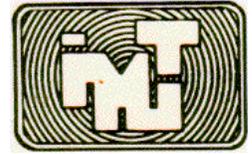


ISSN 0188-7297



APLICACIÓN DEL HDM-III A LA RED CARRETERA FEDERAL DEL ESTADO DE PUEBLA

Alberto Mendoza Díaz
Jorge Campos Mirón
Emilio Mayoral Grajeda

Publicación Técnica No. 164
Sanfandila, Qro. 2001

**INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES**

**Aplicación del HDM - III
a la Red Carretera Federal
del Estado de Puebla**

**Publicación Técnica No. 164
Sanfandila, Qro. 2001**

Este trabajo fue elaborado en la Coordinación de Seguridad y Operación del Transporte, del Instituto Mexicano del Transporte, por Alberto Mendoza Díaz, Coordinador de Seguridad y Operación del Transporte, Jorge Campos Mirón, pasante de la Maestría en Vías Terrestres de la Universidad Autónoma de Chihuahua y Emilio Mayoral Grajeda, Jefe de la Unidad de Accidentalidad y Control de Tránsito.

	Página
Resumen	IX
Abstract	XI
Resumen Ejecutivo	XIII
Capítulo 1 INTRODUCCION	1
1.1 GENERALIDADES	1
1.2 JUSTIFICACION	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.4 ALCANCES	2
Capítulo 2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS	5
2.1 INTRODUCCION	5
2.2 NIVELES DE GESTION DE PAVIMENTOS	7
2.3 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE RED	9
2.3.1 Inventario	10
2.3.2 Evaluación de la Condición de los Pavimentos	11
2.3.3 Determinación de las Necesidades de Financiamiento	13
2.3.4 Priorización de Secciones Candidatas	14
2.3.5 Determinación de los Efectos o Impactos de las Decisiones Presupuestarias	16
2.3.6 Sistemas de Retro-Alimentación	16
2.4 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE PROYECTO	17

	Página
2.4.1 Diseños Nuevos	18
2.4.2 Desarrollo de los Tratamientos de Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción	19
2.4.3 Selección de la Mejor Estrategia	23
2.5 RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE RED Y A NIVEL DE PROYECTO	24
2.6 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS	25
2.7 BENEFICIOS DE LA ADMNISTRACION DE PAVIMENTOS	25
Capítulo 3 INFORMACION DE CAMPO DE LA RED DE CARRETERAS FEDERALES DE PUEBLA	27
3.1 DATOS GENERALES	27
3.2 CALIDAD DE RODAMIENTO	30
3.3 INFORMACION DE TRANSITO	31
3.4 INVENTARIO DE DETERIOROS	35
3.5 PROYECTOS HOMOGENEOS DE CONSERVACION	42
3.6 DEFLEXIONES Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES	42
Capítulo 4 APLICACION DEL MODELO “HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE - III” (HDM-III)	47
4.1 DATOS DE ENTRADA	47
4.1.1 Características de los Segmentos (Serie A)	47
4.1.2 Alternativas de Mantenimiento (Serie C)	50
4.1.3 Características de los Vehículos (Serie D)	52
4.1.4 Datos de Tránsito (Serie E)	52
4.1.5 Alternativas de Segmentos (Serie G)	54

	Página
4.1.6 Alternativas de Grupos (Serie H)	54
4.1.7 Reportes Deseados (Serie I)	54
4.1.8 Comparación de Alternativas (Serie J)	54
4.1.9 Control de la Corrida (Serie K)	55
4.2 ANALISIS DE RESULTADOS	55
4.2.1 Resultados Generales	56
4.2.2 Programa de Acciones y Presupuestos Requeridos	58
Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS	79
ANEXOS	85
ANEXO A.	87
ANEXO B.	99
ANEXO C.	107
ANEXO D.	115
ANEXO E.	121

Este trabajo muestra un ejemplo completo de aplicación del programa "Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III)" a un caso real. El ejemplo que se describe corresponde a la Red de Carreteras Federales del Estado de Puebla. La recopilación de datos fue desarrollada conjuntamente con la Unidad General de Servicios Técnicos del Centro SCT del Estado de Puebla. La información que se maneja en este trabajo corresponde básicamente a los años 1996 y 1997.

No obstante que actualmente ya se cuenta con el HDM-IV, al momento de realizar este trabajo sólo existía el HDM-III.

El objetivo fundamental de este trabajo es explorar las posibilidades prácticas de utilización en México de los denominados Sistemas de Administración de Pavimentos.

Se presentan algunos principios básicos de la administración de pavimentos. Se describe el proceso de generación de las bases de datos requeridas para poder realizar los análisis de estimación de recursos. Se realizan los análisis económicos para la definición de los programas preliminares anuales de conservación tanto rutinaria como preventiva y correctiva. Se presentan una serie de conclusiones y recomendaciones.

Abstract

This work presents a complete example of application of the program "Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III)" to a real case. The described example corresponds to the network of Federal Roads of the State of Puebla. The data gathering was carried out jointly with the Technical Services General Unit of the SCT Center of the state of Puebla. The data used in this work corresponds, basically, to years 1996 and 1997.

Although HDM-IV is already currently available, at the moment of carrying out this work only HDM-III existed.

The main objective of this work is to explore the practical possibilities of use in Mexico of Pavement Management Systems.

The basic principles of pavement management are shown. The creation of the databases required to make the resources estimation, is described. The analysis for defining the preliminary routine maintenance programs as well as the preventive and corrective maintenance programs, is described. A series of conclusions and recommendations are finally presented.

1 Generalidades

Se ha calculado que para una adecuada conservación de la Red Carretera principal (Federal) de México, con una extensión aproximada de 30,000 km, se requieren montos de recursos que exceden notablemente a aquéllos que tradicionalmente el Gobierno Federal ha podido asignar a esta tarea. Específicamente, se le han dedicado alrededor de 180 millones de dólares anuales, cuando se estima que se requiere un presupuesto anual del orden de 610 millones de dólares para lograr un buen estado general en la Red en 20 años. Obedeciendo a la situación anterior, desde la década de los 80's se utilizan cada vez con mayor frecuencia los "sistemas de administración o gestión de pavimentos", los cuales tienen como finalidad, ayudar a elaborar programas anuales de conservación que distribuyan los casi siempre limitados recursos disponibles, a las tareas que más convenga realizar.

Existen comercialmente una gran cantidad de estos sistemas. Uno de los más empleados en los países de América Latina es el denominado "Highway Design and Maintenance (HDM-III)" elaborado por el Banco Mundial. El HDM-III consta fundamentalmente de dos módulos: uno, denominado HDM, el cual permite realizar análisis de factibilidad económica; y el otro, denominado "Economic Design Maintenance (EDM)", que permite seleccionar las alternativas más rentables en su conjunto, sujeto esto a una serie de restricciones presupuestales y de recursos en diferentes períodos de tiempo. En este trabajo se presenta la aplicación del HDM-III a la Red Carretera Federal del Estado de Puebla. Dicho modelo fue seleccionado por la inquietud de investigar la conveniencia de emplear este tipo de tecnologías, así como explorar las posibilidades prácticas de utilización en México de estos sistemas y ejemplificar su uso con un caso real. No obstante que actualmente ya se cuenta con el HDM-IV, al momento de realizar este trabajo sólo existía el HDM-III.

La información de la Red Carretera Federal del Estado de Puebla que se maneja en este trabajo corresponde a los años 1996 y 1997.

2 Información de Campo de la Red de Carreteras Federales de Puebla

La Unidad General de Servicios Técnicos en el Estado de Puebla se encargó de recopilar la información requerida para los análisis de este estudio. En Puebla, la Red Carretera Federal tiene una extensión aproximada de 1,118 km. Se realizó un inventario de deterioros, registrando los distintos tipos de falla (roderas, baches, grietas

longitudinales, grietas transversales y otros), evaluando la extensión y severidad o gravedad de las fallas en cada segmento de los distintos tramos, determinándose además un índice de la condición de pavimento. Se obtuvo la calidad de rodamiento mediante la calificación de servicio actual (CSA). Se obtuvo información de tránsito que permitió identificar dentro de cada tramo, los subtramos con diferente nivel de tránsito. De lo anterior, se definieron 42 proyectos que guardaban relativa homogeneidad tanto en términos de nivel de tránsito como de estado superficial (CSA). Para obtener las propiedades estructurales y deflexiones, se midieron segmentos de 5 km utilizando Viga Benkelman. Como el HDM requiere sólo el espesor de la capa superficial y el Valor Relativo de Soporte (VRS) de la subrasante, se establecieron cinco secciones representativas de los 42 proyectos; sin embargo, para cada proyecto, se obtuvo la información de las distintas capas.

3 Aplicación del Modelo HDM-III

Este modelo permite analizar la factibilidad económica de una serie de alternativas posibles de mantenimiento para los diferentes componentes de la Red (segmentos). A partir de estos análisis, se hacen evidentes las estrategias de conservación más convenientes para cada segmento. La especificación de un problema en el HDM se realiza a través de 11 series de datos de entrada (denominadas con las letras "A" a "K"). La Tabla 1 indica la información que se almacena en cada una de ellas.

TABLA 1. Serie de Datos de Entrada

SERIE	INFORMACION
A	Características de los Segmentos
B	Alternativas de Construcción
C	Alternativas de Mantenimiento
D	Características de los Vehículos
E	Datos de Tránsito
F	Costos de exógenos o Beneficios
G	Alternativas de los segmentos
H	Alternativas de Grupos
I	Reportes Deseados
J	Comparación de Alternativas
K	Control de la Corrida

A continuación se describen brevemente sólo la información a que se refiere cada serie aplicable a la Red del Estado de Puebla.

Con respecto a las características de los segmentos, éstas se ingresaron al HDM por medio de 2 formatos, el primero se refiere a la identificación y descripción general; en el segundo se proporcionan las características de los proyectos incluyendo aspectos ambientales (precipitación pluvial y altura sobre el nivel del mar), propiedades geométricas (curvatura promedio horizontal y vertical, sobreelevación, anchos de sección de circulación y acotamientos), tipo y espesor de la capa superficial (extensión y severidad de los tipos de falla y calificación de servicio o rugosidad).

En las alternativas de mantenimiento se ingresó información referente a las opciones de conservación a considerar para las secciones (o proyectos) y sus costos, realizando la especificación a través de 2 formatos, en el primero se especifican los costos unitarios de 8 operaciones individuales de conservación para secciones pavimentadas, en el segundo se especifican una serie de estándares de conservación, señalando al programa las operaciones individuales que cada uno de ellos incluye. El modelo evalúa la factibilidad económica de aplicar estos estándares a cada proyecto, con el fin de identificar el más conveniente para cada uno de ellos. En el problema particular que se aborda, se consideraron los siguientes 4 estándares de conservación:

- I. Afrontar el período de análisis (15 años en este caso) mediante mantenimiento rutinario, la realización de bacheo cuando se produzcan agujeros en la carpeta y la reconstrucción (desde la base) cuando se alcance una calificación de servicio actual (CSA) de 1.
- II. Lo mismo anterior, pero añadiendo la colocación de riegos de sello a los primeros signos de agrietamiento o desprendimiento del agregado de la carpeta.
- III. Lo mismo que en (I), pero adicionando la realización de renivelación y riego de sello (ó 15 cm de recuperación) cuando la superficie alcance una CSA de 3.
- IV. Lo mismo que en (I), pero añadiendo la colocación de una sobrecarpeta de 5 cm de espesor cuando la superficie alcance una CSA de 2.

Respecto a los vehículos, se ingresaron las características operativas (tipo de vehículo, peso bruto vehicular, coeficientes de daños, carga útil, etc.) y costos de los grupos de vehículos (costo inicial, costo de llantas, combustibles, lubricantes, etc.) que, en proporción e intensidad diferentes, circulan por las secciones. Esta información permite al programa calcular los costos de operación por kilómetro para los distintos grupos vehiculares.

En el formato de *datos de tránsito* se ingresa el flujo diario promedio anual de los diferentes tipos de vehículos, así como su tasa de crecimiento anual aplicable al período de análisis (15 años).

Mediante la comparación de alternativas, se solicitan al programa otros reportes relacionados con la secuencia de costos anuales (de conservación, operación vehicular y suma de ambos) para las alternativas de secciones o alternativas de grupos; asimismo, se indican las comparaciones económicas deseadas entre alternativas.

El control de la corrida se utiliza principalmente para la detección de errores en los datos, así como para controlar la impresión de la información de salida y la preparación de datos para el módulo EDM.

4 Análisis de Resultados

Como el HDM sólo acepta una máximo de 20 grupos por corrida, se decidió realizar 6 corridas (7 proyectos por corrida). En el análisis se incluyó una evaluación a nivel de planeación, determinándose los presupuestos anuales de conservación requeridos y los tramos en que deberá actuarse cada año. Básicamente lo que el modelo realizó en cada proyecto o sección, para cada uno de los 4 estándares de mantenimiento, fue el momento en que cualquiera de las operaciones de conservación de ellos sería aplicable. De esta manera, para cada estándar, determinó los costos en cada uno de los 15 años del período de análisis, por los siguientes conceptos:

- Acciones de conservación preventiva y correctiva.
- Acciones de mantenimiento rutinario (incluye bacheo y no se considera el mantenimiento rutinario de las obras de drenaje).
- Operación vehicular.
- Totales (o suma de los anteriores).

Asimismo, para cada uno de los rubros anteriores, determinó la suma de costos descontados para el período de análisis, considerando tasas de descuento de 0, 8, 12 y 20%.

En la Tabla 2 se resumen algunos resultados generales relevantes obtenidos de la aplicación del HDM . La columna 9 de la tabla se refiere al costo total del estándar de conservación que, para cada proyecto, resultó con menor valor de ese parámetro (en algunos casos, es mas de uno). Los estándares óptimos se indican en la columna 5. A partir de la Tabla 2 se observaron las siguientes tendencias generales:

- En todos los casos, el costo de operación vehicular prevaleció muy por encima de los costos de conservación (preventiva y correctiva o de mantenimientos rutinario), constituyendo por tal razón la mayor parte del costo total.
- En la mayoría de los proyectos, la aplicación del estándar de conservación número IV (colocación de sobrecarpeta), resultó más conveniente, ya que fue el que mantiene la mejor condición superficial en las secciones durante el período de análisis, con lo cual produce los menores costos de operación vehicular.
- El estándar I (de mínima inversión) sólo resulta más conveniente en el caso de secciones con bajo tránsito, en relativamente buen estado.
- Es particularmente interesante que el estándar de conservación II (mantenimiento preventivo) resultó más conveniente que los otros, en el caso de secciones en buen estado con intensidades de tránsito de medianas a elevadas.

Los resultados anteriores sólo son elementos de política general y de planeación preliminar a nivel de red y de ninguna manera deben considerarse como definitivos para aplicarse en cada caso.

Ellos son aplicables a este nivel sólo con fines de determinación de presupuestos requeridos; las acciones definitivas a emprender deben determinarse a partir de análisis a nivel de proyecto.

Según información proporcionada por el Centro SCT del Estado de Puebla, en los últimos dos años se han destinado presupuestos anuales del orden de 1,800 dólares por kilómetro al mantenimiento rutinario y 7,000 dólares por kilómetro a la conservación preventiva y correctiva (2,700 para conservación periódica y 4,300 para reconstrucción). Las cifras anteriores hacen montos anuales del orden de 2.0 y 7.9 millones de dólares, respectivamente, para la red considerada de 1,118 kilómetros.

TABLA 2. Algunos Resultados del HDM, Tasa Anual de Descuento del 8%

Corrida	No. de Proyecto	CSA	TDPA	Tipo de Estándar	Suma de Costos Descontados (millones de dólares)			
					MPC	MR	CO	CT
1	10	2.18	650	1 ó 2	0.000	0.106	4.698	4.804
	9	2.20	650	1 ó 2	0.000	0.032	5.262	5.294
	39	2.46	8445	4	0.562	0.030	125.342	125.934
	37	2.48	879	1,2 ó 4	0.000	1.132	86.930	88.062
	38	2.51	4941	4	1.572	0.210	235.717	237.499
	41	2.55	2787	4	1.098	0.546	234.985	236.629
	42	2.58	2509	1,2 ó 4	0.000	0.270	126.491	126.761
2	34	2.58	13645	4	2.904	0.174	877.724	880.802
	33	2.62	22829	4	1.816	0.060	599.519	601.395
	14	2.67	2785	4	0.878	0.308	213.942	215.128
	40	2.71	6067	4	3.994	0.152	596.668	600.814
	31	2.73	14036	4	0.244	0.008	58.700	58.952
	32	2.74	4655	4	0.216	0.056	56.732	57.004
	35	2.76	6815	4	1.706	0.128	465.852	467.686
3	26	2.77	3777	4	1.438	0.078	120.765	122.281
	29	2.78	17021	4	0.992	0.028	212.312	213.332
	15	2.82	1422	1,2 ó 4	0.000	0.244	115.498	115.742
	3	2.82	18491	4	0.410	0.032	240.147	240.589
	2	2.84	10014	4	1.790	0.110	433.452	435.352
	17	2.85	1422	2	0.580	0.076	50.308	50.964
	5	2.86	3115	4	0.764	0.162	119.928	120.854
4	1	2.87	2743	4	0.880	0.104	111.075	112.059
	12	2.88	13004	3	4.326	0.104	305.977	310.47
	19	2.90	1934	1	0.000	0.508	59.118	59.176
	22	2.92	4791	4	6.372	0.274	561.268	567.914
	36	2.92	9476	4	0.668	0.060	315.134	315.862
	23	2.95	650	1	0.000	0.022	7.729	7.751
	25	2.97	7176	4	0.648	0.030	121.362	122.040
5	24	3.00	4791	4	0.916	0.048	124.901	125.865
	16	3.06	1422	1	0.000	0.062	49.347	49.409
	18	3.20	4960	4	0.720	0.094	235.588	236.402
	21	3.22	4791	4	1.748	0.090	237.834	239.672
	20	3.33	4581	4	2.106	0.168	459.222	461.496
	27	3.43	3777	4	1.008	0.034	68.397	69.439
	8	3.44	650	1 ó 2	0.000	0.036	12.458	12.494
6	30	3.48	11651	4	0.280	0.014	89.974	90.268
	28	3.68	8652	2	3.022	0.084	400.496	403.602
	13	3.72	8902	2	1.976	0.110	489.254	491.340
	4	3.74	3115	2	2.586	0.148	231.396	234.130
	7	3.83	6613	2	2.366	0.202	744.286	746.854
	6	3.91	9079	2	1.906	0.106	492.986	494.998
	11	4.60	25602	3	4.326	0.044	431.561	435.931

Nota:

CSA = Calificación del Servicio Actual; TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual;
MPC = Mantenimiento Preventivo y Correctivo; CO = Costos de Operación;
MR = Mantenimiento Rutinario (Bacheo); CT = Costos Totales

En la Tabla 3 se muestra información sobre los montos anuales requeridos para conservación preventiva y correctiva. En ella se indican los proyectos en que deberá realizarse este tipo de acciones para cada uno de los años del período de análisis así como sus montos no-descontados correspondientes. Se observa en la tercera columna de la tabla que habrán de realizarse acciones de conservación preventiva y correctiva en una longitud total de 5,390 km (4.8 actuaciones en promedio en cada kilómetro en los 15 años del período de análisis ó una actuación promedio en cada kilómetro cada 3 años). De la última columna se aprecia que se requerirán invertir 120 millones de dólares (no descontados) en este tipo de acciones durante los 15 años del período de análisis.

Se reitera que los montos anuales valuados a partir del análisis a nivel de red deben servir de base en el proceso de gestión para la consecución de los mismos. Una vez logrados éstos, deberá procederse a la realización de los proyectos definitivos, considerando ahora la restricción de los montos conseguidos.

TABLA 3 Recursos Anuales Requeridos para Conservación Preventiva y Correctiva (NO Descontados)

Año	No. de Proyectos a realizar	Longitud estimada (Km)	Costo Total (millones de dólares)
1996	11	341.9	4.182
1997	10	334.3	4.698
1998	13	425.2	13.158
1999	12	366.3	8.416
2000	11	351.0	6.160
2001	14	364.4	9.226
2002	11	380.0	6.472
2003	15	220.0	9.146
2004	13	471.7	11.480
2005	12	370.0	7.298
2006	12	367.5	7.050
2007	10	333.6	3.492
2008	14	329.3	11.736
2009	14	298.6	8.502
2010	12	436.6	6.944
Total		5390.0	119.96

5 Conclusiones y Recomendaciones

- De la Red Carretera del Estado de Puebla analizada, el 61.2% de los segmentos en que se dividió se encuentra en una condición regular, el 38.4% en estado bueno y solamente el 0.4% en condiciones muy buenas. Lo anterior, en relación con el confort y comodidad ofrecidos a los usuarios. De lo anterior, la red estudiada se encuentra, en general, en condiciones aceptables.
- Se observó que la Red atraviesa por problemas de sobrecarga en los vehículos de carga, teniéndose unidades en esta condición con pesos promedio que van desde 20 ton para el C2 hasta 80 ton para el T3-S2-R4, así como un porcentaje de unidades sobrecargadas en las vías de estudio que oscila entre el 3% para el C2 y el 48% para el T3-S3.
- Los proyectos en mejor condición actual son los de mayor tránsito. Esto quizá se deba a que en el pasado se hayan dedicado los mayores presupuestos a estos segmentos.
- El costo de operación vehicular es generalmente mayor que los de mantenimiento preventivo y rutinario.
- En la mayoría de los proyectos, la aplicación del estándar de conservación IV (mantenimiento rutinario y sobrecarpeta de 5 cm) resultó la alternativa más conveniente; lo anterior debido a que se producen menores costos de operación vehicular que son los que predominan en el costo total. La alternativa I (mantenimiento rutinario) es la más conveniente en el caso de secciones con tránsito bajo, en buen estado. Es muy interesante que la alternativa correspondiente a mantenimiento preventivo resultó ser la más conveniente para buenos niveles de servicio y para tránsito de medianos a elevados. Esto señala la conveniencia económica de actuar oportunamente en caminos en estas condiciones.
- Los análisis realizados muestran evidencias de que los recursos asignados actualmente a mantenimiento rutinario parecen ser holgados en tanto que aquéllos destinados a mantenimiento preventivo y correctivo son insuficientes algunos años. En consecuencia, cualquiera de los siguientes cursos de acción parecen razonables hipotéticamente, cuando dichos recursos sean insuficientes; (I) reasignar a conservación preventiva y correctiva parte de los recursos actualmente asignados a mantenimiento rutinario, (II) incrementar los recursos destinados a la primera, y (III) redistribuir los recursos asignados a este tipo de

conservación entre los años (asignando los excedentes de los años con "superávit" a los años con "déficit").

- Los análisis indicados mostrados corresponden a un nivel de red, los montos anuales obtenidos para los diferentes segmentos deben servir de base en el proceso de gestión de recursos. Una vez conseguidos éstos, deberá procederse a la realización de los proyectos definitivos, considerando ahora la restricción de los montos realmente obtenidos.

Capítulo 1 Introducción

1.1 GENERALIDADES

La red carretera principal (federal) de México tiene una extensión aproximada de 30,000 kilómetros. Se estima que alrededor de 30% de ella se encuentra en buenas condiciones, en tanto que el restante 70% está en estado regular o deficiente (Referencias 1 y 2). Como resultado de lo anterior y del nivel de uso que esta infraestructura cotidianamente tiene, se ha calculado que para su adecuada conservación se requieren montos de recursos que exceden notablemente a aquéllos que tradicionalmente el Gobierno Federal ha podido asignar a esta tarea.

La situación arriba descrita muestra una condición de significativa carencia de recursos en relación con las necesidades reales. Esta situación prevalece en muchas redes viales del mundo. Por tal razón, desde la década de los 80's se han venido utilizando, cada vez con mayor frecuencia, los denominados "sistemas de administración o gestión de pavimentos". Estos 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. Existen comercialmente una gran cantidad de estos sistemas, compuestos por manuales, formatos, programas de cómputo, etc. Uno de los más empleados en los países de América Latina, es el denominado "Highway Design and Maintenance Standards Model (HDM-III)", elaborado por el Banco Mundial (Referencia 3). Este sistema consta fundamentalmente de dos módulos: uno, denominado HDM, el cual permite realizar análisis de factibilidad económica para una serie de alternativas posibles de mantenimiento para los diferentes componentes de una red; y el otro, denominado EDM, que permite seleccionar las alternativas más rentables en su conjunto, sujeto ésto a una serie de restricciones presupuestales y de recursos en diferentes períodos de tiempo. Como la mayoría de los sistemas de administración de pavimentos, el HDM-III parte de registros o inventarios referentes al estado físico actual de los distintos componentes de la red, así como de sus solicitudes a futuro (expectativas de tránsito). No obstante que actualmente ya se cuenta con el HDM-IV (Referencia 4), al momento de realizar este trabajo sólo existía el HDM-III.

La información de la Red Carretera Federal del Estado de Puebla que se maneja en este trabajo corresponde a los años 1996 y 1997.

1.2 JUSTIFICACION

En México se han realizado diversos esfuerzos tanto por elaborar sistemas de gestión de pavimentos congruentes con la realidad nacional como por implantar algunos de los que se distribuyen comercialmente. Dentro de los primeros se cuenta el Sistema Mexicano de Administración de Pavimentos (SIMAP), desarrollado por el Instituto Mexicano del Transporte (Referencias 5 a 10).

En este trabajo se describe un ejemplo completo de aplicación de un sistema de administración de pavimentos (SAP), al caso particular de la red de carreteras principales del Estado de Puebla. El sistema que se emplea en este estudio es el HDM-III del Banco Mundial.

De aquí en adelante, cuando se haga referencia al "sistema de gestión de pavimentos utilizado", pero no se indique explícitamente su nombre, deberá entenderse que se trata del HDM-III. De la misma manera, cuando se haga referencia a la "red de carreteras", deberá entenderse que se trata de la red de carreteras principales del Estado de Puebla.

Este tema fue seleccionado para elaborar el presente trabajo por la inquietud de investigar la conveniencia de emplear este tipo de tecnologías y analizar las limitantes que su aplicación pudiese tener actualmente en México, particularmente a los niveles locales (estatal y municipal).

1.3 OBJETIVOS

Como ya se indicó, el objetivo fundamental de este estudio consiste en desarrollar un ejemplo completo de aplicación del HDM-III a la planeación de la conservación de la red carretera principal del Estado de Puebla. Esto, con el fin de: explorar las posibilidades prácticas de utilización en México de estos sistemas y ejemplificar su uso con un caso real.

1.4 ALCANCES

Este estudio da mayor énfasis a mostrar los análisis de tipo económico conducentes al establecimiento de los programas anuales de conservación que a describir con detalle la recopilación de información de campo, ya que esta última suele seguir métodos bien definidos que se presentan con bastante detalle en diversas fuentes (Referencias 11 y 12). Como ya se

indicó, la información que se maneja en este trabajo corresponde a los años 1996 y 1997.

La definición de los programas anuales de conservación se realiza a un nivel preliminar de planeación (nivel de red), en términos de los presupuestos anuales requeridos y los tramos en que deberá actuarse cada año (considerando la jerarquía de los mismos). Queda fuera de los alcances de este estudio la determinación de la acción óptima definitiva a realizar en cada uno de los tramos a mejorar cada año (nivel de proyecto). Tanto el nivel de red como el nivel de proyecto de los SAP se describirán con gran detalle en el siguiente capítulo.

Los alcances específicos de este trabajo están contenidos en los siguientes capítulos que lo constituyen:

- El presente capítulo muestra la introducción, indicando algunos aspectos de carácter general relacionados con la administración de la conservación de pavimentos y los motivos que condujeron a seleccionar este tema, así como los objetivos y alcances particulares de este trabajo.
- En el Capítulo 2 se describen los diferentes elementos que, en general, constituyen un sistema de gestión de pavimentos.
- El Capítulo 3 describe el proceso de generación de las bases de datos requeridas para poder realizar los análisis de asignación de recursos. Se muestran análisis preliminares de esta información.
- El Capítulo 4 presenta el proceso de definición de los programas anuales de conservación para la red de carreteras principales del Estado de Puebla (como ya se dijo, a nivel de red). Se muestran los análisis de factibilidad realizados para una serie de alternativas posibles de mantenimiento para los diferentes componentes de la red y se definen las más convenientes; por lo tanto, este capítulo se refiere a la aplicación del módulo denominado HDM. A pesar de que también se realizaron los análisis con el módulo EDM, éstos no se describen en el presente estudio por haberse estimado de mayor relevancia el arribar a una solución que no considerase restricciones presupuestales.
- El Capítulo 5 presenta las conclusiones y recomendaciones más relevantes derivadas de los capítulos anteriores.

Capítulo 2 ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN UN SISTEMA DE ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

2.1 INTRODUCCION

En este capítulo se describen los principios generales más importantes de la gestión de pavimentos. El sistema de administración de pavimentos (SAP) que se emplea en este trabajo es congruente con los principios aquí mencionados. Sus particularidades más relevantes se destacan en el Capítulo 4, el cual detalla su aplicación específica a la red carretera del Estado de Puebla.

Todas las superficies de los caminos se deterioran con el tiempo debido al tránsito y al medio ambiente. La Figura 2.1 muestra la tasa promedio de deterioro y el cambio de los costos de reparación a medida que el pavimento se deteriora. El término CCCS (calificación compuesta de condición superficial) es una medida o índice de la condición de un pavimento (sus valores altos representan una condición mejor que sus valores bajos). Es evidente que el costo total será menor si el pavimento se repara oportunamente. La figura también indica que el costo será menor para la agencia que proporciona el mantenimiento.

