 2.- Velocidad del flujo de las aguas freáticas.
- 3.- Velocidad de evaporación.

2.2.- Formación de sulfatos debido a la acción biológica.

Los sulfatos presentes en el suelo pueden provenir también de la descomposición biológica de tipo aeróbica de sustancias orgánicas que contienen proteínas y/o azufre, lógicamente en este caso sólo se toma en cuenta la albúmina sulfúrica.

En ambientes húmedos el azufre normalmente está presente en forma de compuestos orgánicos. Sulfatos que pueden ser fácilmente disueltos en el suelo, mientras que el azufre combinado en forma de compuestos inorgánicos ofrece una mayor resistencia a ser disuelto y es transformado gradualmente en sulfatos. Esta transformación de azufre orgánico en sulfato requiere de la descomposición del nitrógeno contenido en las albúminas, en los nitratos, incrementando así la acidez del suelo.

De acuerdo a las investigaciones realizadas en diferentes países el uso de abonos artificiales y el estiércol aumentan en forma importante el contenido de sulfatos en el suelo, aunado a esto, el cultivo del suelo promueve la ventilación del suelo con lo que a ciertas profundidades se incrementa la oxidación del azufre en grandes extensiones, motivo por el cual en suelos cultivados las concentraciones de sulfatos pueden aumentar hasta en un 100% , respecto a suelos no cultivados.

La contaminación con sulfatos de origen fecal puede ocurrir por todas partes, con lo que la agresividad del suelo y las aguas freáticas se puede deber a la contaminación de diferentes sustancias.

Cuando se lleva a cabo la construcción de una nueva obra en un terreno cultivado es necesario realizar un estudio profundo sobre el contenido de sulfatos en el suelo así como en el agua subterránea que pudiera llegar a tener contacto con el concreto.

2.3.- Formación de Sulfatos como resultado de la contaminación Industrial.

Existen una gran cantidad de plantas industriales y fábricas (fertilizantes, galvanizados, laboratorios fotográficos, coque), las cuales desalojan en sus entornos una gran cantidad de desechos que al descomponerse en el medio ambiente producen sulfatos que penetran al suelo y a las aguas subterráneas, como un ejemplo de éstas sustancias son el carbón o la escoria, por lo que no es raro que se lleguen a encontrar concentraciones de sulfatos de 1000 a 2000 mg de SO_4 por litro.

Los rellenos con carbón y escoria incrementarán los sulfatos en el agua subterránea y el suelo, contaminando una extensión amplia.

Por otro lado en las zonas industriales así como en las zonas urbanas la combustión de carbón o gasolinas con una cierta cantidad de azufre liberará dióxido de azufre que en presencia de oxígeno y humedad forman el ácido sulfúrico. Un efecto indirecto del humo cargado de dióxido de azufre se hace presente en las ciudades donde las eflorescencias (salitre), y la degradación de ciertas fachadas son debidas frecuentemente a la formación superficial de yeso y a la adherencia de polvos como cenizas, partículas de carbón. etc.

Las aguas de lluvia, en particular las lluvias ácidas pueden contener sulfatos en forma de ácido sulfúrico el cual ataca la superficie del concreto endurecido así como el concreto plástico.

3.- PROCESO DE ATAQUE POR SULFATOS.

Los efectos que causan los sulfatos en la masa del concreto se clasifican en tres grupos:

A.- Simultáneamente con la lixiviación o lavado de una parte de los componentes del concreto ya endurecido, principalmente del $Ca(OH)_2$, el valor del pH es reducido. Consecuentemente la hidrólisis continúa y se tiene como resultado final la formación de geles no expansivos de sílice, óxido de aluminio, y de óxido de hierro, que al ser

solubles al agua se pierden, aumentando con esto la porosidad en el concreto permitiendo la penetración en forma más rápida de los agentes degradantes dando con ello una degradación mayor al concreto.

B.- Transformación de componentes del concreto endurecido en geles no expansivos e insolubles al agua los cuales permanecerán dentro de la masa del concreto, sin embargo por su consistencia provocarán una disminución en la resistencia del concreto.

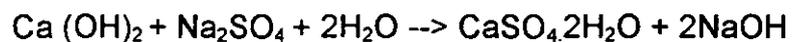
C.- Los poros y vacíos del concreto son llenados con formaciones de cristales los cuales al endurecer expanden y destruyen al concreto.

La degradación del concreto por los sulfatos es debido principalmente al fenómeno de expansión en relación con la cristalización de la etringita, siendo ésta etringita secundaria.

La formación de la etringita *expansiva destructiva* se distingue de la *expansiva no destructiva o primaria*, obtenida en las primeras etapas de la hidratación del cemento Portland por reacción del yeso puesto que la etringita primaria es expansiva pero se presenta en la etapa plástica del concreto motivo por el cual no causa daños a la masa al experimentar el aumento de volumen.

Esquemáticamente, la formación de la etringita se presenta a continuación:

- La formación de yeso secundario por oposición al primario utilizado como retardante en el cemento. La formación del yeso secundario es resultado de una reacción de sustitución entre la portlandita y los sulfatos. Por ejemplo con el sulfato de sodio:



Si la cantidad de sulfatos es elevada (superior a 1000 mg/lit) y la concentración local de iones Ca^{2+} y SO_4^{2-} en la fase líquida intersticial del concreto excede la producción de solubilidad del yeso, este último se precipita. El volumen del sólido precipitado representa un poco más del doble del volumen de los productos iniciales y por lo tanto se presenta una expansión. Sin embargo en la mayoría de los casos esta reacción se mantiene limitada en la medida de que el yeso se forme bajo un proceso de disolución y de cristalización dentro de los espacios libres de la matriz del concreto.

- Reacción entre el yeso secundario y los aluminatos de calcio del cemento que forman etringita.

Algunos escenarios considerados son:
 Sea a partir del C₃A anhídrido



Sea a partir del aluminato tetracálcico hidratado C₄A_{H13} de monosulfoaluminato de calcio C₃A.Ca SO₄.H₁₂

Según la composición de la fase líquida, en particular de la cantidad de cal, la cristalización de la etringita puede ser expansivo o no.

Dentro de los productos ricos en cal, donde su solubilidad es reducida según lo indica la tabla No 1, la etringita se forma en el sitio al contacto del aluminato de calcio en presencia de una cantidad limitada de una solución fuertemente saturada. La velocidad de germinación, muy superior a la velocidad de crecimiento de cristales, conducen a la formación en masa de pequeños cristales de naturaleza más o menos coloidal. El sólido neoforme, donde el volumen molecular es de tres a ocho veces mayor que el del sólido inicial, sabiendo que se trata del C₃A o de C₄AH₁₃, desarrollando esfuerzos muy elevados los cuales son debidos a la presión que acompaña a su formación.

CaO (g/l)	0.065	0.112	0.168	0.224	0.670	1.080
C ₃ A. 3CaSO ₄ .H ₃₀₋₃₂ (g/l)	0.225	0.165	0.115	0.080	0.030	0.002

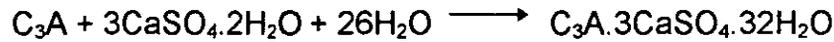
Tabla 1

Por lo contrario dentro de los cementos que liberan menos portlandita, la etringita precipita a partir de la solución dentro de los vacíos intersticiales del concreto y la cristalización en agujas bien formadas no es expansivo.

Los sulfatos más agresivos para el concreto son los sulfatos de magnesio, los de amonio, los de calcio y el de sodio.

3.1.- EL SULFATO DE MAGNESIO. es fuertemente agresivo por la doble acción del catión Mg²⁺ que se intercambia con Ca²⁺ y el anión SO₄²⁻ siguiendo las reacciones:





El intercambio de Mg_2 con Ca_2 conducen a la formación de brucita $Mg(OH)_2$ que pueden detener temporalmente la penetración de los sulfatos. Ellos provocan también la transformación progresiva de los C-S-H en un silicato de magnesio hidratado M-S-H sin propiedades cementantes. Además la cristalización de la etringita inestable en presencia del sulfato de magnesio intensifica la reacción de formación de yeso.

3.2.- EL SULFATO DE CALCIO. presente dentro de los suelos sobre la forma de yeso y anhidrita y dentro de las aguas subterráneas selenitosas, es agresiva para el concreto sin importar su relativa poca solubilidad. El proceso de degradación más lento, dentro de los casos de los sulfatos de magnesio y de amonio, es debido esencialmente a la formación de una etringita expansiva.

3.3.- SULFATO DE SODIO. muy soluble, sufre una degradación por formación de yeso y de etringita expansiva aún cuando las proporciones son función a la vez de la concentración de SO_4 y de la cantidad de aluminato tricalcico C_3A del cemento. El yeso precipita muy cerca de los 1000 mg/l de SO_4^{2-} . Los C-S-H, menos sensibles que la portlandita, no son afectados directamente por el sulfato de sodio, pero son sin embargo susceptibles a descomponerse en una segunda etapa por lixiviación parcial de la cal y la formación de yeso.

3.4.- SULFATO DE POTASIO. tiene una acción similar a la del sulfato de sodio pero la velocidad de ataque es un poco más lenta.

La mayor parte de los sulfatos metálicos solubles, son agresivos al concreto con excepción del sulfato de plomo y de bario muy poco soluble

4.- PARAMETROS QUE CONDICIONAN AL CONCRETO EN UN MEDIO SULFATICO.

En la figura No. 2 se observa que la resistencia química del concreto crece con la dosificación del cemento, esto es con la compactidad del concreto. Desde este punto de vista es importante señalar que con el aumento en la dosificación del cemento, está generalmente acompañada una reducción en la relación A/C. Por otra parte, la velocidad de degradación es prácticamente proporcional al porcentaje en C_3A del cemento portland, hasta una cantidad cercana al 10% aproximadamente.

Paillere et al. demostraron que no solo se debe tener como parámetro la cantidad de C_3A del cemento sino también y sobre todo la relación C_3A/SO_3 . donde se puede considerar que para valores inferiores de 3 se logrará un buen concreto.

Las adiciones minerales como cenizas volantes silico-aluminosas, puzolanas naturales y el humo de sílice mejoran notablemente el comportamiento del concreto ante los sulfatos.

En un primer análisis se puede estimar que el mejoramiento es debido a la dilución de los aluminatos y a la modificación de la textura de los hidratos que los vuelve más compactos independientemente de la edad del concreto.

5.- Acción de las Adiciones Minerales en el Concreto.

Los cementos con adiciones tienen en general un buen comportamiento ante la agresión de los sulfatos debido a:

-A la reducción de la cantidad de cal y de C_3A en la mezcla.

- Al aumento de la compacidad de los hidratos, en relación con una disminución del volumen poros pudiendo ser hasta un 25%, en el caso de las adiciones principales. La cantidad de poros capilares mayores de 30 mm y la relación media de poros de la pasta de cemento endurecido disminuyen igualmente. Esta modificación de la estructura porosa implica una reducción de la permeabilidad y de los coeficientes de difusión.

- Al modo de cristalización de la etringita, formada por precipitación a partir de la fase líquida la cual no es expansiva.

Un claro ejemplo de la eficiencia de las adiciones en la reducción de la expansión debida a los sulfatos se muestra en la figura 3.

Los cementos para los cuales la cantidad de adición es superior o igual al 60% (CHF, CLK) son considerados como resistentes a los sulfatos, independientemente del clinker de base con el cual se fabriquen. Sin embargo según los trabajos de LOCHER y más recientemente de KOLLEK y LUMEY, las adiciones con una cantidad superior al 11% de Al_2O_3 tienen un comportamiento menos óptimo.

Cuando la cantidad de adición es menor del 60%, y en el caso de cementos con cenizas volantes silico-aluminosas o puzolanas es el clinker portland base quien determina la dosificación de cemento. Este clinker deberá satisfacer todas las

especificaciones para cemento portland, en lo que respecta a la cantidad de C_3A y SO_3

5.1.- Las cenizas volantes silico-aluminosas tienen un valor de sustitución de 20 a 30%, tienen generalmente un efecto benéfico sobre el comportamiento del concreto ante los sulfatos. Este efecto es debido al consumo parcial de las cenizas de la portlandita liberada por la hidratación de los silicatos del cemento portland. Esto es debido igualmente a las modificaciones de la microestructura y en particular a la distribución dimensional de los poros que se desplazan hacia las zonas. La eficiencia de las cenizas dependen de su capacidad puzolánica esto es de su capacidad a reaccionar con la cal y a producir los hidratos cementantes.

Las cenizas ricas en cal (cantidad superior de 20%), provenientes de carbón subbituminosos y de lignitos, son menos resistentes a los sulfatos. Como con las cenizas volantes silico-aluminosas, la sustitución de 20% a 30% de cemento por puzolana natural puede tener un efecto muy positivo sobre la resistencia del concreto a los sulfatos. Siempre la eficiencia de las puzolanas dependen de su naturaleza mineralógica que es muy variable, así como su reactividad.

5.2.- Los humos de sílice. Ofrecen igualmente una buena protección contra la agresividad de los sulfatos debido al fuerte consumo de portlandita y de la estructura compacta de C-S-H.

5.3.- Los cementos con adición de fillers calcáreos son susceptibles a ser empleados en los medios sulfatados moderadamente agresivos (agua de mar por ejemplo). Su contenido dentro del cemento debería ser limitado. Los trabajos de SOROKA Y SETTER sobre la resistencia del mortero de fillers calcáreos ante el sulfato de sodio han mostrado que la sustitución del 10% al 40% de carbonato de calcio a diferentes finuras de cemento portland pueden disminuir las expansiones.

6.- Recomendaciones.

De lo anteriormente expuesto se puede comentar que para fabricar concretos resistentes al ataque de los sulfatos se debe tomar como una medida la modificación de los contenidos de aluminato tricálcico y de hidróxido de calcio. Lo que es posible mediante el uso de un cemento apropiado, como el cemento portland tipo II donde el C_3A es menor o igual a 8%, cuando se requiere una resistencia moderada a los sulfatos, mientras que para una resistencia mayor lo recomendable es el uso de un cemento tipo V con un contenido menor del 5% de C_3A .

Para la modificación del contenido de hidróxido de calcio un procedimiento adecuado consiste en utilizar un material puzolánico que sea suficientemente apto para reaccionar con el hidróxido de calcio, a fin de convertirlo en compuestos útiles que no reaccionen con los sulfatos.

Para que los sulfatos ataquen al concreto es necesario que penetren en sus poros, y para ello se requiere que se hallen en estado de solución; es decir, si los sulfatos se encuentran en estado sólido el riesgo de ataque es mínimo, pues al no penetrar en el concreto sus efectos se limitan a la superficie del mismo. Sin embargo, la primera condición es la más frecuente, y esta circunstancia pone de relieve la enorme influencia que tiene la permeabilidad del concreto en su resistencia a los sulfatos. Esto se reconoce al admitir el hecho de que emplear un cementante adecuado es un requisito necesario pero no suficiente, y que se debe complementar con la utilización de una baja relación AGUA/CEMENTO esto con la finalidad de hacer al concreto menos permeable.

Las medidas preventivas anteriores, deben aplicarse cuando se construye la estructura y existe conocimiento de que en el medio de contacto hay sulfatos en grado perjudicial para el concreto. Pero además, en caso en que se requiere dar mayor protección al concreto, o bien se trata de proteger estructuras construidas sin las previsiones indicadas, existe una tercera medida consistente en aplicar un recubrimiento superficial al concreto endurecido e interponer entre éste y el medio de contacto un material que actúe como barrera de separación entre ambos; para cuya ejecución existen diversos productos y materiales adecuados.

Es evidente que esta última medida de protección sólo es aplicable cuando la superficie de concreto resulta accesible para recibir el tratamiento. Tal puede ser el caso de ciertos elementos prefabricados de concreto, como los tubos que deben permanecer enterrados o bajo el agua, y en los cuales es frecuente especificar la aplicación de recubrimiento externo de protección, no solo contra la penetración de los sulfatos sino también de otras sales como los cloruros que propician la corrosión del acero de refuerzo, en especial cuando se trata de tubos de concreto presforzado.

Otra circunstancia en que puede requerirse la aplicación de este tratamiento de protección externa, es cuando una estructura en servicio muestra síntomas de deterioro por ataque de sulfatos, ya sea porque no se hizo la evaluación oportuna del medio de contacto y no se tomaron medidas preventivas en su construcción, o porque las medidas adoptadas no fueron suficientes en función de la agresividad real del medio de contacto; y finalmente, debe aplicarse sobre este último concreto el tratamiento de protección superficial elegido.

En los sitios donde existe una alta probabilidad de la existencia de altas concentraciones de sulfatos en el suelo y en las aguas freáticas, debe hacerse la evaluación obligada y oportuna de la agresividad de estos medios de contacto, cuando se construyen estructuras de concreto en sitios localizados cerca de la costa, por la posible influencia del agua de mar.

El agua de mar posee, en términos generales, un contenido total de sales disueltas del orden de 35,000 ppm, de las cuales aproximadamente 90% son cloruros y cerca de un 10% son sulfatos, con una mínima proporción de sales diversas. Los cloruros no atacan químicamente al concreto, pero por su elevada concentración, hacen que esta constituya un medio de contacto que favorece la corrosión del acero de refuerzo. En cuanto al contenido de sulfato, puede suponerse en un nivel ordinario aproximado de 3000 a 3500 ppm. Lo cual significa, que el agua de mar puede calificarse como de grado moderado a severamente agresiva; sin embargo existen diversas características y condiciones que deben tomarse en cuenta para hacer su correcta evaluación en este sentido.

En primer término, suele admitirse que el agua de mar es menos dañina de lo que podría predecirse en función de las posibles reacciones de los sulfatos que contiene. Esto se atribuye a su elevado contenido de cloruros, que la convierte en un medio en el que se disuelven con gran facilidad el yeso y la etringita que se producen por las reacciones de los sulfatos, de manera que ambos productos tienden a ser extraídos por lixiviación antes de generar demasiadas presiones internas en el concreto. De este modo, la exposición del concreto al agua de mar por inmersión continua, no produce manifestaciones en forma de microfisuramientos y desintegración como sucede en el ataque común por sulfatos, sino más bien se manifiesta por un incremento en la porosidad superficial del concreto. No obstante, en la zona de fluctuación del nivel del agua de mar, en donde el concreto se somete cíclicamente a humedecimiento y secado, hay un efecto adicional de desintegración producido por el aumento de volumen que experimentan las sales absorbidas al secarse, a cuyo efecto deben sumarse las acciones deteriorantes del oleaje y de la corrosión del acero de refuerzo, en el caso de elementos de concreto reforzado.

De conformidad con lo anterior, e independientemente por ahora de la prevención del fenómeno deteriorante de la corrosión del refuerzo, el concreto expuesto al agua de mar se halla en riesgo de sufrir deterioro por acciones químicas y físicas. Las de índole químico, derivadas del ataque de los sulfatos, pueden suponerse moderadas y para prevenir sus efectos suele considerarse suficiente el uso de un cemento portland tipo II, o en su defecto un cemento tipo portland-puzolana hecho con clinker tipo II, completando esta medida con el empleo de una baja relación agua/cemento.

En cuanto a las medidas de las acciones físicas, representadas por el efecto abrasivo del oleaje, sólo tienden a ocurrir en las zonas de las estructuras expuestas a la fluctuación del nivel del mar, al oleaje y/o las salpicaduras producidas por las olas. En estas condiciones de exposición, además del uso del cemento indicado, es necesario proveer al concreto de mayor impermeabilidad y resistencia, para lo cual suele requerirse una relación a/c no mayor de 0.45. Cabe anticipar que estos requisitos de relación a/c se vuelven más estrictos cuando el propósito es prevenir la corrosión del refuerzo.

Por otra parte, es necesario tomar en cuenta también lo que en las zonas bajas inmediatas a las costas, donde el agua de mar se mantiene estancada o con poca movimiento. En tales casos, es frecuente que por efecto de la evaporación se incremente la concentración de sales, de modo que en estas condiciones el agua adquiere un elevado contenido de sulfatos que le confieren un mayor grado de agresividad al concreto, haciendo entonces necesario aumentar la protección de las estructuras contra el ataque químico de los sulfatos, mediante el uso de un cemento portland tipo V o un cemento portland-puzolana hecho con clinker tipo V e incluso de un recubrimiento de protección superficial cuando se justifique.

Sin embargo es necesario tener presente que en estos casos el contenido de sulfatos puede mostrar diferentes sustancias en las distintas épocas del año, en función de la aportación de aguas pluviales; por tal motivo, es recomendable que la evaluación de la agresividad al concreto de este medio de contacto, se realice mediante muestreos efectuados en todas las épocas del año, a fin de tomar en cuenta las condiciones que sean más desfavorables.

7.- BIBLIOGRAFIA.

BICZÓK Imre. Concrete corrosion, Concrete protection. Chemical Publishing Co. Inc. New York 1967.

OLLIVIER Jean p.et BARON Jacques. La Durabilité des Bétons. Presses de L' école Nationale des Ponts et Chaussées. Paris France 1992.

MASTERS L.W. and BRANDT E. Prediction of service life of building materials and components, CBE W80/RILEM 71-PSL Final report. 1987.

BARON Jacques. Les principes de composition du betóns de porosité minimale, in Le Betón hydraulique, Presses de IÉNPC 1982.

LEA F.M. The chemistry of cement and concrete, Edward Arnold Ltd, de Londres, 1956

PAILLERE A.M. REVERDY M. et MILLET J. Influence du ciment sur la dégradation du béton en milieu marin, Bull. Liaison Lab. Ponts et CH. 1985.

LOCHER F.W. Zur Frage des Sulfatwiderstandes, von Hüttenzementen, ZKG., 1966

ACI Committee 201 Report 201R. "Guide to Durable Concrete" American Concrete Institute. Detroit, Mich. (1982).



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“ACCIÓN DE LOS CLORUROS EN EL CONCRETO”

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

ACCION DE LOS CLORUROS EN EL CONCRETO

ACCION DE LOS CLORUROS EN EL CONCRETO

Ing. Juan Luis Cottier Caviedes
Control Diseño y Patología de
Obras Civiles. S.A. DE C.V.

La importancia de los cloruros dentro de la masa del concreto estriba en la influencia que estos tienen en el desarrollo del fenómeno de corrosión en el acero de refuerzo o cualquier otro metal embebido, su proceso degradante tiene poca importancia en relación de sus efectos en la masa del concreto cuando este es simple o sin refuerzo.

Los cloruros así como la mayor parte de agentes químicos agresivos penetran como contaminación en los componentes del concreto al momento de la dosificación o bien cuando el concreto ha endurecido (absorción) esto se presenta cuando se expone a un medio ambiente agresivo como puede ser el agua de mar o sales para deshielo por ejemplo.

El estado sobre el cual se encuentran los cloruros dentro del concreto puede ser en dos tipos libres o mezclados.

Los cloruros libres se encuentran en el concreto sobre dos formas principalmente, físicamente son absorbidos por las paredes dentro de los poros o químicamente son ligados por reacción con ciertos compuestos del cemento. En el último caso los compuestos formados son el monocloroaluminato hidratado, también conocido como sal de Friedel, cuya fórmula es $C_3A.CaCl_2.10H_2O$. En las condiciones normales de concentración de ion cloro en el concreto, no se encuentra la sal de Friedel.

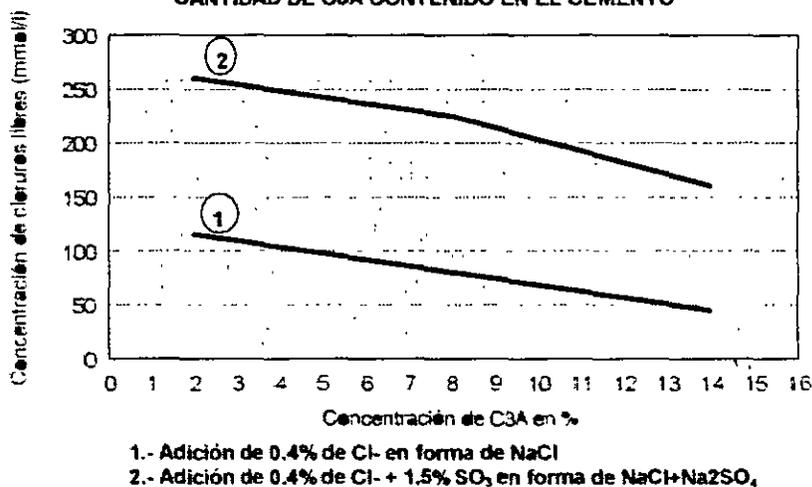
Los cloruros que no son fijados químicamente o físicamente pueden penetrar fácilmente al interior del concreto por capilaridad, bajo los efectos de la variación de la humedad consecuencia de los ciclos de humedecimiento secado. Se puede considerar también la penetración por difusión sobre el gradiente de concentración a partir de agua de mar por ejemplo. Estos cloruros son también susceptibles de penetrar hasta el acero de refuerzo para despasivarlo.

La capacidad de fijación de los iones CL^- por el cemento depende de la naturaleza de este último, y principalmente de la cantidad de aluminato tricálcico C_3A presente en el clinker. Una situación parecida se hace presente con otros compuestos del cemento como el ferroaluminato tetracálcico C_4AF . El cual es susceptible a formar compuestos muy complejos.

Otras especies iónicas pueden intervenir sobre la fijación química de los cloruros. Así por ejemplo los iones sulfato reaccionan de preferencia con los iones cloruros sobre el C_3A

presentes en forma de sulfoaluminatos y en detrimento de la capacidad de fijación de cloruros como se puede ver en la figura 1.

VARIACION DE LA CONCENTRACION DE CLORUROS LIBRES EN FUNCION DE LA CANTIDAD DE C3A CONTENIDO EN EL CEMENTO



Estos resultados explican que el cemento portland normal con una cantidad considerable de **C₃A** sean resistentes a los medios con concentraciones importantes de cloruros, sin embargo esto no se cumple en el caso del agua de mar a causa de la presencia de los sulfatos. Por otro lado, la penetración de cloruros libres dependen de la estructura porosa del concreto, el porcentaje de cloruros libres aumenta con la relación **A/C** (a la vez que la cantidad de cloruros se mantiene sensiblemente constante) y con la concentración en sales del medio ambiente.

Cinética de la difusión del ion cloro libre.

La velocidad de penetración del cloruro libre dentro de los poros del concreto varia en forma importante dependiendo de las condiciones de exposición . A partir de un medio liquido la penetración es muy lenta, aproximadamente tres veces más débil que el agua misma.

Ella puede ser descrita por un proceso de difusión. Numerosos modelos realizados están basados sobre la segunda ley de FICK donde la concentración **C (x, t)** en cloruros, tienen una profundidad **x** al cabo de un tiempo **t**, representado en la ecuación:

$$\frac{C}{t} = Da \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Da es un coeficiente de difusión aparente o coeficiente de difusividad que toma en cuenta las posibilidades de captura de iones cloruro por reacción química con los aluminatos o por absorción en la superficie de poros. Diferentes soluciones de la ecuación de FICK han sido propuestas considerando una función de error. En un medio semi-finito, tenemos:

$$C(x,t) = C_o (1 - \text{erf}(x/2 \sqrt{D_a t}))$$

La solución a la ecuación se podrá dar con una buena aproximación utilizando la siguiente expresión:

$$\ln C (x, t) = \ln C_o - \frac{X^2}{4 D_a t}$$

Donde **Co** es la concentración del ion cloro en la superficie de la probeta.

Otros investigadores han propuesto expresiones con resultados muy aceptables, entre las más reconocidas se encuentra la propuesta por Midgley e Illston la cual es:

$$C = k d^{-m}$$

Donde **k** y **m** son parámetros dependientes del tiempo y de la permeabilidad de la pasta.

Los coeficientes de difusión aparentes del ion cloro **CL⁻** son cuantificados por el cemento portland y sus valores medios son reagrupados en la tabla 3

RELACION A/C	COEFICIENTE DE DIFUSIÓN APARENTE D_a ($10^{-12} \text{ m}^2 / \text{s}$)
0.4 - 0.6	1 - 5
0.6 - 0.8	4 - 12

Tabla 3

Otro parámetro estudiado por diferentes investigadores es la influencia de la naturaleza del catión asociado a los cloruros. Al parecer la difusión de los cloruros combinados con cationes bivalentes (CaCl_2 por ejemplo) es más rápida que a los correspondiente a los cationes monovalentes como el NaCl . Por el contrario, los cloroaluminatos se forman en cantidades más importantes a partir del CaCl_2 que con NaCl , aunque los cloruros libres sean

menos abundantes . Se estima también que la fijación de cloruros libres reduce la dimensión de los poros más pequeños modificando así la morfología de las fibras del C-S-H.

El cloruro de calcio conduce así a una estructura más abierta a nivel de poros capilares que el cloruro de sodio, el que facilitará la difusión de especies químicas libres. Así que la fijación de los cloruros ligados modifican la geometría de poros, influyendo el proceso de penetración. Estas consideraciones muestran la compleja de las interacciones entre los diferentes factores que intervienen en la difusión de los cloruros.

Principio de despasivación.

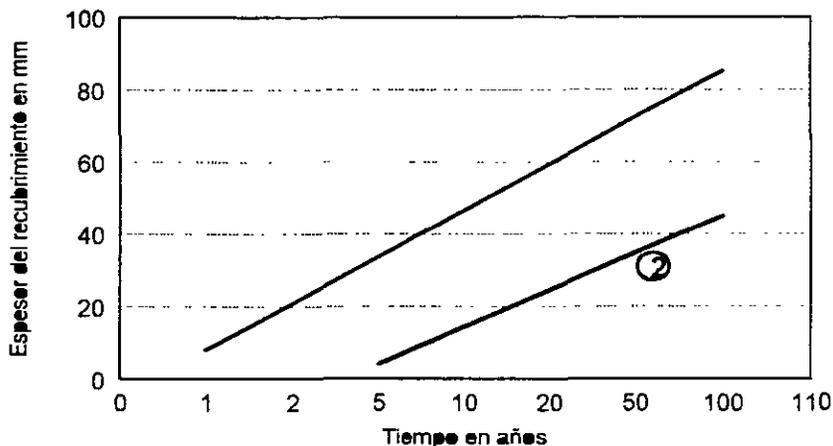
El proceso de corrosión del acero de refuerzo puede desencadenar cuando los cloruros atacan al acero en una cantidad suficiente para despasivarlo. Esta cantidad de ion cloro deberá ser más importante que el p.H de la solución intersticial, la cual es más elevada, o bien el valor del p.H. es está directamente condicionado por los iones OH^- y más que la cantidad propia de iones Cl^- , es preferible considerar la relación Cl^-/OH^- de iones Cl^- activos con respecto a los iones pasivantes OH^- .

Según a lo descrito por Hausmann el principio de la etapa crítica de la despasivación a partir del cual la corrosión se desarrolla a una velocidad importante corresponde cuando la relación Cl^-/OH^- es igual a 0.6. Otros estudios subrayan también la importancia de la relación y la toman como una relación logarítmica entre los iones cloro activos y los hidroxilos pasivantes. De acuerdo al investigador Raharinaivo y sus colaboradores el inicio de la despasivación esta asociada a un intercambio de la naturaleza de los productos de la oxidación en la superficie del acero. Cuando el $\text{Cl}^- < \text{OH}^-$ se forma el hidróxido ferroso estable; por el contrario cuando el $\text{Cl}^- > \text{OH}^-$ el hidróxido formado es inestable, contiene cloruro y se transforma en un compuesto intermedio reconocido con el nombre de herrumbre verde antes de producir finalmente el lépidocrocite (óxido ferrítico hidratado) conteniendo cloro.

Cuando la Penetración de cloruros se efectúa dentro del concreto carbonatado superficialmente, el bajo valor del p.H. disminuye la estabilidad de los cloroaluminatos, logrando con ello producir iones cloro libres aumentando la concentración. El principio de despasivación se inicia rápidamente y por lo tanto la corrosión se hace más grave.

A partir del coeficiente de difusión aparente de cloruros y utilizando como principio crítico de despasivación el valor de 0.6 de la relación Cl^-/OH^- , TUUTTI propone un modelo de calculo de la duración de inicio de la corrosión en función del espesor del recubrimiento para lo cual se presenta la siguiente gráfica simplificada.

INICIO DE LA CORROSION EN FUNCION DEL RECUBRIMIENTO



Las curvas 1 y 2 corresponden a los coeficientes de difusión de cloruros de 10-11 m²/seg. y 10-12. el nivel de concentración de cloruros sobre el acero es de 10,000 ppm y la relación Cl/OH⁻ =0.6.

Como en la mayor parte de los casos de degradación por sustancias dañinas las adiciones al concreto afecta la penetración de los cloruros en la masa del concreto.

La influencia de la naturaleza del cemento y las adiciones minerales.

Se pueden citar tres consecuencias relativas a la incorporación de adiciones minerales al cemento que intervienen en la penetración de cloruros.

1.- La capacidad de fijación de cloruros está determinada por la concentración de C3A+ C4AF del cemento. Ahora bien la concentración de estos compuestos disminuyen en presencia de escorias o cenizas volantes ya que los aluminatos provienen como sabemos del clinker. La cantidad de los cloroaluminatos formados se reducirá. La concentración de cloruros libres será más elevada para los cementos con adiciones minerales. Ahora bien los informes realizados por diversos autores muestran que por el contrario, la cantidad de cloruros combinados es más elevada en los cemento compuestos con escorias y con cenizas volantes que en los cementos Portland normal. Esta capacidad mayor de fijación será debido a la fuerte absorción de cloruros sobre los poros del cemento hidratado. Por el contrario, la cantidad de cloruros combinados, y también los libres es menor en los concretos con humo de sílice. Según los trabajos del investigador de Short et Page la disminución de la capacidad de fijación se debe a la disminución de la solubilidad de los cloroaluminatos provocado por la disminución del p.H. de la solución intersticial en presencia del humo de sílice.

2.- Las adiciones minerales reducen sensiblemente el p.H. de la solución intersticial, efecto que fue más importante con el humo de sílice. Esta disminución conduce a admitir una concentración más débil en cloruros a nivel del acero de refuerzo cuando consideramos la relación característica Cl/OH^-

3.- El coeficiente de difusión aparentemente depende de las adiciones minerales. A condición de respetar un curado del concreto prolongado. La adición de escorias, ceniza volante o humo de sílice reducirá sensiblemente los coeficientes de difusión de los cloruros en el concreto, pues los valores medios reportados son expuestos en la tabla siguiente.

Naturaleza del cemento A/C= 0.5 a 0.6	Coeficiente de difusión Da (10^{-12} m ² /seg)
Cemento Portland	5
Cemento con escoria	0,5
Cemento con cenizas	1,5

La incorporación de humo de sílice conduce también a una disminución del coeficiente de difusión del mismo orden que la escoria cuando la cantidad de humo de sílice es inferior al 20%.

Por otro lado, como en el caso de la carbonatación, los cementos con filler calcáreo se comportan como los cementos portland con puzolana para una misma resistencia sobre los aspectos de difusión de cloruros.

El conjunto de consideraciones muestran que las adiciones de productos minerales modifican el valor crítico del inicio de la despasivación, sin embargo sobre todo reduce la velocidad de penetración de los cloruros, siendo esto determinante en el desarrollo de la corrosión del acero.

Podemos sin embargo afirmar que a nivel de periodo de inicio, la calidad del concreto (baja relación A/C, tipo de cemento utilizado, vibrado óptimo y curado adecuado), tienen una influencia mayor que la decisión de utilizar un determinado tipo de cemento y las condiciones de exposición a las cuales se someta al concreto.

El exámen sistemático de estructuras afectadas por el fenómeno corrosivo nos revelan en forma general que los daños son motivados por un deficiente recubrimiento del acero de refuerzo, bien por el precario espesor o por la porosidad del concreto y su poca resistencia.

Los estudios y observaciones muestran que la durabilidad del acero de refuerzo depende en primer lugar a la realización de un concreto de buena calidad, bien compactado y adecuadamente curado. Las adiciones minerales (escorias, cenizas volantes, humo de sílice etc) limitan la difusión del ion cloruro en la masa del concreto.

Es indispensable considerar en todo diseño la humedad y temperatura del medio ambiente, la posible contaminación de cloruros del medio, la carbonatación probable del concreto, así como el proceso de fisuramiento del recubrimiento, para garantizar la durabilidad del acero y del concreto.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Grupo de expertos científicos del ICODE, Durabilidad de Puentes de Concreto París 1989.
- 2.- TUUTTI K. Corrosión del acero en Concreto, Instituto Sueco de Investigación en Cemento y Concreto. Ed. Estocolmo Suecia. 1982.
- 3.- POURBAIX., Atlas of electrochemical equilibria in aqueous solutions, Oxford, 1966.
- 4.- DIAMOND S. Effects of microsilica on pore solution chemistry of cement pastes, J. Amer. Ceram. Soc., 1983.
- 5.- VENUAT M. Et ALEXANDRE J. De la carbonatation du béton, Rev. Matér, Const. 1968 y 1969.
- 6.- MIDGLEY H.G. and ILLSTON J.M., The penetration of chlorides into hardened cement pastes Cem, Concr. Res, 1984.
- 7.- SHORT N. R. And PAGE C.L. The diffusion of chloride ions through Portland and blended cement pastes, Silicates Ind. 1982.
- 8.- REGOURD M. HORNAIN H. And MORTRUUX B. Durabilite of building materials and components Proc. 1ER. Intern. Conf. Ottawa, 1978,
- 9.- BORON J. Et OLLIVIER J.P. La durabilité des Bétons, Presses del Ponts et Chausseés 1992.

ACCION DE LOS AGENTES QUIMICOS EN EL CONCRETO

El concreto es sin lugar a dudas el material de construcción más utilizado en todas las sociedades industrializadas de la actualidad, así la producción de concreto y la fabricación de sus componentes forman una parte importante de la actividad económica y de generación de recursos de las sociedades modernas.

Es un material que ofrece diversas aplicaciones, compuesto principalmente por cemento, agua y agregados. Material muy durable y de buen comportamiento durante su vida útil. Sin embargo, en ciertos casos puede presentar problemas provocando un comportamiento inesperado de las estructuras o de algunos elementos de las mismas.

Son muchas más las ventajas a favor del concreto que los problemas ocasionales que presenta, por lo que estos son un precio mínimo que se paga por todos sus beneficios que del concreto se obtienen. Es importante subrayar que la mayoría de los problemas se pueden evitar o minimizar si se conocen y comprenden las causas que contribuyen a crearlos. De esta forma podemos desarrollar procesos que conjuguen calidad, eficiencia, seguridad y economía.

En el presente trabajo se tratan tres de los procesos químicos que con mayor frecuencia atacan al concreto mermando su vida útil, Acción de los sulfatos, Acción de los Cloruros y La Reacción Alkali agregado. Se pretende dar al Ingeniero Arquitecto o cualquier técnico de la construcción las bases para entender el fenómeno y algunas ideas de como de evitarlos. Dando por entendido que los procesos aquí citados no son los únicos existentes, así como la presencia en el concreto no es de un solo proceso a la vez, sino que en la mayor parte de los concretos dañados son más de dos los agentes agresores a identificar.

La presentación se lleva a cabo en forma independiente de cada tema, aunque como se mencionó su acción en la masa del concreto en general es combinada.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“EFECTOS DE LA REACCIÓN ÁLCALI - AGREGADO,
EN EL CONCRETO”**

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**EFFECTOS DE LA REACCION ALCALI-AGREGADO, EN EL
CONCRETO**

EFFECTOS DE LA REACCION ALCALI-AGREGADO EN EL CONCRETO

ING. JUAN LUIS COTTIER CAVIEDES
CONTROL DISEÑO Y PATOLOGIA DE
OBRAS CIVILES S.A. DE C.V.

SINOPSIS

Se intenta mediante el presente trabajo, mostrar el estado actual del conocimiento acerca de la reacción álcali-agregado, que constituye un aspecto muy particular de la durabilidad de las obras de concreto. El tema cobra interés día a día ya que van en aumento las obras identificadas como afectadas por la reacción, así como también se han identificado más agregados como potencialmente reactivos.

Se exponen en forma general los mecanismos de desarrollo de la reacción, los factores que influyen su creación como son: la presencia de álcalis en el concreto y los agregados potencialmente reactivos, entre otros. Se expone de igual forma cuales son los principales efectos que la reacción causa en el concreto, como son: agrietamiento y disminución de la resistencia, lo que afecta a las estructuras en su seguridad y durabilidad.

El concreto ha sido -desde su descubrimiento- reconocido como un material de construcción durable, entendiéndose como durabilidad la capacidad de resistencia del material, a lo largo del tiempo, en relación con las condiciones del medio ambiente así como también con las condiciones de servicio de las estructuras.

Material compuesto de la mezcla de cemento, agua y agregados, los cuales al reaccionar y endurecer forman una piedra artificial, con un comportamiento que se acepta como homogéneo.

Las características propias del concreto como son: resistencia, manejabilidad, forma de producción, facilidad de tomar la forma del molde donde se deposita, durabilidad, etc., le han permitido ser el material de construcción más usado a través del tiempo.

En los inicios del siglo XIX se aceptaba la hipótesis de que los agregados (arena y grava) eran cuerpos inertes cuya función era principalmente como relleno sin actividad alguna, además se aceptaban solo dos agentes que causaban daños al concreto: el congelamiento y el agua de mar, haciendo a un lado cualquier otro tipo de reacciones que se relacionaran con la pasta y los agregados las cuales, por lo general, tienen efectos perjudiciales que normalmente dan origen a expansiones nocivas para la integridad del concreto.

Durante los años 20's y 30's en el estado de California, en Estados Unidos, se observaron una serie de agrietamientos en estructuras que cumplían ampliamente con las

especificaciones marcadas en los códigos de diseño, construcción y calidad de los materiales; motivados por encontrar una respuesta real al fenómeno de agrietamiento, un amplio grupo de técnicos se dieron a la tarea de estudiar el comportamiento inexplicable.

En el año de 1940 el investigador Thomas Stanton pudo demostrar la existencia de la reacción llamada álcali-agregado, como un proceso intrínseco de degradación del concreto, dejando en claro que las condiciones del medio ambiente en que se encuentran las estructuras son tan importantes como lo es el cemento y los agregados, reafirmando el verdadero papel que los agregados desempeñan como componentes activos, utilizados en la dosificación del concreto.

Estudios posteriores a los realizados por Thomas Stanton demostraron que éstos agrietamientos y expansiones en el concreto tenían su origen en una combinación de cemento con alto contenido de álcalis y agregados opalinos usados en su dosificación.

Durante las décadas siguientes este fenómeno se ha estudiado en diferentes laboratorios y en diversos países tales como Australia, Canadá, Francia, Nueva Zelanda, China, Sudáfrica, etc.; investigaciones que han experimentado un rápido progreso en distintas direcciones, logrando identificar los diferentes tipos de agregados que son susceptibles a intervenir en dicha reacción, mecanismos de desarrollo y métodos de diagnóstico. Muchos han sido los aportes al tema, sin embargo se pueden identificar cuatro como de particular importancia: Thomas Stanton de Estados Unidos quien explicó por primera vez el fenómeno de la reacción, Swenson de Canadá, quien identificó la reacción Alcali-Carbonato, Idarm de Dinamarca quien por primera vez investigó un concreto dañado con la reacción álcali-agregado en Europa y Vivian de Australia quien explicó los mecanismos de la reacción.

Las investigaciones de T. Stanton marcaron el camino para innumerables investigaciones en el área de la reacción álcali-agregado que han enfocado sus objetivos, primordialmente, en métodos que permitan seleccionar el agregado a utilizar para evitar la reacción, dejando en un plano secundario la identificación del fenómeno en el concreto endurecido, sistemas de monitoreo del desarrollo de la reacción, así como métodos y materiales de reparación de estructuras afectadas por la reacción.

PRINCIPIOS DE LA REACCIÓN ALCALI-AGREGADO

La reacción álcali-agregado se identifica como un proceso fisicoquímico en el cual intervienen principalmente los minerales que constituyen la roca utilizada como agregado, según sea su naturaleza cristalina o amorfa y los hidróxidos alcalinos del concreto que pueden ser aportados, bien por el cemento, por los mismos agregados o por algún agente externo.

Gran parte de los agregados utilizados en la dosificación del concreto con cemento portland son químicamente estables y sin interacción deletérea con otros ingredientes del

concreto, sin embargo este no es el caso de los que contienen ciertos minerales que reaccionan con los álcalis solubles en el concreto.

Esta reacción que se genera es denominada en forma general como álcali-agregado, identificándose tres diferentes tipos de reacción como son:

- Alkali-carbonato.
- Alkali-silicato.
- Alkali-sílice

Varios tipos de interacciones pueden ocurrir en cada clase y no todas son necesariamente expansivas o deletéreas.

De las reacciones presentadas, la primera se considera diferente de las otras pues se lleva a cabo entre los álcalis aportados por el cemento en la fase líquida del concreto y las rocas carbonato; este es un caso poco frecuente. Se identifica como un proceso químico de dolomitización esto es una descomposición de la dolomita (CaMgCO_3) en presencia del hidróxido de calcio Ca(OH)_2 propiciando la formación de calcita CaCO_3 y de brucita Mg(OH)_2 , minerales estables e insolubles.

En la realidad se conoce poco de este tipo de reacción por lo poco frecuente que se presenta. Existe un solo tipo que se produce en presencia de agregado fino o arena dolomítica, la cual contiene calcita y arcilla intersticial y produce expansiones significativas.

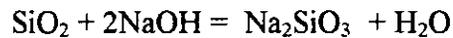
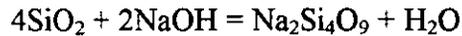
Las reacciones álcali-silicato ocurren en concretos ricos en álcalis los cuales contienen argilita y rocas del tipo grauvaca en el agregado. La reacción de este género de rocas y los álcalis es por lo general lenta y no está completamente comprendida. Los constituyentes silíceos en los agregados pueden expandirse causando la ruptura del concreto. Por la expansión de partículas individuales, se sugiere la absorción de agua sobre las superficies alúmino-silicosas previamente secas localizadas en las porciones microcristalinas de las mismas. Se deduce que puede existir una relación directa entre la cantidad de material microcristalino, la porosidad y la expansión del concreto que contiene estos agregados.

La reacción más frecuente donde intervienen los hidróxidos álcali y el material silíceo de los agregados del concreto es identificada como álcali-sílice, fenómeno que es particularmente expansivo ya que tiene la capacidad de desarrollar suficiente presión de dilatación para fisurar y romper el concreto. Generalmente la reacción progresa lentamente, permitiendo que las expansiones sean previstas algunos años antes de que el daño de la estructura sea de gravedad.

Esta reacción tiene la particularidad de producir un gel álcali-silicoso el cual es higroscópico y es el resultado de la interacción de los álcalis solubles en el cemento y los elementos integrantes de las partículas de agregados, que por su característica de ser

hidrofilico absorbe humedad, incrementando su volumen. De esta manera, genera presiones suficientes para fracturar la estructura del concreto.

De acuerdo a diferentes investigadores, la reacción se considera que progresa en función de las siguientes ecuaciones idealizadas.



En términos generales, la reacción puede ser en dos etapas. La primera es la hidrólisis de la sílice reactiva por OH- formando un gel, y en una segunda fase comienza la absorción de agua por lo cual el gel aumentará de volumen induciendo a la generación de presiones que formarán microgrietas cercanas a los lugares de la reacción, permitiendo su propagación y aglutinamiento, provocando así, agrietamientos dentro de la estructura del concreto y expansiones generalizadas del elemento afectado, como se observa en la foto 1.

Se observa que al aparecer las primeras grietas, estas permiten el acceso de agentes degradantes al interior del concreto, ocasionando que aparezcan otros mecanismos destructivos. El fenómeno de corrosión del acero de refuerzo, no se desarrolla en forma convencional, debido al pH del gel que es altamente alcalino. El fenómeno de lixiviación del carbonato de calcio es común. El carbonato de calcio se deposita sobre las superficies externas del concreto, y deja intersticios mayores en el interior del mismo. Se ha encontrado etringita en las grietas, mismas en las que se ha observado el gel álcali-silicoso, observándose las variedades de etringita cristalina y amorfa, así como desarrollos normales de portlandita en la matriz cementante.

Es importante hacer notar, que en la mayoría de los casos, la etringita encontrada es la que normalmente se forma entre el aluminato tricálcico y el sulfato de calcio en la hidratación del cemento, lo que sugiere que ninguna fuente externa de ataque de sulfatos ha causado el desarrollo de la etringita, sino que por el contrario el sulfato necesario se deriva de la matriz cementante.

El remplazo de gel por etringita también sugiere que la reacción avanza antes de la formación total de la misma, la cual se estima que se desarrolla de manera principal en el gel, cuya composición es muy variable como se puede observar en la tabla 1.

El transporte de iones sulfato conjuntamente con el agua para la hidratación del gel álcali-silíce, quizá sea el mecanismo por medio del cual los cristales de etringita se desarrollen y crezcan. Su crecimiento en microgrietas y poros en la pasta de cemento pueden ejercer suficiente presión dentro de la estructura del concreto para contribuir a las expansiones observadas en elementos estructurales.

NECESIDADES DE ALCALIS EN LA REACCIÓN ALCALI-SÍLICE.

En forma generalizada las estructuras de concreto que se han identificado como dañadas por la reacción fueron construidas con un concreto con cemento portland ordinario, el cual normalmente contiene una pequeña proporción de sodio (Na) y potasio (K) presentes como sulfatos y sulfatos dobles (Na, K) SO₄, los cuales tienden a cubrir a otros minerales del clinker y también como constituyentes menores en los otros minerales del cemento.

Al parecer los álcalis tienen su origen en la materia prima utilizada en la fabricación del cemento, usualmente la fracción arcillosa y el carbón (si éste es utilizado como combustible del horno). Si el material arcilloso utilizado como materia prima contiene mica o arcilla íltica, entonces el clinker producido estará enriquecido con potasio, mientras que si está presente el feldespató degradado, el clinker puede contener más sodio o potasio, o ambos, dependiendo de la composición del feldespató en la materia prima.

Las cantidades finales de los álcalis presentes en un clinker dependerán de las proporciones de mica, ílita o feldespató en la alimentación del horno.

Las fases álcalis tienden a ser una fracción volátil en el ambiente del horno. Alrededor de un % se volatiliza durante el proceso de quemado. Una gran cantidad del álcalis es redepositado en la cadena de sección del horno y en los precalentadores, precipitadores de polvos y filtros. A fin de reducir los consumos de combustible y emitir gases más limpios, la recirculación de polvos es práctica común en las plantas modernas pero este procedimiento tiene un efecto adverso en la composición del clinker del cemento.

Con el objeto de contabilizar la cantidad de álcalis presentes en el cemento o concreto se ha generalizado la práctica de expresar el contenido de álcalis en términos de sodio equivalente, correlacionando los óxidos de sodio y potasio en términos de proporciones moleculares. El cálculo a seguir es bajo la relación matemática siguiente:

Sodio equivalente = $na_0 + 0.653 K_2O$ relación en peso.

Cuando el valor del sodio equivalente se encuentra por debajo de 0.6% en peso, la reacción álcali-sílice no puede llevarse a cabo; este valor es recomendado por muchos autores como máximo permitido a fin de minimizar el riesgo de daño. Del mismo modo, la masa de álcalis provenientes de otras fuentes no debe ser mayor de 3 kg/m³ en el concreto. Es importante señalar que en estructuras donde se ha identificado la reacción, estos valores han sido encontrados en niveles menores. Esto puede ser quizá por el resultado de álcalis que han sido lixiviados de la estructura con el tiempo.

Una vez iniciada la reacción, es capaz de generar suficiente energía libre, que le permite continuar a pesar de los bajos niveles de álcalis, o concentraciones altas de álcalis muy localizadas dentro del concreto, siendo capaces de mantener la reacción en esos sitios.

Se tienen evidencias en base a microscopía electrónica de que, a pesar de que existan bajos niveles de álcalis en la pasta de cemento, las partículas reactivas de agregado en el mismo concreto pueden inducir niveles altos de reacción dentro del concreto, en su conjunto.

COMPONENTE SÍLICE-REACTIVO EN EL CONCRETO

Para que la reacción se lleve a cabo, es necesaria la presencia de una determinada forma de "sílice reactivo". El volumen para producir efectos deletéreos necesita ser solo muy pequeño. En estructuras donde se han observado daños calificados como severos, se han reportado componentes reactivos del 2%. Existen varios tipos de rocas que son utilizados en la fabricación del concreto y solo rocas puras tales como las calizas, se pueden excluir de la posibilidad de contener una pequeña proporción de una forma de sílice reactiva, ya sea como constituyente original, primario o secundario.

El considerar únicamente el tipo de roca como criterio para evaluar su potencial de reactividad, nos lleva a situaciones erróneas, por lo cual diversos autores han puesto especial atención en los constituyentes minerales de la roca misma.

Aunque por lo general, la mayor parte de las rocas son capaces de contener formas reactivas de sílice, el número de tipos de sílice que exhiben reactividad es pequeño.

Probablemente los requisitos dominantes para que un material sea reactivo son: entre otros, que deberá ser una forma de sílice que es pobremente cristalino o contiene muchos defectos de arreglo, o alternativamente debe ser amorfa o vítrea en carácter. Un ejemplo de los minerales naturales que cumplen estos criterios se presenta en la tabla 2.

Algunos granitos, gneises graníticos, hornblendas y grauvacas, se ha encontrado que son reactivos cuando se utilizan en el concreto. Se ha notado que, aunque el mineral reactivo preciso constituyente dentro de estas rocas no pueden ser identificado, los granos de cristal de cuarzo que ellas contienen muestra que son amorfos cuando son examinadas utilizando un microscopio polarizado. Una observación ulterior (ref. 6) mostró que la reactividad puede ser correlacionada en forma general con la severidad del esfuerzo.

Además de las características de la sílice reactiva, existen otros factores que influyen en la forma como se desarrolla la reacción y la intensidad de sus efectos.

Entre los factores más importantes se encuentran la temperatura, la humedad y la granulometría de los agregados.

La temperatura es un factor que incrementa la velocidad con que se produce la reacción e intervienen en las dos etapas del desarrollo de la reacción: creación del gel y proceso de expansión.

Existe una prueba la cual permite demostrar la influencia de la temperatura en la primera etapa. Esta prueba es identificada como "trozo de gel" y fue desarrollada por Jones y

Tarleton (ref. 2), en la cual las partículas de agregado reactivo están expuestas a soluciones concentradas de álcali sobre la superficie de una tableta de cemento, a temperatura ambiente. Los materiales altamente reactivos, tales como el ópalo, desarrollan gel sobre sus superficies, dentro de unos pocos días de almacenados. Si la temperatura de almacenamiento alcanza unos °C, el desarrollo de gel sobre la superficie de tales partículas ocurrirá dentro de 24 horas, mientras que en algunos materiales menos reactivos tales como algunos pedernales, comenzarán a mostrar desarrollo de gel, aunque a temperaturas normales no se presenten signos de tal reacción.

En la segunda etapa de la reacción, cuando la temperatura es alta, las expansiones producto de la absorción de agua se generan en forma más rápida y su inicio es más temprano. Sin embargo a medida que la reacción continúa, tanto el rango de reacción como el rango de expansión disminuyen. Cuando los concretos reactivos son almacenados a bajas temperaturas, reaccionan en forma más lenta, sin embargo, eventualmente, la expansión alcanza el mismo nivel y puede exceder las expansiones alcanzadas a altas temperaturas.

La influencia de la variación de la temperatura y su ciclicidad sobre la reacción y la expansión, es aún un tema de discusión, pues los efectos resultantes de una variación rápida en la temperatura estarán presentes en las capas externas y expuestas dado que los cambios de temperatura dentro de una estructura de concreto en circunstancias normales serán lentos y limitados.

Existen numerosos reportes donde se indica que las partes de una estructura que están expuestas a los elementos del medio ambiente están más severamente dañados por los efectos de la reacción, que otras partes que se encuentran protegidas del intemperismo. Existen casos donde hay una diferencia notable entre la superficie expuesta a la humedad y los lados protegidos en una misma estructura.

El agua tiene una función dual. Primeramente, es esencial como portador de los cationes álcali e iones oxhidrilo, y en segundo lugar es absorbida por el gel hidrosκόpico, el cual se expande, desarrollando presiones suficientes para agrietar al concreto.

Es importante recordar que el concreto aún en condiciones secas, tendrá la capacidad de absorber agua, así que, con la excepción de una capa exterior de poco más de 10 mm de espesor la humedad relativa dentro del concreto permanecerá entre un 80 a 90%.

Investigaciones y experimentos han demostrado que los efectos de la reacción tales como la expansión, varían directamente con el porcentaje de humedad relativa del concreto. El tipo de relación se ilustra en la figura 1, donde puede verse que abajo del 70% de la humedad relativa, la expansión y la reacción expansiva no son significativas, pero arriba del 80% de humedad relativa, los efectos de expansión se ve que se incrementan dramáticamente.

Se ha observado así mismo, que la reacción puede ser capaz de formar geles de bajo contenido de humedad, en un inicio, los cuales se expandirán y ejercerán presiones conducentes a la expansión inmediatamente que llega a haber disponibilidad de agua; también hay evidencias de que el gel parcialmente deshidratado puede ser rehidratado, generándose así una expansión cuando se añade agua adicional al espécimen, debido a que el gel seco que se ha vuelto blanco y carbonatado, puede ser reconstituido y no será fácilmente soluble en agua.

RELACIÓN “PÉSIMA”

Se han mencionado los diferentes factores que gobiernan el desarrollo de la reacción álcali-agregado. Sin embargo, es interesante indicar que las peores condiciones que pueden presentarse en un concreto no son aquellas donde los factores de reacción se encuentran en sus máximas concentraciones. Este fenómeno fue ampliamente estudiado por Vivian (ref. 3), denominando a dicho ámbito como “proporción pésima”, en donde demostró que para cada agregado reactivo, tiene que estar presente un determinado contenido de álcali, para que se produzca la máxima expansión. De dichos estudios se encontraron curvas que, esquemáticamente, pueden ilustrarse de acuerdo a la figura 2.

Las curvas obtenidas varían en función de la cantidad y distribución granulométrica del agregado reactivo, es decir, de la superficie expuesta a la reacción y de la relación sodio o potasio en que se presentan los álcalis liberados.

Así, resulta que cementos con muy distintos contenidos de álcalis, pueden dar la misma expansión, con un agregado determinado, variando la proporción de éste último

EFFECTOS DE LA REACCIÓN ALCALI-AGREGADO

Como se ha comentado, la reacción álcali-agregado es un fenómeno de carácter expansivo, el cual produce agrietamientos, generando esfuerzos en el seno del concreto con la aparición de fisuras. La reacción tiene lugar en la unión de la pasta y el agregado reactivo, así como también en pequeños poros y microfisuras. En ocasiones se genera un anillo en el contorno del agregado reactivo según se observa en la fotografía 2, y en ciertos casos se presenta una exudación en la superficie del concreto que permite que sea más visible el agrietamiento superficial del concreto (ver foto 3).

La expansión del concreto tiene una influencia negativa en las propiedades mecánicas del mismo. El investigador Swamy (ref. 5) en uno de sus trabajos, investigó el comportamiento de los concretos dosificados con agregados considerados como altamente reactivo, uno, y otro como de reactividad moderada según se muestra en la tabla 2; en ella, se puede ver la pérdida en la resistencia a compresión simple, la cual puede llegar a ser de un 40 a un 60% menor a la resistencia especificada de proyecto. De igual manera se tiene registro de una disminución de resistencia a tensión de alrededor de un 65 a 80% . La pérdida de resistencia y del módulo de elasticidad, intervienen en la rigidez de los

elementos y, consecuentemente, influyen en el comportamiento estructural y la durabilidad de las edificaciones.

La presencia de acero en el concreto es un elemento que interviene en el aspecto del agrietamiento, ya que impone restricciones a la fisuración. Por la naturaleza expansiva del fenómeno y los esfuerzos creados en la masa del concreto, el aspecto de las fisuras creadas por el agrietamiento en elementos sin refuerzo, será de forma casual y muy irregular, ocurriendo en todas direcciones, con un aspecto como el de la piel de un cocodrilo, también conocido como "mapeo" (fotos 4 y 5). En estructuras reforzadas, el panorama es diferente, ya que las fisuras se presentan en forma paralela al acero principal y en dirección de los esfuerzos predominantes. La expansión creada en el concreto impone esfuerzos de tensión al acero de refuerzo, que aunados a los esfuerzos de compresión del concreto contiguo al refuerzo le imponen una restricción para deformarse, lo cual da lugar al nacimiento de fisuras paralelas a la posición del refuerzo, mismas que pueden llegar a tener un espesor de 15 mm y una profundidad de 30 cm, sobrepasando por mucho, la capa de recubrimiento de los elementos (foto 6).

Debido a que la humedad y temperatura favorecen el desarrollo de la reacción, el daño causado podrá variar en una estructura, ya que los elementos que se encuentran en contacto con el medio ambiente estarán mayormente afectados que aquellos que se encuentran protegidos, aún cuando todos ellos estén construidos con el mismo concreto.

Los métodos de auscultación y diagnóstico de un concreto dañado, así como la evaluación del grado de reactividad de los agregados quedan fuera de los objetivos del presente trabajo, sin embargo es importante comentar que existen grandes adelantos en las investigaciones que permiten contar con métodos confiables para poder determinar la inclusión a fin de minimizar los efectos nocivos de la reacción álcali-agregado.

CONCLUSIONES

La reacción álcali-agregado es un fenómeno de carácter expansivo, el cual tiene su origen en la interacción química entre los álcalis en el concreto y, de la humedad y la temperatura. Por la naturaleza de la reacción, se puede definir su desarrollo en dos etapas principales que son; la primera formación de gel, y la segunda absorción de agua y expansión del producto alcalino provocando daños al concreto. Las dos etapas, aún en estudio, se generarán en una estructura en medio ambiente normal.

Los efectos causados por la reacción van desde la aparición de fisuras en la masa del concreto hasta llegar a la disminución en la resistencia a compresión simple del concreto y variación en el módulo de elasticidad, efectos irreversibles que merman la seguridad y durabilidad de las estructuras afectadas.

El conocimiento del principio de la reacción y los factores que la generan y desarrollan ha permitido la creación de una serie de ensayos y metodologías orientadas a evitarla, siendo aún motivo de estudio el seguimiento que se debe dar a una estructura afectada y, principalmente que tipo de soluciones son aplicables para reparar elementos dañados por la reacción.

REFERENCIAS

1. Swamy, editor "The Alkali-Silika Reaction in Concrete". Concrete Technology and Design Series, Blackie and Son Ltd., Great Britain, 1991.
2. Swamy. "Alkali-Aggregate Reactions in Concrete: Material and Structural Implications".
3. Swamy, editor. "The alkali-Silica Reaction in Concrete". Blackie and Son Ltd., Scotland, 1992.
4. Mena Ferrer Manual. "Reacción Alkali-Sílice en el Concreto". Revista IMCYC, VOL. 21, 1983, PP 17-31.
5. "Recommendations Provisoires pour la Prevention des Desordres dus á l'Alkali-Reaction". Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Ministère de l'Équipement du Logement, des Transports et de la Mer. Paris, Janvier 1991.
6. Calleja José. "Posibilidades de Utilización de Aridos Locales para Hormigones de Firmes Rígidos". Curso de Pavimentos de Hormigón del Colegio de Ingenieros de Caminos y Puertos. España, 1986.
7. Petterson Karin. "Effects of Silica Fume on Alkali-Silica Expansion in Mortar Specimens". Swedish Cement and Concrete Research Institute. Stockholm, 1992.
8. Suplemento Mexicano del Informe del ACI-201; "Guía para la Durabilidad del Concreto". México, Noviembre, 1989.
9. Kostmatka H. Steven, Fiorato Anthony. "Detecting and Avoiding Alkali-Aggregate Reactivity". Concrete Technology Today, Portland Cement Association. Skokie, Ill., November, 1991.
10. Building Research Establishment Digest. "Alkali Aggregate Reactions in Concrete". Building Research Station, Garston, United Kingdom, March, 1988.
11. British Cement Association. "The Diagnosis of Alkali-Silica Reaction". Publication 45.042.

12. Veronelli Dante J.E. "Durabilidad de los Hormigones. Reacción Arido-Alcali". Monografía No. 352, Instituto Eduardo Torroja, Madrid, septiembre 1978.
13. Regourd M., and Hourian H. "Microstructure of Reaction Products" Proceedings of the Seventh International Conference on Concrete Alkali-Aggregate Reactions. 1986.
14. Dolar Mantuini. Handbook of Concrete Aggregate, a Petrographic and Technological Evaluation. Noyes Publication. N.J., U.S.A.
15. ASTM C227-81 Potential Alkali Reactivity of Cement Aggregate Combinations (Mortar Bar Method). American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1982.
16. Mullick A.K. "Distress in a Concrete Gravity Dam due to Alkali Silica Reaction", "Cement Composites and Lightweight Concrete, vol. 10, no. 4, Nov. 1988.
17. Swamy R. N., Al Asali M. "Expansion of Concrete due to Alkali-Silica Reaction". ACI Materials Journal, vol. 85, U.S.A., Jan-Feb, 1988.
18. Swamy R. N., Al Asali M. "Engineering Properties of Concrete Affected by Alkali-Silica Reaction". ACI Materials Journal, vol. 85. U.S.A., Nov-Dec., 1988.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“PROCEDIMIENTOS INNOVADORES PARA REHABILITACIÓN
O REPARACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES”**

**ING. JUAN TELLÉZ MUÑOZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**PROCEDIMIENTOS INNOVADORES PARA
REHABILITACION O REPARACION DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES**

PUENTE ALVARADO

I. DESCRIPCION

El puente Alvarado, ubicado en el kilómetro 1+550 de la carretera Veracruz-Acayucan, tiene una longitud total de 529.7 m.- El puente está integrado por 3 tramos de anclaje de 45m de longitud y sección cajón de peralte variable, una armadura móvil de 66m, 6 tramos suspendidos de 45m y uno de 30m compuestos de 4 trabes de concreto presforzado de 2.0m de peralte (Fig.1).

II. REPARACION DE LAS TRABES PRESFORZADAS

Durante una campaña de inspección de la superestructura de este puente se detectaron signos que indican que ha comenzado un proceso de corrosión en los cables de presfuerzo de las trabes. Esto implica una reducción de la capacidad portante de la estructura y por consiguiente una disminución de la seguridad.

La primera necesidad que surge en todo proceso de proyecto de reparación es ubicar los puntos ó zonas en donde se produce el fenómeno y evaluar su intensidad para posteriormente planear la sustitución o reforzamiento.

La detección de este tipo de fenómeno en estructuras en las que no se ha tomado alguna precaución especial durante su construcción, es sin lugar a dudas uno de los problemas aún no resueltos de una manera satisfactoria ó para ser más precisos de una forma "económicamente satisfactoria"-

Para la determinación de la fuerza residual en un cable se necesita conocer el esfuerzo al que está sometido en un momento dado y a la sección residual del mismo.

La medición del presfuerzo al que está sometido un cable adherido por una inyección sólo es posible si se ha tomado la precaución de colocar en el momento de la construcción un elemento medidor como:

- Bobina concatenada con el cable, por la que se hace circular una corriente de baja intensidad.
- Dispositivo basado en el principio de la cuerda vibrante.
- Strength-gage ó extensómetro.
- Otros.

Todos ellos deben ser calibrados con una medición inicial a la hora del tensado de la unidad que miden.

En el caso que nos ocupa, al igual que en la totalidad de las obras, no se han colocado tales dispositivos, por lo que el valor del esfuerzo no es un parámetro disponible. El proyectista sólo puede manejar un valor que sale del esfuerzo de la curva de tensado, y calcular las pérdidas que haya tenido, por lo tanto es un valor estimado.

La sección se puede llegar a determinar siempre y cuando el cable sea accesible desde la periferia de la trabe. Para ello se necesita instalar una pasarela de trabajo, hacer una abertura en la pared de concreto con mucho cuidado con un pequeño cincel muy afilado, ya que los golpes en una trabe comprimida no son muy aconsejables por el riesgo que implican. Finalmente se llega al ducto, se corta el mismo y se observa en el interior la existencia ó no de la inyección y el estado de los cables; eventualmente se podrá apreciar y medir la reducción de la sección de los cables. Si hubiese vacíos se podrá hacer uso de un endoscopio, aparato basado en el principio de la conducción de las imágenes por medio de fibras ópticas, equipado con una fuente luminosa para observar más allá ó alrededor de la abertura inicial.

Para ubicar los cables se puede emplear un equipo de detección basado en la emisión de un flujo magnético, el pachómetro ó un equipo basado en la emisión de rayos nucleares, aparato radiográfico.

Para resumir.

1).-La determinación de la sección de los cables es:

- Costosa.
- Tiene su limitación, solo en las partes accesibles.
- Tiene su riesgo, provoca fisuras por los golpes.

2).-La determinación del esfuerzo es solo posible por estimación.

3).- La información que se obtiene en todo caso es válida sólo en un punto de un cable y no se puede inferir de manera razonable que puede estar pasando en una sección a unos escasos decímetros de la explorada.

Por todo lo anterior, podemos deducir que una campaña de inspección en las condiciones descritas del puente "Alvarado" no es rentable en términos de la relación de costos -cantidad de información- validez de los resultados, para determinar valores para diferentes secciones de la trabe.

En relación a lo anterior, las autoridades de CYPFIYSC que tenían la responsabilidad técnica, estimaron que la idea de la inspección no iba a aportar información interesante para el proyecto porque se podía deducir que el proceso de corrosión que ya había comenzado, en ese momento estaría en un nivel dado de avance, pero que ese proceso no se podía determinar salvo a costa de detectar todos los lugares de corrosión y proceder a su limpieza y neutralización, situación que no es muy evidente. Sin embargo, lo que si se podía prever es que tarde ó temprano ese proceso llevaría a la destrucción de las piezas estructurales.

Ante esta situación se realizó un proyecto de reforzamiento que tomase el relevo de la capacidad a medida que el sistema existente fuese fallando.

III. PROYECTO DE REPARACION

A finales de 1986, de acuerdo a las directivas mencionadas anteriormente, se desarrolló un proyecto de reparación sobre las siguientes bases:

1. Para cada trabe se determinaron las solicitaciones debidas a la carga muerta (peso + sobrecargas) y a la carga viva. Para ese caso se determinó una cantidad de cables de presfuerzo para tomar el 100% de las cargas. En la Fig. No. 2 se muestran las propiedades geométricas de la sección en estudio.
2. Para cada trabe se estimó la fuerza de presfuerzo que tenderían los cables existentes "si no tuviesen corrosión". Para este estado se revisó la capacidad de la estructura y se determinaron los esfuerzos en las diferente fibras de las secciones . (Fig. No. 3). Se calculó la cantidad de presfuerzo complementario exterior. (6 cables 12T13 por trabe) que se podía aplicar a cada trabe asumiendo que actúa completamente el presfuerzo inicial colocado al construir la obra, de tal manera que al considerar el presfuerzo inicial más el esfuerzo complementario exterior no se exceden los esfuerzos admisibles del concreto según su f_c 28 teórico (de 350 kg/cm²) *. Por otro lado este presfuerzo complementario exterior se determinó además como un número entero de cables, para conservar la simetría en la sección. Como procedimiento general de reforzamiento se previó para la primera etapa lo siguiente:
 - a) Instalar en cada trabe bloques extremos de anclaje y bloques de desviadores para alojar un presfuerzo exterior que tome el 100% de las cargas, y ampliar el bulbo de compresión a lo largo de toda la trabe. (Figs. 4 y 5).
 - b) Para el reforzamiento de esta etapa, se comienza tensando al 100% e inyectando, los cables determinados como el presfuerzo exterior complementario. De esta manera estamos seguros de no sobrepasar los esfuerzos admisibles del concreto en ningún caso. (Figura No. 6).

* Se usó 0.6 f'_c (Reglamento Francés) y se multiplicó por 1.24 por la edad del concreto.

ADAM M. NEVILLE: *Tecnología del Concreto* pág. 298.

c) Como paso muy importante, se deberá tomar nivelaciones de las trabes en puntos característicos (al centro del claro y a los cuartos) antes de introducir el presfuerzo exterior complementario y durante el tensado del mismo tomando lecturas de P-O (fuerzas del presfuerzo - deformación). Como hay varios cables a tensar para el total de las trabes, se obtendrán un buen número de puntos con los que se podrá construir una gráfica para las diferentes secciones de las trabes.

Una vez llegada a esta etapa, se tiene lo siguiente:

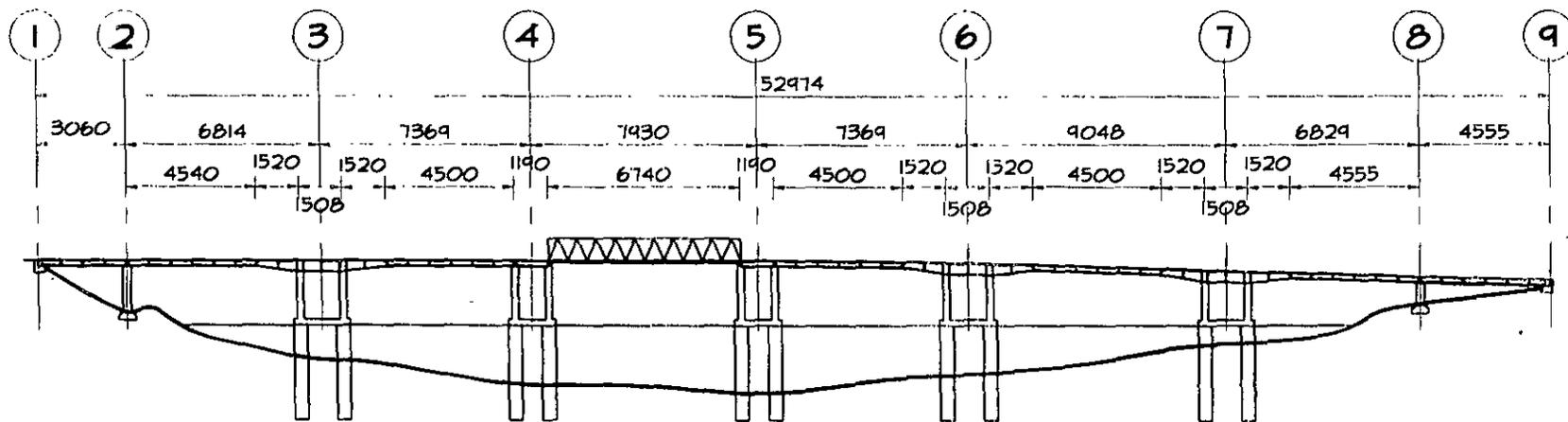
- ◆ Vigas con un presfuerzo adicional exterior no adherido, el cual aumentó la seguridad de las mismas.
- ◆ Gráfica de fuerza de presfuerzo -deformación en ciertas secciones.
- ◆ Bloques de anclajes, para el 100%de las cargas con las partes ahogadas, así como desviadores.

Como segunda etapa de la conservación de esta obra; se implementa una campaña de nivelaciones para vigilar a la misma. Una vez hechas las lecturas en los diferentes puntos, y efectuadas las correcciones por pérdidas diferidas en los cables y por variaciones de cargas muertas si las hubiere; como reecarpetados, cambio de barandales, se podrán ver en las gráficas construídas en la primera etapa la pérdida de presfuerzo de los cables colocados en la construcción original, misma que se asignará a la corrosión del presfuerzo ahogado en la trabe.

La otra situación extrema es tal que podemos imaginar que el presfuerzo original dentro de la trabe se ha corroído y desaparecido completamente Fig. 7). En lugar de dar una ruptura frágil, el presfuerzo exterior se moviliza y toma el 100% de las cargas muertas y vivas, en este caso T3-S3, lo cual se verifica al calcular el momento último resistente de la sección de la sección de acero de presfuerzo exterior, considerando como una sección de acero no adherente. Previamente se verificó que la sección no falla por aplastamiento del concreto, ya que el momento por capacidad última del concreto es superior al calculado anteriormente.

El razonamiento anterior es válido, siempre y cuando el presfuerzo exterior se conserve intacto; esto quiere decir que su sección no haya sido disminuída por efectos de la corrosión, lo cual es posible ya que el nuevo sistema permite la conservación del mismo y si se hace correctamente, en caso de ser detectado un problema de corrosión, se podrá cambiar un toron ó un cable.

En definitiva este procedimiento permite no solo reforzar la estructura sino que le quita su condición de fragilidad ya que es una especie de "red" que detiene la estructura que pudiese fallar súbitamente. Por último, en caso de que no se presentara una falla súbita, es posible seguir reparándola gradualmente midiendo flechas y fuerza residual en los cables nuevos .