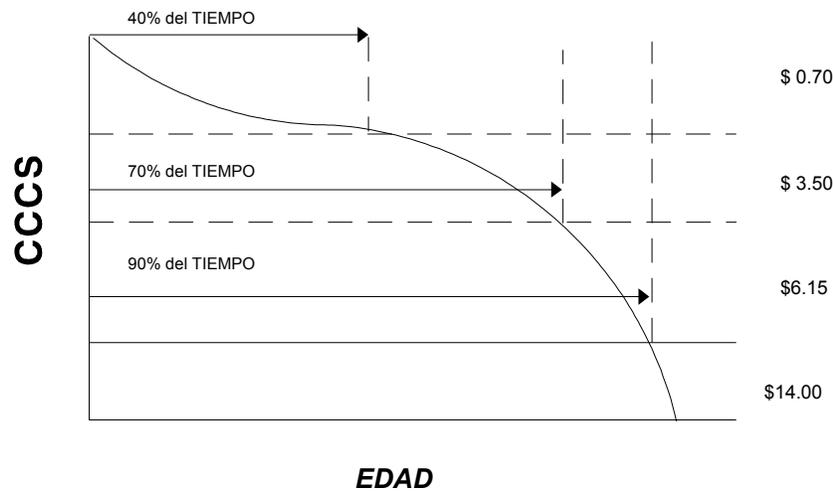


Figura 2.1. Efectos del Tratamiento Oportuno Sobre los Gastos de Recuperación

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 SAP que 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, así como la combinación de medidas preventivas que proporcionen una condición global deseada, considerando las restricciones impuestas.

Un SAP es una herramienta que se usa para ayudar a tomar decisiones económicas en lo que se refiere al mantenimiento y rehabilitación de pavimentos y superficies de caminos (Referencias 13 a 16). Mucha gente piensa que un SAP es un conjunto de programas de computadora. Esto es erróneo ya que los programas de computadora no gestionan o toman decisiones. El personal de una organización es el que administra los pavimentos y el que toma las decisiones. Los programas de computadora solamente asisten en la administración de la información y apoyan a la toma de decisiones. Los SAP proveen los instrumentos para organizar una cantidad enorme de datos que se desarrollan en una red carretera. Cuando el almacenamiento y los análisis de datos se automatizan, un SAP guarda los datos, los recupera y realiza cálculos múltiples y complejos en una forma rápida y eficiente.

El término gestión de pavimentos se usa para describir la administración de redes de supercarreteras, carreteras y calles con superficies pavimentadas, mientras que el término gestión de superficies de carreteras y calles, o solamente gestión de superficies, se utiliza para describir la gestión de redes de carreteras y calles con superficies pavimentadas y no pavimentadas (Referencia 17). En este estudio se hace referencia exclusivamente a superficies pavimentadas con estructuras flexibles de varias capas, de las cuales la más superficial es de concreto asfáltico.

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 (Referencia 18). 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 generalmente el 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. Trata también sobre los requerimientos de los trabajos seleccionados y las normas a seguir en ellos. La planificación de

actividades programadas de mantenimiento normalmente se desarrolla dentro de un sistema de administración de pavimentos o uno de superficie de caminos.

2.2 NIVELES DE GESTION DE PAVIMENTOS

La administración de pavimentos generalmente se desarrolla a dos niveles, el nivel de red y el nivel de proyecto (Referencias 13, 14 y 18). Las diferencias entre el nivel de red y el de proyecto se extienden más allá del nivel en el cual se toman las decisiones e incluyen diferencias en la cantidad y el tipo de datos que se requieren. La recolección de datos es costosa y a menudo no se sabe con exactitud qué tipo, ni qué cantidad de ellos serán requeridos, hasta que parte de los datos hayan sido recolectados. La recolección excesiva de datos ha creado problemas en la implementación y el uso continuo de SAP en el pasado (Referencia 19). Para evitar este problema, a nivel de red normalmente se recolecta una cantidad mínima de datos (aunque para toda la red). Esto permite que el SAP sea implementado con un monto de inversión inicial bajo la recopilación de datos; sin embargo, los datos recopilados a nivel de red no son los más adecuados para tomar la mayoría de las decisiones a nivel de proyecto. Se deben recolectar más datos de las secciones de pavimento individuales identificadas como candidatas prioritarias para mantenimiento o rehabilitación por el análisis a nivel de red (es decir, a nivel de proyecto se requiere la información de detalle necesaria para el diseño de las medidas más adecuadas, pero sólo para las secciones candidatas prioritarias). La necesidad de minimizar los costos de la recolección de datos es una razón para separar los elementos de gestión de pavimentos en elementos a nivel de proyecto y a nivel de red.

La diferencia en el nivel de decisión normalmente se encuentra en la cantidad de pavimento que se considere y también en el propósito de la decisión (Referencia 20). A nivel de red, las agencias normalmente incluyen los pavimentos de toda la red bajo su jurisdicción. Sin embargo, las agencias pueden separar la red en subconjuntos, como caminos arteriales, las rutas de autobuses o las calles industriales. La cantidad de pavimento que se considera a nivel de proyecto normalmente consiste en un tramo o sección sencilla a gestionar, la cual a veces corresponde a una sección original de construcción, aunque las secciones pueden ser combinadas o subdivididas para propósitos de análisis.

El propósito del proceso de gestión a nivel de red normalmente se relaciona con el proceso presupuestario para identificar las necesidades de trabajo de mantenimiento y rehabilitación de pavimentos, la selección de secciones a repararse o mantener y la determinación de los efectos de las varias opciones sobre el comportamiento del sistema de todos los

pavimentos de la red y sobre el bienestar global de la comunidad (Referencia 18). La parte que trata de la selección de secciones a financiarse en determinados períodos se denomina como selección y programación de proyectos; en algunas agencias ésta ha sido identificada con la gestión a nivel de proyecto. Sin embargo, esta parte es un elemento del proceso de administración a nivel de red y aquí será discutida como parte de la gestión a nivel de red. Los resultados principales de los análisis a nivel de red incluyen las necesidades de mantenimiento y rehabilitación, las necesidades de financiamiento, un listado priorizado de las secciones o tramos candidatos que necesitan reparación y un pronóstico de las condiciones futuras de la red para varias opciones de financiamiento.

A nivel de proyecto, el propósito es determinar la estrategia más económica posible de diseño inicial así como de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción durante el período de vida de una sección de pavimento seleccionada, dado el financiamiento disponible (Referencia 18). Los resultados principales de la administración de pavimentos a nivel de proyecto incluyen una evaluación de las causas del deterioro, identificación de las estrategias posibles de diseño, mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción y la selección de la estrategia más económica a seguir durante el período de vida de la sección, dadas las restricciones impuestas. Este proceso requiere de una cantidad considerable de datos detallados para la sección considerada.

A nivel de red se analiza toda la red considerada, con el mínimo de datos de ella para generar programas de conservación preliminares (para un horizonte de tiempo dado), utilizados principalmente para la gestión de los recursos. A nivel de proyecto se consideran sólo los tramos carreteros con mayor urgencia de actuación (programa del año próximo), determinándose para ellos las medidas definitivas a aplicar. No todos los datos que se necesitan para tomar las decisiones a nivel de proyecto son requeridos para tomar las decisiones a nivel de red. Generalmente las decisiones a nivel de red pueden ser tomadas con una cantidad menor de datos que aquéllos que se requieren para tomar decisiones específicas sobre una sección a nivel de proyecto. Para reducir los costos de implementar un SAP, solamente se recolecta la cantidad mínima de datos requeridos y únicamente cuando sean necesarios.

La administración de pavimentos a nivel de proyecto básicamente consiste en los análisis y diseños de ingeniería que se requieren para desarrollar la estrategia más efectiva (de mayor factibilidad económica) de diseño, mantenimiento o rehabilitación para una sección específica de pavimento. Algunos se refieren a este proceso como análisis de proyecto o diseño de proyecto, en vez de gestión de pavimentos a nivel de proyecto (Referencia

14). Las secciones que necesitan trabajos de mantenimiento y rehabilitación (e incluso reconstrucción) serán seleccionadas para reparación, por el SAP a nivel de red (y posiblemente también por algún sistema de gestión de seguridad vial). Las actividades de diseño de pavimentos nuevos (por ejemplo, de ampliaciones y vías nuevas) deben de provenir de algún sistema de administración de tránsito o de otros procesos establecidos para determinar esas necesidades específicas. Debido a la necesidad de evaluar la condición de los materiales ya en su lugar, el diseño de un trabajo de rehabilitación pudiera requerir más ingeniería que el diseño de un pavimento nuevo (en el que muchos de los parámetros se asumen o se obtienen mediante pruebas de laboratorio).

El tamaño del proyecto y la importancia de la vía para la agencia determinan la cantidad de tiempo y fondos a gastarse en la evaluación a nivel de proyecto. Los pavimentos sobre vías principales con alto tránsito deben sujetarse a una mejor evaluación que aquéllos sobre caminos o vías de bajo tránsito. Todos los conceptos y los procedimientos de evaluación descritos son válidos para cualquier calle o carretera, independientemente del volumen de tránsito. Lo único que varía es la cantidad de pruebas a realizar y el tiempo que se dedique para arribar a conclusiones.

2.3 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE RED

Esta sección trata principalmente de los elementos a nivel de red; en ella se proporciona una descripción breve de un SAP a nivel de red. Los elementos básicos de un SAP a nivel de red son (Referencias 13 y 15):

- Inventario.
- Evaluación de la condición.
- Determinación de las necesidades de financiamiento.
- Identificación de proyectos candidatos a financiar.
- Método para determinar el impacto o los efectos de las decisiones de financiamiento sobre las condiciones futuras y el financiamiento futuro.
- Proceso de retroalimentación.

Obsérvese que en esta discusión, la identificación de proyectos candidatos para financiamiento se incluyen en el análisis a nivel de red.

Como ya se indicó, este elemento de programación ha sido llamado por algunas agencias como nivel de proyecto, pero es una parte del proceso a nivel de red y será incluido en este documento dentro del análisis a nivel de red.

2.3.1 Inventario

El inventario de la red vial proporciona información sobre la cantidad de pavimentos que el administrador es responsable de gestionar, información sobre la ubicación de las secciones de pavimento e información básica relacionada con las secciones de pavimentos dentro de la red (Referencias 13 a 15). Es imposible administrar una red de pavimentos como una sola unidad; una tarea importante del proceso de implementación de un SAP es la división de la red en secciones o tramos a administrar. El inventario proporciona información básica sobre la ubicación y la conectividad de cada sección de gestión dentro de la red.

Se usan dos conceptos generales para dividir la red en secciones de gestión. En el primero, la red se divide en tramos de un largo uniforme (alrededor de media milla) y si se desea, los tramos pueden ser combinados para el análisis. En el segundo concepto, se definen secciones de gestión que serán tratadas por el administrador como unidades completas y a las cuales normalmente se les aplicará el mismo tratamiento de mantenimiento. Cualquiera de los dos conceptos pueden ser utilizados y ambos tienen ventajas y desventajas.

Los datos nunca deben ser recolectados con la filosofía de que "sería bueno tener los datos" o de que "algún día podrían ser útiles". Cada tipo de datos requiere de tiempo, esfuerzo y dinero para recolectarse, guardarse, extraerse y usarse. Cualquier dato sólo debe ser recopilado cuando ese elemento sea importante para tomar decisiones de mantenimiento y rehabilitación al nivel considerado (Referencia 13). Se pueden usar diferentes tipos de datos, cantidades y niveles de exactitud para los análisis a nivel de red y a nivel de proyecto. Cualquier información que no sea vital para tomar una decisión debe evitarse, sin embargo se debe conocer cierta información básica acerca de cada sección de administración. Los elementos que generalmente se requieren para cada sección de administración incluyen: identificación, ubicación, número de carriles de tránsito, clasificación funcional, área, tipo de superficie, niveles de tránsito y fecha en la cual la superficie existente fue construida. Adicionalmente, otros datos que pudieran ser útiles son: información sobre el drenaje, información de los carriles de estacionamiento e información sobre la geografía y el medio ambiente.

2.3.2 Evaluación de la Condición de los Pavimentos

La evaluación de la condición de un pavimento empieza con la recolección de datos para determinar el tipo, la cantidad, la severidad de los deterioros superficiales, la integridad estructural, la calidad de circulación y la resistencia al deslizamiento del pavimento. Los datos sobre la condición de los pavimentos son necesarios para la evaluación y determinación de las necesidades de trabajos de mantenimiento y rehabilitación; también se usan para pronosticar el comportamiento del pavimento, establecer las estrategias de mantenimiento y rehabilitación y para ayudar a optimizar el financiamiento disponible para esos trabajos.

La condición de los pavimentos normalmente se mide utilizando los factores siguientes (Referencias 13 y 14):

- **Deterioro Superficial** Se refiere al daño o deterioro en la superficie del pavimento. Normalmente se realizan estudios para determinar el tipo, la severidad y la cantidad de los defectos superficiales. Esta información se usa con frecuencia para determinar un índice o calificación compuesta de condición superficial (CCCS), el cual sirve para calcular la tasa de deterioro y pronosticar la condición futura (Referencia 13). El deterioro superficial y los valores de CCCS actuales o futuros se utilizan para identificar el momento oportuno para realizar los trabajos de mantenimiento y rehabilitación, así como las necesidades monetarias requeridas en el proceso de la gestión de pavimentos. El nivel de defectos superficiales es la medida más común utilizada por el personal de mantenimiento para determinar el tipo y momento oportuno del mantenimiento requerido.
- **Capacidad Estructural** Se refiere a la máxima carga y el máximo número de repeticiones que un pavimento puede soportar. Normalmente se realiza un análisis estructural para determinar la capacidad de carga actual y la capacidad necesaria para soportar el tránsito proyectado. Los ensayos de deflexión no-destructivos del pavimento son un método simple y confiable para realizar esta evaluación; sin embargo, también pueden utilizarse técnicas de muestreo mediante cilindros y taladros tubulares. La evaluación estructural del pavimento es importante en la selección de los tratamientos a nivel de proyecto.
- **Rugosidad (Calidad de Circulación)** Es una medida de la distorsión de la superficie del pavimento o un estimado de la habilidad de éste para proporcionar un viaje confortable a los usuarios. Se evalúa mediante una calificación que trata de

representar la opinión de los usuarios sobre la calidad de circulación actual que el pavimento les proporciona (Calificación de Servicio Actual, CSA) o mediante algún índice correlacionado con con esa opinión, como es el Índice Internacional de Rugosidad (IIR). La rugosidad del pavimento es considerada por el público como la medida más importante, especialmente en aquellos pavimentos con elevados límites de velocidades (por arriba de los 70 kilómetros por hora). La rugosidad es considerada muy importante por las agencias de transporte estatales, pero por lo general no es tan importante para las agencias municipales debido a las bajas velocidades en estas jurisdicciones.

- **Resistencia al Derrapamiento** Se refiere a la habilidad del pavimento de proporcionar la fricción suficiente para evitar los problemas de seguridad asociados con los derrapamientos o deslizamientos. La resistencia al deslizamiento es más importante para los pavimentos de las vías rápidas y generalmente se le considera como una medida separada de la condición; a menudo puede utilizarse por sí misma para determinar la necesidad de realizar algún tipo de trabajo correctivo.

Los cuatro factores anteriores de condición pueden ser utilizados para determinar la condición global del pavimento e identificar el tratamiento de mantenimiento y rehabilitación económicamente más efectivo. El grado de importancia de estos factores en términos del comportamiento del pavimento y de las necesidades de mantenimiento y rehabilitación varían; es obvio que cualquier tratamiento recomendado para corregir un problema de capacidad estructural puede remediar todas las deficiencias que pudieran estar presentes, incluyendo la rugosidad. Al mismo tiempo, cualquier tratamiento seleccionado para corregir la rugosidad puede ser usado para mejorar la resistencia al deslizamiento y corregir cualquier deterioro superficial.

Hay muchos métodos que pueden usarse para recolectar cualquiera de las cuatro medidas anteriores (Referencias 21 y 22). Cada método tiene ventajas y desventajas, pero en general, aquellos procedimientos que requieren menos esfuerzos y costos son los menos exactos. Aquellos que son más exactos son los más costosos y los que toman más tiempo. La agencia de transporte debe considerar cuidadosamente el tipo y el nivel de decisiones que se tomarán a partir de las medidas obtenidas, junto con los recursos disponibles, para determinar el método que deba usar. En la mayoría de las agencias estatales de transporte, las medidas del deterioro y rugosidad se recolectan a nivel de red. En las agencias locales, las medidas del deterioro superficial son las que se usan con más frecuencia. Por lo general, la mayoría de las agencias usan métodos menos exactos

para los análisis a nivel de red y utilizan medidas más detalladas para los análisis a nivel de proyecto. Los datos son normalmente recolectados para definir la condición de cada sección individual de gestión identificada en el inventario.

La información recolectada sobre la condición se utiliza de varias maneras a lo largo del SAP (Referencias 14 y 21). Algunas agencias utilizan algunos tipos específicos de deterioros superficiales a nivel de red; otras los combinan para determinar índices de la condición, tales como el índice o la calificación de servicio presente (CSA), la calificación compuesta de condición superficial (CCCS) o el índice de la condición del camino (ICC).

En los siguientes capítulos se indican las medidas consideradas en el ejemplo presentado en este trabajo, así como los métodos utilizados para obtenerlas. También se describe el uso específico que se da a ellas en la aplicación de SAP mostrada.

2.3.3 Determinación de las Necesidades de Financiamiento

Una vez que la red de pavimentos ha sido definida y que los datos de las condiciones han sido recolectados, la condición de las secciones individuales de gestión y la condición global de la red, sin ningún mantenimiento o rehabilitación, pueden ser determinados proyectando los deterioros individuales, la CSA, la CCCS, o alguna combinación de índices, a un tiempo futuro (Referencia 15). Las secciones pavimentadas de administración se seleccionan para mantenimiento y rehabilitación durante un período de análisis, si se cumple con un criterio de decisión establecido, el cual está normalmente basado en la condición, el tipo de superficie, la clasificación funcional y el tránsito (Referencia 15). Para trabajos de mantenimiento preventivo se utiliza un programa cronológico en el que la condición de la sección de pavimento se proyecta para bajar hasta un cierto valor mínimo de condición establecido. Cuando las secciones de pavimentos se identifican para trabajos de mantenimiento y rehabilitación, se usa una categoría de costo a nivel de red para el tipo de pavimento y condición de que se trate, para determinar las necesidades financieras de cada sección. Estas se suman para cada año del período de análisis para determinar las necesidades presupuestarias anuales.

El propósito de la planeación presupuestaria a nivel de red es asignar un costo de reparación a cada sección de pavimento que ha alcanzado los valores mínimos de condición seleccionados; es generalmente una categoría de costo en vez de un costo específico real. Los valores mínimos de condición y las categorías de costos asociados con cada uno de ellos deben ser seleccionados basados en un análisis de los niveles de servicio más económicos que la agencia puede proporcionar al público

con las restricciones existentes. Los tratamientos correspondientes a las distintas categorías de costos deben definirse con base en análisis de costos durante la vida útil, para proporcionar la mejor condición por la mínima cantidad de dinero. Sin embargo, como éstos solamente son tratamientos a nivel de red, sólo deben proveer un costo inicial suficientemente razonable que permita identificar las secciones candidatas y la cantidad de dinero que se necesita para obtener algún objetivo definido por la agencia. En la realidad, algunas secciones candidatas requerirán más dinero de lo estimado, mientras que otras requerirán menos. El análisis a nivel de proyecto se usa para ajustar los tratamientos, porque requiere de una observación más detallada de las secciones para determinar la medida económicamente más eficiente para la sección específica de pavimento.

Los procedimientos de asignación que relacionan la condición del pavimento con la categoría de costos generalmente usan una categoría de costo para cada nivel de condición. Los programas de SAP que utilizan técnicas completas de optimización pueden considerar muchos tratamientos específicos para cada nivel de condición; sin embargo, estos tratamientos generalmente no deben ser aplicados o usados para determinar el presupuesto para una sección de gestión hasta que un análisis más completo sea desarrollado a nivel de proyecto, a no ser que existan datos completos a nivel de red para asignar los tratamientos.

2.3.4 Priorización de Secciones Candidatas

Una vez que la agencia identifica las secciones de pavimento que necesitan de acciones de mantenimiento o rehabilitación y determina los fondos necesarios para mantener la red de pavimentos en la condición deseada, la agencia debe priorizarlas y asignar los fondos monetarios correspondientes (Referencia 14). En la mayoría de los casos, la cantidad de fondos disponibles es menor que la que necesita para completar todas las reparaciones identificadas; aún cuando existen suficientes fondos, ellos generalmente deben ser distribuidos a través de varios años para igualar la cantidad de trabajo con el personal disponible. Generalmente, el objetivo de priorizar es obtener la mejor condición posible en la red de pavimentos dados los fondos a gastar.

Para esta priorización puede usarse un procedimiento sencillo basado en hacer un "ranking"; sin embargo, este tipo de procedimiento está limitado por el número de factores que pueden ser considerados (Referencia 15). Los procedimientos de "ranking" generalmente asignan las prioridades más altas a aquellas secciones en las peores condiciones, sin considerar la utilidad de los fondos a gastarse. Como se ilustró en la Figura 2.1, la efectividad económica de los distintos tratamientos de mantenimiento y

rehabilitación cambia en función de la condición, así como con el tipo de pavimento, el nivel de tránsito, etc. Estos métodos de asignar un "ranking" son los menos efectivos, pero también son los más sencillos de aplicar.

Frecuentemente, los métodos de "ranking" que se usan son aquéllos que se basan en la condición del pavimento, el costo a través del tiempo y la importancia del camino, en términos sencillos que puedan ser fácilmente entendidos, apoyados y explicados a los funcionarios públicos. También se han usado técnicas de optimización anual que maximizan los beneficios dado el nivel de financiamiento.

Existe un número de "herramientas de optimización" que están disponibles para determinar la "asignación óptima" de los fondos monetarios (Referencias 15, 23 y 24). Entre éstas se incluyen la programación lineal, la programación de números enteros, el análisis de decisión de Markov y la programación dinámica. Hay muchos factores que han impedido el uso verdadero de las herramientas de optimización en la administración de pavimentos. Primero, muchos de los empleados de las agencias se oponen al uso de éstas porque las técnicas que usan son complejas y dan respuestas que ellos no pueden entender rápidamente o explicar.

La mayoría de las decisiones a nivel de red se toman tomando una cantidad mínima de datos. Los métodos de "ranking" proporcionan soluciones razonablemente buenas y los métodos de optimización seleccionan las mejores; sin embargo, la información de salida proveniente de los métodos de "ranking" o de optimización a nivel de red, no se usa directamente. Ella proporciona una lista de secciones candidatas de gestión y de categorías de costos de los tratamientos para el financiamiento disponible. Se requiere un análisis a nivel de proyecto para seleccionar el mejor trabajo a realizar para una sección específica de pavimento. Secciones adicionales de pavimento se añaden a la lista de secciones candidatas o se mueven a lo largo de los años debido a la proximidad geográfica y a la similitud de los tratamientos, para aumentar las economías de escala durante la construcción.

2.3.5 Determinación de los Efectos o Impactos de las Decisiones Presupuestarias

El objetivo de las agencias gubernamentales es proporcionar el máximo beneficio social, utilizando los fondos públicos. Sin embargo, el presupuesto es generalmente asignado por funcionarios que han sido elegidos, y quienes se someten a reelecciones en plazos relativamente cortos. Estos funcionarios frecuentemente están más interesados en financiar soluciones a corto plazo, de un costo inicial menor, que soluciones a largo plazo y con costo inicial mayor, a pesar que se les muestre que las soluciones a largo plazo son más eficientes económicamente. Generalmente se requiere una cantidad considerable de justificaciones para lograr que se acepten soluciones a largo plazo. Una de las mejores maneras para justificar las peticiones de presupuestos es enseñar el impacto de distintas alternativas de financiamiento, en la salud de la red vial, en la acumulación de necesidades y en las necesidades futuras de financiamiento.

La integridad de la red de pavimentos se puede mostrar, proyectando la condición promedio de los pavimentos de la red a lo largo de algún período de análisis razonable, en función de los niveles de financiamiento y las varias estrategias de financiamiento. Sin embargo, muchas de las personas que asignan los presupuestos frecuentemente no entienden el significado de los cambios de la condición; generalmente ellos piensan en términos financieros. Muchas veces es mejor describir la calidad del servicio actual que se está proporcionando y discutir cómo el nivel de financiamiento aumentará o disminuirá esa condición; por ejemplo, se podría explicar como el porcentaje de materiales en condición pobre cambiará de un 5 a un 10% en los siguientes 5 años con el nivel de financiamiento actual, pero pudiera mantenerse constante a lo largo del mismo período con un aumento de un 7% en el presupuesto. También para algunas agencias gubernamentales es importante discutir la vida útil de la red existente y los cambios de la vida útil en función de las diferentes estrategias de financiamiento.

2.3.6 Sistemas de Retro-Alimentación

Muchos de los sistemas de gestión de pavimentos que actualmente se usan fueron implementados utilizando técnicas de proyección, procesos de asignación y costos basados en información limitada. Para que un sistema sea completamente adoptado y usado, debe demostrarse que es confiable. Los procesos de retro-alimentación proporcionan información sobre la confiabilidad de los estimados pasados e información para mejorar los estimados futuros (Referencia 13). Estos procesos de retro-alimentación no son elementos del SAP, sino que consisten en un proceso

manual por medio del cual el personal responsable en operar el SAP actualiza los algoritmos, los procesos de asignación y los costos, en una forma periódica.

2.4 DESCRIPCION DE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE PROYECTO

Esta discusión se proporciona para ayudar a distinguir entre las actividades de gestión a nivel de proyecto y a nivel de red. La mayoría del personal de ingeniería y de obras públicas tienen más experiencia en las actividades a nivel de proyecto que en una gestión a nivel de red. La materia de esta sección puede enseñar cómo los dos niveles se deben de interrelacionar para desarrollar buenas prácticas de administración. Los elementos de la administración a nivel de red deben de identificar proyectos candidatos para los trabajos programados de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción. Los funcionarios de obras públicas desarrollarían una lista final que entonces se sometería a un análisis a nivel de proyecto.

La gestión de pavimentos a nivel de proyecto es el proceso de análisis y diseño para determinar los tipos y espesores de las capas de materiales que se necesitan para una estructura de pavimento para servir al público (Referencia 14). A pesar de que se pueden usar programas de computadora para diseñar el espesor de las capas de los materiales específicos y para realizar análisis económicos, la mayoría de los procesos deben ser completados fuera de los programas. Un proceso completo requiere una cantidad considerable de muestreo y pruebas de materiales que tienen lugar tanto en el sitio como en laboratorios.

La gestión de pavimentos a nivel de proyecto generalmente considera diseños de pavimentos nuevos, así como trabajos programados de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción que requieren algún nivel de diseño. Las necesidades de diseños nuevos pueden ser generadas por un proceso de gestión de tránsito o por otros procesos. Las necesidades de rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento pueden ser generadas desde un SAP o desde un proceso de gestión de seguridad vial. Generalmente, el desarrollo y diseño de los trabajos de mantenimiento es realizado por un grupo dentro de obras públicas distinto al que hace el diseño de construcciones nuevas y rehabilitaciones. El propósito de la gestión a nivel de proyecto es determinar la alternativa de diseño o tratamiento económicamente más eficiente, para una sección de pavimento que ha sido seleccionada para ser mejorada. La alternativa seleccionada debe ser diseñada y construida considerando los límites en los niveles de financiamiento y debe de cumplir con otras restricciones aplicables.

2.4.1 Diseños Nuevos

El propósito de un pavimento es proporcionar al público una superficie de rodaje que sea económica, segura y confortable. A pesar de que los pavimentos son generalmente considerados como uno de los tipos más simples de estructuras diseñadas por ingenieros, su diseño es bastante complejo. La mayoría de los pavimentos están hechos con capas de materiales; eventualmente todas las cargas son transmitidas al suelo o terreno natural. Los materiales más fuertes están generalmente ubicados cerca de la superficie para poder resistir las cargas de tránsito, estática y dinámicamente. Cada capa sucesiva distribuye la carga sobre un área más grande. Las capas más fuertes proporcionan una distribución mayor, lo cual hace que las cargas sean distribuidas sobre áreas más grandes que las que se tendrían con el mismo espesor de un material más débil. Esta distribución reduce las deflexiones unitarias y los esfuerzos de compresión verticales en las capas subsecuentes inducidos por las cargas. Estos esfuerzos y deflexiones, si llegan a ser excesivos, pueden causar deflexiones permanentes en la estructura del pavimento causando hundimientos o deformaciones. Los materiales también deben tener la estabilidad adecuada para resistir las fuerzas cortantes producidas por las cargas de las ruedas, sin que exhiban además cualquier otra forma de deformaciones. Los materiales deben tener la capacidad de resistir las cargas del tránsito sin que desarrollen deflexiones unitarias de tensión excesivas en las capas confinadas, las cuales suelen causar agrietamientos tipo "piel de cocodrilo".

Tanto el espesor como la rigidez de las capas afectan la distribución de las cargas y la resistencia a la fatiga de las capas del pavimento. Estas propiedades son generalmente consideradas en el proceso del diseño del pavimento, en la caracterización de los materiales. La estabilidad de los materiales para resistir las deformaciones generalmente no se considera en forma directa en el diseño del pavimento porque la mayoría de los procedimientos de diseño asumen que las especificaciones de los materiales controlan adecuadamente este factor.

Muchos de los pavimentos actuales nunca fueron diseñados. Muchos de ellos fueron construidos utilizando espesores uniformes que fueron seleccionados con base en la experiencia. Algunas agencias tienen catálogos o una lista con dos o tres tipos de diseño, a partir de la cual se seleccionan la composición del pavimento y el espesor de las capas. Evidentemente estos métodos no consideran todos los factores principales que afectan el comportamiento del pavimento, y por lo general, ocasionan la utilización ineficiente de los fondos públicos destinados a construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos. La experiencia adquirida

en el diseño de pavimentos pasados se pierde cuando el ingeniero encargado del diseño se va de la agencia. Asimismo, aún cuando se cuenta con la presencia de un ingeniero con experiencia, las experiencias del pasado pueden no ser aplicables a los programas actuales. El aumento en los límites de carga en los caminos, la frecuencia de las cargas, la presión y el tipo de las llantas tienen un efecto combinado que causa circunstancias que los ingenieros con experiencia nunca habían tratado previamente. Un procedimiento racional de diseño obliga al diseñador a considerar cada uno de los factores físicos que afectan el comportamiento. Este proceso conduce a realizar diseños mejores en relación con los diseños uniformes que no consideran la importancia de todas las variables de diseño (aún cuando el valor de muchas de ellas sea asumido).