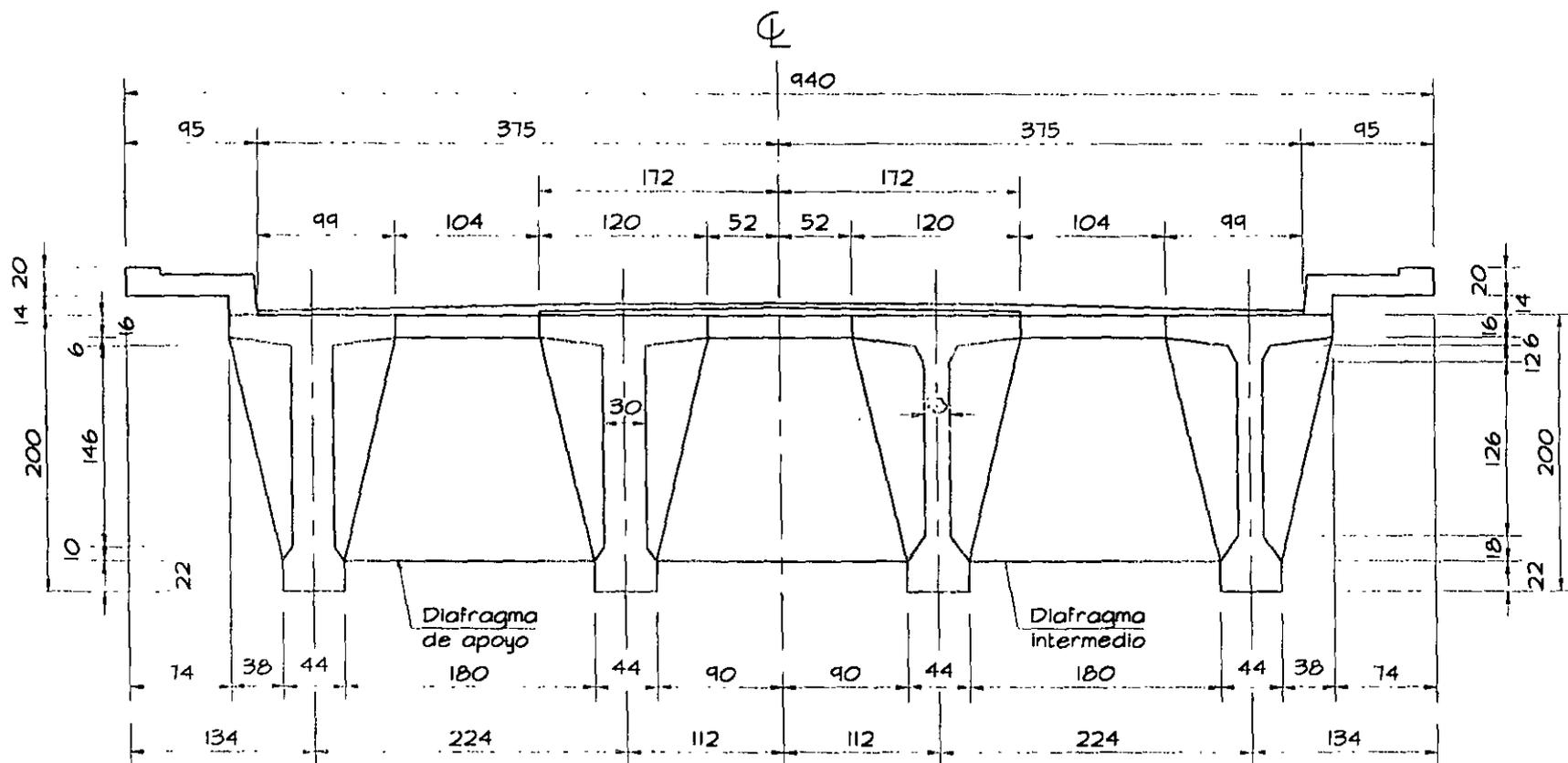


ELEVACION GENERAL POR EL EJE DEL PUENTE


**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**
 DIRECCION TECNICA

**PUENTE
"ALVARADO"**

2



MEDIA SECCION
POR EJE DE APOYO

MEDIA SECCION
AL CENTRO DEL CLARO

SECCION ORIGINAL



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

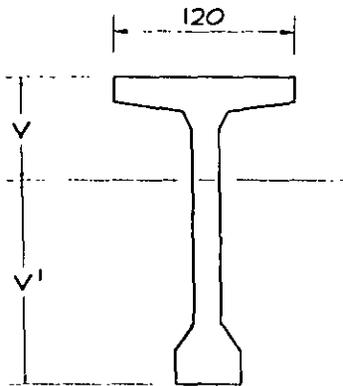
DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts.

FIGURA No. 1

PROPIEDADES GEOMETRICAS

SECCION AL CENTRO DEL CLARO



VIGA

$$A = 0.645 \text{ m}^2$$

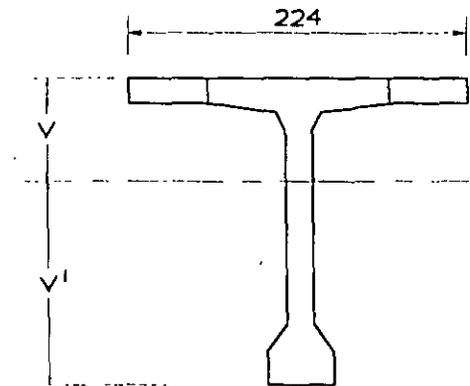
$$V = 0.8207 \text{ m}$$

$$V' = 1.1793 \text{ m}$$

$$I_{xx} = 0.3223 \text{ m}^4$$

$$I/V = 0.3927 \text{ m}^3$$

$$I/V' = 0.2733 \text{ m}^3$$



VIGA LOSA

$$A = 0.8116 \text{ m}^2$$

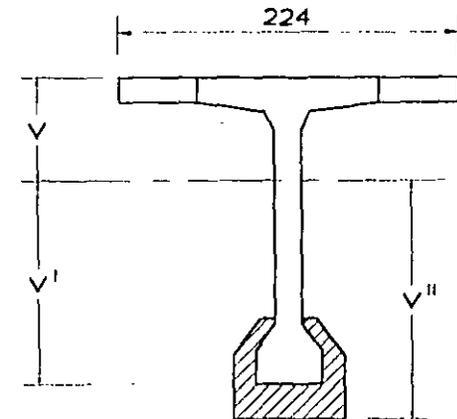
$$V = 0.669 \text{ m}$$

$$V' = 1.331 \text{ m}$$

$$I_{xx} = 0.395 \text{ m}^4$$

$$I/V = 0.5904 \text{ m}^3$$

$$I/V' = 0.2968 \text{ m}^3$$



VIGA LOSA Y BULBO

$$A = 1.055 \text{ m}^2$$

$$V = 0.9483 \text{ m}$$

$$V' = 1.0517 \text{ m}$$

$$V'' = 1.2017 \text{ m}$$

$$I_{xx} = 0.6787 \text{ m}^4$$

$$I/V = 0.7151 \text{ m}^3$$

$$I/V' = 0.6453 \text{ m}^3$$

$$I/V'' = 0.5648 \text{ m}^3$$



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

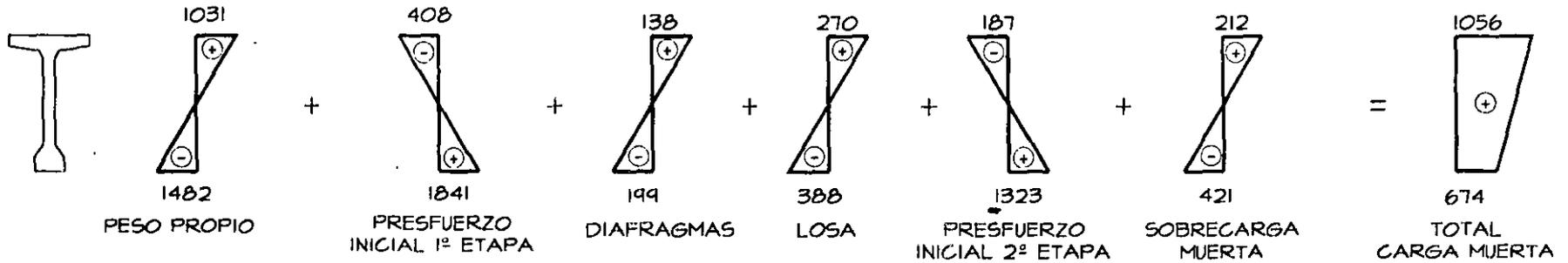
DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 2

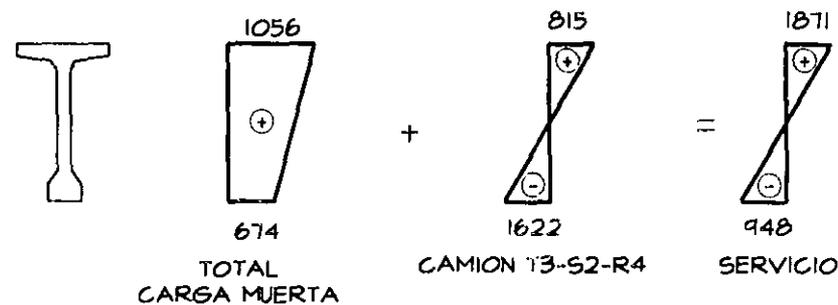
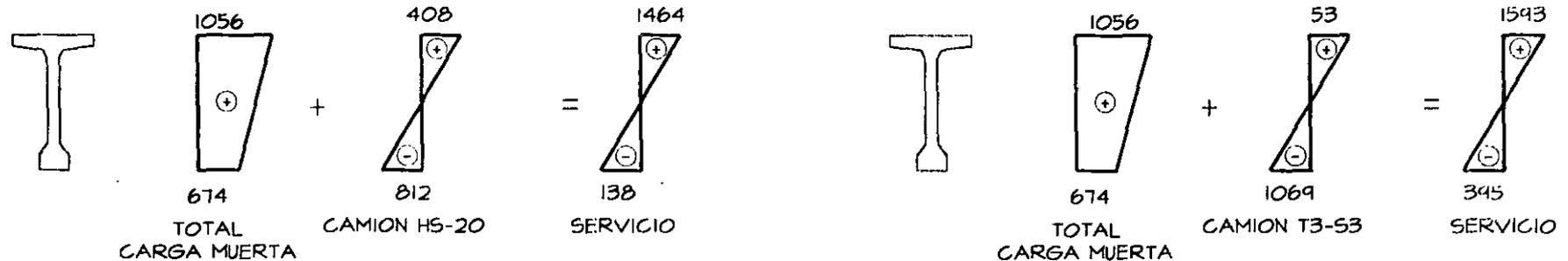
ESFUERZOS ACTUANTES EN EL PUENTE (T/m²)

SECCION ORIGINAL

a) CARGAS MUERTAS



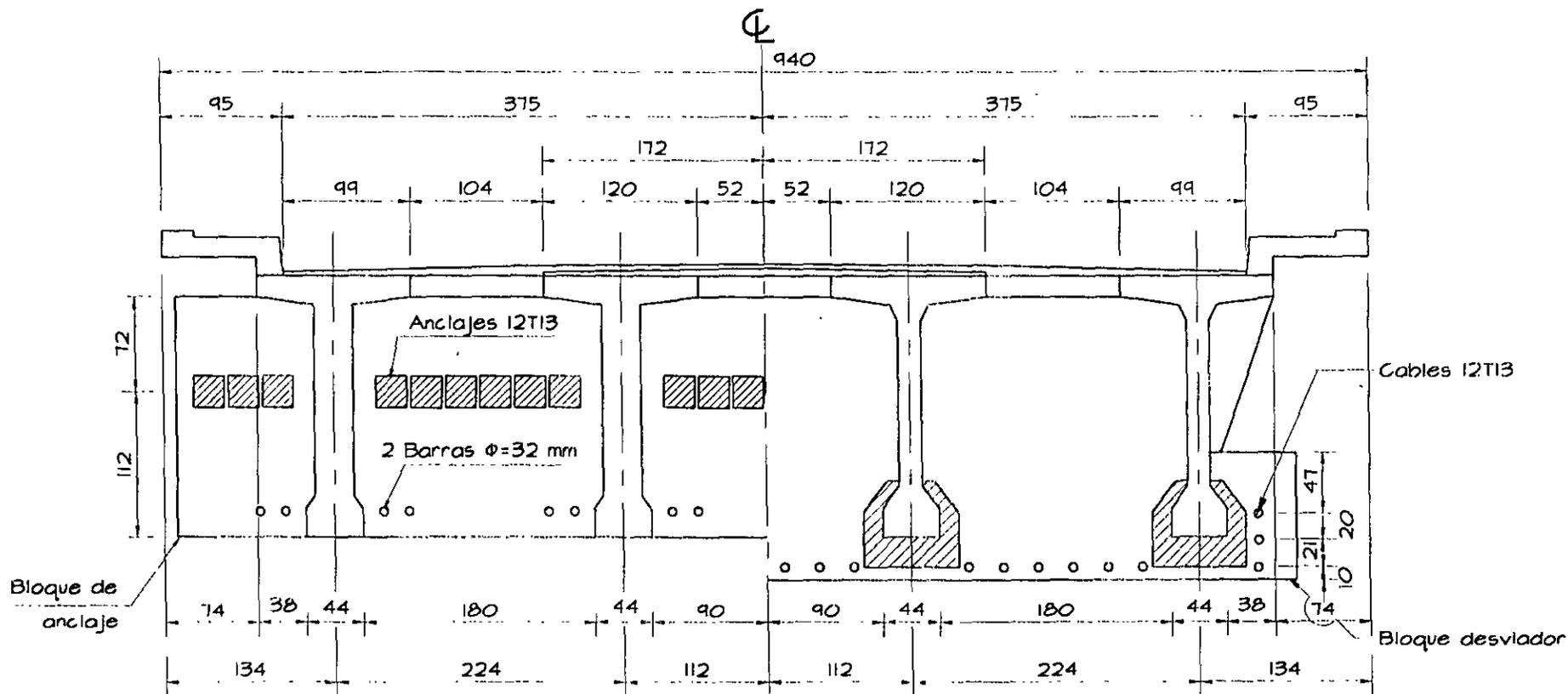
b) CONDICIONES DE SERVICIO



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 3



MEDIA SECCION
POR EJE DE
BLOQUE DE ANCLAJE

MEDIA SECCION
AL CENTRO DEL CLARO

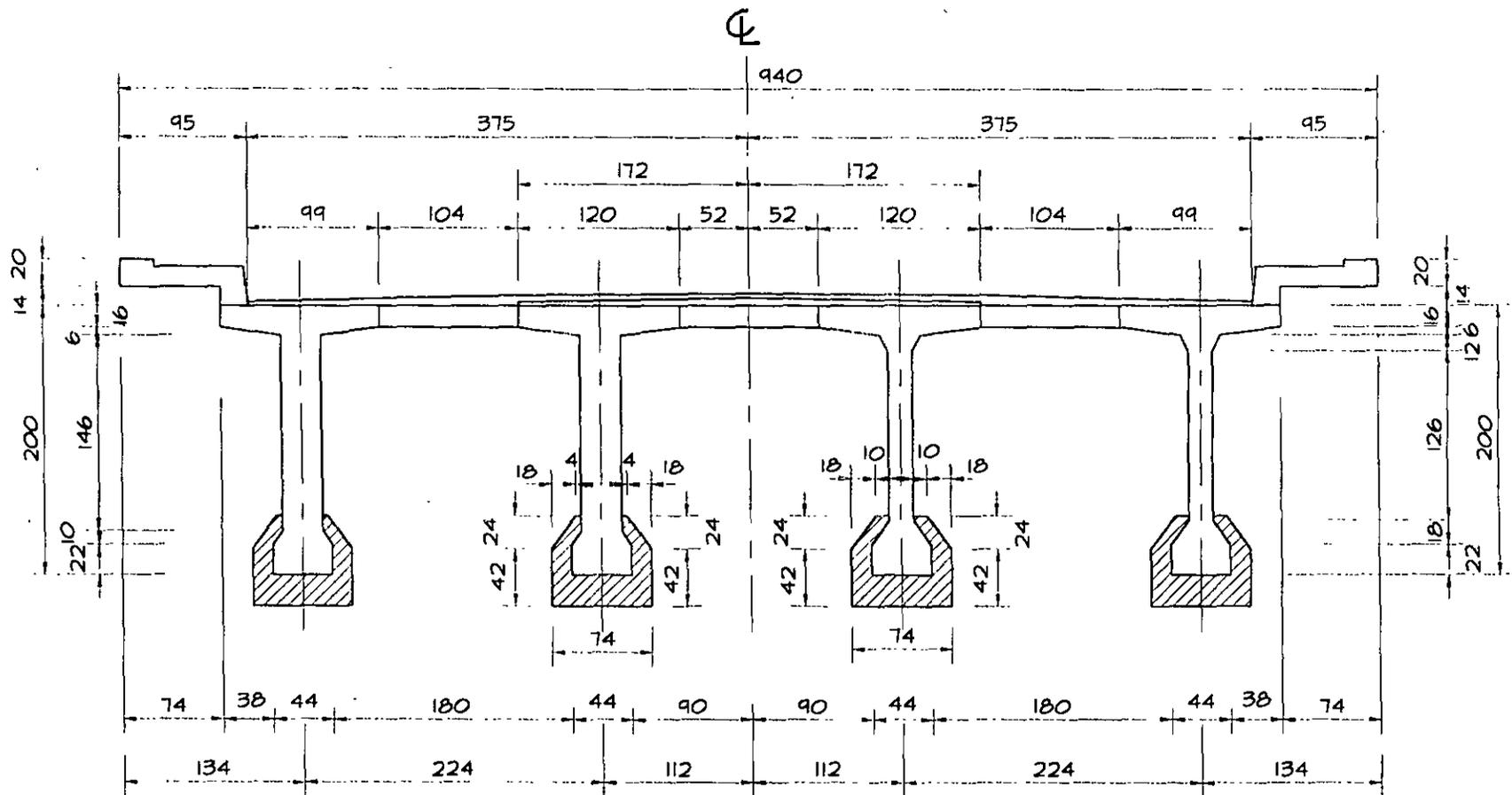
SECCION LOCALIZACION PRESFUERZO ADICIONAL



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 4



MEDIA SECCION
POR EJE DE APOYO

MEDIA SECCION
AL CENTRO DEL CLARO

SECCION AMPLIADA



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

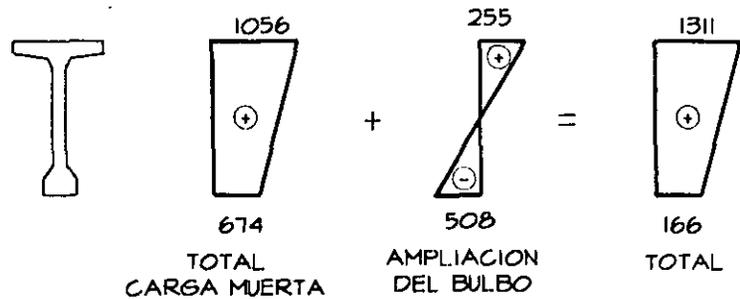
PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 5

12

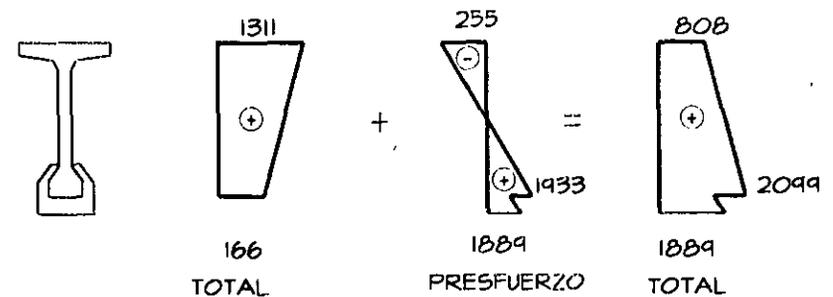
ESFUERZOS ACTUANTES EN EL PUENTE (T/m²)

SECCION AMPLIADA Y 100% DEL PRESFUERZO ORIGINAL

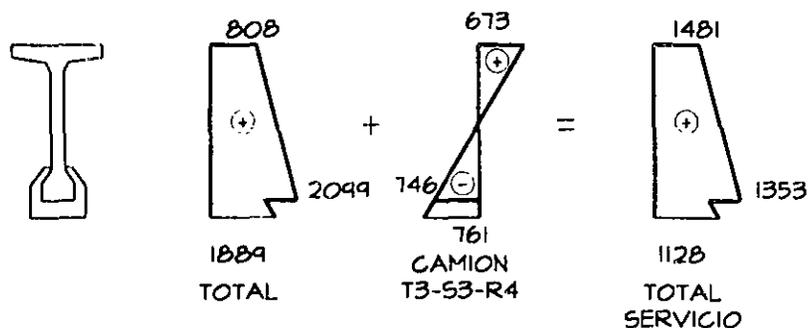
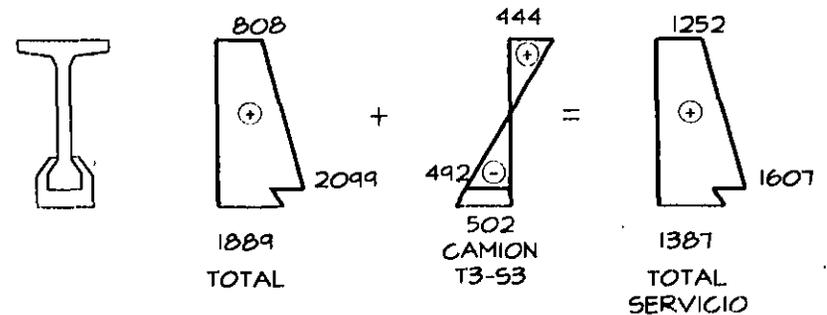
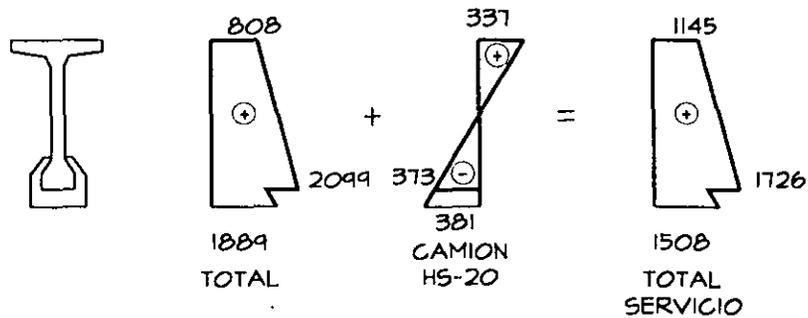
a) CARGAS MUERTAS



b) PRESFUERZO ADICIONAL (6 Cables 12T13 por Trabe)



c) CONDICIONES DE SERVICIO





CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

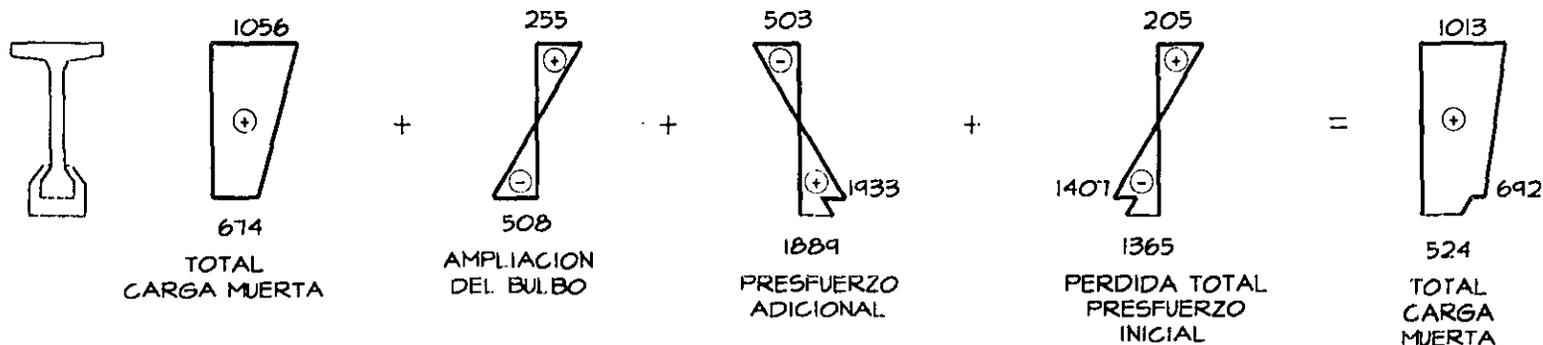
DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"
TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 6

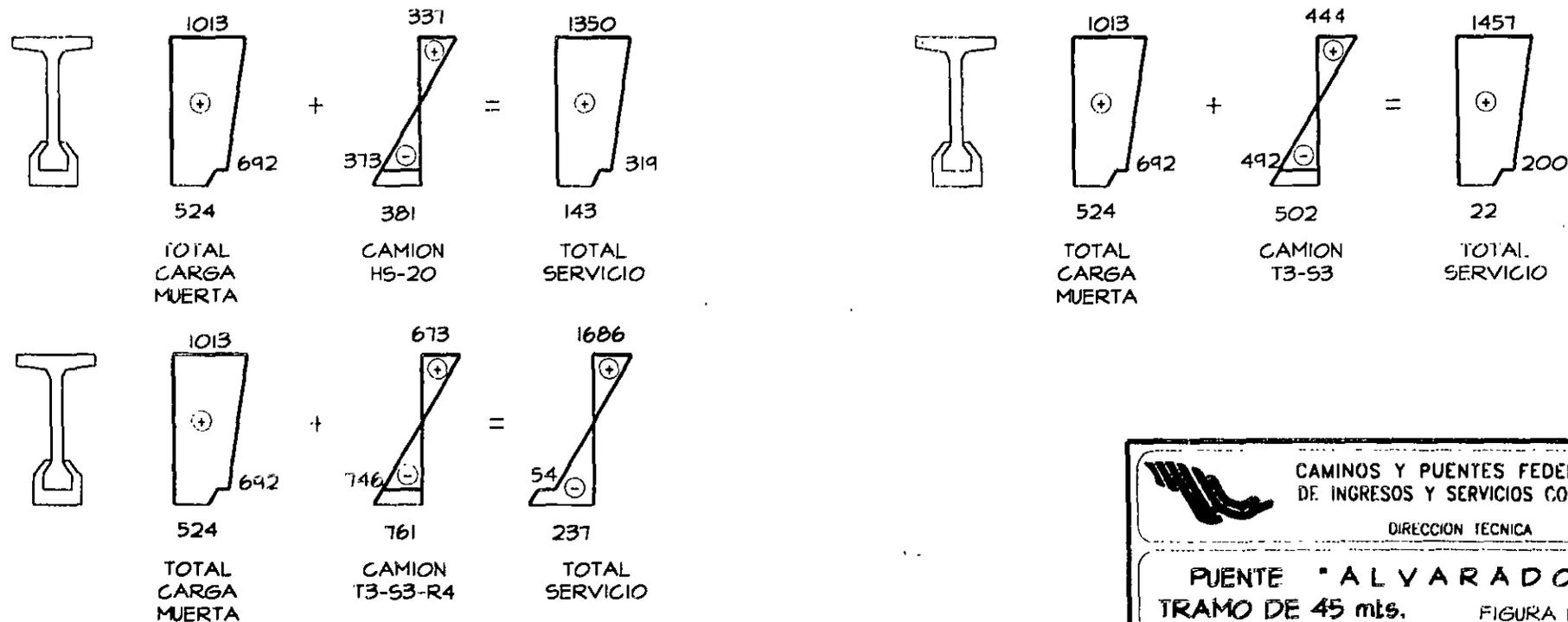
ESFUERZOS ACTUANTES EN EL PUENTE (T/m²)

SECCION AMPLIADA Y PERDIDA TOTAL DEL PRESFUERZO INICIAL

a) CARGAS MUERTAS



b) CONDICIONES DE SERVICIO





**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS**

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"

TRAMO DE 45 mts. FIGURA No. 7

**E S F U E R Z O S P E R M I S I B L E S
EN ELEMENTOS DE CONCRETO PRESFORZADO**

REGLAMENTO DEL AASHTO	REGLAMENTO DEL BPEL
<p>a) TEMPORALES</p> <p>COMPRESION</p> <p>- PRETENSADOS $0.60 f'_{ci}$</p> <p>- POSTENSADOS $0.55 f'_{ci}$</p> <p>TENSION</p> <p>- Con acero de refuerzo $0.8 \sqrt{f'_{ci}}$</p> <p>- Máximo esfuerzo $2.00 \sqrt{f'_{ci}}$</p> <p>b) EN SERVICIO</p> <p>COMPRESION $0.40 f'_{c}$</p> <p>TENSION</p> <p>- Con acero de refuerzo $1.60 \sqrt{f'_{c}}$</p> <p>- Con acero de refuerzo pero expuesto a condiciones severas $0.80 \sqrt{f'_{c}}$</p> <p>- Sin acero de refuerzo 0.00</p>	<p>a) TEMPORALES</p> <p>COMPRESION $0.60 f'_{ci}$</p> <p>TENSION $0.70 (6+0.06 f'_{ci})$</p> <p>b) EN SERVICIO</p> <p>COMPRESION</p> <p>- Combinación casi-permanente $0.50 f'_{c}$</p> <p>- Combinaciones raras y frecuentes $0.60 f'_{c}$</p> <p>TENSION</p> <p>- En clase I 0.00</p> <p>- En clase II</p> <p>- Combinaciones raras</p> <p>- A nivel del acero de presfuerzo $6+0.06 f'_{c}$</p> <p>- En otras secciones $1.50 (6+0.06 f'_{c})$</p> <p>- Combinaciones frecuentes</p> <p>- A nivel del acero de presfuerzo 0.00</p> <p>- En clase III</p> <p>- La sobretensión en el acero de presfuerzo debe ser menor a $0.10 f_{rg}$</p>

FASE I

- a) Tomar niveles de la superestructura
- b) Realizar perforaciones en nervaduras y diafragmas para dar paso al presfuerzo longitudinal y transversal (ver figura 1)

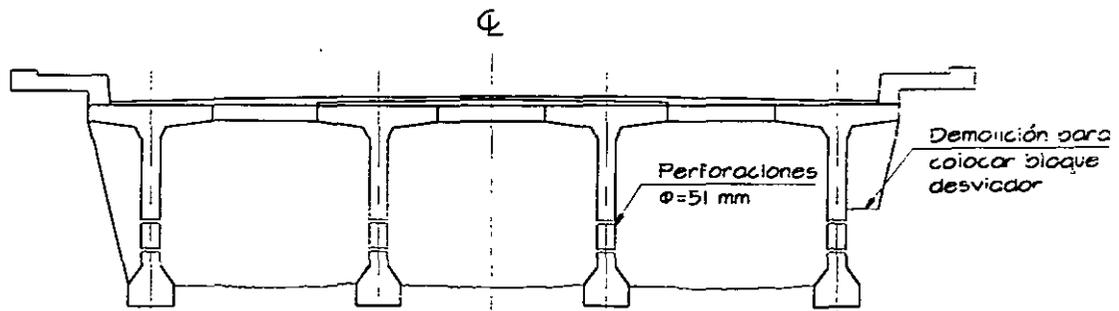


FIGURA 1

- c) Cerrar un carril a la circulación y proceder al retiro de la carpeta asfáltica (ver figura 2)

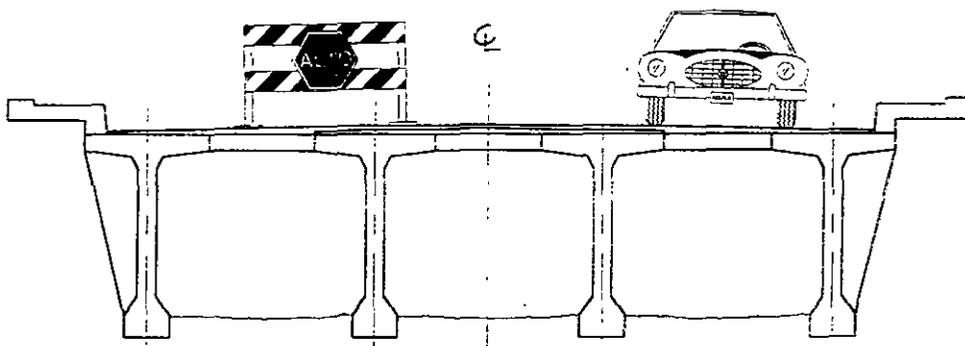


FIGURA 2

- d) Escarificar nervaduras y diafragmas en zonas donde se colarán bloques de anclaje, bloques desviadores y ampliación del bulbo (ver figura 3)

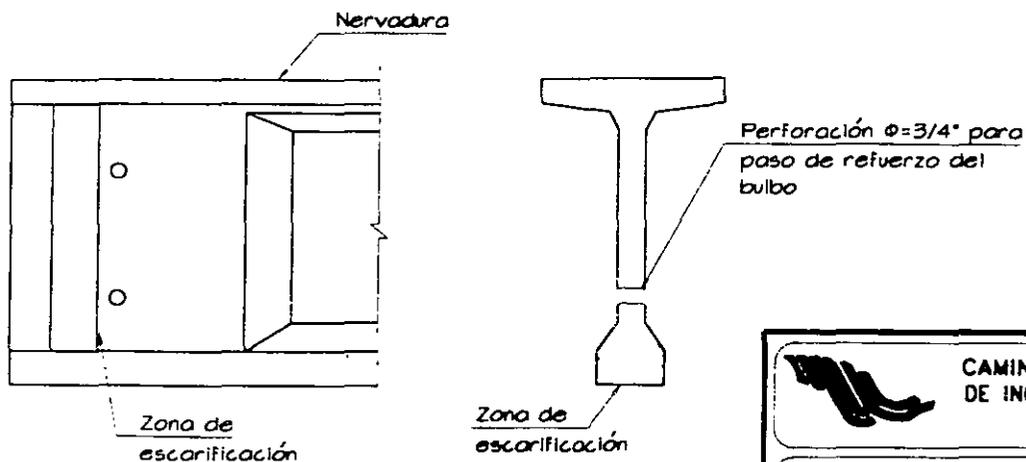


FIGURA 3



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"

PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

HOJA No. 1

FASE II

a) Colocar y tensar los estribos presforzados (ver figura 4)

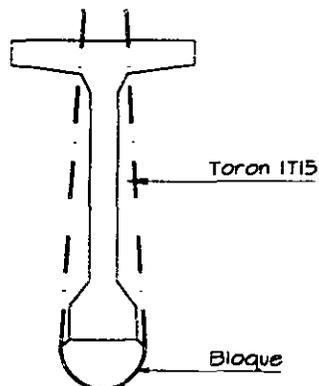


FIGURA 4

b) Retirar juntas de calzada y efectuar demoliciones en la losa para realizar colado de bloques

c) Armar la ampliación del patín inferior en el tramo de 45 mts. (ver figura 5)

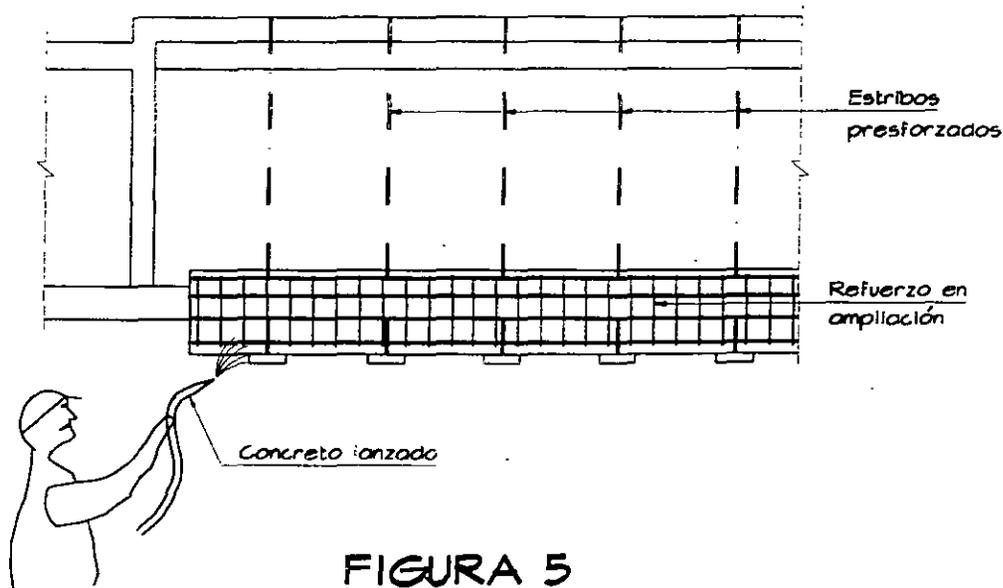


FIGURA 5

d) Colar la ampliación del patín inferior, mediante el método de concreto lanzado



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

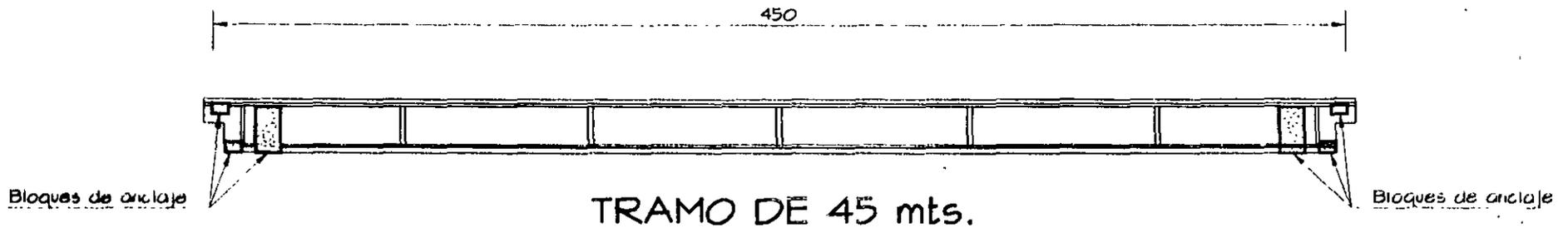
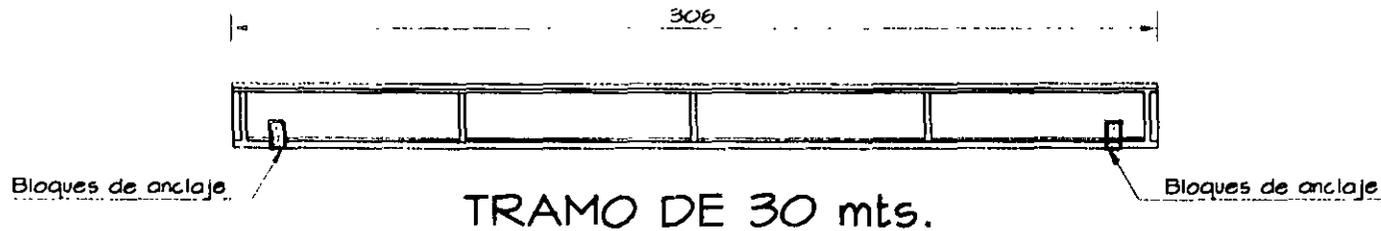
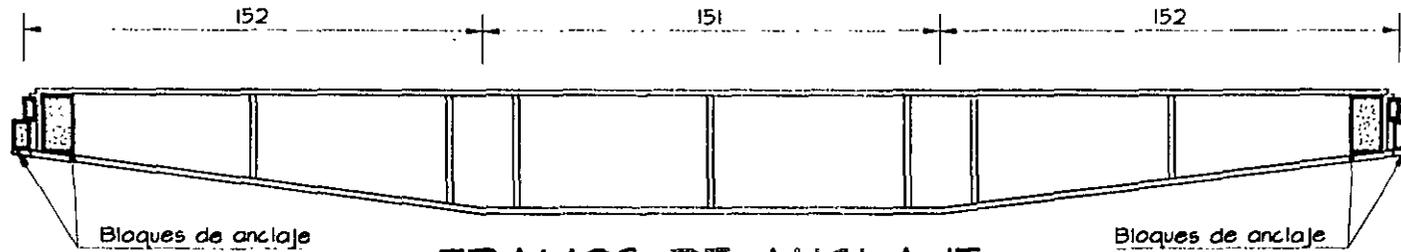
PUENTE "ALVARADO"

PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

HOJA No. 2

FASE III

a) Armar y colar los bloques de anclaje en los tramos de 30 m, 45 m y Tramos de anclaje



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"

PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

HOJA No. 3

FASE IV

a) REPETIR LAS FASES DE I A III PARA EL OTRO CARRIL (ver figura 6)

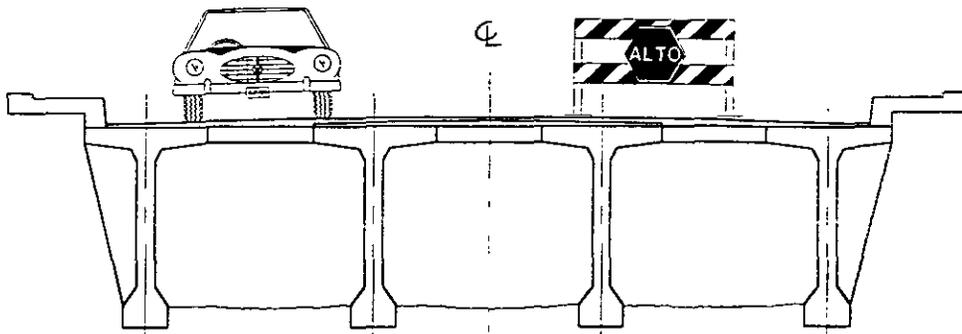


FIGURA 6

FASE V

- a) Resanar huecos para el colado
- b) Restituir la carpeta asfáltica
- c) En los tramos de 45 mts. ampliar diafragmas centrales y armar el bloque desviador (ver figura 7)
- d) Colar bloque desviador

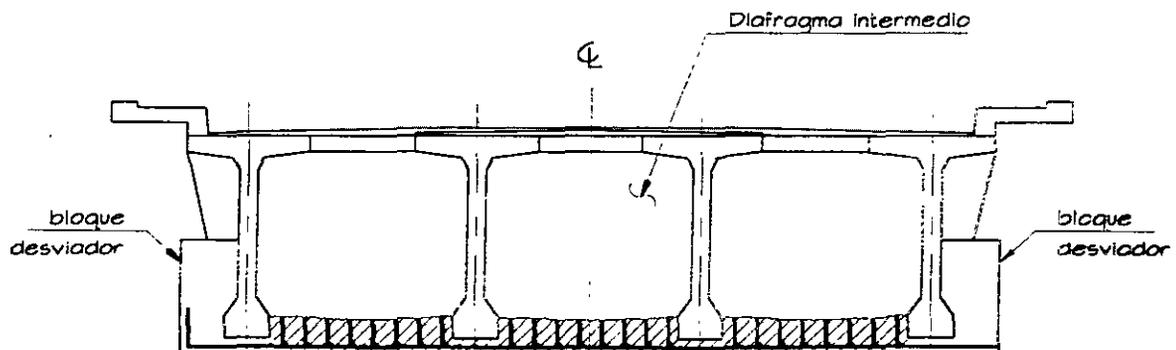
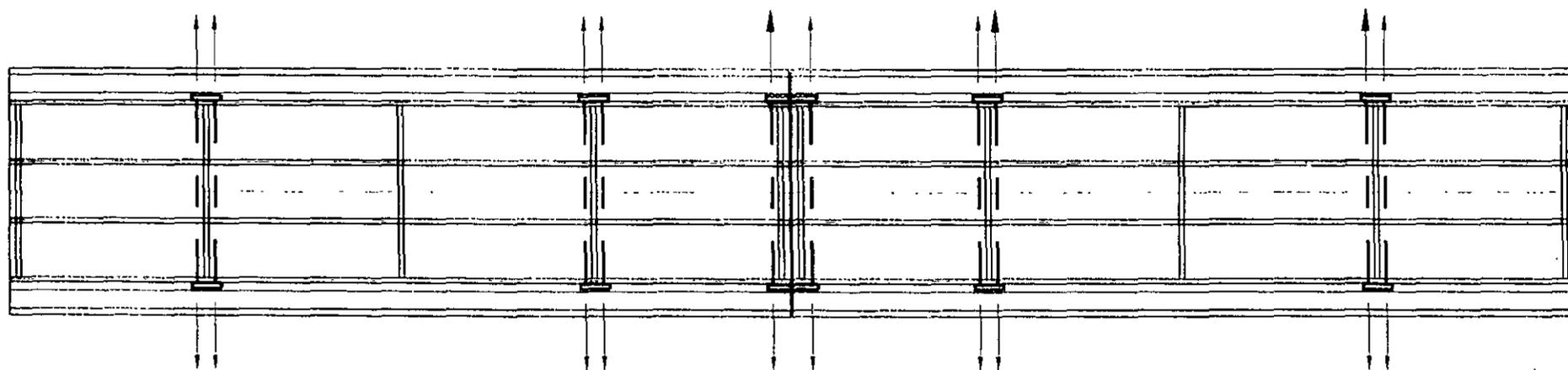


FIGURA 7

	CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS
	DIRECCION TECNICA
PUENTE "ALVARADO"	
PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	HOJA No. 4

FASE VI

a) Insertar y tensar los cables de presfuerzo transversal



Tensado de cables transversales



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

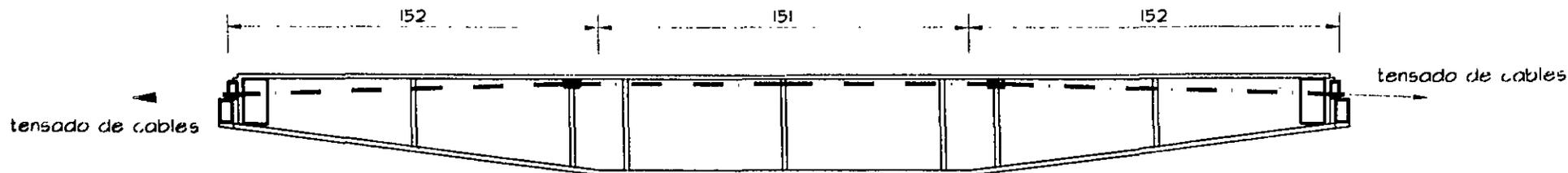
PUENTE "A. I. VARADO"

PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

HOJA No. 5

FASE VII

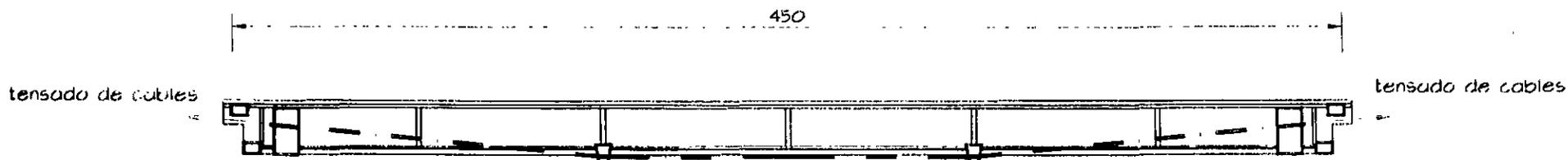
- a) Insertar y tensar los cables de presfuerzo longitudinal
- b) Colocar juntas de calzada
- c) Abrir el puente a la circulación normal



TRAMOS DE ANCLAJE



TRAMO DE 30 mts.



TRAMO DE 45 mts.



CAMINOS Y PUENTES FEDERALES
DE INGRESOS Y SERVICIOS CONEXOS

DIRECCION TECNICA

PUENTE "ALVARADO"

PROCEDIMIENTO
CONSTRUCTIVO

HOJA No. 6



PUENTE ALVARADO

COSTO COMPARATIVO EN % DEL REFORZAMIENTO Y UNA ESTRUCTURA NUEVA; A PRECIOS DE 1991.

REFORZAMIENTO

COSTOS	AÑO	FACTOR DE ACTUALIZACION 1991.	IMPORTE
459,273.92 (ARMADURA)	1989	1.6662	765,242.21
4'608,604.03 (TRAMOS DE CONCRETO)	1991	1.0000	4'608,604.03
		T O T A L	5'373,846.24

COSTOS DE:

SUPERESTRUCTURA NUEVA

5'338,368.00	1988	1.7661	9'428,090.00
		RELACION DE %	56 %

TODO EL PUENTE

18'916.000.00	1988	1.7661	33'409,547.60
		RELACION DE %	16 %



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“STANDARD TEST METHOD FOR MEASURING
THE LONGITUDINAL PROFILE OF TRAVELED
SURFACES WITH AN ACCELEROMETER
ESTABLISHED INERTIAL PROFILING REFERENCE”**

**ING. RICARDO TORRES VALAZQUEZ
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**



Designation: E 950 - 94

Standard Test Method for Measuring the Longitudinal Profile of Traveled Surfaces with an Accelerometer Established Inertial Profiling Reference¹

This standard is issued under the fixed designation E 950; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the measurement and recording of the profile of vehicular-traveled surfaces with an accelerometer established inertial reference on a profile-measuring vehicle.

1.2 The test method uses measurement of the distance between an inertial plane of reference and the traveled surface along with the acceleration of the inertial platform to detect changes in elevation of the surface along the length being traversed by the instrumented vehicle. In order to meet a particular class, the transducers must meet accuracy requirements and the calculated profile must meet the specifications of that class.

1.3 The values measured represent a filtered profile measured from a moving plane of reference using the equipment and procedures stated herein. The profile measurements obtained should agree with actual elevation measurements subjected to the same filtering. Selection of proper filtering allows the user to obtain suitable wavelength information for the intended data processing.

1.4 Either metric or inch-pound units may be used, but must be used consistently and not mixed.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary information is given in Section 6.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 178 Practice for Dealing with Outlying Observations²

E 867 Terminology Relating to Traveled Surface Characteristics³

E 1166 Guide for Network Level Pavement Management³

E 1364 Test Method for Measuring Road Roughness by Static Level Method³

F 457 Test Method for Speed and Distance Calibration of a Fifth Wheel Equipped with Either Analog or Digital Instrumentation⁴

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-17 on Vehicle-Pavement Systems and is the direct responsibility of Subcommittee E17.31 on Methods for Measuring Profile and Roughness.

Current edition approved Sept. 15, 1994. Published November 1994. Originally as E 950 - 83. Last previous edition E 950 - 83.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.02.

3. Summary of Test Method

3.1 The test apparatus consists of a vehicle equipped with the necessary transducers, computing, and recording equipment to measure and record elevation profile of the traveled surface (1).⁵

3.2 The sampling rate is selected and depends on the anticipated roadway conditions and data requirements for the intended data processing.

3.3 The test apparatus is driven in the wheel tracks or in the correct lateral location over the section of traveled surface to be profiled. Transducers measure vertical acceleration of the vehicle and the vertical distance between the accelerometer and the traveled surface and the longitudinal distance. These transducer signals are combined by a computer to produce the longitudinal profile of the traveled surface.

4. Significance and Use

4.1 The measurement of vehicular traveled surfaces using an instrumented vehicle with an inertial plane of reference provides a satisfactory method for acquiring traveled surface profile data (1).

4.2 The profile data can be processed to produce, by simulation, the outputs of other devices. This can be done on line in real time or can be computed as a post process. Some of the devices that can be simulated include road meters (2), various straightedge devices (3), profilographs, (4), as well as pavers and grinders. Comparisons of various equipment and their profile computer programs are given in reference (5, 6).

4.3 The raw data or the profile data can also be recorded for data processing at a later time and for analysis by more complex data processing procedures.

5. Apparatus

5.1 The test apparatus consists of a vehicle equipped with transducers and profile computing and recording equipment. The transducers are used to measure vertical acceleration, displacement, and the distance traveled. The computer is used to process the transducer outputs to produce the computed profile of the traveled surface. The test apparatus must have transducer capability for one or more tracks and a mass storage device for long term storage of the data. If two wheel tracks are measured, the displacement transducers shall be mounted 1.5 to 1.8 m (58 to 71 in.) apart so that they measure in the two wheel tracks of the traveled surface. A set of gage blocks must be included to calibrate and

⁵ The blockface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

E 950

validate static transducer operation. Other supporting apparatus can include a driver speed display and a graphical display of the profile or data. Some form of data display is recommended to ensure correct data is being collected.

5.2 Vehicle Requirements—The vehicle is the platform for the mounting of the profile-measuring equipment. The vehicle shall be large enough to accommodate all the required equipment without major structural modifications. The engine, steering mechanisms, and suspension components shall be adequate to allow smooth maintenance of speed and direction of travel. The environment of the interior of the vehicle shall be maintained within tolerable limits of the instrumentation and operators.

5.3 Transducers:

5.3.1 Accelerometer—The accelerometer measures the acceleration used to establish the inertial reference. A high-quality accelerometer shall be used that meets the class requirements of the profiling device. The accelerometer shall be mounted on the measuring vehicle with the accelerometer's sensitive axis perpendicular to the traveled surface. The accelerometer range shall be large enough to accommodate the levels of acceleration expected from the bounce motions of the measuring vehicle (typically ± 1 g). The accelerometer shall be biased to account for the 1-g acceleration of gravity. The accelerometer or external circuitry shall contain a self-calibration external voltage source which, on command, causes the output of the acceleration signal level to change a predetermined value. The accelerometer shall have a minimum resolution to allow profile calculation and accuracy and bias to meet the class requirements as given in this standard.

5.3.2 Displacement Measurement—A displacement transducer measures the distance between the accelerometer and the traveled surface. The transducer shall be mounted on the vehicle with its measuring axis perpendicular to the traveled surface and in line with the sensitive axis of the accelerometer. The displacement transducer shall measure the vertical distance to the traveled surface continuously, or sample at intervals not greater than that needed to allow calculated profile as given in Table 1. The vertical resolution is that necessary to meet the class given in Table 2.

5.3.3 Distance Measurement—The distance transducer may be of the type that produces a series of pulses, the intervals of which represent a distance along the traveled surface to a resolution needed to satisfy Table 1. The pulses are used to measure speed and can be used to convert from a function of time to a function of distance traveled. Any distance transducer that produces analog or digital signals with sufficient accuracy may be used. The accuracy of the distance measurement is established by calibration (see 8.2.3).

5.3.4 Location Markers—Use of a section start, intermediate feature location(s), and section end shall be identified by location marks that can be accurately detected by an automatic means, such as magnetic detection, photocells

TABLE 1 Longitudinal Sampling

Class 1	less than or equal to 25 mm (1 in.)
Class 2	greater than 25 mm (1 in.) to 150 mm (6 in.)
Class 3	greater than 150 mm (6 in.) to 300 mm (12 in.)
Class 4	greater than 300 mm (12 in.)

TABLE 2 Vertical Measurement Resolution

Class 1	less than or equal to 0.1 mm (0.005 in.)
Class 2	greater than 0.1 mm (0.005 in.) to 0.2 mm (0.010 in.)
Class 3	greater than 0.2 mm (0.010 in.) to 0.5 mm (0.020 in.)
Class 4	greater than 0.5 mm (0.020 in.)

detection of reflective tape or similar means.

5.4 Profile Computation—A computer shall be used to process acceleration, and distance transducer outputs to produce measured traveled surface profile. There are two basic methods of computing measured traveled surface profile:

5.4.1 Spatial Based—In the spatial based method, the transducer outputs are acquired and profile data points are computed as a function of the distance traveled. In the spatial-based method, the computation of measured road profile is independent of the vehicle measuring speed.

5.4.2 Time-Based—In the time-based system, the transducer outputs are acquired and profile data points are computed as a function of a fixed-time interval. In the time-based method, the computation of measured road profile is not independent of the vehicle measuring speed.

5.4.3 Filtering that permits the computation of measured elevation profile with no attenuation or amplification of road profile wave lengths at least 60 m (200 ft) long at test speeds of 25 to 95 km/h (15 to 60 mph) shall be provided. The computer and system shall not add noise in excess of 10 % of the displacement measuring transducer resolutions given in Table 2.

5.4.4 As part of the profile computation equipment, a computer terminal shall be provided that will allow the operator to perform system calibration, select system parameters, and monitor system outputs.

5.5 Driver Speed Display:

5.5.1 The vehicle speed shall be displayed conveniently for the driver to assist in maintaining the desired measuring speed on systems requiring constant speed during measurement. Some systems, especially in the case of spatial based systems, are independent of speed and the speedometer is sufficient.

5.5.2 The displayed vehicle speed, when required, may be computed by the profile computer from the distance pulses. Other means of measuring vehicle speed are acceptable.

5.6 Display—A display should be used that allows visual monitoring of the systems outputs. The display should allow profile amplitudes to be displayed as a function of time or distance traveled. Amplitude and distance scaling shall be controlled by the operator through the profile computer terminal.

5.7 Storage Device—A device shall be provided for the recording and long term storage of data or computed profile, or both. The device shall have play back ability for additional on-board processing or for later processing. Profile data for recording shall be scaled by the computer to maintain storage resolution of the computed profile and to accommodate the full range of amplitudes encountered during normal profile measuring operation. Signal to noise (S/N) ratio shall be 10 or better.

5.8 Event Marker—The operator shall be provided the means to event mark location data as part of the data records. The system may use a transducer (optionally) to

 E 950

automatically sense and automatically record location numbers that have been placed on the traveled surface.

6. Safety Precautions

6.1 The test vehicle, as well as all attachments to it, shall comply with all applicable state and federal laws. Necessary precautions imposed by laws and regulations, as well as vehicle manufacturers, shall be taken to ensure safety of operating personnel and other traffic.

7. Digital Profile Recording

7.1 The computed profile shall be recorded at adequate intervals for accurate representation of the traveled surface for the intended use of the data. Also, antialiasing filters are required when the folding frequency ($1/2$ of sampling frequency) is close to the upper frequency of interest (see Terminology E 867). Identical antialiasing filtering must be applied to both the accelerometer signal and to the displacement measurement signal before computing profiles. The upper filter frequency depends upon the intended use of the profile.

7.2 Where two or more paths of traveled surface are measured, the recorded profile data for the paths shall be at the same longitudinal location. This requirement is not necessary if the analysis to be used is independent of the wheel tracks (for example, only quarter car analysis used).

8. Calibration Procedures

8.1 Due to the level of performance required of the class of profiled surface profile measuring apparatus, it is important that the system and its components be calibrated periodically as recommended by the manufacturer.

NOTE—Due to the complexity of the calibration, it is recommended that the calibration procedure be automated to reduce or eliminate operator involvement and decision making.

8.2 Transducers:

8.2.1 *Acceleration Transducer*—The acceleration transducer shall have an internal or external calibration feature. A measure of the accelerometer error shall then be displayed for the operator's acceptance. As an alternative, the acceleration transducer may be calibrated separately in the laboratory. In either case, an error larger than that allowed for the class shall not be accepted.

8.2.2 *Displacement Transducer*—The displacement transducer shall be statically calibrated by introducing an accurately measured step of displacement. The displacement step shall be at least 25 mm (1.0 in.) and accurate within class requirement. A measure of the displacement transducer error shall be displayed for the operator's acceptance or adjustment.

8.2.3 *Distance Transducer*—The distance transducer shall be calibrated by measuring a predetermined distance on a straight section in a similar manner as given in Test Method F 457. The measured distance shall be long enough to determine any significant difference between the measured distance and the predetermined actual distance. A measure of the distance transducer error shall be displayed for the operator's acceptance or adjustment. An error larger than 0.5% of the actual distance shall not be accepted. The transducer shall be calibrated at the measuring speed(s) to be used.

9. Procedures

9.1 General:

9.1.1 *System Power*—Turn on electronic equipment prior to testing to allow electronic components to stabilize (see manufacturer's operating manual).

9.1.2 *System Parameters*—If required, select the system parameters that define the wavelength content of the surface profile to be measured (see manufacturer's operating manual).

9.1.3 *Calibration Checks*—Perform calibration checks at the beginning of a day of operation and at any other time the operator may suspect changes of system performance since the last calibration. Also, calibration checks should be made at the end of each day or prior to departing a region to ensure collected data is valid.

9.1.3.1 *System*—Check the calibration by using the simple procedure of bouncing the vehicle, while it is stationary, on a flat surface. This checks the major portion of the system. In this mode of operation, the surface profile is unchanging and the system output should be less than 1% of the vehicle bounce amplitude. A measure of the traveled surface profile measuring system error shall be displayed for the operator's acceptance.

9.2 Measuring Speed:

9.2.1 Better quality profile calculations are generally obtained at higher measuring speeds because of the filters used. Higher measuring speeds may, however, be limited by the ability of the apparatus to measure an extremely rough surface at high speed. Measuring speed might have to be reduced for sampling of shorter intervals (7).

9.2.2 Avoid measuring speeds below 25 km/h (15 mph) since the quality of the long wavelength content of the measured profile will be affected or a much higher resolution accelerometer must be used. Measuring speeds as low as 2 m/s (5 mph) may be used where higher speeds are not practical and long wavelength content is not important; such as, on very rough roads, railroad crossings, or other special conditions.

9.2.3 Avoid sudden speed changes to minimize unwanted input to the acceleration transducer and transients to the filters.

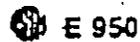
9.3 *Test Sections*—In preparation for measuring short test sections of a traveled surface, the operator should become acquainted with the test section to be measured including the beginning, end, and any other features that should be identified within the test section. If identifying features within the test section are to be sensed automatically, the operator shall place the proper marker on the traveled surface at the locations to be identified. It is very important that the wheel tracks be identified on the roadway so that the measurements are made in the wheel tracks or in the paths that are to be measured.

9.4 Data Acquisition:

9.4.1 Enter information about the test section and conditions of the test (see Section 11).

9.4.2 At least 150 m (500 ft) (or at manufacturer's specified lead-in) prior to the beginning of the test section, bring the apparatus to the desired speed.

9.4.3 Prior to reaching the test section, at least 150 m (500 ft) or as needed because of the long wavelength filter, switch the system to the test mode.



E 950

9.4.4 At the start of the test section, identify its beginning as part of the recorded data. This can be done automatically or manually with an event marker.

9.4.5 Measure the surface profile within a traveled lane as close as possible to the track established by normal traffic. If a single track is measured, it should be in the center of the wheel track of the normal traffic track for that side or in the center of the path to be measured. If more than one path of the traveled surface is measured, then one track should be in the center of the normal traffic track (left or right, but should be the same each time the test section is measured). Note that if the distance between sensors is not that of the actual wheel tracks, then only one measurement is actually centered in a wheel track and should normally be the right track.

9.4.6 Observe and check that the data is reasonable as it is recorded. If profile data is collected for multiple wheel tracks, traces for the right and left wheel tracks should be very similar except for short wavelengths.

9.4.7 Identify, as part of the recorded data, other physical features or known reference points within the test section that will assist in relating the calculated profile to actual traveled surface profile.

9.4.8 Identify the end of the test section.

9.5 *Data Evaluation for Correctness:*

9.5.1 If there is a question about the performance of the test apparatus for the test run, make an immediate check by measuring the test section again. The calculated profile or a point by point basis for the two runs should be within that specified by the class the apparatus is to meet.

9.5.2 Occasionally, evaluate the profile or raw data recorded on the storage device by playing the recorded data back to the recorder or display. The calculated profile or raw data played back to the display should be identical to the data recorded on the display when it is first calculated. Any difference between the profiles indicates an equipment problem with the storage device. A printing recorder is especially helpful here.

10. Faulty Tests

10.1 Any observable differences between the measured profiles of the left and right wheel tracks (see 9.4.6) that cannot be attributed to actual differences in the roadway mandate a repeat measurement. Any observable differences between the two identical runs, in accordance with Practice E 178, other than differences due to differences in the paths that were measured, indicate an equipment problem and invalidate the tests.

11. Report

11.1 The field report for each test section shall contain data on the following items:

- 11.1.1 Date and time of day,
- 11.1.2 Operator, driver, and vehicle identification,
- 11.1.3 Weather conditions; principally temperature, cloud cover, and wind,
- 11.1.4 Location and description of test section,
- 11.1.5 Surface description; type of pavement and condition,
- 11.1.6 Run number,
- 11.1.7 Measuring speed,

11.1.8 Direction measured,

11.1.9 Lane measured, transverse position,

11.1.10 Profile data, and

11.1.11 Other system specific measurement options, for example, filter wavelength data interval, and resolution.

12. Precision and Bias

12.1 The accuracy of pavement profile measuring equipment can be defined by a statement on the precision and bias of the measuring equipment.

12.2 *Precision*—Precision in the measurement of pavement profile elevations is related to the closeness of agreement between repeat measurements of the same pavement profile.

12.2.1 Precision in the measurement of pavement profile is considered to be a specified combination of the repeatability standard deviation of observed values at specified locations along the measured profile.

12.2.2 The repeatability standard deviation of multiple observed values at one specified location along the measured pavement profile is expressed as a standard deviation of the multiple observed values about the computed mean value for that location.

12.2.3 The precision of a pavement profile measuring system is expressed as the mean of multiple repeatability standard deviations (SD) of the observed values at the multiple specified locations along the measured pavement profile.

12.2.4 For comparable statements of precision, the length of the measured pavement profile, the number of specified locations along the measured pavement profile, and the number of observed values at each specified location shall be maintained.

12.2.4.1 The length of the measured pavement profile to be used in the development of the precision statement shall be 320 m (1056 ft).

12.2.4.2 The number of specified locations along the measured pavement profile shall be one thousand fifty seven at 0.30 m (1.00 ft) intervals.

12.2.4.3 At least ten repeat pavement profile measurements shall be used in the development of the required precision statement.

12.2.4.4 In the development of the precision statement for the pavement profile measuring equipment, the independent variables that affect the pavement profile measuring process shall be tightly controlled.

12.2.4.5 The variation in the measurement of longitudinal profile can be minimized by selecting a pavement test section with minimal variation in the transverse pavement profile.

12.2.4.6 The variation in the measurement of longitudinal profile due to variations in transverse pavement profile can be minimized by following as closely as possible the same path during the required repeat profile measurements.

12.2.4.7 To ensure that the repeat pavement profile measurements are made at the same specified locations along the measured pavement profile, the longitudinal location of the pavement profile measurement shall be tightly controlled, for example, automatic location marks.

12.2.5 The precision requirements for equipment for the measurement of pavement profile by equipment classification shall not exceed the precision listed below.

E 950

Equipment Classification	Precision (1 SD)
1	0.38 mm (0.015 in.)
2	0.76 mm (0.030 in.)
3	2.50 mm (0.100 in.)

12.3 *Bias*—Bias in the measurement of pavement profile is related to the consistent or systematic difference between the mean value of repeat pavement profile measurements at specified locations along the measured pavement profile and an accepted reference value for those specified locations.

12.3.1 Bias in the measurement of an individual profile data point at one specified location is the computed mean value for that specified location minus the accepted reference value for that specified location.

12.3.2 An accepted reference value for a specified location along the measured pavement profile shall be derived from an accepted reference pavement profile measuring method (for example, rod and level, Test Method E 1364, etc.).

12.3.2.1 To provide the maximum confidence in the accepted reference value, it would be highly desirable to repeat the reference profile measurements enough times to determine a valid mean value and standard deviation about that mean value for the measurements made at each specified location along the measured pavement profile.

12.3.3 An accepted reference value shall be derived from the reference pavement profile measurements using the identical processing (linear filtering, etc.) as the pavement profile measuring equipment being evaluated as long as the original amplitude and phase relationship of the reference pavement profile measurements are not affected over the specified wave length range of interest.

12.3.3.1 For comparable statements of bias, the original amplitude and phase relationship of the reference pavement

profile measurements shall be unaffected for pavement profile wave lengths up to 100 m (300 ft).

12.3.4 Bias in the measurement of pavement profile is considered to be a specified combination of the biases of observed values at specified locations along the measured pavement profile.

12.3.5 The bias in the measurement of pavement profile shall be the algebraic summation of the individual biases at the multiple specified locations along the measured pavement profile divided by the number of specified locations.

12.3.6 For comparable statements of bias, the length of the measured pavement profile, and the number of specified locations along the measured pavement profile shall be maintained.

12.3.6.1 The length of measured pavement profile to be used in the development of the bias statement shall be 350 m (1056 ft).

12.3.6.2 The number of specified locations along the measured pavement profile shall be one thousand fifty seven at 0.3 m (1.00 ft) intervals.

12.3.7 The bias requirements for equipment for the measurement of pavement profile by equipment classification shall not exceed the biases listed below.

Equipment Classification	Bias
1	1.25 mm (0.050 in.)
2	2.50 mm (0.100 in.)
3	6.25 mm (0.250 in.)