Existen muchos procedimientos para diseñar pavimentos que las agencias locales pueden utilizar (Referencias 25 a 29). En los Estados Unidos (EUA), algunos de los departamentos estatales de transporte publican sus procedimientos propios para uso de las agencias locales. Todos los procedimientos de diseño deben considerar muchos factores básicos que se sabe afectan el comportamiento de los pavimentos. Estos incluyen:

- El apoyo proporcionado por el suelo in situ (subrasante).
- Las cargas de tránsito esperadas (primordialmente de camiones y otros vehículos pesados).
- Factores ambientales (principalmente el impacto de los cambios en los niveles de humedad y de los ciclos de hielo y deshielo).
- El drenaje.
- Los materiales disponibles.
- La capacitación o habilidades de las fuerzas laborales de construcción.
- Costos.

2.4.2 Desarrollo de los Tratamientos de Mantenimiento, Rehabilitación y Reconstrucción

Al igual que la construcción inicial de un pavimento, los trabajos de rehabilitación y reconstrucción son actividades costosas. Se necesita un análisis del pavimento existente para determinar las causas del deterioro y

poder seleccionar el tratamiento económicamente más eficiente, que corrija el problema que creó la necesidad de reparación, en vez de tratar simplemente de remediar los síntomas del problema (en otras palabras, atacar el problema por sus causas y no sólo por sus efectos). Esto puede ser planeado como una serie de pasos para determinar las causas del deterioro e identificar las restricciones relevantes. Las respuestas a un conjunto de preguntas pueden utilizarse para identificar los tratamientos factibles. Una evaluación a base de preguntas y respuestas a nivel de proyecto, debe incluir las siguientes preguntas (Referencia 25):

1. ¿Es el pavimento estructuralmente adecuado para el tránsito futuro?
2. ¿Es el pavimento funcionalmente adecuado?
3. ¿Es la tasa de deterioro anormal?
4. ¿Son los materiales del pavimento durables?
5. ¿Es el drenaje adecuado?
6. ¿Han sido inadecuados los trabajos previos de mantenimiento?
7. ¿Varía la condición sustancialmente a lo largo del tramo (sección) o entre los carriles?
8. ¿Requiere el medio ambiente de una consideración especial?
9. ¿Cuáles son las opciones disponibles para el control del tránsito?
10. ¿Cuáles son los factores geométricos que afectarán al diseño?
11. ¿Cuál es la condición de los acotamientos?

Las preguntas 1 a 6 esencialmente tratan la causa del deterioro. Muchas veces la respuesta a la pregunta 1 puede ser contestada realizando un diseño de reencarpetado; si el análisis indica que no se necesita el reencarpetado, el pavimento puede ser considerado estructuralmente adecuado. La pregunta 7 ayuda a determinar si se debe realizar un cambio en el tratamiento a lo largo de la sección analizada. Las preguntas 8 a 11 identifican las restricciones especiales que deben ser consideradas.

Una de las dificultades asociadas con este proceso es decidir cuáles y cuántos datos deben ser recolectados. Es difícil saber cuántos datos son necesarios hasta que algún otro tipo de información esté disponible. Se

recomienda una serie de pasos para la recolección de datos a nivel de proyecto, incluyendo:

- Recolección de datos de oficina.
- Primer estudio de campo.
- Primera evaluación de datos y determinación de datos adicionales.
- Segundo estudio de campo.
- Realización de pruebas de laboratorio.
- Segunda evaluación de datos.
- Compilación final de datos de campo y de oficina.

Cada uno de estos pasos lleva a la determinación de los datos adicionales necesarios para el análisis. Si las necesidades de reparación han sido definidas desde un sistema de gestión a nivel de red, los datos de ese sistema deben servir como un punto de partida.

El tamaño del tramo y su importancia para la agencia determina la cantidad de tiempo y los fondos que serán gastados en la evaluación a nivel de proyecto. Los pavimentos de las carreteras principales con altos tránsitos deben ser sujetos a una evaluación más completa y a un mayor número de pruebas que aquéllos que se encuentren en las vías de bajo tránsito. Los conceptos y las preguntas indicadas anteriormente son válidos para cualquier carretera con cualquier volumen de tránsito; sólo la cantidad de las pruebas a realizar y el tiempo dedicado a obtener una conclusión, deben variar.

Existe un gran número de alternativas de trabajos de mantenimiento, rehabilitación y reconstrucción para ambos tipos de pavimentos, rígidos y flexibles; el reciclaje ha aumentado el número de opciones (Referencias 25 y 30). Los trabajos de sellado de superficie, como sellos con grava o con ligantes, en combinación con preparaciones localizadas, son a menudo utilizadas como tratamientos de mantenimiento preventivo para pavimentos flexibles; también son utilizados como tratamiento de rehabilitación de pavimentos flexibles con volúmenes bajos de tránsito, cuando se requieren mejoras estructurales. El reencarpchado con concreto asfáltico es el tipo más común de rehabilitación estructural que se aplica a ambos pavimentos (Referencia 30). Sin embargo, muchos de los reencarpchados actualmente en sitio, nunca fueron diseñados.

Algunas agencias usan un espesor uniforme sin considerar la suficiencia estructural del pavimento. Los reencarpetados han llegado a ser más versátiles cuando se combinan con geotextiles y con reciclajes. Otros tipos de trabajos de rehabilitación y reconstrucción para pavimentos flexibles incluyen:

- Reciclaje en frío en sitio, seguido por la colocación de una nueva superficie.
- Reciclaje en caliente en sitio, seguido por un reencarpetado.
- Reconstrucción y estabilización de los materiales del cemento, seguido por la colocación de una nueva superficie.
- Extracción y reemplazamiento del pavimento.
- Reciclaje del pavimento en toda su profundidad.
- Reencarpetado de concreto de cemento Portland.

Otros tipos de rehabilitación aplicados a pavimentos rígidos incluyen:

- Una serie de tratamientos de mantenimiento como la reparación del espesor total del pavimento, el pulido de la superficie y el sellado de las juntas.
- El rompimiento del pavimento rígido original y la colocación del reencarpetado de concreto asfáltico.
- Reencarpetado de concreto de cemento Portland.

Los procedimientos para diseños nuevos son generalmente usados en el diseño de los trabajos de rehabilitación. Cuando las capas confinadas existentes de un pavimento se quitan y reemplazan o se trabajan completamente (como lo que se hace en el reciclado en frío en el lugar), los procedimientos para diseños nuevos pueden usarse, aplicando las propiedades adecuadas de los materiales, del material existente y del material a trabajar. Cuando una parte de las capas confinadas existentes se deja en el lugar, un procedimiento de diseño de reencarpetado debe usarse para considerar el daño o deterioro que se ha desarrollado en el material confinado existente durante el tiempo que ha estado en servicio.

2.4.3 Selección de la Mejor Estrategia

Los procedimientos de análisis y diseño discutidos anteriormente definen una serie de alternativas. Es muy raro que exista una sola alternativa o un conjunto de materiales y espesores de las capas que sea inmediatamente obvio que representan la mejor solución. La durabilidad de los materiales y la efectividad económica de cada combinación se deben considerar.

Debido a la gran extensión de las áreas cubiertas por los pavimentos, éstos deben ser construidos con materiales baratos. Esto lleva a utilizar materiales localmente disponibles, algunos de los cuales pudieran necesitar mejoras a través de estabilizaciones químicas. Las cargas de tránsito son difíciles de predecir. Asimismo, los materiales de los pavimentos, especialmente aquéllos en la capa superficial, están expuestos al medio ambiente. Estos materiales están sujetos a cambios de humedad y temperatura. La resistencia o rigidez de los materiales usados cambian con la temperatura y las condiciones de humedad. Algunos de los materiales también experimentan cambios a largo plazo debido a los efectos del medio ambiente y muchos tienen rigideces que cambian con los niveles de esfuerzo inducidos por las cargas.

El proceso a utilizar en la selección de la combinación de tratamientos, los materiales, los espesores para un nuevo diseño, el mantenimiento, la rehabilitación, o la reconstrucción, es un paso integral del diseño del proyecto (Referencia 30). El proceso debe incluir la realización de un diseño preliminar de espesores utilizando todos los materiales disponibles y tratamientos que son considerados factibles, dadas las circunstancias. El diseñador debe tratar de identificar la combinación de tratamientos de materiales y espesores que dan el menor costo durante el período analizado, proporcionando al mismo tiempo la condición deseada. Sin embargo, existen muchos factores que son difíciles de incluir en el análisis económico que pueden tener un impacto directo en el tipo de pavimento seleccionado. Los pavimentos rígidos que han sido diseñados y construidos en forma apropiada, generalmente duran más hasta el momento de la primera rehabilitación que los pavimentos flexibles que fueron adecuadamente diseñados y construidos. Los pavimentos de concreto de cemento Portland tienen generalmente un costo inicial muy alto, pero los pavimentos de concreto asfáltico necesitan rehabilitaciones más frecuentes. En muchos casos, la diferencia de costos entre estas alternativas, cuando se considera un período de análisis a largo plazo, será pequeña.

Los pavimentos se pueden mantener en servicio más allá de la vida útil original de diseño cuando se aplican tratamientos de mantenimiento y

rehabilitación. Los trabajos futuros de mantenimiento y rehabilitación deben ser considerados en el diseño de un nuevo pavimento y de una rehabilitación. Para el diseño de una nueva construcción o rehabilitación, deben analizarse estrategias en vez de considerar tratamientos individuales. Las estrategias generalmente consisten en una secuencia de tratamientos; por ejemplo, para un diseño nuevo dos estrategias podrían ser las siguientes:

1. Construir una superficie de concreto asfáltico, seguida por un reencarpetado a los 15 años, un recubrimiento asfáltico de gravilla a los 22 años y una reconstrucción y un reencarpetado a los 30 años.
2. Construir una superficie de concreto de cemento Portland, realizando un resellado de las juntas a los 8 años y a los 16 años, seguido por una restauración del pavimento a los 24 años y un reencarpetado de concreto asfáltico a los 30 años.

Los conceptos referentes a determinar el costo total actualizado de los pavimentos durante su vida útil deben utilizarse para determinar la diferencia de costo de las distintas estrategias. Los costos deben incluir aquéllos necesarios para el control del tránsito y los relacionados con el impacto de las operaciones de mantenimiento y rehabilitación en los usuarios.

Para cada sección seleccionada a nivel de red, debe determinarse la estrategia de menor costo total actualizado, considerando los conceptos antes indicados.

2.5 RELACION ENTRE LOS ELEMENTOS A NIVEL DE RED Y A NIVEL DE PROYECTO

Los elementos a nivel de red en un sistema de gestión deben identificar y priorizar las secciones que necesitan trabajo en cada uno de los años del período de análisis, deben identificar las necesidades financieras y mostrar el impacto de las diferentes estrategias de financiamiento. Las agencias de transporte deben evitar durante el análisis a nivel de red, dar a conocer la relación existente entre el financiamiento y las secciones específicas de pavimento en que se actuará para así evitar restricciones de financiamiento innecesarias en la parte temprana del análisis a nivel de proyecto. La lista priorizada de secciones en que debe actuarse cada año es el punto de partida del análisis a nivel de proyecto.

Para las secciones en que deba actuarse en un año determinado, a nivel de proyecto deben recolectarse datos adicionales, determinarse la causa de los deterioros e identificarse los tratamientos factibles. El análisis a este nivel debe determinar estimados de costos más exactos para cada alternativa y seleccionar la solución más eficiente económicamente dadas las restricciones impuestas. En este momento, se debe de determinar el costo de reparar cada sección.

Cuando las agencias obtienen gran experiencia con los análisis a nivel de red, se ha observado que los análisis a nivel de proyecto en poco mejoran los resultados obtenidos a partir de los primeros (Referencia 20).

2.6 IMPORTANCIA DE LOS SISTEMAS DE GESTION DE PAVIMENTOS

Por muchos años, las agencias o departamentos de transporte de los distintos países del mundo han utilizado diversos métodos para administrar los fondos disponibles. Las construcciones de las carreteras nuevas son las que mejor fueron administradas por grupos de planeación en las agencias de mayor tamaño, para decidir cuáles y dónde serían construidas. Los trabajos de mantenimiento y rehabilitación generalmente fueron administrados con métodos menos formales. En muchos casos, especialmente en las agencias de menor tamaño, el criterio de administración fue el de atender las secciones carreteras más deterioradas, generalmente con recursos insuficientes para la adecuada reparación de todas ellas; a este sistema generalmente se le ha conocido como de emergencia o de reacción ante situaciones de crisis. En los últimos 20 a 30 años, los sistemas de gestión de pavimentos han sido desarrollados en el mundo para ayudar en la planeación del mantenimiento y rehabilitación (Referencia 18). Los SAP son necesarios para evitar respuestas de crisis en los departamentos de obras públicas. Estas metodologías se basan en la aplicación de la teoría de sistemas y de conceptos básicos de administración para la gestión de la infraestructura; proporcionan una manera estructurada y documentada para obtener el máximo rendimiento del dinero disponible para mejorar la infraestructura.

2.7 BENEFICIOS DE LA ADMINISTRACION DE PAVIMENTOS

Existen diversos beneficios derivados de tener un proceso estructurado de administración de los pavimentos, los cuales son muy obvios; sin embargo, pocos beneficios monetarios han sido documentados. Los beneficios que han sido identificados incluyen:

- 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.

Algunos otros beneficios están relacionados con los siguientes aspectos:

- Información más exacta y accesible sobre el estado de un sistema de vialidades.
- Habilidad de evaluar el comportamiento de los tratamientos seleccionados.
- Determinación de necesidades que pueden ser apoyadas.
- Habilidad de mostrar el impacto de distintas estrategias de financiamiento.
- Selección de estrategias más efectivas de mantenimiento y rehabilitación.
- Mejoras de comunicación entre los distintos grupos que trabajan con los pavimentos dentro de la organización y con el público.
- Habilidad de responder preguntas sobre los pavimentos hechas por administradores, políticos, y por el público.
- Una mejor coordinación de los trabajos con las agencias de servicio público.
- Una mayor credibilidad con los políticos y el público, en lo relacionado con la administración.
- El desarrollo de un sentimiento de satisfacción a partir del convencimiento de que la agencia está realizando el mejor trabajo con el financiamiento disponible.

Capítulo 3 INFORMACION DE CAMPO DE LA RED DE CARRETERAS FEDERALES DE PUEBLA

3.1 DATOS GENERALES

La Unidad General de Servicios Técnicos en el Estado de Puebla se encargó de recopilar la información de campo requerida para la realización de los análisis presentados en este estudio.

A pesar de que en este estudio se recomienda enfáticamente utilizar sistemas de posicionamiento global (“Global Positioning Systems” o GPS) (Referencia 31), o un sistema de referencias en el terreno basado en GPS, para el levantamiento de los inventarios (calidad de rodamiento, estado superficial, deflexiones, etc), dichos sistemas no fueron empleados en este caso por no contar la Unidad mencionada con ellos; cabe destacar que su utilización reditúa en precisión de la información adquirida, fundamentalmente en lo referente a la identificación (por coordenadas) de los sitios específicos que se evalúan.

En Puebla, la red carretera federal en cuestión tiene una extensión aproximada total de 1,118 km. Esta considera únicamente las carreteras federales principales libres (en que no se cobra cuota); no incluye carreteras federales de cuota bajo la jurisdicción de Caminos y Puentes Federales de Ingresos y Servicios Conexos (CAPUFE), ni carreteras estatales, ni carreteras federales revestidas o en terracería, ni brechas.

La Figura 3.1 presenta los tramos carreteros considerados; la Tabla 3.1 muestra la nomenclatura que de aquí en adelante se utilizará para identificarlos, así como algunas características importantes de los mismos. En el resto de este capítulo se describirán los diferentes tipos de información de campo recopilados para ellos. A partir de esta información podrán definirse los subtramos o proyectos homogéneos de conservación de la red. Los tramos en la Tabla 3.1 están definidos por sus sitios de inicio y terminación, los cuales también representan la dirección en la cual se registró la información para cada uno de ellos; la tabla también reporta un código relacionado con la identificación de cada tramo durante los trabajos de levantamiento de la información de campo.

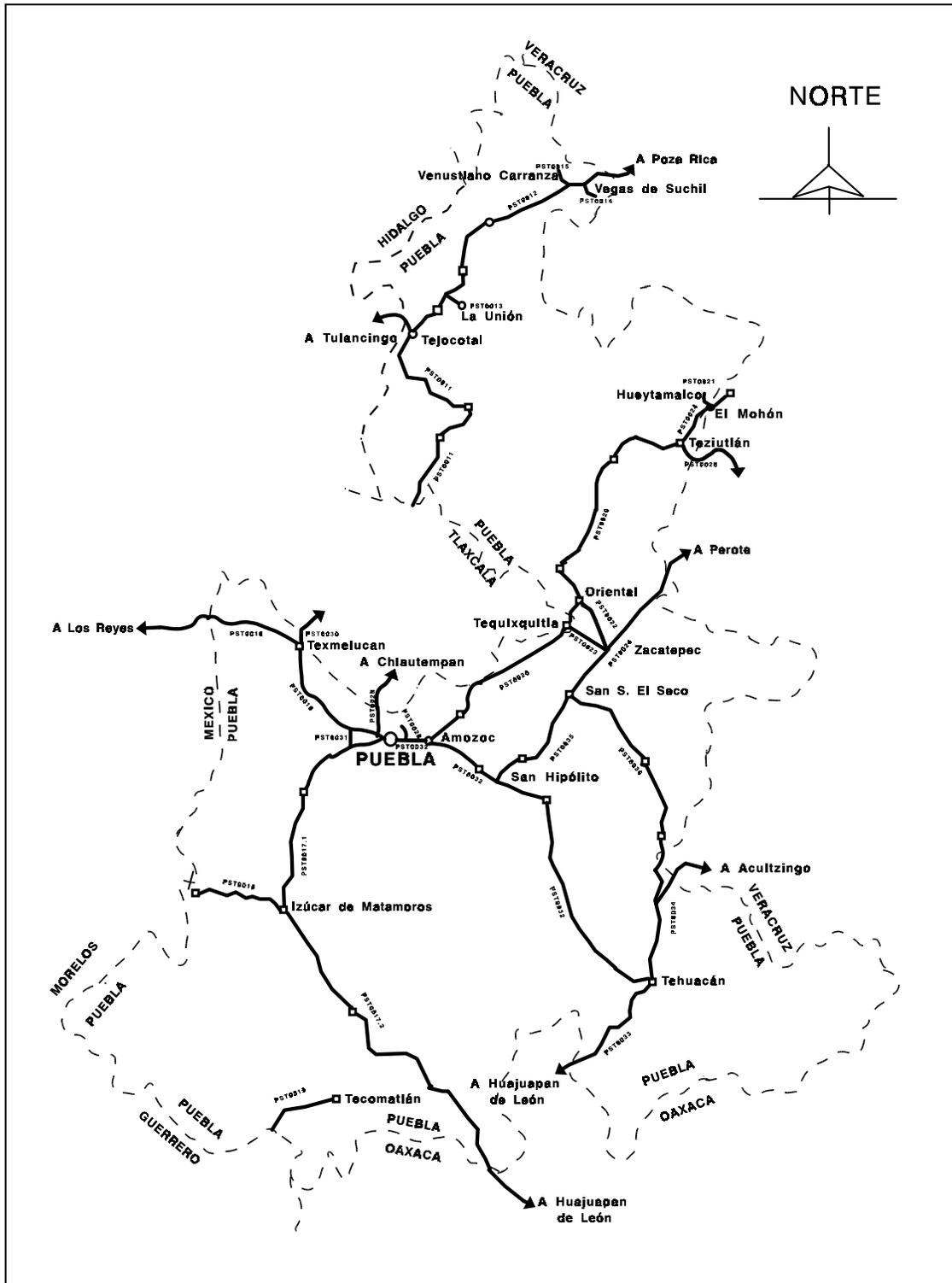


Figura 3.1 Tramos Carreteros Considerados

Tabla 3.1 Relación de Tramos Carreteros Considerados

No.	CODIGO	CARRETERA		TRAMO		RUTA (MEX)	LONGITUD (KM)
		INICIA	TERMINA	INICIA	TERMINA		
1	PST0010	México	Puebla(libre)	L.E Méx/Pue	Puebla	150	65.00
2	PST0011	Apizaco	Tejocotal	L.E Tlax/Pue	L.E Pue/Hgo	119	75.50
3	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	L.E. Hgo/Pue	L.E Pue/Ver	130	103.60
4	PST0013	Entr.Tulancingo/Tuxpan	La Unión	Entr.Tulancin/Tuxpan	La Unión	-	11.80
5	PST0014	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	Entr.Tulancin/Tuxpan	Vegas de Suchil	-	4.80
6	PST0015	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Venustiano Carranza	Entr.Tulancin/Tuxpan	Venustiano Carranza	-	4.50
7	PST0017.1	Puebla	Izúcar de Matamoros	Puebla	Izúcar de Matamoros	190	67.00
8	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Puebla/Oaxaca	Izúcar de Matamoros	L.E Puebla/Oaxaca	190	133.46
9	PST0018	Santa Bárbara	Izúcar de Matamoros	L.E Morelos/Puebla	Izúcar de Matamoros	160	30.50
10	PST0019	Tecomatlán	Tulancingo	Tecomatlán	L.E Pue/Gro	92	19.14
11	PST0020.1	Amozoc	Teziutlán	Amozoc	L.E Pue/Tlax	129	53.21
12	PST0020.2	Amozoc	Teziutlán	L.E Tlax/Pue	Teziutlán	129	103.10
13	PST0021	Ramal El Mohón	Hueytamalco	Ramal El Mohón	Hueytamalco	-	7.00
14	PST0022	San Hipólito	Oriental	Zacatepec	Oriental	140	16.00
15	PST0023	Los Reyes	Zacatepec	El Carmen	Zacatepec	136	10.00
16	PST0024	Teziutlán	Nautla	Teziutlán	L.E Pue/Ver	129	20.00
17	PST0026	Teziutlán	Perote	Teziutlán	Perote	-	11.30
18	PST0027	San Hipólito	Xalapa	Zacatepec	L.E Pue/Ver	140	28.30
19	PST0028	Puebla	Tlaxcala	Puebla	L.E Pue/Tlax	119	9.30
20	PST0029	Puebla	Sta Ana Chiaute/Tlax	Puebla	L.E Pue/Tlax	-	4.80
21	PST0030	San Martín Texmelucan	Tlaxcala	Sn Martín Texmelucan	L.E Pue/Tlax	117	2.90
22	PST0031	México	Puebla	Cholula	Acatepec	-	7.20
23	PST0032	Puebla	Tehuacán	Puebla	Tehuacán	150	119.00
24	PST0033	Tehuacán	Huajuapán de León	Tehuacán	L.E Pue/Oax	125	55.70
25	PST0034	Tehuacán	Córdoba	Tehuacán	L.E Pue/Ver	150	26.60
26	PST0035	San Hipólito	Xalapa	San Hipólito	Zacatepec	140	54.40
27	PST0036.1	San Salvador El seco	Azumbilla	San Salvador El seco	Cru/Aut. Pue/Córdoba	144	46.00
28	PST0036.2	San Salvador El seco	Azumbilla	Cru/Aut. Pue/Córdoba	Azumbilla	28	28.02

3.2 CALIDAD DE RODAMIENTO

Este parámetro fue evaluado para cada segmento de la red mediante la calificación de servicio actual (CSA), la cual se refiere al confort que siente el usuario al transitarlos (desde el punto de vista de las rugosidades de sus superficies de rodamiento). El procedimiento empleado en su determinación consistió en hacer recorrer cada segmento por un vehículo con 4 evaluadores, los cuales, después del recorrido, asignaron independientemente a éste una calificación entre 0 y 5; en esta escala, 5 representa una condición de superficie idealmente perfecta y 0 exactamente lo contrario; 2.5 es frecuentemente considerado como un valor (o umbral) de alerta y 2 como la calificación mínima permisible en carreteras de importancia convencional (es decir, fuera de autopistas, donde suelen usarse mayores valores mínimos de CSA). La calificación de cada segmento es el promedio aritmético de los valores asignados por cada uno de los evaluadores (Referencia 4).

En el caso particular que se aborda en este trabajo, la calidad de cada tramo fue evaluada subdividiendo éste en segmentos de 5 km y obteniendo la CSA promedio de cada segmento según el procedimiento antes indicado. En el Anexo A se reportan los valores de CSA obtenidos para los diferentes segmentos de algunos de los tramos estudiados.

La Tabla 3.2 muestra las distribuciones de frecuencias (absoluta y relativa) del estado en que se encuentran actualmente los 237 segmentos en que se dividió la red. Como puede observarse, no se presentan segmentos en los estados "muy pobre" o "pobre"; la mayoría de los ellos se encuentran en estado "regular" (61.2%) y "bueno" (38.4%); y solamente 0.4% de los mismos se encuentra en estado "muy bueno".

Tabla 3.2 Distribución de Frecuencia de la Calificación del Servicio Actual (CSA)

RANGO DE CSA	CALIFICACIÓN	NO. DE SEGMENTO DE 5 KM	%
0 < CSA <= 1	MP	0	0
1 < CSA <= 2	P	0	0
2 < CSA <= 3	R	145	61.2
3 < CSA <= 4	B	91	38.4
4 < CSA <= 5	MB	1	0.4
TOTAL		237	100

MP = *Muy Pobre*; P = *Pobre*; B = *Bueno*; MB = *Muy bueno*

El mapa en la Figura 3.2 permite diferenciar los segmentos que se encuentran en estado "regular", de aquéllos que se encuentran en estado "bueno"; también permite identificar los subtramos con diferente nivel de CSA dentro de cada tramo. La Tabla 3.3, por su parte, identifica cada subtramo, la carretera a la que pertenece, los kilometrajes entre los que se encuentra comprendido, así como la media y la desviación estándar del CSA de sus segmentos componentes; estos dos últimos valores permitieron realizar pruebas estadísticas para comprobar que los subtramos definidos dentro de cada tramo, realmente tienen diferentes niveles de CSA.

3.3 INFORMACION DE TRANSITO

La información sobre el tránsito actual que circula por los distintos componentes de la red considerada (intensidad y composición) se obtuvo a partir de las siguientes dos fuentes:

- Los datos viales publicados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT), en su versión más reciente disponible (1996) (Referencia 32).
- Los resultados del Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan por las Carreteras Federales, realizado por la SCT a través del Instituto Mexicano del Transporte (IMT) y publicados por este último (Referencias 33 a 36).

Los datos viales permitieron identificar, dentro de cada tramo, los subtramos con diferente nivel de tránsito. La Tabla 3.4 identifica cada subtramo, la carretera a la que pertenece, los kilometrajes entre los que se encuentra comprendido, así como su tránsito promedio diario anual (TPDA) y el número de los diferentes tipos de vehículos en que este último se reparte. El reparto vehicular se presenta en términos del número de unidades dentro de las siguientes siete categorías: automóviles (A), autobuses (B) y los cinco tipos de vehículos de carga más comunes en los flujos carreteros (C2, C3, T3-S2, T3-S3 y T3-S2-R4) (Referencias 33 a 35).

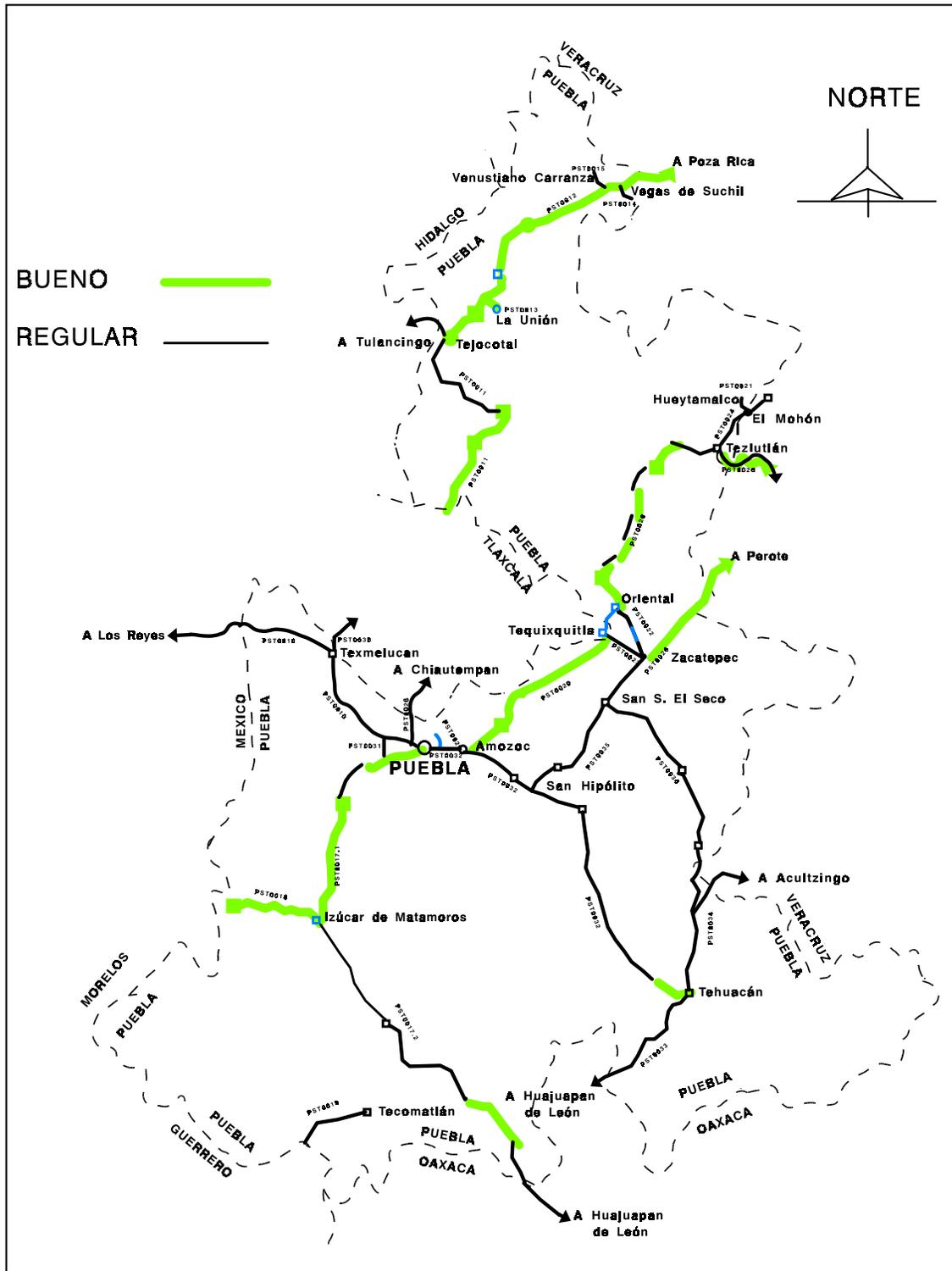


Figura 3.2 Calidad de Rodamiento de los Segmentos Considerados

Tabla 3.3 Valores de la Media y Desviación Standard de la Calificación de Servicio Actual (CSA)

CODIGO	CARRETERA		TRAMO		RUTA (MEX)	KILOMETRO		CSA MEDIA	CSA STD
	INICIA	TERMINA	INICIA	TERMINA					
PST0010	México	Puebla(libre)	L.E Mex/Pue	Puebla	150	45+000	110+000	2.846	0.071
PST0011	Apizaco	Tejocotal	L.E Tlax/Pue	L.E Pue/Hgo	119	35+000	110+500	3.408	0.451
PST0012	Tulancingo	Tuxpan	L.E. Hgo/Pue	L.E Pue/Ver	130	83+000	186+600	3.857	0.075
PST0013	Entr.Tulancingo/Tuxpan	La Unión	Entr.Tulancingo/Tuxpan	La Unión	-	0+000	11+800	3.437	0.009
PST0014	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	-	0+000	4+800	2.200	0.000
PST0015	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Venustiano Carranza	Entr.Tulancingo/Tuxpan	Venustiano Carranza	-	0+000	4+500	2.180	0.000
PST0017.1	Puebla	Izúcar de Matamoros	Puebla	Izúcar de Matamoros	190	0+000	67+000	3.533	0.452
PST0017.2	Izúcar de Matamoros	Puebla/Oaxaca	Izúcar de Matamoros	L.E Puebla/Oaxaca	190	67+000	200+460	2.804	0.146
PST0018	Santa Bárbara	Izúcar de Matamoros	L.E Morelos/Puebla	Izúcar de Matamoros	160	103+000	133+500	3.203	0.165
PST0019	Tecomatlán	Tulancingo	Tecomatlán	L.E Pue/Gro	92	23+500	42+640	2.903	0.033
PST0020.1	Amozoc	Teziutlán	Amozoc	L.E Pue/Tlax	129	0+000	56+000	3.330	0.030
PST0020.2	Amozoc	Teziutlán	L.E Tlax/Pue	Teziutlán	129	64+500	156+310	3.001	0.182
PST0021	Ramal El Mohón	Hueytamalco	Ramal El Mohón	Hueytamalco	-	0+000	7+000	2.950	0.050
PST0022	San Hipólito	Oriental	Zacatepec	Oriental	140	0+000	16+000	3.008	0.038
PST0023	Los Reyes	Zacatepec	El Carmen	Zacatepec	136	0+000	10+000	2.965	0.015
PST0024	Teziutlán	Nautla	Teziutlán	L.E Pue/Ver	129	0+000	20+000	2.766	0.021
PST0026	Teziutlán	Perote	Teziutlán	Perote	-	0+000	11+300	3.430	0.041
PST0027	San Hipólito	Xalapa	Zacatepec	L.E Pue/Ver	140	55+000	83+300	3.682	0.038
PST0028	Puebla	Tlaxcala	Puebla	L.E Pue/Tlax	119	2+500	11+800	2.775	0.275
PST0029	Puebla	Sta Ana Chiaute/Tlax	Puebla	L.E Pue/Tlax	-	0+000	4+800	3.480	0.000
PST0030	San Martín Texmelucan	Tlaxcala	San M. Texmelucan	L.E Pue/Tlax	117	0+000	2+900	2.730	0.000
PST0031	México	Puebla	Cholula	Acatepec	-	0+000	7+200	2.740	0.010
PST0032	Puebla	Tehuacán	Puebla	Tehuacán	150	0+000	119+000	2.703	0.136
PST0033	Tehuacán	Huajuapán de León	Tehuacán	L.E Pue/Oax	125	0+000	55+700	2.483	0.182
PST0034	Tehuacán	Córdoba	Tehuacán	L.E Pue/Ver	150	0+000	26+600	2.507	0.162
PST0035	San Hipólito	Xalapa	San Hipólito	Zacatepec	140	0+000	54+400	2.665	0.119
PST0036.1	San Salvador El seco	Azumbilla	San Salvador El seco	Cru/Aut. Pue/Córdoba	144	0+000	46+000	2.547	0.196
ST0036.2	San Salvador El seco	Azumbilla	Cru/Aut. Pue/Córdoba	Azumbilla	28	46+000	74+020	2.586	0.230

Tabla 3.4 Composición Vehicular de los Tramos Considerados

No	CODIGO.	CARRETERA		KILOMETRO		TDPA	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-S3
1.1	PST0010	México	Puebla(Libre)	45+000		2743	1892	165	473	75	68	70	0
1.2	PST0010	México	Puebla(Libre)	71+160		10014	6910	601	1724	276	247	257	0
1.3	PST0010	México	Puebla(Libre)	99+100	110+00	18491	14239	1109	2165	347	310	322	0
2.0	PST0011	Apizaco	Tejocotal	35+000	110+50	3115	2304	187	105	467	36	16	0
3.1	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	83+000	118+70	9079	6445	363	1329	400	148	394	0
3.2	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	118+70	186+60	6613	3770	660	1278	385	142	378	0
4.0	PST0013	Ent.Tulancingo/Tux	La Unión	0+000		650	454	42	72	31	26	25	0
5.0	PST0014	Ent.Tulancingo/Tux	Vegas de Suchil	0+000	4+800	650	454	42	72	31	26	25	0
6.0	PST0015	Ent.Tulancingo/Tux	Venustiano	0+000	4+500	650	454	42	72	31	26	25	0
7.1	PST0017.1	Puebla	Izúcar de	0+000		25602	19202	1024	2077	978	1222	1058	40
7.2	PST0017.1	Puebla	Izúcar de	10+000		13004	9751	520	1056	497	621	538	21
7.3	PST0017.1	Puebla	Izúcar de	29+880		8902	6231	356	1611	306	153	225	21
8.1	PST0017.2	Izúcar de	L.E Pue/Oaxaca	67+000	113+11	2785	1755	222	393	218	112	85	0
8.2	PST0017.2	Izúcar de	L.E Pue/Oaxaca	113+11	200+46	1422	896	113	181	87	74	72	0
9.0	PST0018	Santa Bárbara	Izúcar de	103+00	133+50	4960	3522	199	649	233	183	174	0
10.0	PST0019	Tecomatlán	Tulcingo	23+500		1934	1413	78	208	90	70	70	6
11.1	PST0020.1	Amozoc	Teziutlán	0+000		4581	2565	320	798	345	266	266	22
11.2	PST0020.2	Amozoc	Teziutlán	64+500	166+50	4791	3592	430	254	140	210	165	0
12.0	PST0021	Ramal El Mohón	Hueytamalco	0+000	7+000	650	454	42	72	31	26	25	0
13.0	PST0022	San Hipólito	Oriental	0+000		4791	3592	430	254	140	210	165	0
14.0	PST0023	Los Reyes	Zacatepec	0+000	10+000	7176	4664	359	1011	438	338	338	29
15.0	PST0024	Teziutlán	Nautla	0+000		3777	2757	378	303	130	100	100	7
16.0	PST0026	Teziutlán	Perote	0+000		3777	2757	378	303	130	100	100	7
17.0	PST0027	San Hipólito	Xalapa	55+000		8652	5278	432	1559	437	495	451	0
18.0	PST0028	Puebla	Tlaxcala	2+500		17021	13174	681	1074	777	741	537	36
19.0	PST0029	Puebla	Sta Ana	0+000	4+800	11651	8272	932	1151	498	384	384	31
20.0	PST0030	San Martín	Tlaxcala	0+000	2+900	14036	10807	281	1408	763	381	294	103
21.0	PST0031	México	Puebla	0+000	7+200	4655	2980	419	590	256	197	197	17
22.1	PST0032	Puebla	Tehuacán	0+000		22829	15730	1643	1707	1058	1346	1274	72
22.2	PST0032	Puebla	Tehuacán	18+165		13645	10096	546	1174	839	397	488	107
22.3	PST0032	Puebla	Tehuacán	58+584		6815	4566	885	530	441	178	215	0
22.4	PST0032	Puebla	Tehuacán	99+064	119+00	9476	6348	1232	737	612	248	298	0
23.0	PST0033	Tehuacán	Huajuapán de León	0+000		879	476	122	131	57	44	44	4
24.0	PST0034	Tehuacán	Córdoba	0+000		4941	2867	445	767	332	256	256	19
25.1	PST0035	San Hipólito	Xalapa	0+000	7+800	8445	3631	759	2245	989	265	386	169
25.2	PST0035	San Hipólito	Xalapa	7+800		6067	2669	1386	666	365	549	433	0
26.1	PST0036.1	Salvador El Seco	Azumbilla	0+000		2787	1422	222	537	232	179	179	15
26.2	PST0036.2	Salvador El Seco	Azumbilla	46+000		2509	1281	200	484	209	161	161	13

La Tabla 3.5 muestra los pesos promedio asumidos para los distintos tipos de vehículos considerados. Para los vehículos de carga, la tabla presenta el peso bruto promedio para las siguientes tres condiciones de ocupación de los mismos: vacíos, cargados sin sobrecarga y sobrecargados. La tabla también indica el porcentaje de cada tipo asumido dentro de cada una de estas condiciones. Todas las cifras en la Tabla 3.5 provienen de las Referencias 33 a 35. El mapa en la Figura 3.3 ilustra los subtramos con diferente nivel de tránsito identificados dentro de cada tramo.

3.4 INVENTARIO DE DETERIOROS

Este se refiere al registro de los distintos tipos de falla que muestra la superficie de rodamiento de los tramos de la red carretera. El levantamiento de esta información requiere que los tramos sean recorridos a pie, de tal manera que pueda irse llenando un formato como el que se muestra en la Figura 3.4. En éste se registra la extensión y severidad de las fallas detectadas en cada segmento de los distintos tramos. En el caso específico de la red carretera del Estado de Puebla, se llenó uno de estos formatos por cada segmento de 5 kilómetros de cada tramo.

En el Anexo B se reporta parte de la información de este inventario; en este anexo, el valor que caracteriza la extensión de cada tipo de falla es el porcentaje en que ésta se presenta en relación con la superficie total del segmento; la severidad se evalúa en términos de una escala compuesta de los siguientes niveles: despreciable (A), de consideración (B), media (C), grave (D) y muy grave (E). Adicionalmente, para algunos de los segmentos, el Anexo B muestra un índice denominado calificación compuesta de condición superficial (CCCS), el cual se calcula restando de 100 los diferentes valores de deducción mostrados en la Tabla 3.6, correspondientes a la extensión y severidad de los distintos tipos de falla presentes en cada segmento. Como es evidente, a partir de su definición y de los valores en la Tabla 3.6, este índice puede tener valores entre 100 y 0 para cualquier segmento, donde 100 es representativo de una condición superficial perfecta y 0 de una superficie totalmente fallada. Esta calificación se presenta con el propósito de mostrar un valor global indicativo de la extensión y severidad con que los distintos tipos de fallas ocurren en cada segmento; su cálculo sigue procedimientos bastante estandarizados (Referencia 4).

Tabla 3.5 Peso Promedio Considerado para los Distintos Tipos de Vehículos y Porcentaje Dentro de Cada Condición

TIPO DE VEHICULO	PESO BRUTO PROMEDIO (TON.)	(%)
<i>Automóvil (A)</i>	1.0	-
<i>Autobús (B)</i>	12.0	-
<i>Camión 2 ejes (C2)</i>		
Vacío	4.0	47.0
Cargado	9.0	50.0
s/Sobrecarga sobrecargado	20.0	3.0
<i>Camión 3 ejes (C3)</i>		
Vacío	9.0	40.0
Cargado	19.0	39.0
s/Sobrecarga sobrecargado	31.4	21.0
<i>Tractocamión c/Semiremolque (T3-S2)</i>		
Vacío	17.0	32.0
Cargado	32.0	49.0
s/Sobrecarga sobrecargado	52.7	19.0
<i>Tractocamión c/Semiremolque (T3-S3)</i>		
Vacío	19.0	35.0
Cargado	34.0	17.0
s/Sobrecarga sobrecargado	62.8	48.0
<i>Tractocamión c/Semiremolque y Remolque (T3-S2-R4)</i>		
Vacío	27.0	33.0
Cargado	48.0	20.0
s/Sobrecarga sobrecargado	80.0	47.0

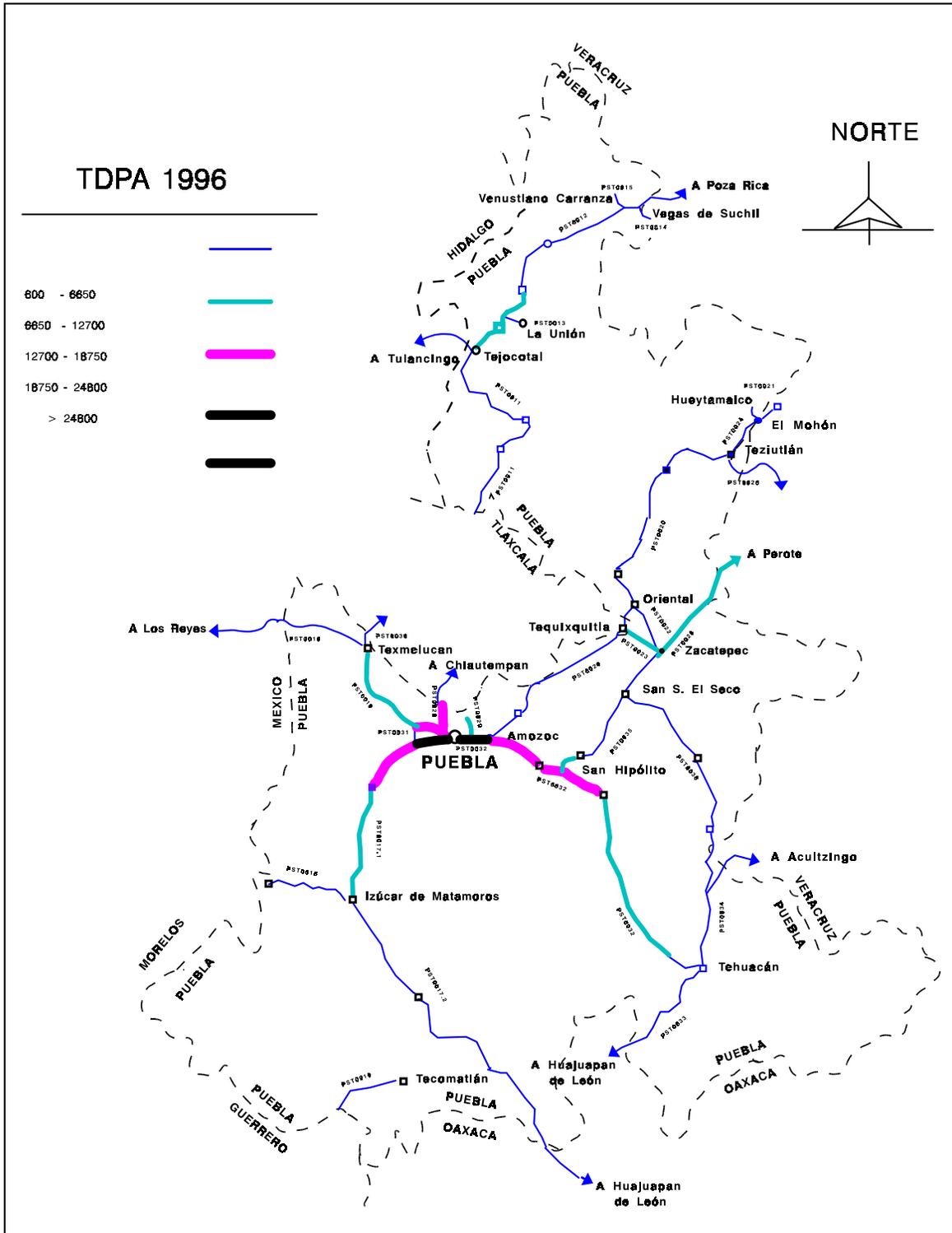


Figura 3.3 Niveles de Tránsito de los Tramos Considerados

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE			
I N V E N T A R I O D E D E T E R I O			
R O S (I N V E D E T)			
FECHA: ____ / ____ / ____		NOMENCLATURA (COOR. GEO.ORIG-DEST.): _____	
ORIGEN CARRETERA: _____		DESTINO DE LA CARRETERA: _____	
ORIGEN	TRAMO: _____	DESTINO	TRAMO: _____
SUBTRAMO	INICIAL: _____	SUBTRAMO	FINAL: _____
FALLA o DETERIORO	%o LONGITUD	GRAVEDAD	o SEVERIDAD ESTIMADA
Roderas	_____	Profundidad (mm):	_____
Baches	_____		_____
Grietas Longitudinales	_____	Abertura (mm):	_____
Grietas Transversales	_____	Abertura (mm):	_____
Desprendimientos	_____		_____
Asfalto Aflorado	_____		_____
Grietas Piel de Cocodrilo	_____		_____
Depresiones o Hundimientos	_____	Profundidad (mm):	_____
Otros	_____		_____
ORIGEN DE LOS DATOS: _____			

Figura 3.4 Formato de Inventario de Deterioros

Tabla 3.6 Valores de la Deducción Correspondientes a los Distintos Niveles de Extensión y Severidad de los Diferentes Tipos de Falla

TIPO DE FALLA	SEVERIDAD	EXTENSION (%)			
		E<25	25<=E<50	50<=E<75	75<=E<100
RODERAS	---	4	7	11	14
BACHES	A-B	1	2	4	5
	C	2	4	5	6
	D-E	4	5	6	9
GRIETAS LONGITUDINALES	A-B	0	1	2	4
	C	2	4	4	5
	D-E	4	5	5	6
GRIETAS TRANSVERSALES	A-B	0	1	2	4
	C	2	4	4	5
	D-E	4	5	5	6
DESPRENDIMIENTOS	A-B	4	6	8	10
	C	5	7	11	14
	D-E	12	15		
ASFALTO AFLORADO	A-B	0	0	0	1
	C	1	1	2	2
	D-E	2	4	5	6
GRIETAS PIE DE COCODRILO	A-B	4	5	6	7
	C	6	8	9	12
	D-E	9	12	15	18
PULIDO SUPERFICIAL	A-B	0	0	0	1
	C	1	1	2	2
	D-E	2	4	5	6
DEPRESION HUNDIMIENTO	A-B	1	2	5	7
	C	2	4	7	9
	D-E	6	7	9	12
DRENAJE	A, B	0			
	C,	4			
	D, E	6			

- (A) Despreciable
- (B) Consideración
- (C) Media
- (D) Grave
- (E) Muy Grave

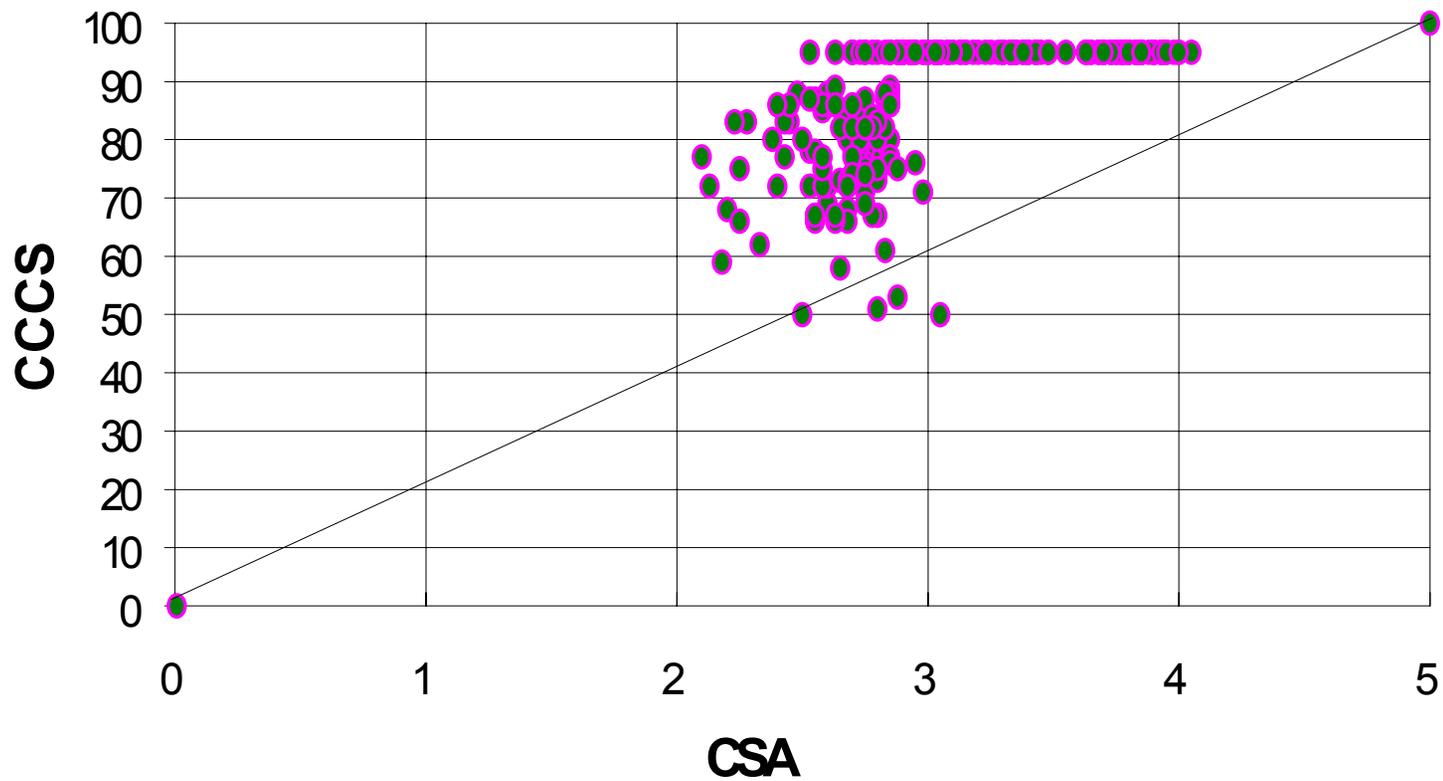
La Tabla 3.7 muestra las distribuciones de frecuencias (absoluta y relativa) de la CCCS de los 237 segmentos en que se dividió la red. La información en esta tabla confirma el hecho ya observado en los análisis de CSA, de que la mayor parte de la red federal del Estado de Puebla se encuentra en estado regular o bueno.

Tabla 3.7 Distribución de Frecuencias para la Calificación Compuesta de Condición Superficial (CCCS)

RANGO	FRECUENCIA (fr)	PORCENTAJE (%)
0 < CCCS <= 10	0	0
10 < CCCS <= 20	0	0
20 < CCCS <= 30	0	0
30 < CCCS <= 40	0	0
40 < CCCS <= 50	2	0.8
50 < CCCS <= 60	4	1.7
60 < CCCS <= 70	15	6.3
70 < CCCS <= 80	48	20.3
80 < CCCS <= 90	38	16
90 < CCCS <= 100	130	54.9
TOTAL	237	100

La Figura 3.5 ilustra el nivel de correlación existente entre los valores de CCCS y CSA de los 237 segmentos analizados. Con base en esta figura, puede señalarse lo siguiente:

- Existe una relación directa entre los dos parámetros anteriores (en general a valores altos de CCCS también corresponden valores altos de CSA y viceversa).
- La correlación entre ambos parámetros no es muy buena. Este comportamiento, bastante usual por otra parte, explica el caso de carreteras que teniendo igual CSA, unas presentan un mayor nivel de fallas en su superficie (CCCS) que otras; o el de carreteras que teniendo igual CCCS, muestran diferentes niveles de rugosidad en sus superficies (CSA).



CSA = Calificación de Servicio Actual
 CCCS = Calificación Compuesta de Condición Superficial

Figura 3.5 Correlación entre CCCS y CSA

Lo primero de alguna manera implica que si en la identificación de proyectos homogéneos de conservación se toma en cuenta a la CSA, ya no es estrictamente necesario considerar a la CCCS de los segmentos con ese mismo fin. Lo segundo indica la importancia de este inventario, tanto con el fin de efectuar una evaluación suficiente de la red como para establecer relaciones causa-efecto de los deterioros e identificar sus posibles soluciones.

Cabe destacar que el sistema de administración de pavimentos empleado en este estudio, usa los valores específicos de extensión y severidad de los distintos tipos de fallas detectados. La finalidad de presentar este análisis según la CCCS de los segmentos es sólo la de contribuir a mostrar un diagnóstico más completo sobre el estado de la red.

3.5 PROYECTOS HOMOGENEOS DE CONSERVACION

La información antes mostrada permitió definir los 42 proyectos de conservación indicados en la Tabla 3.8; éstos guardan relativa homogeneidad tanto en términos de nivel de tránsito como de estado superficial (CSA o CCCS). Dicha tabla identifica los diferentes proyectos según la nomenclatura del tramo al que pertenecen y el kilometraje que ocupan dentro del mismo. Se presenta el nivel de tránsito (TDPA) que de aquí en adelante se asumirá para cada proyecto, así como su CSA promedio (obtenido a partir del CSA de sus segmentos componentes).

La Tabla 3.9, por su parte, muestra la extensión y severidad promedio de los distintos tipos de falla en cada proyecto, así como la media de la CCCS de sus segmentos componentes.

3.6 DEFLEXIONES Y PROPIEDADES ESTRUCTURALES

En todos los segmentos de 5 km de la red se midieron deflexiones utilizando Viga Benkelman. En los 500 m más críticos de cada segmento se tomaron 25 deflexiones, una a cada 20 metros. El Anexo C reporta la información de deflexiones para algunos de los segmentos, incluyendo la temperatura promedio en la carpeta al momento de medir las deflexiones, el valor promedio de las 25 deflexiones de cada segmento así como su desviación estándar. Los datos anteriores permitieron generar la información de deflexiones a nivel de cada proyecto. Esta información se reporta en la Tabla 3.10, la cual presenta un factor de corrección para ajustar las deflexiones medidas a una temperatura de referencia de 21°C (y que de esa manera puedan ser comparables y utilizables) y las correspondientes deflexiones corregidas. La Referencia 27 describe en detalle el procedimiento para corregir las deflexiones por temperatura.