13. Keywords

13.1 longitudinal profile; profiling device; profilometer

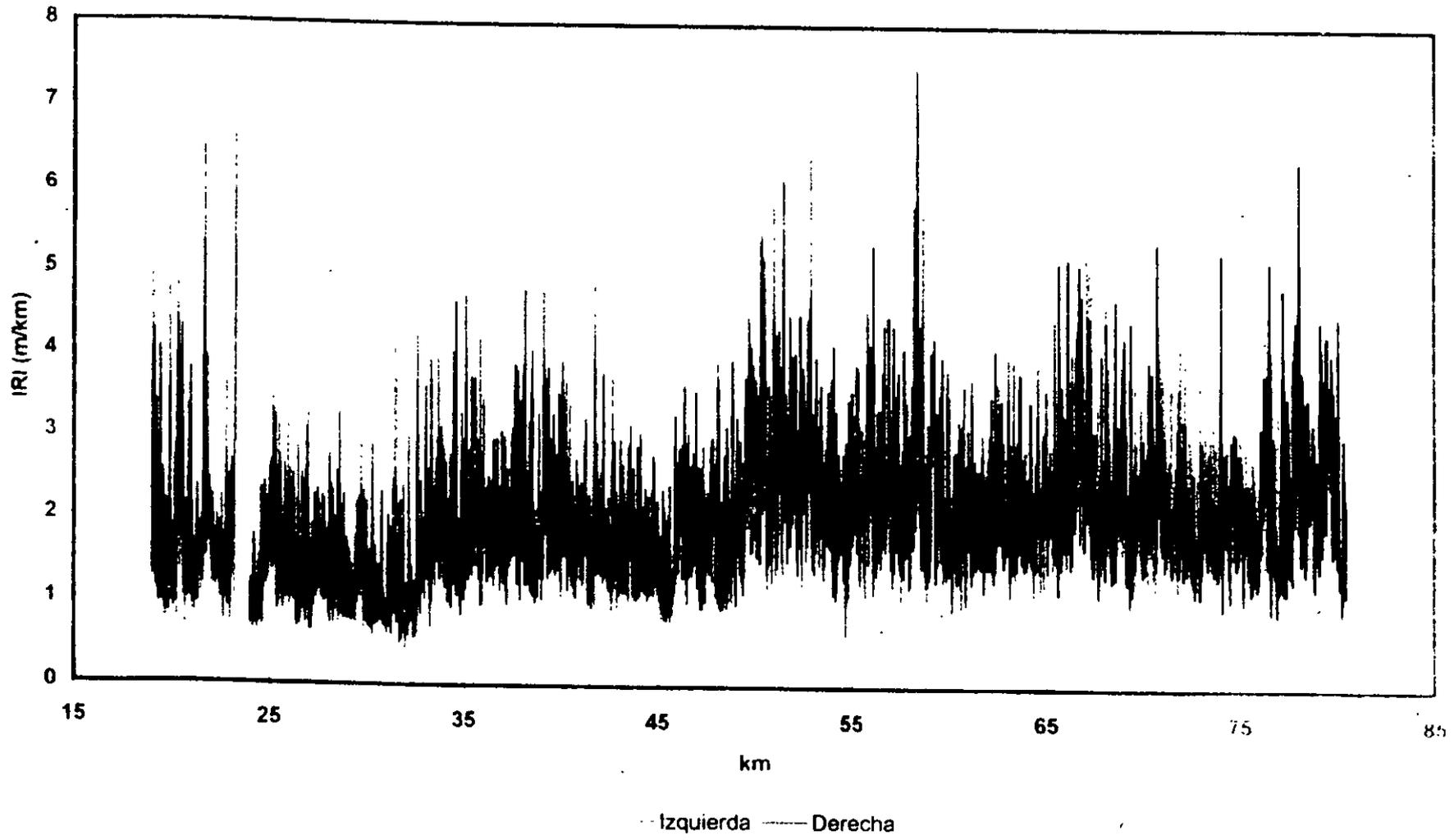
REFERENCES

- (1) Spangler, E. B., and Kelly, W. J., "GMR Road Profilometer—A Method for Measuring Road Profile," *Highway Research Record 127*, Washington, DC, 1966.
- (2) Gillespie, T. D., Sayers, M. W., and Segel, L., "Calibration and Correlation of Response-Type Road Roughness Measuring Systems," *NCHRP Report 228*, National Cooperative Highway Research Program, National Academy of Science, Washington, DC, 1980.
- (3) Wambold, J. C., et al., "State-of-the-Art of Measurement and Analysis of Road Roughness," *Transportation Research Record 836*, Washington, DC, 1981.
- (4) Kulakowski, B. T., "Development of Procedures for the Calibration of Profilographs," *FHWA Final Report*, February 1989.
- (5) Pong, Michael, "The Development of an Extensive-Range Dynamic Road Profile and Roughness Measuring System," Ph.D. Dissertation, Penn State University, 1992.
- (6) Sayers, M. W., and Gillespie, T. D., "The Ann Arbor Road Profilometer Meeting," *FHWA Report FHWA/RD-86/100*, July 1986.
- (7) Darlington, J. R., and Millman, P., "A Progress Report on the Evaluation of the General Motors Rapid Travel Road Profilometer," *Highway Research Record 214*, Washington, DC, 1968.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

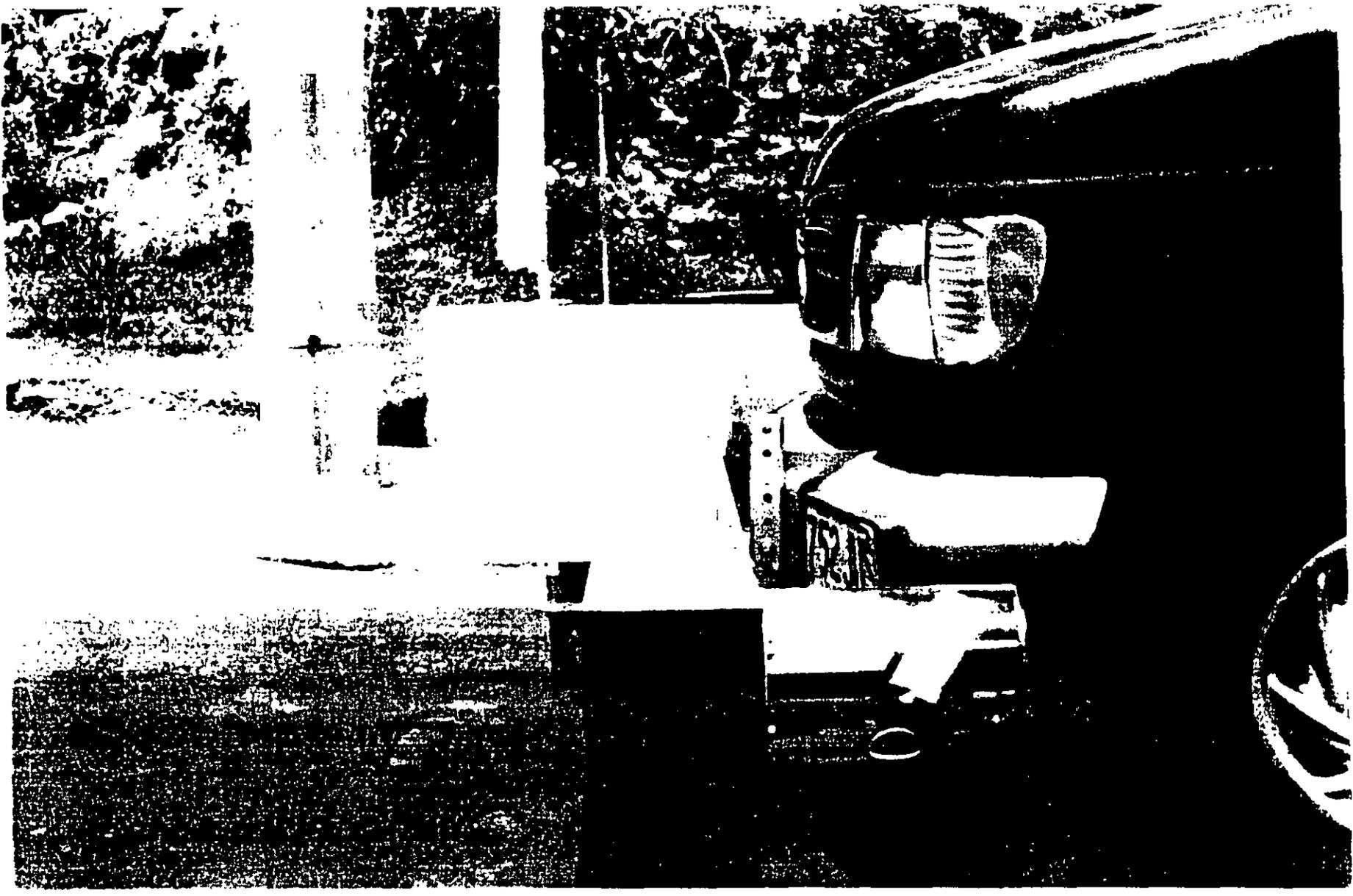
MEDICION DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL



Ing. Ricardo Torres Velázquez

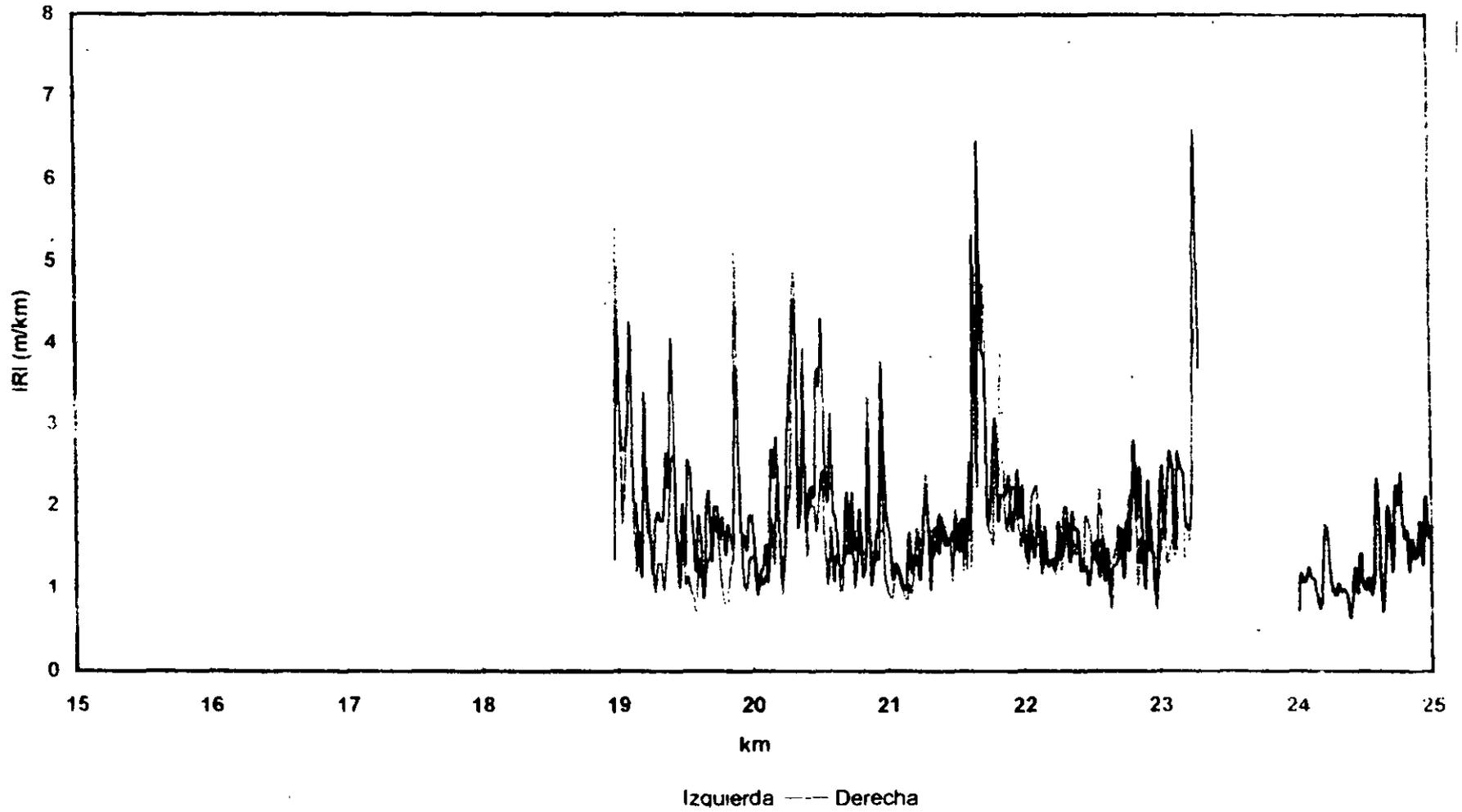


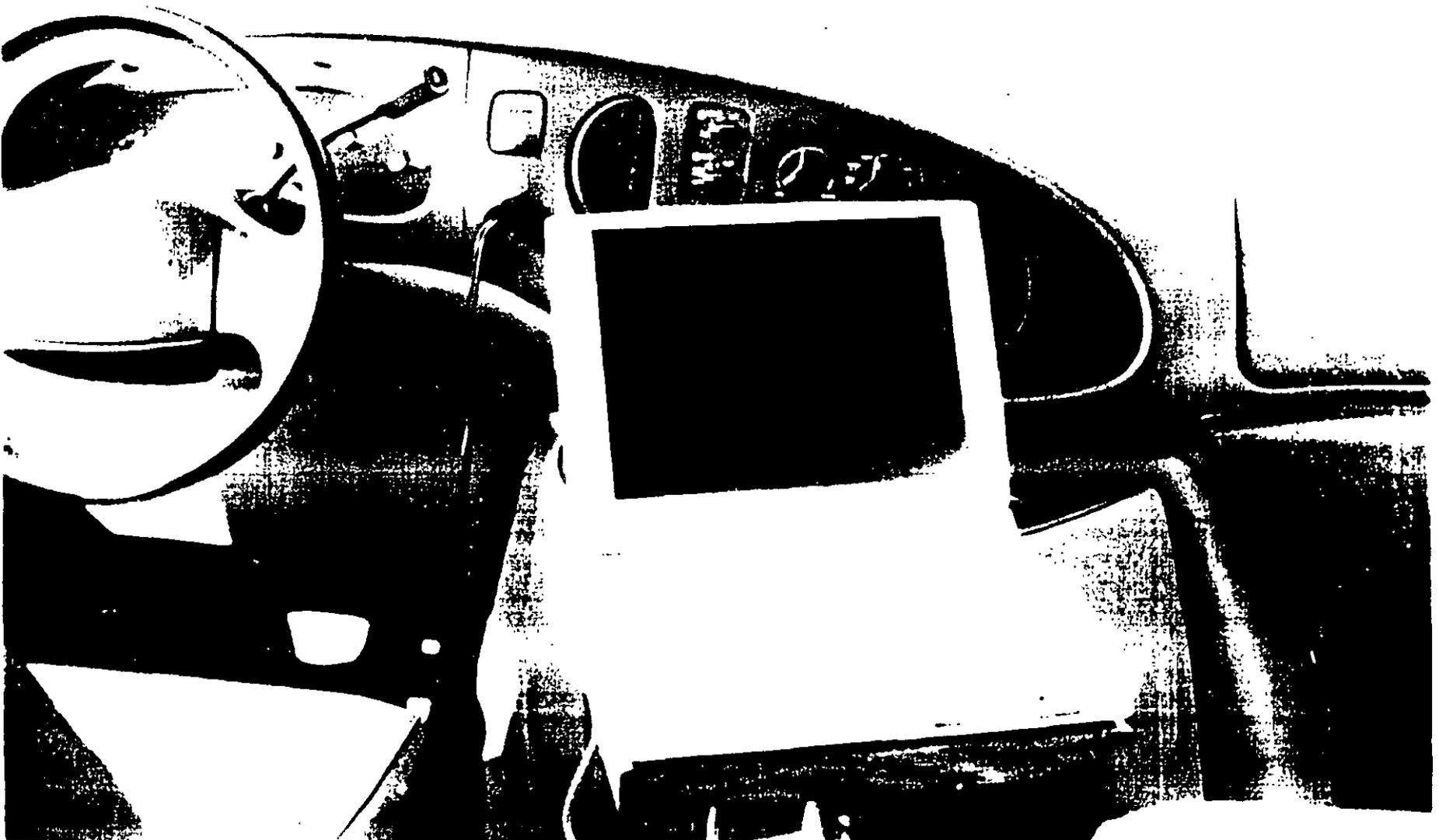
Ing. Ricardo Torres Velázquez



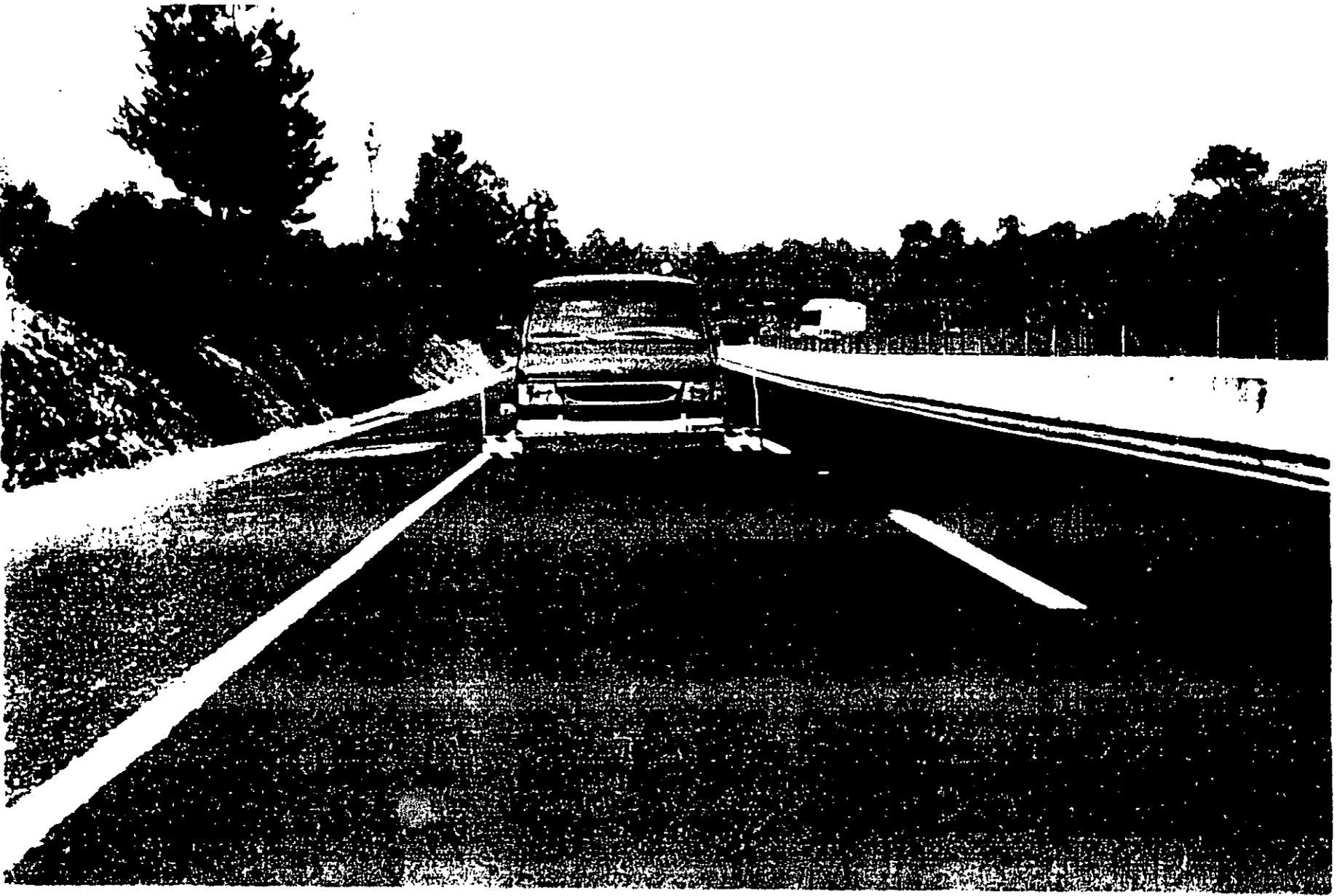
Ing. Ricardo Torres Velázquez

MEDICION DE LA IRREGULARIDAD SUPERFICIAL

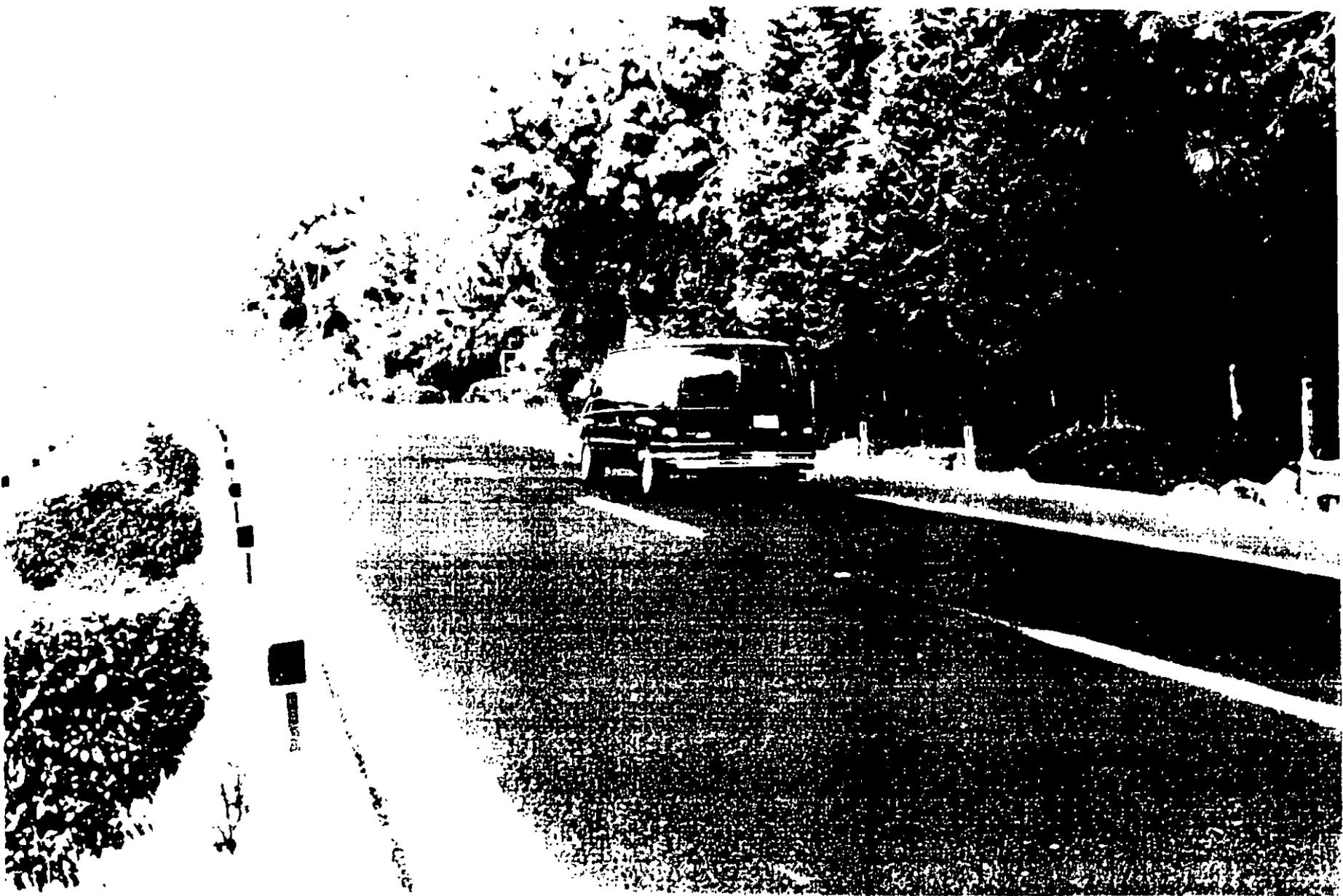




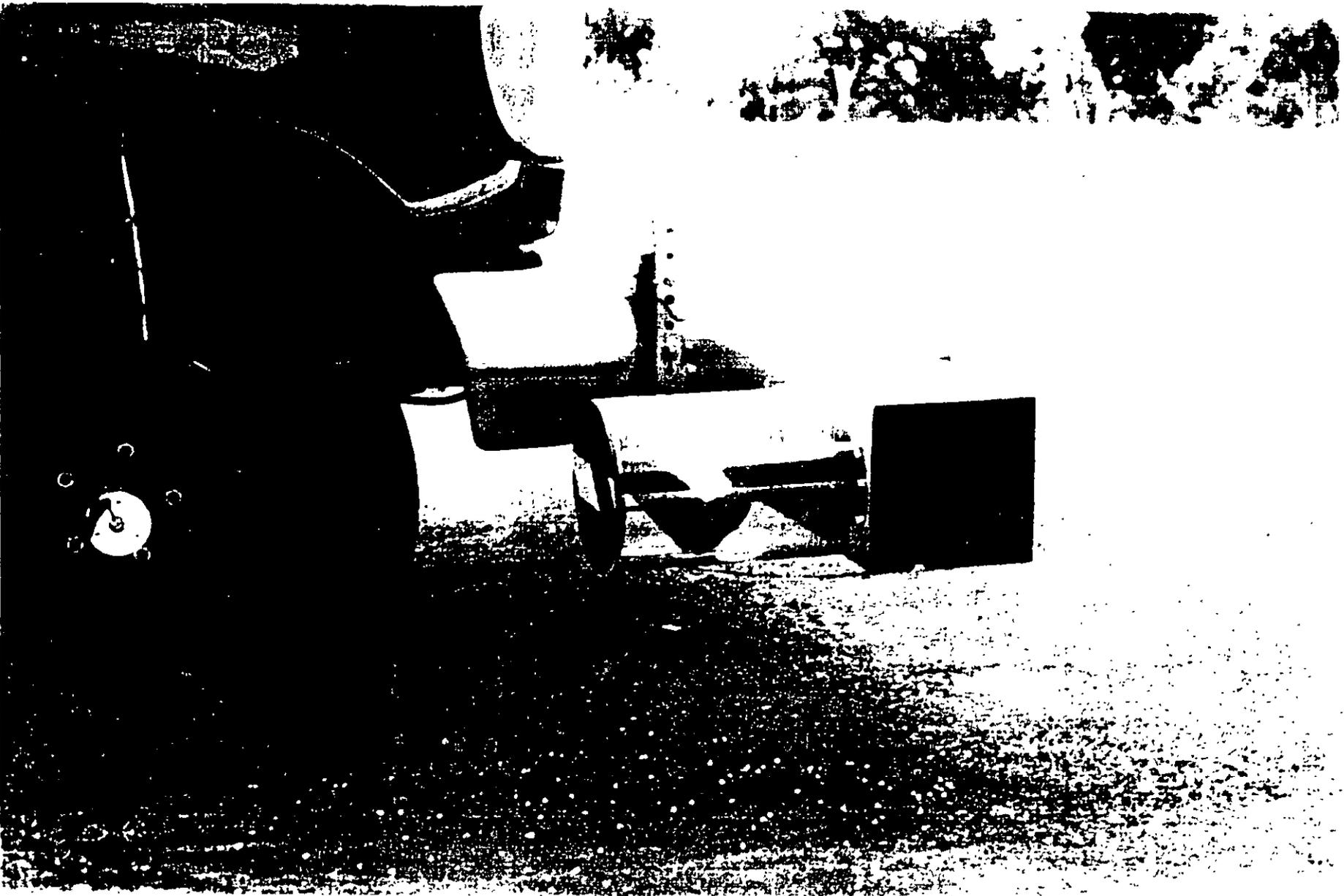
Ing. Ricardo Torres Velázquez



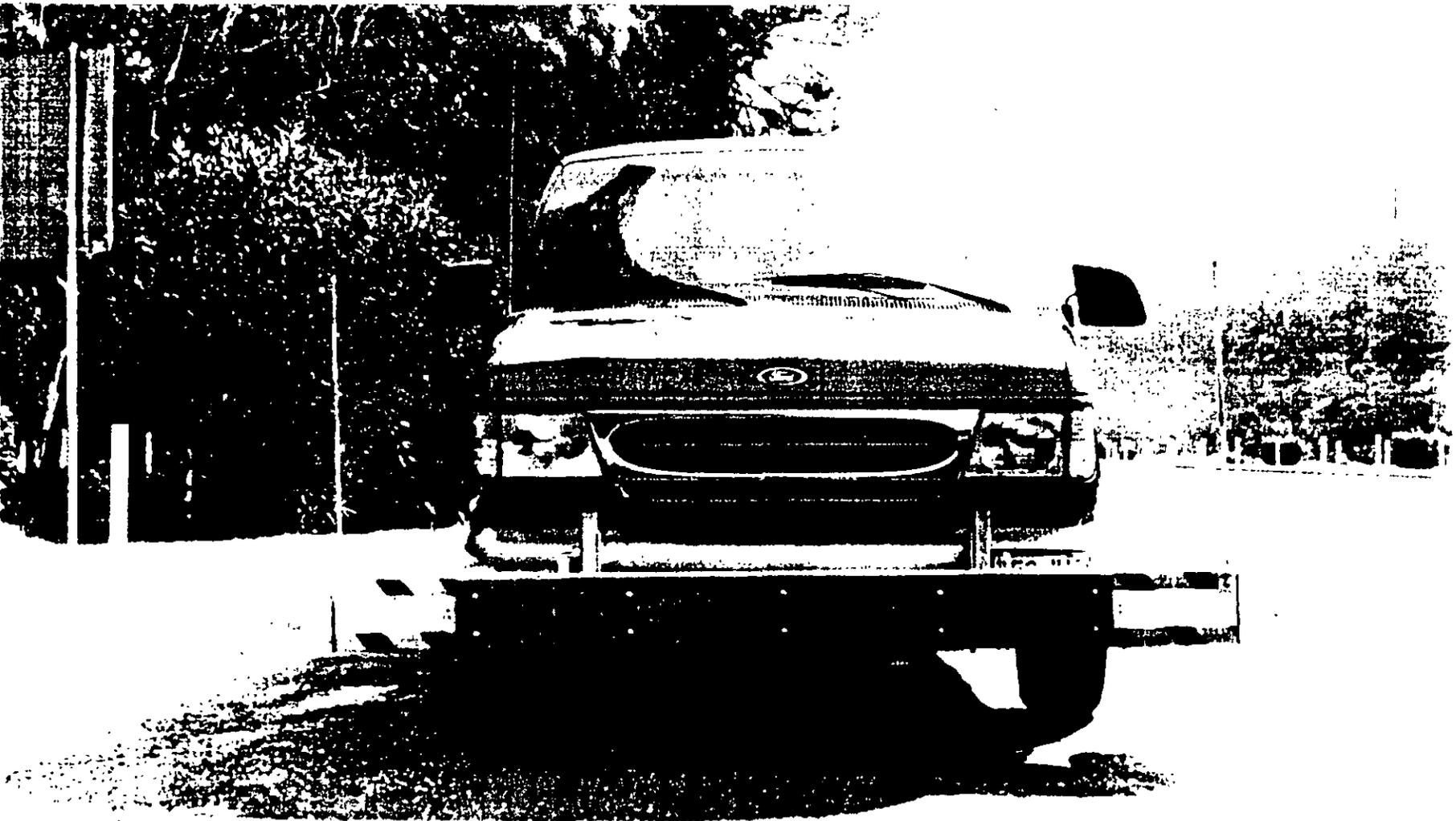
Ing. Ricardo Torres Velázquez



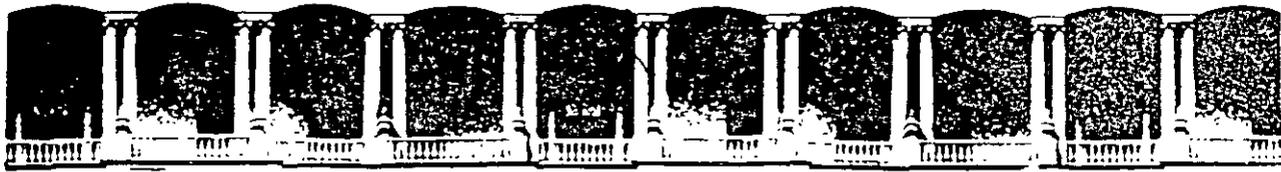
Ing. Ricardo Torres Velázquez



Ing. Ricardo Torres Velázquez



Ing. Ricardo Torres Velázquez



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“APLICACIONES DE ITS EN AUTOPISTAS”

**ING. GANDHI DURÁN HERNÁNDEZ
ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

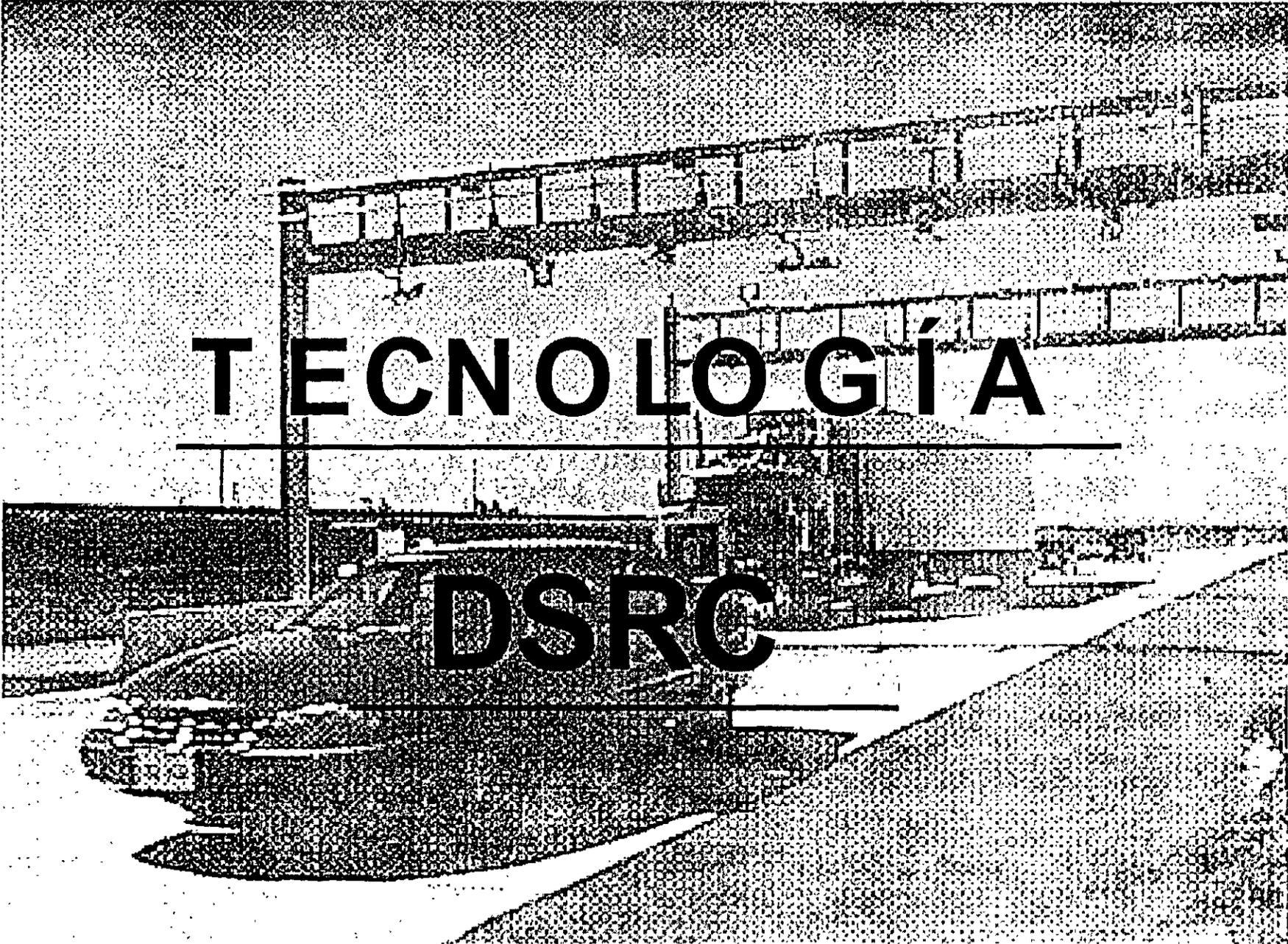
MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

APLICACIONES DE ITS EN AUTOPISTAS

ING. GANDHI DURÁN HERNÁNDEZ

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

JUNIO DE 1998



TECNOLOGÍA

DSRC

TECNOLOGIA DE IDENTIFICACIÓN ELECTRÓNICA

El Uso de un “Transponder o Tag” para identificar y rastrear al **portador** de la misma, se esta revelando como la tecnología mas promisoría y con mayor futuro dentro de las tecnologías de Sistemas de Transportes Inteligentes.

Las características más relevantes de esta tecnología son:

- La “Etiqueta Electrónica” puede ser detectada y “Leída” por los medios más diversos de detección, desde puntos locales, remotos, por contacto, por aproximación, etc. un ejemplo son los lectores de radiofrecuencia en la banda de 900 mhz de marca “Amtech”, instalados en el Sistema “IAVE” de Capufe.
- Tiene la capacidad para que la información que porta pueda ser transmitida por los medios de comunicación electrónicos actuales, como la red de Telecomunicación “Capufenet”.
- Tiene la capacidad para que la información que porta pueda ser tratada por los medios informáticos actuales para su validación, comparación, encriptación y extracción de información anexa en base de datos, todo esto en milésimas de segundo.

DSRC: Transponders y Lectores

Las comunicaciones de radio-frecuencia (RF) entre vehículos en movimiento y equipo fijo han estado disponibles desde hace 20 años. Pero los fabricantes continúan desarrollar nuevas aplicaciones para esta tecnología.

Transponders o Tags, lectores (readers) y el software asociado son los componentes de cualquier “Sistema DSRC”.

El lector algunas veces llamado “roadside beacon”, se comunica con el transponder, el cual esta montado sobre el vehículo.

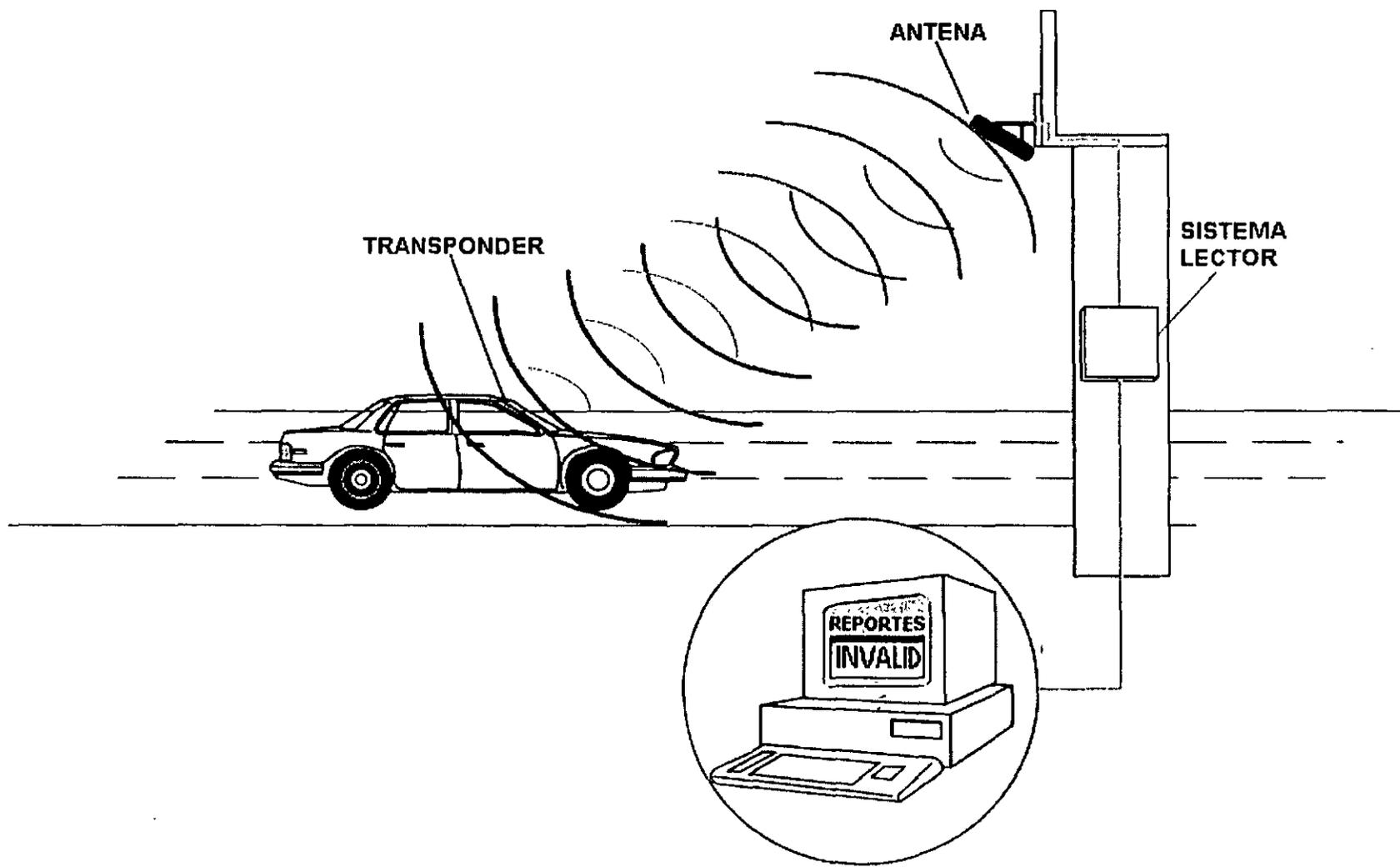


Los lectores son colocados en lugares estratégicos como plazas de cobro, puntos de chequeo de vehículos de carga, etc.

Los transponders, usualmente del tamaño de una cajetilla de cigarros, contienen información del número de cuenta del usuario, detalles del embarque, etc.

El lector es el cerebro de la operación, capturando toda la información contenida en el transponder e inmediatamente enviandola a la computadora mediante un medio de comunicación que puede ser desde un modem hasta una red de telecomunicaciones como “Capufenet”.

DESCRIPCIÓN DE FUNCIONAMIENTO TOTAL DEL SISTEMA



Existen 3 tipos de transponders actualmente:

- **Solo lectura**
- **Lectura/Escritura**
- **Lectura/Escritura con bus de intercomunicación con equipo a bordo.**

Son básicamente tarjetas inteligentes, que pueden almacenar, recibir y/o enviar información en forma inalámbrica y bidireccional desde dispositivos llamados lectores o “readers” colocados a distancias hasta de 100 metros.



TIPOS DE TRANSPONDERS

Sistemas de Solo Lectura

- Almacenan solo 64 Bits regularmente un identificador.
- Con batería o sin batería.
- Del tamaño de una cajetilla de cigarros.
- Precios desde 18 USD.



Los transponder de solo lectura son los más básicos, son como los que utiliza Capufe en su sistema IAVE. Este tipo de transponders solo tienen información básica grabada en ellos como el número de identificación de la tarjeta.

TIPOS DE TRANSPONDERS

SISTEMAS DE LECTURA / ESCRITURA

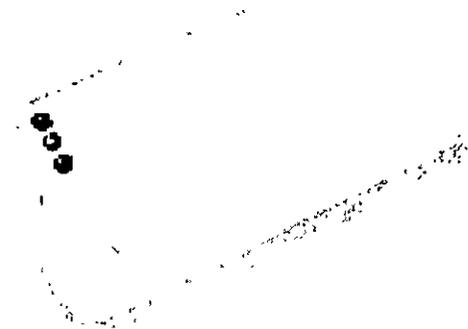
- Permite la comunicación simultánea con un número grande de vehículos sin importar su posición en los carriles de la carretera o la proximidad entre ellos.
- Con batería
- Tamaño memoria escritura 448 Bytes.
- Tamaño memoria lectura 69 Bytes



Transponder tipo II
Marca Hughes.



Transponder tipo II
Marca Nec



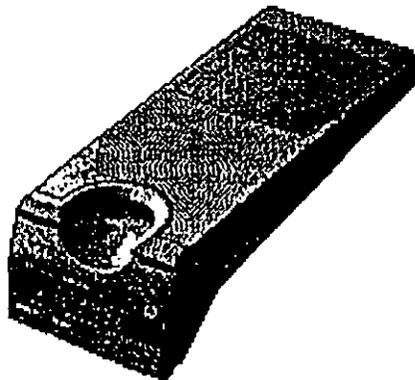
Transponder tipo II
Marca Amtech

TIPOS DE TRANSPONDERS

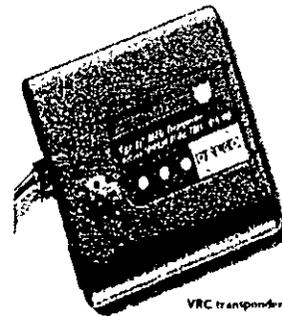
SISTEMAS DE LECTURA / ESCRITURA CON BUS

Permite la comunicación simultánea con un número grande de vehículos sin importar su posición en los carriles de la carretera o la proximidad entre ellos.

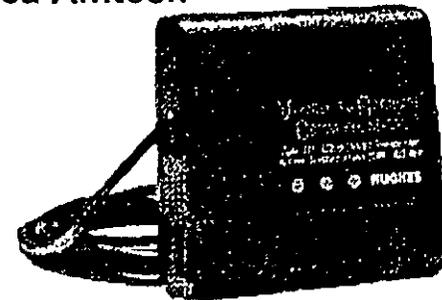
- Con batería
- Soporta Bus para interfaz RS-232
- Permite intercambio de información en ambos sentidos hasta 38.4 kbaudios.
- Memoria desde 64 Bytes creciendo en múltiplos de 64 Bytes.



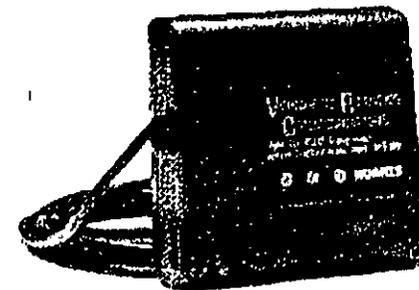
Transponder tipo III
con Unidad Abordo
Marca Nec



Transponder Tipo III
con Bus RS-232
Marca Delco



Transponder Tipo III
con Bus RS-232
Marca Hughes

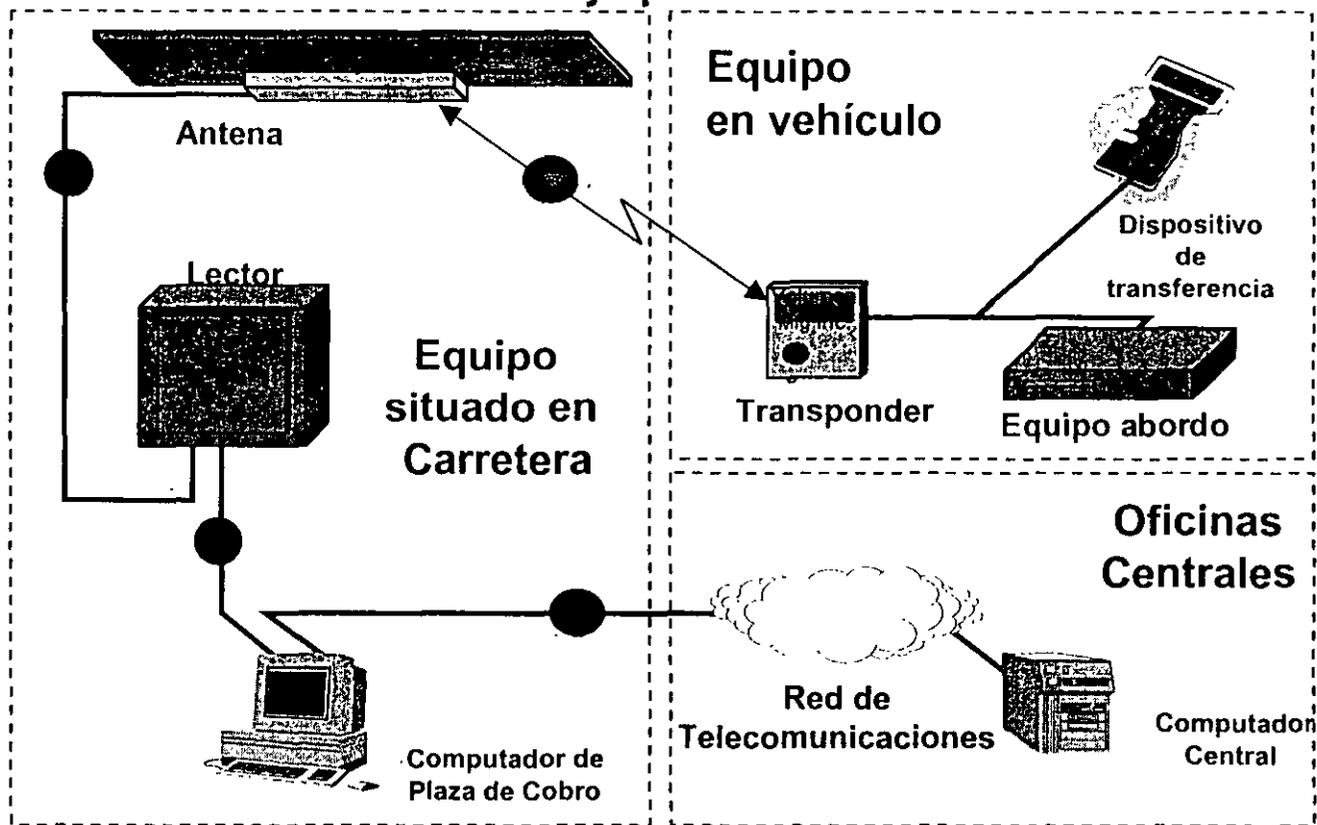


Tranponder Tipo III
con Bus J
Marca Hughes

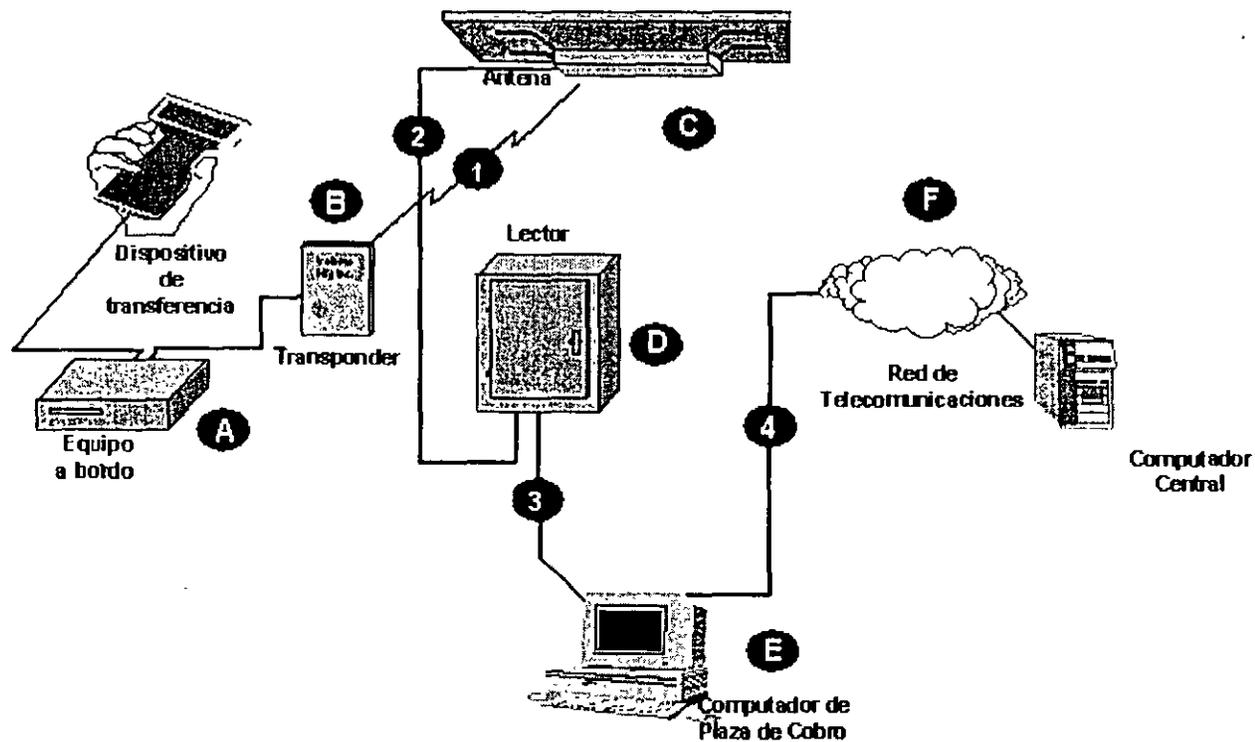


Transponder con Bus para Montaje
en Trailers, contenedores, etc.
Marca Amtech

Diagrama del sistema total de DSRC señalando los puntos donde actualmente se trabaja para la obtención de estándares



1. Comunicación Inalámbrica entre Antena de RF y Transponder
2. Comunicación entre Antena y Equipo de RF
3. Comunicación asincrónica entre Lector y Concentrador de Plaza
4. Red de Área local interconectada a Red de Área Amplia



A. Equipo de Abordo

B. Transponder

C. Antena

D. Lector

E. Concentrador de Plaza de Cobro

F. Red de Telecomunicaciones

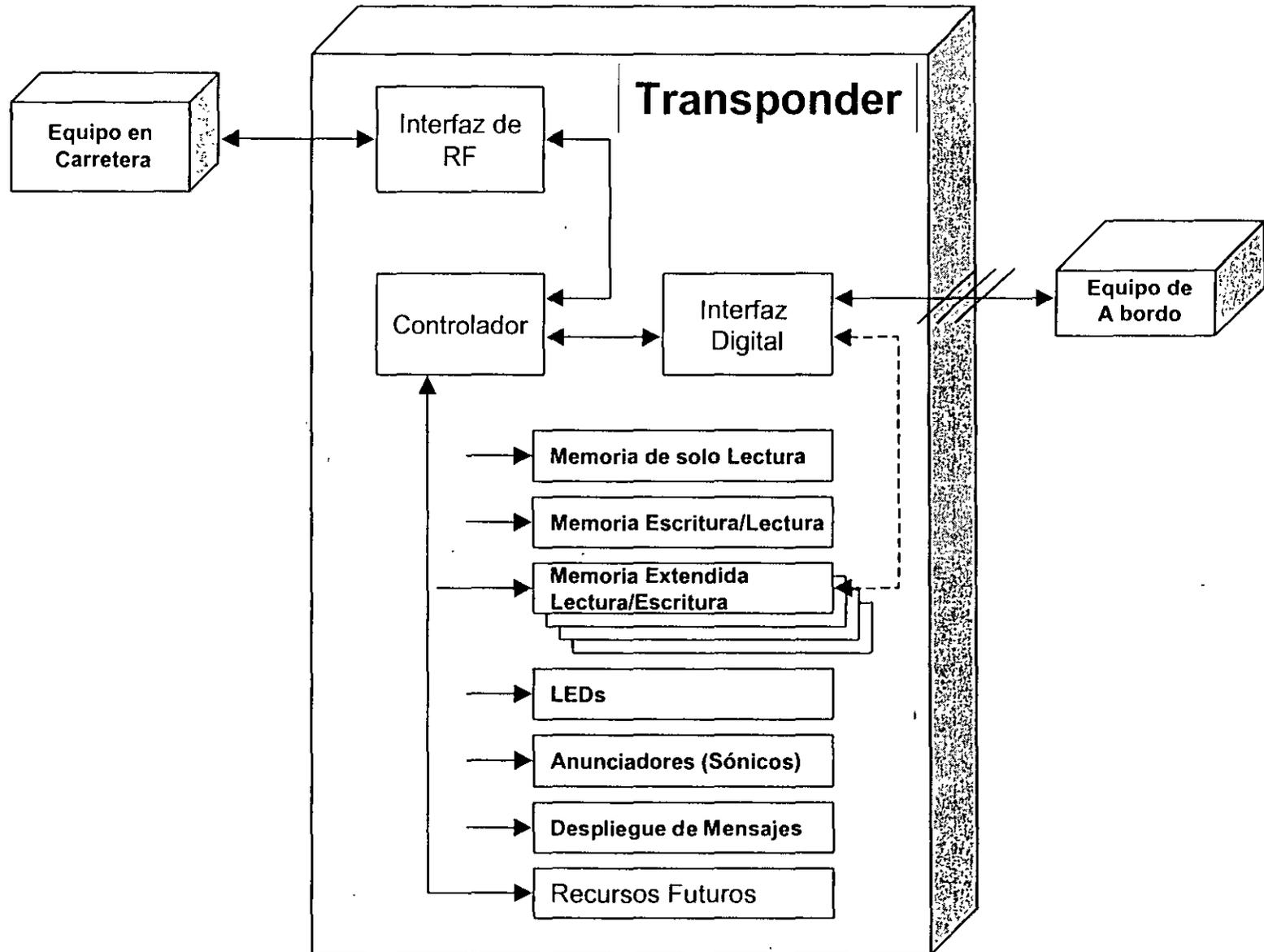
1. Comunicación Inalámbrica entre Antena de RF y Transponder

2. Comunicación entre Antena y Equipo de RF

3. Comunicación asincrónica entre Lector y Concentrador de Plaza

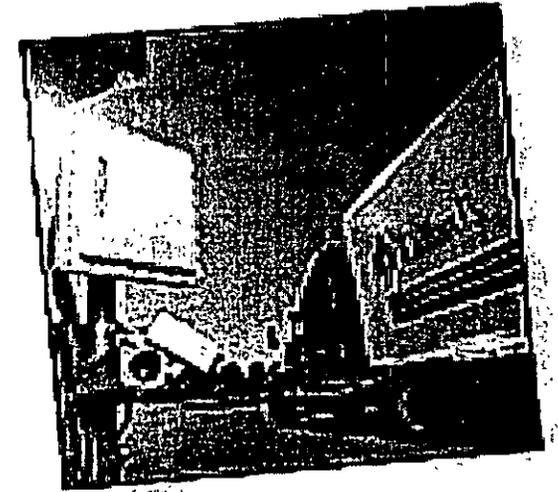
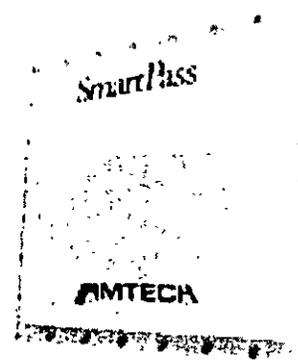
4. Red de Área local interconectada a Red de Área Amplia

DIAGRAMA DEL TRANSPONDER "ESTANDAR" EN ESTUDIO

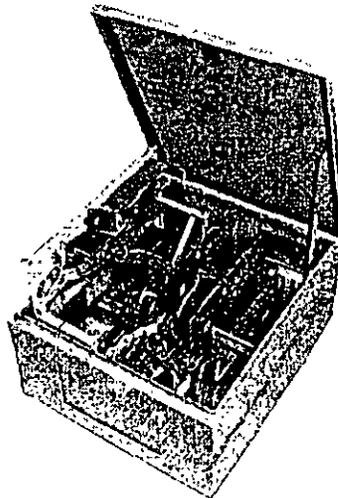


Lectores.

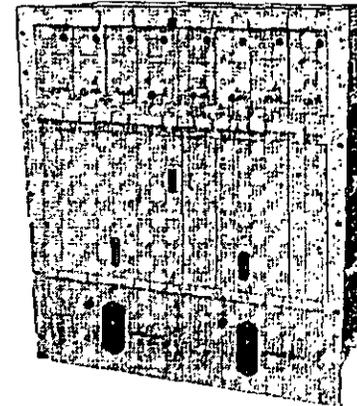
El Lector lleva a cabo la comunicación entre el transponder y la computadora anfitriona en ambos sentidos.



Lector Integrado
Incluye Antena, Modulo de Radio Frecuencia,
Decodificador y Fuente de Poder
Marca Amtech



Lector No Incluye Antena
Marca Hughes



Lector de Fusión
Marca Mark IV

Importancia de DSRC

- Desarrollo proyectos de Sistemas de Transporte Inteligente a nivel Nacional e Internacional.
- Sistemas de Administración de tráfico en carreteras y ciudades.
- Fomentar Interoperabilidad en Norteamérica.
- Crear grupos de trabajo entre usuarios y fabricantes para establecer normas y estándares.
- Que el gobierno cree iniciativas para fomentar el desarrollo tecnológico, así como de uso de normas y estándares.



Situación Actual de los Estándares DSRC.

El Desarrollo del estándar DSRC ha venido presentando problemas, tanto a niveles Nacionales como Internacionales. Actualmente existen 4 grandes grupos de estándares:

- CEN
- Japonés
- California Título 21 (Americano)
- ASTM (Americano)

Las diferencias básicas son el protocolo de comunicación y el rango de frecuencia en que trabajan. Un ejemplo claro es que en Europa y Japón los sistemas trabajan a 5.8 Mhz y en Estados Unidos trabajan en el rango de los 915 Mhz.

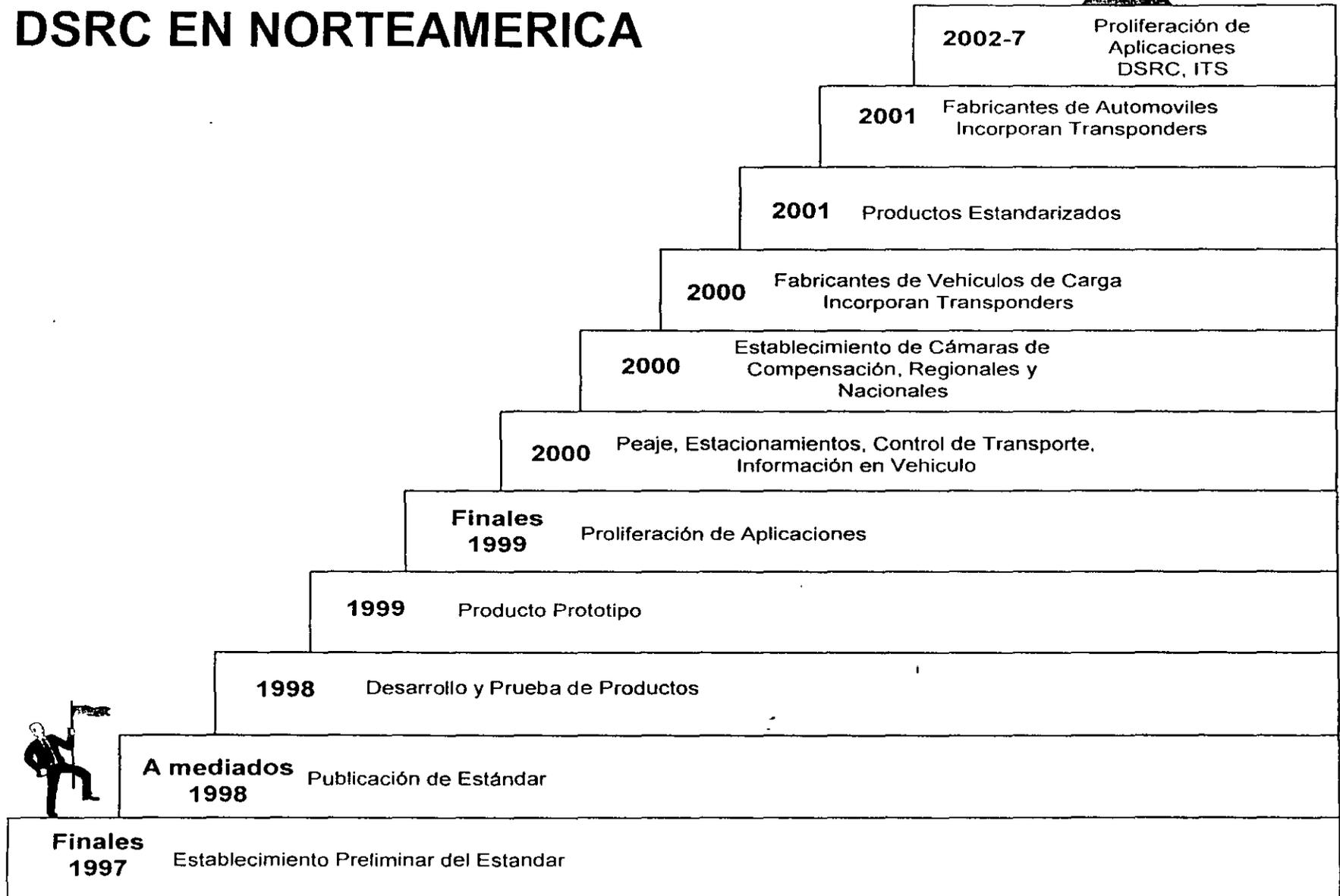


Tendencias.

- Es esencial el desarrollo de estándares Internacionales para DSRC para que exista interoperabilidad entre transponders y lectores de cada fabricante. Esto permitirá que cada nación pueda proporcionar los mismos servicios, utilizando tecnologías totalmente compatibles.
- Un consenso sobre el nuevo estándar Norteamericano (en desarrollo) marca una nueva convergencia con los estándares Japoneses y Americanos. Esto permitirá un rápido desarrollo de los servicios de ITS a nivel Mundial.
- Por lo que se observa, la importancia de promover el desarrollo de estándares Internacionales, de lo contrario el mercado de ITS se verá muy afectado, generando productos incompatibles y redundando en servicios deficientes a el usuario final, así mismo frenando el desarrollo tecnológico.



TENDENCIAS DE ESTANDARES DSRC EN NORTEAMERICA



Ventajas del DSRC.

Un sistema de transporte que permita a todo tipo de vehículo un viaje sin interrupciones, desde un país a otro, pasando por: plazas de cobro de peaje, cruce de fronteras, etc.

Aplicaciones actuales del DSRC.

- Sistema de Peaje Electrónico.
- Control de Carga (Cruce de frontera y otros sitios de inspección).
- Derecho preferente de semáforos (Vehículos de emergencia y especiales).
- Sistemas de Control de Flotillas (Acceso a instalaciones, carga de combustible, etc.).
- Rastreo de Vehículos.
- Acceso a Estacionamientos.



Otras aplicaciones en desarrollo del DSRC.

Carga de combustible.

Sistema de Administración de Tráfico.

Envío de mensajes a vehículos.

Monitoreo remoto de diversas variables de vehículos.

Otros proyectos de sistemas de transporte inteligente.



Lineamientos Básicos para el Desarrollo de la Tecnología en América del Norte (Canadá, EUA, y México).

A continuación se mencionan los lineamientos básicos que se han definido hasta el momento para establecimiento de los estándares de producción y operación de esta tecnología entre los tres países:

- 1. Adoptar estándares de DSRC, para asegurar la interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes, entre aplicaciones diversas y entre aplicaciones similares de diferentes jurisdicciones para lograr un sistema de transporte rápido y eficiente entre Norteamérica.**
- 2. Operar en el mismo rango de radiofrecuencia para los tres Países (915 Mhz y/o 5.8 ghz).**



-
3. Los esfuerzos para la definición de los estándares de (DSRC) deben de contemplar las necesidades actuales y futuras de Norteamérica, con el fin de asegurar la interoperabilidad, el desarrollo tecnológico y la utilización de múltiples de los estándares DSRC.
 4. Los estándares deberán asegurar el desarrollo tecnológico de los dispositivos, desde el más simple hasta el más sofisticado con múltiples aplicaciones. Estos últimos deberán de tener interfaz con equipo a bordo del vehículo y comunicación bidireccional con el equipo de autopista.
 5. Los estándares deberán de comprender las diferentes plataformas actuales.
 6. Toda iniciativa deberá de asegurar y estimular el uso de estos estándares.

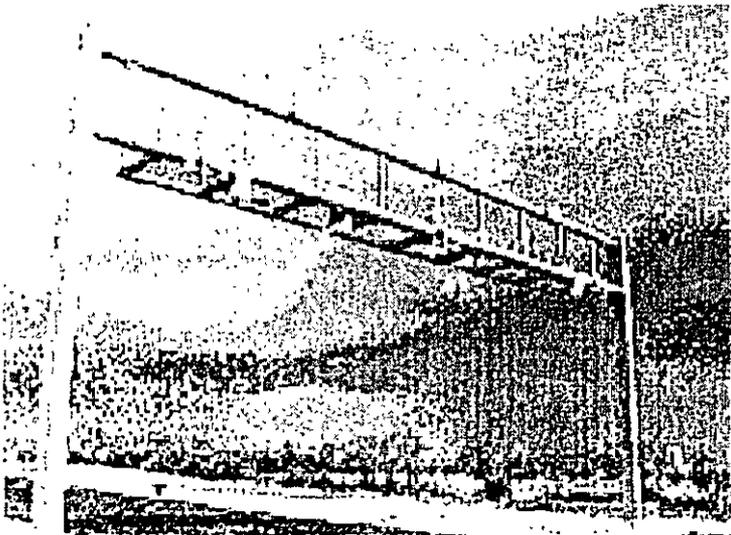


PAPEL DE LA GERENCIA DE ELECTRÓNICA APLICADA EN ESTA TECNOLOGÍA (DSRC).

- **DETERMINAR NUESTRAS NECESIDADES AL CORTO, MEDIANO Y LARGO PLAZOS PARA LA APLICACIÓN DE ESTA TECNOLOGÍA.**
- **DETERMINAR LAS TENDENCIAS TECNOLÓGICAS EN LA MATERIA, EVALUARLAS Y DARLES SEGUIMIENTO.**
- **ASISTIR A LA DIRECCIÓN DE PLANEACIÓN EN LA PARTICIPACIÓN EN LOS COMITES INTERNACIONALES SOBRE ESTANDARIZACIÓN DE ESTA TECNOLOGÍA.**
- **ANALIZAR, PROBAR E INTEGRAR EN SOLUCIONES ADECUADAS A LAS NECESIDADES DE CAPUFE, LAS PROPUESTAS TECNOLÓGICAS OFRECIDAS POR PROVEEDORES.**
- **BUSCAR TANTO PROVEEDORES COMO TECNOLOGÍAS QUE PUEDAN SER ADECUADOS A NUESTROS REQUERIMIENTOS Y PROPUESTAS PARA SER INTEGRADAS A NUESTROS SISTEMAS Y DENTRO DE NUESTROS PLANES DE DESARROLLO.**



APLICACIONES DE TECNOLOGÍA DSRC



ADQUISICIÓN DE DATOS PARA TRÁFICO

Centros de administración de tráfico (CAT) pueden monitorear parámetros de flujo vehicular, tales como densidad y velocidad, instalando lectores a lo largo de la ruta o autopista, en todas las entradas y salidas. Cada transponder al pasar por un Lector es identificado, y así grabado un registro que contiene:

- Identificador del transponder
- Localización del lector
- Hora y día de paso

Esta información es entonces usada para calcular la densidad de tráfico y el tiempo de viaje.



INFORMACIÓN DE TRÁFICO AL USUARIO

Al ser procesados los datos adquiridos de tráfico, por computadores, esto permite hacer una retroalimentación al usuario, dado que el sistema DSRC permite enviar información (mensajes) a los usuarios, mediante la conexión del transponder con equipo a bordo dotado de un display.

De esta forma se puede avisar al usuario de densidad de tráfico y así programar sus actividades para evitar congestionamientos.



ESCAPE A COLISIONES EN INTERSECCIONES

Es un sistema que rastrea la posición y velocidad de vehículos dentro de una área definida alrededor de una intersección y alerta a los vehículos cuando se encuentran en una trayectoria de colisión.

Sensores situados en la intersección rastrean los vehículos, entonces procesadores con algoritmos asociados computan la trayectoria, y entonces un sistema DSRC se comunica con el vehículo.

Esta aplicación proporciona información necesaria a los conductores para tomar una acción evasiva para evitar colisiones.



SEÑALAMIENTO EN VEHÍCULO

Se refiere al despliegue de información mediante mensajes visuales y audibles dentro del vehículo, de la misma información que despliegan “*señalamientos electrónicos de mensajes*”, ubicados a lo largo de la autopista.

Mediante el montaje de lectores DSRC en los pórticos o torres que soportan los señalamientos electrónicos de mensajes, los cuales enviarán información a los transponders ubicados en los vehículos. Se espera que esta aplicación incluya una amplia variedad de mensajes, como advertencias e información común dada a usuarios.



DERECHO DE PASO A VEHÍCULOS DE EMERGENCIA

Esta aplicación se refiere a la implementación de lectores DSRC montados en intersecciones, los cuales se comunican con los transponders montados en vehículos de emergencia que se aproximan.

Si el lector identifica información de situación de emergencia del vehículo que se aproxima, este envía información al equipo controlador de tráfico para que permita el paso del vehículo.

Un ejemplo es una ambulancia que se aproxima a una intersección, por lo que el sistema envía datos para que el semáforo cambie a luz verde.



PERMISO ELECTRÓNICO PARA PROSEGUIR

Esta aplicación es usada con equipo de pesaje en movimiento en autopistas y lectores DSRC montados al lado del camino con sensores de pesaje.

El objetivo es identificar y determinar si el peso de la carga es el correcto. Esta tecnología permite a las agencias adquirir y analizar los datos para que fácil y rápidamente se transfieran los datos en forma bidireccional hacia el vehículo en movimiento a través de la zona de chequeo.

También señalamiento en vehículo puede ser usado para avisar al conductor de como proceder, esto es, proseguir con su viaje o detenerse en la zona de inspección para inspección.



CRUCE DE FRONTERAS

El “*permiso para proseguir*” en fronteras internacionales, es el proceso de transferir datos electrónicamente entre vehículos comerciales y zonas de chequeo en la frontera, de tal forma que el vehículo pueda pasar la zona de chequeo con mínimo o ningún retraso.

El vehículo es usualmente pre-revisado en muelles o plataformas de carga, donde el contenedor es sellado con transponders tipo “*candado*” y un código de permiso para proseguir “*clearance code*” es almacenado en el transponder del vehículo.

La información que contiene los transponders es verificada en las zonas de chequeo por lectores DSRC.



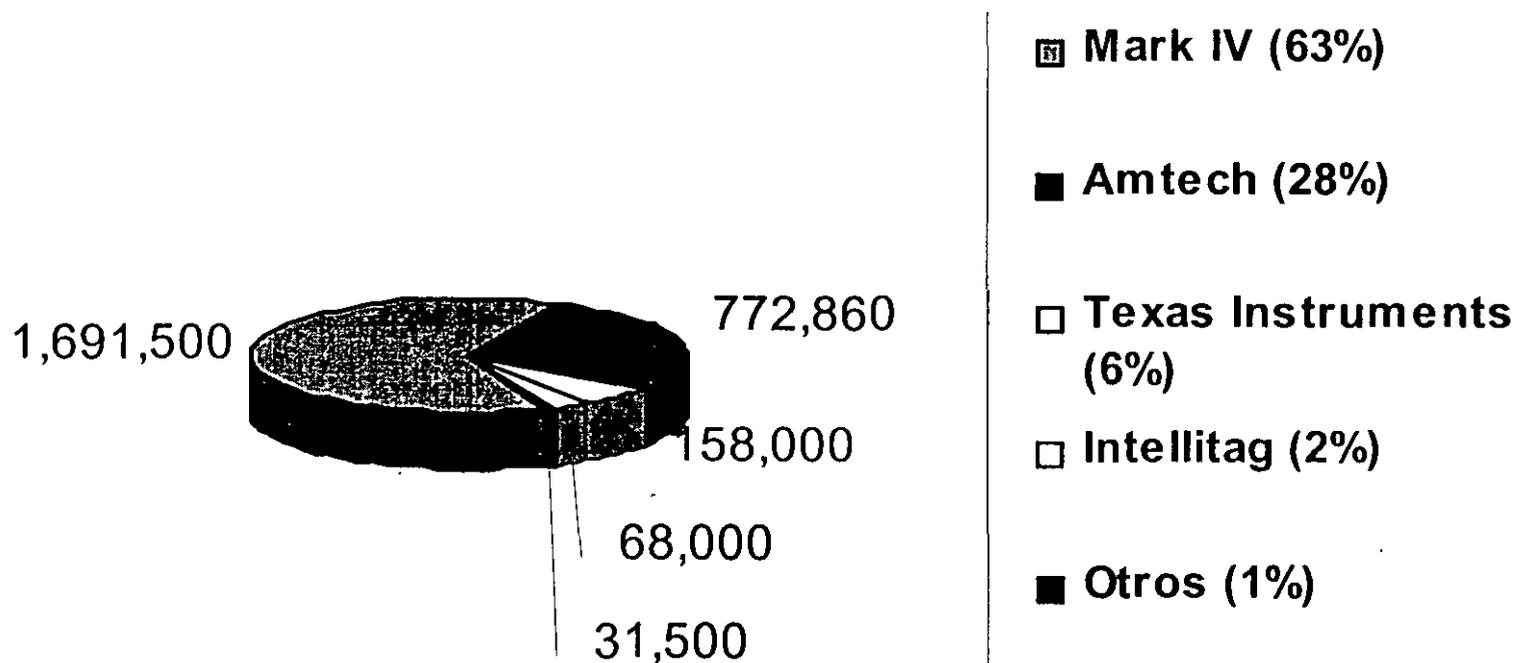
ADMINISTRACIÓN DE FLOTILLAS

Un Sistema de Administración de Flotillas DSRC permite a los transportistas de carga o pasajeros interconectarse a la Red Nacional de Sistemas DSRC para recibir y enviar datos a sus vehículos para para optimizar la logística de este tipo de empresas.

Permitiéndole conocer donde se encuentran sus vehículos, su ruta de viaje, consumo de gasolina, si la mercancía transportada esta segura y en buenas condiciones, etc.

Los lectores DSRC pueden ser colocados en terminales, almacenes, depósitos, paraderos, estaciones de combustible, etc.

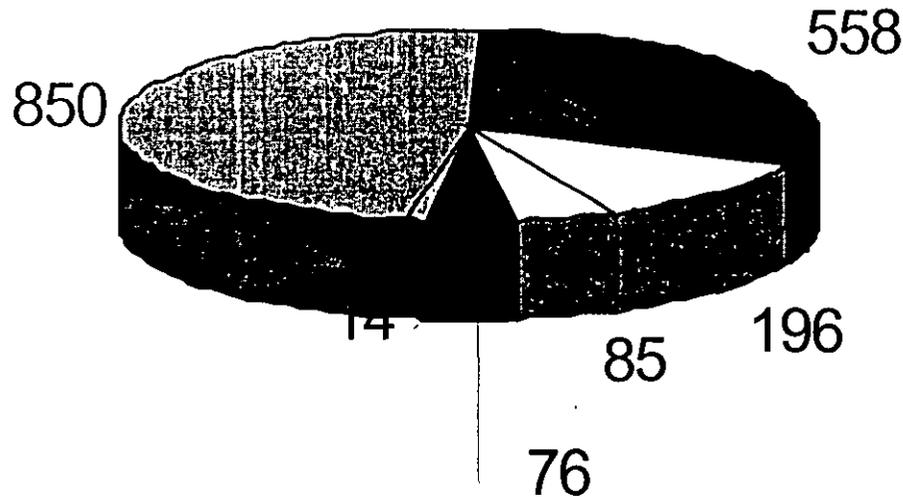
Transponders en Circulación en USA (Por Fabricante) en 1997



• **Total de Transponders de 2,721,860**

• **Otros: incluye AT/Comm con 23,000 y X-Cyte con 8,500**

Líneas Instaladas en USA (Por Fabricante) hasta 1997



- Mark IV (48%)
- Amtech (31%)
- AT/Comm (11%)
- Intellitag (5%)
- Texas Instruments (5%)
- X-Cyte (<1%)

• Total de Carriles de 1,779



CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL NUEVO SISTEMA DE PEAJE



SISTEMA DE PEAJE ABIERTO CON POSIBILIDAD DE EVOLUCIONAR HACIA SISTEMA CERRADO



POSIBILITAR LA OPERACIÓN POR TRAMO CARRETERO



PRIVILEGIAR LA UTILIZACIÓN DEL DINERO VIRTUAL



RENOVACIÓN INTEGRAL DEL SISTEMA DE PEAJE



APLICACIÓN RIGUROSA DE NORMAS EXHAUSTIVAS Y COHERENTES



ORGANIZACIÓN DE LA INFORMÁTICA

- LOS NIVELES : CARRIL, CASETA, TRAMO, SEDE CENTRAL

- LOS DATOS DE PEAJE :
 - ORIGEN ÚNICO

 - TRANSMISIÓN CONFIABLE

- ESTANDARIZACIÓN :
 - DE LOS PROCEDIMIENTOS

 - DE LOS EQUIPOS

 - DEL CABLEADO



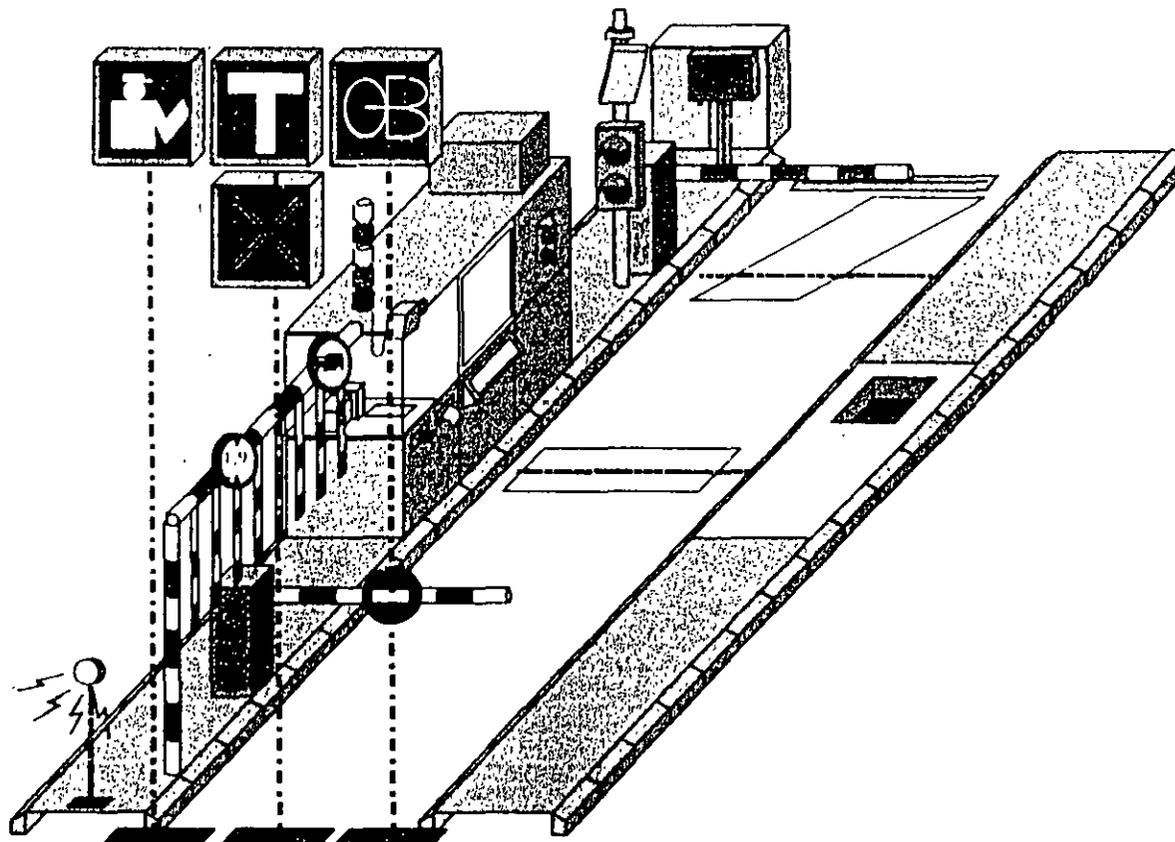
TIPOLOGIA DEL EQUIPAMIENTO DE CARRILES

- CARRIL CON CABINA Y TELEPEAJE (FIGURA 1)
- CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL / TELEPEAJE (FIGURAS 2 Y 3)
- CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL, VP Y TELEPEAJE (FIGURAS 4 Y 5)
- CARRIL CON MÓDULO AUTOMÁTICO PARA VL Y TELEPEAJE (FIGURA 6)
- CARRIL CON MÓDULO AUTOMÁTICO PARA VL, VP Y TELEPEAJE (FIGURA 7)

ESTE EQUIPAMIENTO PERMITE DIFERENTES MODOS DE OPERACIÓN PARA UN MISMO TIPO DE CARRIL

CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL Y TELEPEAJE

(Figura 2)



Con cajero receptor.