Tabla 3.8 Relación de Proyectos en los Tramos Considerados

PROYECTO	CODIGO.	CARRETERA		KILOMETRO		TDPA
1	PST0010	México	Puebla (Libre)	45+000	71+160	2743
2	PST0010	México	Puebla (Libre)	71+160	99+100	10014
3	PST0010	México	Puebla (Libre)	99+100	110+000	18491
4	PST0011	Apizaco	Tejocotal	35+000	85+000	3115
5	PST0011	Apizaco	Tejocotal	85+000	110+500	3115
6	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	83+000	118+700	9079
7	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	118+700	186+600	6613
8	PST0013	Ent.Tulancingo/Tuxpan	La Unión	0+000	11+800	650
9	PST0014	Ent.Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	0+000	4+800	650
10	PST0015	Ent.Tulancingo/Tuxpan	Venustiano Carranza	0+000	4+500	650
11	PST0017.1	Puebla	I. de Matamoros	0+000	15+000	25602
12	PST0017.1	Puebla	I. de Matamoros	15+000	30+000	13004
13	PST0017.1	Puebla	I. de Matamoros	30+000	67+000	8902
14	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	67+000	113+110	2785
15	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	113+110	160+000	2785
16	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	160+000	180+000	2785
17	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	180+000	200+460	1422
18	PST0018	Santa Bárbara	Izúcar de Matamoros	103+000	133+500	4960
19	PST0019	Tecomatlán	Tulcingo	23+500	42+640	1934
20	PST0020	Amozoc	Teziutlán	0+000	56+000	4581
21	PST0020	Amozoc	Teziutlán	64+500	95+000	4791
22	PST0020	Amozoc	Teziutlán	95+000	166+500	4791
23	PST0021	Ramal El Mohón	Hueytamalco	0+000	7+000	650
24	PST0022	San Hipólito	Oriental	0+000	16+000	4791
25	PST0023	Los Reyes	Zacatepec	0+000	10+000	7176
26	PST0024	Teziutlán	Nautla	0+000	20+000	3777
27	PST0026	Teziutlán	Perote	0+000	11+300	3777
28	PST0027	San Hipólito	Xalapa	55+000	83+300	8652
29	PST0028	Puebla	Tlaxcala	2+500	11+800	17021
30	PST0029	Puebla	Sta A. Chiauntempan	0+000	4+800	11651
31	PST0030	San M, Texmelucan	Tlaxcala	0+000	2+900	14036
32	PST0031	México	Puebla	0+000	7+200	4655
33	PST0032	Puebla	Tehuacán	0+000	18+165	22829
34	PST0032	Puebla	Tehuacán	18+165	58+584	13645
35	PST0032	Puebla	Tehuacán	58+584	99+064	6815
36	PST0032	Puebla	Tehuacán	99+064	119+000	9476
37	PST0033	Tehuacán	Huajuapán de León	0+000	55+700	879
38	PST0034	Tehuacán	Córdoba	0+000	26+600	4941
39	PST0035	San Hipólito	Xalapa	0+000	7+880	8445
40	PST0035	San Hipólito	Xalapa	7+880	54+400	6067
41	PST0036	Salvador El Seco	Azumbilla	0+000	46+000	2787
42	PST0036	Salvador El Seco	Azumbilla	46+000	74+020	2509

Tabla 3.9 Promedio de los Distintos Tipos de Fallas de los Proyectos Considerados

PROYECTO	E R (%)	S R	E B (%)	S B	E GL (%)	S GL	E GT (%)	S GT	E D (%)	S D	E AA (%)	S AA	E PC (%)	S PC	E PS (%)	S PS	E DS (%)	S DS	CCCS C
1	0		1	B	1	B	0		7	D	9.6	D	1.2	B	5.8	C	3.2	C	90.4
2	1.66	D	1	D	1	B	1	C	5.33	C	3	C	4.33	E	6.83	C	2	C	85.66
3	1	B	0		0		1	C	10	B	1	B	1	D	8	C	3.5	B	86.50
4	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
5	25.1	B	3.83	C	0		0		1.66	C	2.33	B	1	B	0		4.5	C	86.50
6	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
7	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
8	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
9	0		6	D	38	D	0		95	E	0		0		0		0		68.00
10	17	C	49	C	30	C	0		66	C	0		11	D	0		68	D	59.00
11	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
12	14.6	C	4.33	B	6	C	5.66	C	10.3	C	1	B	34.3	D	0		3	C	80.00
13	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
14	2.3	C	3.6	D	4.2	C	3.2	C	7.2	C	2	B	14.9	D	5.6	C	4.9	C	82.00
15	1	C	2.33	E	2.66	D	1.77	E	12.4	D	2.55	C	8.33	E	4.22	B	1	B	83.89
16	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
17	1.25	C	1	D	1	C	1	B	7	D	11.2	C	1	B	1	C	1	C	83.00
18	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
19	0		0		0		0		12.2	C	1.25	B	0		0		0		93.00
20	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
21	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
22	16.3	C	1	C	0		1	D	1	D	1	C	15.8	D	11	C	0		86.80
23	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
24	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
25	72.5	B	0		0		0		20	C	21.5	B	30	C	17.5	C	0		73.50
26	60	C	1	C	0		0		13.6	C	3	C	21	C	16	C	0		75.00
27	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
28	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
29	55	B	30	C	32	C	30	D	53	C	26	B	43	D	0		30	C	50.00
30	0		0		0		0		0		0		0		0		0		95.00
31	90	B	0		0		0		0		60	B	0		0		0		77.00
32	5	A	0		3.5	A	0		76.5	B	0		7.5	C	0		7.5	D	78.50
33	39.2	B	0		28.5	C	26.2	C	7.5	C	0		13.2	D	0		8	D	75.25
34	73.3	D	1.25	B	10.8	C	10.8	C	10.2	C	5.75	C	13.2	D	0		8.87	D	69.00
35	16.7	C	0		5	B	6.87	B	4.25	C	2.5	C	6.37	C	0		5	C	85.38
36	5.75	B	0		0		0		2.5	B	0		0		0		1.25	B	92.75
37	0.66	A	21	C	34.1	C	4.08	C	33	C	2.41		4.41	B	8	C	8.41	B	84.25
38	17.8	B	6.5	B	15.3	C	2	B	46.1	C	22.8	C	41.1	C	39.3	C	6.16	B	76.67
39	90	A	1	B	0		0		2	B	20.5	B	49.5	D	80	B	0		69.5
40	71.1	B	0.33	C	0		1.66	B	1.11	C	31.1	C	35.5	C	52.2	C	0		74.00
41	0.55	A	9	B	5.77	C	1.33	B	56.7	B	43.4	B	13	C	5.77	B	5.55	B	84.11
42	0		7.83	A	12.6	B	1	A	76.1	C	17	C	17	C	8.33	A	1.33	A	82.00

NOTA: E_R = Extensión por Roderas; S_R = Severidad por Roderas; E_B = Extensión por Baches; S_B = Severidad por Baches; E_GL = Extensión por Grietas Longitudinales; S_GL = Severidad por Grietas Longitudinales; E_GT = Extensión por Grietas Transversales; S_GT = Severidad por Grietas Transversales; E_D = Extensión por Desprendimiento; S_D = Severidad por Desprendimiento; E_AA = Extensión por Asfalto Aflorado; S_AA = Severidad por Asfalto Aflorado; E_PC = Extensión por Piel de Cocodrilo; S_PC = Severidad por Piel de Cocodrilo; E_PS = Extensión por Pulido Superficial; S_PS = Severidad por Pulido Superficial; E_DS = Extensión por Desprendimiento Superficial; S_DS = Severidad por Desprendimiento Superficial; CCCS_C = Calificación Compuesta de Condición Superficial por Segmento Componente

Tabla 3.10 Información de Deflexiones para los Proyectos Considerados

PROY.	CARRETERA		TEMP (°C)	FACT_TEMP	DFLX_MED (pulg x10 ⁻³)	D_M_C (pulg x10 ⁻³)
1	México	Puebla (libre)	21.6	0.9984	32.7440	32.6916
2	México	Puebla (libre)	27.5	0.9167	26.1760	23.9955
3	México	Puebla (libre)	35.5	0.8416	14.7000	12.3715
4	Apizaco	Tejocotal	29.7	0.8916	46.1720	41.6555
5	Apizaco	Tejocotal	19.9	1.0301	46.4480	47.8460
6	Tulancingo	Tuxpan	24.9	0.9426	25.7543	23.3334
7	Tulancingo	Tuxpan	38.2	0.8232	20.0462	16.5020
8	Ent. Tulancingo/Tuxpan	La Unión	27.0	0.8890	35.8800	31.8973
9	Ent. Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	27.0	0.8919	50.6800	45.2015
1	Ent. Tulancingo/Tuxpan	Venustiano Carranza	27.0	0.8919	50.6800	45.2015
11	Puebla	Izúcar de Matamoros	21.3	0.8752	23.3400	20.4271
12	Puebla	Izúcar de Matamoros	40.0	0.8200	32.6800	26.7976
13	Puebla	Izúcar de Matamoros	44.5	0.8051	26.7371	21.5260
14	Izúcar de Matamoros	L.E. Pue./Oaxaca	47.7	0.8020	33.0160	26.4788
15	Izúcar de Matamoros	L.E. Pue./Oaxaca	41.1	0.8139	23.3200	18.9801
16	Izúcar de Matamoros	L.E. Pue./Oaxaca	31.2	0.8704	20.7200	18.0346
17	Izúcar de Matamoros	L.E. Pue./Oaxaca	21.4	0.9123	17.0600	15.5638
18	Santa Bárbara	Izúcar de Matamoros	30.9	0.8460	25.0400	21.1838
19	Tecomatlán	Tulcingo	35.0	0.8412	16.9600	14.2667
20	Amozoc	Teziutlán	26.3	0.9234	35.3636	32.6547
21	Amozoc	Teziutlán	22.0	0.9902	48.6067	48.1303
22	Amozoc	Teziutlán	16.7	1.0109	72.0954	72.8812
23	Ramal El Mohón	Hueytamalco	35.2	0.8405	70.9000	59.5914
24	San Hipólito	Oriental	18.6	0.9282	46.5067	43.1675
25	Los Reyes	Zacatepec	29.2	0.8908	35.1200	31.2848
26	Teziutlán	Nautla	26.6	0.8613	55.1800	47.5265
27	Teziutlán	Perote	15.7	1.0998	87.0400	95.7266
28	San Hipólito	Xalapa	36.8	0.8348	22.8667	19.0891
29	Puebla	Tlaxcala	24.0	0.9572	34.5400	32.0616
30	Puebla	Sta. Ana Chiuauhtempan	31.0	0.8724	37.1200	32.3834
31	Sn. Martín Texmelucan	Tlaxcala	28.0	0.9030	44.6800	40.3460
32	México	Puebla	39.0	0.8198	37.5000	30.7425
33	Puebla	Tehucán	14.8	0.8845	28.4000	25.1198
34	Puebla	Tehucán	33.9	0.8494	28.2350	23.9828
35	Puebla	Tehucán	31.6	0.8713	20.6600	18.0010
36	Puebla	Tehucán	39.5	0.8177	21.4900	17.5723
37	Tehucán	Huajuapán de León	22.7	0.9118	23.1640	21.1209
38	Tehucán	Córdoba	29.8	0.8449	44.4960	37.5946
39	San Hipólito	Xalapa	40.7	0.8130	28.5600	23.2192
40	San Hipólito	Xalapa	35.4	0.8634	42.1822	36.4201
41	Salvador El Seco	Azumbilla	29.8	0.8965	38.2622	34.3020
42	Salvador El Seco	Azumbilla	32.6	0.8603	24.2800	20.8880

NOTA: TEMP = Temperatura en °C; FACT_TEMP = Factor de Ajuste de Temperatura; DFLX_MED = Deflexión Media; D_M_C = Deflexión Media Corregida

Finalmente, para cada proyecto se obtuvo información sobre la resistencia estructural del pavimento existente, en términos del espesor y el CBR de las distintas capas (Referencia 37). Esta permitió establecer cinco secciones representativas de los 42 proyectos, las cuales se ilustran en la Tabla 3.11. La misma tabla indica los proyectos que son caracterizados por cada una de dichas secciones. Cabe aclarar que, de toda esta información, el HDM sólo requiere el espesor de la capa superficial y el CBR de la subrasante. La obtención del primero generalmente precisa de la obtención de muestras (corazones) mediante cilindros y taladros. El segundo puede determinarse a partir de las deflexiones, según indican las Referencias 38 y 39.

Tabla 3.11 Secciones Representativas de los Proyectos Considerados

SECCION	CAPA	ESPESOR (cm)	VRS	PROYECTOS
I	Carpeta	5	---	8, 9, 10
	Base Granular	12	40	15, 16, 17
	Subbase Granular	15	20	19, 23, 37
	Subrasante	0	---	
	Terracería	---	5	
II	Carpeta	5	-	1, 4, 5
	Base Granular	15	50	14, 26, 27
	Subbase Granular	20	30	41, 42
	Subrasante	30	15	
	Terracería	---	---	
III	Carpeta	7	-	18, 20, 21
	Base Granular	25	60	22, 24, 25
	Subbase Granular	25	30	32, 35, 38
	Subrasante	30	20	40
	Terracería	---	---	
IV	Carpeta	7.5	---	2, 6, 7
	Base Granular	30	80	13, 28, 36
	Subbase Granular	30	40	39
	Subrasante	40	30	
	Terracería	---	---	
V	Carpeta	10	---	3, 11, 12
	Base Granular	30	80	29, 30, 31
	Subbase Granular	30	40	33, 34
	Subrasante	40	30	
	Terracería	---	---	

Capítulo 4. APLICACION DEL MODELO “HIGHWAY DESIGN AND MAINTENANCE - III” (HDM-III)

4.1 DATOS DE ENTRADA

Como ya se dijo, esta parte del modelo HDM-III permite analizar la factibilidad económica de una serie de alternativas posibles de mantenimiento para los diferentes componentes de la red (segmentos). A partir de estos análisis, se hacen evidentes las estrategias de conservación más convenientes para cada segmento.

La aplicación de este módulo a la red carretera principal del Estado de Puebla requiere de organizar la información ya presentada en el Capítulo 3, de acuerdo con ciertos formatos específicos. Asimismo, se necesita generar otros tipos adicionales de información.

La especificación de un problema en el HDM se realiza a través de 11 series de datos (denominadas con las letras "A" a "K"). La Tabla 4.1 indica la información que se almacena en cada una de ellas. A continuación se describe la información a que se refiere cada serie aplicable a este caso, así como la determinación de los valores de sus variables. Lo anterior implica que no se describen las series que no son aplicables a este problema. Con el fin de reseñar brevemente los principios de operación del programa, se realizan también comentarios referentes a la forma como éste utiliza algunos de los tipos de información.

En el Anexo D se incluyen algunos de los formatos codificados para este problema.

4.1.1 Características de los Segmentos (Serie A)

Mediante esta serie se proporcionan al HDM las características ambientales, físicas y geométricas de los segmentos de la red. Esta información se ingresa por grupos de segmentos que son homogéneos en términos de nivel de tránsito. El HDM acepta información para un máximo de hasta 20 grupos de segmentos por corrida. Cada grupo es la unidad básica para la cual el programa realiza los análisis económicos y la comparación de alternativas de mejoramiento.

Tabla 4.1 Serie de Datos de Entrada

SERIE	INFORMACION
A	Características de los Segmentos
B	Alternativas de Construcción
C	Alternativas de Mantenimiento
D	Características de los Vehículos
E	Datos de Tránsito
F	Costos exógenos o Beneficios
G	Alternativas de los Segmentos
H	Alternativas de Grupos
I	Reportes Deseados
J	Comparación de Alternativas
K	Control de la Corrida

En el problema particular de la red carretera del Estado de Puebla, como ya se indicó en el Capítulo 3, se identificaron 42 proyectos diferentes. Como en este caso se desea determinar una solución para cada proyecto y debido a que en la identificación de éstos (realizada en el Capítulo anterior) ya se consideró que ellos fuesen homogéneos en términos tanto de condiciones de tránsito como de estado superficial o calidad de rodamiento, se decidió que cada grupo de segmentos incluyese un solo proyecto; es decir, se definieron 42 grupos de segmentos, uno por proyecto. De esta manera, como el programa sólo acepta un máximo de 20 grupos de segmentos por corrida, se decidió realizar 6 corridas, en donde cada corrida incluyese 7 proyectos. La Tabla 4.2 indica los proyectos incluidos en cada corrida así como el orden en que éstos fueron ingresados en las mismas. Como es evidente, los proyectos están listados en la tabla por orden creciente de su calificación de servicio actual (orden creciente de su calidad de rodamiento).

En este problema, la especificación de la información de esta serie se realiza a través de 2 formatos. El primero (A-1) permite ingresar, para cada grupo de segmentos, un código de identificación y nombre descriptivo, así como el número de proyectos (o "secciones" en la nomenclatura del HDM) comprendidos dentro del grupo (sólo uno en este caso), una clave de identificación para estos últimos y su longitud. El segundo (A-1a) se utiliza para describir las características de los proyectos pavimentados dentro de cada grupo, incluyendo aspectos ambientales (precipitación pluvial y altura sobre el nivel del mar), propiedades geométricas (curvaturas promedio horizontal y vertical, sobreelevación y anchos de sección de circulación y acotamientos), tipo y espesor de la capa superficial, tipo de base y CBR de la subrasante, deflexión de Viga Benkelman promedio del proyecto y datos de la condición superficial (extensión y severidad de los tipos de falla y calificación de servicio o rugosidad).

Tabla 4.2 Proyectos Incluidos en Cada Corrida

CORR.	CODIGO	CARRETERA		KILOMETRO		LONG. (km)	PROY.	CSA
1	PST0015	Ent.Tulancingo/Tuxpan	V. Carranza	0+000	4+500	4.50	10	2.18
	PST0014	Ent.Tulancingo/Tuxpan	Vegas de Suchil	0+000	4+800	4.80	9	2.20
	PST0035	San Hipólito	Xalapa	0+000	7+800	7.80	39	2.46
	PST0033	Tehuacán	Huajuapán de León	0+000	55+700	55.70	37	2.48
	PST0034	Tehuacán	Córdoba	0+000	26+600	26.60	38	2.51
	PST0036.1	Salvador El Seco	Azumbilla	0+000	46+000	46.00	41	2.55
	PST0036.2	Salvador El Seco	Azumbilla	46+000	74+020	28.02	42	2.58
2	PST0032	Puebla	Tehuacán	18+165	58+584	40.42	34	2.58
	PST0032	Puebla	Tehuacán	0+000	18+165	18.17	33	2.62
	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	67+000	113+110	46.11	14	2.67
	PST0035	San Hipólito	Xalapa	7+800	54+400	46.60	40	2.71
	PST0030	San Martín Texmelucan	Tlaxcala	0+000	2+900	2.90	31	2.73
	PST0031	México	Puebla	0+000	7+200	7.20	32	2.74
	PST0032	Puebla	Tehuacán	58+584	99+064	40.48	35	2.76
3	PST0024	Teziutlán	Nautla	0+000	20+000	20.00	26	2.77
	PST0028	Puebla	Tlaxcala	2+500	11+800	9.30	29	2.78
	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	113+110	160+000	46.89	15	2.82
	PST0010	México	Puebla(Libre)	99+100	110+000	10.90	3	2.82
	PST0010	México	Puebla(Libre)	71+160	99+100	27.94	2	2.84
	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	180+000	200+460	20.46	17	2.85
	PST0011	Apizaco	Tejocotal	35+000	110+500	75.50	5	2.86
4	PST0010	México	Puebla(Libre)	45+000	71+160	26.16	1	2.87
	PST0017.1	Puebla	Izúcar de Matamoros	15+000	30+000	15.00	12	2.88
	PST0019	Tecomatlán	Tulcingo	23+500	42+640	19.14	90	2.90
	PST0020.2	Amozoc	Teziutlán	64+500	166+500	102.00	22	2.92
	PST0032	Puebla	Tehuacán	99+064	119+000	19.94	36	2.92
	PST0021	Ramal El Mohón	Hueytamalco	0+000	7+000	7.00	23	2.95
	PST0023	Los Reyes	Zacatepec	0+000	10+000	10.00	25	2.97
5	PST0022	San Hipólito	Oriental	0+000	16+000	16.00	24	3.00
	PST0017.2	Izúcar de Matamoros	L.E Pue/Oaxaca	160+000	180+000	20.00	16	3.06
	PST0018	Santa Bárbara	Izúcar de Matamoros	103+000	133+500	30.50	18	3.20
	PST0020.2	Amozoc	Teziutlán	64+500	166+500	102.00	21	3.22
	PST0020.1	Amozoc	Teziutlán	0+000	56+000	56.00	20	3.33
	PST0026	Teziutlán	Perote	0+000	11+300	11.30	27	3.43
	PST0013	Ent.Tulancingo/Tuxpan	La Unión	0+000	11+800	11.80	8	3.44
6	PST0029	Puebla	Sta Ana	0+000	4+800	4.80	30	3.48
	PST0027	San Hipólito	Xalapa	55+000	83+300	28.30	28	3.68
	PST0017.1	Puebla	Izúcar de Matamoros	30+000	67+000	37.00	13	3.72
	PST0011	Apizaco	Tejocotal	35+000	110+500	75.50	4	3.74
	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	118+700	186+600	67.90	7	3.83
	PST0012	Tulancingo	Tuxpan	83+000	118+700	35.70	6	3.91
	PST0017.1	Puebla	Izúcar de Matamoros	0+000	15+000	15.00	11	4.60

NOTA: CORR. = Corrida; LONG. = Longitud del Tramo; PROY.= Proyecto Considerado;
CSA = Calificación Actual de Servicio

Las Referencias 40 a 42 definen con mayor detalle las variables anteriores. Como ya se indicó, el Anexo D muestra un ejemplo de los valores escogidos para algunas de las variables de un proyecto considerado. La mayor parte de los valores de las variables de todos los proyectos ya fueron reportados en el Capítulo 3.

4.1.2 Alternativas de Mantenimiento (Serie C)

Esta serie permite ingresar al modelo, información referente a las alternativas de conservación a considerar para las secciones (o proyectos) y sus costos. En este problema, la especificación de esta información se realiza a través de 2 formatos.

Mediante el primero (C-1) se especifican los costos unitarios de 8 operaciones individuales de conservación para secciones pavimentadas. En la Tabla 4.3 se indican éstas, así como sus costos unitarios registrados por el Centro SCT del Estado de Puebla. Estos últimos se reportan en dólares americanos, considerando una paridad de 7.50 nuevos pesos de mediados de 1996 por dólar. Nótese que en la Tabla 4.3 no se presenta ninguna cifra para mantenimiento rutinario, pues el valor que debe ingresarse en este caso es el costo por kilómetro-año de todos los aspectos que incluye este tipo de mantenimiento con excepción del bacheo cuyo costo se proporciona por separado (conservación de las obras de drenaje, acotamientos, instalaciones de seguridad, señalamiento, control de vegetación, etc). Como el modelo no toma en cuenta el efecto de estas acciones en el comportamiento de los pavimentos (sí considera, por otra parte, el del bacheo), se prefirió no considerarlas en este estudio.

El segundo (C-3) permite especificar una serie de estándares de conservación, señalando al programa las operaciones individuales que cada uno de ellos incluye. El modelo evalúa la factibilidad económica de aplicar estos estándares a cada proyecto, con el fin de identificar el más conveniente para cada uno de ellos.

En el problema particular que se aborda, se consideraron los siguientes 4 estándares de conservación:

- I Afrontar el período de análisis (15 años en este caso) mediante mantenimiento rutinario, la realización de bacheo cuando se produzcan agujeros en la carpeta y la reconstrucción (desde la base) cuando se alcance una calificación de servicio actual (CSA) de 1 (a este estándar normalmente se le conoce como "base o nulo").

Tabla 4.3 Operaciones Individuales de Conservación y sus Costos

OPERACIÓN	COSTO UNITARIO
Riego de Sello	\$0.88 dólares/m ²
Riego de Rejuvenecimiento	\$0.40 dólares/m ²
Riego de Impregnación	\$0.32 dólares/m ²
Bacheo	\$11.20 dólares/m ²
Renivelación y Riego de Sello o Recuperación (15 cm)	\$4.00 dólares/m ²
Reencarpetado (5 cm)	\$10.66 dólares/m ²
Reconstrucción del Pavimento	\$26.66 dólares/m ²
Mantenimiento Rutinario	---

- II Lo mismo anterior, pero ahora añadiendo la colocación de riegos de sello (mantenimiento preventivo) a los primeros signos de agrietamiento o desprendimiento del agregado de la carpeta.
- III Lo mismo en (I), pero ahora adicionando la realización de renivelación y riego de sello (15 cm de recuperación) cuando la superficie alcance una CSA de 3.
- IV Lo mismo en (I), añadiendo ahora la colocación de una sobrecarpeta de 5 cm de espesor cuando la superficie alcance una CSA de 2.

Las opciones I, III y IV anteriores son comunes en Puebla; la opción II se incluye con el fin de identificar aquellas situaciones en que sería conveniente adoptar una política de mantenimiento preventivo.

Cabe aclarar que el programa maneja un sistema de jerarquías que se utiliza cuando dos o más operaciones de conservación de un estándar son aplicables en una sección en particular; ésta favorece a las reconstrucciones por encima de los reencarpetados, a éstos por encima de las renivelaciones y riegos de sello o recuperaciones, a éstos por encima de las acciones de mantenimiento preventivo, a éstas por encima de las operaciones de bacheo y a éstas por encima del mantenimiento rutinario.

4.1.3 Características de los Vehículos (Serie D)

Esta serie permite ingresar al programa las características operativas y costos de los grupos de vehículos que, en proporción e intensidad diferentes, circulan por las secciones. Los Formatos D-1 y D-3 se utilizan para especificar algunas características generales de los grupos de vehículos que componen la flota; por ejemplo, tipo de vehículo (en este caso, automóvil, autobús, camión de carga unitario de dos ejes, camión de carga unitario de tres ejes, articulado de 5 ejes, articulado de 6 ejes y doblemente articulado de 9 ejes), número de llantas, peso bruto vehicular promedio, coeficiente de daño unitario promedio, número de ejes por vehículo y carga útil. El Formato D-4 permite proporcionar los costos unitarios de operación de cada grupo de vehículo (costo inicial, costo de las llantas, costo de los lubricantes y combustibles, etc.). Mediante el Formato D-5, se especifican al modelo los datos de uso anual de cada grupo de vehículo (kilómetros recorridos al año, horas de operación al año, etc.).

Toda la información de esta serie permite al programa calcular los costos por kilómetro de operación de los distintos grupos vehiculares. Los valores específicos de las variables para este problema fueron tomados de las Referencias 43 a 45.

4.1.4 Datos de Tránsito (Serie E)

Mediante este formato se ingresan al programa, para cada proyecto, el flujo diario promedio anual de los diferentes tipos de vehículos (7 en este caso) así como su tasa de crecimiento media anual aplicable durante el período de análisis (15 años en este problema). La Tabla 4.4 repite la información de flujos ya reportada por subtramos en el capítulo anterior, pero ahora para cada proyecto considerado, ordenados éstos según fueron ingresados en las corridas del HDM. En este trabajo se asumió para todos los tipos de vehículos de todas las secciones o proyectos, una tasa de crecimiento media anual del 3%. Se utiliza un solo formato (E) para la especificación de esta información.

Tabla 4.4 Flujos Diarios de los Diferentes Tipos de Vehículos en cada Proyecto

CORRIDA	PROY.	TDPA	A	B	C2	C3	T3-S2	T3-S3	T3-S2-R4
1	10	650	454	42	72	31	26	25	0
	9	650	454	42	72	31	26	25	0
	39	8445	3631	759	2245	989	265	386	169
	37	879	476	122	131	57	44	44	4
	38	4941	2867	445	767	332	256	256	19
	41	2787	1422	222	537	232	179	179	15
	42	2509	1281	200	484	209	161	161	13
2	34	13645	9999	546	1174	839	397	488	107
	33	22829	9999	1643	1707	1058	1346	1274	72
	14	2785	1755	222	393	218	112	85	0
	40	6067	2669	1386	666	365	549	433	0
	31	14036	9999	281	1408	763	381	294	103
	32	4655	2980	419	590	256	197	197	17
	35	6815	4566	885	530	441	178	215	0
3	26	3777	2757	378	303	130	100	100	7
	29	17021	9999	681	1074	777	741	537	36
	15	1422	896	113	181	87	74	72	0
	3	18491	9999	1109	2165	347	310	322	0
	2	10014	6910	601	1724	276	247	257	0
	17	1422	896	113	181	87	74	72	0
	5	3115	2304	187	105	467	36	16	0
4	1	2743	1892	165	473	75	68	70	0
	12	13004	9751	520	1056	497	621	538	21
	19	1934	1413	78	208	90	70	70	6
	22	4791	3592	430	254	140	210	165	0
	36	9476	6348	1232	737	612	248	298	0
	23	650	454	42	72	31	26	25	0
	25	7176	4664	359	1011	438	338	338	29
5	24	4791	3592	430	254	140	210	165	0
	16	1422	896	113	181	87	74	72	0
	18	4960	3522	199	649	233	183	174	0
	21	4791	3592	430	254	140	210	165	0
	20	4581	2565	320	798	345	266	266	22
	27	3777	2757	378	303	130	100	100	7
	8	650	454	42	72	31	26	25	0
6	30	11651	8272	932	1151	498	384	384	31
	28	8652	5278	432	1559	437	495	451	0
	13	8902	6231	356	1611	306	153	225	21
	4	3115	2304	187	105	467	36	16	0
	7	6613	3770	660	1278	385	142	378	0
	6	9079	6445	363	1329	400	148	394	0
	11	25602	9999	1024	2077	978	1222	1058	40

4.1.5 Alternativas de Segmentos (Serie G)

Las series anteriores especificaron las características de las secciones, los estándares de conservación y un conjunto de condiciones de tránsito, pero sin establecer la relación entre ellos. En ésta, dichos aspectos se combinan para especificar una serie de alternativas que el programa deberá considerar. En este caso particular, cada grupo de segmentos (7 por corrida) con su respectivo nivel de tránsito, se combinan con los 4 estándares de conservación establecidos, para dar un total de 28 alternativas. Se utiliza un solo formato (G-1) para la especificación de estas alternativas.

4.1.6 Alternativas de Grupos (Serie H)

Esta serie permite declarar conjuntos de alternativas de grupos de proyectos para los que el modelo efectuará varios tipos de reportes y entre los cuales realizará análisis económicos comparativos. En este problema particular se tienen 4 de estos grupos, uno por cada estándar de conservación considerado. Cada uno de ellos incluye los 7 proyectos de cada corrida. Se emplea un solo formato (H) para especificar esta información.

4.1.7 Reportes Deseados (Serie I)

Esta serie permite solicitar al programa un conjunto de reportes relacionados con las propiedades físicas y los costos de las alternativas de segmentos o las alternativas de grupos. Para este problema se solicitaron los siguientes cinco tipos de reportes: uno que proporciona los costos de conservación acumulados durante un período deseado (1996-2010), descontados todos ellos según una tasa anual también especificada por el mismo (8% para el momento actual de México); otro que da los costos de mantenimiento en ciertos años específicos; otro sobre las condiciones del tránsito (intensidad y cargas de ejes por grupo vehicular) en ciertos años; otro referente a la condición de las secciones en ciertos años, en términos de aspectos tales como el porcentaje de área agrietada, rugosidad, etc.; y otro sobre los costos de los usuarios en ciertos años. Esta información se especifica a través de un solo formato (I).

4.1.8 Comparación de Alternativas (Serie J)

Mediante esta serie se solicitan al programa otros reportes relacionados con la secuencia de costos anuales (de conservación, operación vehicular y suma de ambos) para las alternativas de secciones o alternativas de

grupos; asimismo, se indican las comparaciones económicas deseadas entre alternativas. En este problema se solicitaron los siguientes reportes: uno sobre los costos anuales (sin descontar y descontados a tasas anuales de 8, 12 y 20%); otro que compara los costos totales de las alternativas asociadas con cada uno de los estándares de conservación establecidos, contra otra tomada como base (normalmente asociada con el estándar de mínima inversión entre los especificados, el cual por esta razón es comúnmente denominado como "base o nulo"); y otro que compara los indicadores de factibilidad económica (tasa interna de retorno, valor presente neto, etc.) de las alternativas para las diferentes tasas anuales de descuento. Esta información se proporciona en un solo formato (J).

4.1.9 Control de la Corrida (Serie K)

Esta serie se utiliza para los siguientes fines: proporcionar un título y fecha a la corrida, especificar el año inicial y final del período de análisis, controlar la detección de errores en los datos, controlar la impresión de la información de salida y controlar la preparación de datos para el módulo EDM; esta última finalidad permite indicar al HDM cuales de las operaciones de conservación definidas serían financiadas a través de un fondo específico para acciones de capital (conservación preventiva y correctiva) y cuales mediante un fondo para acciones recurrentes (mantenimiento rutinario). Toda la información anterior se ingresa a través de un solo formato (K).

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS

El Anexo E incluye algunos de los impresos de computadora obtenidos de las 6 corridas del HDM efectuadas para los 42 proyectos.

Básicamente lo que el modelo realiza en cada proyecto o sección es determinar, para cada uno de los 4 estándares de mantenimiento, el momento en que cualquiera de las operaciones de conservación de ellos sería aplicable. De esta manera, para cada estándar, determina los costos en cada uno de los 15 años del período de análisis, por los siguientes conceptos: acciones de conservación preventiva y correctiva, acciones de mantenimiento rutinario, operación vehicular y totales (o suma de los anteriores); asimismo, para cada uno de los rubros anteriores, determina la suma de costos descontados para el período de análisis, considerando tasas anuales de descuento de 0, 8, 12 y 20% (de éstas, la de 8% es la más aplicable al momento actual de México). Con base en los costos anteriores también obtiene, para cada proyecto, indicadores de factibilidad económica para los 4 estándares de conservación, en relación con alguno de ellos tomado como base (generalmente el de mínima inversión, o sea el primero de los reseñados en la "Sección 4.1.3").

4.2.1 Resultados Generales

La Tabla 4.5 resume algunos resultados generales relevantes obtenidos de las 6 corridas efectuadas. En la tabla se citan, para los 4 estándares de conservación aplicados a cada proyecto, la suma de costos descontados (a una tasa anual del 8%) para los 4 conceptos antes indicados. También se presentan los valores de calificación de servicio actual (CSA) y tránsito diario promedio anual (TDPA) de cada proyecto, con el fin de facilitar la identificación de relaciones. Los costos en la Tabla 4.5 están en dólares americanos. De nuevo se aclara que los costos en la columna de mantenimiento rutinario en la Tabla 4.5 sólo incluyen lo correspondiente a bacheo y no consideran el mantenimiento rutinario de las obras de drenaje, acotamientos, instalaciones de seguridad, señalamiento, control de vegetación, etc.

En la Tabla 4.5 es evidente una relativa tendencia a que los proyectos con mejor estado superficial actual (mayor calificación de servicio actual) sean también los de tránsito más elevado. Esto muy probablemente se deba a la aplicación de la política de dedicar los mayores presupuestos a los segmentos de mayor tránsito (los más importantes).

En la Tabla 4.5 se señala con "negrillas" el costo total del estándar de conservación que, para cada proyecto, resultó con menor valor de ese parámetro (en algunos casos, es más de un estándar). A partir de la Tabla 4.5 se observan las siguientes tendencias generales:

- En todos los casos (todos los estándares de todos los proyectos), el costo de operación vehicular prevalece muy por encima de los costos de conservación (preventiva y correctiva o de mantenimiento rutinario), constituyendo por tal razón la mayor parte del costo total.
- En la mayoría de los proyectos, la aplicación del estándar de conservación IV (el de mayor envergadura) resulta más conveniente (es decir, con menor costo total). Lo anterior, por ser el que en general mantiene la mejor condición superficial en las secciones durante el período de análisis, con lo cual produce los menores costos de operación vehicular (que como ya se indicó, son los que predominan en el costo total).

Tabla 4.5 Algunos Resultados de las Seis Corridas del HDM

TASA ANUAL DE
DESCUENTO DEL 8%

CORRINA	PROY.	SUMA DE COSTOS DESCONTADOS PARA EL ESTANDAR 1 (millones de dólares)				SUMA DE COSTOS DESCONTADOS PARA EL ESTANDAR 2 (millones de dólares)				SUMA DE COSTOS DESCONTADOS PARA EL ESTANDAR 3 (millones de dólares)				SUMA DE COSTOS DESCONTADOS PARA EL ESTANDAR 4 (millones de dólares)					
		CSA	TDPA	MPC	MR	CO	CT	MPC	MR	CO	CT	MPC	MR	CO	CT	MPC	MR	CO	CT
		10	2.18	650	0.000	0.106	4.698	4.804	0.000	0.006	4.698	4.804	1.298	0.112	4.640	6.050	0.404	0.014	4.845
9	2.20	650	0.000	0.032	5.262	5.294	0.000	0.032	5.262	5.294	1.384	0.042	5.136	6.562	0.128	0.030	5.193	5.351	
39	2.46	8445	0.530	0.038	129.670	130.238	0.552	0.038	129.669	130.259	2.278	0.030	128.673	130.981	0.562	0.030	125.342	125.934	
37	2.48	879	0.000	1.132	86.930	88.062	0.000	1.132	86.930	88.062	16.060	1.260	85.909	103.229	0.000	1.132	86.930	88.062	
38	2.51	4941	1.594	0.230	241.184	243.008	1.622	0.230	241.184	243.036	7.670	0.216	233.193	241.079	1.572	0.210	235.717	237.499	
41	2.55	2787	0.000	0.566	238.722	239.288	0.000	0.566	238.722	239.288	13.264	0.504	229.061	242.829	1.098	0.546	234.985	236.629	
42	2.58	2509	0.000	0.270	126.491	126.761	0.000	0.270	126.491	126.761	8.074	0.252	123.934	132.260	0.000	0.270	126.491	126.761	
34	2.58	13645	2.422	0.216	908.941	911.579	2.462	0.202	908.940	911.604	11.650	0.210	889.351	901.211	2.904	0.174	877.724	880.802	
33	2.62	22829	1.922	0.090	613.342	615.354	2.188	0.090	612.785	615.063	5.248	0.130	627.187	632.565	1.816	0.060	599.519	601.395	
14	2.67	2785	0.000	0.314	214.979	215.293	0.000	0.314	214.979	215.293	13.292	0.280	209.164	222.736	0.878	0.308	213.942	215.128	
40	2.71	6067	4.386	0.170	609.730	614.286	4.720	0.170	609.638	614.528	13.408	0.152	619.166	632.726	3.994	0.152	596.668	600.814	
31	2.73	14036	0.274	0.008	59.719	60.001	0.324	0.008	60.907	61.239	0.836	0.008	60.904	61.748	0.244	0.008	58.700	58.952	
32	2.74	4655	0.000	0.060	58.139	58.199	0.000	0.060	58.139	58.199	2.076	0.052	55.238	57.366	0.216	0.056	56.732	57.004	
35	2.76	6815	0.000	0.160	481.333	481.493	0.000	0.160	481.333	481.493	11.678	0.126	466.904	478.708	1.706	0.128	465.852	467.686	
26	2.77	3777	1.504	0.086	123.403	124.993	1.536	0.086	123.403	125.025	5.766	0.076	122.164	128.006	1.438	0.078	120.765	122.281	
29	2.78	17021	0.700	0.176	213.886	214.762	0.748	0.176	213.878	214.802	2.682	0.198	211.586	214.466	0.992	0.028	212.312	213.332	
15	2.82	1422	0.000	0.244	115.498	115.742	0.000	0.244	115.498	115.742	13.524	0.228	113.039	126.791	0.000	0.244	115.498	115.742	
3	2.82	18491	0.000	0.038	247.200	247.238	0.540	0.032	242.219	242.791	3.142	0.032	241.205	244.379	0.410	0.032	240.147	240.589	
2	2.84	10014	1.874	0.124	443.266	445.264	2.792	0.082	446.301	449.175	8.044	0.108	435.318	443.470	1.790	0.110	433.452	435.352	
17	2.85	1422	0.000	0.082	50.890	50.972	0.580	0.076	50.308	50.964	5.912	0.078	50.101	56.091	0.312	0.082	50.890	51.284	
5	2.86	3115	0.972	0.172	123.048	124.192	2.790	0.076	124.207	127.073	7.352	0.160	117.824	125.336	0.764	0.162	119.928	120.854	
1	2.87	2743	0.000	0.114	113.930	114.044	1.206	0.092	112.715	114.013	7.554	0.100	111.130	118.784	0.880	0.104	111.075	112.059	
12	2.88	13004	0.716	0.120	318.707	319.543	0.716	0.120	318.707	319.543	4.326	0.104	305.977	310.407	0.504	0.110	312.670	313.284	
19	2.90	1934	0.000	0.058	59.118	59.176	0.502	0.056	58.875	59.433	5.508	0.056	58.850	64.414	0.244	0.058	58.936	59.238	
22	2.92	4791	8.460	0.282	561.109	569.851	9.094	0.282	560.969	570.345	20.616	0.274	577.032	597.922	6.372	0.274	561.268	567.914	
36	2.92	9476	0.000	0.072	322.582	322.654	1.062	0.060	317.690	318.812	5.738	0.060	316.409	322.207	0.668	0.060	315.134	315.862	
23	2.95	650	0.000	0.022	7.729	7.751	0.374	0.020	7.580	7.974	2.018	0.020	7.547	9.585	0.234	0.020	7.518	7.772	
25	2.97	7176	0.672	0.034	124.154	124.860	0.692	0.034	124.153	124.879	2.884	0.030	122.938	125.852	0.648	0.030	121.362	122.040	
24	3.00	4791	0.960	0.052	127.308	128.320	0.854	0.048	127.828	128.730	4.614	0.048	126.227	130.889	0.916	0.048	124.901	125.865	
16	3.06	1422	0.000	0.062	49.347	49.409	0.582	0.060	49.063	49.705	5.766	0.060	49.014	54.840	0.214	0.060	49.309	49.583	
18	3.20	4960	0.000	0.102	238.164	238.266	1.608	0.090	235.128	236.826	8.680	0.090	234.300	243.070	0.720	0.094	235.588	236.402	
21	3.22	4791	2.048	0.096	240.753	242.897	1.628	0.090	243.206	244.924	8.794	0.090	239.649	248.533	1.748	0.090	237.834	239.672	
20	3.33	4581	2.676	0.196	474.186	477.058	2.990	0.166	467.740	470.896	16.148	0.166	461.525	477.839	2.106	0.168	459.222	461.496	
27	3.43	3777	1.194	0.034	69.262	70.490	1.476	0.034	69.394	70.904	3.258	0.034	70.677	73.969	1.008	0.034	68.397	69.439	
8	3.44	650	0.000	0.036	12.458	12.494	0.630	0.034	12.332	12.996	3.402	0.034	12.305	15.741	0.000	0.036	12.458	12.494	
30	3.48	11651	0.322	0.016	91.251	91.589	0.256	0.014	92.151	92.421	1.384	0.014	90.659	92.057	0.280	0.014	89.974	90.268	
28	3.68	8652	0.000	0.108	405.932	406.400	3.022	0.084	400.496	403.602	16.320	0.088	398.977	415.385	0.000	0.108	405.932	406.040	
13	3.72	8902	0.000	0.134	497.337	497.471	1.976	0.110	489.254	491.340	10.668	0.110	486.517	497.295	0.884	0.120	491.711	492.715	
4	3.74	3115	0.000	0.170	234.882	235.052	2.586	0.148	231.396	234.130	14.418	0.148	230.274	244.840	1.066	0.160	233.115	234.341	
7	3.83	6613	0.000	0.242	754.549	754.791	2.366	0.202	744.286	746.854	19.578	0.202	741.341	761.121	0.000	0.242	754.549	754.791	
6	3.91	9079	0.000	0.132	502.639	502.771	1.906	0.106	492.986	494.998	10.294	0.106	489.496	499.896	0.852	0.116	496.278	497.246	
11	4.6	25602	0.640	0.062	447.786	448.488	0.800	0.044	436.806	437.650	4.326	0.044	431.561	435.931	0.450	0.048	437.279	437.777	

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual; TDPA = Tránsito Diario Promedio Anual; MPC = Mantenimiento Preventivo y Correctivo; MR = Mantenimiento Rutinario (Bacheo); CO = Costos de Operación; CT= Costos Totales

- El estándar I (de mínima inversión) sólo resulta más conveniente en el caso de secciones con bajo tránsito, en relativamente buen estado.
- Es particularmente interesante que el estándar de conservación II, que considera una política de mantenimiento preventivo, resulta más conveniente que los otros, en el caso de secciones en buen estado con intensidades de tránsito de medianas a elevadas.

Se aclara que los resultados anteriores sólo son elementos de política general y de planeación preliminar a nivel de red y que de ninguna manera los estándares y acciones que resultan con menor costo total deben considerarse como definitivos para aplicarse en cada caso. Ellos son aplicables a este nivel sólo con fines de determinación de presupuestos requeridos. Como ya se indicó en capítulos anteriores, las acciones definitivas a emprender en cada segmento deben determinarse a partir de análisis a nivel de proyecto.

Cabe señalar que el HDM también proporciona información detallada sobre la forma específica de aplicación de los estándares de conservación considerados para cada proyecto (es decir, en qué momentos deben aplicarse las operaciones individuales de éstos). Esta información, por ser demasiado detallada, sólo se incluirá en la sección siguiente para los estándares que hayan resultado con menor costo total en cada sección.

4.2.2 Programa de Acciones y Presupuestos Requeridos

Según información proporcionada por el Centro SCT del Estado de Puebla, en los últimos dos años se han destinado presupuestos anuales del orden de 1,800 dólares por kilómetro al mantenimiento rutinario y 7,000 dólares por kilómetro a la conservación preventiva y correctiva (2,700 para conservación periódica y 4,300 para reconstrucción). Las cifras anteriores hacen montos anuales del orden de 2.0 y 7.9 millones de dólares, respectivamente, para la red considerada de 1,118 kilómetros.

La Tabla 4.6 resume información obtenida de las corridas realizadas del HDM, referente a las acciones de conservación preventiva y correctiva requeridas en cada proyecto en cada uno de los años del período de análisis, así como sus costos correspondientes. También incluye información sobre los montos por concepto de bacheo y la evolución de la Calificación de Servicio Actual (CSA) a través de los distintos años en cada proyecto. La última columna de la tabla acumula los presupuestos anuales (sin descontar) necesarios para bacheo y mantenimiento preventivo y correctivo para toda la red.

Cabe mencionar que para obtener los presupuestos anuales totales para mantenimiento rutinario, a los montos anuales de bacheo antes obtenidos (que casi siempre son bastante menores que el presupuesto actual de 2.0 millones de dólares) deberán añadirse las cantidades necesarias para los demás aspectos de este tipo de mantenimiento.

Destaca a partir de la última columna de la Tabla 4.6 que en varios de los años del período de análisis (8), el monto requerido para conservación preventiva y correctiva resulta mayor que el presupuesto actualmente asignado a este tipo de conservación.

Cabe mencionar que las acciones de conservación preventiva y correctiva comúnmente se dan a contrato, a diferencia de las acciones del mantenimiento rutinario que son usualmente realizadas por administración por la agencia gubernamental responsable (en este caso, el Centro SCT del Estado de Puebla).

A pesar de que también se realizaron los análisis con el módulo EDM, éstos no se describen en este estudio por haberse estimado de mayor utilidad el arribar a una solución que no considerase restricciones presupuestales.

La Tabla 4.7 muestra otro ángulo de la información sobre los montos requeridos para conservación preventiva y correctiva. En ella se indican los proyectos en que deberá realizarse este tipo de acciones para cada uno de los años del período de análisis así como sus montos no-descontados correspondientes. La información en la Tabla 4.7, que proviene de la contenida en la Tabla 4.6, permite estimar las longitudes anuales de actuación con conservación preventiva y correctiva en la red, así como los montos anuales respectivos (que, por otra parte, también se presentan en la Tabla 4.6); esta información se presenta en la última columna de la Tabla 4.7. La suma de los valores correspondientes en esta columna indica que, durante el período de análisis y para el estado actual de la red, habrán de realizarse acciones de conservación preventiva y correctiva en una longitud total de 5,390.4 km; es decir, en un promedio de 359.36 km por año. La longitud total anterior (5,390.4 km) es 4.8 veces mayor que la longitud de la red considerada (1,118 km), o sea que esta última deberá ser recorrida con este tipo de acciones ese mismo número de veces durante el período de análisis. Lo anterior es equivalente a decir que, en promedio, en cada kilómetro de la red se realizarán acciones de conservación preventiva y correctiva cada 3.1 años.

Los valores en la última columna de la Tabla 4.17 también permiten estimar que se requerirá invertir 120 millones de dólares (no descontados) en este tipo de acciones durante los 15 años del período de análisis, o sea 8 millones por año en promedio. Asimismo, cada kilómetro reparado requerirá de 22,250 dólares en promedio (120 millones de dólares/5,390.4 km).

Se reitera finalmente que los montos anuales valuados a partir del análisis a nivel de red deben servir de base en el proceso de gestión para la consecución de los mismos. Una vez logrados éstos, deberá procederse a la realización de los proyectos definitivos, considerando ahora la restricción de los montos conseguidos.

Tabla 4.6 Información Obtenida de las Corridas Realizadas con el HDM-III

CORRIDA	PROYECTO	Año 1995 CSA	Año 1996			CSA
			COSTOS DE MANTENIMIENTO			
			RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
			(m millones/dólares)	ACCDN	(m millones/dólares)	
1	10	2.18	0.092	-	0.000	3.94
	9	2.20	0.018	-	0.000	2.76
	39	2.46	0.010	-	0.000	2.47
	37	2.48	0.968	-	0.000	3.94
	38	2.51	0.130	-	0.000	3.30
	41	2.55	0.384	-	0.000	3.94
	42	2.58	0.170	-	0.000	3.94
2	34	2.58	0.062	-	0.000	2.61
	33	2.62	0.014	-	0.000	2.20
	14	2.67	0.160	-	0.000	3.36
	40	2.71	0.032	-	0.000	2.44
	31	2.73	0.002	-	0.000	2.44
	32	2.74	0.034	RE	0.272	3.88
	35	2.76	0.016	-	0.000	2.63
3	26	2.77	0.026	-	0.000	2.74
	29	2.78	0.004	S/C	0.690	2.94
	15	2.82	0.108	-	0.000	3.26
	3	2.82	0.004	-	0.000	2.74
	2	2.84	0.036	-	0.000	2.88
	17	2.85	0.008	RS	0.144	2.78
	5	2.86	0.094	-	0.000	3.65
4	1	2.87	0.032	-	0.000	2.91
	12	2.88	0.064	RE	0.568	3.94
	19	2.90	0.008	-	0.000	2.77
	22	2.92	0.088	-	0.000	2.66
	36	2.92	0.008	-	0.000	2.85
	23	2.95	0.002	-	0.000	2.77
	25	2.97	0.004	-	0.000	2.77
5	24	3.00	0.006	-	0.000	2.76
	16	3.06	0.008	-	0.000	2.97
	18	3.20	0.012	RS	0.210	3.08
	21	3.22	0.012	-	0.000	2.94
	20	3.33	0.022	-	0.000	3.10
	27	3.43	0.004	-	0.000	2.69
	8	3.44	0.004	-	0.000	3.32
6	30	3.48	0.002	-	0.000	3.19
	28	3.68	0.012	RS	0.396	3.55
	13	3.72	0.014	RS	0.258	3.55
	4	3.74	0.020	RS	0.350	3.55
	7	3.83	0.026	RS	0.476	3.70
	6	3.91	0.014	RS	0.250	3.72
	11	4.6	0.006	RE	0.568	3.76
Presupuestos Anuales Requeridos (m millones de dólares)		—	2.74	—	4.182	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual;
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetao

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 1997			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(BACHEO)	ACC/DN	(m illoes/dólares)	
		(m illoes/dólares)			
1	10	0.002	-	0.000	3.81
	9	0.002	-	0.000	2.64
	39	0.004	-	0.000	2.29
	37	0.024	-	0.000	3.81
	38	0.012	-	0.000	2.99
	41	0.020	-	0.000	3.73
	42	0.012	-	0.000	3.81
2	34	0.020	-	0.000	2.39
	33	0.008	S/C	1.350	2.81
	14	0.018	-	0.000	3.22
	40	0.018	-	0.000	2.15
	31	0.002	-	0.000	2.18
	32	0.002	RE	0.272	3.77
	35	0.016	-	0.000	2.49
3	26	0.008	-	0.000	2.48
	29	0.004	-	0.000	2.81
	15	0.018	-	0.000	3.16
	3	0.004	-	0.000	2.64
	2	0.010	-	0.000	2.67
	17	0.026	-	0.000	2.96
	5	0.010	-	0.000	3.49
4	1	0.010	-	0.000	2.81
	12	0.006	RE	0.568	3.76
	19	0.008	-	0.000	2.73
	22	0.028	-	0.000	2.20
	36	0.008	-	0.000	2.77
	23	0.002	-	0.000	2.69
	25	0.004	-	0.000	2.55
5	24	0.006	-	0.000	2.60
	16	0.008	-	0.000	2.93
	18	0.012	RS	0.210	3.01
	21	0.012	-	0.000	2.75
	20	0.022	-	0.000	2.95
	27	0.004	-	0.000	2.20
	8	0.004	-	0.000	3.26
6	30	0.012	-	0.000	2.98
	28	0.012	RS	0.396	3.49
	13	0.014	RS	0.258	3.47
	4	0.020	RS	0.350	3.47
	7	0.026	RS	0.476	3.64
	6	0.014	RS	0.250	3.61
	11	0.006	RE	0.568	3.62
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.478	—	4.698	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetao

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 1998			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCION	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.68
	9	0.002	-	0.000	2.53
	39	0.004	-	0.000	2.12
	37	0.024	-	0.000	3.69
	38	0.014	-	0.000	2.69
	41	0.022	-	0.000	3.51
	42	0.014	-	0.000	3.66
2	34	0.022	-	0.000	2.17
	33	0.008	-	0.000	2.65
	14	0.020	-	0.000	3.08
	40	0.018	S/C	3.450	2.91
	31	0.002	S/C	0.216	2.95
	32	0.002	RE	0.272	3.67
3	26	0.008	-	0.000	2.21
	29	0.004	-	0.000	2.69
	15	0.018	-	0.000	3.04
	3	0.004	-	0.000	2.53
	2	0.010	-	0.000	2.44
	17	0.008	-	0.000	2.92
	5	0.010	-	0.000	3.30
4	1	0.010	-	0.000	2.68
	12	0.006	RE	0.568	3.61
	19	0.008	-	0.000	2.69
	22	0.028	S/C	5.306	2.79
	36	0.008	-	0.000	2.67
	23	0.002	-	0.000	2.59
	25	0.004	-	0.000	2.34
5	24	0.006	-	0.000	2.44
	16	0.008	-	0.000	2.89
	18	0.012	RS	0.210	2.94
	21	0.012	-	0.000	2.55
	20	0.022	-	0.000	2.78
	27	0.004	S/C	0.838	2.81
	8	0.004	-	0.000	3.20
6	30	0.002	-	0.000	2.74
	28	0.012	RS	0.396	3.43
	13	0.014	RS	0.258	3.37
	4	0.020	RS	0.350	3.38
	7	0.026	RS	0.476	3.58
	6	0.014	RS	0.250	3.49
	11	0.006	RE	0.568	3.49
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.462	—	13.158	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello;
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación;
 S/C = Reencarpetado.

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 1999			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACC DN	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.57
	9	0.002	-	0.000	2.44
	39	0.004	S/C	0.586	2.95
	37	0.024	-	0.000	3.59
	38	0.016	-	0.000	2.41
	41	0.024	-	0.000	3.28
	42	0.014	-	0.000	3.54
2	34	0.016	S/C	2.998	2.95
	33	0.008	-	0.000	2.51
	14	0.02	-	0.000	2.94
	40	0.018	-	0.000	2.78
	31	0.002	-	0.000	2.83
	32	0.002	RE	0.272	3.57
	35	0.02	-	0.000	2.17
3	26	0.008	S/C	1.484	2.96
	29	0.004	-	0.000	2.56
	15	0.02	-	0.000	2.91
	3	0.004	-	0.000	2.41
	2	0.014	-	0.000	2.18
	17	0.008	-	0.000	2.88
	5	0.01	-	0.000	3.09
4	1	0.01	-	0.000	2.55
	12	0.006	RE	0.568	3.47
	19	0.008	-	0.000	2.65
	22	0.028	-	0.000	2.64
	36	0.008	-	0.000	2.56
	23	0.002	-	0.000	2.47
	25	0.004	-	0.000	2.12
5	24	0.006	-	0.000	2.26
	16	0.008	-	0.000	2.84
	18	0.012	RS	0.210	2.88
	21	0.012	-	0.000	2.34
	20	0.022	-	0.000	2.60
	27	0.004	-	0.000	2.66
	8	0.004	-	0.000	3.11
6	30	0.002	-	0.000	2.50
	28	0.012	RS	0.396	3.37
	13	0.014	RS	0.258	3.28
	4	0.02	RS	0.350	3.29
	7	0.026	RS	0.476	3.51
	6	0.014	RS	0.250	3.38
	11	0.006	RE	0.568	3.37
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.468	—	8.416	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual

RS = Riego de Sello

RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación

S/C = Reencarpelado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2000			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCION	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.47
	9	0.002	-	0.000	2.35
	39	0.004	-	0.000	2.86
	37	0.024	-	0.000	3.52
	38	0.016	-	0.000	2.15
	41	0.026	-	0.000	3.06
	42	0.014	-	0.000	3.42
2	34	0.016	-	0.000	2.86
	33	0.008	-	0.000	2.36
	14	0.022	-	0.000	2.80
	40	0.018	-	0.000	2.66
	31	0.002	-	0.000	2.71
	32	0.002	RE	0.272	3.49
	35	0.022	-	0.000	2.03
3	26	0.008	-	0.000	2.86
	29	0.004	-	0.000	2.43
	15	0.02	-	0.000	2.80
	3	0.004	-	0.000	2.26
	2	0.01	S/C	2.070	2.91
	17	0.008	-	0.000	2.84
	5	0.01	-	0.000	2.84
4	1	0.012	-	0.000	2.40
	12	0.006	RE	0.568	3.34
	19	0.008	-	0.000	2.60
	22	0.028	-	0.000	2.49
	36	0.008	-	0.000	2.44
	23	0.002	-	0.000	2.35
	25	0.004	S/C	0.742	2.94
5	24	0.006	-	0.000	2.07
	16	0.008	-	0.000	2.79
	18	0.012	RS	0.210	2.81
	21	0.012	-	0.000	2.12
	20	0.022	-	0.000	2.41
	27	0.004	-	0.000	2.51
	8	0.004	-	0.000	3.01
6	30	0.002	-	0.000	2.25
	28	0.012	RS	0.396	3.31
	13	0.014	RS	0.258	3.19
	4	0.02	RS	0.350	3.21
	7	0.026	RS	0.476	3.44
	6	0.014	RS	0.250	3.27
	11	0.006	RE	0.568	3.26
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.472	—	6.16	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual

RS = Riego de Sello;

RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación;

S/C = Reencarpelado.