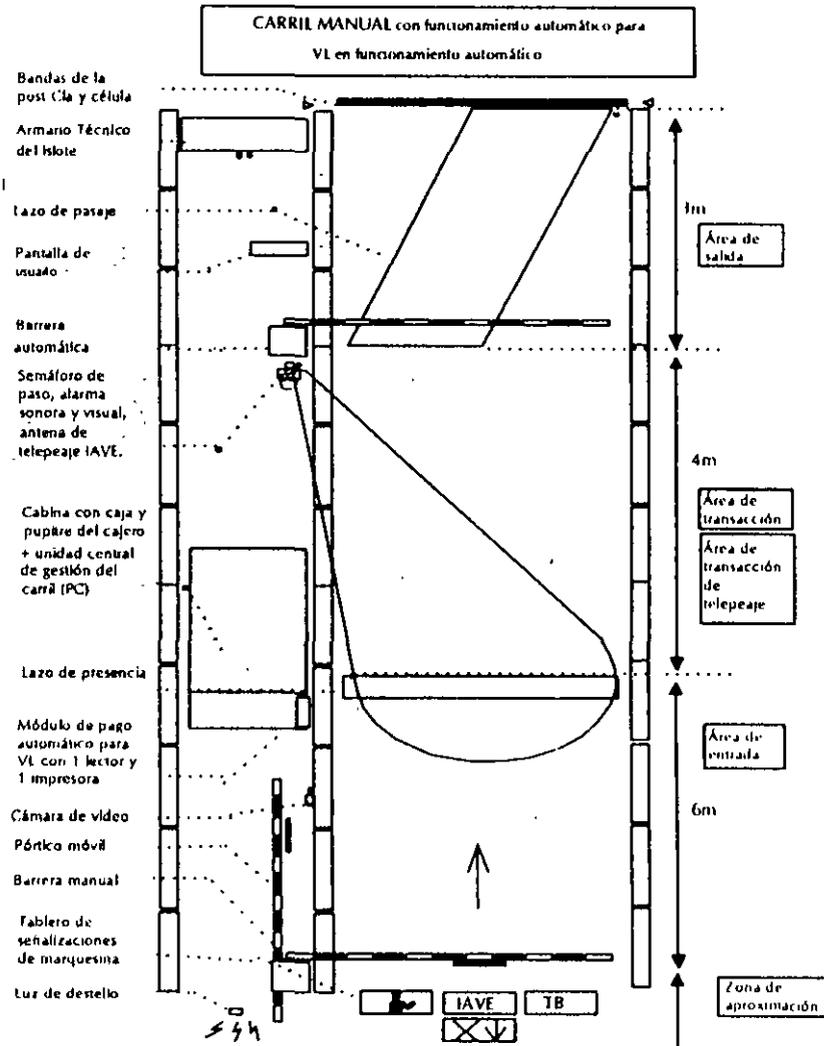
Acepta todas las categorías de vehículos (pórtico limitador de altura).

Acepta todos los modos de pago :

- Efectivo, Dólar, Fichas,
- Tarjetas magnéticas bancarias, privadas, de abonados "CAPUFE"
- Telepeaje

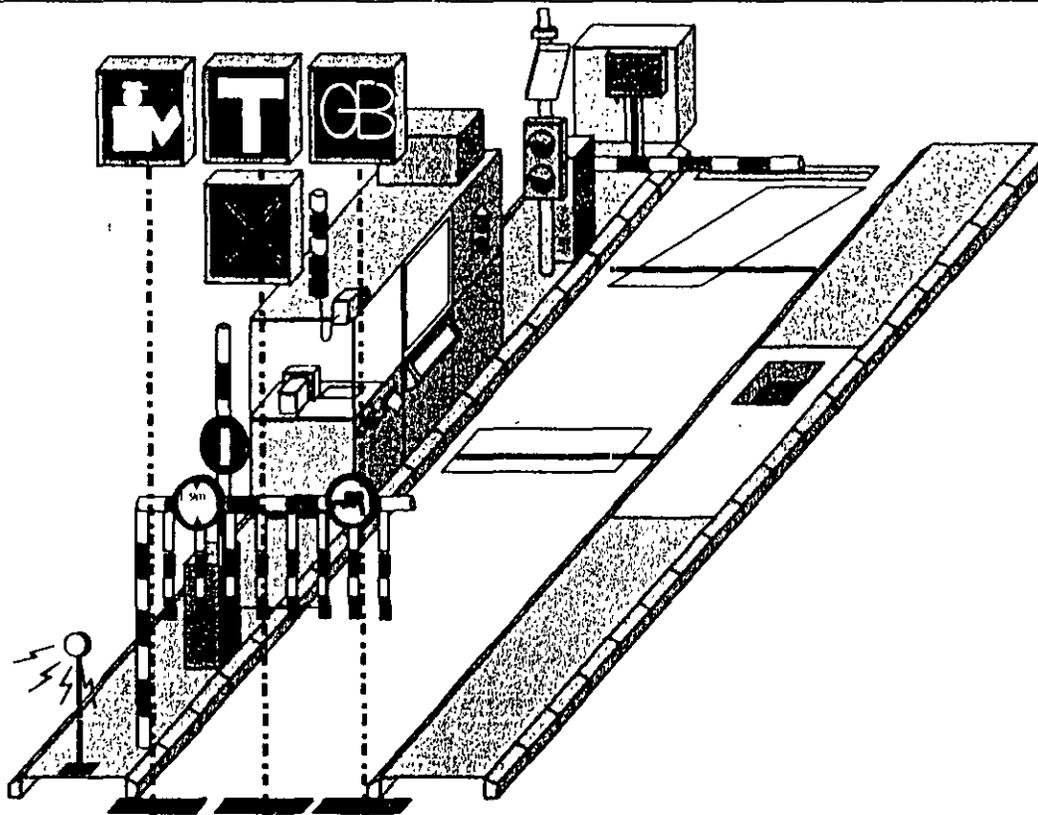
CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL Y TELEPEAJE

(Continuación Figura2)



CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL

(Figura 3)



Sin cajero receptor.

Acepta únicamente VL (menos de 1.90m) gracias a un pórtico limitador de altura.

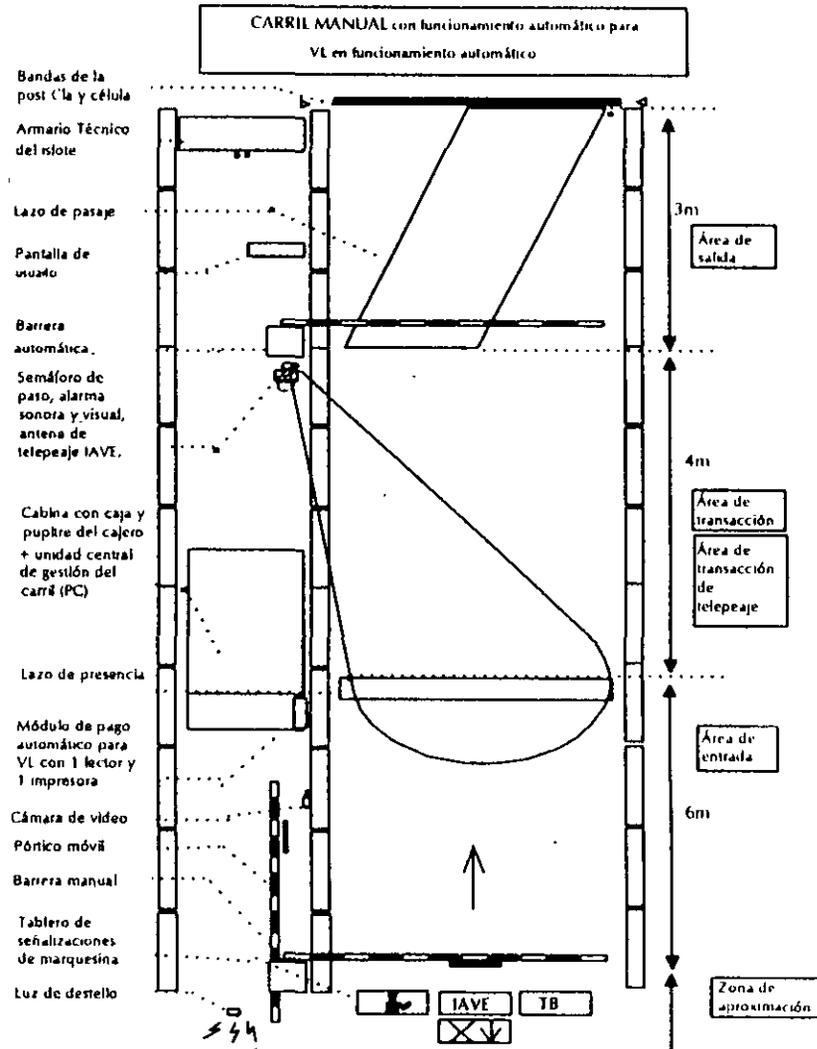
Acepta solamente los modos de pago :

- Efectivo, Dólar, Fichas
- Tarjetas magnéticas bancarias, privadas, de abonados "CAPUFE"
- Telepeaje



CARRIL CON CABINA Y MÓDULO AUTOMÁTICO INTEGRADO PARA VL

(Continuación Figura 3)





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“PANORAMA GENERAL DE ITS (INTELLIGENT
TRANSPORTATION SYSTEM)”**

**ING. GANDHI DURÁN HERNANDEZ
ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIVISION DE EDUCACIÓN CONTINUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

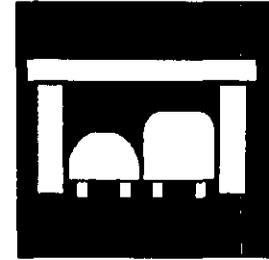
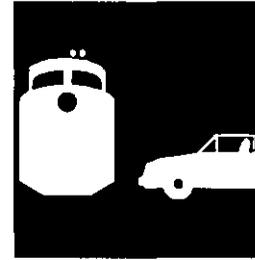
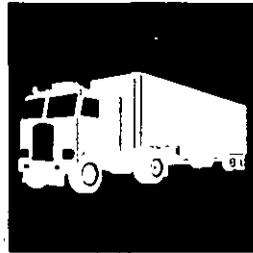
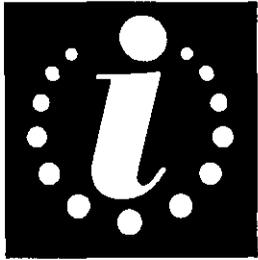
MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

**PANORAMA GENERAL DE ITS (INTELIGENT
TRANSPORTATION SYSTEM)**

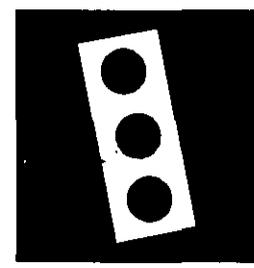
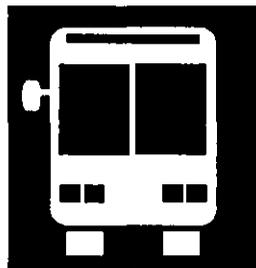
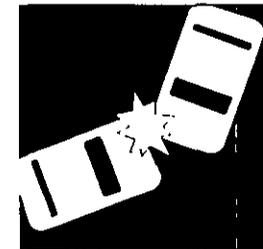
ING. GANDHI DURÁN HERNÁNDEZ

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

JUNIO DE 1998



INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS AWARENESS SEMINAR



Today's Learning Objectives

- Definition of ITS
- ITS successes
- Critical role of DOT staff in bringing stakeholders together
- ITS components and integrated systems
- Uniqueness of ITS
- Existing forums for regional cooperation
- Participation in planning for funding

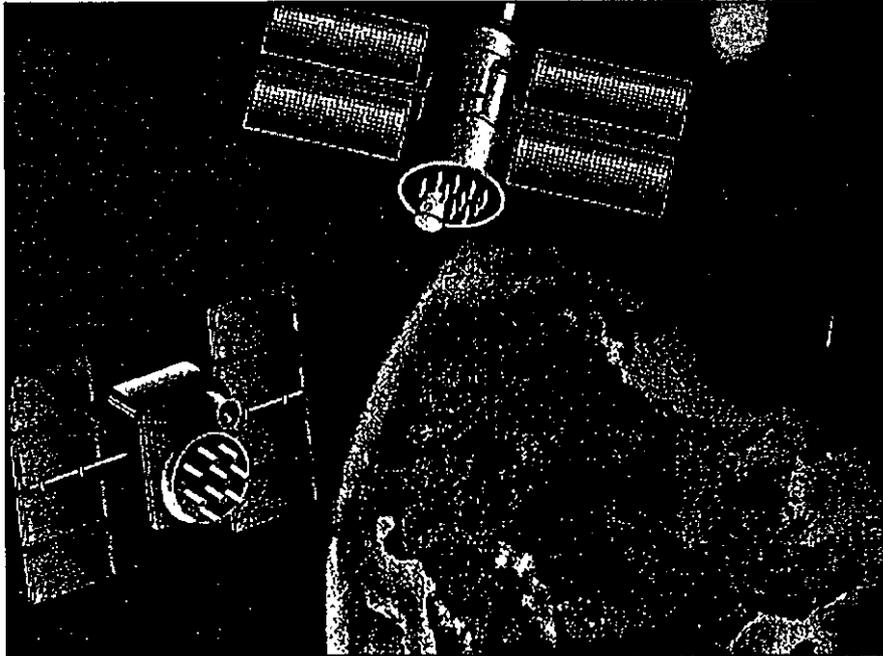


What are Intelligent Transportation Systems (ITS) ?

- The application of advanced sensor, computer, electronics, and communications **technologies** and management **strategies** – in an **integrated** manner – providing traveler **information** - to increase the safety and efficiency of the surface transportation system.



ITS is...



...Global
Positioning
Systems



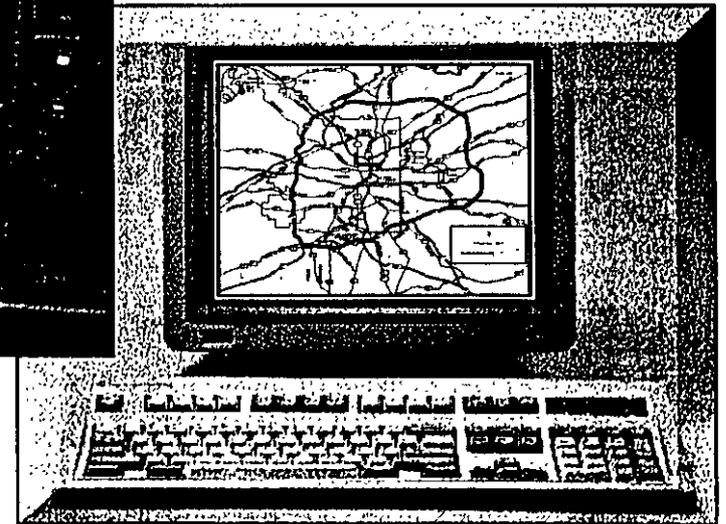
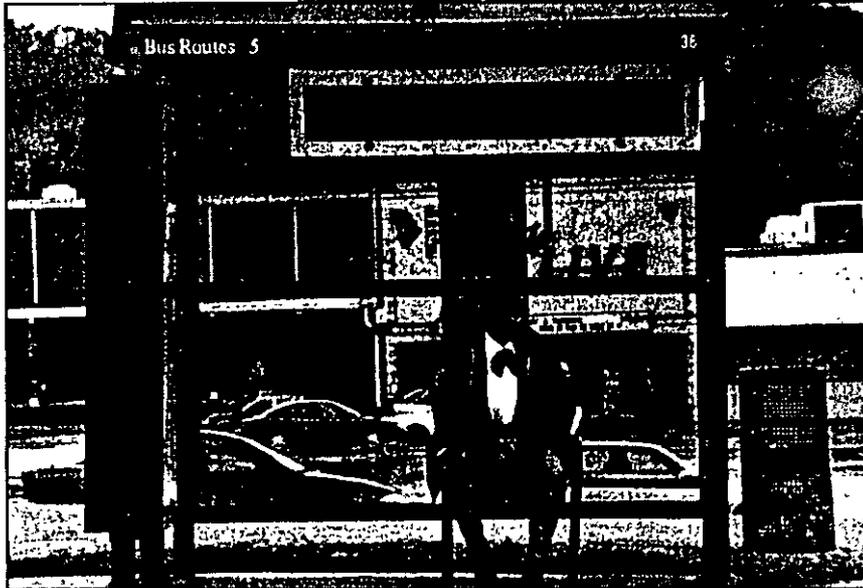
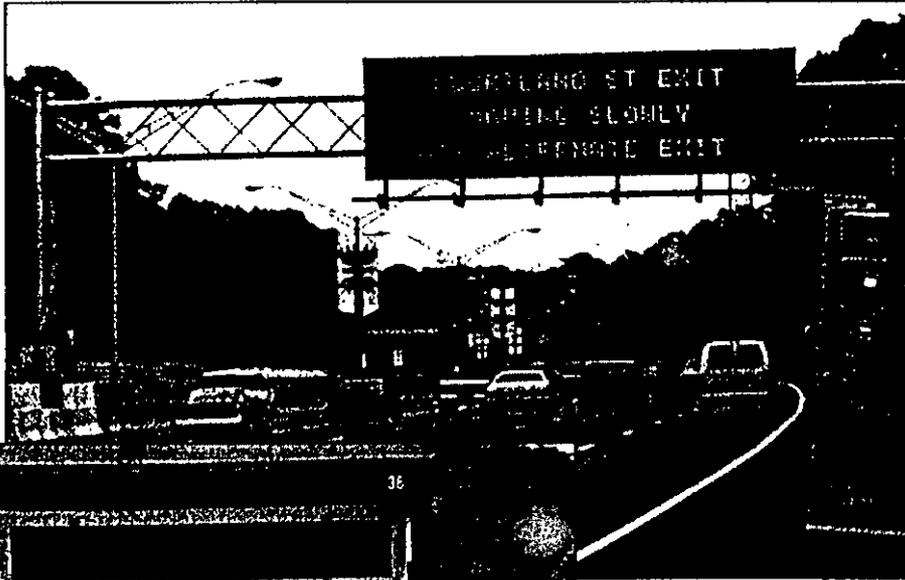
ITS is...



- Weather Information Systems
- Commercial Vehicle Electronic Clearance



ITS is...



...Real-Time Traveler Information



ITS is...



...Traffic and Transit Management



ITS is...



...Traffic Signal Systems



Our Goals Are Not New

- What we have been doing:
 - Traffic Engineering
 - Transportation Systems Management (TSM)
 - Travel Demand Management (TDM)
 - Commercial Vehicle Operations (CVO)
 - Transit Management

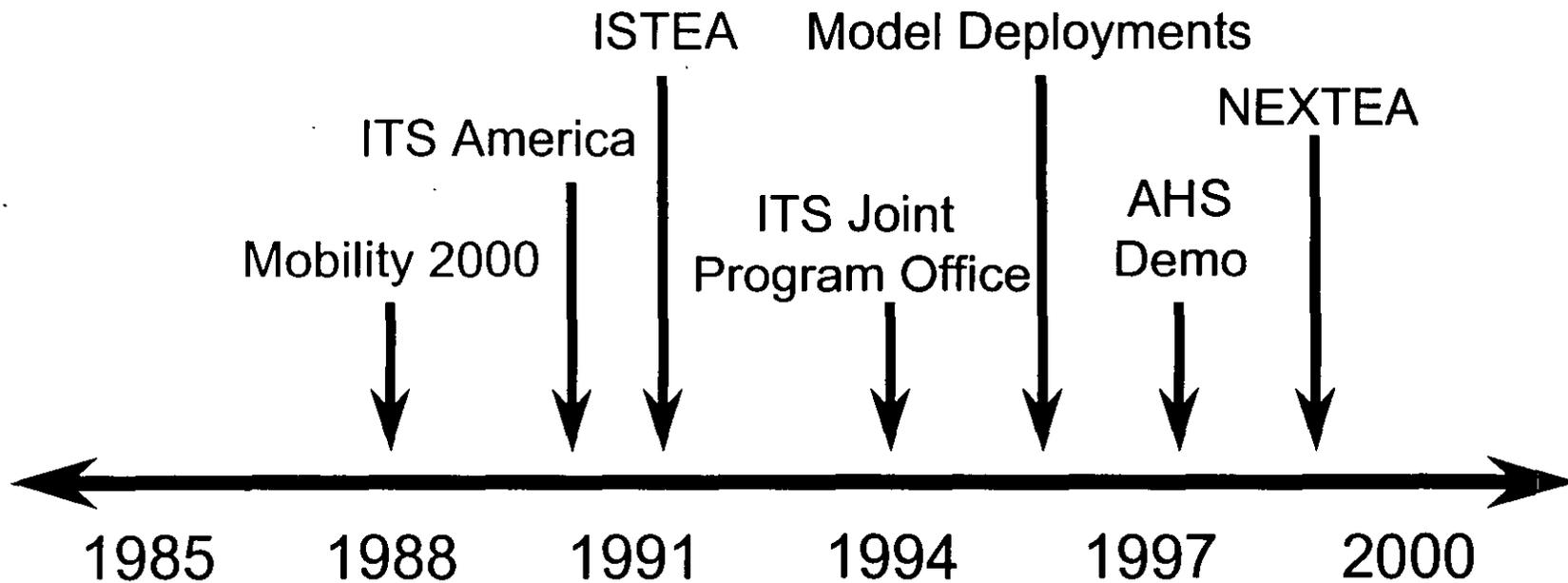


What is New?

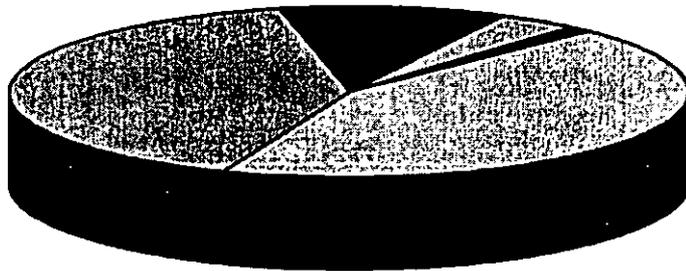
- What we are doing now:
 - Improving productivity through advanced technology and management techniques
 - Operating existing programs more efficiently
 - Integrating systems
 - Providing travel information



Timeline of the ITS Program



Projected ITS Infrastructure Benefits (1996-2015)



- Accident Cost Savings (44%)
- Time Savings (41%)
- Emissions/Fuel (6%)
- Operating Cost Savings (5%)
- Agency Cost Savings (4%)
- Other (< 1%)

Source : Apogee Report on Global ITS Benefits



What's it Worth?

Identified Benefits

- Time Savings
- Improved Throughput
- Reduced Crashes and Fatalities
- Cost Avoidance
- Increased Customer Satisfaction
- Energy and Environmental Benefits

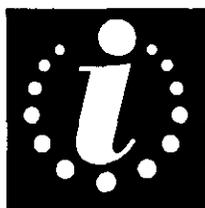


Major ITS Areas

- Multimodal Travel Management and Traveler Information
- Commercial Vehicle Operations
- Advanced Vehicle Control and Safety Systems



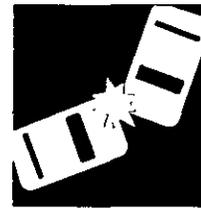
Multimodal Travel Management and Traveler Information



Multimodal
Regional
Traveler
Information



Transit
Management



Incident
Management



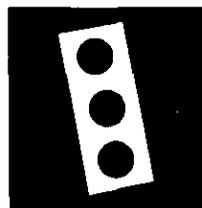
Freeway
Management



Electronic
Toll
Collection



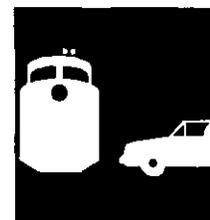
Emergency
Management



Traffic Signal
Control

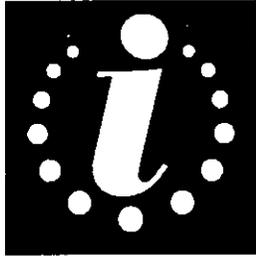


Electronic
Fare
Payment

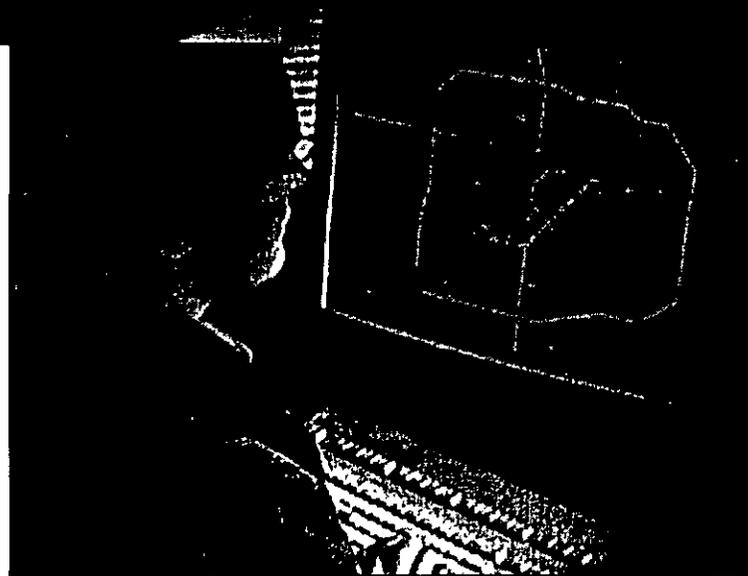


Highway Rail
Intersection
Safety



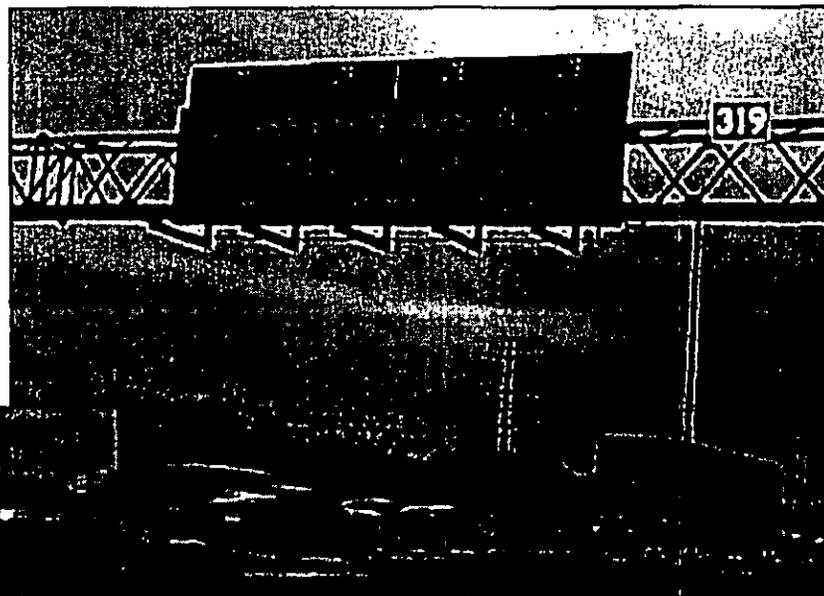


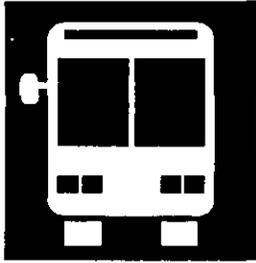
Multimodal Regional Traveler Information



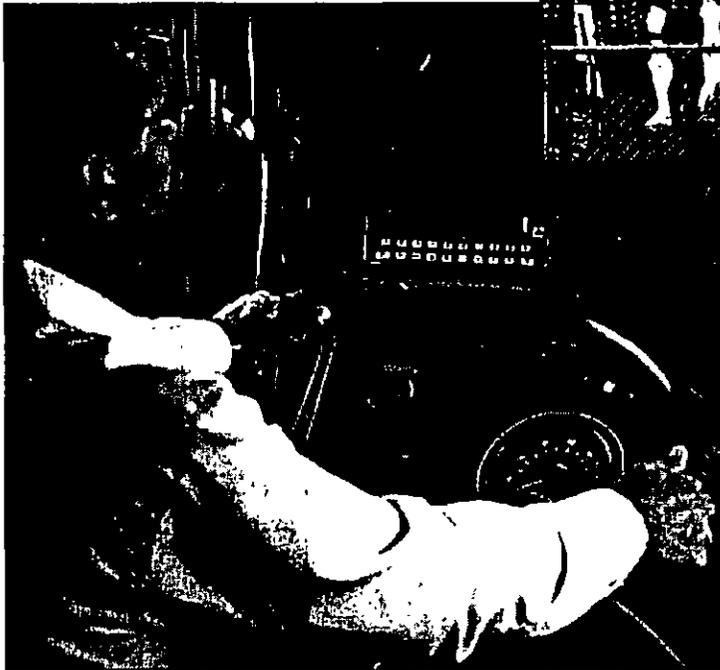


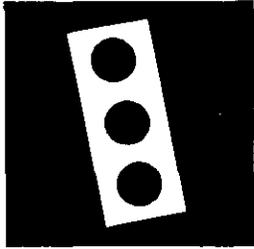
Freeway Management





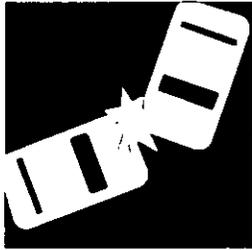
Transit Management



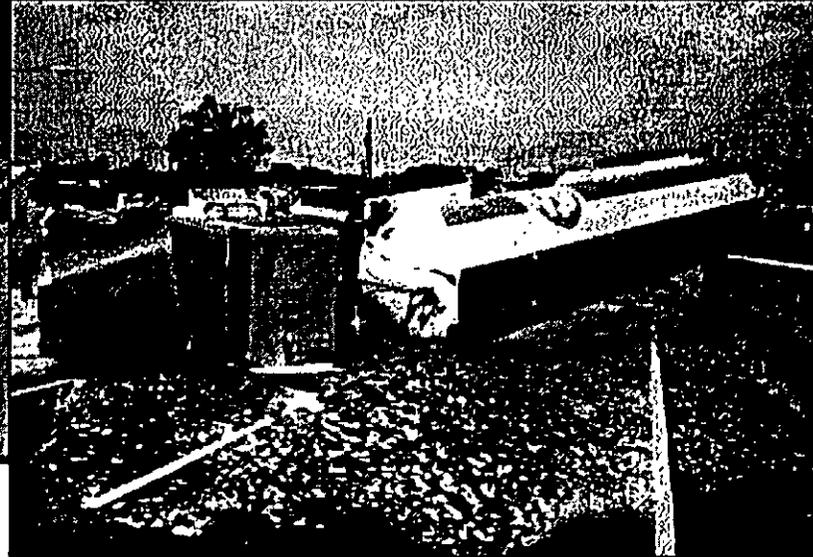


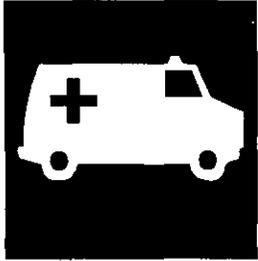
Traffic Signal Control



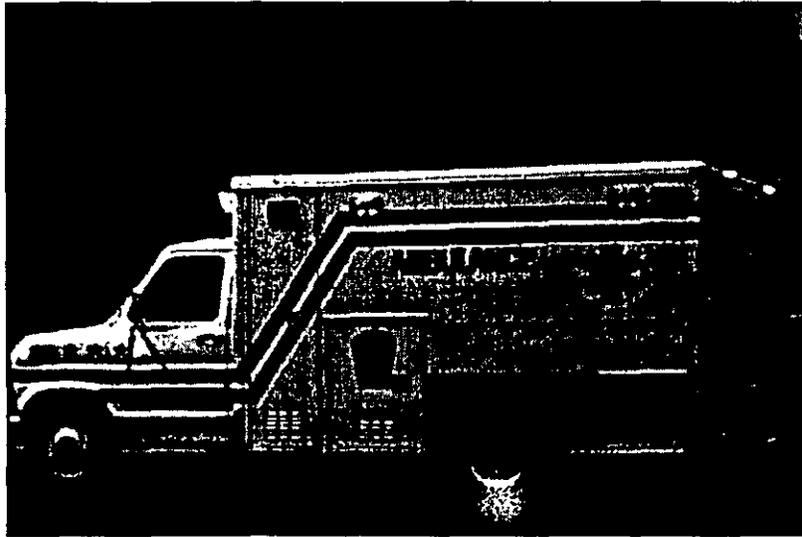


Incident Management



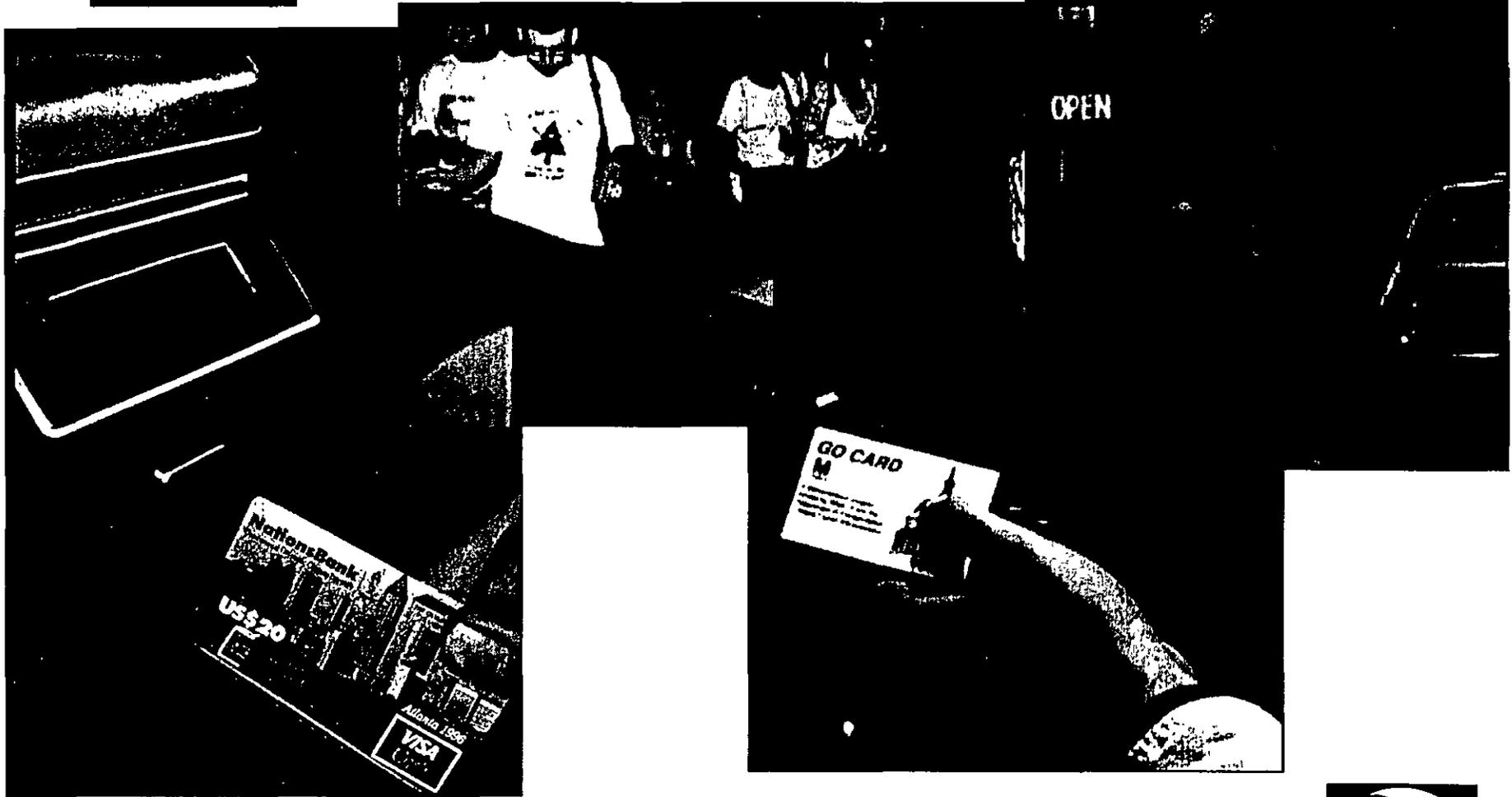


Emergency Management



**SMART
CARD**

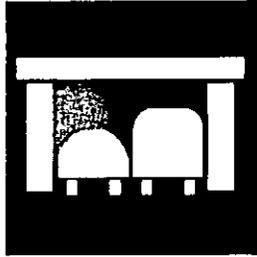
Electronic Fare Payment



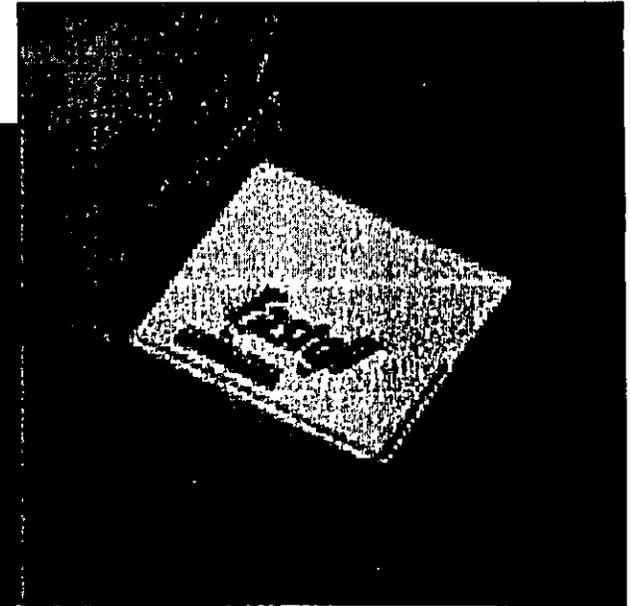


Highway Rail Intersection Safety





Electronic Toll Collection



ITS in Transit

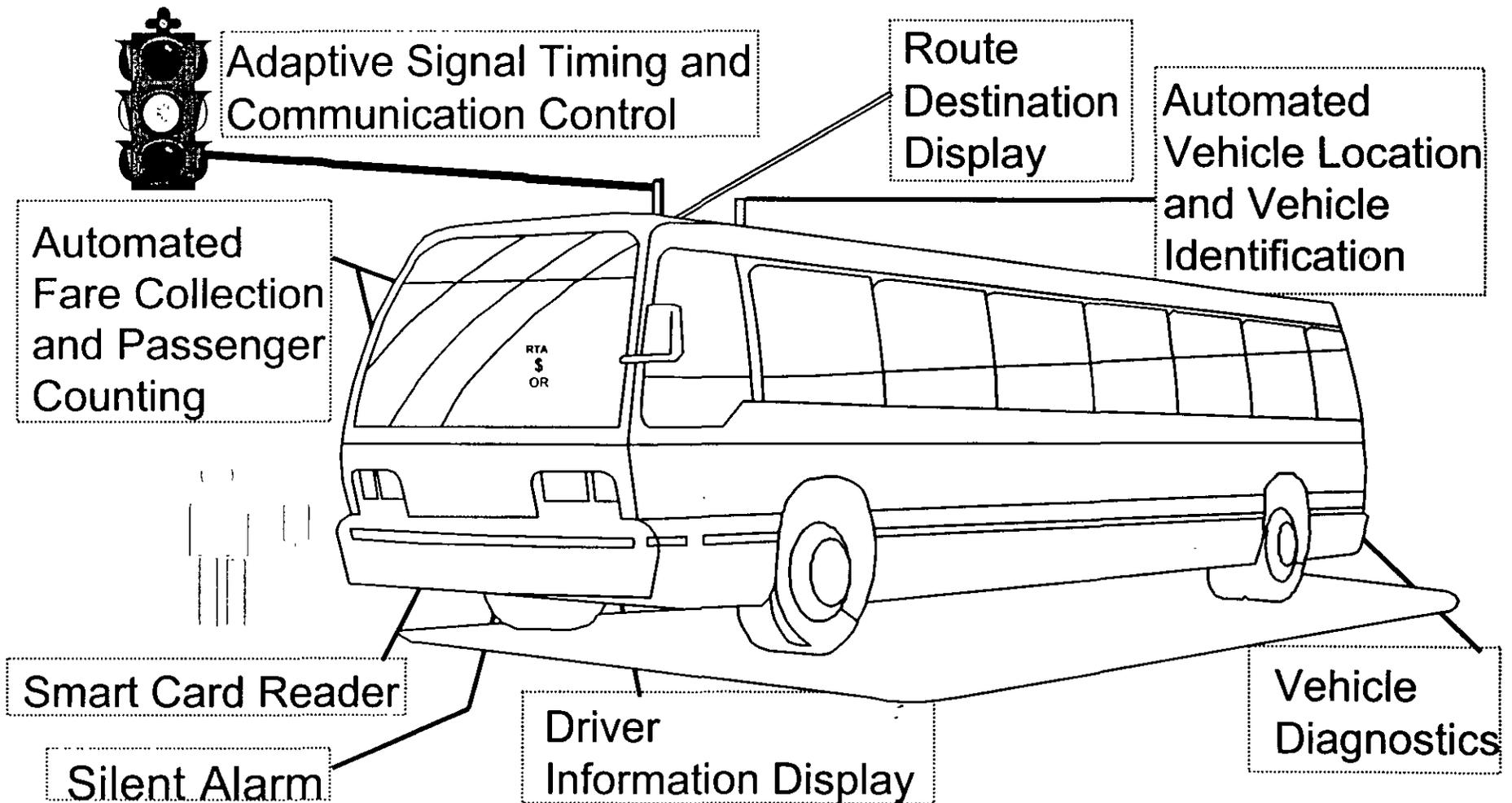
Advanced Public Transportation Systems

- **Transit Management Systems**
 - Increase customer service
 - Improve schedule reliability and operating efficiency
 - Make transit a more attractive alternative
- **Traveler Information Systems**
 - Provide real-time, accurate travel information to the public
 - Give people valid choices to make transportation decisions
- **Electronic Fare Payment Systems**
 - Greatly reduce cash handling costs
 - Enhance security
 - Improve passenger convenience
 - Facilitate intermodal transfer



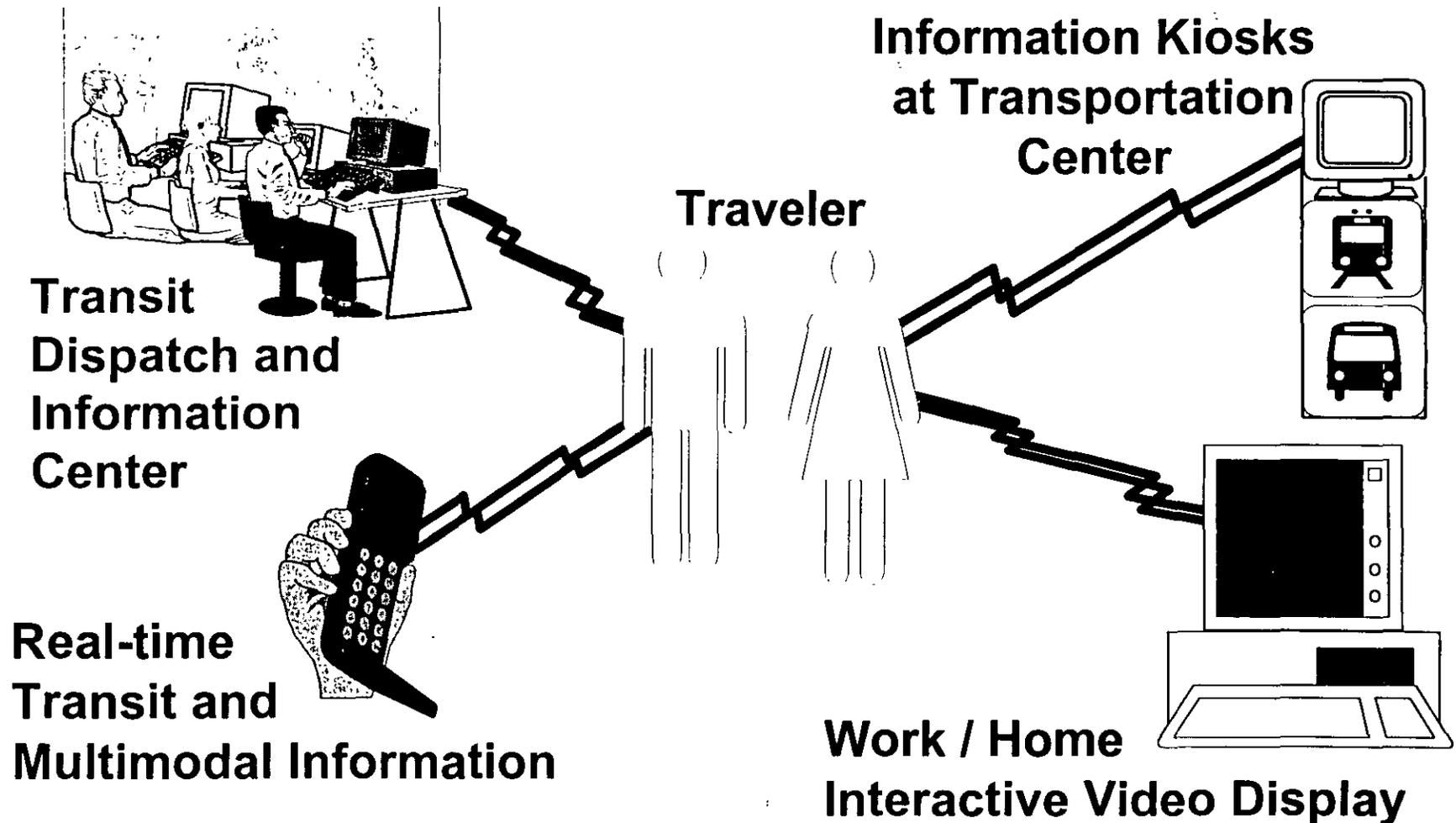
ITS in Transit

TRANSIT FLEET MANAGEMENT SYSTEMS



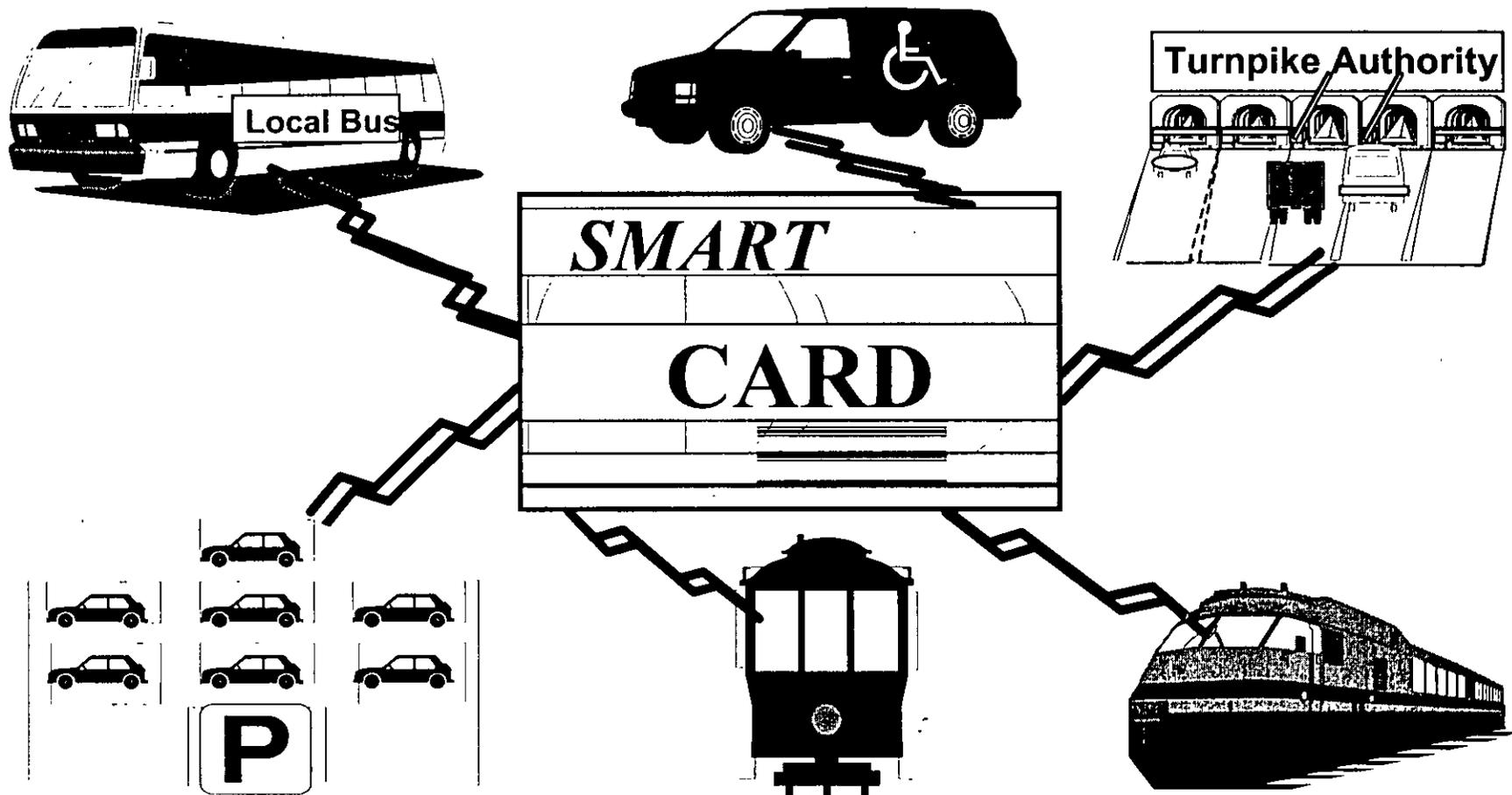
ITS in Transit

TRAVELER INFORMATION SYSTEMS

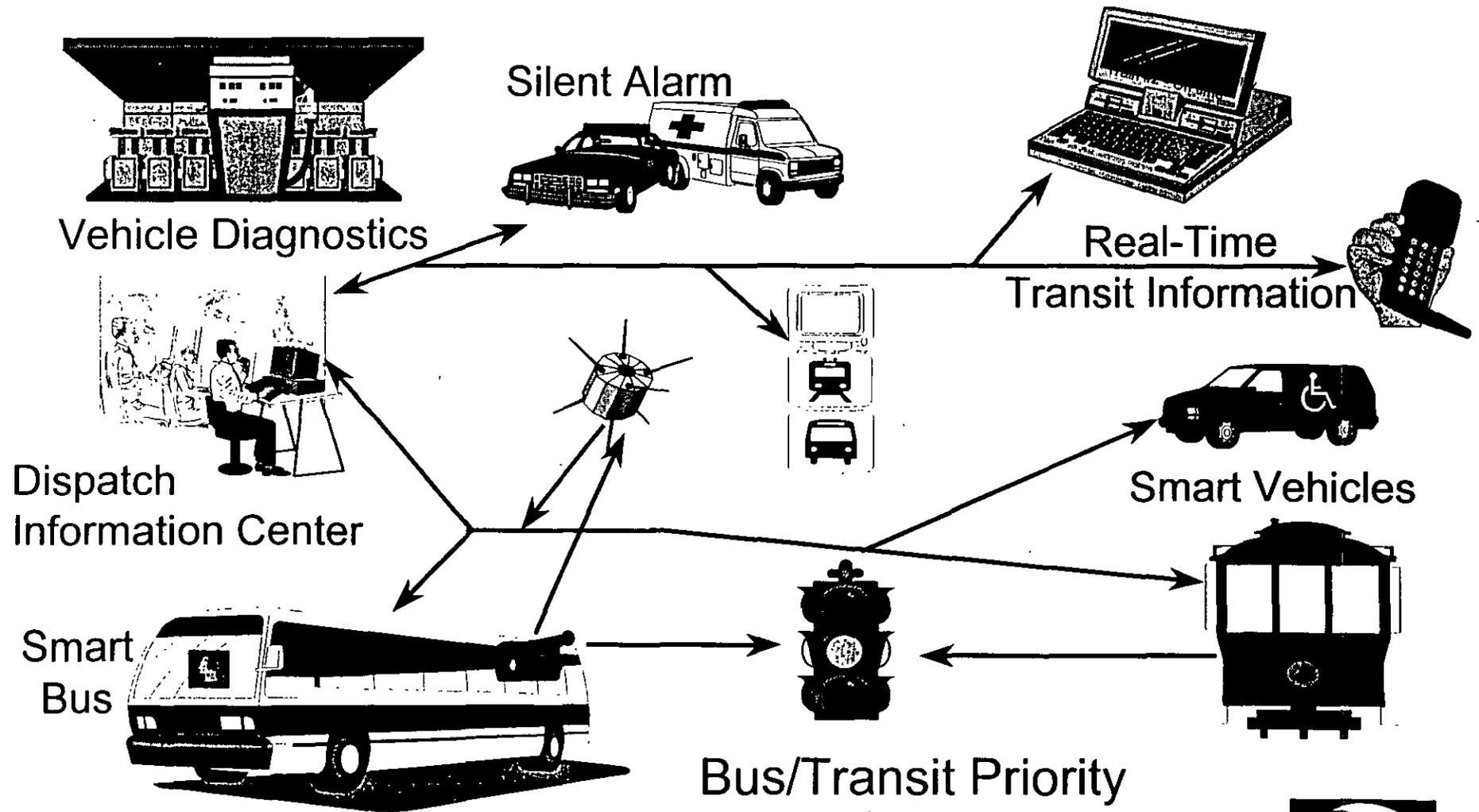


ITS in Transit

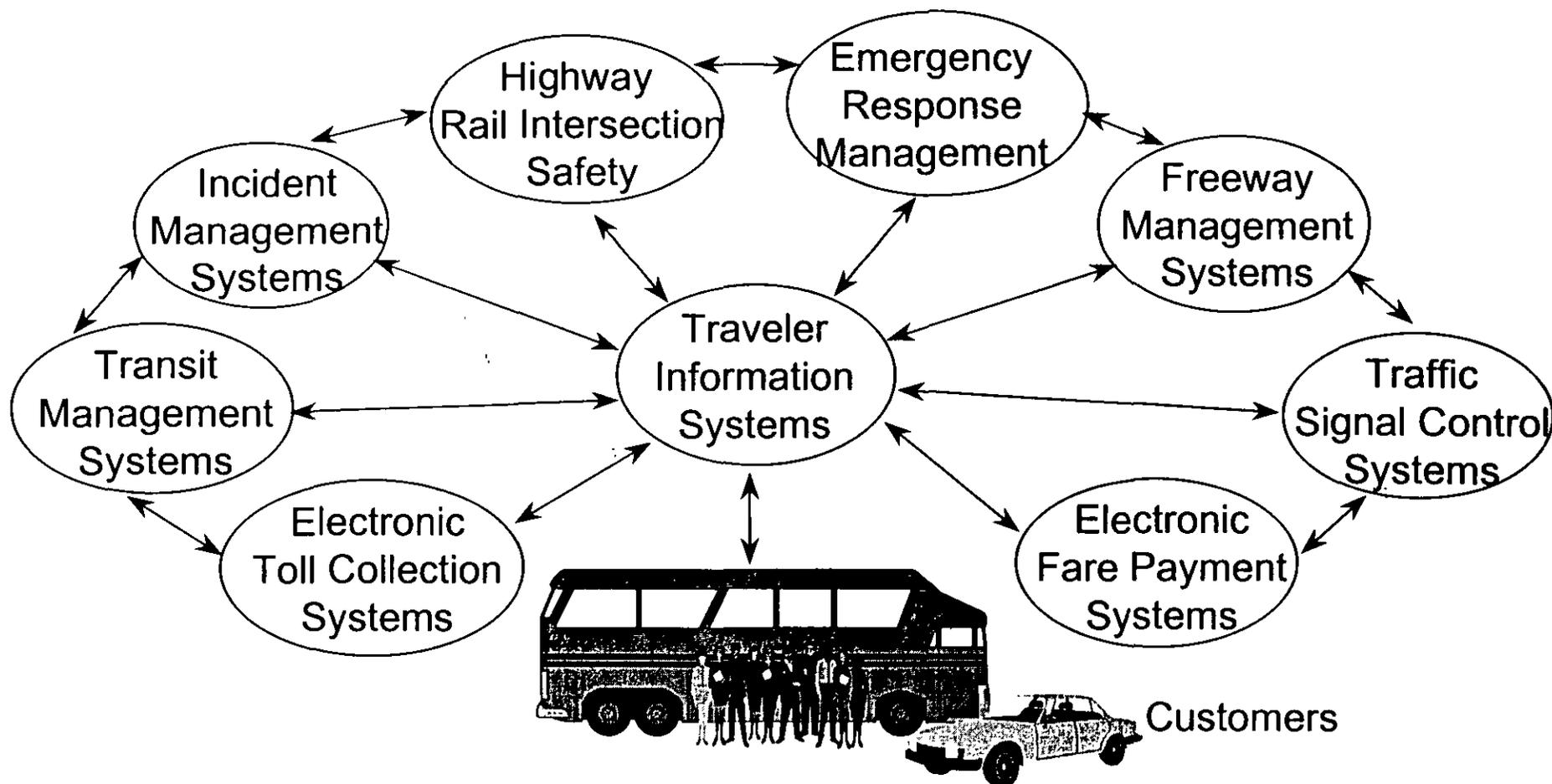
ELECTRONIC FARE PAYMENT SYSTEMS



Advanced Public Transportation Systems Technologies



The Key is Integration and Communications



Rural Issues

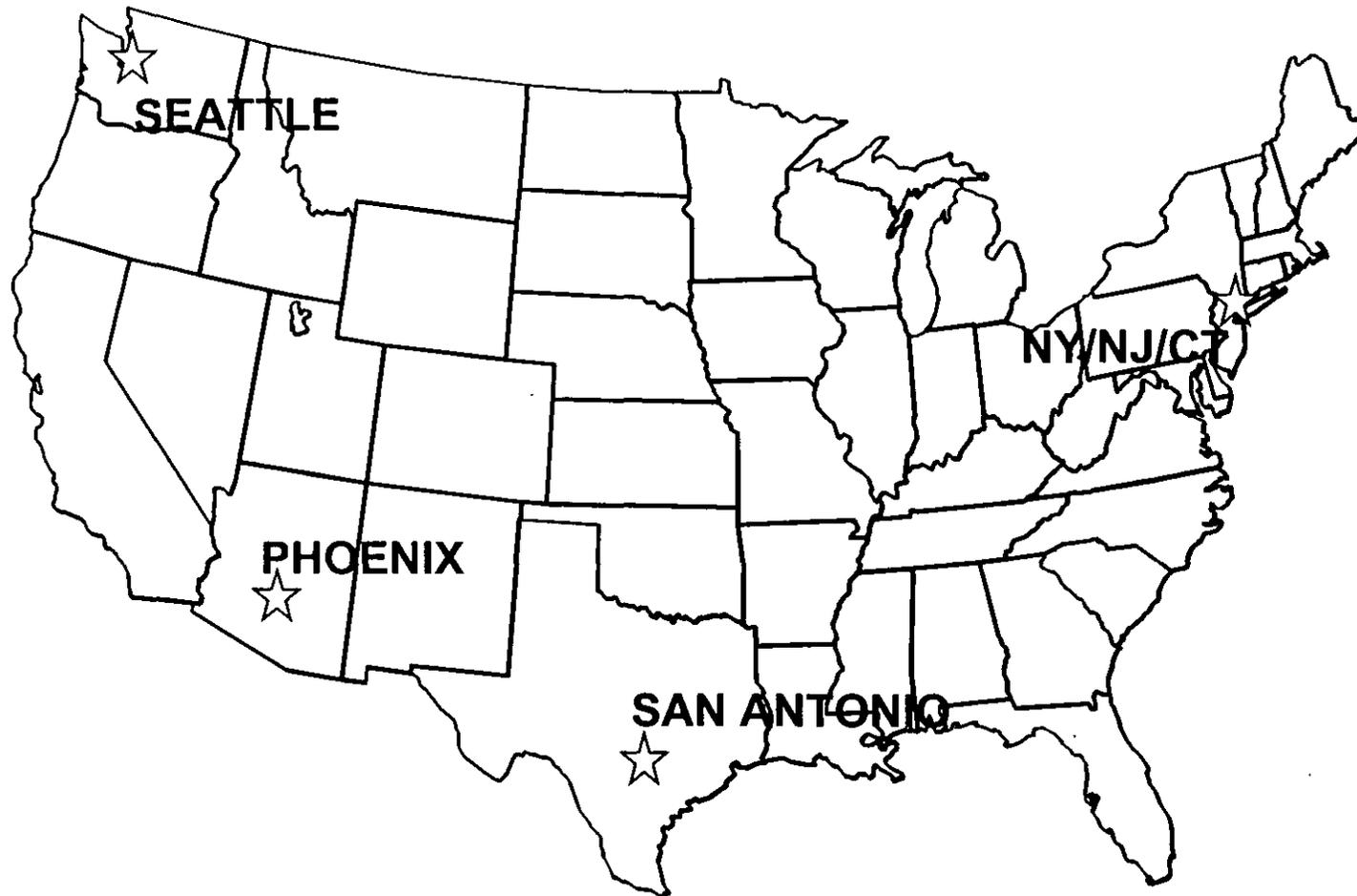
Safety, Mobility, Transit

ITS Enhancements:

- Incident management/Mayday system
- Transportation management in congested areas:
 - Tourist sites
 - Seasonal harvesting areas
 - Construction zones, etc.
- Integrated traveler information: tourist/
road/weather/traffic conditions



Metropolitan Model Deployment Initiative



Major ITS Areas

- Multimodal Travel Management and Traveler Information
- Commercial Vehicle Operations
- Advanced Vehicle Control and Safety Systems





Commercial Vehicle Operations



Commercial Vehicle Operations

- Achieve safe, simple, and cost-effective commercial vehicle operation through cooperation and advanced technologies
- Meet demands by:
 - Automating operations and technologies
 - Networking systems and information sources
 - Changing traditional public/private sector processes, roles and relationships



Commercial Vehicle Operations

ITS Enhancements:

- Commercial vehicle electronic clearance
- Automated roadside safety inspection
- On-board safety monitoring
- Commercial vehicle administrative processes
- Hazardous materials incident response
- Freight management
- International border crossing applications



Commercial Vehicle Operations Benefits

- Electronic Data Interchange (EDI):
 - Improved safety monitoring
 - Paperwork reduction
 - Revenue collection improvement
- Electronic Screening/Weigh-In-Motion
 - Stop only high-risk drivers/carriers/vehicles
 - Simplify/speed up/reduce roadside inspections
- Electronic one-stop shopping
 - Tax payments, licenses and permits



Commercial Vehicle Operations Benefits



Rover Vans

- Perform safety inspections anywhere
- Portable computers simplify inspections

In-vehicle systems:

- Equipment malfunction warning systems

Other:

- Electronic toll collection keeps vehicles moving
- Cost-effectiveness



Commercial Vehicle Information Systems and Networks (CVISN)



Major ITS Areas

- Multimodal Travel Management and Traveler Information
- Commercial Vehicle Operations
- Advanced Vehicle Control and Safety Systems



Collision Avoidance Program



- Rear-End Collision Avoidance System
- Intelligent Cruise Control
- Road Departure Collision Avoidance System
- Lane Change/Merge Collision Avoidance System



Automated Highway System

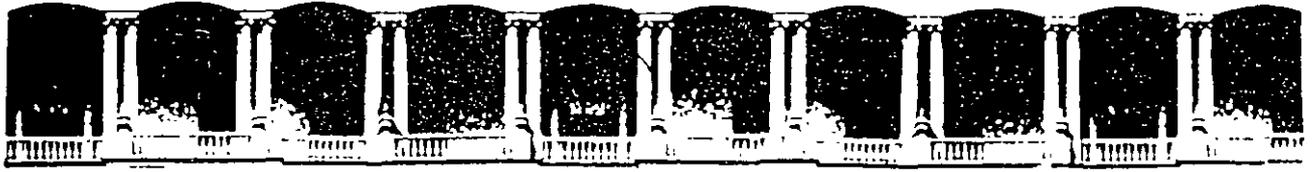
- Demo scheduled for August 1997
 - Proof of Concept
 - Adding transit and CVO components



Module 1: Discussion Questions

- What is ITS?
- What are the benefits of ITS?
- What is one role for US DOT staff that was mentioned?





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

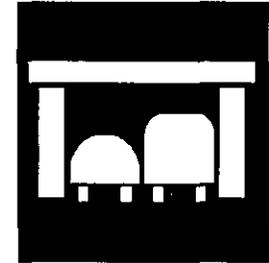
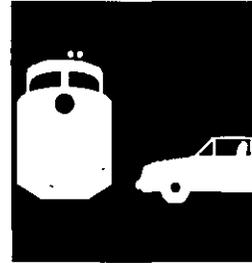
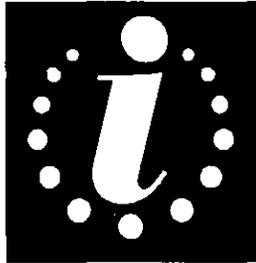
MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

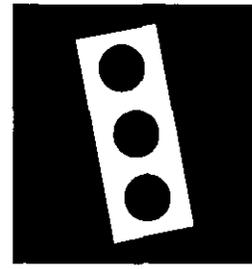
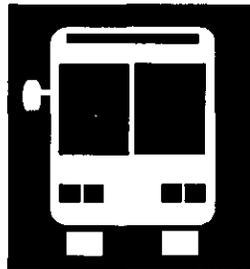
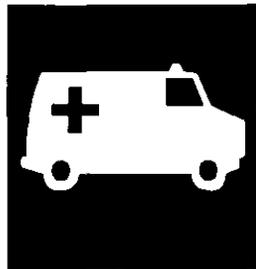
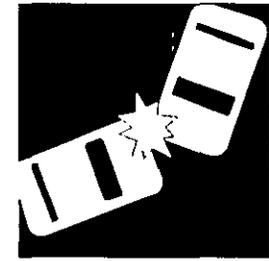
TEMA

“SUCCES STORIES”

**ING. GANDHI DURÁN HERNANDEZ
ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**



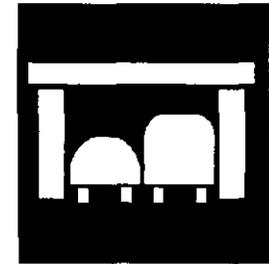
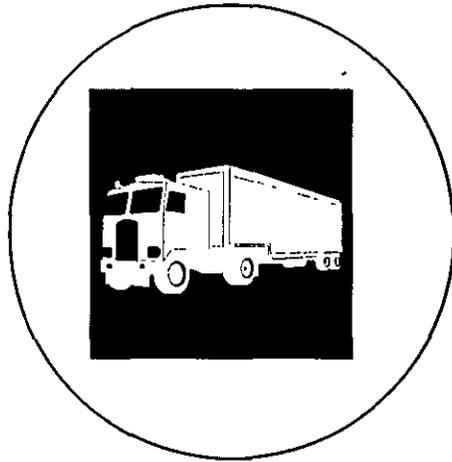
SUCCESS STORIES



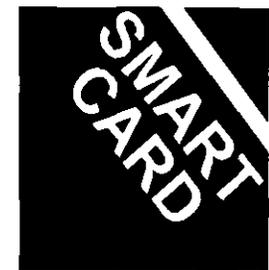
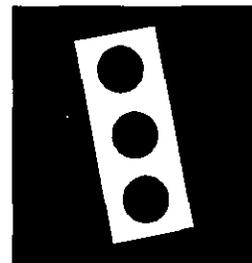
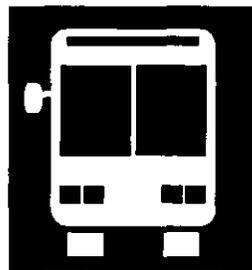
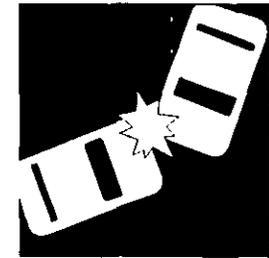
Module 2: Learning Objectives

- Increase awareness of ITS successes
- Enhance understanding of why ITS is important locally, regionally, and nationally

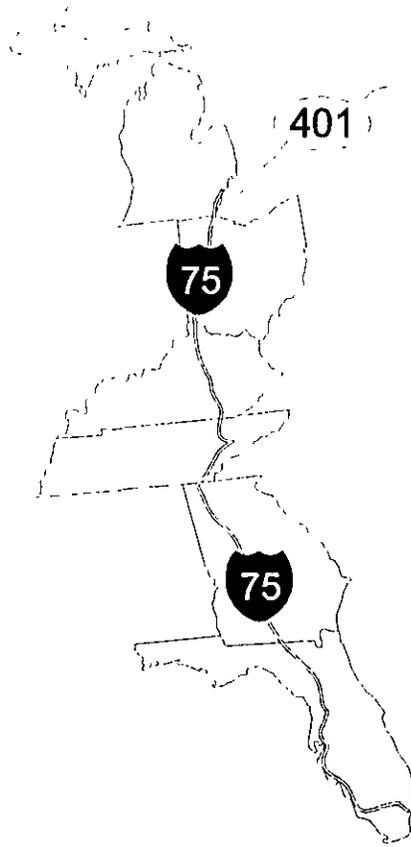




ADVANTAGE I-75



ADVANTAGE I-75



- No more than one weigh station stop per trip
- Evolved from a desire to increase safety and efficiency



ADVANTAGE I-75



- 29 weigh station sites
- Over 90 carriers, more than 4,000 trucks



ADVANTAGE I-75



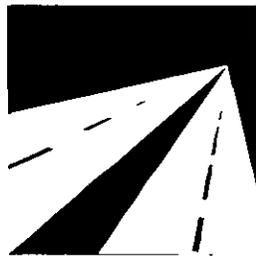
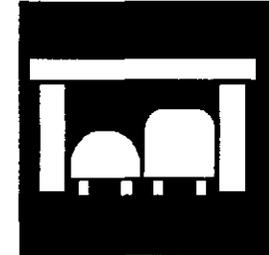
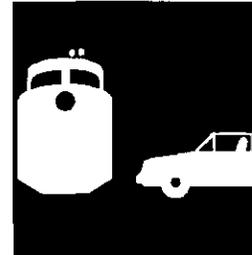
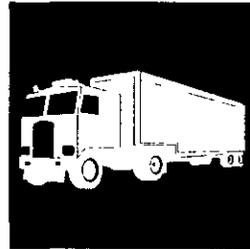
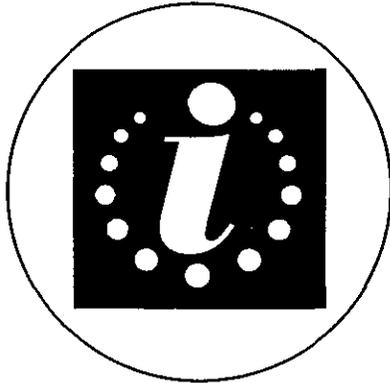
- Benefits:
 - Improved safety
 - Increased efficiency
 - Reduced operating costs



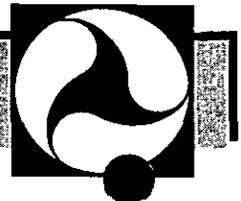
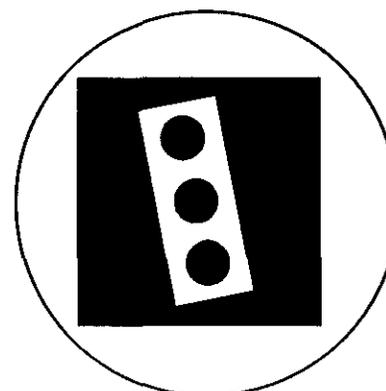
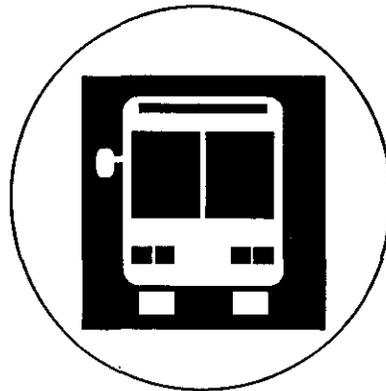
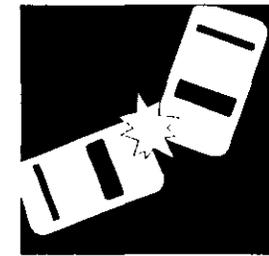
ADVANTAGE I-75

- Lessons learned
 - Significant institutional issues were overcome
 - » Enforcement can be effective without “eye contact”
 - » States are willing to accept other State weigh and inspection data





MONTGOMERY COUNTY, MARYLAND



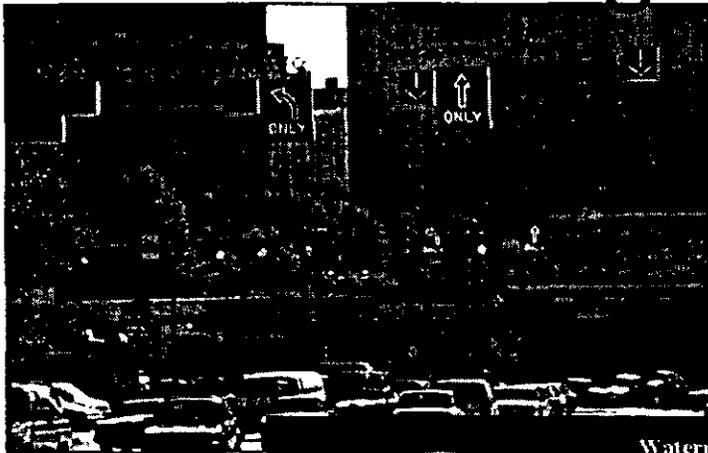
Montgomery County, MD

Advanced Transportation Management System

- Began to accommodate local traffic to regional mall
- Started small - now county-wide
- Local funding



Significant Features of Montgomery County, MD



Watermain Break Road Closure

Clarendon Rd. Bethesda Ave.
Road Closures:
Bladley Blvd. (MD 191)
Southbound
Arlington Rd.
Detour

35
MONTGOMERY COUNTY

Audio, video,
text and graphics
broadcast to
Cable TV
subscribers

355 CONGRESS RD
I-270 IS CLOSE
IN BOTH DIRECTIONS
SOUTH OF MONTROSE RD.
DUE TO AN OVERTURNED
TRACTOR TRAILER.

- Transit Management System co-located with Traffic Signal Control System
- Traveler Information Services:
 - Changeable Message Signs
 - Cable TV
 - Highway Advisory Radio

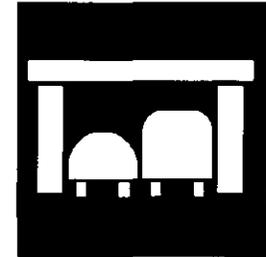
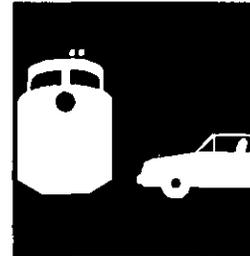
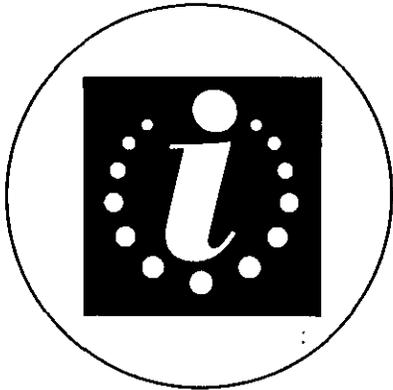


Montgomery County, MD

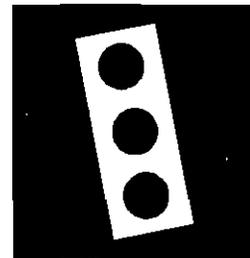
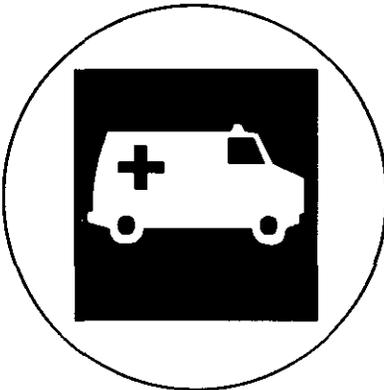
- Lessons Learned:

- Traveler information
- Multimodal coordination offers improved service
- Interagency coordination is key
- Interjurisdictional sharing of information
- Incremental deployment





MARYLAND CHART



CHART

Chesapeake Highway Advisories

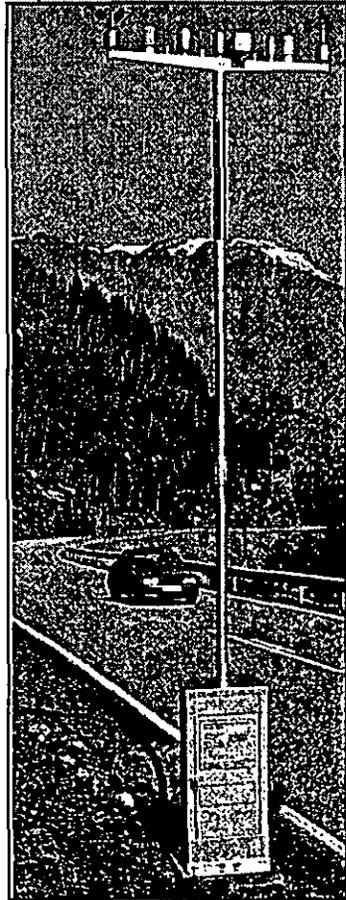
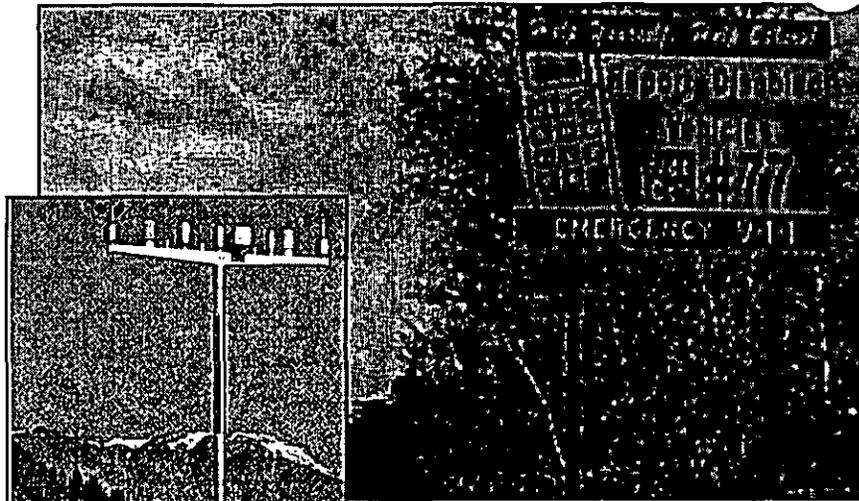
Routing Traffic

- Why it was created:
 - Initial challenge: “Reach the Beach”
 - Statewide rural and recreational/tourism orientation
 - Safety and economic development



CHART Today

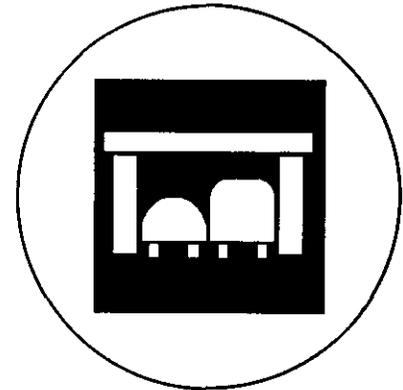
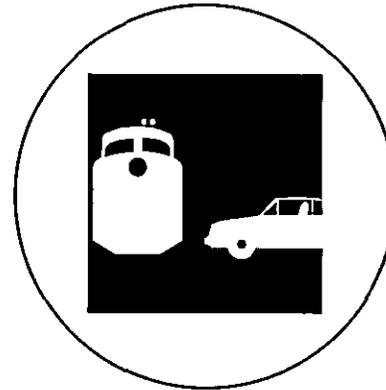
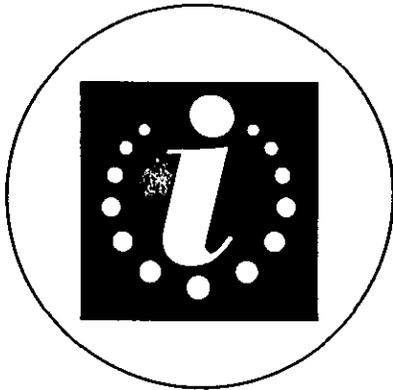




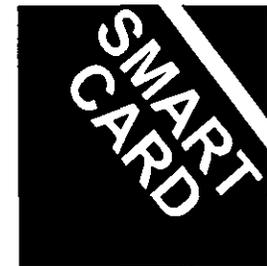
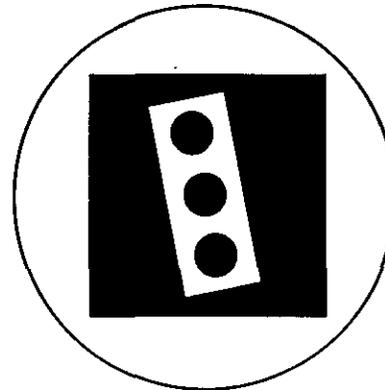
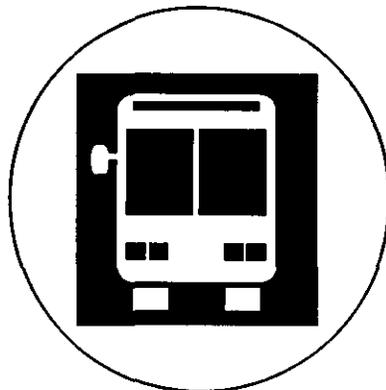
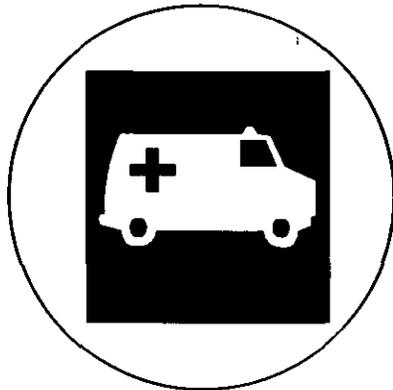
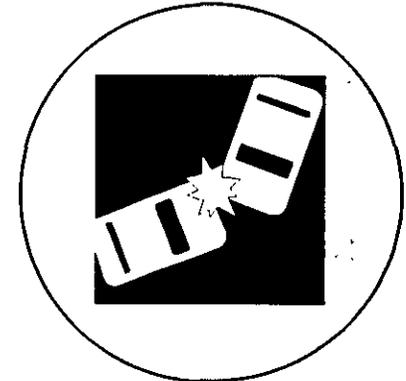
CHART

- Lessons Learned:
 - Institutional coordination
 - Interagency cooperation
 - Expansion of an initial idea

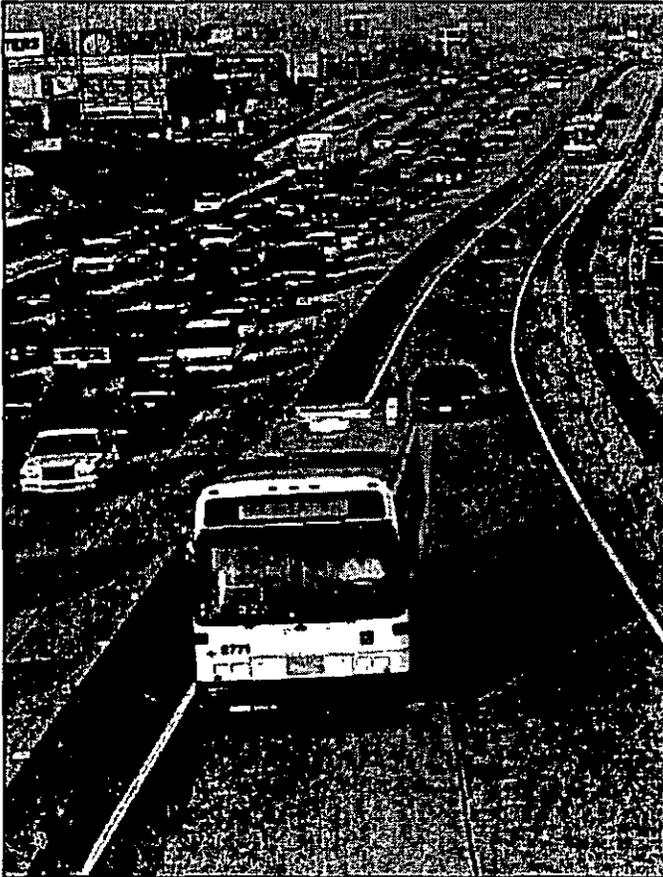




HOUSTON TranStar



Houston TranStar



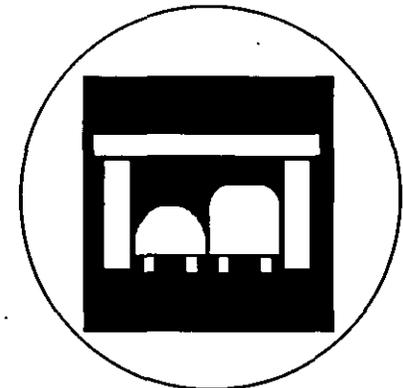
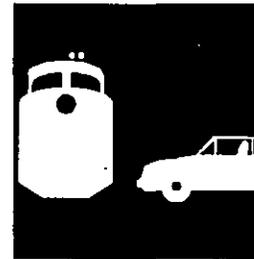
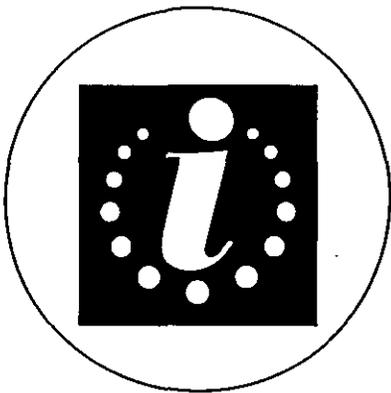
- Pooled resources
- Regional
Emergency
Management Center
- Use toll tags for
surveillance



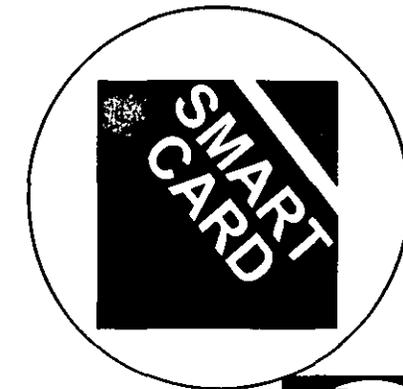
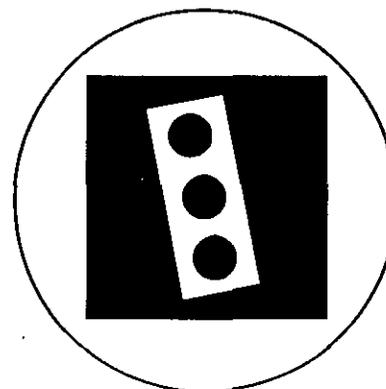
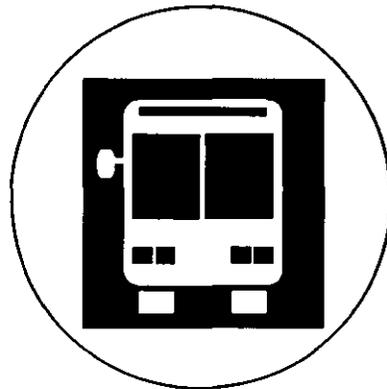
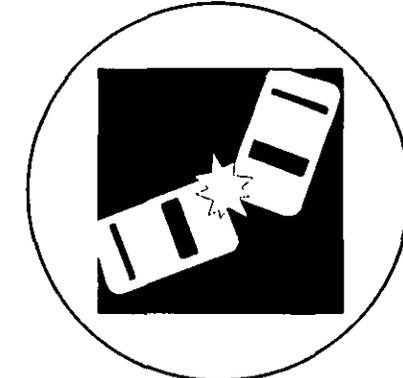
Houston TranStar

- Lessons Learned:
 - Created a unique and successful organizational structure
 - Surveillance data can be collected without massive investment
 - Co-location of private traffic reporting has been successful

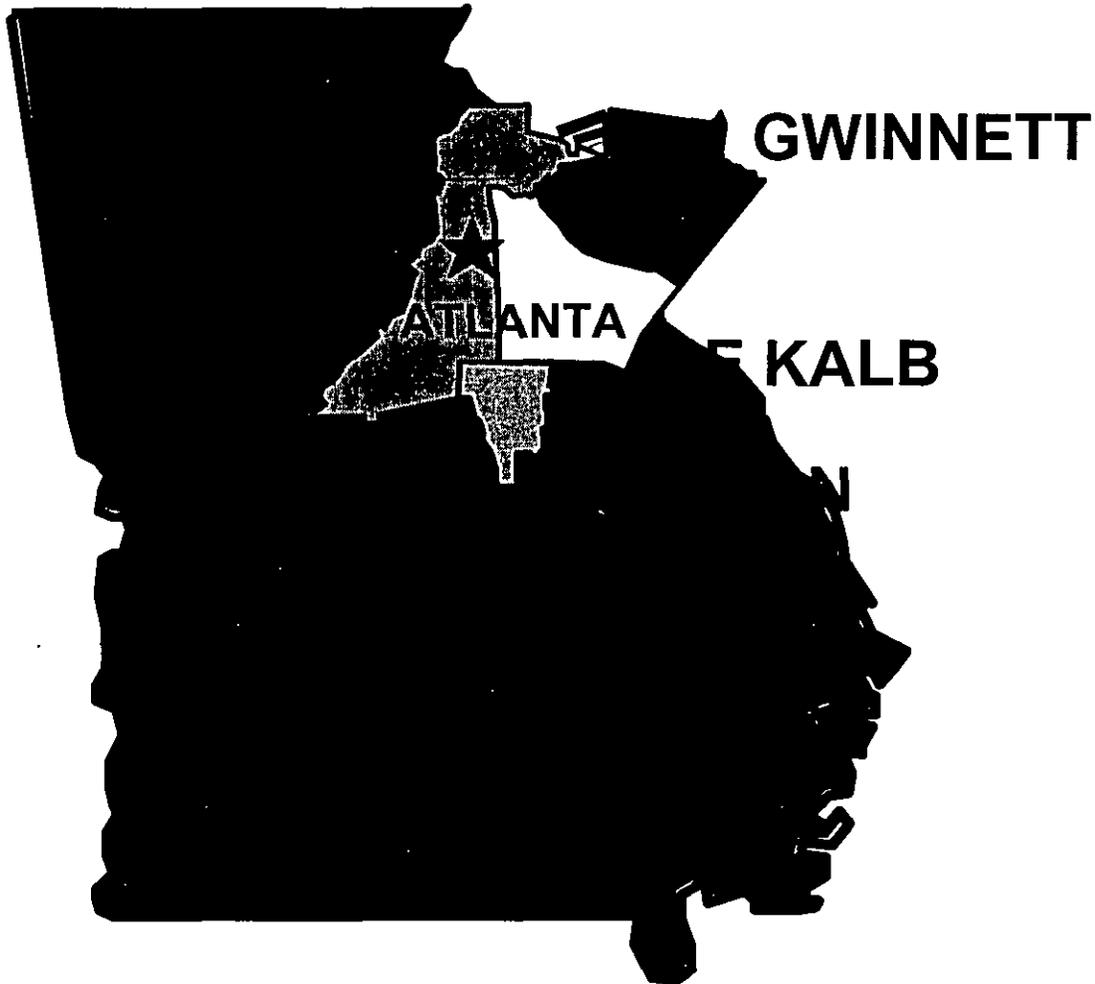




ATLANTA



Atlanta



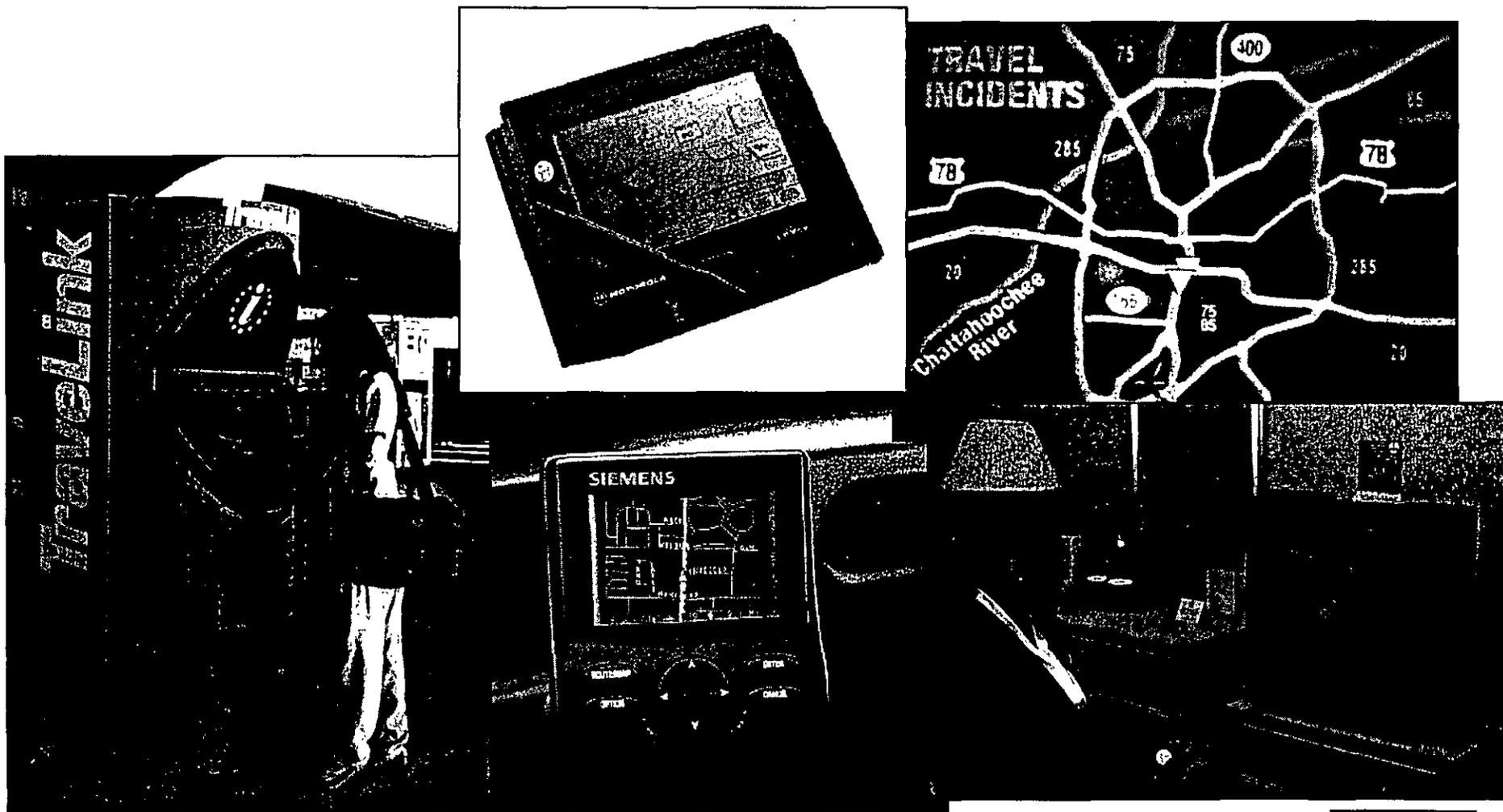
- Distributed System
- Functionally Identical
- Multimodal Traveler Information
- Showcase Devices



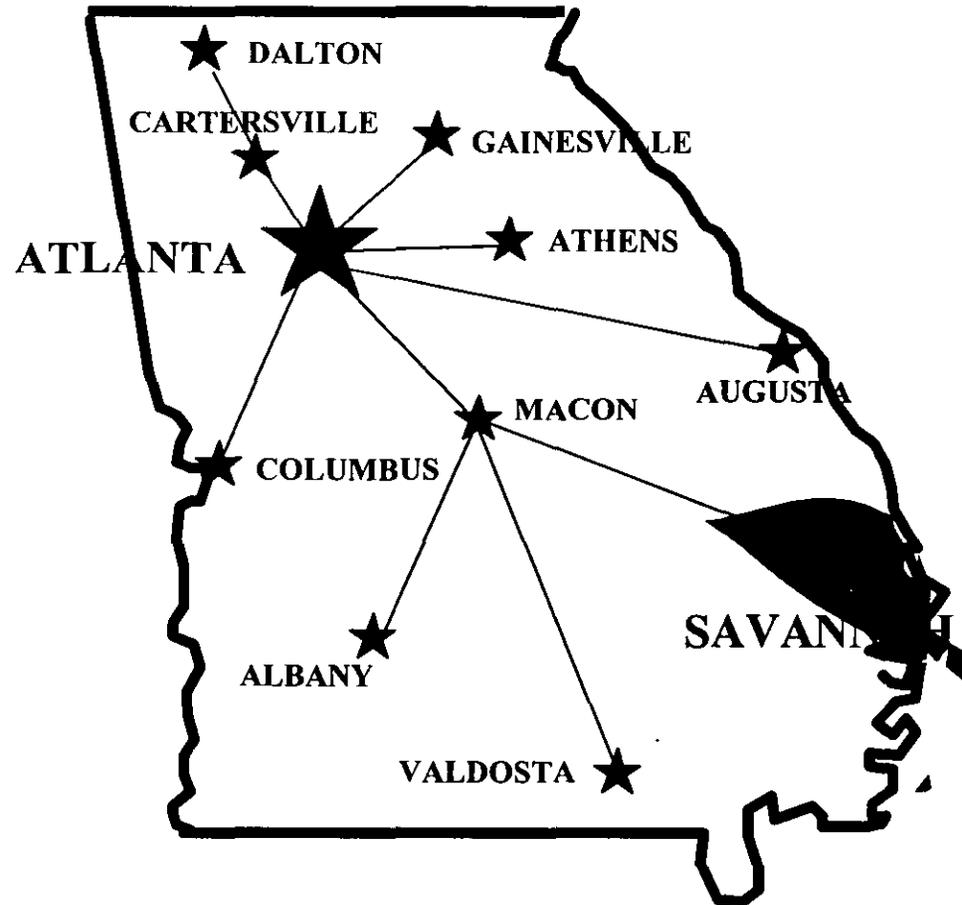
Atlanta - ITS MARTA



Atlanta Traveler Information Showcase



Statewide ATMS Concept



Atlanta

- Lessons Learned:
 - US DOT as facilitator
 - Need for system integrator
 - Interjurisdictional operations will work
 - Commitment of State was critical



Common Threads

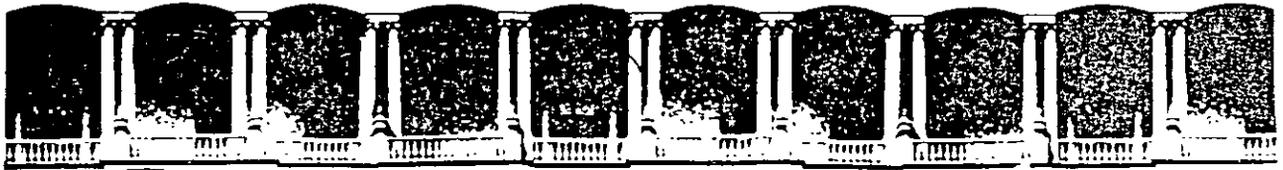
- A champion can emerge from different agencies and organizations
- Cooperation and coordination are key
- A traffic control center can serve many purposes
- Size/scale dictated by needs of each area
- Advanced technologies and communications make it possible
- US DOT can serve as facilitator or champion



Module 2: Discussion Questions

- What has ITS accomplished?
- Where can ITS be used in your Region?
- What do you need to implement ITS?





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

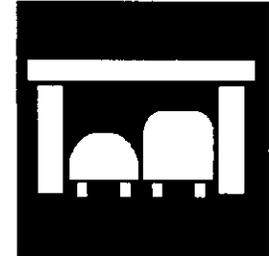
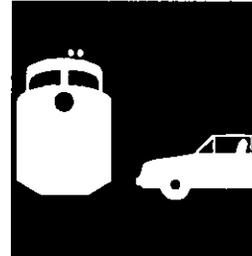
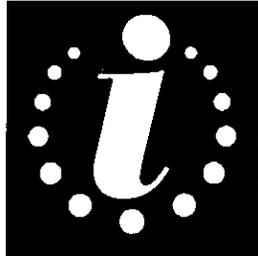
MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

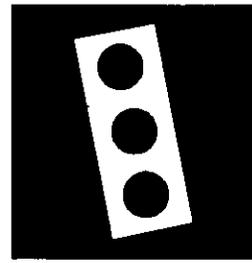
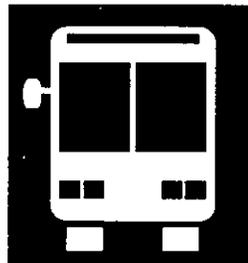
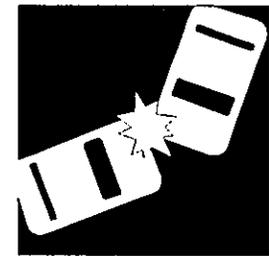
TEMA

“STRATEGIC CONSIDERATIONS”

**ING. GANDHI DURÁN HERNÁNDEZ
ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**



STRATEGIC CONSIDERATIONS

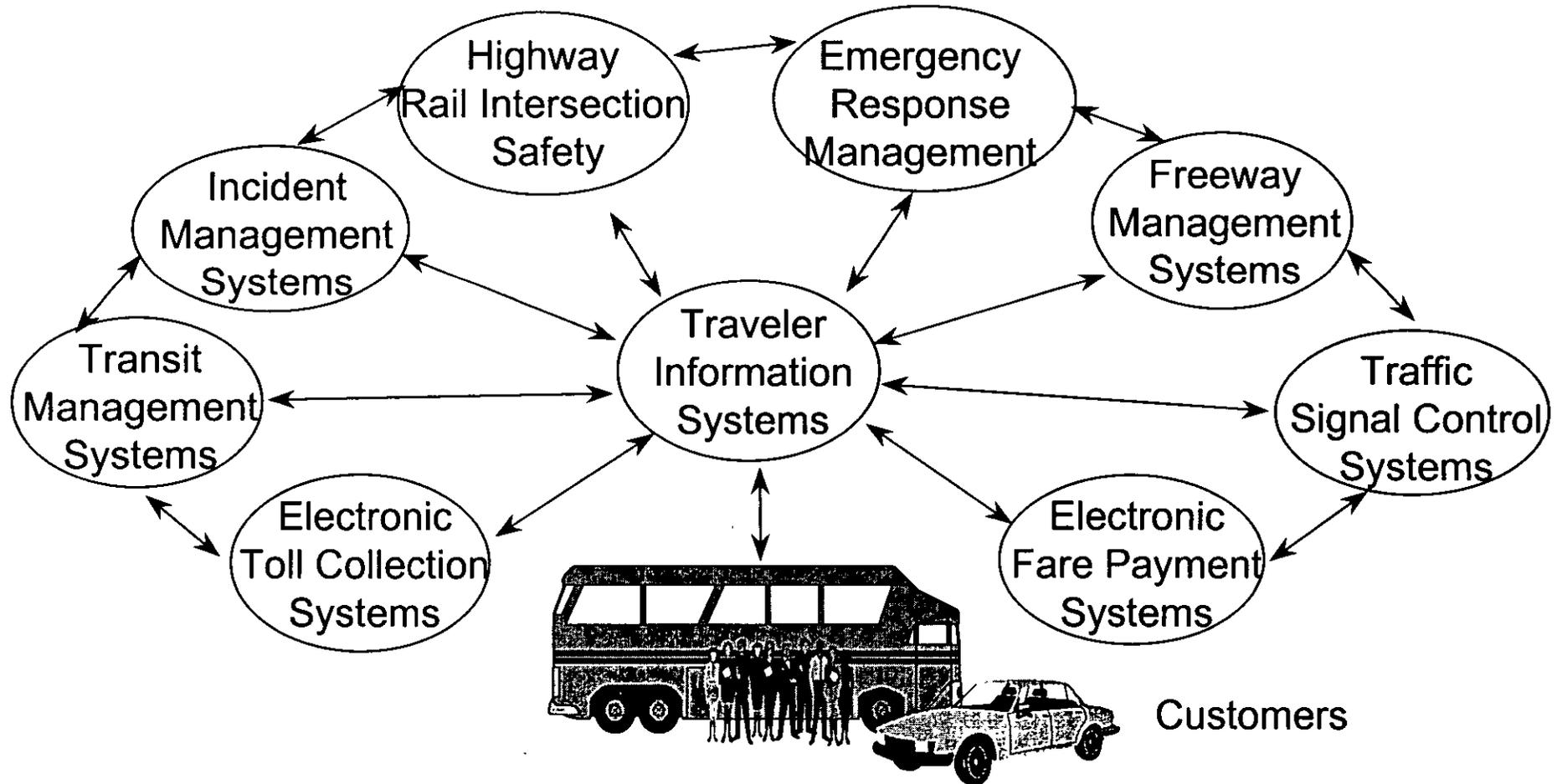


Module 3: Learning Objectives

- Awareness of some of the key issues facing State and local DOTs
- Uniqueness of ITS
- Relating ITS to your job
- Awareness of the basic building blocks needed to implement ITS



ITS Integration



Institutional Integration

- Within a jurisdiction
- Between jurisdictions



Technical Integration

- Information sharing
- Control sharing

Must have a
common
telecommunication
s system



Benefits from Integration

The whole is greater than the sum of its parts:

- Integration among and between modes
- Enhanced safety
- Improved efficiency
 - Real time operational information
 - » Transit and commercial vehicles

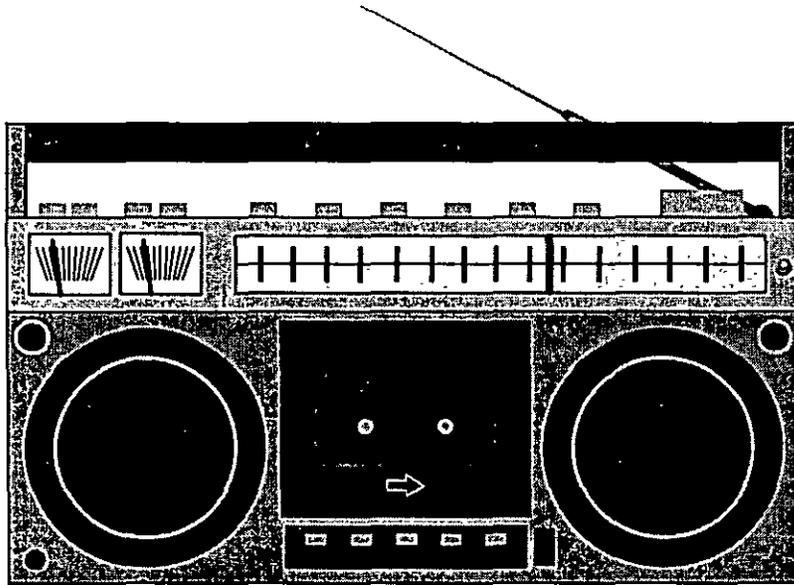


MAKING INTEGRATION HAPPEN

- Find a forum and start talking
- Planning for it
- Designing for it



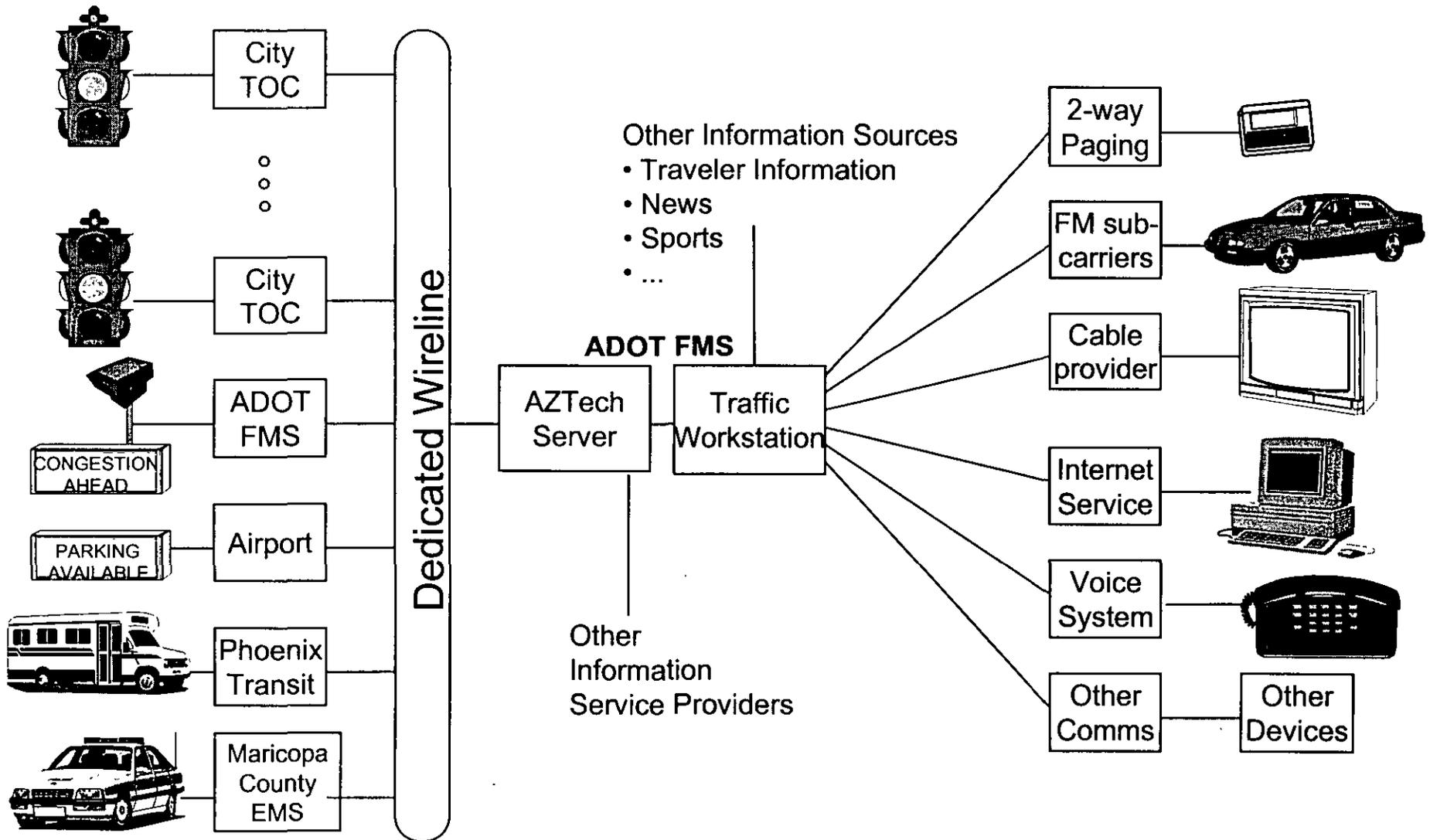
Systems Architecture



- What is a “System?”
- What is an “Architecture”?
- What is a “Standard”?



ITS Systems Architecture - Phoenix



The National ITS Architecture

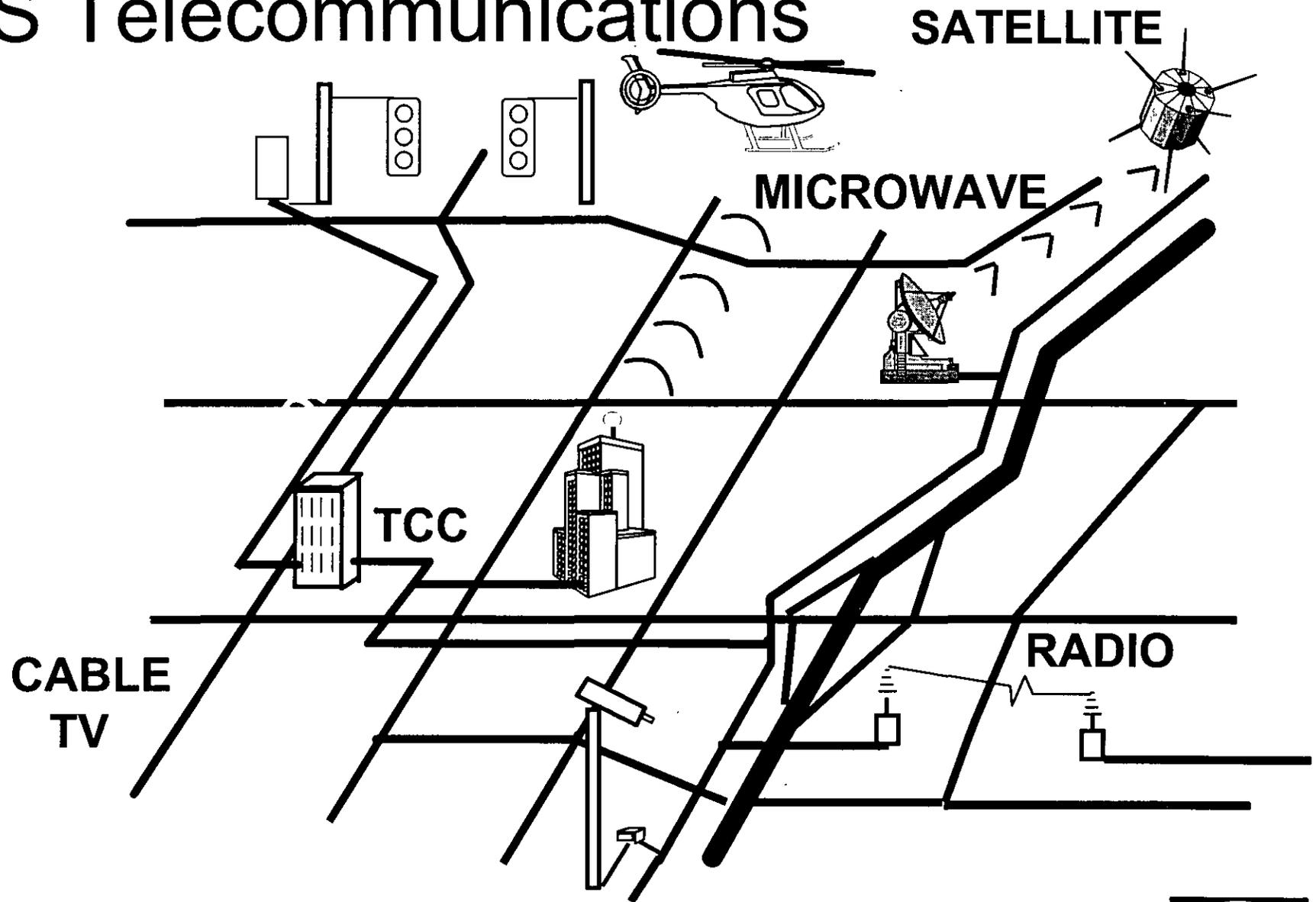
- National interoperability
- Promotes use of off-the-shelf equipment
- A lot of this work is done for you

<http://www.its.dot.gov>

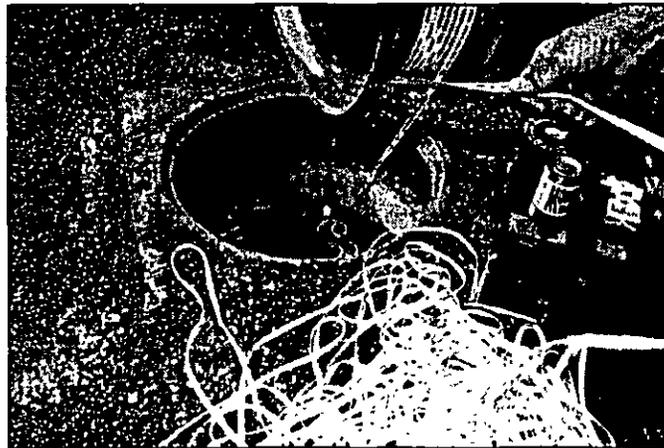
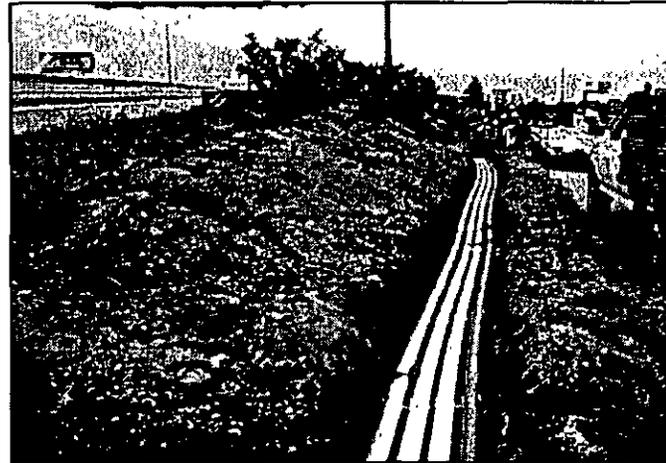
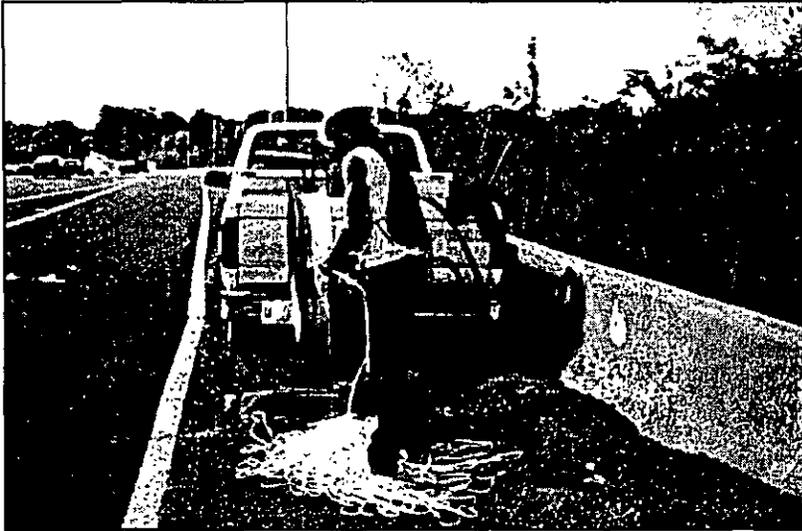
(see architecture link)



ITS Telecommunications



How do you satisfy your telecommunications needs?



- Build
 - Expand
- Barter
- Lease

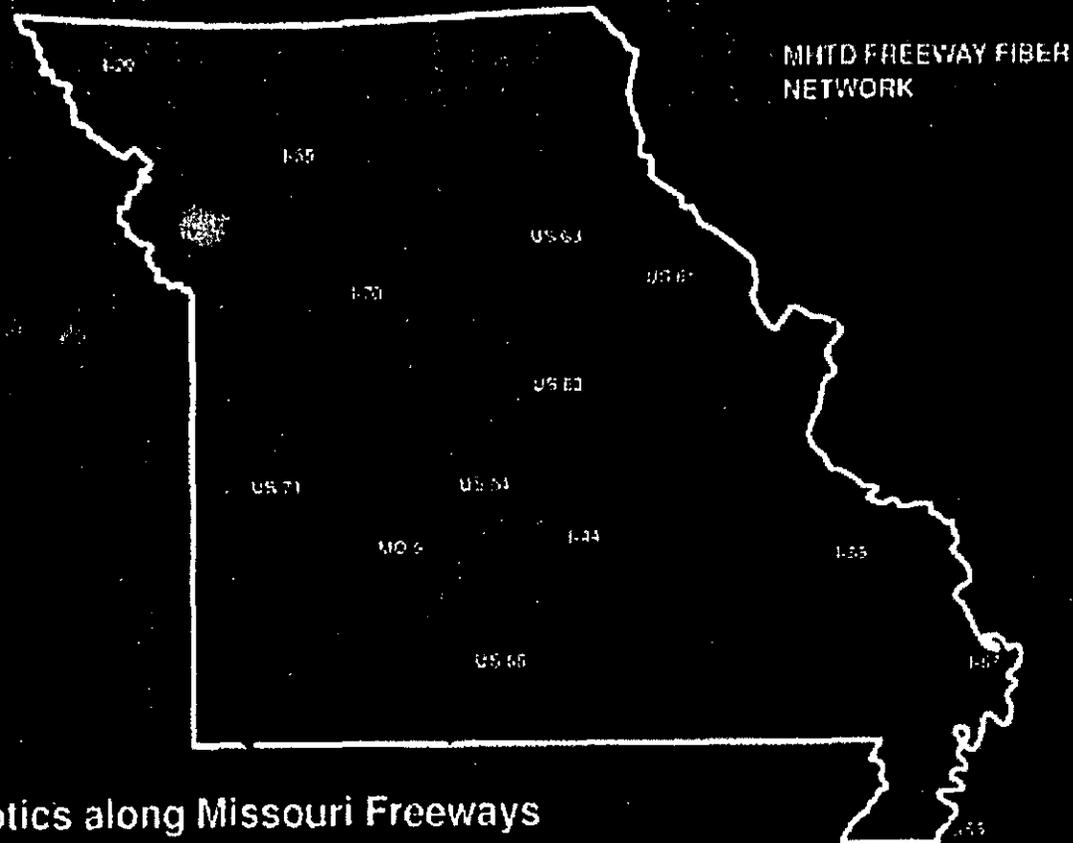


Telecommunications - Build/Expand



Telecommunications - Barter

Missouri Highway & Transportation Department



Fiber Optics along Missouri Freeways

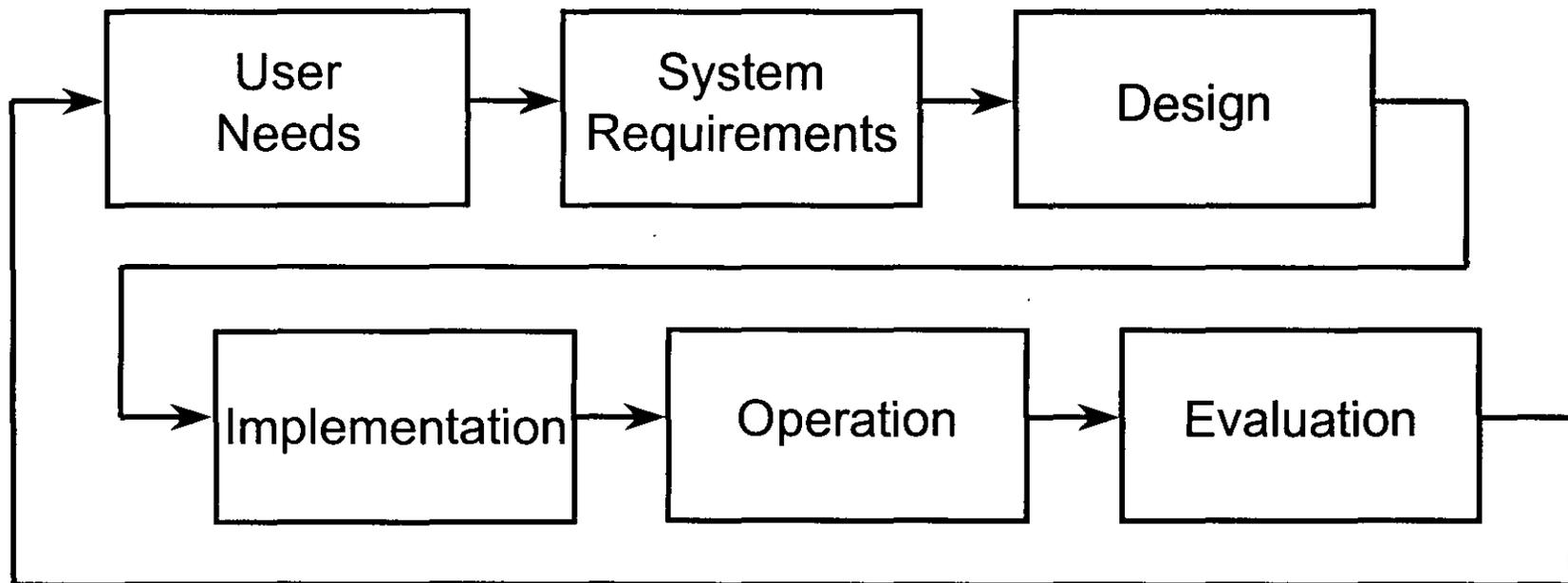
Total Mileage 1726

(Approximate Mileage)

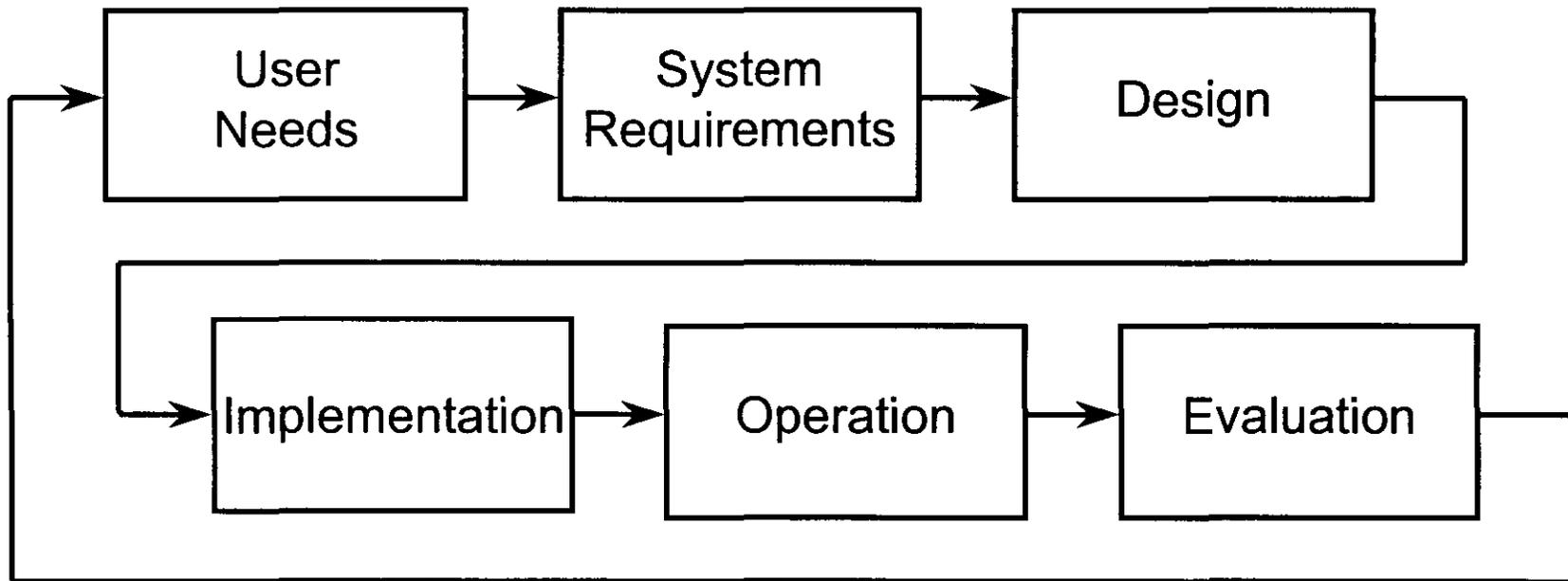


Systems Engineering Method

Building a House



Systems Engineering for ITS Deployment



Making ITS Happen

- Funding
- Procurement



Funding



- Federal Aid
- Capital Grants
- Partnerships



ITS Public/Private Partnerships



- Not just \$\$
- Many roles
- Profit is ok !!



ITS Procurement and Project Delivery Strategies

- ITS projects are different from “traditional” procurements
 - Critical items are not highest cost
 - Developing software & electronics
 - Using telecommunications
 - Specifications warrant attention
- New skills are needed



ITS Procurement and Project Delivery Strategies

- Options for structuring contracts for your system:
 - Engineer/Contractor (Traditional Approach)
 - Systems Manager/Systems Integrator
 - Design/Build
 - Others?



Putting It All Together

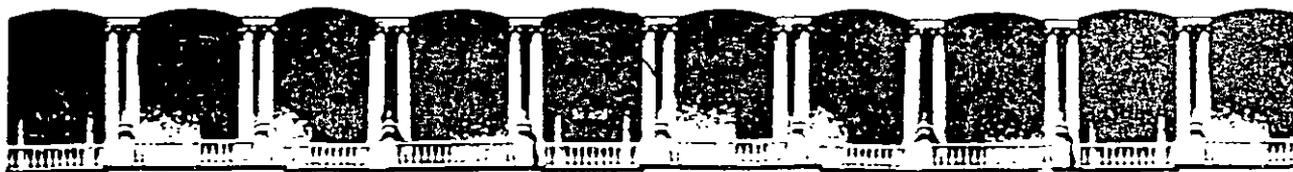
- Make certain someone has the responsibility to make all of the parts function and work together!



Module 3: Discussion Questions

- What are some of the key issues facing State and local DOTs?
- What makes ITS unique?
- How does ITS relate to your job?
- What are the basic building blocks needed to implement ITS?





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

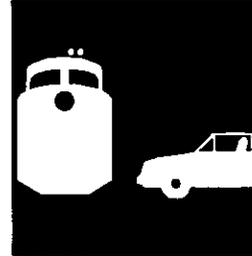
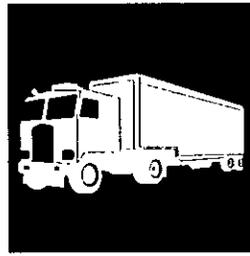
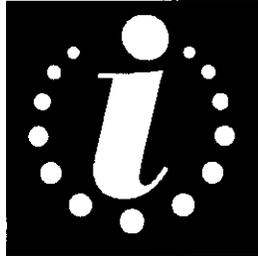
MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

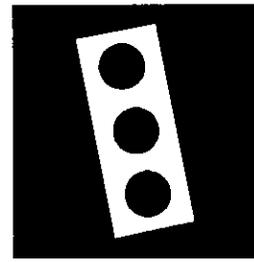
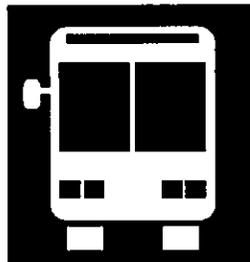
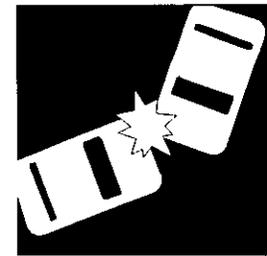
TEMA

“PLANNING FOR ITS IMPLEMENTATION”

**ING. GANDHI DURÁN HERNÁNDEZ
ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**



PLANNING FOR ITS IMPLEMENTATION

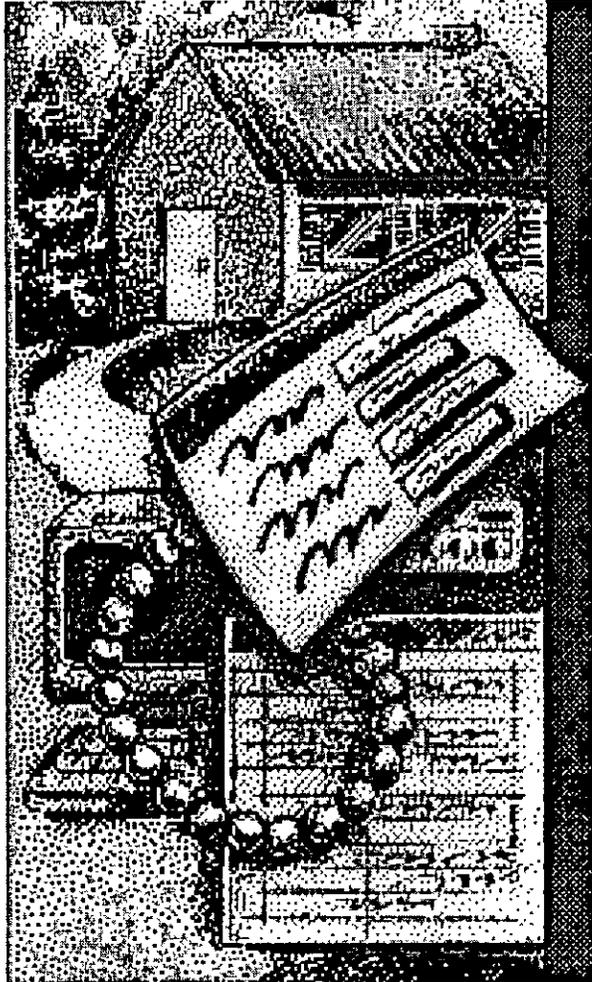


Module 4: Learning Objectives

- Planning is the context for decision making
- Planning process provides forum for goal setting and coordination
- Planning needs to address capacity, technologies, operations and management



Basics of Decision Making

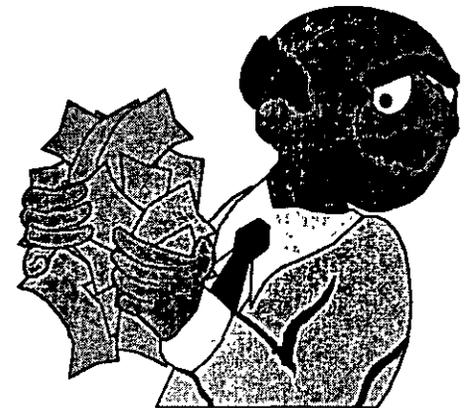


- Goal Setting
- Action Considerations
- Coordination
- Setting Priorities
- Resource Allocation
- Evaluate Results

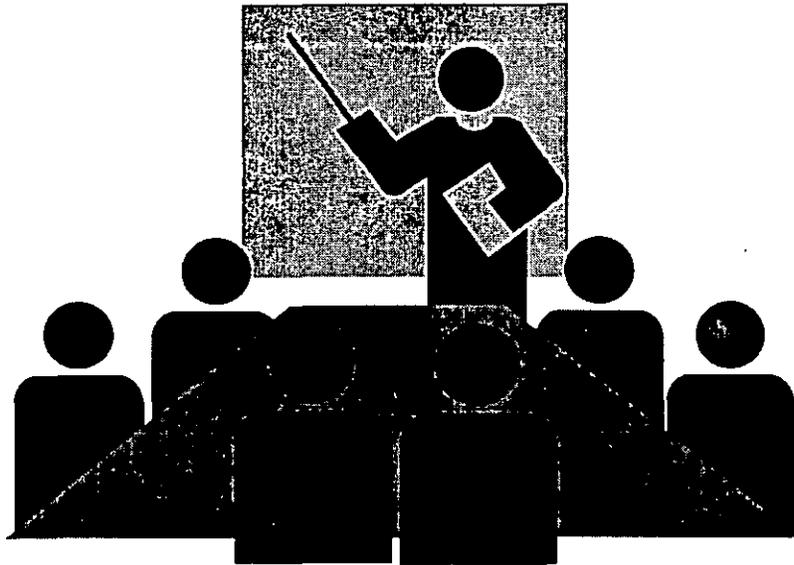


Transportation Planning

- Process of informed decision-making
- Forum for communication & collaboration among “customers” and stakeholders
- Continuing process of evaluation and decision making
- Can accommodate changing priorities and scope



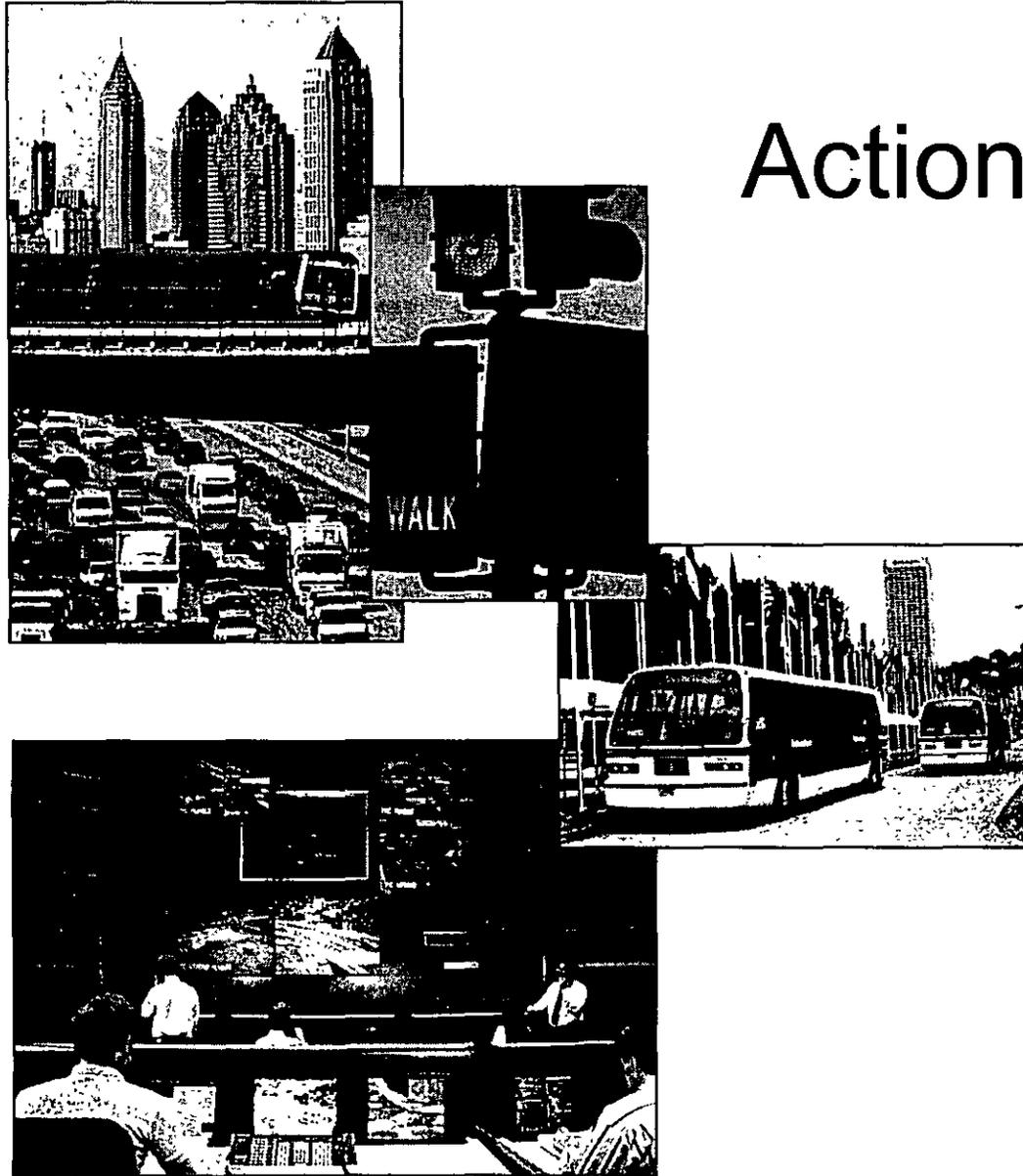
Goal Setting



- Provides direction
- Balances perspectives and interests
- Addresses inclusion of new strategies, e.g. ITS operations and management



Action Considerations



- Respond to goals
- Respond to various partners
- Adding capacity
- Operating efficiencies



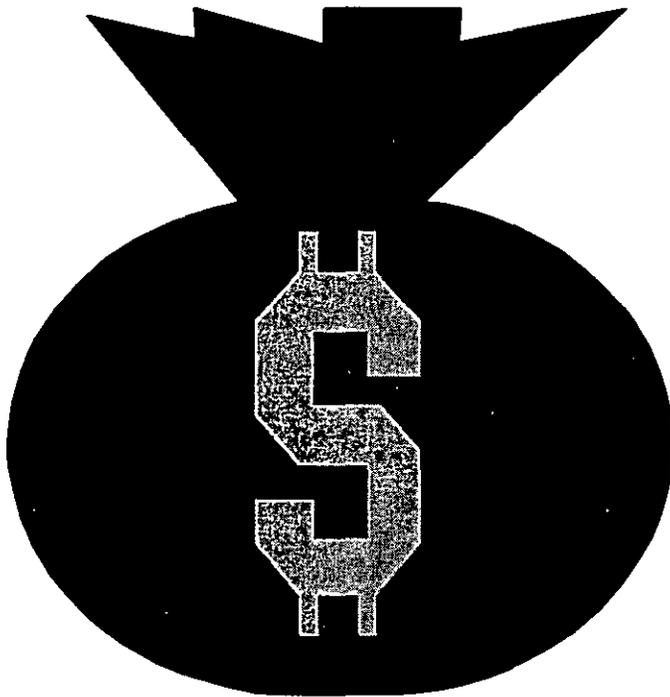
Coordination



- MPO provides a logical forum in metropolitan areas; State provides forum for rural areas
- For regional operational issues:
 - Information sharing
 - Advanced technologies
 - Telecommunications



Priorities



- Established through consensus, balance and compromise
- Plans and Transportation Improvement Programs express priorities



Resource Allocation



- Plans and programs must be matched to resources
- Funds come from a variety of sources
- Resources are limited



Evaluate Results



- Performance monitoring systems
- ITS can provide information for planning



Challenges to Considering ITS

- Tradition is to build more capacity
- General lack of familiarity with ITS concepts
- Operational emphasis of ITS
- Extensive institutional coordination
- Joint public/private undertaking in some cases
- Limited staff resources
- Limited information on ITS benefits/costs
- Prior program commitments



What can we as DOT staff do?



What Have You Learned?

- What is ITS?
- What are some ITS successes?
- What is your critical role in ITS?
- How is ITS most powerful?
- What are some challenges to ITS implementation?
- How can you foster regional cooperation?
- Why should you participate in planning?





**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES”

**ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PUENTES

- PANORAMA DE CARGAS VIVAS EN MEXICO
- SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES
- APLICACIONES EN CAPUFE

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

JUNIO DE 1998

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA**

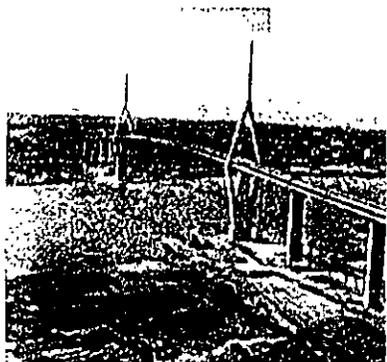
**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

PANORAMA DE CARGAS VIVAS EN MÉXICO

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

JUNIO DE 1998



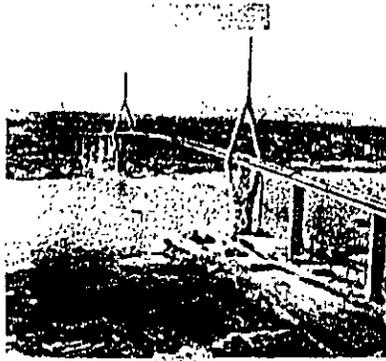
REGLAMENTO CANADIENSE OHBDC

- Este reglamento propone la utilización del método de diseño basado en estados límites
- Incluye una sección para puentes existentes

CLASIFICACIÓN DE CARRETERAS EN CANADÁ

ADT/carril	ADTT/carril	CLASE DE CAMINO
> 4000	> 1000	A
> 1000 ≤ 4000	> 250 ≤ 1000	B
> 100 ≤ 1000	> 50 ≤ 250	C1
≤ 100	≤ 50	C2

Fuente: Ontario Highway Bridge Design Code, Tercera edición, 1991



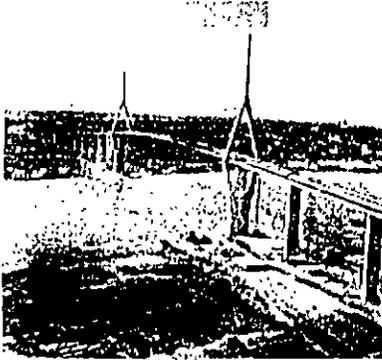
El ancho para colocar la carga, es función del ancho de la superficie de rodamiento y del número de carriles:

$$W_e = \frac{W_c}{n}$$

W_e = es el ancho de la carga.

W_c = ancho de la superficie de rodamiento.

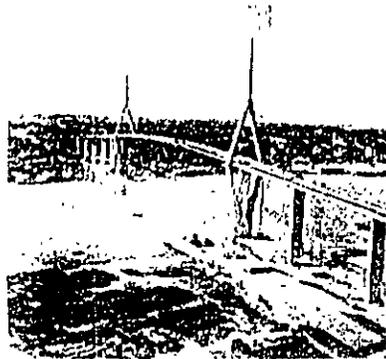
n = número de carriles de carga



NÚMERO DE CARRILES PARA EL DISEÑO DE PUENTE

Wc, ANCHO DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO (m.)	NÚMERO DE CARRILES
6.0 o menos	1
de 6.0 a 10.0	2
de 10.0 a 13.5	3
de 13.5 a 17.0	4
de 17.0 a 20.5	5
de 20.5 a 24.0	6
de 24.0 a 27.5	7
mayor a 27.5	8

Fuente: Ontario Highway Bridge Design Code. Tercera edición. 1991

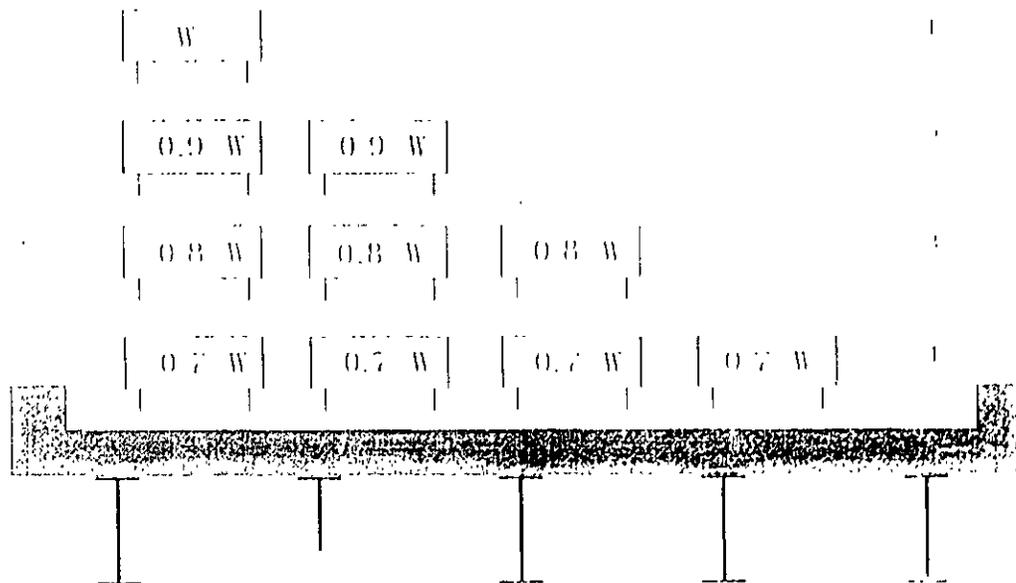


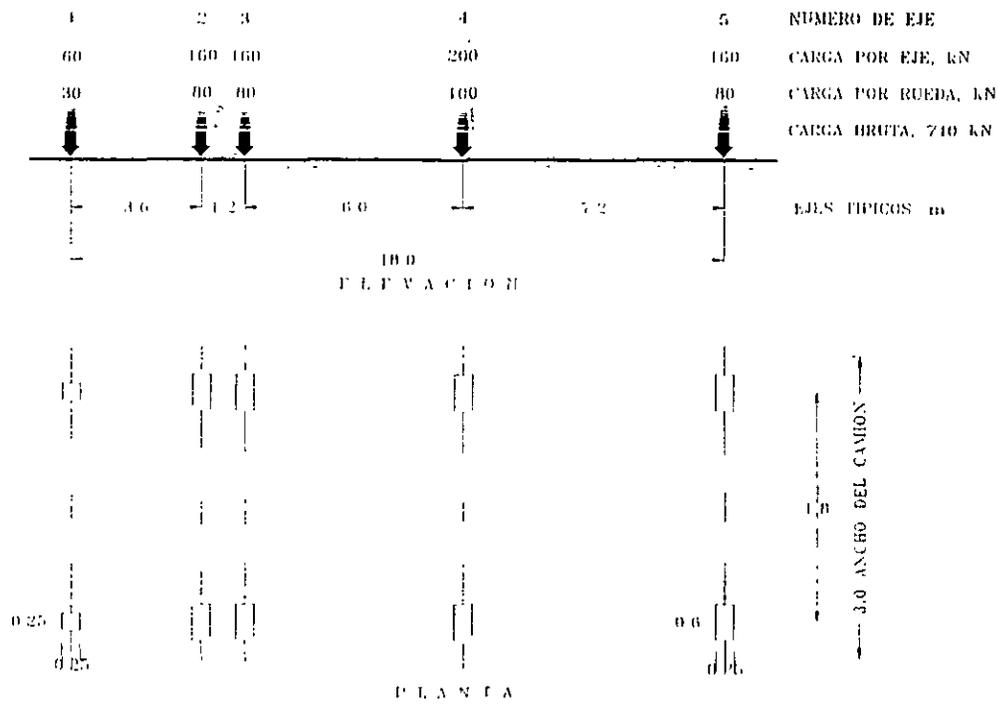
FACTOR DE MODIFICACIÓN POR MULTIPLICIDAD DE CARRILES CARGADOS

NÚMERO DE CARRILES CARGADOS	FACTOR DE MODIFICACIÓN
1	1.00
2	0.90
3	0.80
4	0.70
5	0.60
6 o más	0.55

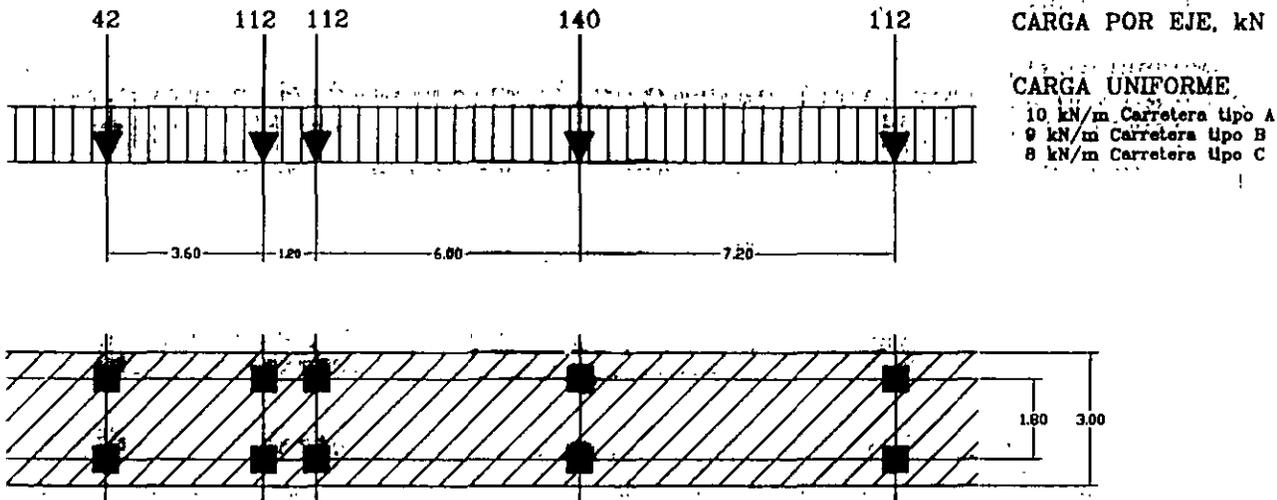
Fuente: Ontario Highway Bridge Design Code, Tercera edición, 1991

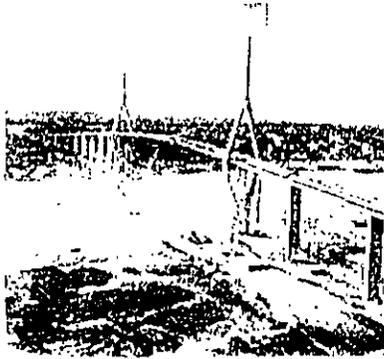
Número de carriles cargados





Modelo de carga viva, reglamento canadiense

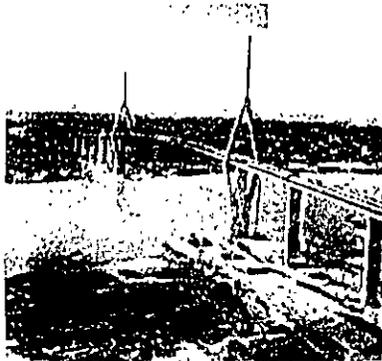




REGLAMENTO AASHTO 1993 (NO VIGENTE)

El reglamento propone los siguientes métodos de diseño:

- el método de diseño basado en esfuerzos permisibles (teoría elástica),
- método basado en factores de carga y esfuerzos últimos



CARGA VIVA

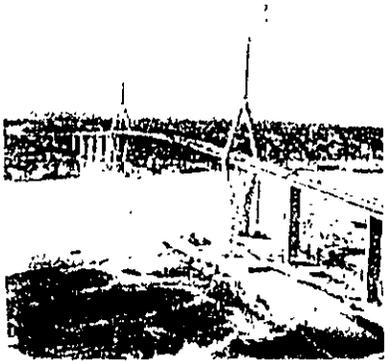
La carga viva estipulada por este reglamento consiste en:

- vehículos con dos ejes, denominado con la letra "H"
- vehículo del tipo de trailer y semirremolque con tres ejes, denominado "HS".

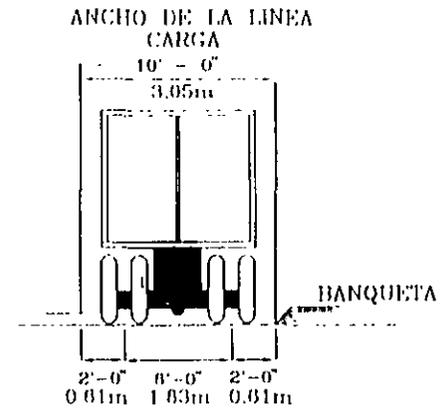
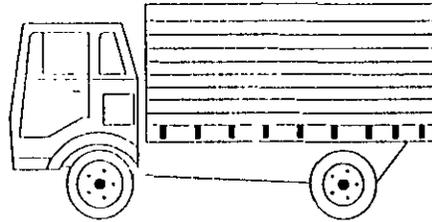
Además de estos vehículos, el reglamento define cuatro cargas uniformemente repartidas:

- dos para representar trenes de vehículos de la serie "H",
- dos para los vehículos de la serie "HS".