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2001			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCION	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.38
	9	0.002	-	0.000	2.27
	39	0.004	-	0.000	2.77
	37	0.024	-	0.000	3.44
	38	0.010	S/C	1.974	2.89
	41	0.028	-	0.000	2.85
	42	0.016	-	0.000	3.31
2	34	0.016	-	0.000	2.77
	33	0.008	-	0.000	2.22
	14	0.024	-	0.000	2.68
	40	0.018	-	0.000	2.53
	31	0.002	-	0.000	2.58
	32	0.002	RE	0.272	3.41
3	35	0.022	-	0.000	1.91
	26	0.008	-	0.000	2.77
	29	0.004	-	0.000	2.29
	15	0.020	-	0.000	2.69
	3	0.004	-	0.000	2.11
	2	0.010	-	0.000	2.82
	17	0.008	RS	0.096	2.79
4	5	0.012	-	0.000	2.58
	1	0.012	-	0.000	2.25
	12	0.006	RE	0.568	3.22
	19	0.008	-	0.000	2.55
	22	0.028	-	0.000	2.34
	36	0.008	-	0.000	2.30
	23	0.002	-	0.000	2.20
5	25	0.004	-	0.000	2.84
	24	0.006	S/C	1.188	2.90
	16	0.008	-	0.000	2.73
	18	0.012	RS	0.210	2.75
	21	0.012	S/C	2.264	2.91
	20	0.026	-	0.000	2.20
6	27	0.004	-	0.000	2.36
	8	0.004	-	0.000	2.91
	30	0.002	S/C	0.356	2.99
	28	0.012	RS	0.396	3.25
	13	0.014	RS	0.258	3.10
	4	0.020	RS	0.350	3.13
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)	7	0.026	RS	0.476	3.38
	6	0.014	RS	0.250	3.16
	11	0.006	RE	0.568	3.16
		0.478	—	9.226	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2002			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCION	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.31
	9	0.002	-	0.000	2.19
	39	0.004	-	0.000	2.68
	37	0.026	-	0.000	3.38
	38	0.010	-	0.000	2.79
	41	0.030	-	0.000	2.65
	42	0.016	-	0.000	3.21
2	34	0.016	-	0.000	2.68
	33	0.008	-	0.000	2.07
	14	0.024	-	0.000	2.56
	40	0.018	-	0.000	2.41
	31	0.002	-	0.000	2.46
	32	0.002	RE	0.272	3.33
3	35	0.024	-	0.000	1.80
	26	0.008	-	0.000	2.68
	29	0.004	-	0.000	2.15
	15	0.022	-	0.000	2.60
	3	0.004	S/C	0.968	2.99
	2	0.010	-	0.000	2.73
	17	0.008	-	0.000	2.75
4	5	0.012	-	0.000	2.30
	1	0.012	-	0.000	2.10
	12	0.006	RE	0.568	3.11
	19	0.008	-	0.000	2.50
	22	0.028	-	0.000	2.19
	36	0.010	-	0.000	2.15
	23	0.002	-	0.000	2.05
5	25	0.004	-	0.000	2.74
	24	0.006	-	0.000	2.82
	16	0.008	-	0.000	2.65
	18	0.012	RS	0.210	2.68
	21	0.012	-	0.000	2.82
	20	0.022	S/C	4.156	2.98
	27	0.004	-	0.000	2.21
6	8	0.004	-	0.000	2.79
	30	0.002	-	0.000	2.88
	28	0.012	RS	0.396	3.19
	13	0.014	RS	0.258	3.00
	4	0.020	RS	0.350	3.05
	7	0.026	RS	0.476	3.31
	6	0.014	RS	0.250	3.05
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.484	—	8.472	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpelado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2003			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTINAR (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m ilbnes/dólares)	ACCION	(m ilbnes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.24
	9	0.002	-	0.000	2.13
	39	0.004	-	0.000	2.58
	37	0.026	-	0.000	3.34
	38	0.010	-	0.000	2.68
	41	0.030	-	0.000	2.46
	42	0.016	-	0.000	3.12
2	34	0.016	-	0.000	2.58
	33	0.008	S/C	1.350	2.94
	14	0.026	-	0.000	2.46
	40	0.018	-	0.000	2.27
	31	0.002	-	0.000	2.32
	32	0.002	RE	0.272	3.25
	35	0.024	-	0.000	1.71
3	26	0.008	-	0.000	2.59
	29	0.004	S/C	0.460	3.01
	15	0.022	-	0.000	2.51
	3	0.004	-	0.000	2.93
	2	0.010	-	0.000	2.64
	17	0.008	RS	0.048	2.71
	5	0.010	-	0.040	2.04
4	1	0.010	S/C	1.944	2.97
	12	0.006	RE	0.568	3.00
	19	0.008	-	0.000	2.44
	22	0.028	-	0.000	2.04
	36	0.008	S/C	1.476	3.00
	23	0.002	S/C	0.520	2.93
	25	0.004	-	0.000	2.64
5	24	0.006	-	0.000	2.74
	16	0.008	-	0.000	2.57
	18	0.012	RS	0.210	2.62
	21	0.012	-	0.000	2.73
	20	0.022	-	0.000	2.90
	27	0.004	-	0.000	2.05
	8	0.004	-	0.000	2.67
6	30	0.002	-	0.000	2.77
	28	0.012	RS	0.396	3.13
	13	0.014	RS	0.258	2.91
	4	0.020	RS	0.350	2.97
	7	0.026	RS	0.476	3.25
	6	0.014	RS	0.250	2.94
	11	0.006	RE	0.568	2.96
Presupuestos Anuales Requeridos (m ilbnes de dólares)		0.480	—	9.186	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpelado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2004			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m ilboes/dólares)	ACCION	(m ilboes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.17
	9	0.002	-	0.000	2.06
	39	0.004	-	0.000	2.48
	37	0.026	-	0.000	3.28
	38	0.010	-	0.000	2.57
	41	0.032	-	0.000	2.29
	42	0.016	-	0.000	3.04
2	34	0.016	-	0.000	2.48
	33	0.008	-	0.000	2.84
	14	0.026	-	0.000	2.36
	40	0.018	-	0.000	2.13
	31	0.002	-	0.000	2.18
	32	0.002	RE	0.272	3.18
3	35	0.024	-	0.000	1.63
	26	0.008	-	0.000	2.49
	29	0.004	-	0.000	2.92
	15	0.022	-	0.000	2.44
	3	0.004	-	0.000	2.87
	2	0.010	-	0.000	2.55
	17	0.008	RS	0.096	2.66
4	5	0.010	S/C	1.892	2.83
	1	0.010	-	0.000	2.91
	12	0.006	RE	0.568	2.91
	19	0.008	-	0.000	2.36
	22	0.028	S/C	5.306	2.91
	36	0.008	-	0.000	2.94
	23	0.002	-	0.000	2.87
5	25	0.004	-	0.000	2.53
	24	0.006	-	0.000	2.65
	16	0.008	-	0.000	2.47
	18	0.012	RS	0.210	2.55
	21	0.012	-	0.000	2.63
	20	0.022	-	0.000	2.81
6	27	0.004	S/C	0.838	2.92
	8	0.004	-	0.000	2.57
	30	0.002	-	0.000	2.66
	28	0.012	RS	0.396	3.06
	13	0.014	RS	0.258	2.82
	4	0.020	RS	0.350	2.89
	7	0.026	RS	0.476	3.18
Presupuestos Anuales Requeridos (m ilboes de dólares)	6	0.014	RS	0.250	2.84
	11	0.006	RE	0.568	2.86
		0.482	—	11.480	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetao

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2005			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m millones/dólares)	ACC DN	(m millones/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.09
	9	0.002	S/C	0.356	3.00
	39	0.004	-	0.000	2.36
	37	0.026	-	0.000	3.23
	38	0.010	-	0.000	2.46
	41	0.032	-	0.000	2.12
	42	0.016	-	0.000	2.96
2	34	0.016	-	0.000	2.37
	33	0.008	-	0.000	2.73
	14	0.026	-	0.000	2.27
	40	0.018	S/C	3.450	3.00
	31	0.002	-	0.000	2.03
	32	0.002	RE	0.272	3.11
3	26	0.008	-	0.000	2.38
	29	0.004	-	0.000	2.83
	15	0.022	-	0.000	2.38
	3	0.004	-	0.000	2.82
	2	0.010	-	0.000	2.46
	17	0.008	RS	0.144	2.61
	5	0.010	-	0.000	2.74
4	1	0.010	-	0.000	2.84
	12	0.006	RE	0.568	2.81
	19	0.008	-	0.000	2.28
	22	0.028	-	0.000	2.83
	36	0.008	-	0.000	2.82
	23	0.002	-	0.000	2.81
	25	0.004	-	0.000	2.42
5	24	0.006	-	0.000	2.56
	16	0.008	-	0.000	2.37
	18	0.012	RS	0.210	2.49
	21	0.012	-	0.000	2.53
	20	0.022	-	0.000	2.72
	27	0.004	-	0.000	2.84
	8	0.004	-	0.000	2.47
6	30	0.002	-	0.000	2.54
	28	0.012	RS	0.396	2.99
	13	0.014	RS	0.258	2.73
	4	0.020	RS	0.350	2.81
	7	0.026	RS	0.476	3.11
	6	0.014	RS	0.250	2.73
	11	0.006	RE	0.568	2.77
Presupuestos Anuales Requeridos (m millones de dólares)		0.484	—	7.298	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2006			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m ilboes/dólares)	ACCDN	(m ilboes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	3.01
	9	0.002	-	0.000	2.95
	39	0.004	-	0.000	2.24
	37	0.026	-	0.000	3.18
	38	0.010	-	0.000	2.34
	41	0.018	S/C	3.414	2.92
	42	0.018	-	0.000	2.87
2	34	0.016	-	0.000	2.24
	33	0.008	-	0.000	2.62
	14	0.028	-	0.000	2.18
	40	0.018	-	0.000	2.91
	31	0.002	S/C	0.144	2.90
	32	0.002	RE	0.272	3.05
	35	0.026	-	0.000	1.48
3	26	0.008	-	0.000	2.26
	29	0.004	-	0.000	2.73
	15	0.022	-	0.000	2.32
	3	0.004	-	0.000	2.76
	2	0.010	-	0.000	2.35
	17	0.008	RS	0.144	2.57
	5	0.010	-	0.000	2.66
4	1	0.010	-	0.000	2.78
	12	0.006	RE	0.568	2.73
	19	0.008	-	0.000	2.19
	22	0.028	-	0.000	2.74
	36	0.008	-	0.000	2.82
	23	0.002	-	0.000	2.75
	25	0.004	-	0.000	2.30
5	24	0.006	-	0.000	2.45
	16	0.008	-	0.000	2.27
	18	0.012	RS	0.210	2.42
	21	0.012	-	0.000	2.43
	20	0.022	-	0.000	2.62
	27	0.004	-	0.000	2.74
	8	0.006	-	0.000	2.39
6	30	0.002	-	0.000	2.42
	28	0.012	RS	0.396	2.93
	13	0.014	RS	0.258	2.64
	4	0.020	RS	0.350	2.73
	7	0.026	RS	0.476	3.04
	6	0.014	RS	0.250	2.63
	11	0.006	RE	0.568	2.69
Presupuestos Anuales Requeridos (m ilboes de dólares)		0.476	—	7.050	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renovación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetao

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2007			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTINARIO (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m millones/dólares)	ACCION	(m millones/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	2.94
	9	0.002	-	0.000	2.91
	39	0.004	-	0.000	2.11
	37	0.026	-	0.000	3.12
	38	0.010	-	0.000	2.21
	41	0.018	-	0.000	2.85
	42	0.018	-	0.000	2.78
2	34	0.016	-	0.000	2.11
	33	0.008	-	0.000	2.51
	14	0.028	-	0.000	2.09
	40	0.018	-	0.000	2.82
	31	0.002	-	0.000	2.81
	32	0.002	RE	0.272	2.98
	35	0.026	-	0.000	1.41
3	26	0.008	-	0.000	2.12
	29	0.004	-	0.000	2.63
	15	0.022	-	0.000	2.27
	3	0.004	-	0.000	2.69
	2	0.010	-	0.000	2.22
	17	0.008	RS	0.144	2.53
	5	0.010	-	0.000	2.58
4	1	0.010	-	0.000	2.71
	12	0.006	RE	0.568	2.64
	19	0.008	-	0.000	2.10
	22	0.028	-	0.000	2.64
	36	0.008	-	0.000	2.75
	23	0.002	-	0.000	2.69
	25	0.004	-	0.000	2.17
5	24	0.006	-	0.000	2.36
	16	0.008	-	0.000	2.18
	18	0.012	RS	0.210	2.36
	21	0.012	-	0.000	2.32
	20	0.022	-	0.000	2.52
	27	0.004	-	0.000	2.65
	8	0.006	-	0.000	2.32
6	30	0.002	-	0.000	2.29
	28	0.012	RS	0.396	2.87
	13	0.014	RS	0.258	2.55
	4	0.020	RS	0.350	2.65
	7	0.026	RS	0.476	2.97
	6	0.014	RS	0.250	2.52
	11	0.006	RE	0.568	2.61
Presupuestos Anuales Requeridos (m millones de dólares)		0.476	—	3.492	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2008			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTINAR (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCDN	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	2.86
	9	0.002	-	0.000	2.86
	39	0.004	S/C	0.390	2.97
	37	0.026	-	0.000	3.07
	38	0.010	-	0.000	2.07
	41	0.018	-	0.000	2.77
	42	0.018	-	0.000	2.70
2	34	0.016	S/C	2.998	2.98
	33	0.008	-	0.000	2.40
	14	0.018	S/C	3.420	2.98
	40	0.018	-	0.000	2.73
	31	0.002	-	0.000	2.71
	32	0.002	RE	0.272	2.92
	35	0.026	-	0.000	1.34
3	26	0.008	S/C	1.484	2.98
	29	0.004	-	0.000	2.52
	15	0.022	-	0.000	2.21
	3	0.004	-	0.000	2.62
	2	0.010	-	0.000	2.08
	17	0.008	RS	0.096	2.48
	5	0.010	-	0.000	2.49
4	1	0.010	-	0.000	2.64
	12	0.006	RE	0.568	2.56
	19	0.008	-	0.000	2.01
	22	0.028	-	0.000	2.54
	36	0.008	-	0.000	2.68
	23	0.002	-	0.000	2.62
	25	0.004	-	0.000	2.03
5	24	0.006	-	0.000	2.24
	16	0.008	-	0.000	2.10
	18	0.012	RS	0.210	2.29
	21	0.012	-	0.000	2.19
	20	0.022	-	0.000	2.41
	27	0.004	-	0.000	2.55
	8	0.006	-	0.000	2.25
6	30	0.002	-	0.000	2.14
	28	0.012	RS	0.396	2.80
	13	0.014	RS	0.258	2.46
	4	0.020	RS	0.350	2.57
	7	0.026	RS	0.476	2.90
	6	0.014	RS	0.250	2.42
	11	0.006	RE	0.568	2.53
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.466	—	11.736	

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpelado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2009			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARD (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCDN	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	2.77
	9	0.002	-	0.000	2.81
	39	0.004	-	0.000	2.89
	37	0.026	-	0.000	3.01
	38	0.010	S/C	1.974	2.95
	41	0.018	-	0.000	2.68
	42	0.018	-	0.000	2.60
2	34	0.016	-	0.000	2.91
	33	0.008	-	0.000	2.27
	14	0.018	-	0.000	2.92
	40	0.018	-	0.000	2.63
	31	0.002	-	0.000	2.61
	32	0.002	RE	0.272	2.86
	35	0.026	-	0.000	1.27
3	26	0.008	-	0.000	2.91
	29	0.004	-	0.000	2.41
	15	0.022	-	0.000	2.15
	3	0.004	-	0.000	2.53
	2	0.010	S/C	2.070	2.95
	17	0.008	RS	0.144	2.43
	5	0.010	-	0.000	2.40
4	1	0.010	-	0.000	2.55
	12	0.006	RE	0.568	2.49
	19	0.008	S/C	0.472	2.95
	22	0.028	-	0.000	2.43
	36	0.008	-	0.000	2.60
	23	0.002	-	0.000	2.55
	25	0.004	S/C	0.494	2.90
5	24	0.006	-	0.000	2.11
	16	0.010	-	0.000	2.03
	18	0.012	RS	0.210	2.23
	21	0.012	-	0.000	2.05
	20	0.022	-	0.000	2.29
	27	0.004	-	0.000	2.45
	8	0.006	-	0.000	2.19
6	30	0.002	-	0.000	3.01
	28	0.012	RS	0.396	2.74
	13	0.014	RS	0.258	2.37
	4	0.020	RS	0.350	2.49
	7	0.026	RS	0.476	2.83
	6	0.014	RS	0.250	2.32
	11	0.006	RE	0.568	2.45
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.468	—	8.502	

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpelado

(Continuación Tabla 4.6)

CORRIDA	PROYECTO	Año 2010			CSA
		COSTOS DE MANTENIMIENTO			
		RUTNARIO (BACHEO)	PREVENTIVO Y CORRECTIVO		
		(m illoes/dólares)	ACCDN	(m illoes/dólares)	
1	10	0.002	-	0.000	2.69
	9	0.002	-	0.000	2.75
	39	0.004	-	0.000	2.81
	37	0.026	-	0.000	2.95
	38	0.010	-	0.000	2.87
	41	0.018	-	0.000	2.60
	42	0.018	-	0.000	2.51
2	34	0.016	-	0.000	2.83
	33	0.008	-	0.000	2.14
	14	0.018	-	0.000	2.86
	40	0.018	-	0.000	2.53
	31	0.002	-	0.000	2.51
	32	0.002	RE	0.272	2.80
	35	0.026	-	0.000	1.20
3	26	0.008	-	0.000	2.84
	29	0.004	-	0.000	2.28
	15	0.022	-	0.000	2.10
	3	0.004	-	0.000	2.42
	2	0.010	-	0.000	2.88
	17	0.008	RS	0.144	2.39
	5	0.010	-	0.000	2.30
4	1	0.010	-	0.000	2.46
	12	0.006	RE	0.568	2.41
	19	0.008	-	0.000	2.91
	22	0.028	-	0.000	2.32
	36	0.008	-	0.000	2.51
	23	0.002	-	0.000	2.46
	25	0.004	-	0.000	2.82
5	24	0.006	S/C	1.188	2.99
	16	0.010	-	0.000	1.96
	18	0.012	RS	0.210	2.16
	21	0.012	S/C	2.264	2.93
	20	0.022	-	0.000	2.16
	27	0.004	-	0.000	2.33
	8	0.006	-	0.000	2.13
6	30	0.002	-	0.000	2.92
	28	0.012	RS	0.396	2.67
	13	0.014	RS	0.258	2.28
	4	0.020	RS	0.350	2.42
	7	0.026	RS	0.476	2.76
	6	0.014	RS	0.250	2.22
	11	0.006	RE	0.568	2.38
Presupuestos Anuales Requeridos (m illoes de dólares)		0.468	—	6.944	—

NOTA: CSA = Calificación del Servicio Actual
 RS = Riego de Sello
 RE = Renivelación y Riego de Sello o Recuperación
 S/C = Reencarpetado

Tabla 4.7 Recursos Anuales Requeridos para Conservación Preventiva y Correctiva (No-Descontados)

AÑO																TOTALES				
																COSTO (mill)	LONG. (km)			
1	1996	(1)	32	29	17	12	18	28	13	4	7	6	11							
		(2)	0.272	0.690	0.144	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568						4.182	
		(3)	7.2	9.3	20.5	15.0	30.5	28.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0							341.9
2	1997	P	33	32	12	18	28	13	4	7	6	11								
		C	1.4	0.3	0.6	0.2	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.6							4.698	
		L	18.17	7.200	18	30.500	29.3	37.000	75.5	67.9	35.7	15.00								334.3
3	1998	P	40	31	32	12	22	18	27	28	13	4	7	6	11					
		C	3.450	0.216	0.272	0.568	5.306	0.210	0.838	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568				13.158	
		L	46.6	2.9	7.2	15.0	102.0	30.5	11.3	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0					425.2
4	1999	P	39	34	32	26	12	18	28	13	4	7	6	11						
		C	0.586	2.998	0.272	1.484	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568					8.416	
		L	7.8	40.4	7.2	20.0	15.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0						366.3
5	2000	P	32	2	12	25	18	28	13	4	7	6	11							
		C	0.272	2.070	0.568	0.742	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568						6.160	
		L	7.2	27.9	15.0	10.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0							351.0
6	2001	P	38	32	17	12	24	18	21	30	28	13	4	7	6	11				
		C	1.974	0.272	0.096	0.568	1.188	0.210	2.264	0.356	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568			9.226	
		L	26.6	7.2	20.5	15.0	16.0	30.5	102.0	4.8	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0				364.4
7	2002	P	32	3	12	18	20	28	13	4	7	6	11							
		C	0.272	0.968	0.568	0.210	4.156	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568						8.472	
		L	7.2	10.9	15.0	30.5	56.0	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0							380.0
8	2003	P	33	32	29	17	1	12	36	23	18	28	13	4	7	6	11			
		C	1.350	0.272	0.460	0.048	1.944	0.568	1.476	0.520	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568		9.146	
		L	18.2	7.2	9.3	20.5	26.2	15.0	19.9	7.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0			220.0
9	2004	P	32	17	5	12	22	18	27	28	13	4	7	6	11					
		C	0.272	0.096	1.892	0.568	5.306	0.210	0.838	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568				11.480	
		L	7.2	20.5	75.5	15.0	102.0	30.5	11.3	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0					471.7
10	2005	P	9	40	32	17	12	18	28	13	4	7	6	11						
		C	0.356	3.450	0.272	0.144	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568					7.298	
		L	4.8	46.6	7.2	20.5	15.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0						370.0
11	2006	P	41	31	32	17	12	18	28	13	4	7	6	11						
		C	3.414	0.144	0.272	0.144	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568					7.050	
		L	46.0	2.9	7.2	20.5	15.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0						367.5
12	2007	P	32	17	12	18	28	13	4	7	6	11								
		C	0.272	0.144	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568							3.492	
		L	7.2	20.5	15.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0								333.6
13	2008	P	39	34	14	32	26	17	12	18	28	13	4	7	6	11				
		C	0.390	2.998	3.420	0.272	1.484	0.096	0.568	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568			11.736	
		L	7.8	40.4	46.1	7.2	20.0	20.5	15.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0				329.3
14	2009	P	38	32	2	17	12	19	25	18	28	13	4	7	6	11				
		C	1.974	0.272	2.070	0.144	0.568	0.472	0.494	0.210	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568			8.502	
		L	26.6	7.2	27.9	20.5	15.0	19.1	10.0	30.5	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0				298.6
15	2010	P	32	17	12	24	18	21	28	13	4	7	6	11						
		C	0.272	0.144	0.568	1.188	0.210	2.264	0.396	0.258	0.350	0.476	0.250	0.568					6.944	
		L	7.2	20.5	15.0	16.0	30.5	102.0	29.3	37.0	75.5	67.9	35.7	15.0						436.6

TOTAL GLOBAL	COSTO/AÑO.	LONG/AÑO.	COSTO POR KILOMETRO
(mill.-)	(km)	(mill.-)	(miles de-dólares)
119.96	5390	7.997	22.25

NOTA: (1) P = NUMERO DE PROYECTO; (2) C = COSTO; (3) L = LONGITUD

Capítulo 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se señalan las siguientes conclusiones y recomendaciones surgidas de los diferentes capítulos de este trabajo:

- La red carretera analizada en el Estado de Puebla, tiene una extensión de 1,118 kilómetros. El 61.2% de los segmentos de 5 kilómetros en que se dividió se encuentra en una condición regular, el 38.4% en estado bueno y solamente el 0.4% en condiciones muy buenas. Lo anterior, en relación con el confort y comodidad ofrecidos a los usuarios. Los datos anteriores señalan que la red estudiada se encuentra, en general, en condiciones aceptables. De alguna manera puede decirse que la red federal de Puebla es una muestra representativa del estado de la red federal nacional.
- En este análisis se incluye una evaluación a nivel de planeación, determinándose los presupuestos anuales de conservación requeridos y los tramos en que deberá actuarse cada año.
- Se observa que la red atraviesa por problemas de sobrecarga en los vehículos de carga, teniéndose unidades en esta condición con pesos que van desde 20 ton para el C2 hasta 80 ton para el T3-S2-R4, así como una participación de éstos en las vías en estudio que oscila entre el 3% para el C2 y el 48% para el T3-S3. Es previsible que las condiciones anteriores estén acelerando el deterioro de los caminos analizados.
- Se determinó un conjunto de proyectos homogéneos, con base en el nivel de servicio actual y el tránsito de todos los segmentos de la red.
- En el inventario de deterioros se registraron la extensión y severidad o gravedad de las fallas en cada segmento de los distintos tramos, determinándose además un índice de la condición del pavimento. Este último parámetro, para todos los segmentos, se relacionó con sus correspondientes valores de índice de servicio actual, encontrándose que existe una relación directa entre ambos, aunque no existe una buena correlación entre ellos. Se determinó que el 81.2% de la red tiene condición superficial de buena a excelente, el 16.3 % se encuentra en estado regular y el 2.5% en estado pobre. Los datos anteriores confirman que, en términos generales, la red analizada se encuentra en condiciones aceptables.

- Se observó que los proyectos en mejor condición actual son los de mayor tránsito. Esto quizá se deba a que en el pasado se hayan dedicado los mayores presupuestos a estos segmentos.
- Se observó que el costo de operación vehicular es generalmente mayor que los de mantenimiento preventivo y rutinario.
- En la mayoría de los proyectos, la aplicación del estándar de conservación cuatro (mantenimiento rutinario y una sobrecarpeta de 5 centímetros) resultó la alternativa más conveniente; lo anterior, por ser el que en general mantiene la mejor condición superficial en las secciones durante el período de análisis, con lo cual produce los menores costos de operación vehicular que son los que predominan en el costo total. La alternativa uno (mantenimiento rutinario) es la más conveniente en el caso de secciones con tránsito bajo, en buen estado. Es muy interesante que la alternativa correspondiente a mantenimiento preventivo resultó ser la más conveniente para buenos niveles de servicio y para tránsitos de medianos a elevados. Esto señala la conveniencia económica de actuar oportunamente en caminos en estas condiciones.
- Los análisis realizados muestran evidencias de que los recursos asignados actualmente a mantenimiento rutinario parecen ser holgados, en tanto que aquéllos destinados a mantenimiento preventivo y correctivo son insuficientes en algunos años. Por lo tanto, cualquiera de los siguientes cursos de acción parecen hipotéticamente razonables cuando estos recursos sean insuficientes: (I) reasignar a conservación preventiva y correctiva parte de los recursos actualmente asignados a mantenimiento rutinario, (II) incrementar los recursos destinados a la primera, y (III) redistribuir los recursos asignados a este tipo de conservación entre los años (guardando lo sobrante en los años con “superávit” para invertirlo en los años con “déficit”).
- Los análisis mostrados corresponden a un nivel de red. Como ya se indicó, los montos anuales obtenidos para los diferentes segmentos deben servir de base en el proceso de gestión de recursos. Una vez conseguidos éstos, deberá procederse a la realización de los proyectos definitivos, considerando ahora la restricción de los montos realmente obtenidos.

REFERENCIAS

1. RICO RODRIGUEZ, Alfonso y MENDOZA DIAZ, Alberto. "Una Estrategia para la Conservación de la Red de Carreteras". Querétaro, México, Documento Técnico No. 11; Instituto Mexicano del Transporte, 1995.
2. RICO RODRIGUEZ. Alfonso; MENDOZA DIAZ, Alberto y MAYORAL GRAJEDA, Emilio. "Financial Mechanisms for Road Maintenance in Developing". p. 81 Transportation Research Record, No.1509 [Nations]; Washington D.C. (E.U.A.); National Academy Press, 1995.
3. THAWAAT, Watanatada, et al. "HDM-PC The Highways Design and Maintenance Standards Model, User's Manual for HDM-III Model". Washington, D. C. (E.U.A.); World Bank, 1987.
4. "HDM-4 Highway Development and Management, Versión 1". World Road Association, 2000.
5. RICO RODRIGUEZ, Alfonso, et al. "Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP),. Primera Fase". Querétaro, México, Documento Técnico Núm. 3; Instituto Mexicano del Transporte, 1993.
6. BACKOFF P., Miguel A. y GARCIA O., Gabriela; "Módulo Geográfico del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP)". pp 39-49, Revista Investigación No. 5: Querétaro, México; Universidad Autónoma de Querétaro, 1993.
7. SOLORIO M., Ricardo y AGUERREBERE S., Roberto. "Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de los Pavimentos (SIMAP)". Querétaro, México, Documento Técnico Núm. 9; Instituto Mexicano del Transporte; 1993.
8. AGUERREBERE S., Roberto y DURAN H. Gandhi. "Módulo Económico del Sistema Mexicano para la Administración de la Sección Estructural de las Carreteras, Bases Conceptuales". Querétaro, México; Informe Interno. Instituto Mexicano del Transporte, 1994.
9. RICO RODRIGUEZ, Alfonso y TELLEZ GUTIERREZ, Rodolfo. "Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP). Manual del Usuario". Querétaro, México, Documento Técnico Núm. 5; Instituto Mexicano del Transporte, 1990.
10. RICO RODRIGUEZ, Alfonso y TELLEZ GUTIERREZ, Rodolfo. "Sistema Mexicano para la Administración de Pavimentos (SIMAP), Manual Operativo".

- de Campo*". Querétaro, México, Documento Técnico Núm. 4; Instituto Mexicano del Transporte, 1990.
11. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. "Rehabilitation Guidelines for Low-Volume Roads Executive Summary". E.U.A., U.S Report No. FHWA/ts-87-225; FWHA, 1987.
 12. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, "Seminario Binacional sobre Administración de la Conservación"; Querétaro, México; IMT, 1995.
 13. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. "Guidelines for Pavement Management Systems". Washington, D.C. (E.U.A.); AASHTO, 1990.
 14. PATERSON D. E. "Pavement Management Practices". Paris, Francia; Organization for Economic Co-operation and Development, 1987.
 15. FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, "An Advanced Course in Pavement Management Systems"; Washington, D.C. (E.U.A.); FHWA, 1991.
 16. ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. "Pavement Management Systems". Paris, Francia; OECD, 1987.
 17. ASCE, "Local low Volume Roads and Streets". Washington, D.C. (E.U.A.); Federal Highway Administration, 1992.
 18. HAAS, Ralph; HUDSON, Ronald. and ZANIEWSKI, John. "Modern Pavement Management". Malabar, Florida (E.U.A); Robert E. Krieger Publishing Co., 1994.
 19. WELLS W., M.; Shain, R. E. Smith, and M. I. Darter. "Implementing Pavement Management Systems, Do's and Dont's at the City/Country Level". Toronto, Canada, Proceedings. North American Pavement Management Conference, Ontario Ministry of Transportation and Communication, 1992.
 20. SMITH, R. E. and K. M. Fallaha, "Developing an Interface Between Network and Project Level PMS for Local Agencies". Washington, D.C. (E.U.A.); Transportation Research Board Meeting, January, 1992.
 21. HICKS, R. G. and J. P. Mahoney, "Collection and Use of Pavement Condition Data". Washington, D.C. (E.U.A.), NCHRP Synthesis 76; Transportation Research Board, 1981.

22. EPPS, J. A. and C. L. Monismith, "Equipmnet for Obtaining Pavement Condition and Traficc Loading Data". Washington, D.C. (E.U.A.), NCHRP Synthesis 126; Transportation Research Board, 1986.
23. LYTTON, R. L. "From Ranking to true Optimization". Toronto, Canada, Proceeding, North American Pavement Management Conferences; Ontario Ministry of Communication, 1985.
24. LIEBMAN, J. S. "Optimization Tools for Pavement Management". Toronto, Canada, Proceeding North American Pavement Management Conferences. Ontario Ministry of Communication, 1985.
25. AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. "Guide for Design of Pavement Structures". Washiington, D.C. (E.U.A.); AASHTO, 1985.
26. NATIONAL STONE ASSOCIATION. "Flexible Pavement Design Guide for Roads and Street". Washington, D.C. (E.U.A.) Fourth Edition; National Stone Association, 1985.
27. THE ASPHALT INSTITUTE. "Thickness Design-Asphalt Pavements for Highways and Streets". Lexington, K. Y. (E.U.A.), Manual Series No.1; The Asphalt Institute, 1991.
28. PACKARD, R. G. "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements". Skokie, Illinois (E.U.A.), EB109.01P; Portland Cement Association, 1984.
29. American Concrete Pavement Association. "Municipal Concrete Pavement Manual". Arlington Heights, IL. (E.U.A.); Guide Specifications and Design Standards; ACPA, 1986.
30. ERES Consultans, Inc. "Techniques for Pavement Rehabilitation". Washington, D.C. (E.U.A.) Participant Manual, National Highway Institute; Federal Highway Administration, 1987.
31. MIER BELIZON, Francisco. "Utilización del Sistema de Posicionamiento Global por Satélite para Inventario". Madrid, España, 2do. Simposium sobre Informática y Carreteras; Asociación de Carreteras Técnicas 1991.
32. DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS. "Datos Viales, 1996". D.F., México; Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1997.