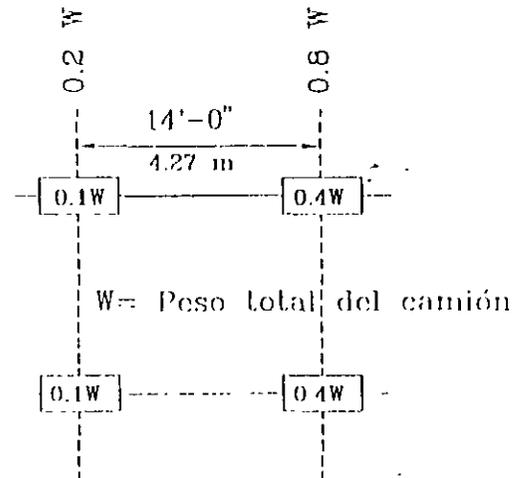
En las cargas uniformes se utiliza adicionalmente una carga concentrada, con valor diferente para el cálculo de momentos o cortantes.

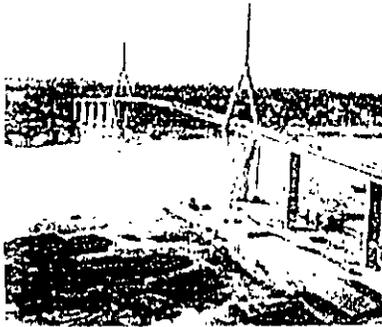


Vehículo denominado H15-44 y H20-44

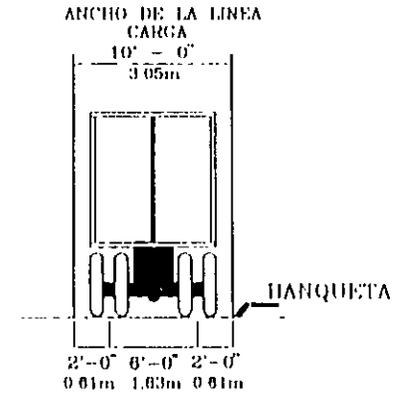
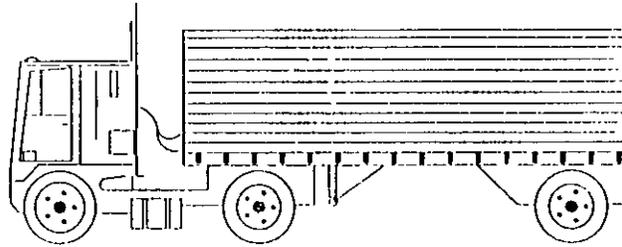


H20-44	8,000 Lbs 3,632 Kgs	32,000 Lbs 14,528 Kgs
H15-44	6,000 Lbs 2,724 Kgs	24,000 Lbs 10,896 Kgs

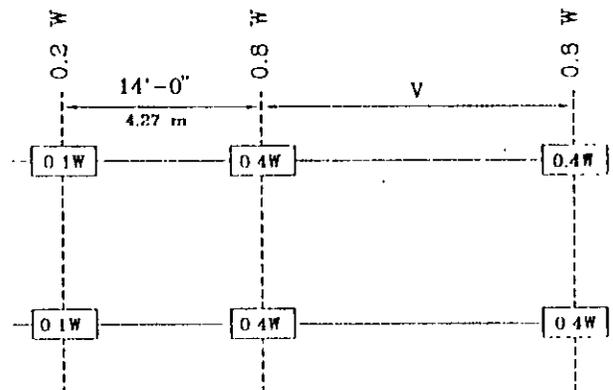




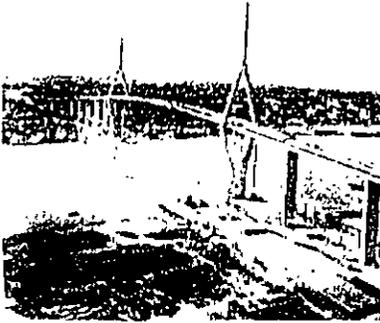
Vehículo denominado HS15-44 y HS20-44



HS20-44	8,000 Lbs 3,632 Kgs	32,000 Lbs 14,528 Kgs	32,000 Lbs 14,528 Kgs
HS15-44	6,000 Lbs 2,724 Kgs	24,000 Lbs 10,896 Kgs	24,000 Lbs 10,896 Kgs



W= Peso combinado de los dos primeros ejes
V= Separación variable



Carga uniforme mas carga puntual

CARGA CONCENTRADA 10,000 LBS. (6,172 KGS), PARA MOMENTO
20,000 LBS (11,004 KGS), PARA CORTANTE

CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA, 640 LBS POR PIE LINEAL (953.3 KG/M) DE CARRIL CARRGADO



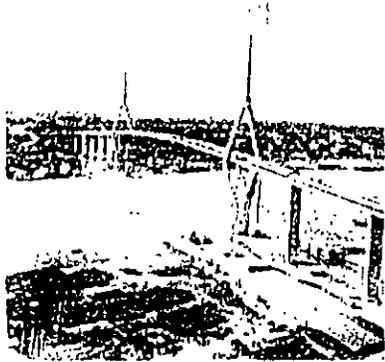
CARGA H20-44 Y HS20-44

CARGA CONCENTRADA 13,500 LBS. (6,120 KGS), PARA MOMENTO
19,500 LBS (6,053 KGS), PARA CORTANTE

CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA, 400 LBS POR PIE LINEAL (715 KG/M) DE CARRIL CARRGADO



CARGA H15-44 Y HS15-44



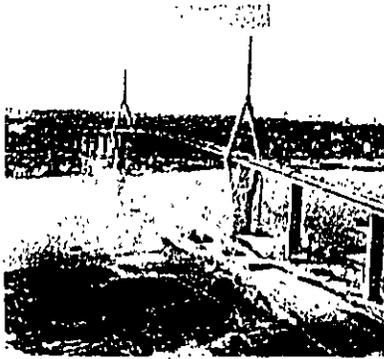
FACTOR POR MULTIPLICIDAD DE CARRILES CARGADOS

Carriles	Porcentaje
uno o dos	100
tres	90
cuatro o mas	75

Fuente: Propia basada en datos de Standard Specifications for Highway Bridges 1993

Factor de Impacto

$$I = \frac{15.24}{L + 38}$$



FACTOR DE IMPACTO O AMPLIFICACIÓN

Número de ejes	FACTOR DE IMPACTO
1	0.40
2	0.40
3 o más	0.25
Carga Uniforme	0.10
Tierra armada	0.40

Ontario Highway Bridge Design Code, Tercera edición, 1991



REGLAMENTO AASHTO 1994

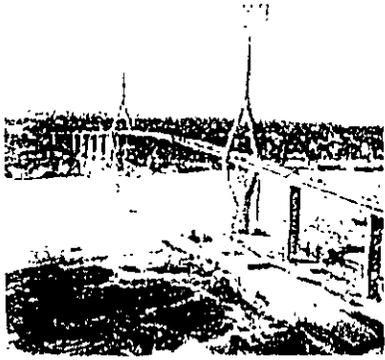
- El método de diseño empleado por esta versión del AASHTO es el “Método de Diseño Basado en Factores de Carga y Resistencia” (Load and Resistance Factor Design, LRFD).
- Este método se basa en la definición de “estados límites”.
- Los “estados límites” consideran la resistencia, la fatiga, la fractura, la serviciabilidad y la existencia de algún evento extremo, tomando en cuenta al puente en su totalidad (el suelo se incluye en la revisión).

La ecuación de los estados límites (tanto de servicio como de resistencia), que se consideran en elementos y en conexiones, debe cumplir:

$$\eta \sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_f$$

en la cual:

$$\eta = \eta_D \eta_R \eta_I > 0.95$$



$$\eta \sum \gamma_i Q_i \leq \phi R_n = R_f$$

En esta ecuación:

γ_i = factor de carga i

ϕ = factor de resistencia

η = factor relativo a la ductilidad, redundancia e importancia operacional

η_D = factor relativo a la ductilidad

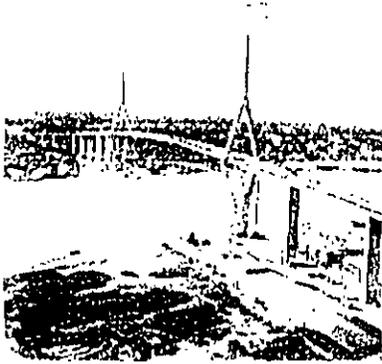
η_R = factor relativo a la redundancia

η_I = factor relativo a la importancia operacional

Q_i = efecto de la fuerza

R_n = resistencia nominal

R_f = resistencia factorizada



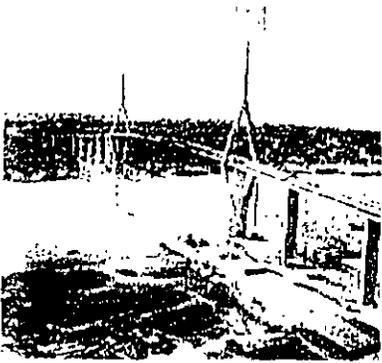
En este reglamento desaparece la denominación de las cargas “HS” y surge la de **vehículo virtual “HL-93”**.

Esta carga se llama “virtual” porque no representa algún vehículo en particular, y no intenta relacionar la carga permitida , pesos ilegales ni cargas de corta duración.

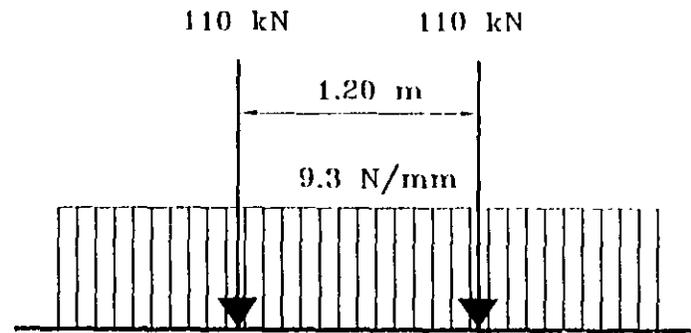
FACTOR POR MULTIPLICIDAD DE CARRILES CARGADOS

Carriles	Porcentaje
uno	120
dos	100
tres	85
cuatro o mas	65

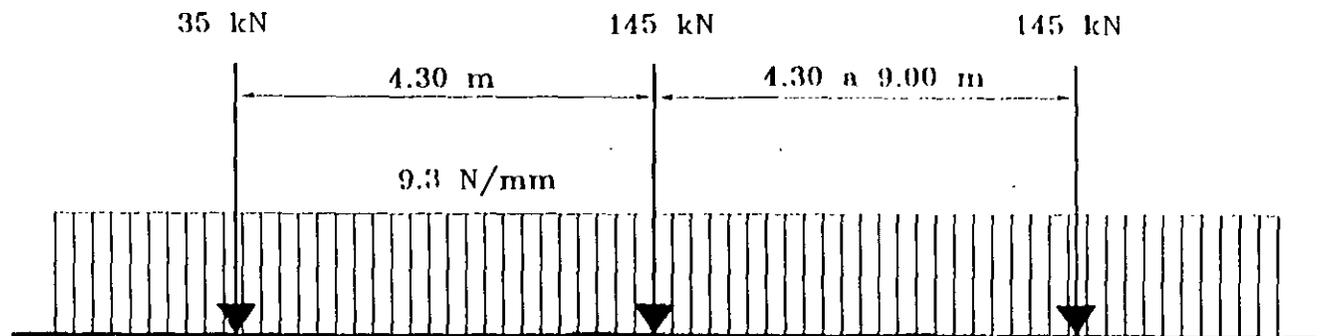
Fuente: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. Primera edición, 1994



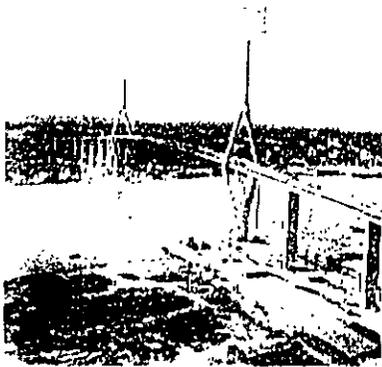
Combinaciones de cargas básicas para diseño y revisión



CARGA DE TANDEM + CARGA UNIFORME



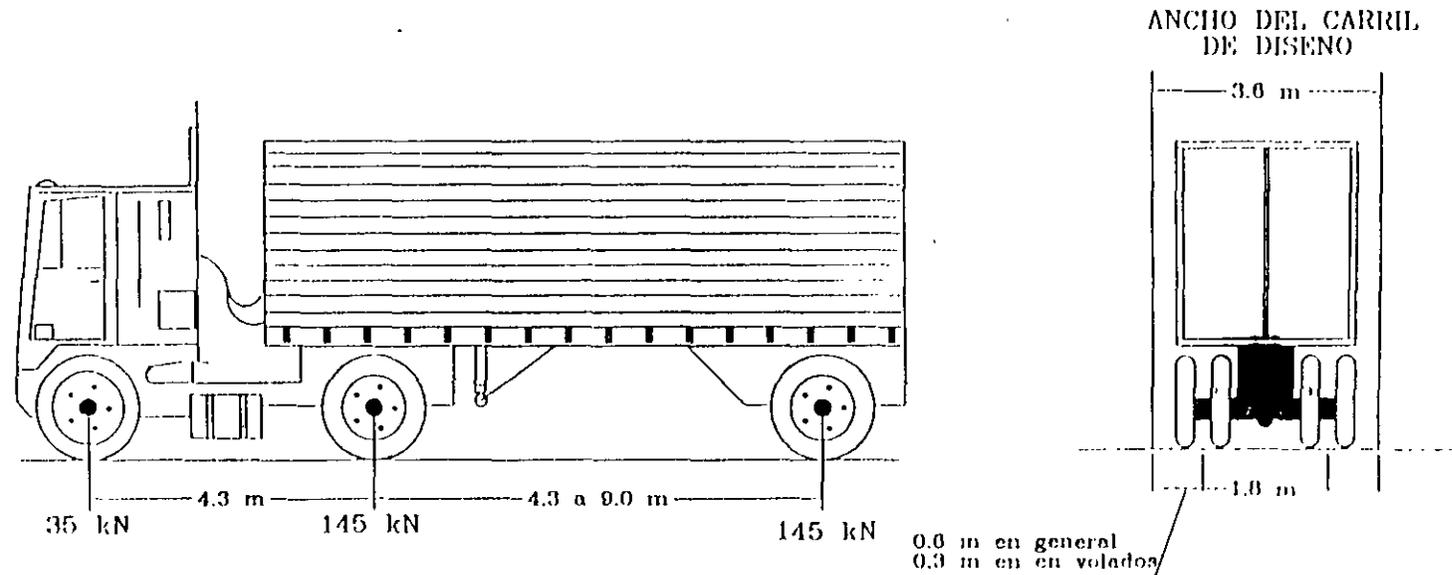
CARGA DE CAMION CON TRES EJES + CARGA UNIFORME

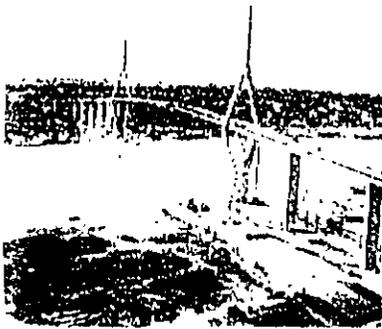


Las cargas vivas para el diseño y revisión se componen de dos combinaciones de las cargas básicas :

- vehículo de tres ejes con una carga uniforme.
- vehículo con dos ejes (tándem) con una carga uniforme

Vehículo virtual de tres ejes





FRACCION DEL TRAFICO TOTAL DE CAMIONES ASOCIADO A UN CARRIL

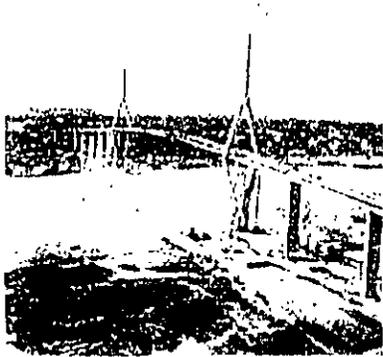
Número de carriles disponibles para camiones	p
uno	1.00
dos	0.85
tres o más	0.80

Fuente: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications
Primera edición. 1994

El concepto de factor de impacto manejado por versiones anteriores del reglamento desaparece, el cual, como se vio anteriormente, era función de la longitud. La carga dinámica se obtiene al multiplicar la carga viva virtual, por el factor

$$(1 + IM/100)$$

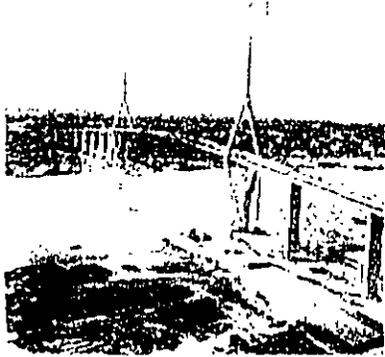
para el cual el valor de IM se obtiene de la tabla, este factor no debe aplicarse a los puentes peatonales ni a la carga uniformemente distribuida.



FACTOR DE CARGA DINAMICA PERMISIBLE

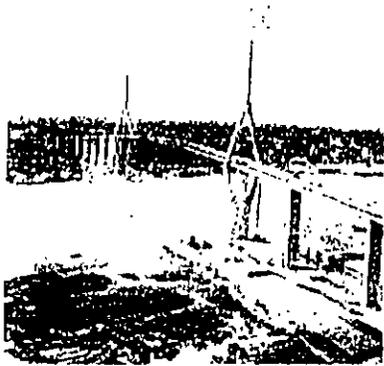
COMPONENTE	IM
Losas con juntas, en todos los estados límites	75%
Otros componentes :	
• Para estado límite de fatiga y fractura	15%
• Otros estados límites	33%

Fuente: AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Primera edición, 1994



REGLAMENTO EUROCODIGO

- El eurocódigo, es una propuesta de reglamento que trata de unificar criterios, para la construcción y proyecto de la infraestructura de los países pertenecientes a la Comunidad Económica Europea.
- Este reglamento maneja el concepto de **carga virtual** en la definición de las cargas vivas para el diseño de puentes. Como ya se menciono el concepto de carga virtual sirve para representar condiciones de tráfico y no a un vehículo en particular



Clasificación de acciones

- **acciones variables** .- tráfico de vehículos, incluyendo su efecto dinámico
- **acciones accidentales**.- corresponden a colisiones de vehículos con elementos estructurales

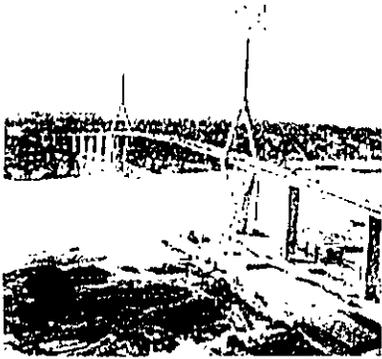
Los valores que da el reglamento para los diferentes tipos de acciones, se clasifican en uno de los siguientes grupos:

Valores característicos.- Son medidas estadísticas obtenidas al limitar la probabilidad para que dichas medidas no la excedan durante la vida útil del puente.

Valores no frecuentes.- Son valores promedio correspondientes a un período de retorno de un año.

Valores frecuentes.- Son valores promedio correspondientes a un período de retorno de una semana.

Valores quasi-permanentes.- Valores que tienen muy poca variación a lo largo del tiempo.



Los modelos de carga propuestos representan los siguientes efectos de tráfico :

Modelo de carga 1.- Carga concentrada más una carga uniforme, las cuales tratan de representar el efecto del tráfico de camiones y automóviles. Este modelo puede ser usado para verificaciones globales y locales.

Modelo de carga 2.- Carga con un eje longitudinal sobre un área de contacto de la llanta. Este modelo cubre el efecto dinámico del tráfico normal en elementos estructurales de longitud corta. Este modelo se emplea para verificaciones locales.

Modelo de carga 3.- Es un conjunto de cargas por ejes para representar cargas especiales. Este modelo se utiliza para verificaciones generales y locales.

Modelo de carga 4.- Carga de congestionamiento. Este modelo se utiliza para verificaciones generales.

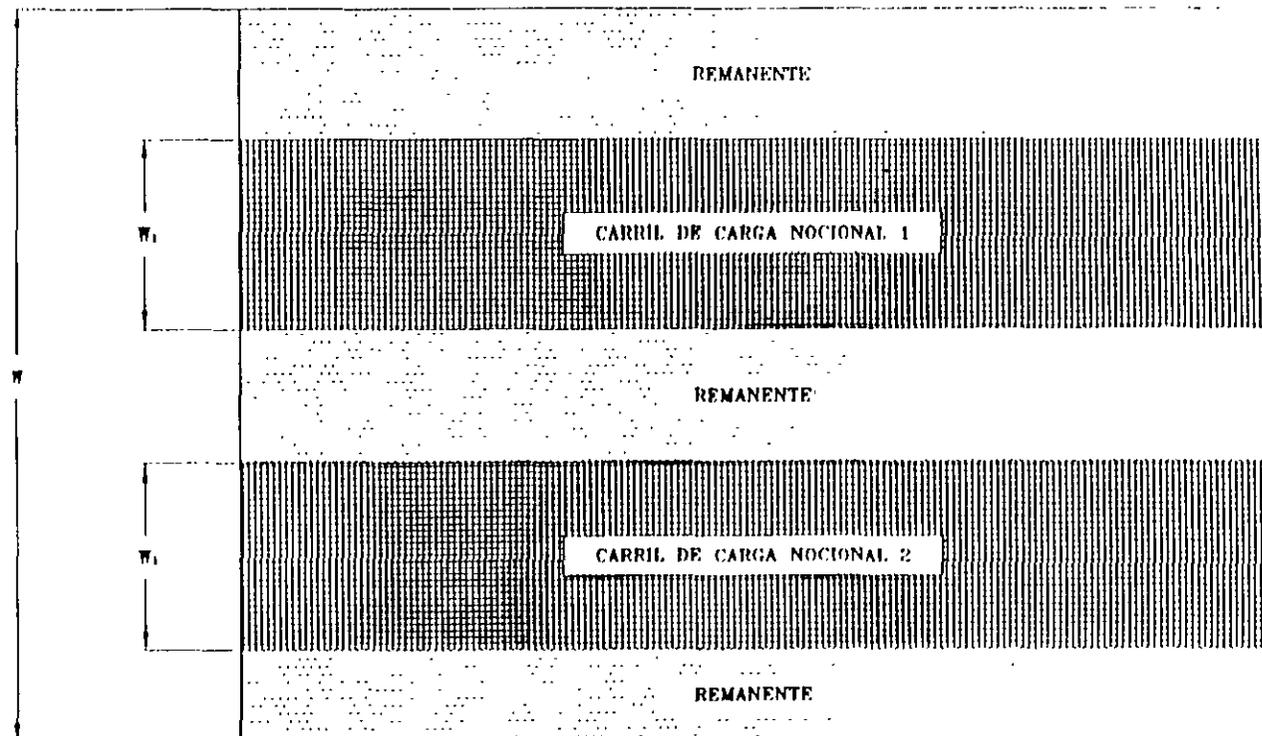


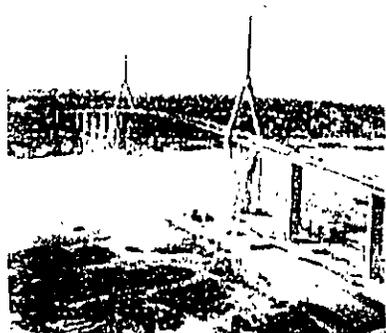
NUMERO Y ANCHO DE LOS CARRILES DE CARGA

Ancho de calzada "W"	Número de carriles de carga virtuales	Ancho del carril de carga virtual	Ancho del área remanente
$W < 5.4 \text{ m}$	$n = 1$	3 m	$W - 3$
$5.4 \text{ m} \leq W < 9 \text{ m}$	$n = 2$	$W/2$	0
$6 \leq W$	$n = \text{int}(W/3)$	3 m	$W - 3n$

Fuente: EUROCODE 1 Basis of design and actions on structures. Part 3 - Traffic loads on bridges

Arreglo típico para el manejo de los carriles de carga virtuales





Modelo de carga 1

Este sistema de cargas está formado por dos sistemas parciales:

a) Carga concentrada en dos ejes (tándem), en el que cada eje tiene un peso dado por

$$\alpha_Q Q_k$$

donde:

α_Q es un factor de ajuste

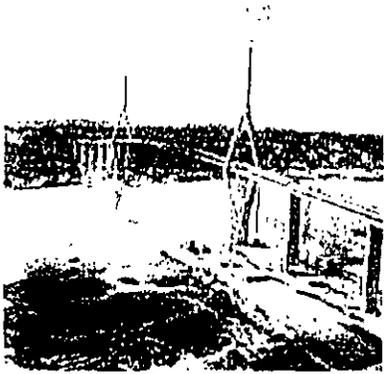
b) Carga uniformemente distribuida, con un valor por metro cuadrado dado por:

$$\alpha_q q_k$$

donde:

α_q es un factor de ajuste

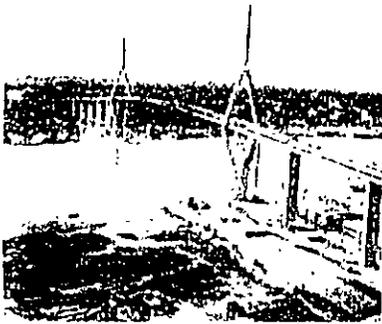
En la tabla siguiente se dan los valores básicos, en los cuales se incluye la amplificación por el efecto dinámico (factor de impacto).



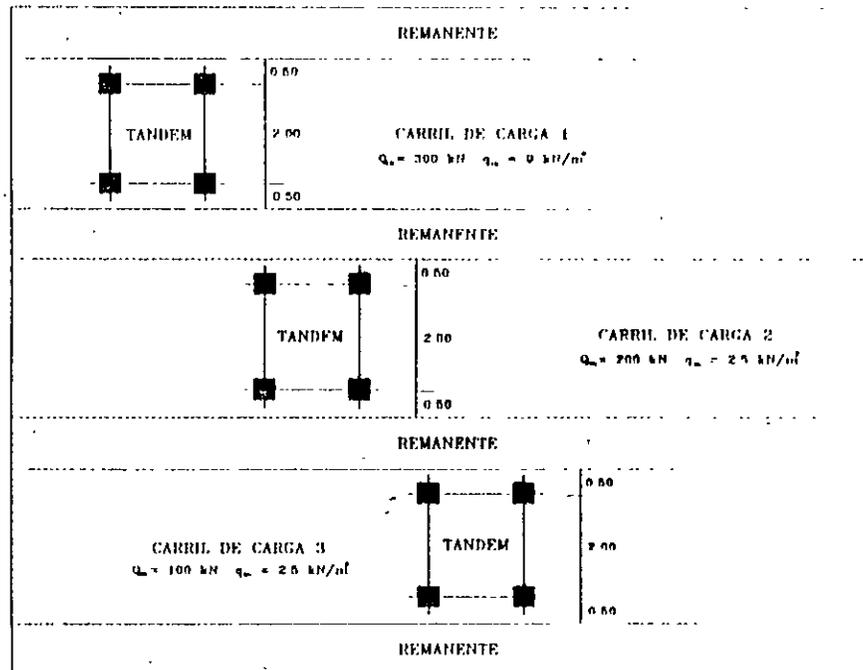
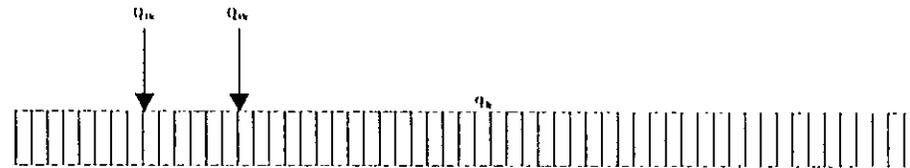
VALORES BASICOS DE LAS CARGAS

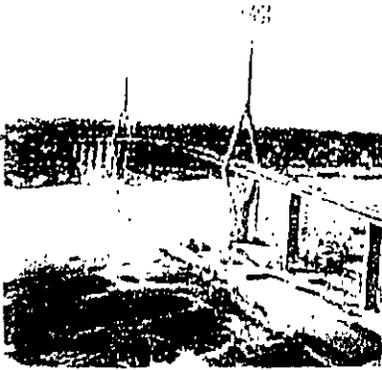
Localización	Sistema de Tándem Cargas por eje Q_{jk} (kN)	Sistema carga uniforme q_{ik} o q_{rk} (kN/m ²)
Carril número 1	300	9
Carril número 2	200	2.5
Carril número 3	100	2.5
Otro carriles	0	2.5
Area remanente (q_{jk})	0	2.5

Fuente: EUROCODE 1 Basis of design and actions on structures Part 3 : Traffic loads on bridges



Modelo de carga 1





Modelo de carga 2

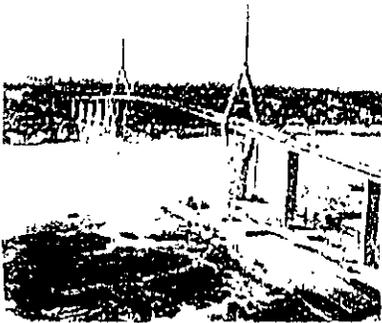
Este modelo da una carga por eje dada por

$$\beta_Q Q_{ak}$$

donde:

$Q_{ak} = 400$ kN, (con el factor de amplificación dinámica incluido)

En los dos casos donde se requiera utilizar sólo una rueda, se utilizará $Q_{ak} = 200$ kN.



Modelo de carga 2

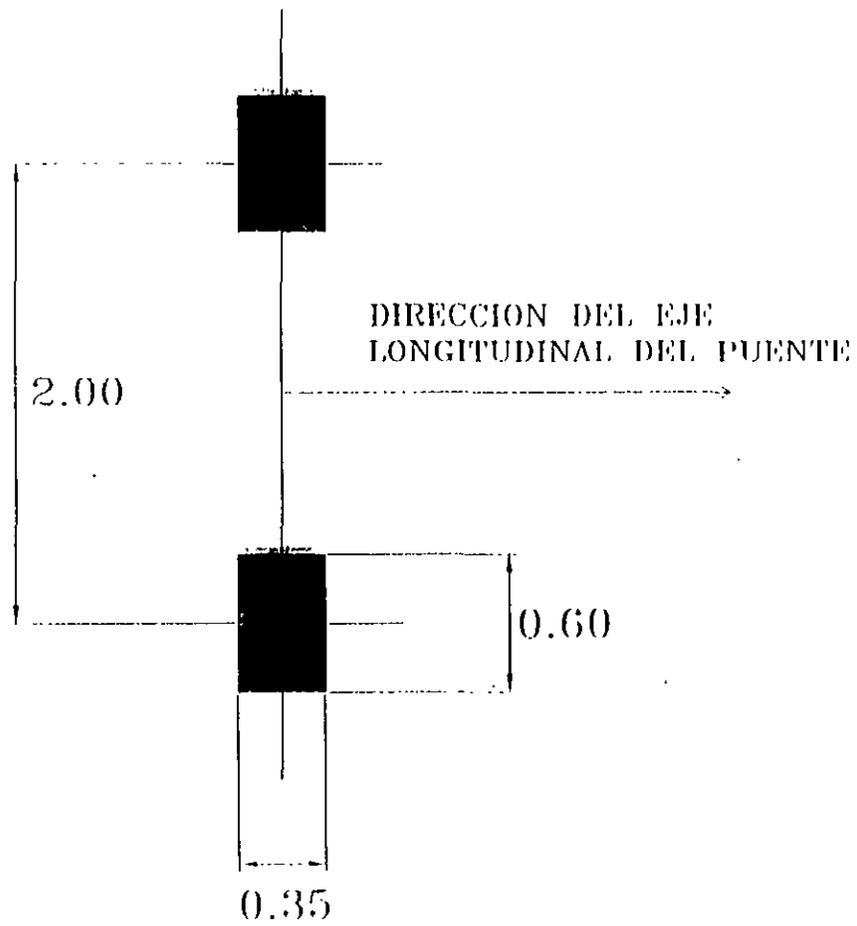




Figura 7.1 Ubicación geográfica de las estaciones de pesos y dimensiones de 1993

7.2 Número total de vehículos considerados

Para este análisis se consideraron los siguientes vehículos; C-2, C-3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4, ya que son de los que aparecen con mayor frecuencia en las muestras. En la figura 7.2 se presenta una gráfica con la muestra de los vehículos utilizados para este estudio.

Uno de los problemas que se tuvieron fue la de clasificar a los vehículos de acuerdo con la clasificación que maneja la SCT, ya que las pesadoras clasifican a los vehículos de acuerdo con el sistema utilizado en Inglaterra. Para realizar esta clasificación se hizo un programa de cómputo, el cual, para cada uno de los registros de las bases de datos, revisa el número de ejes cargados y las distancias entre ejes, y los compara con una tabla que contiene los rangos de valores típicos para los vehículos de acuerdo con el sistema de la SCT.

Otro problema que se tuvo fue el de determinar cuáles vehículos de la muestra estaban cargados. Para resolver este problema, se utilizaron los valores promedios de los pesos de vehículos vacíos que se reportan en la referencia 7. A estos valores se les incrementó un 15% para tomar en cuenta el coeficiente de variación de los promedios.

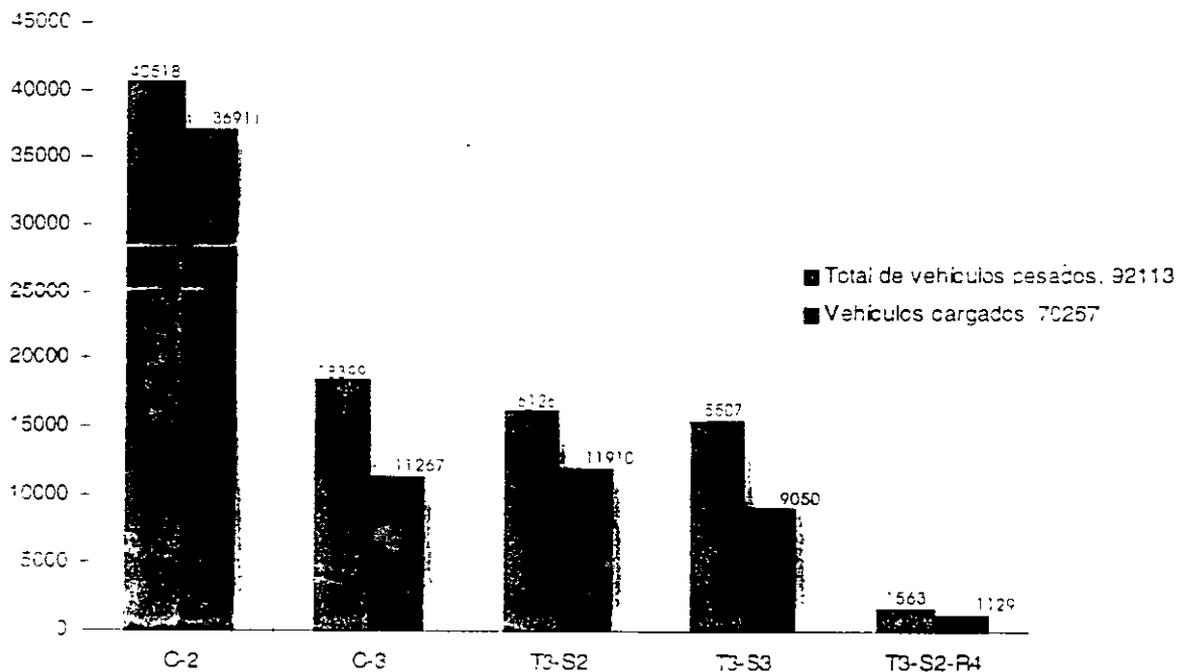


Figura 7.2 Número de vehículos incluidos en el análisis

Tabla 7.1. VALORES PROMEDIO DE LOS PESOS BRUTOS VEHICULARES Y PORCENTAJE DE VEHÍCULOS EXCEDIDOS

Vehículo	PBV prom. (kg)	PBV autorizado ² (kg)	% de vehículos excedidos ³
C-2	11,268 (0.356)	13,500 (4 llantas)	28.16 (4 llantas)
		17,500 (6 llantas)	4.96 (6 llantas)
C-3	22,825 (0.339)	19,000 (6 llantas)	37.86 (6 llantas)
		26,000 (10 llantas)	21.56 (10 llantas)
T3-S2	35,557 (0.337)	44,000 (18 llantas)	18.04 (18 llantas)
T3-S3	58,894 (0.216)	40,000 (16 llantas)	51.91 (16 llantas)
		48,500 (22 llantas)	46.75 (22 llantas)
T3-S2-R4	71,150 (0.319)	59,000 (22 llantas)	49.84 (22 llantas)
		66,500 (34 llantas)	43.44 (34 llantas)

los valores dentro de los paréntesis son los coeficientes de variación

² Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-1995, publicada en el Diario Oficial el 4 de septiembre de 1995

³ Estos porcentajes fueron calculados con respecto al total de los vehículos pesados

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

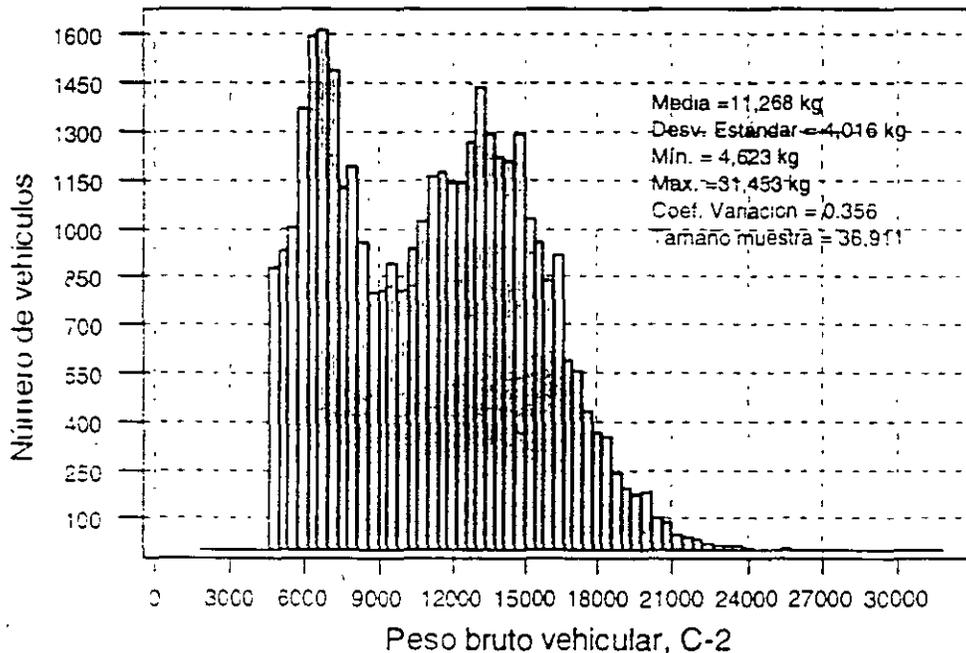


Figura 7.3 Peso bruto vehicular de vehículos cargados C-2, en kg

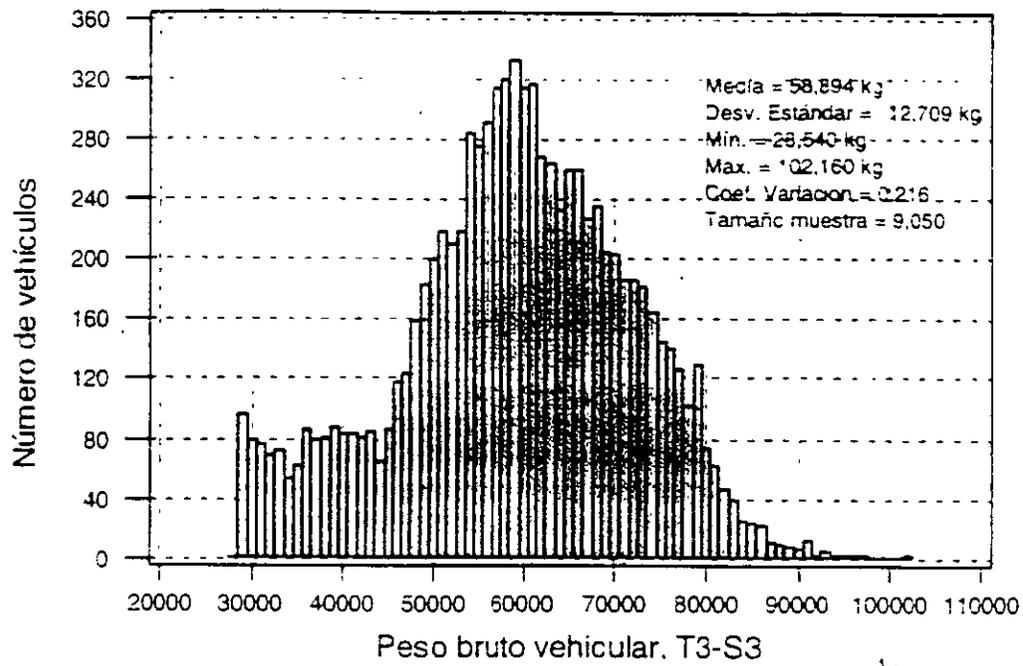


Figura 7.6 Peso bruto vehicular de vehículos cargados T3-S3, en kg

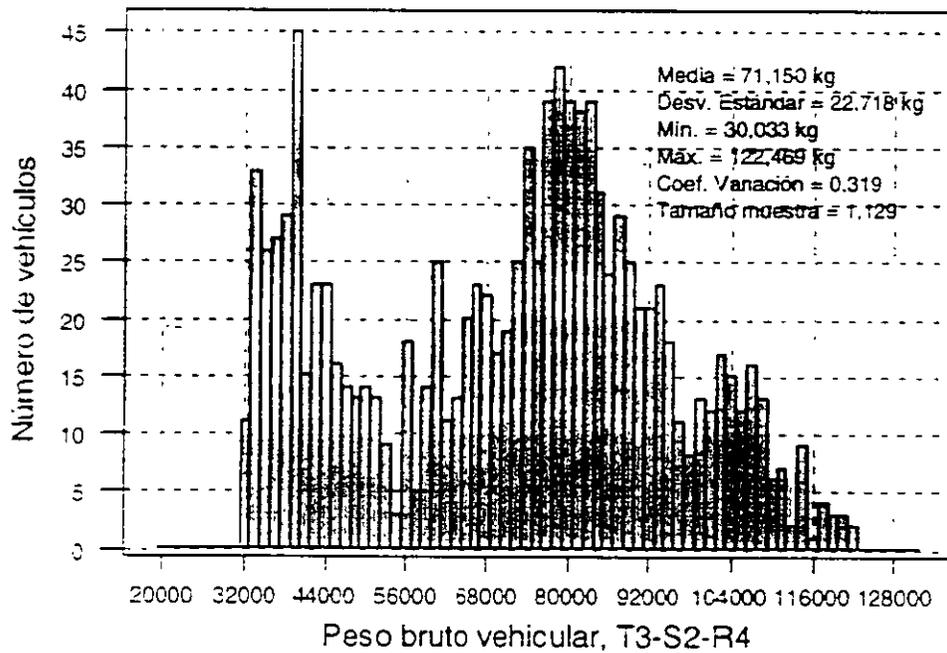


Figura 7.7 Peso bruto vehicular de vehículos cargados T3-S2-R4, en kg

7.4 Cargas por eje

Una de las variables más importantes para analizar el daño que provocan los vehículos a los puentes, son las cargas por eje, ya que los momentos y cortantes dependen directamente de la magnitud y separación de éstas. En las figuras 7.8 a 7.32, se muestran los histogramas correspondientes a cada vehículo. En la tabla 7.2 se muestra un resumen con los valores promedio.

Tabla 7.2. VALORES PROMEDIO DE LAS CARGAS POR EJE EN KG

Vehículo	Eje 1	Eje2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	Eje 6	Eje 7	Eje 8	Eje 9
C-2	3,295 (0.348)	7,970.3 (0.411)							
C-3	4,301 (0.263)	9,347.1 (0.386)	9,177.2 (0.426)						
T3-S2	4,104.5 (0.195)	7,791.7 (0.344)	7,757.2 (0.352)	7,737.6 (0.449)	8,166.4 (0.449)				
T3-S3	4,179.4 (0.189)	11,288 (0.226)	11,330 (0.229)	10,458 (0.289)	10,582 (0.272)	11,057 (0.286)			
T3-S2-R4	4,298 (0.186)	8,771.3 (0.305)	8,553.8 (0.317)	9,150 (0.358)	9,191 (0.376)	7,562.8 (0.384)	6,877.5 (0.396)	8,345 (0.403)	8,481 (0.420)

Los valores dentro de los paréntesis son los coeficientes de variación

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

El vehículo C-2 tiene una carga promedio en el eje trasero de 7.970.3 kg, lo cual, comparándolo con el autorizado para ejes de dos llantas, está 22.6 % excedido. Si se compara con el peso autorizado por eje considerando ejes con cuatro llantas, se puede ver que los valores promedio están dentro de los permitidos por el reglamento.

En el caso del vehículo C-3, los dos ejes traseros forman lo que se llama un tándem doble. La carga total asociada al tándem doble se obtiene sumando los dos últimos ejes, lo cual, para el vehículo C-3, da 18,524.3 kg. El valor autorizado para un tándem doble con cuatro llantas es de 11,000 kg, con lo cual se observa que los vehículos C-3, en promedio, para el tándem trasero, están excedidos en un 68.4 %.

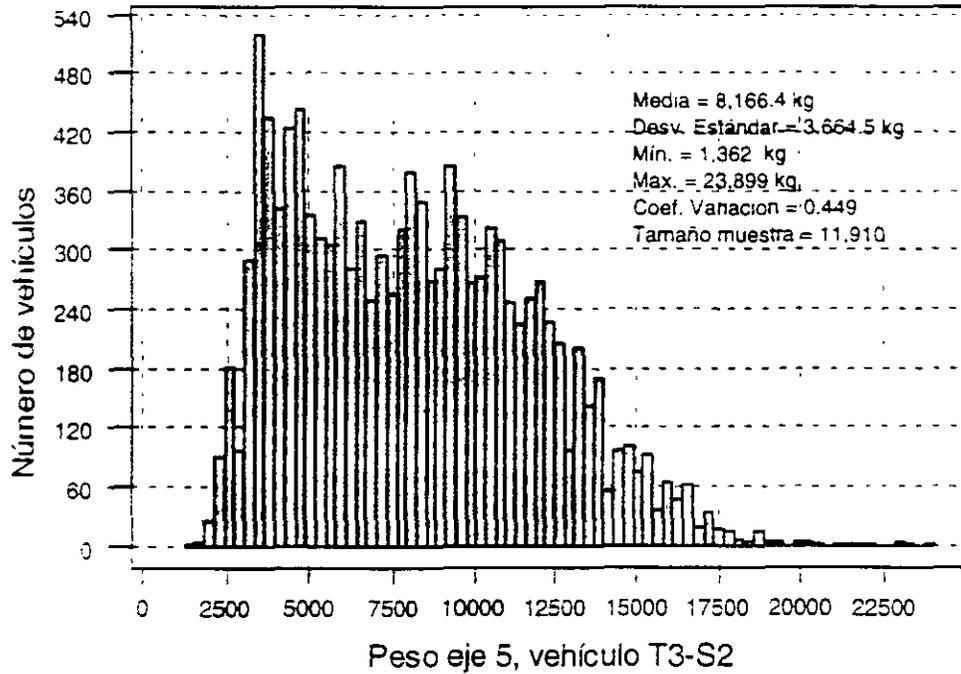


Figura 7.17 Peso quinto eje vehículo T3-S2, en kg

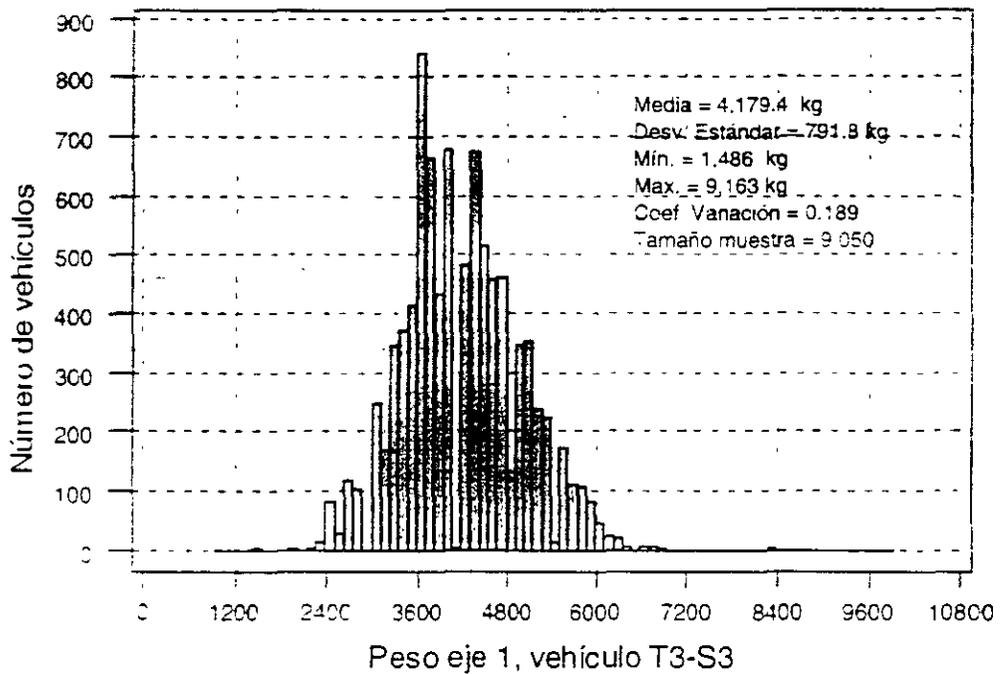


Figura 7.18 Peso primer eje vehículo T3-S3, en kg

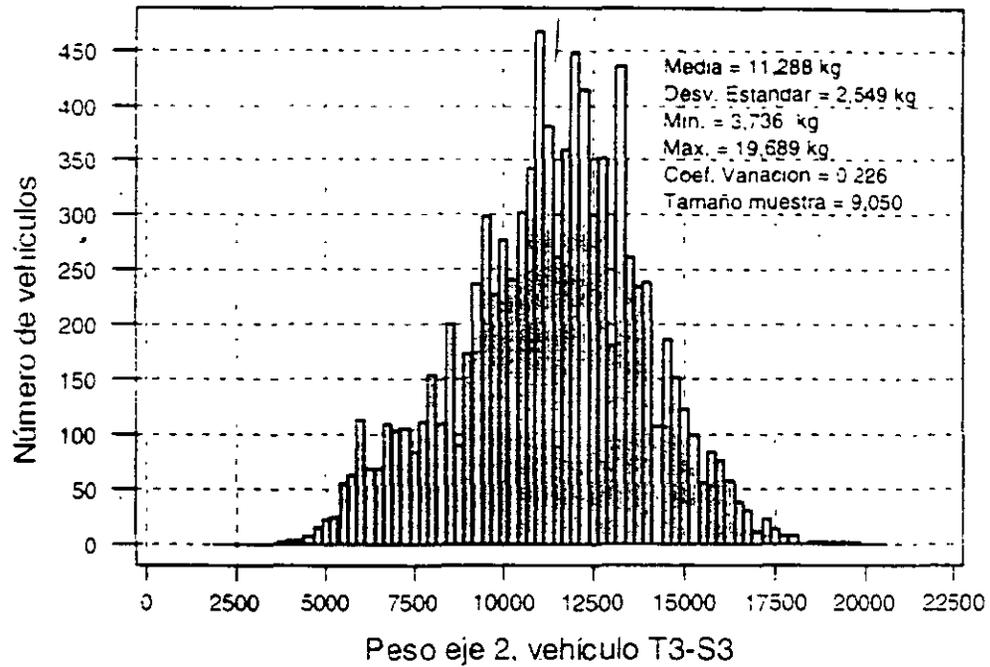


Figura 7.19 Peso segundo eje vehículo T3-S3, en kg

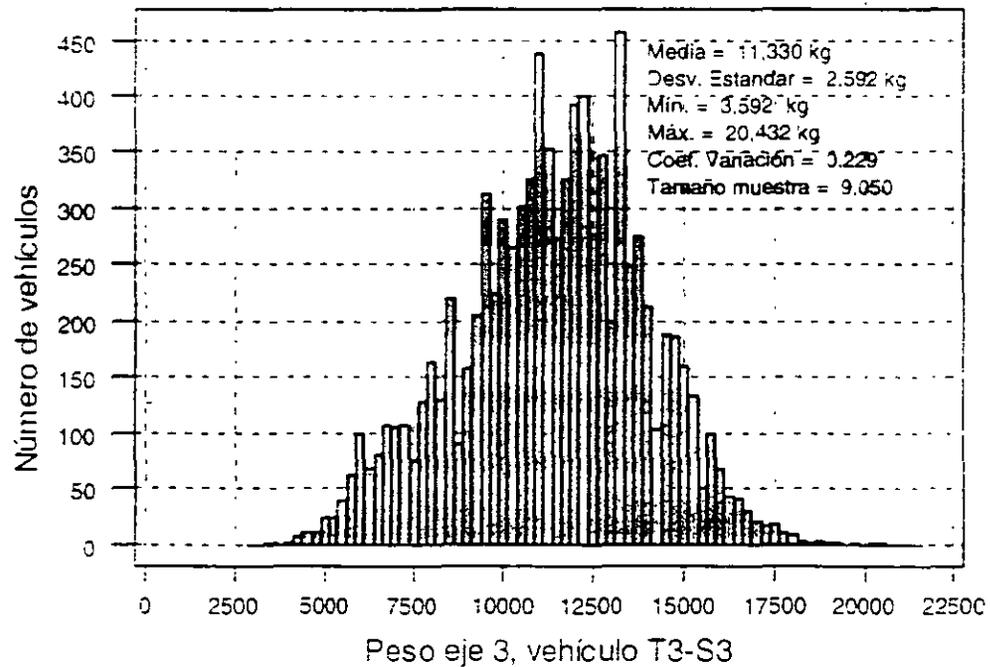


Figura 7.20 Peso tercer eje vehículo T3-S3, en kg

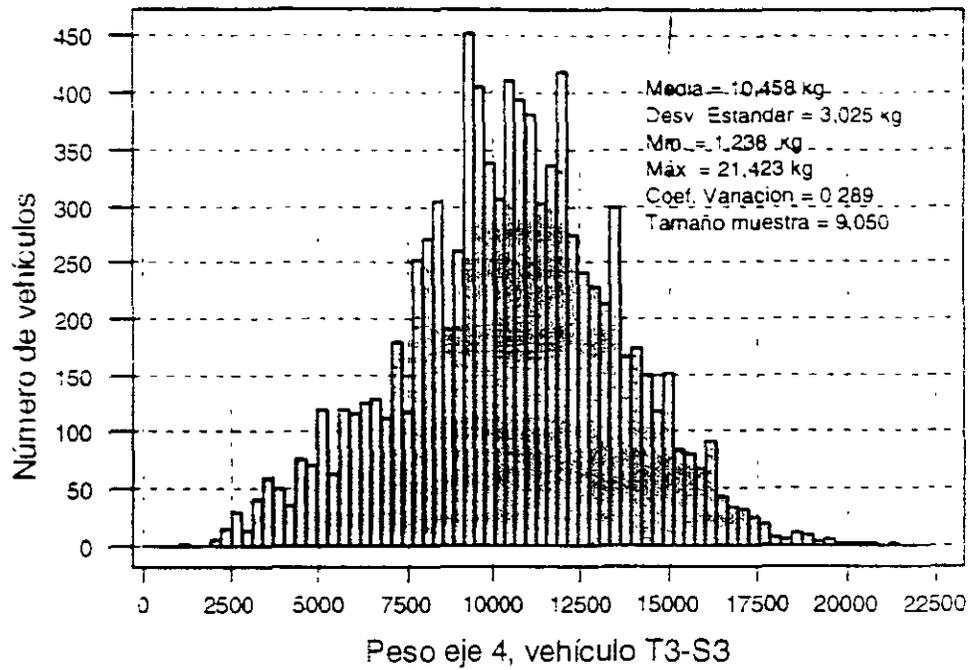


Figura 7.21 Peso cuarto eje vehículo T3-S3, en kg

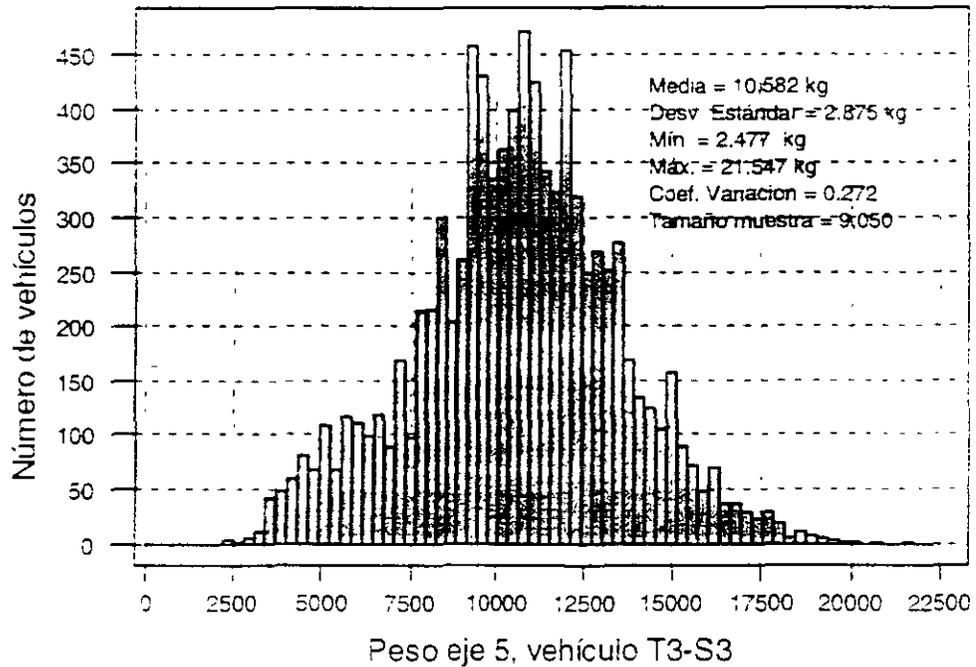


Figura 7.22 Peso quinto eje vehículo T3-S3, en kg

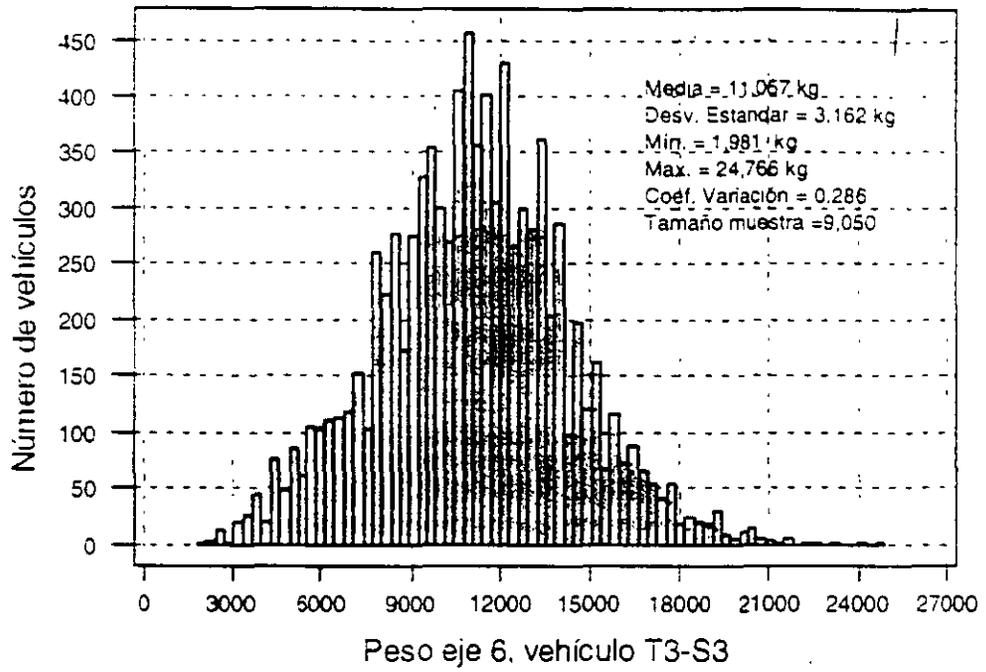


Figura 7.23 Peso sexto eje vehículo T3-S3, en kg

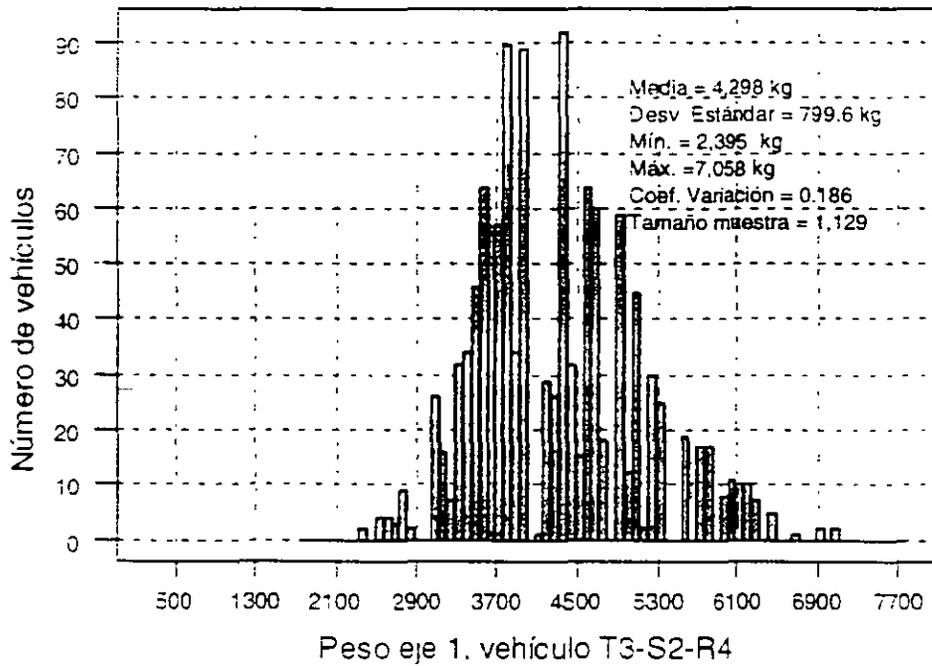


Figura 7.24 Peso primer eje vehículo T3-S2-R4, en kg

Tabla 7.3. LONGITUDES TOTALES PROMEDIO ENTRE EJES, EN CMS

Tipo de vehículo	Longitud total entre eje en cm.	PBV en kg obtenido con la formula puente	PBV promedio en kgs
C-2	528.12 (0.172)	24,290	11,268
C-3	629.67 (0.083)	26,428	22,825
T3-S2	1,521 (0.109)	40,631	35,557
T3-S3	1,486 (0.086)	42,716	58,894
T3-S2-R4	2,478.6 (0.106)	60,404	71,150

los valores dentro del paréntesis son los coeficientes de variación

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pescs y dimensiones del año 1993

Con relación a los otros vehículos, en las longitudes entre ejes, se ven distribuciones más uniformes, con excepción del T3-S2-P4, donde se nota una gran variedad de longitudes, debido también a la gran variedad de arreglos que existen para este tipo de vehículo.

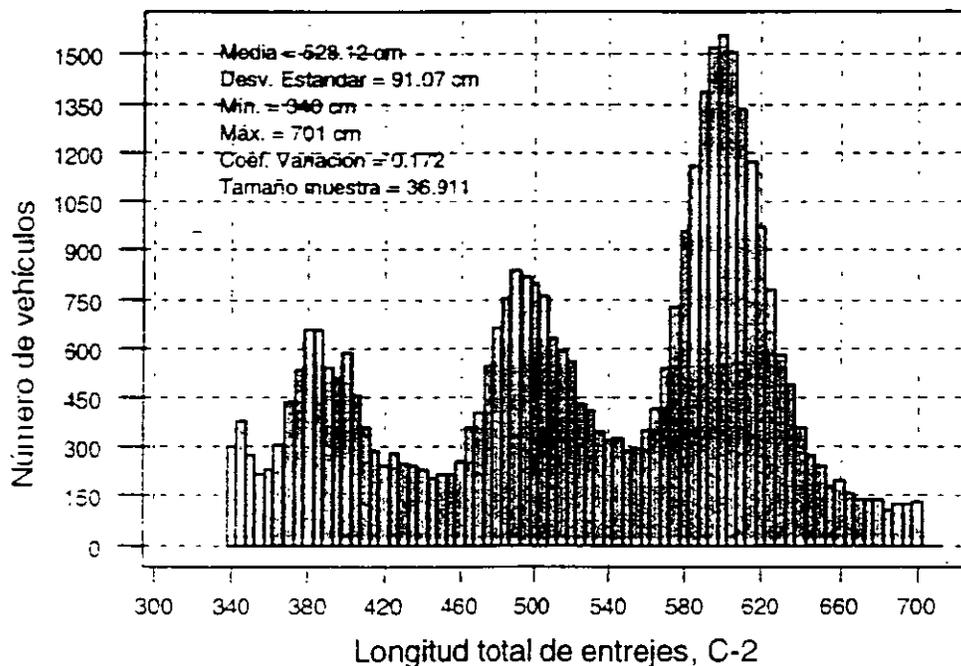


Figura 7.33 Longitud total entre ejes en cm, vehículo C-2

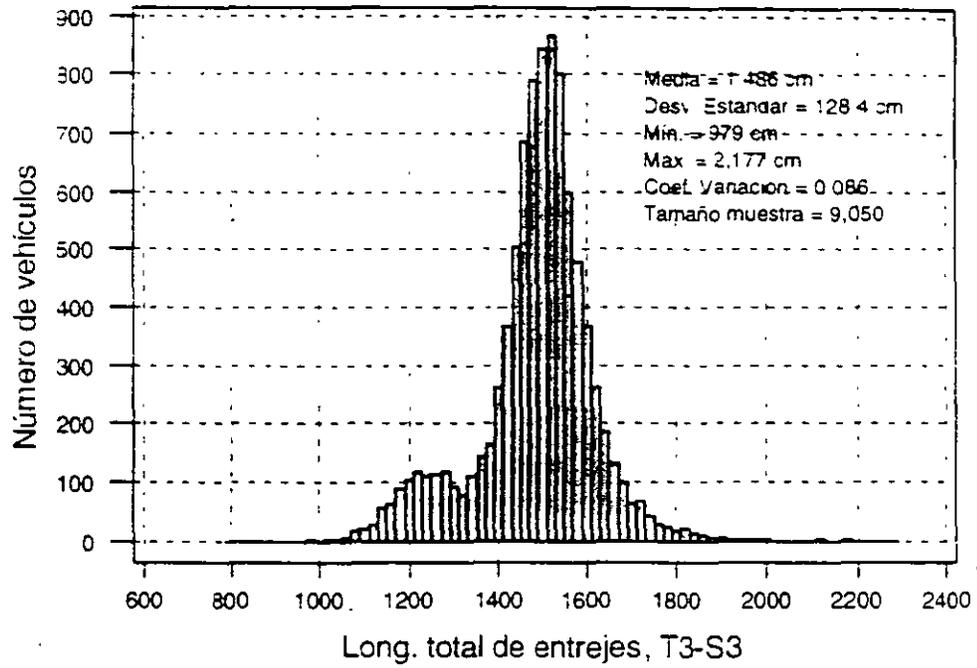


Figura 7.36 Longitud total entre ejes en cm, vehículo T3-S3

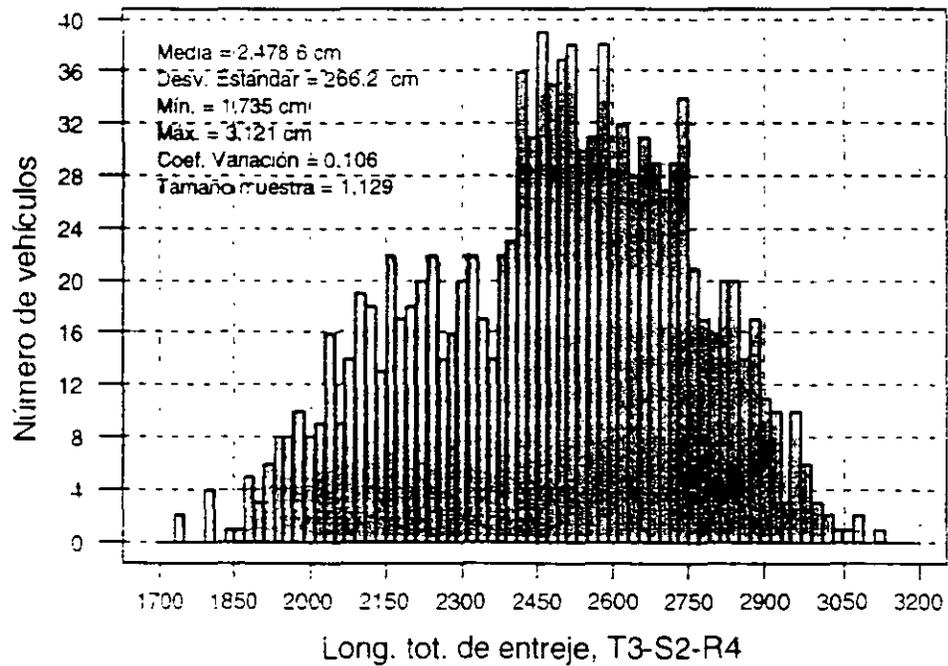


Figura 7.37 Longitud total entre ejes en cm, vehículo T3-S2-R4

7.6 Longitud entre ejes

En esta parte se presentan los datos referentes a la longitud de cada entre eje para cada tipo de vehículo; en la tabla 7.4 se muestra un resumen de los valores promedio para cada tipo de vehículo.

Tabla 7.4. LONGITUDES PROMEDIO DE ENTRE EJES, EN CMS

Tipo de Vehículo	E n t r e j e s							
	1	2	3	4	5	6	7	8
C-2	528.12 (0.172)							
C-3	502.42 (0.100)	127.22 (0.064)						
T3-S2	452.39 (0.122)	135.99 (0.072)	818.04 (0.174)	115.11 (0.088)				
T3-S3	454.81 (0.093)	136.74 (0.070)	657.99 (0.158)	119.01 (0.078)	117.43 (0.080)			
T3-S2-R4	481.79 (0.099)	141.95 (0.071)	672.76 (0.281)	122.27 (0.079)	238.21 (0.159)	118.88 (0.079)	591.94 (0.200)	110.78 (0.103)

Los valores dentro del paréntesis son los coeficientes de variación

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

En la figura 7.38 se muestra la distancia del entre eje correspondiente al vehículo C-2, para el cual, como ya se comentó, se pueden observar tres poblaciones de vehículos.

En las figuras 7.39 y 7.40 se presentan los datos para el vehículo C-3, en las cuales se puede ver cierta uniformidad, lo cual coincide con lo encontrado al analizar las otras variables.

En las figuras 7.41 a 7.44, se presentan los resultados para el vehículo T3-S2. En estas figuras se puede ver que existe uniformidad en los datos, excepto para el entreje 3, el cual corresponde al remolque, en el que se distinguen dos poblaciones: una alrededor de los 4.00 m y la otra por los 8.20 m.

La misma situación se presenta para el vehículo T3-S3, en el que el entre eje correspondiente al remolque presenta las mismas dos poblaciones.

Para los vehículos T3-S2-R4, la situación no es tan clara, ya que se tiene una gran dispersión de los datos para todos los entrejes. Esto se debe a que, posiblemente, existen muchos tipos de vehículos y arreglos para esta clasificación, o bien que la pesadora no hace una buena clasificación de este tipo de vehículos.

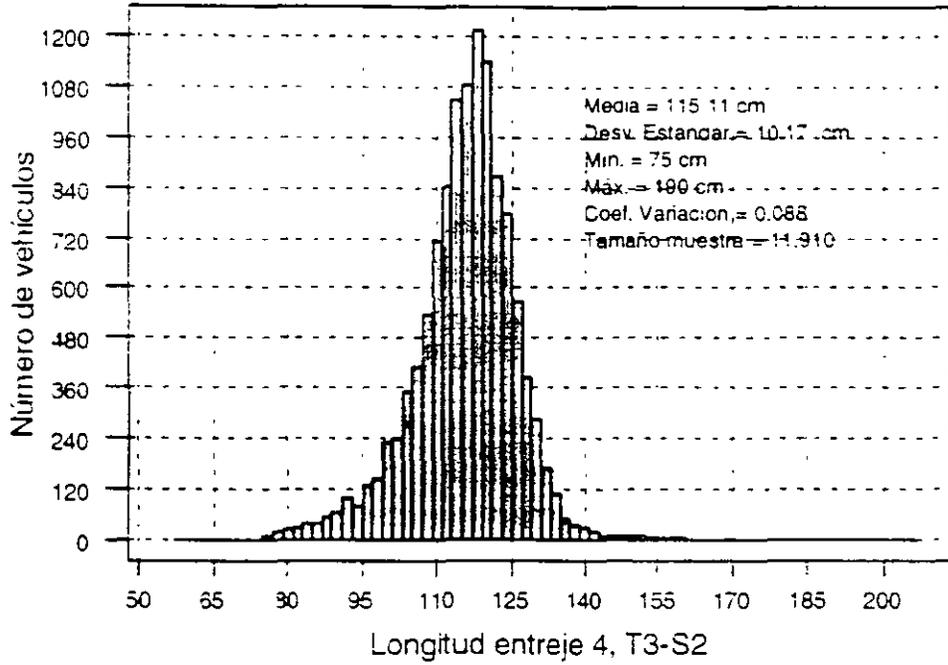


Figura 7.44 Longitud entre eje 4 en cm, vehículo T3-S2

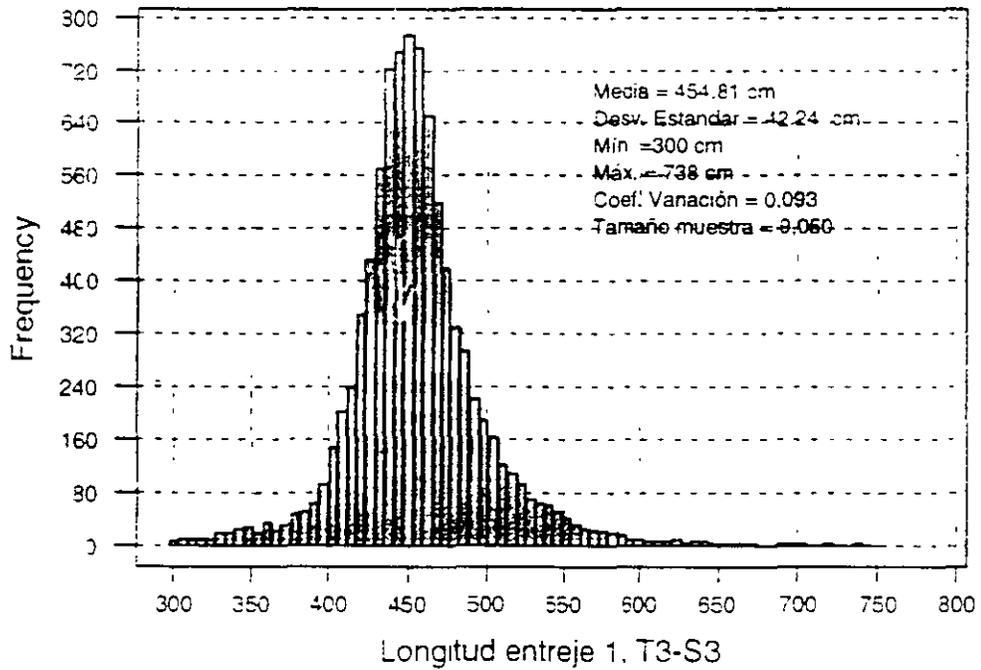


Figura 7.45 Longitud entre eje 1 en cm, vehículo T3-S3

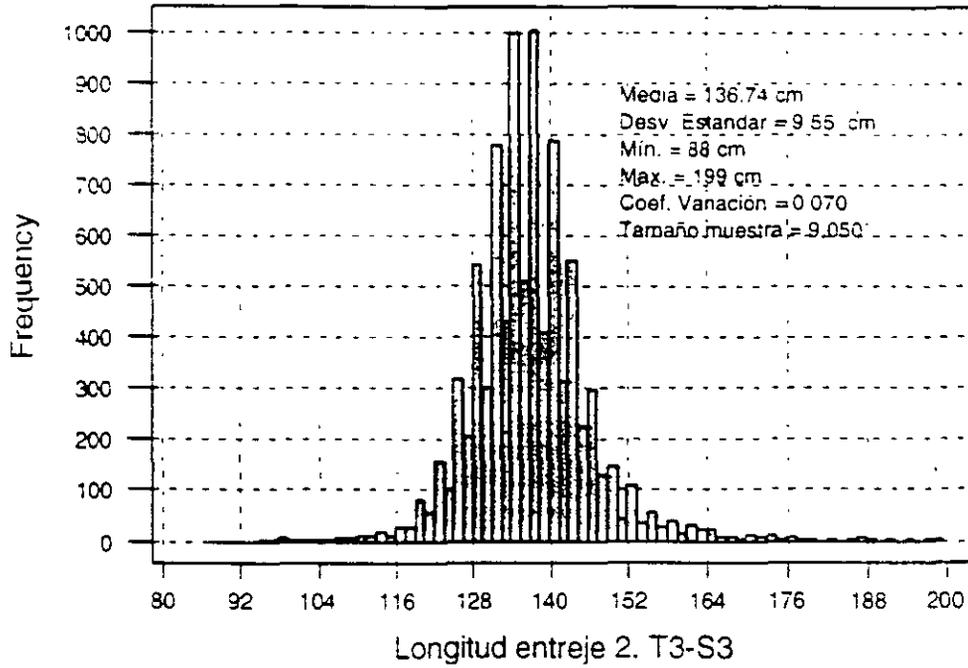


Figura 7.46 Longitud entre eje 2 en cm. vehículo T3-S3

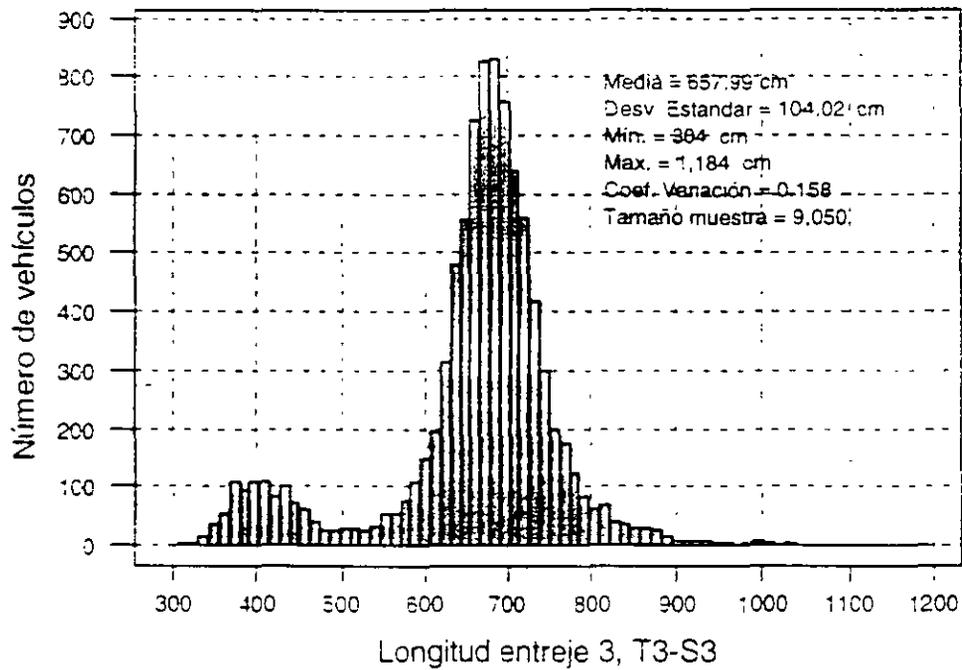


Figura 7.47 Longitud entre eje 3 en cm, vehículo T3-S3

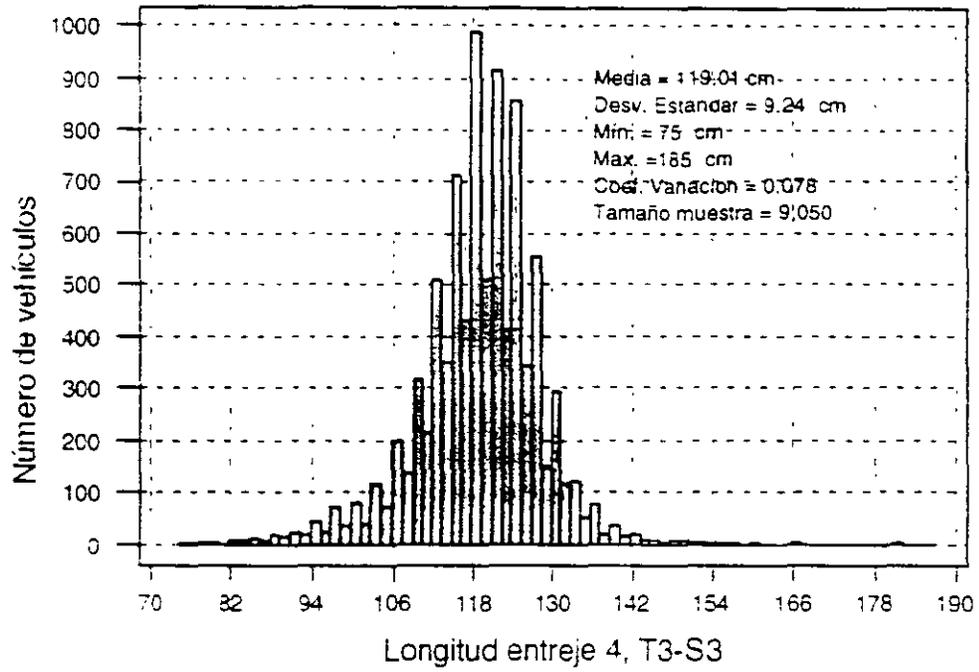


Figura 7.48 Longitud entre eje 4 en cm, vehículo T3-S3

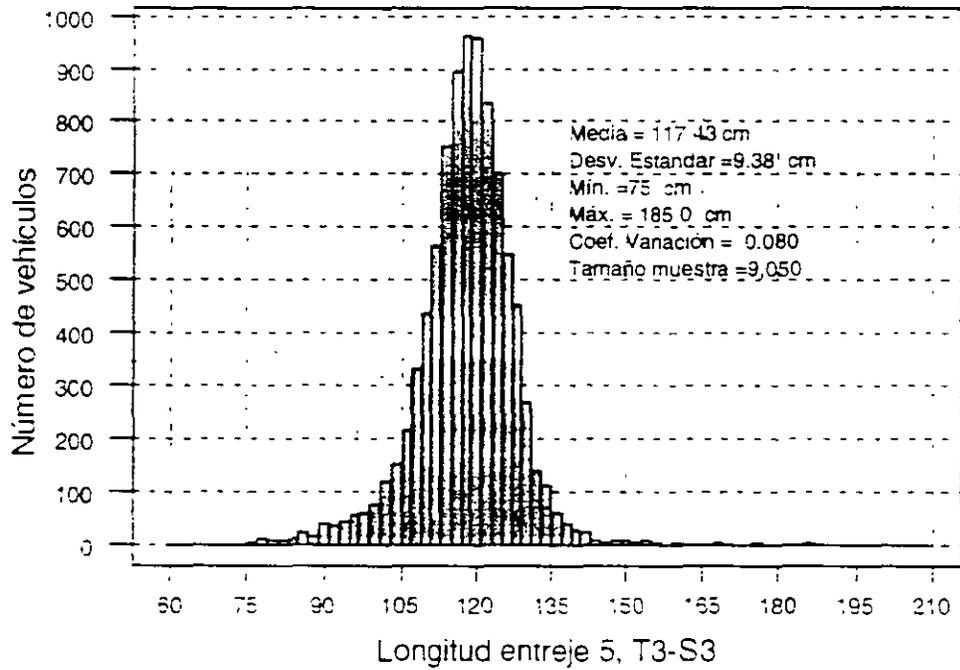


Figura 7.49 Longitud entre eje 5 en cm, vehículo T3-S3

7.7 Momentos y cortantes máximos

Para tres claros de puentes simplemente apoyados; 15, 30 y 45 m, se calculó el momento y cortante máximo correspondientes a los 70.267 vehículos considerados en el análisis estadístico.

El algoritmo para el cálculo de momentos y cortantes se describe a continuación.

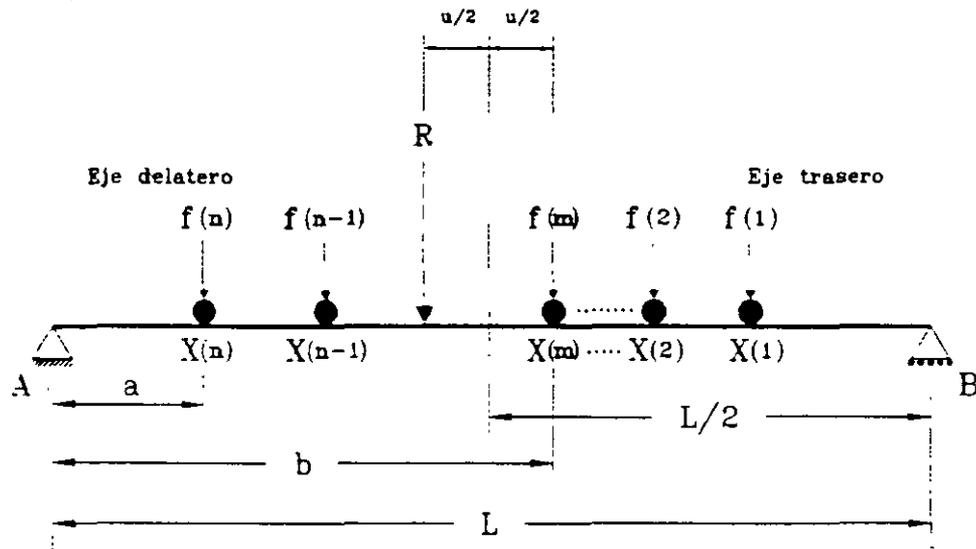


Figura 7.56 Viga simplemente apoyada con cargas móviles

El significado de las variables mostradas en la figura 7.56 es el siguiente :

- R , es la resultante o peso bruto vehicular.
- b , es la distancia del apoyo A a la llanta donde cambia de signo el cortante y ocurre el máximo momento, llanta "m".
- a , es la distancia del eje delantero al apoyo A
- u , es la distancia de la llanta "m" a donde actúa la fuerza R .
- L , es la longitud de la viga.
- A y B, son los apoyos izquierdo y derecho, respectivamente.
- n , es el número de ejes del vehículo.

En la figura 7.56, el eje trasero es la llanta "1", y así sucesivamente, hasta la n -ésima que corresponde al eje delantero. la razón de esta convención, es para dar los resultados de manera consistente invariablemente.

El algoritmo para encontrar el momento flexionante máximo, se base en dos conceptos; el primero es que cuando el cortante cambia de signo, se tiene el momento flexionante máximo; el segundo, es que la resultante "R" y la llanta "m"

El diagrama de bloques del programa desarrollado es el siguiente:

Lee datos básicos; coordenadas de los entrejes y las cargas asociadas.
 $X(i)$ y $f(i)$

Si el vehículo no cabe en el puente, el programa genera todos los posibles arreglos de ejes que queden dentro del puente.

Calcula en cuál llanta el cortante cambia de signo.

$$v(i) = \sum f(i) - v(i-1)$$
$$\text{criterio} = (0.5 \cdot R - v(i)) \cdot (0.5 \cdot R - v(i))$$

Para cada arreglo de ejes

Calcula la posición de la resultante R y la posición del camión.

$$xg = \sum x(i) \cdot f(i) / R$$
$$a = (l - x(m) - xg) / 2$$
$$b = a + x(m)$$

Calcula las reacciones correspondientes a la posición del momento máximo.

$$FA = R \cdot (xg + a) / l$$
$$FB = R - FA$$

Calcula el momento máximo.

$$m1 = \sum f(i) \cdot (x(i) - x(m))$$
$$M_{\max} = FB \cdot (l - x(1) + xg) / l - m1$$

Calcula el cortante máximo.

$$V_{\max} = R \cdot (l - x(1) - xg) / l$$

Para cada arreglo de ejes da el momento y cortante máximo.

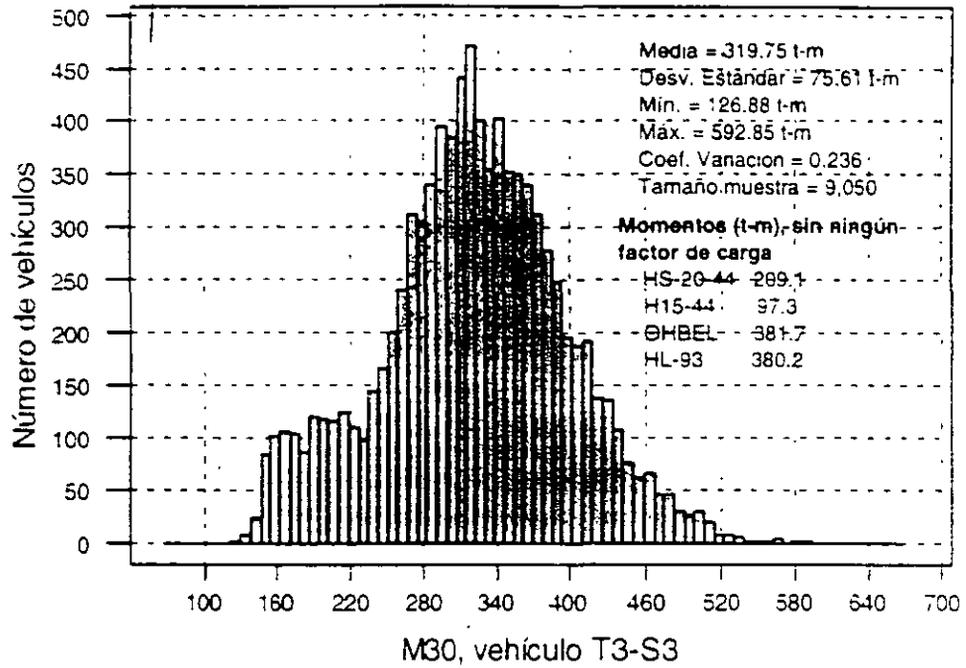


Figura 7.77 Momento longitudinal en t-m, vehículo T3-S3 y claro de 30 m

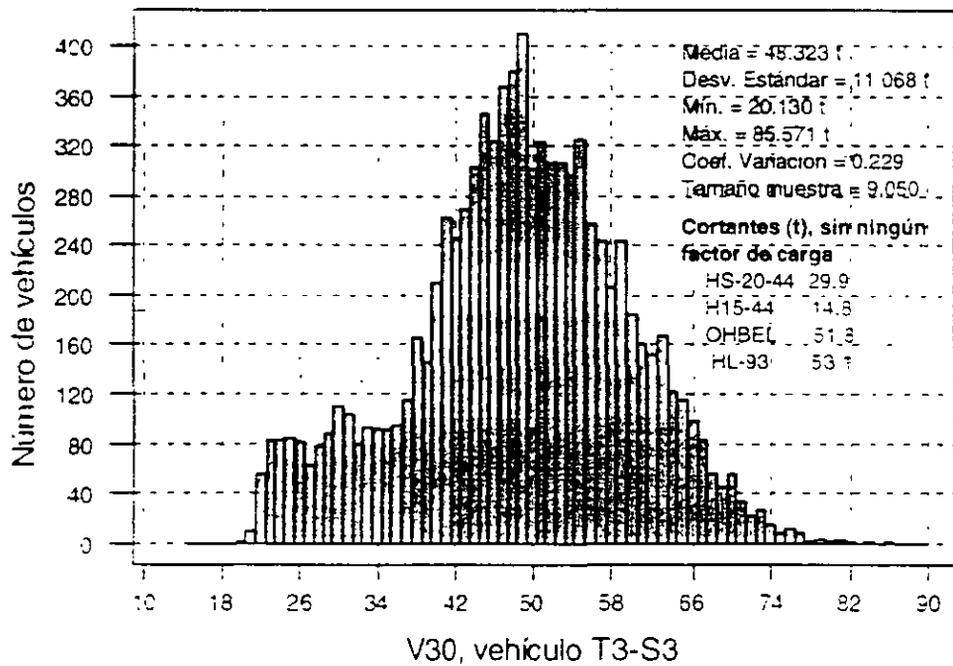


Figura 7.78 Cortante longitudinal en ton, vehículo T3-S3 y claro de 30 m

Tabla 7.5. PORCENTAJE DE VEHICULOS EXCEDIDOS CON RESPECTO A VARIOS MODELOS DE CARGA VIVA. PUENTES CON CLARO DE 30 M.

Tipo de vehículo	MODELO DE CARGA VIVA							
	HS-20-44		H15-44		OHBEL		HL-93	
	M	V	M	V	M	V	M	V
C-2	0.52	1.01	20.76	12.37	0	0	0	0
C-3	10.69	8.79	46.56	43.84	0	0	0	0
T3-S2	24.24	26.11	70.76	66.41	0.68	1.92	0.06	0.68
T3-S3	52.55	53.52	58.03	100	9.99	22.25	10.32	19.67
T3-S2-R4	54.64	53.04	100	100	22.0	24.89	22.33	22.33

Estos porcentajes fueron calculados con respecto al total de los vehículos pesados
 Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

Tabla 7.6. PORCENTAJE DE VEHICULOS EXCEDIDOS CON RESPECTO A VARIOS MODELOS DE CARGA VIVA. PUENTES CON CLARO DE 45 M.

Tipo de vehículo	MODELO DE CARGA VIVA							
	HS-20-44		H15-44		OHBEL		HL-93	
	M	V	M	V	M	V	M	V
C-2	0.27	0.27	22.24	24.46	0	0	0	0
C-3	9.06	3.89	47.65	47.76	0	0	0	0
T3-S2	29.21	27.66	73.24	73.24	0.06	0.06	0.68	0.68
T3-S3	54.17	53.20	100	100	3.87	6.77	6.13	9.35
T3-S2-R4	56.88	54.32	100	100	12.73	14.65	17.85	17.21

Estos porcentajes fueron calculados con respecto al total de los vehículos pesados
 Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

Tabla 7.2. MOMENTOS PROMEDIO Y SU COMPARACION CON LOS QUE PRODUCEN EL VEHICULO HS20-44

Tipo de vehículo	Momento en t-m, para los tres claros			Cociente entre el momento que produce el vehículo HS-20-44 y la media de los momentos calculados.		
	15 m	30 m	45 m	15 m	30 m	45 m
C-2	32.87 (0.413)	77.56 (0.343)	122.70 (0.325)	2.611	2.696	2.724
C-3	69.05 (0.369)	154.58 (0.353)	240.15 (0.348)	1.243	1.353	1.392
T3-S2	57.77 (0.386)	184.35 (0.351)	316.69 (0.343)	1.485	1.134	1.055
T3-S3	106.79 (0.279)	319.75 (0.236)	539.15 (0.227)	0.804	0.654	0.620
T3-S2-R4	96.48 (0.374)	317.95 (0.360)	552.91 (0.307)	0.899	0.658	0.605

los valores dentro del parénesis son los coeficientes de variación

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

Tabla 7.3. CORTANTES PROMEDIO Y SU COMPARACION CON LOS QUE PRODUCEN EL VEHICULO HS20-44

Tipo de vehículo	Cortantes en t, para los tres claros			Cociente entre el cortante que produce el vehículo HS-20-44 y la media de los cortantes calculados.		
	15 m	30 m	45 m	15 m	30 m	45 m
C-2	10.25 (0.349)	11.17 (0.317)	11.48 (0.309)	2.611	2.677	2.908
C-3	20.22 (0.359)	21.52 (0.348)	21.96 (0.345)	1.323	1.389	1.520
T3-S2	20.66 (0.424)	28.01 (0.369)	30.52 (0.356)	1.295	1.067	1.094
T3-S3	37.86 (0.255)	48.32 (0.229)	51.85 (0.223)	0.707	0.619	0.644
T3-S2-R4	30.40 (0.375)	44.35 (0.365)	54.46 (0.321)	0.880	0.674	0.613

los valores dentro del parénesis son los coeficientes de variación

Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

En las tablas 7.4, 7.5 y 7.6 se presentan los porcentajes de vehículos que exceden el momento y el cortante que producen los reglamentos a los que se hace referencia.

En la tabla 7.4, están los resultados correspondientes al claro de 15m. En ella se destaca que el 44.17 % y el 50.62 % de los vehículos T3-S3, exceden el momento y el cortante, respectivamente, del que produce un vehículo HS-20-44. Para el vehículo C-2, se observa que los momentos y cortantes que produce el vehículo H15-44 exceden el 14.59 % y el 21.5 %, respectivamente. En general, se puede observar que las cargas propuestas por los reglamentos de Ontario y el AASHTO nuevo, producen elementos mecánicos más acordes con las nuevas cargas que se ven en las carreteras mexicanas.

La situación anterior se va agravando conforme se aumenta el claro del puente (tablas 7.5 y 7.6), llegándose a valores del 54.17 % y 53.20 % de excedencia en momentos y cortantes respectivamente para el vehículo T3-S3 con respecto al vehículo HS20-44.

Tabla 7.4. PORCENTAJE DE VEHICULOS EXCEDIDOS CON RESPECTO A VARIOS MODELOS DE CARGA VIVA. PUENTES CON CLARO DE 15 M.

Tipo de vehículo	MODELO DE CARGA VIVA							
	HS-20-44		H15-44		OHBEL		HL-93	
	M	V	M	V	M	V	M	V
C-2	0.27'	0.64	14.59	21.5	0	0	0	0
C-3	17.21	12.32	44.38	46.29	0.36	0.47	0.91	0.46
T3-S2	8.43	17.74	44.71	54.63	0.68	1.30	1.30	0.68
T3-S3	44.17	50.62	57.1	57.72	7.42	22.25	8.70	21.60
T3-S2-R4	45.04	44.08	62.31	67.43	8.25	13.37	9.53	12.73

Estos porcentajes fueron calculados con respecto al total de los vehículos pesados
Fuente: Propia, con los datos de los histogramas generados a partir de las bases de datos de pesos y dimensiones del año 1993

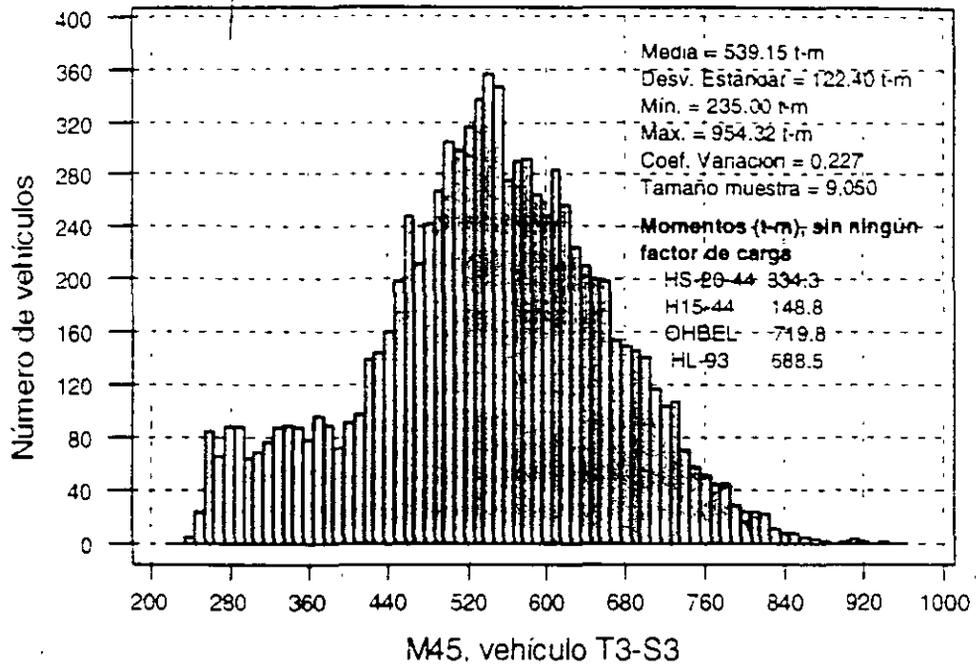


Figura 7.79 Momento longitudinal en t-m, vehículo T3-S3 y claro de 45 m

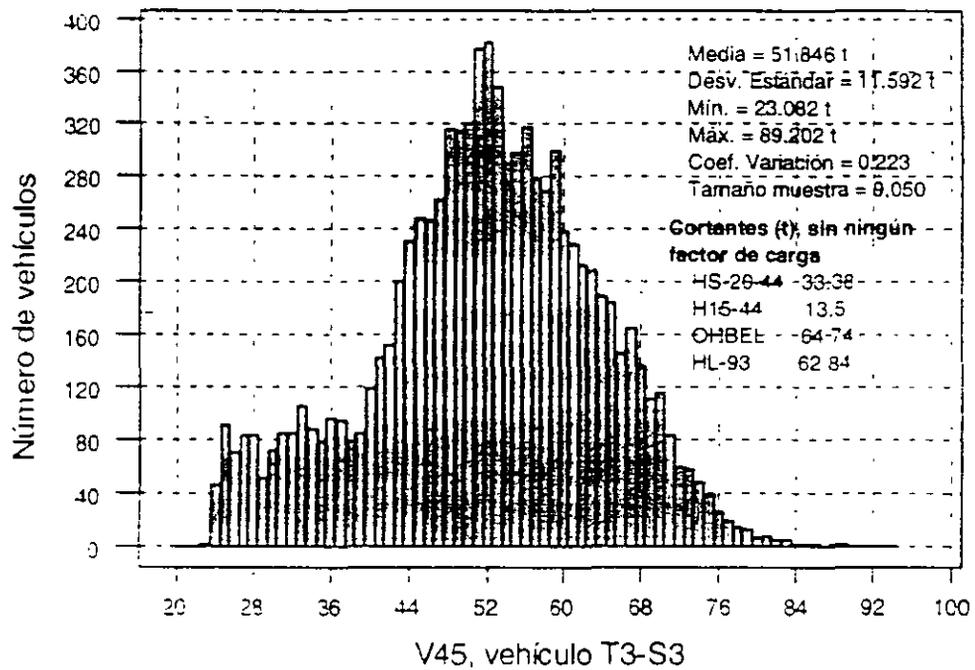


Figura 7.80 Cortante longitudinal en ton, vehículo T3-S3 y claro de 45 m

Sistema de Administración de Puentes

El establecimiento de cualquier sistema de administración de puentes ineludiblemente necesita apoyarse en dos herramientas básicas.

- un programa de inspección sistemática
- un inventario de todos los puentes

Existe una ciencia bastante habitual en el sentido de considerar que la vida útil de las estructuras en general, y más aún las de concreto, es muy larga. El hecho de que todavía perduren puentes y acueductos construidos hace varios siglos refuerzan la idea anterior.

La realidad es que las obras empiezan a deteriorarse desde el momento mismo en que son construidas. Por lo tanto el objetivo único de la conservación de puentes es realizar todas las actividades necesarias para garantizar la seguridad y funcionalidad de los puentes y asegurar el paso del tráfico sin interrupciones o con las mínimas posibles.

Un sistema de administración de puentes incluye una diversidad de actividades tanto organizativas como administrativas y técnicas que dan como resultado una planificación y política adecuada del mantenimiento, reparación rehabilitación y sustitución de puentes.

Tipos de inspecciones

- **Rutinaria.-** Inspección superficial que puede ser realizada por el personal encargado del mantenimiento de la carretera. En general no tiene una periodicidad, sino que se realiza cuando haya oportunidad. Es esencialmente visual.
- **Principal.-** Inspección más profunda y detallada, pero que sigue siendo esencialmente visual. Debe incluir un examen de todos los elementos del puente, por lo que a menudo exige la utilización de medios auxiliares. Esta inspección debe ser periódica (cada dos años por ejemplo) y realizada por personal especialista en puentes.
- **Especial.-** Se realiza solamente como consecuencia de situaciones especiales, por ejemplo la aparición de agrietamiento importante, después de un sismo o avenida grande o por reporte de la inspección principal.

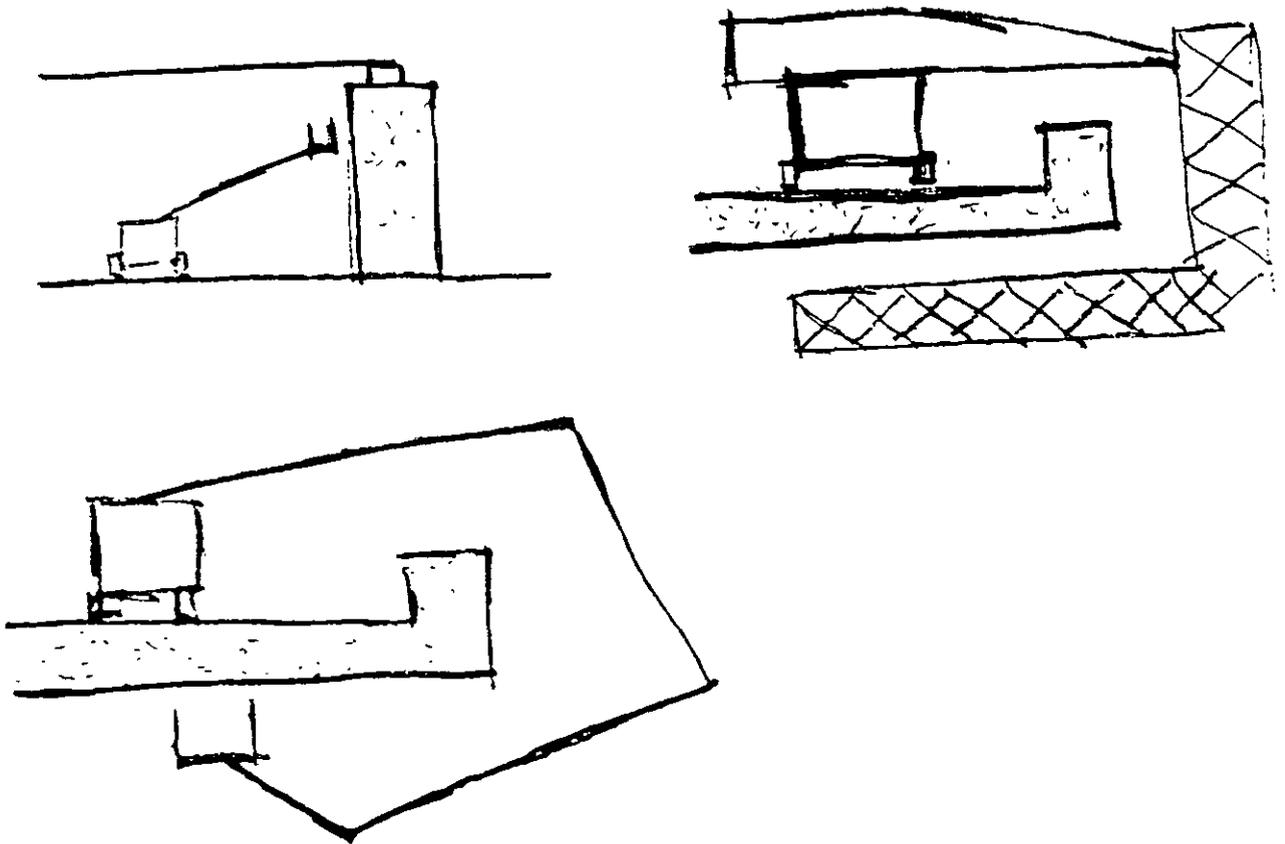
Inspecciones visuales

- **Poder ver.-** Quiere decir tener la posibilidad de acceder a todas las partes que se desean inspeccionar y en su caso ayudar con medios complementarios al ojo humano (binoculares).
- **Saber ver.-** Es necesario que las inspecciones sean realizadas por personal especializado en puentes y con experiencia.
- **Saber lo que se quiere ver.-** Es necesario preparar con antelación las inspecciones, estudiando el proyecto y los informes obtenidos de las inspecciones anteriores.

Poder ver

El término "poder ver" tiene un significado especial para el caso de estructuras de puentes ya que estos están generalmente a la vista, pero en muchos casos será imposible la observación detallada sin unos medios auxiliares de acceso.

Dentro de los medios auxiliares que facilitan la aproximación del personal a las distintas partes del puente se incluyen desde medios rudimentarios (cuerdas, escaleras, cinturones de seguridad, etc.) hasta sistemas especialmente contruidos para un puente en particular (agujeros a pilas huecas y vigas cajón, pasarelas especiales, etc.). Existen también vehículos especiales que permiten el acceso a la superestructura por debajo.



Saber ver

Este término se refiere a la preparación del personal dedicado a las inspecciones de puentes. En Estados Unidos para que una persona se le otorgue la cédula de inspector de puentes (dada por AASHTO) se requiere tener el título de ingeniero civil, experiencia de 10 años con un cierto nivel de responsabilidad en la inspección de puentes y haber acreditado el curso de inspectores de puentes dado por AASHTO.

Inspecciones principales

Normalmente para la inspección a los puentes se les divide como:

- Cimentación
- Subestructura
- Superestructura
- Equipamiento

Cimentación

Normalmente la inspección directa de la cimentación es imposible, por lo que es necesario recurrir a métodos indirectos como la visualización de movimientos excesivos, agrietamientos, etc., o por la observación de otros signos en la superestructura. Para esto se recomienda realizar una nivelación de la superestructura y en muchas ocasiones serán necesarias inspecciones subacuáticas.

La nivelación de la superestructura debe repetirse en todas las inspecciones principales del puente, colocando puntos de referencia en los cuales se apoyarán las sucesivas nivelaciones.

También relacionado con la inspección de los cimientos es importante revisarlos de cara a problemas de socavación, para lo cual es importante revisar el lecho del agua en las proximidades del puente, mantener un registro actualizado del perfil del río, desviaciones del curso del agua, etc.

Subestructura

En este término se incluyen estribos, pilas y dispositivos de apoyos. Dentro de la amplia variedad de deterioros observables en este tipo de elementos, deben incluirse en los informes la descripción de agrietamientos y relacionarse con el causante de este. por ejemplo grietas de flexión, cortante o mal comportamiento de la cimentación.

Superestructura

La inspección de elementos de la superestructura y los daños típicos que éstos presenten varían notablemente dependiendo de que se trate de puente metálicos, puentes de concreto reforzado o pretensado

Equipamiento

Se refiere a los elementos no estructurales como el pavimento, banquetas, sistemas de drenaje, barreras, juntas de dilatación, señalamientos, etc.

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PUENTES

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

JUNIO DE 1998

COMPONENTES DEL SIAP

BASES DE DATOS RELACIONALES

- INVENTARIO
- INSPECCIONES RUTINARIAS
- INSPECCIONES ESPECIALES
- FOTOS DE INVENTARIO
- FOTOS DE DETERIOROS
- PLANOS*
- MAPAS*
- PELÍCULA*

CALIFICACIÓN DE PUENTES

- ESTRUCTURAL
- ASPECTOS FUNCIONALES

PLANEACIÓN Y PRIORIZACIÓN

- COSTOS*
- POLÍTICAS DE CONSERVACIÓN*

*Actividades en proceso

OBJETIVOS DEL SIAP

OBJETIVO PRINCIPAL

- Predecir con anticipación problemas que afecten la seguridad y serviciabilidad de los puentes.

OTROS OBJETIVOS

- Generar una base de datos con el inventario de los puentes y la información de las inspecciones
- Optimizar la aplicación de los recursos disponibles
- Conjuntar la información de puentes para que sea accesible con facilidad y prontitud (planos, fotografías, memorias de cálculo, etc.)

EVALUACIÓN DEL PUENTE

En este sistema se obtienen dos calificaciones; una referente a la condición estructural, y la otra al estado funcional del puente. En ambas calificaciones se utiliza una escala de cero a cinco.

Calificación estructural.- El sistema tiene dos procedimientos para el cálculo de la calificación estructural, dependiendo de los datos de que se dispongan. El primer procedimiento utiliza exclusivamente las calificaciones dadas a las diferentes partes del puente, y el segundo requiere de la obtención en campo del primer modo de vibrar.

Calificación del estado funcional del puente.- En esta parte el sistema califica los aspectos geométricos que afectan con la operación de las redes de transporte. Se califican dos aspectos; ancho del puente y gálibos.

MÉTODO BASADO EN LAS CALIFICACIONES DADAS A LAS DIFERENTES PARTES DEL PUENTE

Este consiste en hacer un promedio pesado de las calificaciones dadas a cada parte del puente. La ventaja de este procedimiento es ser sencillo, sin embargo su desventaja es que tiene un alto grado de subjetividad. La forma de obtener la calificación utilizando este procedimiento se describe a continuación:

Si la subestructura o la superestructura tienen una calificación igual o menor a 3, ésta se asignará como la calificación general del puente, de lo contrario se obtienen promedios pesados de la siguiente manera:

$$\text{CSUB} = (0.3)(\text{CSOCA}) + (0.2)(\text{CCIM}) + (0.25)(\text{CAPO}) + (0.25)(\text{CPILAS})$$

donde:

CSUB, calificación subestructura
CSOCA, calificación socavación
CCIM, calificación cimentación
CAPO, calificación apoyos
CPILAS, calificación pilas

$$\text{CSUP} = (0.4)(\text{CSIPIISO}) + (0.4)(\text{CSIIPORT}) + (0.20)(\text{CDISAPO})$$

donde:

CSUP, calificación superestructura
CSIPIISO, calificación sistema de piso
CSIIPORT, calificación sistema portante
CDISAPO, calificación dispositivos de apoyo

$$\text{CEP} = (0.5)(\text{CSUB}) + (0.5)(\text{CSUP})$$

donde:

CEP, calificación estructural del puente

MÉTODO BASADO EN LA MEDICIÓN DEL PRIMER MODO DE VIBRAR

En este procedimiento se requiere de la obtención del primer modo de vibrar del puente, el cual puede ser obtenido con relativa facilidad una vez que se cuente con el equipo necesario. Se obtienen dos calificaciones parciales; una referente a la rigidez y la otra asociada a la resistencia del puente. En ambos casos se requiere de la obtención del parámetro EI , el cual se obtiene una vez conocido el primer modo de vibrar del puente. A continuación se muestra como calcular este parámetro.

Para superestructuras isostáticas:

$$EI_{din} = \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2}$$

donde:

EI_{din} , producto del módulo de elasticidad por el momento de inercia (prueba dinámica)

W, peso total del puente

L, claro de la superestructura

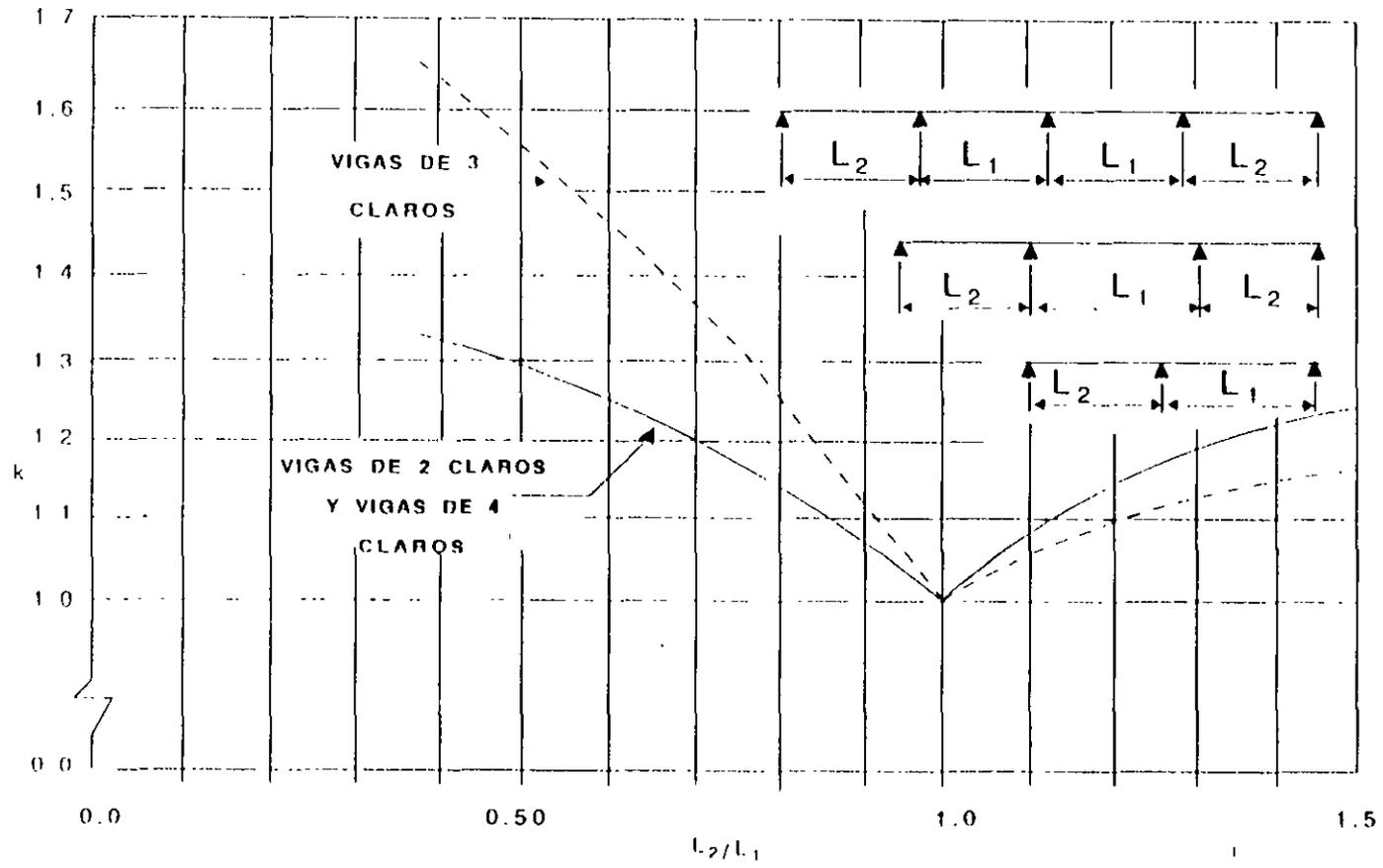
T, período del primer modo de vibrar

g, aceleración de la gravedad

Para superestructuras hiperestáticas:

$$EI_{din} = K \frac{4WL^3}{g\pi} \frac{1}{T^2}$$

donde K se obtiene de las siguientes gráficas.



Valor de la constante K para superestructuras de dos, tres y cuatro claros.

Con los valores de EI conocidos se puede calcular el valor de la flecha, la cual se obtiene sumando la correspondiente al peso propio, más la que generaría un camión T3-S3. Para el caso de una superestructura continua menor de 40 m., la expresión para este cálculo es:

$$y = \frac{5}{384} \frac{WL^3}{EI} + \sum_{i=1}^6 P_i \frac{b_i(L^2 - b_i^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}EIL}$$

donde:

y , es la flecha máxima

W , es el peso total del puente

P_i , carga del camión T3-S3 por eje

b_i , posición del eje de carga

Para otros claros y para superestructuras continuas, el SIAP calcula las flechas utilizando métodos más refinados de cálculo, y los criterios del AASHTO para definir el número de vehículos y carriles de carga. El valor de la flecha se compara con el permisible y se obtiene la *calificación por rigidez*.

Para obtener la *calificación por resistencia* se obtiene el esfuerzo último de flexión utilizando para esto el valor medido de EI y los criterios del AASHTO, con un vehículo mexicano T3-S3; dependiendo del cociente entre el esfuerzo último aceptable y el esfuerzo último actuante se obtienen dos calificaciones, una para flexión y otra para cortante, tomándose la más desfavorable como la calificación por resistencia.

CALIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS FUNCIONALES

El sistema calcula primeramente los niveles de deficiencia para los dos aspectos; gálibos y ancho de la superficie de rodamiento. Para realizar los cálculos de los niveles de deficiencia el sistema compara entre los valores reales y los valores deseables tomando en cuenta de manera lineal el tráfico de la carretera. Por ejemplo, para obtener el nivel de deficiencia del ancho del puente se utiliza la siguiente expresión:

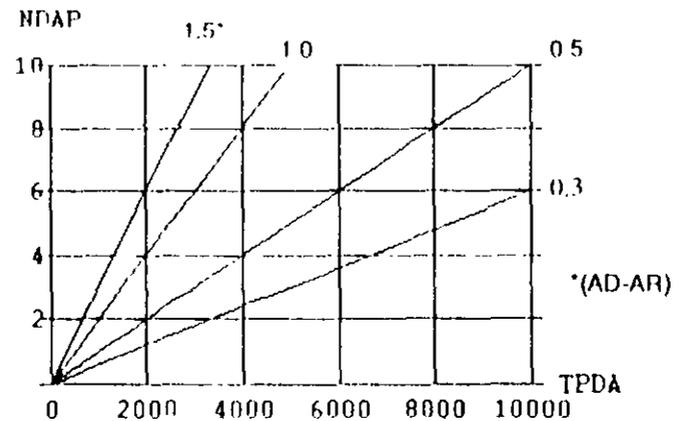
$$NDAP = 10(AD - AR) \frac{TPDA}{5000} < 10$$

donde:

NDAP, nivel de deficiencia por ancho del puente

AD, ancho deseable del puente en m.

AR, ancho real del puente en m.



Gráfica de NDAP contra TPDA para diferentes valores de (AD-AR)

Valores permisibles de flecha	Calificación (CR)
Menor a L/500	0
Entre L/500 y L/600	1
Entre L/600 y L/800	2
Entre L/800 y L/1000	3
Entre L/1000 y L/1200	4
Mayor a L/1200	5

CR, calificación por rigidez

L, claro de la superestructura

Cociente entre el esfuerzo último permisible y el esfuerzo último actuante	Calificación (CF o CCO)
Menor o igual a 1.0	0
Entre 1.2 y 1.4	1
Entre 1.4 y 1.6	2
Entre 1.6 y 1.8	3
Entre 1.8 y 2.0	4
Mayor o igual a 2.0	5

CF, calificación por flexión

CCO, calificación por cortante

MÓDULO DE COSTOS

- Estimar el costo de rehabilitación, reforzamiento, etc. puede requerir de muchos conceptos de obra (demoliciones, cimbras, etc.)
- En la etapa de planeación del ejercicio presupuestal, normalmente no se cuenta con el proyecto de detalle.
- La tecnología de puentes es muy cambiante

Se proponen dos procedimientos; uno que consiste en asignar costos unitarios considerando el tipo de puente y las partes importantes que lo definen (claro, ancho, ubicación, alturas, etc.), el otro método consiste en definir conceptos de obra típicos para las diferentes actividades que el sistema asigna.

Calificación de los puentes

Excelente 5

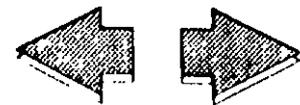
Buena 4

Aceptable 3

Regular 2

Mala 1

De Falla 0



Historial de reparaciones(3)

AÑO	CONSTRUCTOR	TIPO DE REPARACION
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____

- | | |
|-------------------------|--|
| Tipo de reparación: | Responsable del puente: |
| 1.- Mantenimiento menor | 1.- Secretaria de Comunicaciones y Transportes |
| 2.- Mantenimiento mayor | 2.- Ferrocarriles Nacionales de México |
| 3.- Reparación menor | 3.- Caminos y puentes federales de ingreso y servicios conexos |
| 4.- Reparación mayor | 4.- Gobierno estatal |
| 5.- Reconstrucción | 5.- Otro. |
| 6.- Ampliación | |
| 7.- Reforzamiento | |

DATOS GEOMETRICOS

Longitud del puente(14) _____ metros

Longitud del máximo claro(15) _____ metros

Ancho total de la superestructura(16) _____ metros

Ancho de la superficie de rodamiento(17) _____ metros

Angulo de esviaje (según km creciente)(19) _____ grados

Trazo geométrico(20) Planta _____ Elevación _____

1.- Tangente

2.- Curva

Gálibo vertical sobre el puente(21) _____ metros

Gálibo vertical bajo el puente(22) _____ metros

Gálibo horizontal(23) _____ metros

Si alguna medida no se conoce con precisión, use medidas aproximadas

DATOS ESTRUCTURALES

Tipo de puente(24a) _____	Material(24b) _____
TIPO DE PUENTE	MATERIAL
1.- Losa simplemente apoyada	1.- Concreto reforzado
2.- Superestructura isostática	2.- Acero remachado
3.- Superestructura continua	3.- Acero soldado
4.- Pórtico o marco rígido	4.- Concreto prestozado
5.- Armaduras	5.- Mampostería
6.- Arco	6.- Mixto:concreto reforzado / acero
7.- Colgante	7.- Mixto:concreto prestozado / acero
8.- Atirantado	8.- Otro
9.- Otro.	

Cualquier respuesta no conocida dejese en blanco

Los números entre paréntesis es el número de dato en el manual

Número de claros(25) _____

Tipo de superestructura(26a) _____

Material(26b) _____

- | | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|----------------------|
| 1.- Losa | 4.- Vigas presforzadas | (ver tipo de cuente) |
| 2.- Losa nervada | 5.- Sistema de piso a base de | |
| 3.- Sistema a base de trapes y losas | armaduras horizontales | |
| | 6.- Sección tipo cajón. | |

Tipo de sistema de piso(27) _____

- | | |
|---|------------------------|
| 1.- Losa de concreto | 2.- Concreto precolado |
| 3.- Concreto presforzado transversalmente | 4.- Placas de acero |
| 5.- Rejilla | 6.- Ortotróico |
| 7.- Otro | |

Tipo de superficie de rodamiento(28) _____

- 1.- Concreto hidráulico 2.- Mezcla asfáltica 3.- Otro

APOYOS EXTREMOS(29)

Tipo	Material del cuerpo	Material de la corona
1.- Estribos	1.- Concreto	1.- Mampostería
2.- Enterrados	2.- Inexistente	2.- Concreto
3.- Aleros	3.- Otro	3.- Ladrillo
4.- en "U"		4.- Otro
5.- Otro		

APOYOS INTERMEDIOS(30)

Tipo	Remate	Material del cuerpo	Material de la corona
1.- Tradicional	1.- Corona	1.- Mampostería	1.- Concreto
2.- Rectangular	2.- Cabezal en voladizo	2.- Concreto	2.- Inexistente
3.- Cilíndrico	3.- otro	3.- otro	
4.- Sección constante			
5.- Sección variable			
6.- Otro			

Cimentación(31) _____

- 1.- Zapatas
2.- Pilotes
3.- Cilíndricos
4.- Mixta
5.- otro

Carga de diseño(32) _____

- | | |
|-----------|--------------|
| 1.- H-10 | 5.- HS-23 |
| 2.- H-15 | 6.- T3-83 |
| 3.- HS-15 | 7.- T3-82-R4 |
| 4.- H-20 | 8.- Otro |

DISPOSITIVOS DE APOYO(33) _____

Tipo de apoyo móvil _____

- 1.- Mecadora de acero
2.- Mecadora de concreto
3.- Rodillos metálicos
4.- Neopreno
5.- Neopreno con acero y terción
6.- Otro

Tipo de apoyo fijo _____

- 1.- Acero
2.- Plomo
3.- Neopreno
4.- Articulación
5.- Otro

Junta de dilatación(34) _____

- | | |
|---------------|------------------------|
| 1.- Gomorband | 5.- Tabajunta de acero |
| 2.- Sika flex | 6.- Lámina de cobre |
| 3.- Asfalto | 7.- Inexistente |
| 4.- Neopreno | 8.- Otro |

FORMATO DE INSPECCION DE EVALUACION

Jefe de Brigada _____

Fecha / ___ / ___ / ___ /
d m a

Número de Puente(4) _____

Nombre del Puente(5) _____

Estado Federativo(1) _____

Nombre de la localidad(2) _____

CONDICION GENERAL DEL PUENTE

Hundimientos(40) _____ Desplomes(41) _____ Flechas(42) _____
1.- Ligeros 2.- Moderados 3.- Graves 4.- No se aprecian

Socavación(43) _____ Corrosión(45) _____
1.- Ligera 2.- Moderada 3.- Grave 4.- No se aprecia

Cauce del río(44) _____
1.- Obstruido ligeramente 3.- Sin obstrucción
2.- Obstruido moderadamente 4.- No existe
3.- Obstrucción grave

Señalamiento que indique gálibos(46) _____ Señalamiento de seguridad(47) _____
1.- Si existe 2.- No existe

Comentarios _____

SUPERFICIE DE RODAMIENTO

Condición(48) _____
1.- Buena 2.- Regular 3.- Mala

Comentarios _____

SUPERESTRUCTURA

Agrietamiento en zona de apoyos (grietas de cortante) (49a) _____
1.- Ligero 2.- Moderado

Agrietamiento al centro del claro (grietas de flex.) (49b) _____
3.- Grave 4.- No se aprecia

Juntas de expansión(50) _____
1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Dispositivos de apoyo(51) _____
1.- Buen estado 2.- Mal estado 3.- No existen

Daño por impacto vehicular por deficiencia en gálibo(52) _____
1.- Ligero 2.- Moderado 3.- Grave 4.- No se aprecia

Drenaje(53) _____
1.- Buen funcionamiento 2.- Regular 3.- Mal - - No existe

Desconchamientos(54) _____
1.- Ligero 2.- Moderado 3.- Grave 4.- No se aprecia

Comentarios _____

SUBESTRUCTURA

Agrietamiento en pilas(55) _____
1.- Ligero 2.- Moderado

Agrietamiento en estribos(56) _____
3.- Grave 4.- No se aprecia

Desconchamientos en pilas o estribos(57) _____
1.- Ligero 2.- Moderado 3.- Grave 4.- No se aprecia

Comentarios _____

Calificación respuesta no conocida dejese en blanco
Los números entre paréntesis es el número de dato en el manual

CALIFICACION GENERAL DEL PUENTE

Superficie de Rodamiento(64a) _____

Superestructura(64b) _____

Subestructura(64c) _____

Socavación(64d) _____

CALIFICACION

- 5.- Condición excelente
- 4.- Condición buena
- 3.- Condición aceptable
- 2.- Condición regular
- 1.- Condición seria
- 0.- Condición de falla

Comentarios _____

RECOMENDACIONES GENERALES

Inspecciones(65a) _____

- | | |
|--|---------------|
| 1.- Evaluación a corto plazo (máximo 12 meses) | 4.- Detallada |
| 2.- Evaluación a mediano plazo (maximo 2 años) | 5.- Otro |
| 3.- Evaluación a largo plazo (maximo 3 años) | |

Superficie de Rodamiento(65b) _____

Superestructura(65c) _____

- 1.- Mantenimiento menor
- 2.- Mantenimiento mayor
- 3.- Reparación

Subestructura(65d) _____

- 4.- Substitución
- 5.- Pruebas especiales
- 6.- Otro

Comentarios _____

Cualquier respuesta no conocida se ese en blanco

Los números entre paréntesis es el número de dato en el manual

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTÍNUA DE LA UNAM
FACULTAD DE INGENIERÍA**

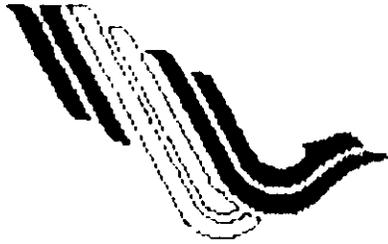
**DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

MODULO III. CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN

APLICACIONES EN CAPUFE

ING. MIGUEL ARTURO BAROUSSE MORENO

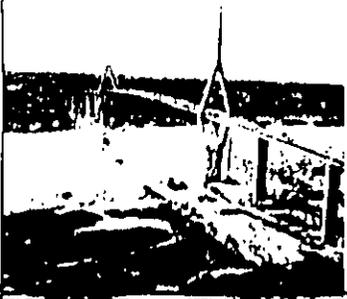
JUNIO DE 1998



**CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS
Y SERVICIOS CONEXOS**
DIRECCIÓN TÉCNICA
SUBDIRECCIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO

**SISTEMA DE INFORMACION DIGITAL DE AUTOPISTAS
Y PUENTES (SIDIAP)**

NOVIEMBRE DE 1997



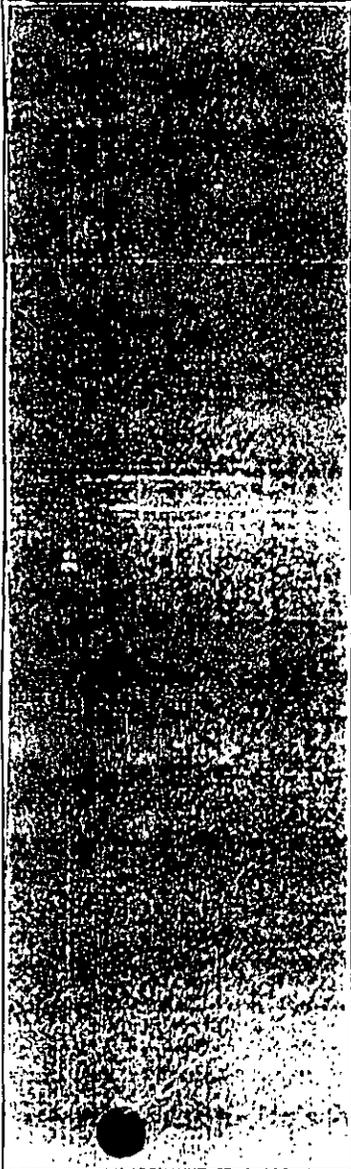
SISTEMA DE INFORMACION DIGITAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES (SIDIAP)



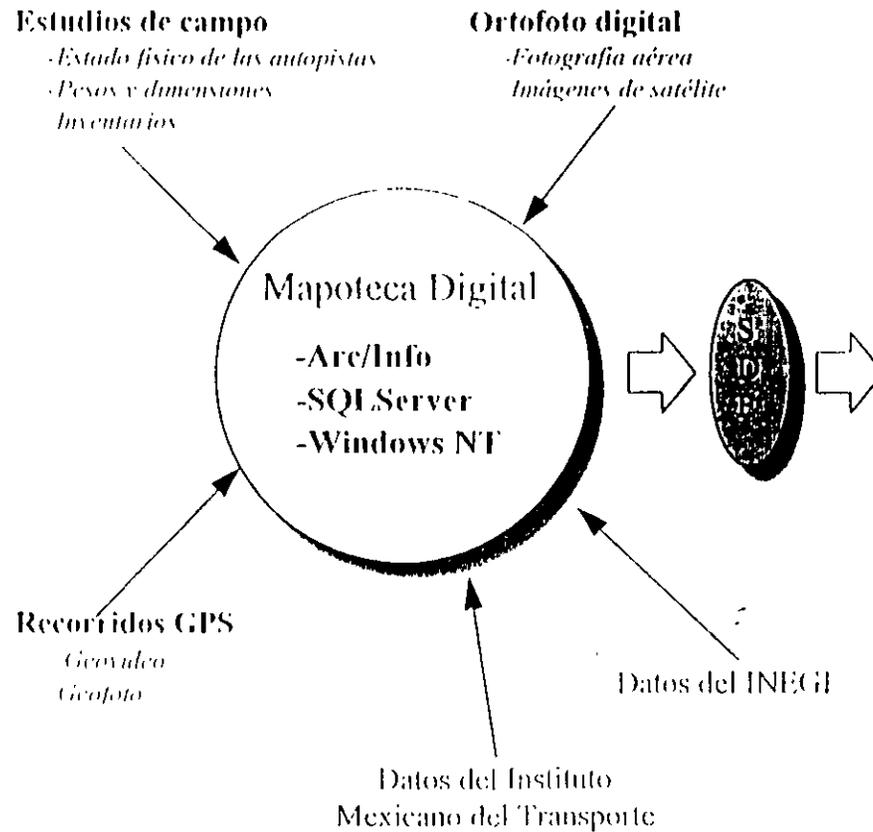
Generar una mapoteca digital con información de carreteras y puentes útil para apoyar a la gestión o administración de los recursos económicos, para generar información a usuarios y realizar aplicaciones desde un punto de vista técnico.



SISTEMA DE INFORMACION DIGITAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES (SIDIAP)



Aplicaciones



* Spatial Database Engine
** Cliente natural de Arc/Info

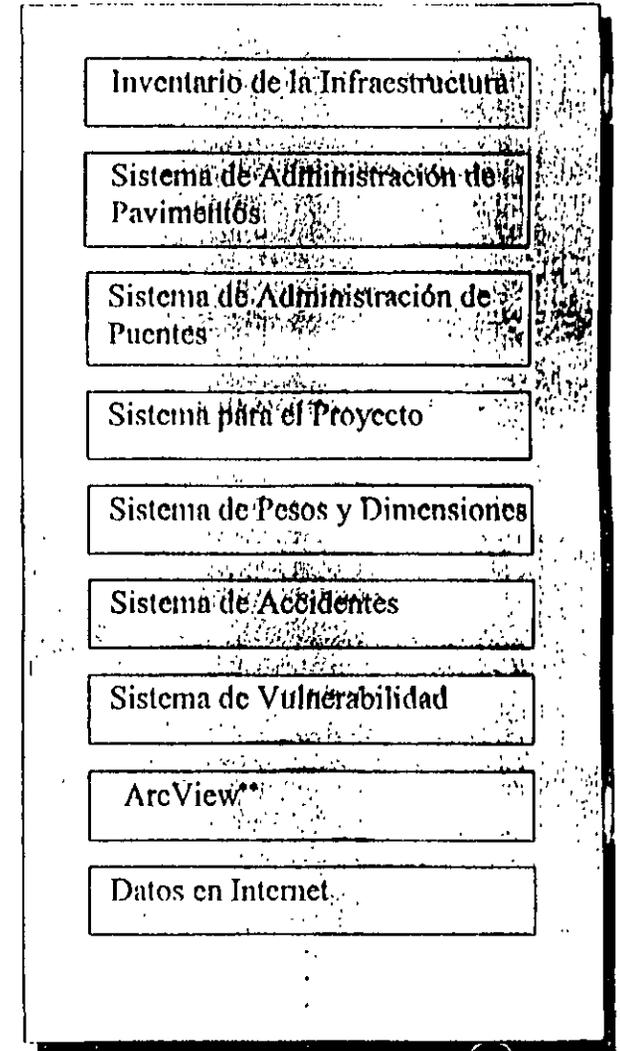


Figura: Esquema general del sistema.

SISTEMA DE INFORMACION DIGITAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES (SIDIAP)



Ciente utilizando aplicaciones en Visual Basic, Visual C, Java, ArcView, Delphi



Delegación I

Ciente utilizando aplicaciones en Visual Basic, Visual C, Java Arc View, Delphi, ...



Delegación II

Ciente utilizando aplicaciones en Visual Basic, Visual C, Java, ArcView, Delphi.

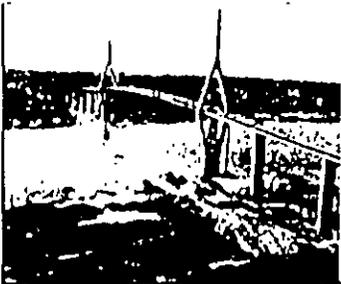


Oficinas Centrales



Servidor con Windows NT con Arc/Info y SDE conteniendo la "mapoteca digital de CAPITE"

Figura 3. Arquitectura Cliente/Servidor



SISTEMA DE INFORMACION DIGITAL DE AUTOPISTAS Y PUENTES (SIDIAP)

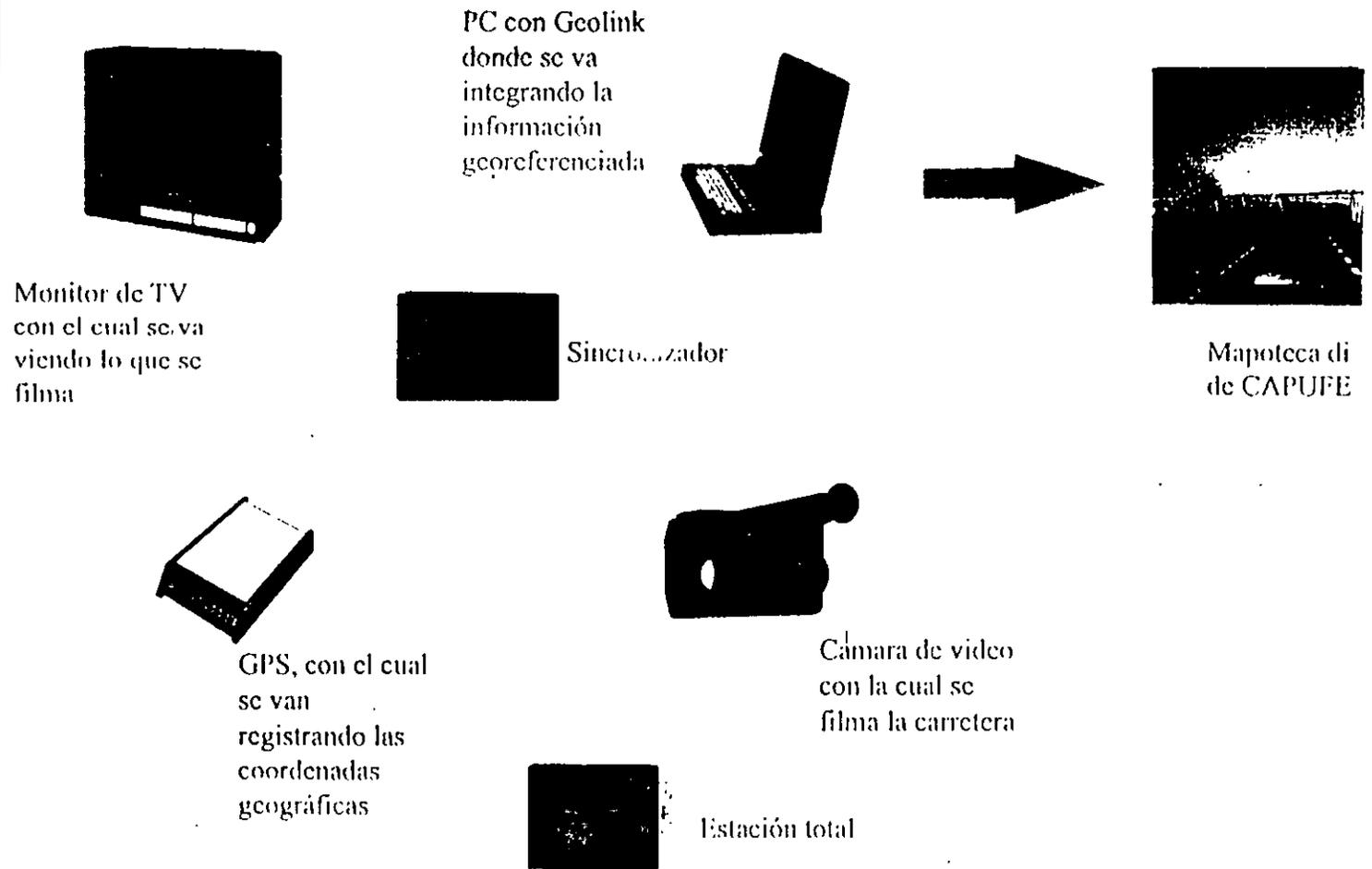
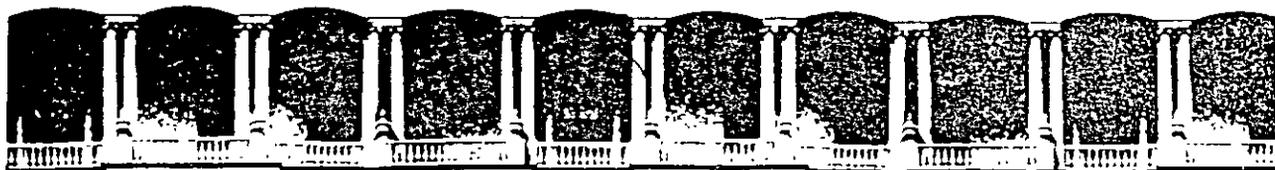


Figura 4. Arreglo para recorridos con GPS



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

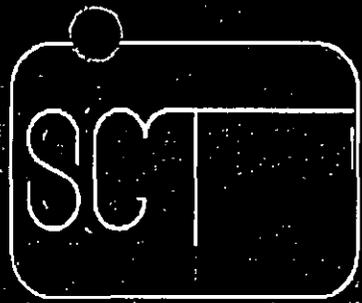
**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

**“SISTER”
SIMULACIÓN DE ESTRATEGIAS DE
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS**

ING. RAÚL RUBIO CASTILLO

BC



Secretaría de Comunicaciones y Transportes
Dirección General de Conservación de Carreteras

SISTER

Simulación de Estrategias de
Conservación de Carreteras

Conservación de la Red Carretera

PROBLEMÁTICA ACTUAL

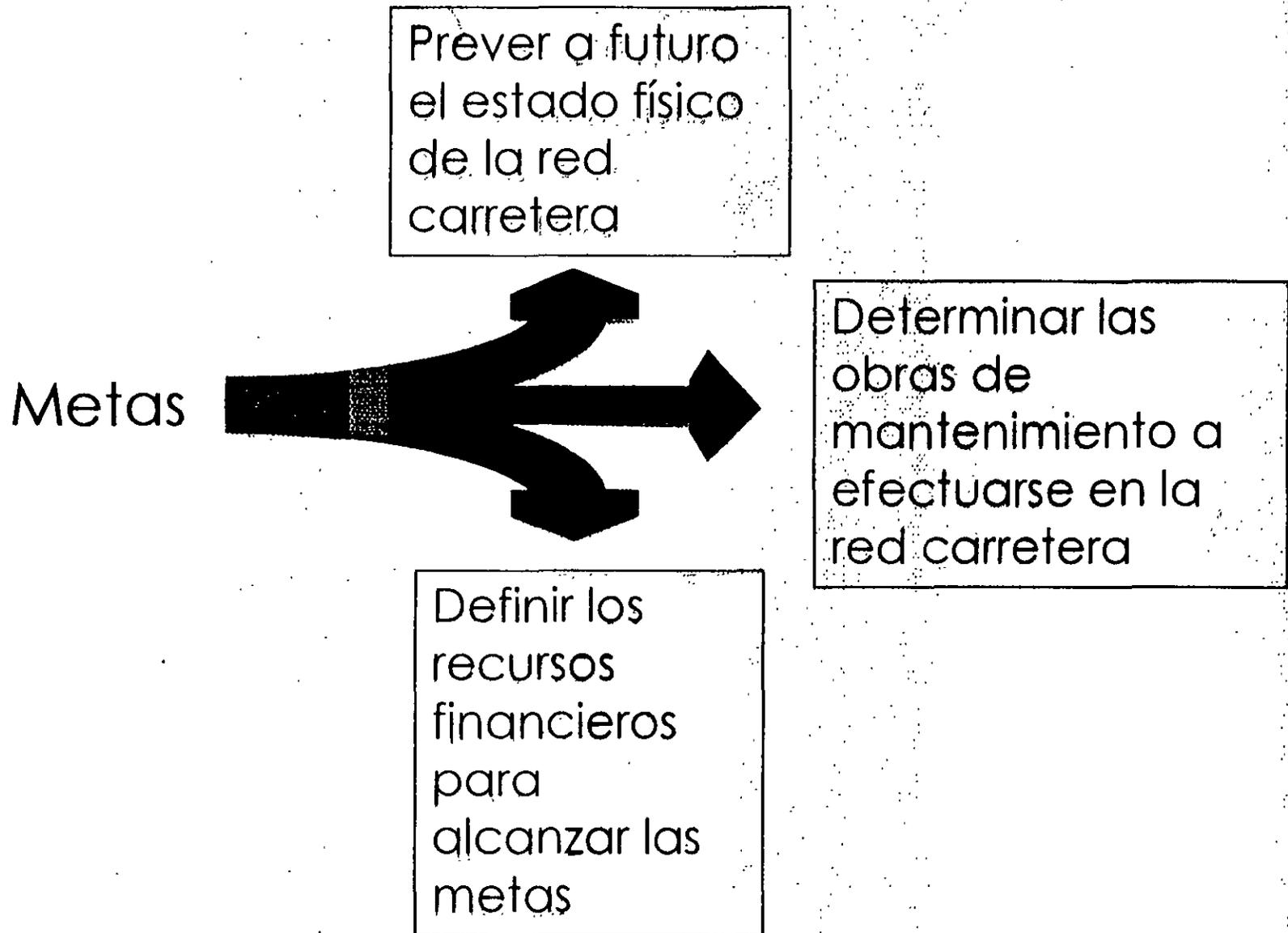
- Deterioro de la RED
- Antigüedad
- Diseño para otro tipo de Vehículos
- Cargas en aumento
- Insuficiencia de Recursos

PRIORIDADES

- Optimizar los Recursos asignados
- Prever a mediano plazo la Evolución de la Red

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

MODELO SISTER... METAS



Objetivo Principal

SISTER

Planear a corto, mediano y largo plazo el estado físico de la red carretera federal mediante la aplicación de una estrategia de mantenimiento vial en la cual se definen los trabajos necesarios para alcanzar las metas establecidas considerando los apremios presupuestales.

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

MODELO SISTER PARA LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

SISTER: Modelo de Simulación de Estrategias de Mantenimiento Carretero

Simula la evolución de la red y proporciona resultados financieros y económicos para evaluar las estrategias.

La originalidad del programa radica en definir simultáneamente los trabajos de mantenimiento ligados a una estrategia dada y sus efectos sobre la degradación de la carretera.

Requisitos

Principales

- **Estado físico de la red.**
- **Volúmenes de tránsito (TDPA).**
- **Porcentaje de vehículos pesados.**

Complementarios

- **Zonas climáticas.**
- **Zonas de costos.**
- **Costos unitarios de mantenimiento.**
- **Número de carriles.**
- **Tasa de crecimiento vehicular.**

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS MODELO SISTER...

Modelo de
Planeación
SISTER

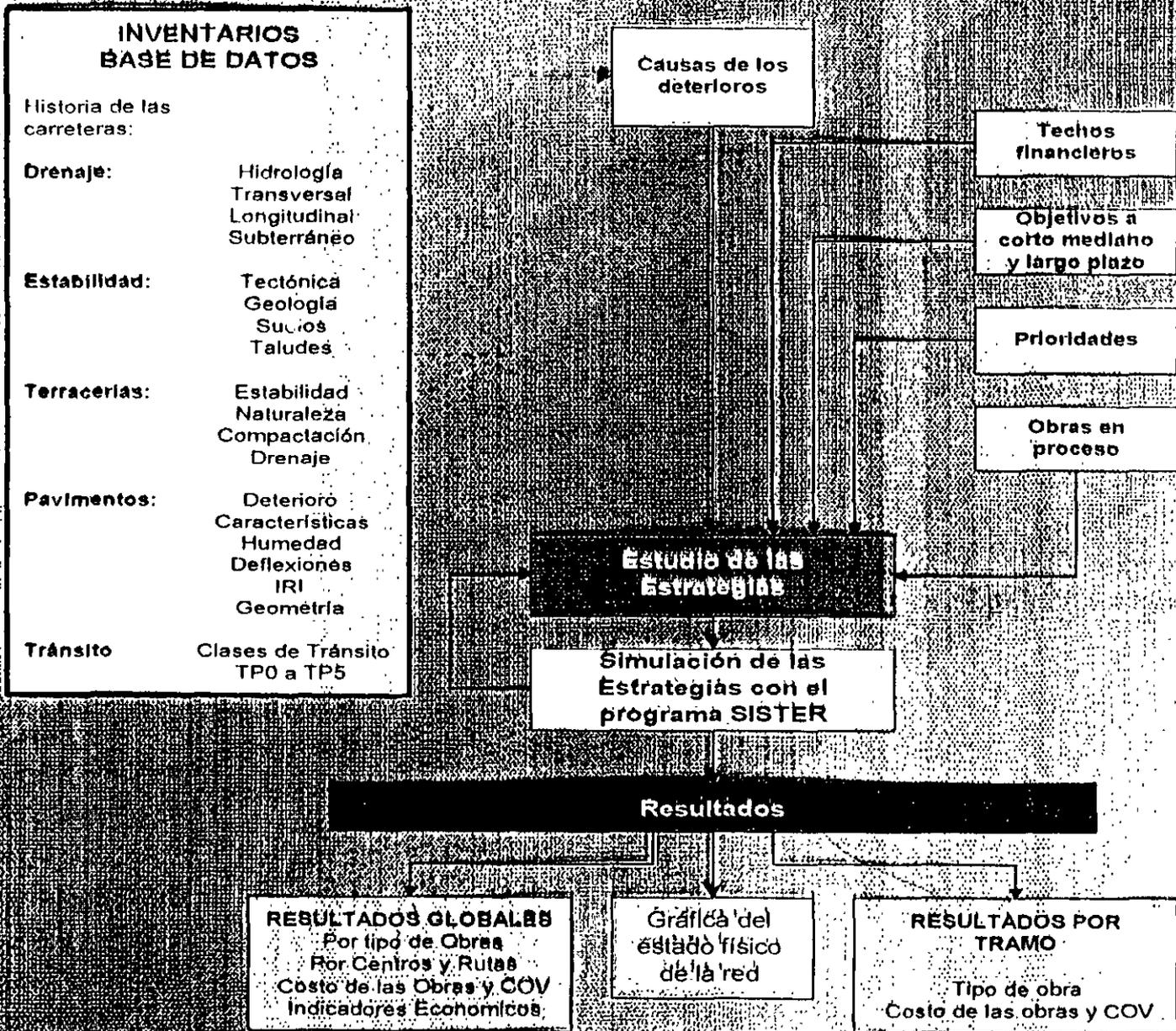
- * Define las obras prioritarias dentro del contexto nacional.
- * Efectúa el análisis económico para determinar la rentabilidad de los proyectos seleccionados.
- * Determina los techos financieros necesarios anualmente, para alcanzar las metas programadas del estado físico de la red carretera en un horizonte de mediano y largo plazo.

Inventario a pie de la Red
Carretera Federal

- * Características geométricas
- * Daños superficiales
- * Daños estructurales
- * Propuestas preliminares de solución

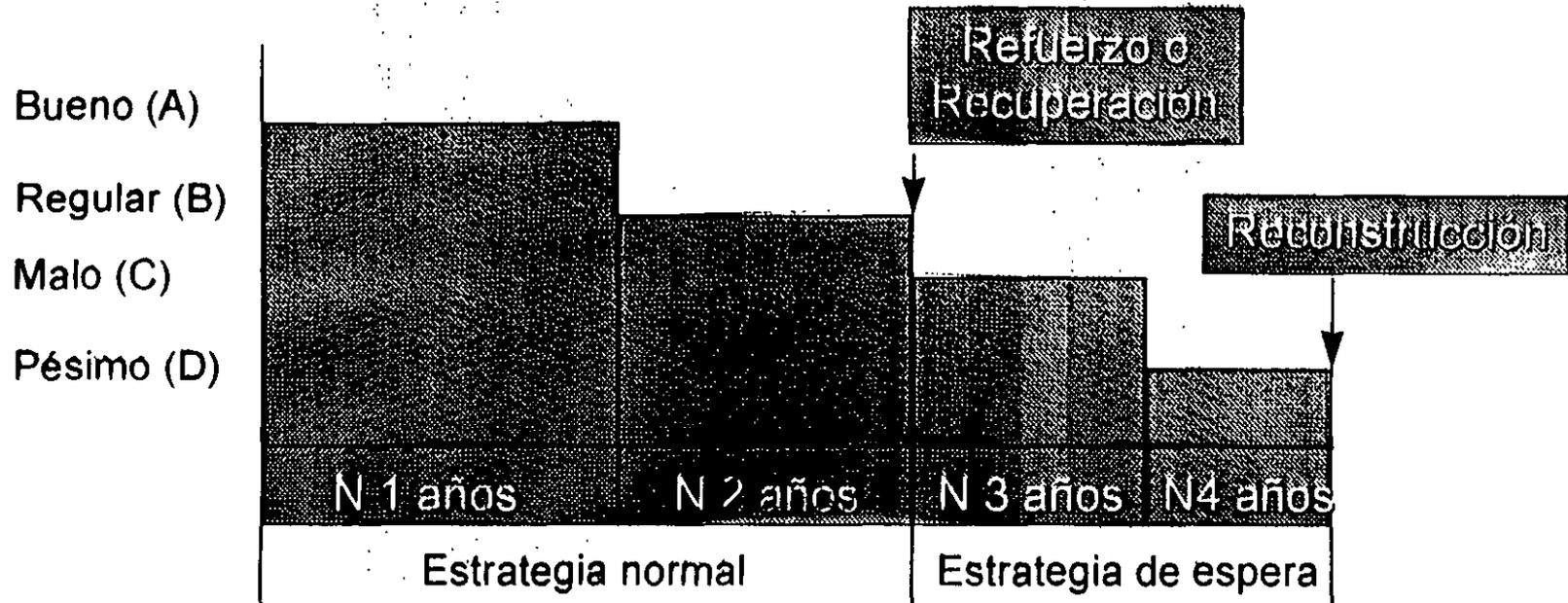
Banco de datos de la Red Carretera
(actualizado anualmente)

Esquema del modelo SISTER



EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

MODELO SISTER ...

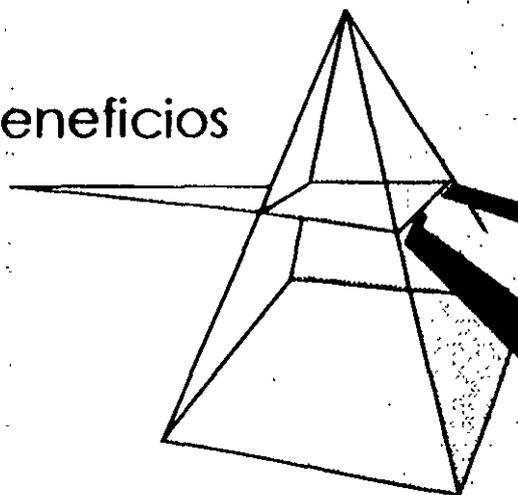


Definir una estrategia de mantenimiento consistente en:

- i. Fijarse objetivos.
- ii. Fijarse el umbral de confort para el usuario.
- iii. Determinar los plazos N1 y N2 durante los cuales el pavimento estará en los estados A y B.
- iv. El pavimento llegando al estado C, debe ser objeto de un refuerzo o de una recuperación. Tomando en cuenta el estado de la red federal, es obligatorio prever estrategias de espera.

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS MODELO SISTER... INVENTARIO A PIE DE CARRETERAS

Beneficios



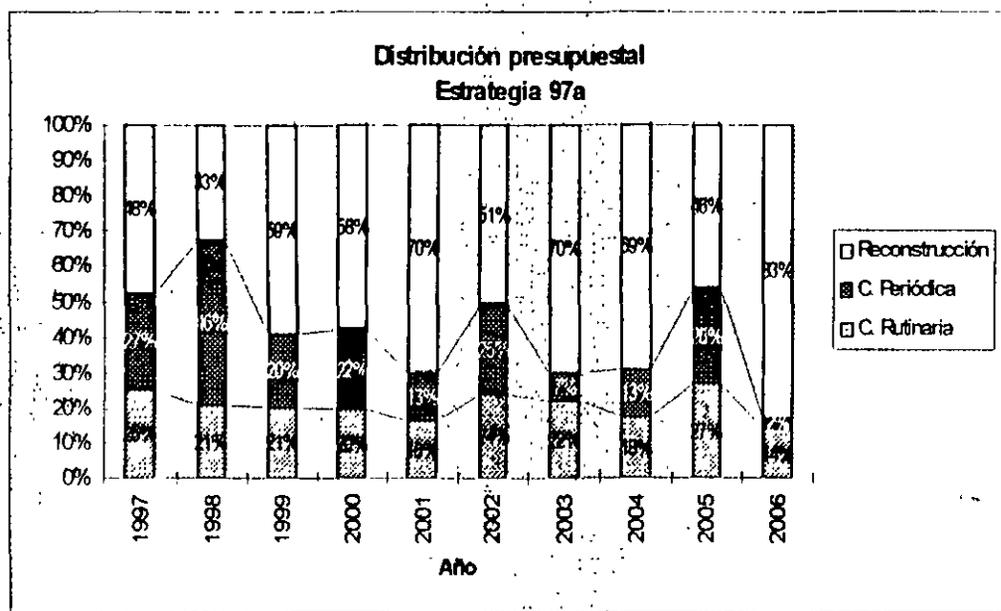
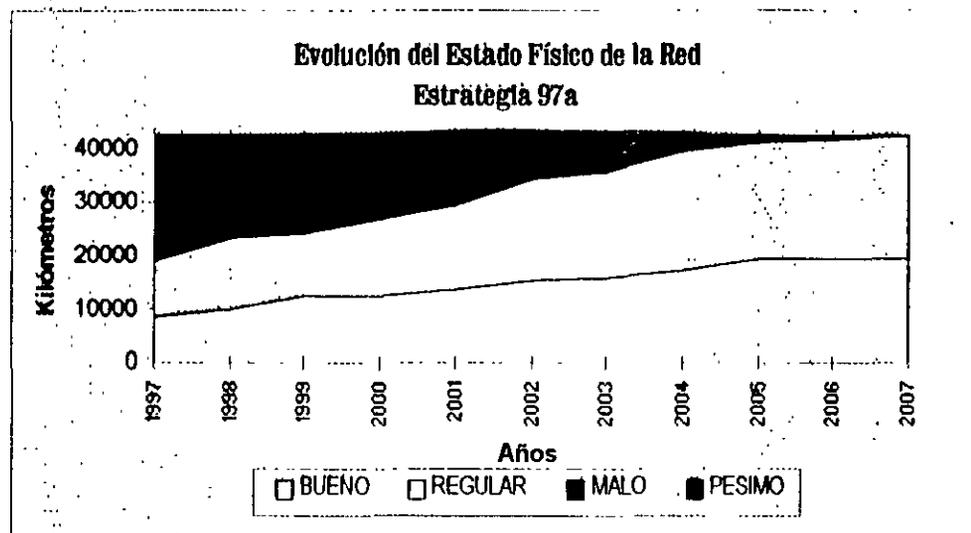
Se logran apreciar de forma minuciosa todos los daños que se presentan en la carpeta asfáltica.

Permite establecer de antemano, las causas de la degradación de los pavimentos.

Permite contar con información actualizada de las condiciones físicas de la RCF, así como de datos importantes relativos a los Alrededores de las Carreteras.

El Inventario
a Pie es el punto
de partida para
efectuar la Planeación
con el programa
SISTER

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS MODELO SISTER ... ESTADO FÍSICO E INVERSIONES PARA LA RED FEDERAL 1997 - 2007



**Inversiones requeridas (MIDP)
Precios de 1997**

Año	Reconstrucción	Conservación Periódica	Conservación Rutinaria	Suma
1997	1007	571	524	2102
1998	756	1062	481	2299
1999	1476	504	512	2492
2000	1512	576	517	2605
2001	2328	441	537	3306
2002	1136	565	533	2234
2003	1837	194	580	2611
2004	2204	420	568	3192
2005	968	552	565	2085
2006	3245	95	556	3896

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS MODELO SISTER... INVENTARIO A PIE DE CARRETERAS...

El inventario a pie de carreteras considera el levantamiento de datos en dos categorías

Superficie de Rodamiento

- Deterioro
-
- ✓ El que se presenta por exceso de humedad
- ✓ El que es consecuencia de la mala elaboración de mezclas asfálticas
- ✓ El que es resultado de la mala aplicación de la liga asfáltica
- ✓ El que es reflejo de la edad de los pavimentos y de otras condiciones especiales

Alrededores de la carretera

- ✓ Drenaje insuficiente, azolvado o faltante. (superficial y subterráneo)
- ✓ Limpieza de Derecho de vía
- ✓ Señalamiento vertical y horizontal insuficiente o deteriorado
- ✓ Utilización de Gaviones

DETERMINACION DEL INDICE DE DEGRADACION

Sin fisura ni deformación 0

Exámen visual

Indice de fisuración if	Area	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
	Gravedad			
	1	1	2	3
	2	2	3	4
3	3	4	5	

Indice de deformación id	Area	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
	Gravedad			
	1	1	2	3
	2	2	3	4
3	3	4	5	

Primera nota de degradación

if \ id	0	1	2	3	4
	1 - 2	3	3	4	5
	3	4	5	5	6
	4 - 5	5	6	7	7
	0	1	2	3	4

Gravedad	Area	0 a 10%	10 a 50%	> 50%
	1	0	0	0
	2	0	0	+1
	3	0	+1	+1

corrección por reparación

Indice de degradación de superficies
Nota de 1 a 7

Nota final

NIVEL DE GRAVEDAD DE LAS DEGRADACIONES DE TIPO A

Gravedad	1	2	3
Degradación			
Deformaciones Roderas	Sensible para el usuario pero poco importante $f < 2$ cm	Graves deformaciones asentamientos localizados o roderas $2 \leq f \leq 4$ cm	Deformaciones muy graves afectando la seguridad o el tiempo de recorrido $f > 4$ cm
Agrietamiento	Fisuras finas en las huellas de las llantas o en el eje de la carretera	Fisuras abiertas y/o a veces ramificadas	Fisuras muy ramificadas y/o muy abiertas; arrancamientos en los bordes
Piel de cocodrilo	Piel de cocodrilo sin movimiento de materiales malla larga (> 50 cm)	Mallas reducidas (< 50 cm) a veces perdidas de materiales, arrancamientos y baches en formación	Piel de cocodrilo muy abierta, mallas pequeñas (< 20 cm) en forma de adoquín, con perdidas de materiales
Erosión Longitudinal de la Carpeta	Secciones aisladas. Se aprecia la erosión de la carpeta.	Inicio de la erosión del borde de la carpeta en secciones continuas sin afectar el ancho del carril.	La erosión de la carpeta afecta el ancho de la calzada.
Reparaciones	<input type="checkbox"/> Reconstrucción de todo o parte del cuerpo de pavimento	Intervenciones superficiales para corregir defectos de tipo A	
	<input type="checkbox"/> Intervención en la superficie para corregir defectos de tipo B	<input type="checkbox"/> Buen comportamiento de la reparación	<input type="checkbox"/> Defectos apareciendo sobre la reparación misma

NIVEL DE GRAVEDAD DE LAS DEGRADACIONES DE TIPO B

Gravedad	1	2	3
Degradación			
Fisura longitudinal de junta	Fina y única	Ancha (1 cm o más) sin desprendimientos o fina ramificada	Ancha con desprendimiento de los bordes o Ancha ramificada
Baches	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad < 5 • Tamaño dia. 30cm max. 	5 a 10 o dia. 30 cm	< 5 o dia. 100 cm
Para 100m de pavimento			
Desprendimientos:	Puntuales sin aparición de la capa de base	Continuos o puntuales con aparición de la capa de base	Continuos con aparición de la capa de base
<ul style="list-style-type: none"> • descascaramientos, • ojos de pescado, • perdida de ligante, • perdida de agregado, 			
Movimientos de materiales: Ej: Exudación	Puntual	Continuos sobre una huella de llanta	Continuos sobre una huella de llanta y muy marcados

FORMATO PARA EL LEVANTAMIENTO DEL INVENTARIO A PIE

RESPONDIENTE A LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

Nombre y No. de la Carretera.

MERIDA - CANCUN 180

Tramo:

MERIDA - VALLADOLID

Fecha: SEPTIEMBRE DE 1998

SUPERFICIE DE RODAMIENTO		50	80	120	160	210
D A Ñ O S	RODERAS	30				20
	ASENTAMIENTO TRANSVERSAL					
	ASENTAMIENTO			40		
	AGRIETAMIENTO LONGITUDINAL	10				
	AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL					
	PIEL DE COCODRILO	20		20		60
	AGRIETAMIENTO TIPO MAPA			10		20
	BACHES					
	EXPULSIÓN DE FINOS					
	EROSIÓN LONGITUDINAL DE LA CARP.					
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO		Reconstrucción del tramo			Reconstrucción del tramo	

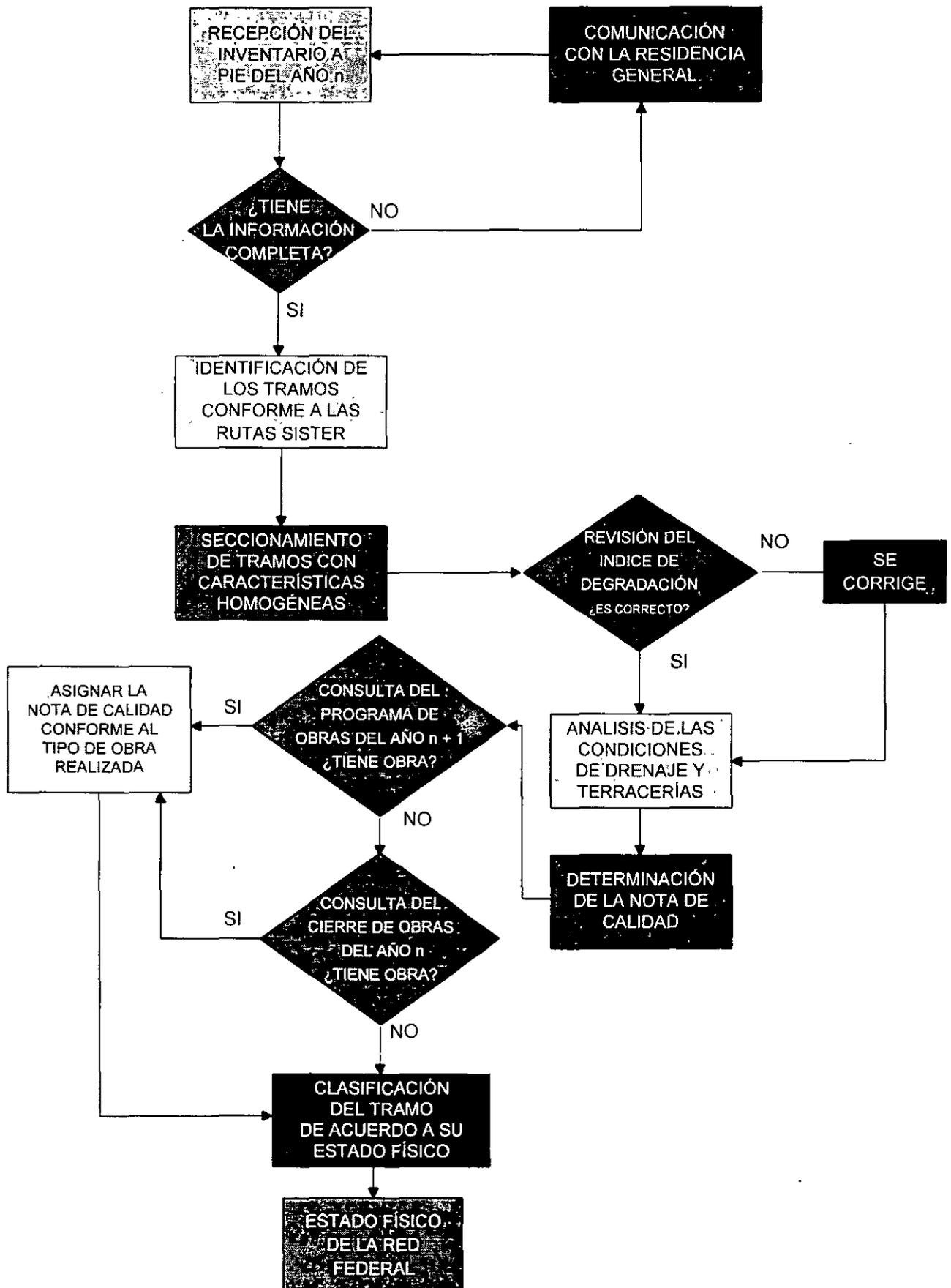
D A Ñ O S	ABULTAMIENTO					
	DESPLAZAMIENTO DE BORDE	10				
	MEDIA LUNA f >= 4cm					
	MEDIA LUNA f <= 4cm					
	OTRAS FISURAS			100		
	PULIDO DE LA SUPERFICIE			20		
	EXCESO DE ASFALTO					
	CALAVEROO	20				
	DESCASCARAMIENTO					
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO		Aplicación de riego de sello				

DEFLEXIONES			
(Año)	1/100mm		
INDICE DE DEGRADACION	7	3	7
ACOTAMIENTOS I, D, A	A 20 m.		D 25 m, I 15 m
NO. DE CARRILES	4		2
ANCHO DE CALZADA	22.0		11.0
TDPA	9360		7100
% VEHICULOS PESADOS	10		10
TRABAJOS RECIENTES		Renivelación y Sello	
TRABAJOS PROGRAMADOS	Renivelación y Sello (1997)		Renivelación y Sello (1997)

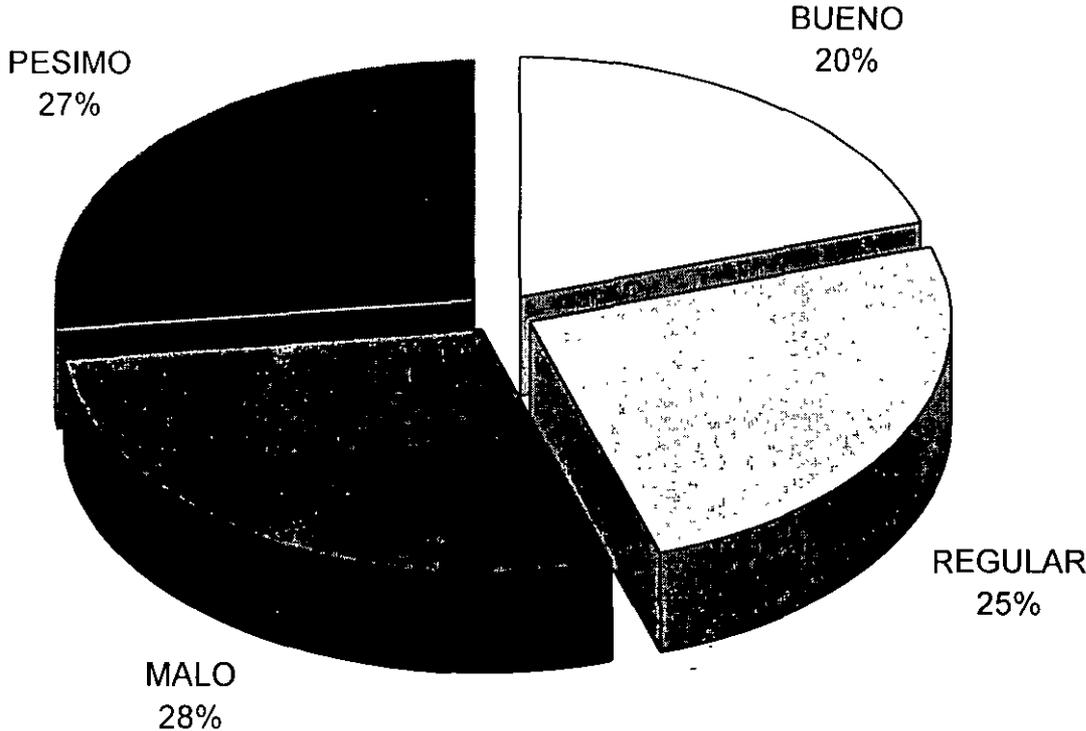
OBSERVACIONES:

LOS TRABAJOS PROGRAMADOS SON DE ESPERA EL TRAMO REQUIERE RECONSTRUCCIÓN

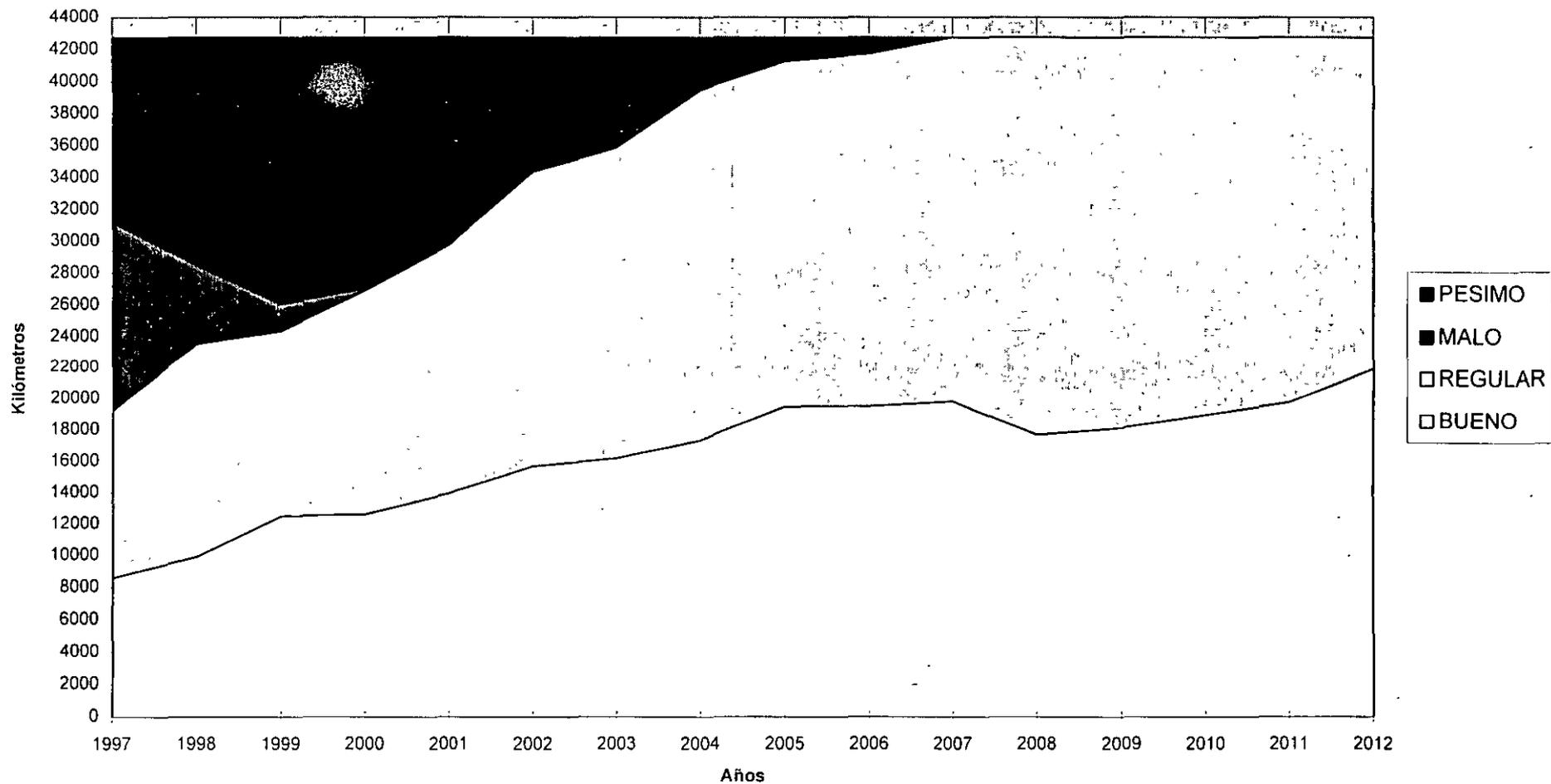
PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DEL INVENTARIO A PIE DE LA RED CARRETERA FEDERAL



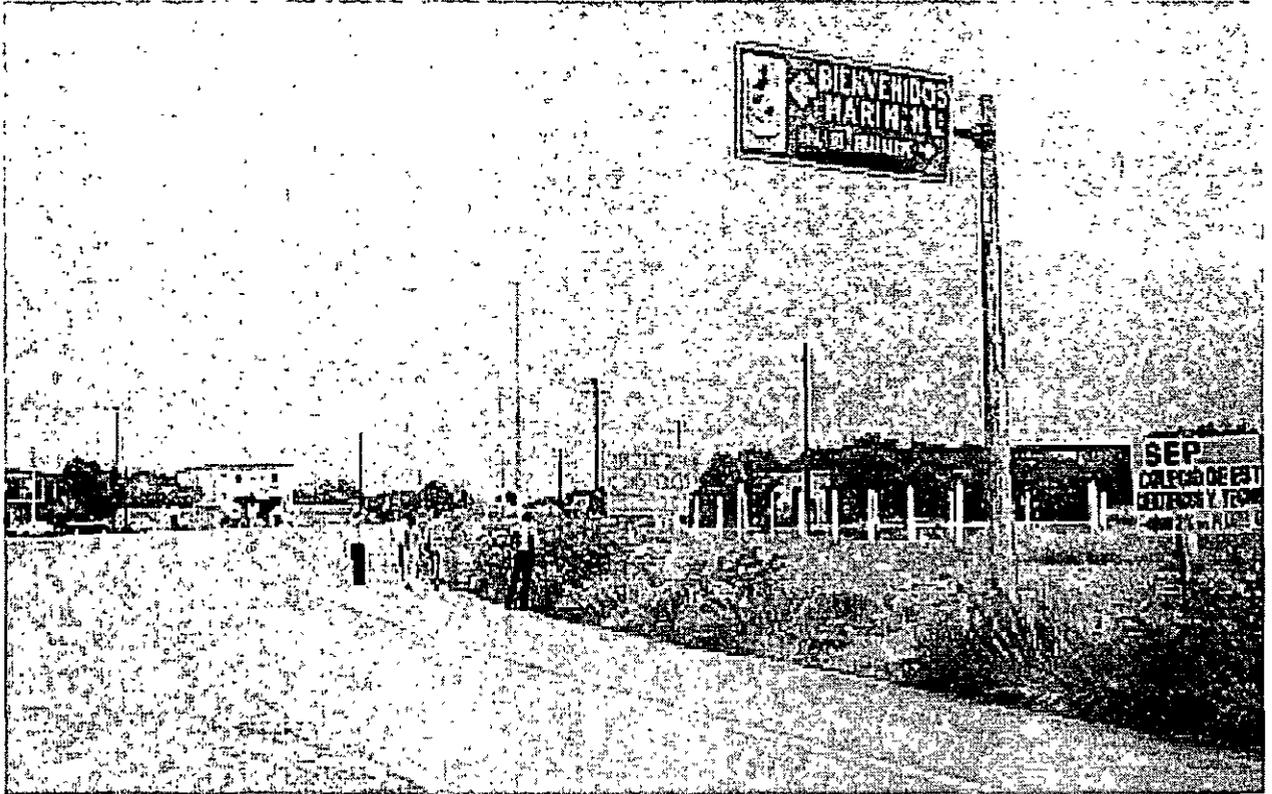
Estado Físico de la Red Carretera Federal a fin de 1996



Evolución del Estado Físico de la Red Estrategia 97a



INTERSECCIONES



UBICACION	TIPO DE INTERSECCION	IDENTIFICACION DE LA INTERSECCION	OBSERVACIONES
213.5	T.lzq.	a Marín, N. L.	Camino a cargo de Municipio

REGISTRO DE INTERSECCIONES

Centro SCT _____ # Residencia _____ # de Tramo _____ Fecha _____

Nombre del Tramo _____ Km. Inicio _____ Km. Fin. : _____ No de Carr _____

UBICACIÓN	TIPO DE INTERSECCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE LA INTERSECCIÓN	OBSERVACIONES

REGISTRO DE OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

Centro SCT _____ # Residencia _____ # Tramo: _____ Fecha _____

Nombre del Tramo _____ Km Inic: _____ Km Final _____ No de Carretera _____

UBICACIÓN		IZQUIERDA					DERECHA						
Km Inic.	Km. Final.	TIPO DE OBRA			CALIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CONDICIONES FÍSICAS	TIPO DE OBRA			CALIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS	CONDICIONES FÍSICAS
		C	CT	B				C	CT	B			

REGISTRO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Centro SCT : _____ # Residencia. _____ # de Tramo : _____ Fecha . _____

Nombre del Tramo : _____ Km. Inicio _____ Km. Fin _____ No de Carr _____

UBICACIÓN	CAPA	COMPACTACIÓN				HUMEDAD		CLASIF. SUCS	MATERIAL	
		ESPESOR	SUELTO	MEDIO	MUY COMPACTO	SATURADO	NO SATURADO		EXCESO DE FINOS	SUELOS PLÁSTICOS
DEL Km	CARPETA									
	BASE									
AL Km.										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km.										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km.										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km.										
DEL Km.	CARPETA									
	BASE									
AL Km.										



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

TEMA

“NOTA DE CALIDAD”

**ING. RAÚL RUBIO CASTILLO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

NOTA DE CALIDAD

$$\text{NC} = 23 - 3 \text{ ID}$$

ID: INDICE DE DEGRADACION

Cálculo de la Nota de Calidad

La nota de calidad se obtiene a partir del índice de degradación aplicando la siguiente fórmula:

$$NC = 23 - 3 \text{ ID}$$

La cual tiene la forma de la ecuación de una recta donde:

NC = Nota de Calidad

ID = Índice de degradación

De lo anterior se deduce que para:

ID	NC
1	20
2	17
3	14
4	11
5	8
6	5
7	2

NC	Estado Físico
20-18	Bueno
17-12	Regular
11-7	Malo
6-1	Pésimo

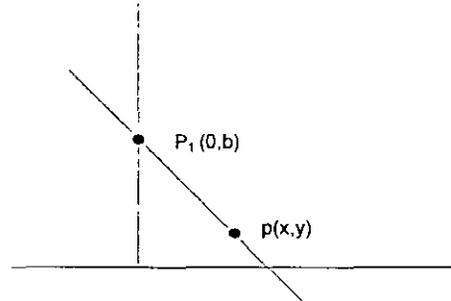
Dado que la variación de la nota de calidad que maneja SISTER comprende entre 1 y 20, dicha variación se obtiene de acuerdo con las condiciones del drenaje y terracerías así como de las condiciones particulares que presente un tramo como zonas inundables, falta de subdrenaje, etc.

Cabe señalar que a aquellos tramos en los que se realiza o realizará un trabajo importante, se asigna directamente la nota de calidad en función del mismo, por ejemplo, para reconstrucción se asigna una nota igual a 20.

Procedimiento matemático para la obtención de la ecuación de la Nota de Calidad

Ecuación de la recta con pendiente m .

$$(y - y_1) = m (x - x_1)$$

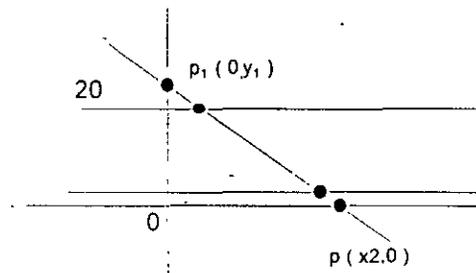


$$(y - b) = m (x - 0)$$

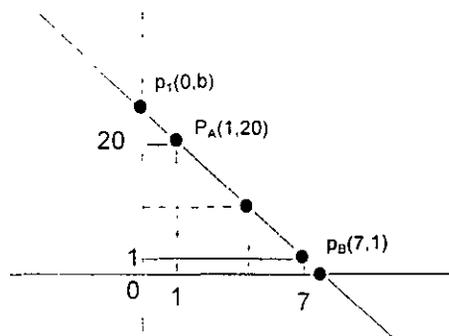
$$y = m x + b$$

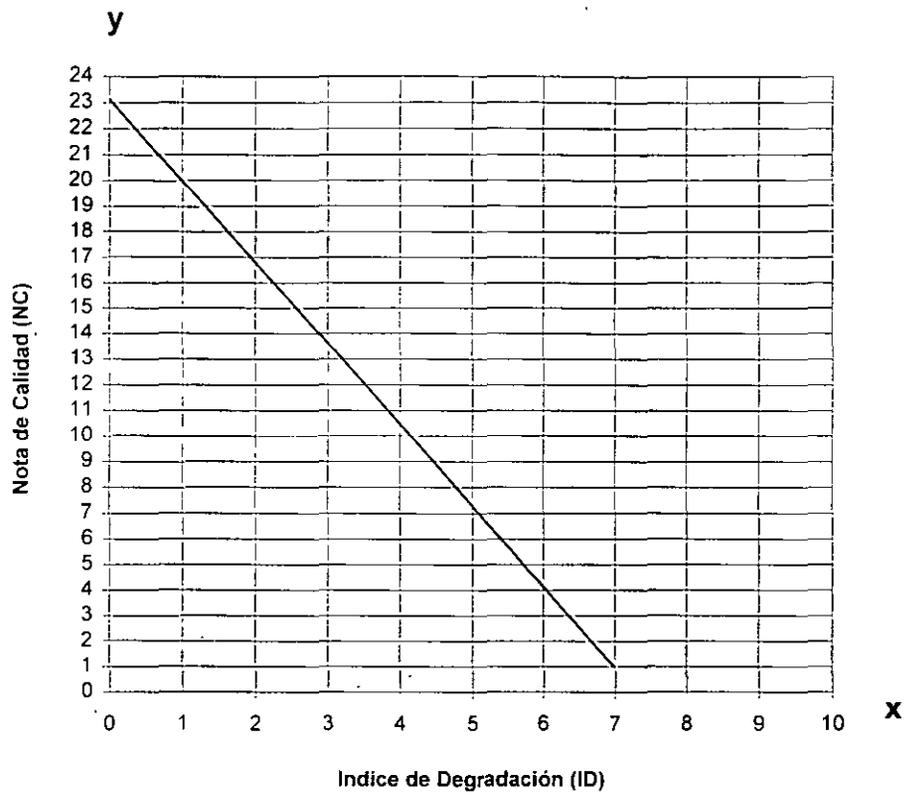
$$y_1 = m x_1 + b$$

$$y_2 = m x_2 + b$$



$$y_1 = 20, x_1 = 1$$





$$x_1 = 1, y_1 = 20$$

$$x_2 = 7, y_2 = 1$$

$$y - 20 = m (x - 1)$$

$$y - 1 = m (x - 7)$$

$$m = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} = \frac{19}{-6} = -3.1667$$

$$y - y_1 = m (x - x_1)$$

$$y - 20 = -3.1667 (x - 1)$$

$$y - 20 = -3.1667 x + 23.1667$$

Si $y = \text{NC}$ y $x = \text{ID}$ entonces

$$\text{NC} = 23.1667 - 3.1667 * \text{ID}$$

Base de datos de SISTER

Ruta	Nº Carr.	Km. ini.	Km. fin.	Zona Clima	Zona de costo	Codigo decisión	Centro SCT	Num. carriles	TPDA	% VP	Nota de calidad	Nota de rugosidad
A	1	0	13	CL2	ZC4	1	BCA	4C	28019	11	19	2
A	1	13	16	CL2	ZC4	1	BCA	6C	28019	11	19	2
A	1	16	25	CL2	ZC4	1	BCA	2C	10566	7	14	6
A	1	25	64	CL2	ZC4	1	BCA	2C	4323	30	19	2
A	1	64	71	CL2	ZC4	1	BCA	2C	1603	26	16	4
A	1	71	95	CL2	ZC4	1	BCA	2C	1603	26	19	2
A	1	95	110	CL2	ZC4	1	BCA	4C	1603	26	19	2
A	1	110	113	CL2	ZC4	1	BCA	4C	14410	14	18	2
A	1	113	117	CL2	ZC4	1	BCA	2C	14410	14	18	2
A	1	117	123	CL2	ZC4	1	BCA	2C	14410	14	18	2
A	1	123	140	CL2	ZC4	1	BCA	2C	3201	14	19	2
A	1	140	185	CL2	ZC4	2	BCA	2C	3201	14	14	6
A	1	185	205	CL2	ZC4	2	BCA	2C	3201	14	14	6
A	1	205	226	CL2	ZC4	2	BCA	2C	3201	14	14	6
A	1	226	241	CL2	ZC4	1	BCA	2C	3041	30	19	2
A	1	241	248	CL2	ZC4	1	BCA	2C	3041	30	18	2
A	1	248	258	CL2	ZC4	1	BCA	2C	3041	30	14	6
A	1	258	293	CL2	ZC4	1	BCA	2C	4164	30	14	6
A	1	293	300	CL2	ZC4	1	BCA	2C	961	26	12	8
A	1	300	316	CL2	ZC4	1	BCA	2C	961	26	12	8
A	1	316	350	CL2	ZC4	1	BCA	2C	961	26	19	2
A	1	350	365	CL2	ZC4	1	BCA	2C	961	26	16	4
A	1	365	386	CL2	ZC4	1	BCA	2C	961	26	20	2



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS ABIERTOS

***DIPLOMADO EN PROYECTO, CONSTRUCCIÓN Y
CONSERVACIÓN DE CARRETERAS***

MODULO III

**CONSERVACIÓN Y OPERACIÓN
DE CARRETERAS**

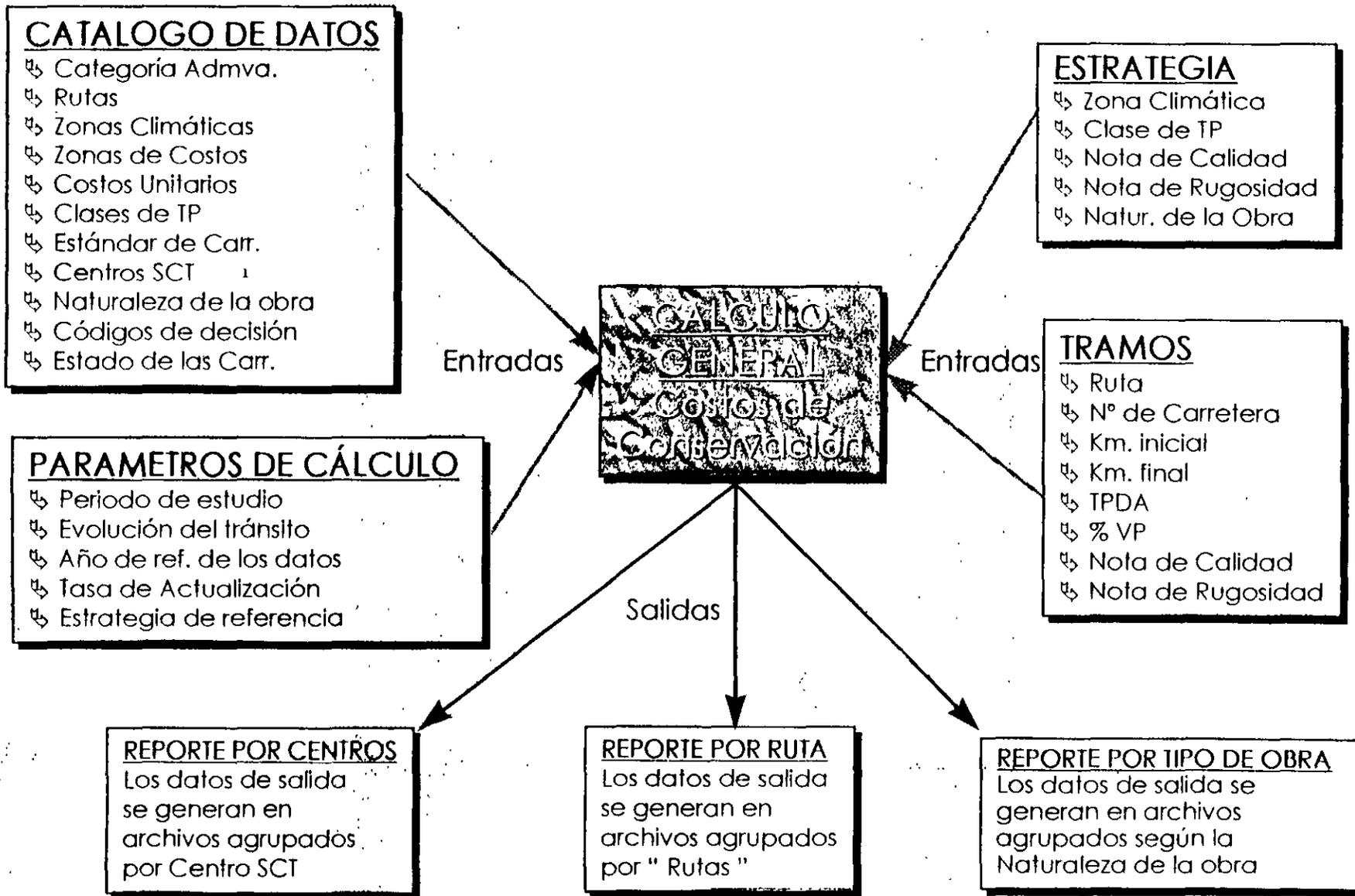
TEMA

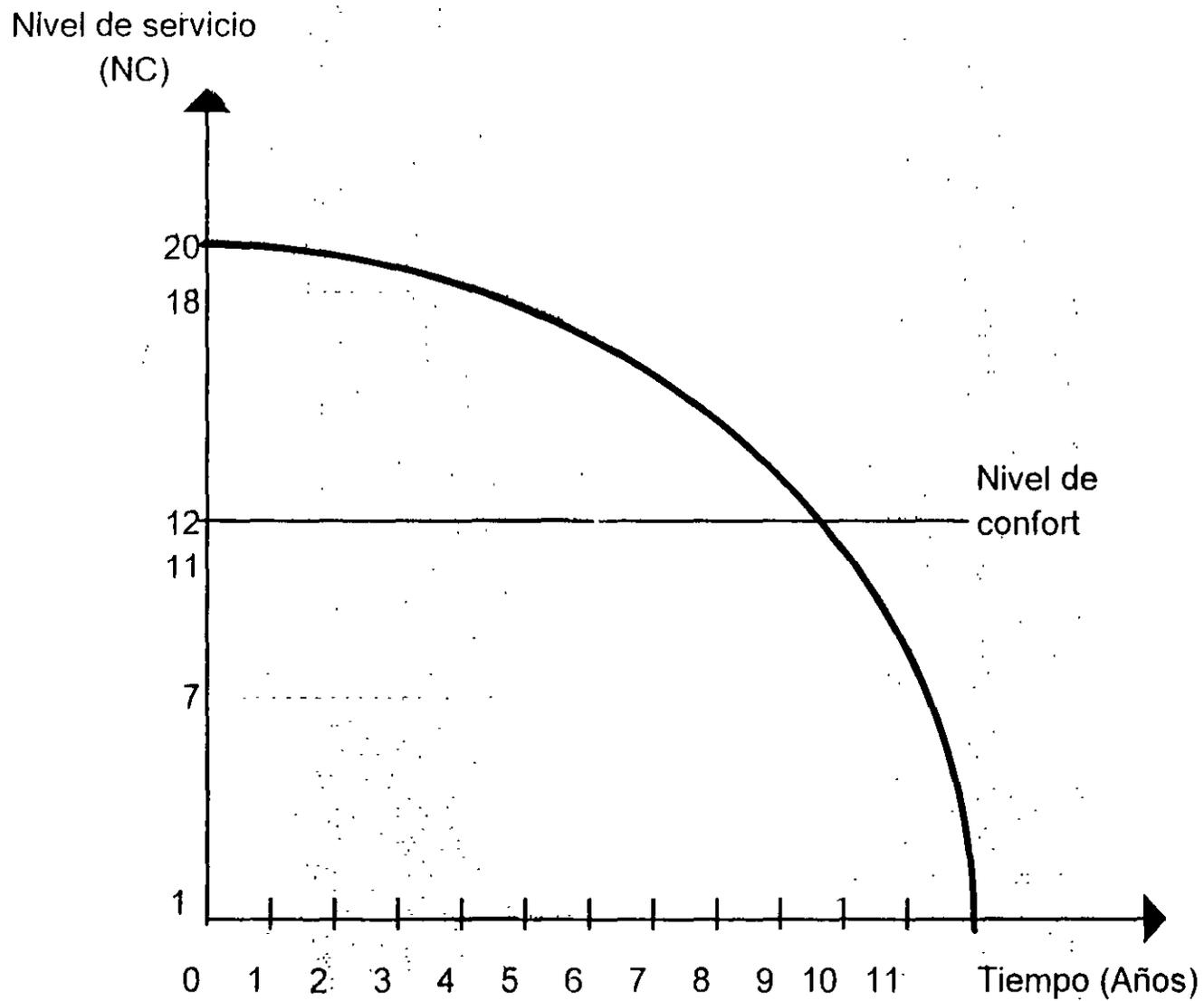
**“MODELO SISTER”
ESQUEMA DE ENTRADA PROCESO Y SALIDA**

**ING. RAÚL RUBIO CASTILLO
PALACIO DE MINERÍA
JUNIO 1998**

EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

MODELO SISTER ... ESQUEMA DE ENTRADA PROCESO Y SALIDA





CURVA DE DEGRADACION

EXPERIENCIA MEXICANA EN EL MANTENIMIENTO Y OBSERVACION DE CARRETERAS

MODELO SISTÉMICO EFECTIVO PARA DIFERENTES TIPOS DE MANTENIMIENTO EN LA EVOLUCION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO

INDICÉ DE SERVICIO
(Equivalente)

INDICE INTERNACIONAL
DE RUGOSIDAD, IRI (m/km)

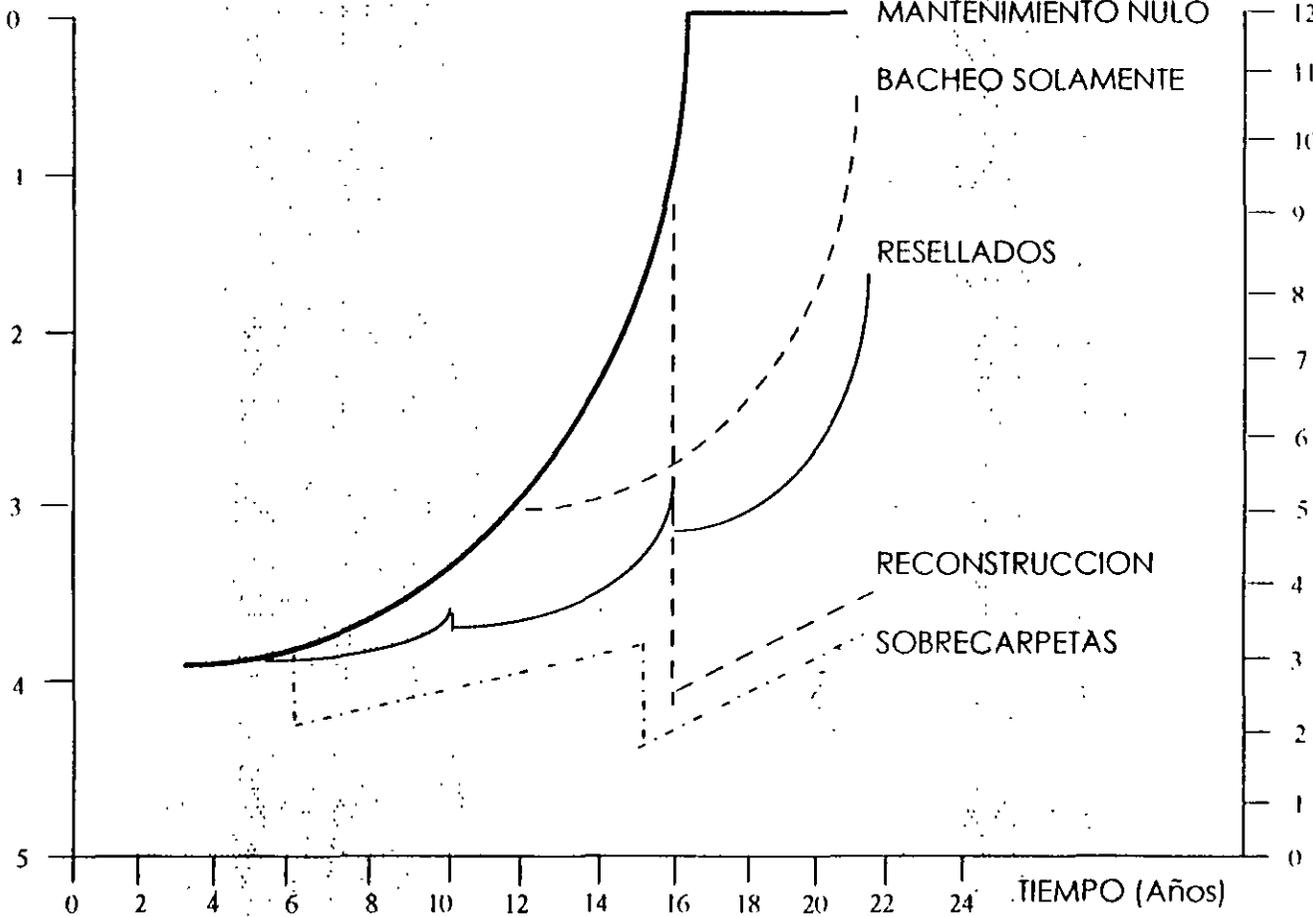


Tabla 1
Clases de tránsito pesado

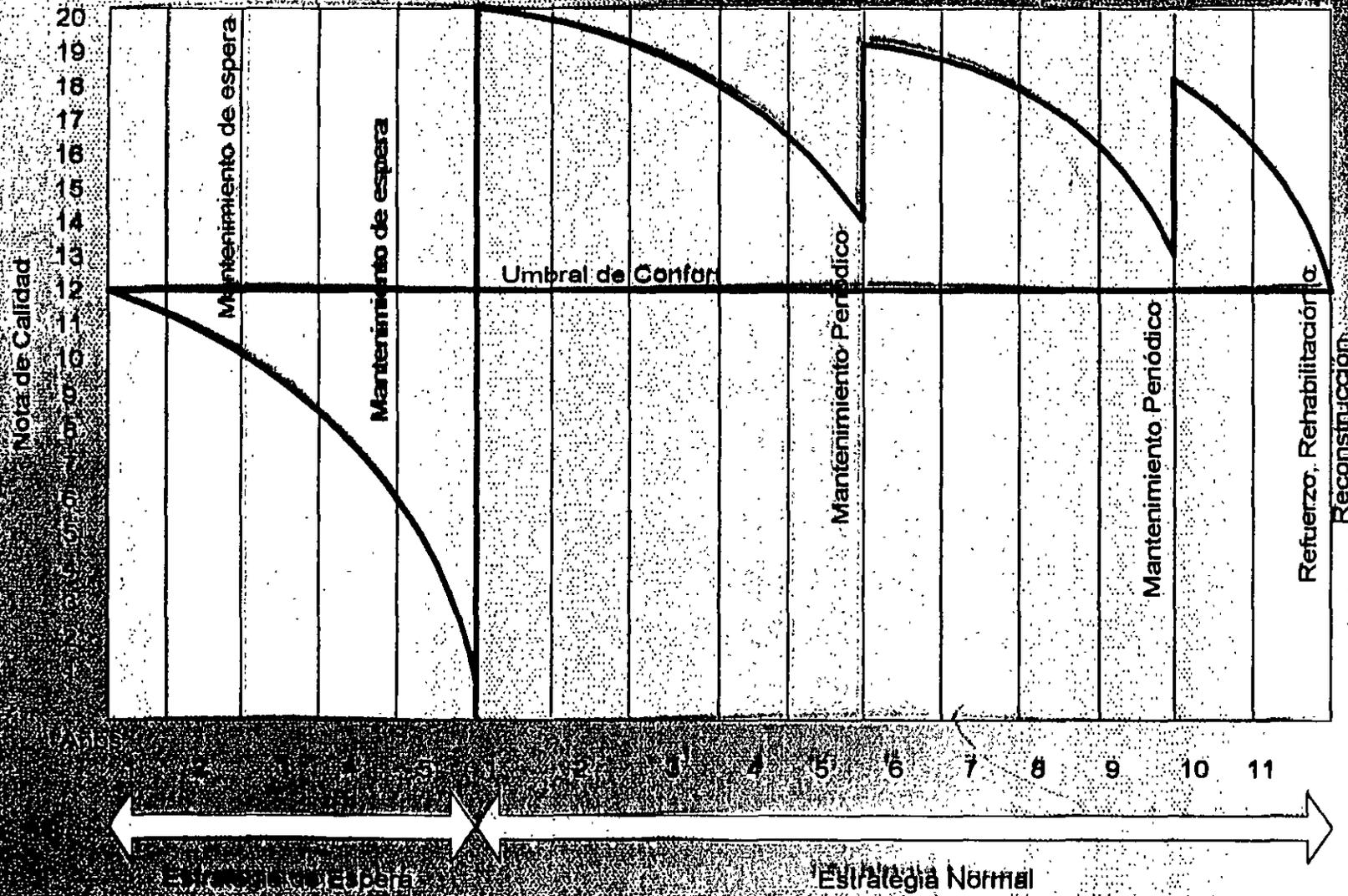
(Vehículos pesados en una dirección)

Código	Límite inferior	Límite superior
TP0	0	75
TP1	75	300
TP2	301	1000
TP3	1001	2000
TP4	2001	6000
TP5	6001	20000

Tabla 2
Naturaleza de las obras

Código	Naturaleza
A1	Alrededores de la carretera
A2	Conservación normal del pavimento
A3	Calavereo y bacheo
P1	Riego de sello
P2	Bacheo y sello
P3	Renivelaciones + riego de sello
P4	Microcarpeta y sello
P5	Refuerzo superficial del pavim. (recup. del pav.)
P6	Reniv., carpeta(5-8 cr.) y sello
P7	Carpeta(5-8 cm.) y se
R1	Obras complementarias (categoria 1)
R2	Obras complementarias (categoria 2)
R3	Base hidráulica(12-15cm), microcarpeta y sello
R4	Subbase.Base hidráulica + Sello
R5	Reconstrucción (Recup.carpeta(5cm) y sello) ^P
R6	Reconstrucción (Recup.carpeta(8cm) y sello)

Estrategias de mantenimiento



CLASIFICACIÓN POR ESTADOS FÍSICOS Y CLASES DE TRÁNSITO (No incluye Obras en Proceso)

Estado	Nº	TP0		TP1		TP2		TP3		TP4		TP5		Totales	
		km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%	km	%
Bueno	20	331	39.5	738	37.8	1200	46.9	535	67.1	94	34.8		0.0	2896	45.1
	19	150	17.9	738	37.9	1000	39.1	171	21.5	71	26.1		0.0	2130	33.2
	18	356	42.5	472	24.3	358	14.0	91	11.4	107	39.3	6	0.0	1390	21.7
		837		1946		2558		797		272		6		6416	15.4
Regular	17	289	15.4	898	18.6	1290	23.1	357	24.4	13	3.49	0	0.0	2827	20.2
	16	89	5.1	861	17.8	894	16.0	329	22.5	114	30.6	0	0.0	2287	16.3
	15	255	14.6	461	9.5	1041	18.8	152	10.4	27	7.24	0	0.0	1936	13.8
	14	507	28.9	864	17.9	770	13.8	22	1.5	19	5.09	1	0.0	2183	15.6
	13	589	33.6	880	18.2	781	14.0	327	22.4	5	1.3	0	0.0	2582	18.4
	12	43	2.5	873	18.0	809	14.5	274	18.8	195	52.3	0	0.0	2194	15.7
		1752		4837		5585		1461		373		1		14009	33.6
Malo	11	159	12.6	556	23.2	660	25.6	48	8.6	0	0	0	0.0	1423	20.6
	10	550	43.7	492	20.5	720	27.9	234	41.7	33	33.7	0	0.0	2029	29.4
	9	66	5.2	595	24.8	799	30.9	158	28.2	61	62.2	0	0.0	1679	24.3
	8	142	11.3	384	16.0	133	5.2	88	15.7	4	4.08	0	0.0	751	10.9
	7	341	0.0	372	15.5	270	10.5	33	5.9	0	0	0	0.0	1018	14.7
		1258		2399		2582		561		98		0		6898	16.6
Pésimo	6	601	27.3	784	17.8	756	12.6	310	22.3	35	10.4	0	0.0	2486	17.4
	5	96	4.4	669	15.2	857	14.3	251	18.0	59	17.6	6	0.0	1938	13.5
	4	136	6.2	567	13.3	829	13.9	9	0.6	0	0	0	0.0	1561	10.9
	3	392	17.8	879	19.9	1207	20.2	98	6.9	3	0.89	0	0.0	2577	18.0
	2	494	22.4	817	18.5	1065	17.8	205	14.7	13	3.87	0	0.0	2594	18.1
	1	486	22.0	671	15.2	1266	21.2	521	37.4	228	67.3		0.0	3170	22.1
		2205		1407		5980		1397		336		6		14326	34.4

Total por clase	6052	13589	16705	4211	1079	13	41649	100
% de la red	14.5	32.6	40.1	10.1	2.6	0.0	100.0	

EJEMPLO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

TP0					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1		
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A2	
S	4	17	A1	A3	
S	5	16	A1		
S	6	15	A1	P2	
S	7	18	A1	A2	
S	8	17	A1	A2	
S	9	16	A1	A2	
S	10	15	A1	A3	
S	11	14	A1	A3	
S	12	13	A1	P2	
S	13	17	A1	A2	
S	14	16	A1	A2	
S	15	15	A1	A3	
S	16	14	A1	A2	
S	17	13	A1	A3	
S	18	12	A1		R3
A	1	9	A1	A3	
A	2	7			
A	3	5	A1	A3	
A	4	4			
A	5	3	A1	A3	
A	6	2			
A	7	1	A1		R3

TP1					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1	A2	
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A2	
S	4	17	A1	A3	
S	5	16	A1	A2	
S	6	14	A1	A2	
S	7	13	A1	P2	
S	8	18	A1	A2	
S	9	16	A1	A2	
S	10	15	A1	A3	
S	11	14	A1	A3	
S	12	13	A1	A3	
S	13	12	A1	P2	
S	14	17	A1	A2	
S	15	16	A1	A2	
S	16	14	A1	A3	
S	17	13	A1	A3	
S	18	12	A1	R2	R3
A	1	10	A1	A2	
A	2	9	A1	A2	
A	3	7	A1	A2	
A	4	6	A1	A3	
A	5	5	A1	A3	
A	6	4	A1	A3	
A	7	3	A1	A3	
A	8	1	A1	R2	R3

EJEMPLO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

TP2					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1		
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A2	
S	4	17	A1	A2	
S	5	16	A1	A3	
S	6	15	A1	A3	
S	7	14	A1	P6	
S	8	18	A1	A2	
S	9	17	A1	A2	
S	10	16	A1	A2	
S	11	14	A1	A3	
S	12	13	A1	A3	
S	13	12	A1	P6	
S	14	18	A1	A2	
S	15	16	A1	A2	
S	16	15	A1	A2	
S	17	14	A1	A3	
S	18	12	A1	R2	R4
A	1	11	A1	P2	
A	2	9	A1	A2	
A	3	7	A1	A2	
A	4	6	A1	A2	
A	5	5	A1	A2	
A	6	4	A1	P2	
A	7	3	A1	A2	
A	8	2	A1	A2	
A	9	1	A1	R2	R4

TP3					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1	A2	
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A2	
S	4	17	A1	A2	
S	5	18	A1	A2	P2
S	6	15	A1	A2	
S	7	14	A1	A3	
S	8	13	A1	A2	P5
S	9	18	A1	A2	
S	10	18	A1	A2	
S	11	16	A1	A2	
S	12	15	A1	A2	P2
S	13	14	A1	A2	
S	14	13	A1	A2	
S	15	12	A1	R2	R4
A	1	10	A1	A2	
A	2	9	A1	A3	
A	3	7	A1	A2	
A	4	6	A1	P2	
A	5	5	A1	A2	
A	6	3	A1	A2	
A	7	2	A1	A2	
A	8	1	A1	R2	R4

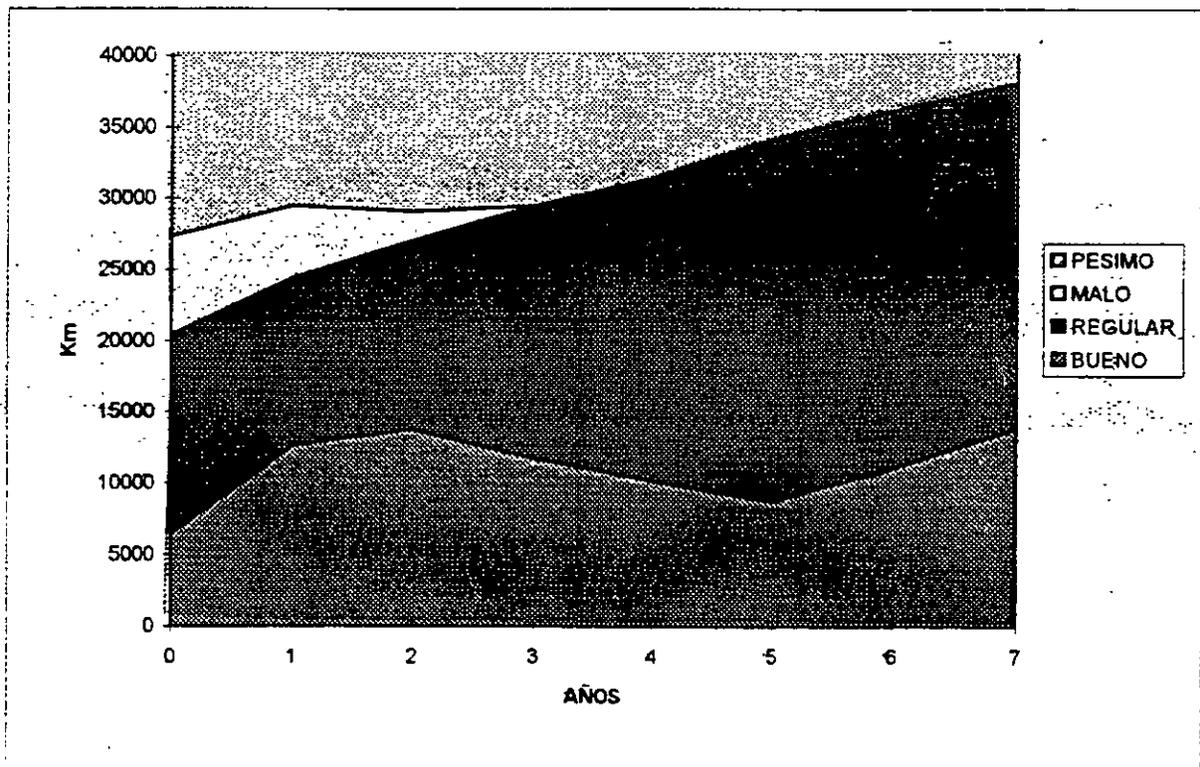
EJEMPLO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

TP4					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1	A2	
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A2	
S	4	17	A1	A3	
S	5	16	A1	A3	
S	6	15	A1	P6	
S	7	18	A1	A2	
S	8	17	A1	A2	
S	9	16	A1	A3	
S	10	14	A1	A3	
S	11	12	A1	R2	RS
A	1	10	A1	A2	
A	2	7	A1	A2	
A	3	5	A1	P3	
A	4	2	A1	A2	
A	5	1	A1	R2	R5

TP5					
TIPO DE ESTRATEGIA	AÑO	NC	O1	O2	O3
S	1	20	A1	A2	
S	2	19	A1	A2	
S	3	18	A1	A3	
S	4	17	A1	A3	
S	5	15	A1	P6	
S	6	18	A1	A2	
S	7	17	A1	A2	
S	8	16	A1	A3	
S	9	14	A1	R1	R6
A	1	13	A1	A3	
A	2	6	A1	P4	
A	3	1	A1	R1	R6

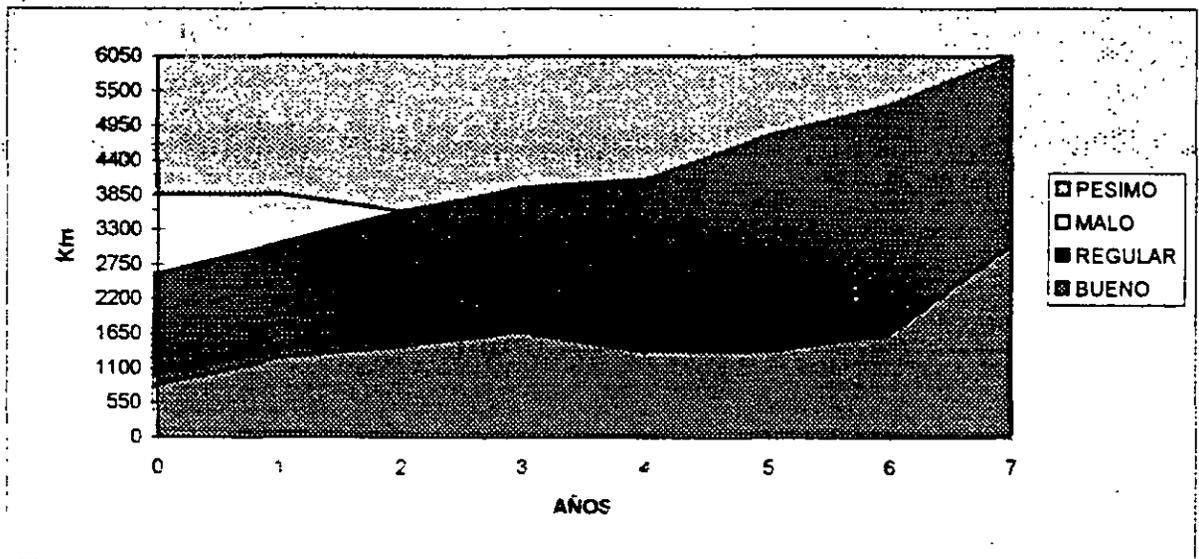
	0	1	2	3	4	5	6	7
BUENO	6416	12605	13784	11791	10145	8753	11074	13850
REGULAR	14009	11813	13293	17671	21267	25340	25135	24290
MALO	6898	5070	1990	0	0	0	0	0
PESIMO	14326	12161	12582	12187	10237	7556	5440	3509

41649 41649 41649 41649 41649 41649 41649 41649



		TP0							
NC \ AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	
9	775	0	0	0	0	0	0	0	
7	483	775	0	0	0	0	0	0	
5	697	483	775	0	0	0	0	0	
4	136	697	483	775	0	0	0	0	
3	392	136	697	483	775	0	0	0	
2	494	392	136	697	483	775	0	0	
1	486	494	392	136	697	483	775	0	
20	331	529	494	392	136	697	483	1364	
19	150	331	529	494	392	136	697	483	
18	356	150	331	529	494	392	136	697	
17	269	356	150	331	529	494	392	136	
16	89	269	356	150	331	529	494	392	
15	255	89	269	356	150	331	529	494	
18	0	255	89	269	356	150	331	529	
17	0	0	255	89	269	356	150	331	
16	0	0	0	255	89	269	356	150	
15	0	0	0	0	255	89	269	356	
14	507	0	0	0	0	255	89	269	
13	589	507	0	0	0	0	255	89	
17	0	589	507	0	0	0	0	255	
16	0	0	589	507	0	0	0	0	
15	0	0	0	589	507	0	0	0	
14	0	0	0	0	589	507	0	0	
13	0	0	0	0	0	589	507	0	
12	43	0	0	0	0	0	589	507	

	0	1	2	3	4	5	6	7
BUENO	837	1265	1443	1684	1378	1375	1647	3073
REGULAR	1752	1810	2126	2277	2719	3419	3630	2979
MALO	1258	775	0	0	0	0	0	0
PESIMO	2205	2202	2483	2091	1955	1258	775	0
	6052	6052	6052	6052	6052	6052	6052	6052



Resultados a nivel de Tramo

Cent.	Cat	Núm	Ruta	km	km	Año	Año	Tráns.	Clase	Dec	tipo de	Año	Nota	Nota	Natur.	Costo	Natur.	Costo	Natur.	Costo	total	COV
SCT	Adm	Admin		inic.			Reh.	total	Tráns.		estrat.		Cual.	Rugo.	Obra 1		Obra 2		Obra 3			
JAL	AG	80	AG	0	16	1995	0	3156	TP2	1	S	1	19	2		0		0		0	0	22
JAL	AG	80	AG	0	16	1996	0	3282	TP2	1	S	2	18	2	A1	28		0		0	28	23
JAL	AG	80	AG	0	16	1997	0	3413	TP2	1	S	3	16	4		0	A3	125		0	125	26
JAL	AG	80	AG	0	16	1998	0	3550	TP2	1	S	4	14	6	A1	28		0		0	28	30
JAL	AG	80	AG	0	16	1999	0	3692	TP2	1	S	5	13	7		0		0		0	0	32
JAL	AG	80	AG	0	16	2000	0	3840	TP2	1	S	6	11	9	A1	28		0	P5	682	709	36
JAL	AG	80	AG	0	16	2001	0	3994	TP2	1	S	7	13	7		0		0		0	0	35
JAL	AG	80	AG	16	2	1995	0	3156	TP2	1	S	4	14	6	A1	3		0		0	3	3
JAL	AG	80	AG	16	2	1996	0	3282	TP2	1	S	5	13	7		0		0		0	0	4
JAL	AG	80	AG	16	2	1997	0	3413	TP2	1	S	6	11	9	A1	3		0	P5	85	89	4
JAL	AG	80	AG	16	2	1998	0	3550	TP2	1	S	7	13	7		0		0		0	0	4
JAL	AG	80	AG	16	2	1999	0	3692	TP2	1	S	8	12	8	A1	3		0		0	3	4
JAL	AG	80	AG	16	2	2000	0	3840	TP2	1	S	9	11	9		0	A3	16		0	16	5
JAL	AG	80	AG	16	2	2001	0	3994	TP2	1	S	10	10	9	A1	3		0		0	3	5
JAL	AG	80	AG	18	2	1995	0	3156	TP2	1	S	1	19	2		0		0		0	0	3
JAL	AG	80	AG	18	2	1996	0	3282	TP2	1	S	2	18	2	A1	3		0		0	3	3
JAL	AG	80	AG	18	2	1997	0	3413	TP2	1	S	3	16	4		0	A3	16		0	16	3
JAL	AG	80	AG	18	2	1998	0	3550	TP2	1	S	4	14	6	A1	3		0		0	3	4
JAL	AG	80	AG	18	2	1999	0	3692	TP2	1	S	5	13	7		0		0		0	0	4
JAL	AG	80	AG	18	2	2000	0	3840	TP2	1	S	6	11	9	A1	3		0	P5	85	89	5
JAL	AG	80	AG	18	2	2001	0	3994	TP2	1	S	7	13	7		0		0		0	0	4

DPE/SISTER estrategia
Estrategia de referencia 00

Año	CEref	CE	COVref	COV
1995	1,130	943	92,856	92,877
1996	716	1,504	94,734	95,442
1997	737	1,525	99,419	98,617
1998	436	2,022	105,007	100,457
1999	468	1,805	112,552	100,164
2000	843	2,329	118,482	101,436
total	4,330	10,128	623,050	588,993
VNA	N\$3,074.03	N\$6,615.58	N\$419,818.53	N\$401,273.92

Indicadores Económicos

$$NA = \sum_{k=1}^{n} \frac{F_k}{(1+i)^k}$$

INDICADORES ECONOMICOS

Costos actualizados al año 1
 Tasa = 12%

$$VF_1 = VP(1+i)^n$$

CEref	3,443	Millones de Nuevos Pesos
CE	7,409	Millones de Nuevos Pesos
COVref	470,197	Millones de Nuevos Pesos
COV	449,427	Millones de Nuevos Pesos

Para el año 1

CEref	3,442.92
CE	7,409.44
COVref	470,196.75
COV	449,426.79

Razón Beneficio/costo (en valor relativo)

Ratio 5.236

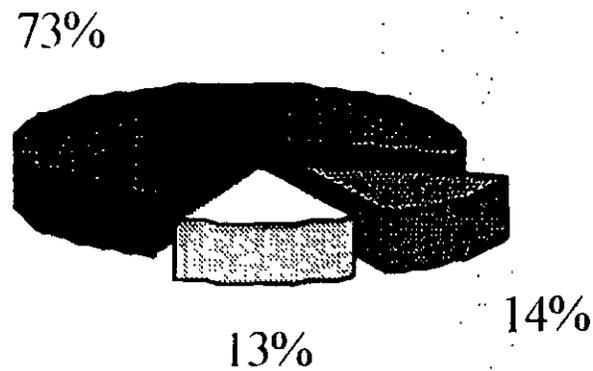
Ahorros	20,770.00
Egresos	3,966.00
Beneficios	16,804.00
Razón B/C	5.2370

$$\begin{aligned} \text{Ahorros} &= \text{COVref} - \text{COV} \\ \text{Egresos (inversión)} &= \text{CE} - \text{CEref} \\ \text{Beneficios} &= \text{Ahorros} - \text{Egresos} \\ \text{Razón B/C} &= \text{Ahorros/Egresos} \end{aligned}$$

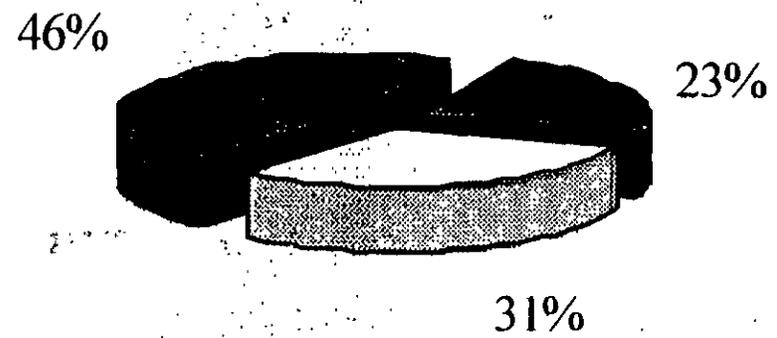
EXPERIENCIA MEXICANA EN LA CONSERVACIÓN DE CARRETERAS

ESTADO FISICO DE LA RED FEDERAL 1993 Y 1997

ESTADO FISICO FIN 1993



ESTADO FISICO ESTIMADO FIN 1997



■ BUENO □ REGULAR ■ MALO

Conclusión

El Modelo SISTER permite observar rápidamente las consecuencias a corto, mediano y largo plazo de la aplicación de una determinada política de mantenimiento, valiéndose de un sencillo esquema de operación que contempla procedimientos de recolección de datos poco demandantes y que opera proporcionando resultados que permiten:

- ☑ Visualizar el estado físico de un conjunto de Red en el tiempo
- ☑ Establecer necesidades presupuestarias.
- ☑ Comparar los beneficios de un conjunto de estrategias para seleccionar la óptima.
- ☑ Sustentar proposiciones ante autoridades políticas y argumentar ante organismos financieros nacionales e internacionales.