33. MENDOZA DIAZ, Alberto y REYES GRAJALES, Gabriel. "Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan Sobre las Carreteras Nacionales: Impactos Económicos de la Reglamentación de Control de Pesos de 1993". Querétaro, México; Publicación Técnica No 51, Instituto Mexicano del Transporte, 1994.
34. CASTILLO, S. María; MENDOZA D., Alberto y GUTIERREZ H., José Luis. "Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan sobre las Carreteras Nacionales: Análisis Estadístico de la Información Recopilada en las Estaciones Instaladas en 1992 y 1993". Querétaro; México. Publicación Técnica No. 17; Instituto Mexicano del Transporte, 1995.
35. MENDOZA DIAZ, Alberto y GUTIERREZ HERNANDEZ, José Luis; "Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan Sobre las Carreteras Nacionales: Análisis Económico de los Efectos del Peso de los Vehículos de Carga Autorizados en la Red Nacional de Carreteras"; Querétaro, México. Publicación Técnica No. 52; Instituto Mexicano del Transporte, 1994.
36. MENDOZA DIAZ, Alberto; RICO RODRÍGUEZ, Alfonso; y DURAN HERNANDEZ, Gandhi; "Análisis Económico del Comportamiento de Secciones Estructurales de Carreteras en Diversas Circunstancias". Querétaro, México. Publicación Técnica No. 61; Instituto Mexicano del Transporte, 1995.
37. SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. "Información sobre la Estructura del Pavimento de los Distintos Tramos de la Red Carretera Federal en el Estado de Puebla". México, Pue. Centro SCT del Estado de Puebla, 1996.
38. HOFFMAN, M.S. and THOMPSON, M.R. "Mechanistic Interpretation of Nondestructive Pavement Testing Deflections", Transportation Engineering Serie No. 32, Illinois Cooperative Highway and Transportation Research, Series No. 190, University Illinois at Urbana-Champaign, 1981.
39. UDIN, W. "Pavement Evaluation Based on Dynamic Deflection", PDDD-1, Versión 1.1. Owner's guide, Silver Spring, Maryland, USA, 1995.
40. THAWAAT, Watanatada, et al. "The Highways Design and Maintenance Standards Model". Washington, D. C. (E.U.A.), Description of the HDM-III Model, Vol 1; World Bank, 1987.
41. THAWAAT, Watanatada, et al. "The Highways Design and Maintenance Standards Model". Washington, D. C. (E.U.A.), User's Manual for HDM-III Model, Vol 2; World Bank, 1987.

42. THAWAAT, Watanatada, et al. "The Highways Design and Maintenance Standards Model". Washington, D. C. (E.U.A.), User`s Guide and PC Disks; World Bank, 1989.
43. AGUERREBERE SALIDO, Roberto y CEPEDA NARVAEZ, Fernando. "Elementos de Proyecto y Costo de Operación en Carreteras". Querétaro, México, Publicación Técnica No. 20; Instituto Mexicano del Transporte, 1991.
44. AGUERREBERE SALIDO, Roberto y CEPEDA NARVAEZ, Fernando. "Estado Superficial y Costos de Operación en Carreteras". Querétaro, México, Publicación Técnica No. 30; Instituto Mexicano del Transporte, 1991.
45. MENDOZA DIAZ, Alberto y GUTIERREZ HERNANDEZ, José Luis; "Estudio de Pesos y Dimensiones de los Vehículos que Circulan Sobre las Carreteras Nacionales: Análisis Económico de los Efectos del Peso de los Vehículos de Carga Autorizados en la Red Nacional de Carreteras"; Querétaro, México. Publicación Técnica No. 52; Instituto Mexicano del Transporte, 1994.

A N E X O A

Calificación del Servicio Actual para Algunos de los Tramos Considerados

CARRETERA : MEXICO - PUEBLA (LBRE)
TRAMO : L E . MEX / PUEBLA - PUEBLA

CODIGO	CSA
PST0010045.00	2.85
PST0010050.00	2.85
PST0010055.00	2.83
PST0010060.00	2.93
PST0010065.00	2.88
PST0010070.00	2.75
PST0010075.00	2.90
PST0010080.00	2.93
PST0010085.00	2.85
PST0010090.00	2.85
PST0010095.00	2.75
PST0010100.00	2.70
PST0010105.00	2.93

CARRETERA : APZACO - TEJOCOTAL
TRAMO : L E TLAX / PUEBLA - L E PUE / DALGO

CODIGO	CSA
PST0011035.00	3.93
PST0011040.00	3.93
PST0011045.00	3.90
PST0011050.00	3.78
PST0011055.00	3.75
PST0011060.00	3.73
PST0011065.00	3.73
PST0011070.00	3.68
PST0011075.00	3.65
PST0011080.00	3.30
PST0011085.00	2.85
PST0011090.00	2.98
PST0011095.00	2.98
PST0011100.00	2.78
PST0011105.00	2.78
PST0011110.00	2.78

**CARRETERA: TULANCINGO -
TRAMO: L.E HIDALGO/PUEBLA - L.E**

CODIGO	CSA
PST0012083.0	4.00
PST0012088.0	3.98
PST0012093.0	3.95
PST0012098.0	3.93
PST0012103.0	3.85
PST0012108.0	3.83
PST0012113.0	3.80
PST0012118.0	3.78
PST0012123.0	3.90
PST0012128.0	3.90
PST0012133.0	3.77
PST0012138.0	3.88
PST0012143.0	3.77
PST0012148.0	3.83
PST0012153.0	3.83
PST0012158.0	3.83
PST0012163.0	3.85
PST0012168.0	3.85
PST0012173.0	3.93
PST0012178.0	3.85
PST0012183.0	3.68

**CARRETERA: ENTR.TULANCINGO/TUXPAN - LA
TRAMOP: ENTR.TULANCINGO/TUXPAN - LA**

CODIGO	CSA
PST0013000.0	3.43
PST0013005.0	3.45
PST0013010.0	3.43

A N E X O B

Inventario de Deterioros para Algunos de los Tramos Considerados

CARRETERA MEXICO - PUEBLA (LIBRE)
TRAMO L.E MEXICO/PUEBLA - PUEBLA

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	PST0010	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER	
PST0010045.00	2.85	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0010050.00	2.85	0	0			2	B	1	0	B	0	0	35	D	24	D	6	B	12	B	1	0	B
PST0010055.00	2.83	0	0			0		0	0	0	0	0	0	24	C	0		17	C	15	0	C	
PST0010060.00	2.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PST0010065.00	2.88	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PST0010070.00	2.75	3	30		D	1	C	0	0	0	0	5	C	12	C	3	C	13	C	4	0	C	
PST0010075.00	2.9	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PST0010080.00	2.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PST0010085.00	2.85	3	10		B	1	D	3	10	B	1	10	C	13	C	1	12	C	5	C	0	0	
PST0010090.00	2.85	0	20		C	0	A	0	0	0	0	4	B	5	B	2	B	9	B	4	0	C	
PST0010095.00	2.75	4	20		C	1	B	1	10	B	1	10	B	10	B	0	9	E	14	C	4	0	
PST0010100.00	2.7	2	10		B	0		0	0	0	2	20	C	20	B	0	2	D	16	C	7	0	
PST0010105.00	2.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

CARRETERA APIZACO - TEJOCOTAL
TRAMO L.E TLAXCALA/PUEBLA - L.E PUEBLA/HIDALGO

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES		
	PST0010	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0011035.00	3.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011040.00	3.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011045.00	3.9	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011050.00	3.78	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011055.00	3.75	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011060.00	3.73	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011065.00	3.73	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011070.00	3.68	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011075.00	3.65	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011080.00	3.3	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011085.00	2.85	57	19		B	8	C	0	0	0	0	5	C	14	B	5	B	0	0	10	25	B
PST0011090.00	2.98	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011095.00	2.98	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0011100.00	2.78	54	19		B	8	C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	65	C
PST0011105.00	2.78	40	16		A	7	C	0	0	0	0	5	C	0	0	0	0	0	0	6	64	C
PST0011110.00	2.78	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CARRETERA TULANCINGO - TUXPAN
TRAMO L.E HIDALGO/PUEBLA - L.E PUEBLA/VERACRUZ

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES		
	PST0010	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0012083.00	4	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012088.00	3.98	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012093.00	3.95	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012098.00	3.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012103.00	3.85	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012108.00	3.83	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012113.00	3.8	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012118.00	3.78	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012123.00	3.9	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012128.00	3.9	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012133.00	3.77	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012138.00	3.88	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012143.00	3.77	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012148.00	3.83	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012153.00	3.83	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012158.00	3.83	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012163.00	3.85	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012168.00	3.85	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012173.00	3.93	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0
PST0012178.00	3.85	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0012183.00	3.68	0	0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTA: CSA = Calidad de Servicio Actual; PROF = Profundidad; SEVER = Severidad; ABERT = Abertura.

CARRERA ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - LA UNION
TRAMO ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - LA UNION

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0013000.00	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0013005.00	3.45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0013010.00	3.43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CARRERA ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - VEGAS DE SUCHIL
TRAMO ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - VEGAS DE SUCHIL

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0014000.00	2.2	0	0	0	6	D	38	12	D	0	0	0	95	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CARRERA ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - VENUSTIANO CARRANZA
TRAMO ENTRONQUE TULANCINGO/TUXPAN - VENUSTIANO CARRANZA

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0015000.00	2.18	17	42	C	49	C	30	5	C	0	0	0	66	C	0	11	D	0	0	68	46	D	

CARRERA PUEBLA - IZUCAR DE MATAMOROS
TRAMO PUEBLA - IZUCAR DE MATAMOROS

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0017000.00	4.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017005.00	3.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017010.00	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017015.00	2.8	35	2	C	3	A	18	1	C	8	1	C	10	C	0	50	D	0	0	0	0	0	0
PST0017020.00	2.75	9	2	A	10	B	0	0	0	9	2	C	21	B	1	53	C	0	0	9	0	0	C
PST0017025.00	3.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017030.00	3.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017035.00	3.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017040.00	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017045.00	3.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017050.00	3.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017055.00	3.63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017060.00	3.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017065.00	2.8	3	3	B	3	B	3	0	C	15	2	C	10	B	0	26	D	0	0	0	0	0	0

CARRERA IZUCAR DE MATAMOROS - L.E PUEBLA/OAXACA
TRAMO IZUCAR DE MATAMOROS - L.E PUEBLA/OAXACA

CODIGO	RODERAS			BACHES		GRIETAS LONGITUDINALES			GRIETAS TRANSVERSALES			DESPRENDIMIENTO		ASF AFLORADO		P COCODRILO		PULIDO SUPERFICIE		DEPRESIONES			
	CSA	(%)	PROF	SEVER	(%)	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	ABERT	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVER	(%)	SEVERIDAD	(%)	ABERT	SEVER
PST0017070.00	2.68	7	3	C	2	B	1	0	B	0	0	1	B	1	A	47	C	23	C	12	4	C	
PST0017075.00	2.7	5	3	B	7	C	11	2	B	4	2	B	12	C	4	B	23	C	16	B	30	0	B
PST0017080.00	2.7	0	0	0	2	A	1	3	A	1	3	A	0	8	A	2	A	8	B	1	0	B	
PST0017085.00	2.73	2	2	B	2	B	5	2	B	1	1	B	23	C	1	B	15	B	3	B	1	0	B
PST0017090.00	2.68	1	2	B	2	B	4	2	B	0	0	0	13	C	1	A	7	A	2	A	0	0	0
PST0017095.00	2.7	0	0	0	1	A	1	4	B	0	0	0	1	A	5	A	0	3	A	0	0	0	0
PST0017100.00	2.53	0	0	0	8	C	1	1	C	1	4	C	3	C	0	1	D	~0	0	3	0	0	C
PST0017105.00	2.55	2	3	B	2	C	9	5	C	5	3	C	8	C	0	20	C	0	0	0	0	0	0
PST0017110.00	2.6	3	3	C	7	D	6	3	D	5	3	C	1	C	0	8	D	1	C	2	0	0	C
PST0017115.00	2.7	2	0	0	0	0	8	10	D	9	10	C	18	D	2	7	D	4	B	3	0	0	B
PST0017120.00	2.83	1	20	B	14	E	10	20	D	6	20	E	22	D	2	C	35	E	0	0	0	0	0
PST0017125.00	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017130.00	2.85	2	20	C	4	C	2	20	C	0	0	0	15	C	3	C	7	D	0	0	0	0	0
PST0017135.00	2.83	0	0	0	2	C	0	0	0	0	0	0	16	C	5	B	8	B	9	A	2	0	A
PST0017140.00	2.85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	B	10	A	11	C	15	B	1	0	A
PST0017145.00	2.8	0	0	0	0	0	3	2	C	1	1	C	34	C	1	B	7	B	7	B	1	0	B
PST0017150.00	2.7	0	0	0	1	B	1	0	B	0	0	0	6	B	0	0	0	3	B	0	0	0	0
PST0017155.00	2.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017160.00	3.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017165.00	3.08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017170.00	3.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017175.00	3.03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017180.00	2.95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PST0017185.00	2.88	3	2	C	1	D	2	2	C	0	0	0	20	D	10	C	0	0	0	0	0	0	0
PST0017190.00	2.8	1	2	C	1	D	1	2	C	0	0	0	7	C	5	B	0	1	A	1	0	0	A
PST0017195.00	2.83	1	5	B	0	0	1	3	C	1	0	B	1	A	30	B	2	B	1	C	2	0	C
PST0017200.00	2.8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

NOTA: CSA = Calidad de Servicio Actual; PROF = Profundidad; SEVER = Severidad; ABERT = Abertura.

A N E X O C

Información de Deflexiones para Algunos de los Proyectos (en milímetros)

PROYECTO 1. MEXICO - PUEBLA (LIBRE)																											
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA	
PST0010045.00	0.5588	0.5842	0.6096	0.4064	0.5334	0.5588	0.6604	1.5748	1.7272	0.9652	1.2446	1.3208	2.6416	1.5494	1.2954	1.0922	0.7366	1.1176	0.6350	0.9906	0.7112	1.1938	1.0160	1.0922	0.8382	15	
PST0010050.00	2.5146	2.0320	1.7780	1.6002	1.0160	1.2954	1.0160	1.0668	1.0160	0.9144	1.2192	0.9144	1.0668	1.4732	1.6764	2.0828	1.9050	1.2700	1.8796	0.9652	1.4224	1.4224	1.4224	1.6764	1.4732	18	
PST0010055.00	0.8636	0.7112	0.5080	0.4572	0.4572	0.4064	0.4572	0.5080	0.5588	0.5588	0.4572	0.4572	0.3048	0.8128	0.4572	0.4826	0.9652	0.5080	1.1176	0.5080	0.6604	0.4572	1.0160	0.6604	1.1176	24	
PST0010060.00	1.0668	0.4064	0.8128	0.3556	0.7620	1.0668	0.7112	0.8128	0.7620	0.6096	1.0160	0.4064	0.7112	0.8128	1.1684	0.8636	0.6096	0.5080	0.4572	0.5080	0.8636	0.5588	0.6096	0.7620	0.7620	28	
PST0010065.00	0.4572	0.5080	0.5080	0.2032	0.2540	0.2032	0.3048	0.3048	0.2540	0.1524	0.3048	0.2540	0.4572	0.5080	0.5080	0.5588	0.3048	0.2540	0.2540	0.2032	0.2540	0.6096	0.2032	0.3556	0.5080	23	
																									MEDIA	0.8317	22
																									STD	0.5029	---

PROYECTO 2. MEXICO - PUEBLA (LIBRE)																											
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA	
PST0010070.00	0.4064	0.1524	0.3048	0.1524	0.2032	0.3556	0.3048	0.2540	0.2540	0.1524	0.2032	0.2032	0.1016	0.5080	0.3048	0.1524	0.3048	0.1524	0.2540	0.2032	0.1524	0.2032	0.2540	0.2032	0.3048	26	
PST0010075.00	0.3810	0.3302	0.2286	0.6604	0.3302	0.7366	0.3810	1.0922	0.8382	0.9144	0.7366	0.4064	0.6350	0.7620	0.4826	0.9144	0.3048	0.5334	0.4572	0.4064	0.5334	0.5842	0.4064	0.2540	0.3302	20	
PST0010080.00	1.7272	2.9464	1.4224	0.8128	2.6924	0.2286	0.6604	0.7112	0.8636	0.3556	1.7272	0.4572	1.2700	0.6604	0.8890	1.7272	0.9906	1.6764	0.8890	1.2446	0.7620	1.0414	0.6858	0.9398	0.7874	25	
PST0010085.00	0.4064	0.9652	0.4064	0.7366	0.2286	0.6096	0.2286	1.1684	0.5588	0.5334	0.5334	0.4064	0.5588	0.4064	0.3048	0.5334	0.1270	0.4064	0.1524	0.2540	0.2032	0.2032	0.2032	0.7620	0.2286	28	
PST0010090.00	0.6350	0.4318	0.8636	0.6356	0.5080	0.3048	0.7874	0.4572	0.5842	0.4318	0.4064	0.3810	0.7112	0.4572	0.8890	0.6604	0.6858	1.0668	0.6858	0.4064	0.4064	0.6858	1.0922	0.7366	1.1938	31	
PST0010095.00	0.5588	0.7112	0.6604	0.7112	0.8636	0.9652	0.9906	0.4572	0.5842	0.9652	0.9398	0.6096	0.9144	0.6350	0.4064	0.3302	0.4572	0.1778	0.1778	0.1778	0.3302	0.5080	0.2540	0.3556	0.3810	35	
																									MEDIA	0.5954	28
																									STD	0.4297	---

PROYECTO 3. MEXICO - PUEBLA (LIBRE)																											
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA	
PST0010100.00	0.2540	0.5842	0.1524	0.2032	0.1270	0.1270	0.1270	0.1524	0.1524	0.1524	0.1270	0.1524	0.2794	0.1778	0.0762	0.1524	0.1778	0.1016	0.1270	0.1524	0.3302	0.1524	0.3048	0.3048	0.3810	32	
PST0010105.00	0.4572	0.4064	0.2794	0.3302	0.5080	0.4064	0.4064	0.4826	0.6350	0.5334	0.4826	0.5588	0.8382	0.5080	0.5588	0.4318	0.4826	0.4318	0.8128	0.6858	0.8128	0.7366	0.5334	0.6350	0.6858	39	
																									MEDIA	0.3734	36
																									STD	0.1811	---

PROYECTO 4. APIZACO - TEJOCOTAL																											
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA	
PST0011035.00	0.4064	0.8890	1.6510	1.5494	2.4130	1.7780	2.4130	2.1590	2.4130	2.6860	0.0254	0.3208	0.2540	1.0160	1.7780	1.1430	1.7780	1.6764	2.2098	1.7780	2.5908	3.3274	3.2004	2.2860	1.9050	25	
PST0011040.00	1.0668	1.1430	2.3368	1.2954	1.9050	1.7526	1.7272	2.0320	2.0828	1.6764	1.6002	1.3208	1.3208	1.4224	1.7272	1.6510	1.5748	1.5240	1.5494	1.1684	1.8542	1.7780	1.3970	1.3970	1.4732	31	
PST0011045.00	1.2700	1.2700	1.1176	1.5240	1.1430	1.0668	0.8890	0.5080	1.2700	1.2446	0.2286	0.3556	0.5588	0.5588	1.7272	0.3556	0.3048	0.2032	0.6350	0.2540	0.4572	0.2794	0.7620	0.5588	1.2446	37	
PST0011050.00	1.4732	1.7272	0.6858	0.8890	0.5334	0.0000	0.6350	0.5588	2.5400	0.8636	0.5080	1.8034	2.0320	0.4064	0.4572	0.4826	0.6604	0.4064	0.4572	0.7112	0.7366	1.1684	0.5588	1.3716	0.7620	35	
PST0011055.00	1.6764	0.0000	1.5240	1.9558	1.6510	1.8288	1.6510	1.7272	1.0922	1.6764	1.2446	1.2700	1.8288	1.0160	2.2098	0.6350	1.4224	0.4572	0.3302	0.1524	0.4572	1.0160	1.1684	1.1430	1.2192	31	
PST0011060.00	0.1414	0.9906	1.2192	1.5748	1.0160	1.8288	1.9050	0.7366	1.4224	1.5240	0.9144	0.7366	1.3716	1.4732	1.6510	0.9398	1.1684	0.0000	1.1684	1.5240	0.8382	1.3208	1.6764	1.8288	1.7780	31	
PST0011065.00	0.9398	0.6350	1.3970	1.5080	1.0160	1.9304	0.7874	0.9906	1.6764	1.8034	1.2954	1.8542	1.4732	1.9050	1.4224	1.0668	0.9906	1.2446	1.1176	1.2700	0.9144	1.0160	0.8890	1.7272	1.7018	32	
PST0011070.00	1.7780	1.1176	0.7620	1.6002	3.0480	1.1430	1.5240	1.4986	1.9304	1.4732	1.6764	1.4732	0.7874	1.0922	1.5240	1.8796	1.9050	1.5494	0.8382	0.6604	0.0000	0.7620	2.4130	1.5240	0.8382	26	
PST0011075.00	1.3970	0.9398	1.2192	1.0414	1.2192	0.4572	0.5842	0.0000	0.9398	1.4224	0.5080	1.0922	1.6256	1.6002	0.3302	0.4572	0.6604	0.0000	0.9144	0.3810	0.6350	0.4064	0.3556	0.6350	1.6404	29	
PST0011080.00	0.7620	0.3556	0.7620	1.2192	1.1430	0.9144	1.0414	1.2700	0.6350	0.0000	1.2700	0.4064	1.8796	0.7366	0.6096	0.0000	0.7620	1.1176	0.8382	1.4732	1.2446	0.0000	0.9652	0.5842	0.1060	22	
																									MEDIA	1.1728	30
																									STD	0.6262	---

PROYECTO 5. APIZACO - TEJOCOTAL																											
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA	
PST0011085.00	0.5080	0.8128	1.0160	0.8128	0.6604	0.7874	0.8382	0.8128	1.1430	1.1684	0.8382	1.0668	1.4732	0.7620	1.1176	0.9144	1.6002	0.7366	0.8890	0.4318	0.4572	0.8890	1.2192	0.5080	1.1684	31	
PST0011090.00	1.2446	1.3716	1.1938	1.0160	1.1176	1.2954	1.1684	1.6764	1.0160	1.3208	1.6764	1.1176	1.1938	1.0668	0.8890	1.5240	1.5240	1.7780	1.7526	1.1938	1.4224	1.4732	1.6510	1.4732	1.9050	18	
PST0011095.00	1.3970	0.7620	1.2700	2.2860	1.2700	0.8890	1.5748	1.5748	1.2700	0.7620	1.5748	1.2700	1.5240	0.5080	1.0160	0.7620	0.3810	0.9144	1.6510	1.0160	0.6604	0.7620	0.5080	0.4064	1.0668	15	
PST0011100.00	0.9398	0.8128	0.9144	0.6350	0.7620	0.6858	0.9652	1.1176	1.0668	1.4478	1.1430	1.2700	1.7018	1.3496	1.1176	1.0922	1.5748	1.4478	0.0000	1.4986	1.1684	1.6002	1.1684	1.2700	0.6350	1.3716	15
PST0011105.00	1.3970	1.3970	1.5494	1.2700	1.5240	1.5240	1.4986	1.1430	1.4732	1.0668	1.4986	1.5748	1.6764	1.2700	1.2700	1.3208	1.6510	1.6002	1.4224	1.7272	1.1684	1.7018	1.1684	1.4224	1.1684	14	
PST0011110.00	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	27	
																									MEDIA	0.9831	20
																									STD	0.5602	---

PROYECTO 6. TULANCINGO - TUXPAN																										
CODIGO	D01	D02	D03	D04	D05	D06	D07	D08	D09	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	TEMPCA
PST0012083.00	0.4318	1.2700	1.0160	0.5080	1.5748	1.3208	1.0160	0.7620	1.1684	1.0160	0.8890	1.0668	1.1430	0.8890	0.2540	1.2192	0.9652	0.8382	0.4064	1.0668	1.0160	1.1684	0.8890	0.7620	0.6350	27
PST0012088.00	0.2540	0.9652	0.4572	1.5748	1.0668	1.2192	0.3810	1.2700	1.0160	0.7112	0															

A N E X O D

Formatos de Codificación de Valores Asignados a las Variables de cada Proyecto

HDM-III Input Form: A-2a: PAVED SECTION CHARACTERISTICS

Date: _____ Page 2 of _____
 Prepared by: _____

Card Punch
 Type Check

<p>A-201 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>SECTION DATA P 2 15</p>	<p>ALL sections switch (A) 22 24</p>	<p>10 numbers of sections with common characteristics below (1) 31 34 37 40 43 46 49 52 55 58 61 64 67 70 73 76 79 82</p>	<p>Average monthly rainfall (m/month) 0.15 34 29</p>	<p>Altitude (m) 100.0 52 47</p>	<p>Rise plus fall (m/km) 12 34 29</p>	<p>Horizontal curvature (degrees/km) 100.0 7.00 2.5 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85</p>	<p>Super- elevation (2) 2.5 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85</p>	<p>Shoulder width (m) 1.0 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85</p>	<p>Effective number of lanes 2.0 51 53 55 57 59 61 63 65 67 69 71 73 75 77 79 81 83 85</p>
<p>A-202 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>ENVIRONMENT 13</p>									
<p>A-203 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>COMMENTS 10</p>									
<p>A-204 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>SURFACE 9 13 16</p> <p>Surface IU code (A) PAVD</p>									
<p>A-205 <input checked="" type="checkbox"/></p> <p>BASE/SUBGRADE 15</p>									

Surface types

- 1 - surface treatment (ST)
- 2 - asphalt concrete (AC)
- 3 - slurry on surface treatment (SSST)
- 4 - resal on surface treatment (BSST)
- 5 - resal on asphalt concrete (BSAC)
- 6 - open graded cold mix surfacing (OGMS)
- 7 - asphalt overlay, or slurry seal on asphalt concrete (OWSA)

Base types

- 1 - granular
- 2 - cement-stabilized
- 3 - bituminous

EDM-111 Input Form: A-2b: PAVED SECTION CHARACTERISTICS

Date: _____ Page **3** of _____

Prepared by: _____

Card 3 Punch ✓
Type Check

A-2106

3 S T R U C T I M P A R A M E T E R S 21

Strength parameter
option code (1)

3 34

Structural
number

41 46

Benkelman beam
deflection (mm)

1.05 53 58

73 80

Strength parameter options

- 1 - both structural number and Benkelman beam deflection are input.
- 2 - only structural number is input and Benkelman beam deflection is estimated from the former.
- 3 - only Benkelman beam deflection is input and structural number is estimated from the former.

A N E X O E

Algunos Resultados de las Seis Corridas del HDM-III

196/04/10

PUEBLA

REPORT TYPE 7 : PAGE 1

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT. 1 -ALTO ORIGINAL LENGTH 4.5 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.046	.463	.000	.000	.000	.000	.509	.000
1997	.000	.001	.433	.000	.000	.000	.000	.434	.000
1998	.000	.001	.449	.000	.000	.000	.000	.450	.000
1999	.000	.001	.464	.000	.000	.000	.000	.465	.000
2000	.000	.001	.480	.000	.000	.000	.000	.481	.000
2001	.000	.001	.497	.000	.000	.000	.000	.498	.000
2002	.000	.001	.514	.000	.000	.000	.000	.515	.000
2003	.000	.001	.531	.000	.000	.000	.000	.532	.000
2004	.000	.001	.548	.000	.000	.000	.000	.549	.000
2005	.000	.001	.567	.000	.000	.000	.000	.568	.000
2006	.000	.001	.586	.000	.000	.000	.000	.587	.000
2007	.000	.001	.606	.000	.000	.000	.000	.607	.000
2008	.000	.001	.626	.000	.000	.000	.000	.627	.000
2009	.000	.001	.648	.000	.000	.000	.000	.649	.000
2010	.000	.001	.670	.000	.000	.000	.000	.671	.000
0TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:	.000	.060	8.083	.000	.000	.000	.000	8.143	.000
FOREIGN:	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0%	.000	.060	8.083	.000	.000	.000	.000	8.143	.000
8.0%	.000	.054	4.769	.000	.000	.000	.000	4.823	.000
12.0%	.000	.053	3.861	.000	.000	.000	.000	3.914	.000
20.0%	.000	.051	2.753	.000	.000	.000	.000	2.803	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT. 2 -ALTO ORIGINAL LENGTH 4.8 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.009	.491	.000	.000	.000	.000	.500	.000
1997	.000	.001	.488	.000	.000	.000	.000	.489	.000
1998	.000	.001	.506	.000	.000	.000	.000	.507	.000
1999	.000	.001	.524	.000	.000	.000	.000	.525	.000
2000	.000	.001	.543	.000	.000	.000	.000	.544	.000
2001	.000	.001	.562	.000	.000	.000	.000	.563	.000
2002	.000	.001	.582	.000	.000	.000	.000	.583	.000
2003	.000	.001	.602	.000	.000	.000	.000	.603	.000
2004	.000	.001	.623	.000	.000	.000	.000	.624	.000
2005	.000	.001	.645	.000	.000	.000	.000	.646	.000
2006	.000	.001	.668	.000	.000	.000	.000	.669	.000
2007	.000	.001	.692	.000	.000	.000	.000	.693	.000
2008	.000	.001	.717	.000	.000	.000	.000	.718	.000
2009	.000	.001	.743	.000	.000	.000	.000	.744	.000
2010	.000	.001	.770	.000	.000	.000	.000	.771	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:	.000	.023	9.158	.000	.000	.000	.000	9.181	.000
FOREIGN:	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
.0 %	.000	.023	9.158	.000	.000	.000	.000	9.181	.000
8.0 %	.000	.017	5.378	.000	.000	.000	.000	5.396	.000
12.0 %	.000	.016	4.345	.000	.000	.000	.000	4.360	.000
20.0 %	.000	.013	3.084	.000	.000	.000	.000	3.097	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
 IN MILLION

LINK-ALT. 3 -ALTO
 ORIGINAL LENGTH 7.9 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.005	11.712	.000	.000	.000	.000	11.717	.000
1997	.000	.002	12.039	.000	.000	.000	.000	12.040	.000
1998	.000	.002	12.592	.000	.000	.000	.000	12.594	.000
1999	.000	.002	13.197	.000	.000	.000	.000	13.199	.000
2000	.000	.002	13.850	.000	.000	.000	.000	13.852	.000
2001	.000	.003	14.549	.000	.000	.000	.000	14.551	.000
2002	.000	.003	15.295	.000	.000	.000	.000	15.298	.000
2003	.000	.003	16.093	.000	.000	.000	.000	16.096	.000
2004	.000	.003	16.947	.000	.000	.000	.000	16.951	.000
2005	.000	.002	17.866	.000	.000	.000	.000	17.869	.000
2006	.000	.002	18.674	.000	.000	.000	.000	18.676	.000
2007	.000	.002	19.170	.000	.000	.000	.000	19.172	.000
2008	.000	.002	19.667	.000	.000	.000	.000	19.668	.000
2009	.000	.002	16.182	.000	.000	.000	.000	16.184	.000
2010	.000	.002	16.720	.000	.000	.000	.000	16.721	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:	.735	.033	222.553	.000	.000	.000	.000	223.322	.000
FOREIGN:	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0 %	.735	.033	222.553	.000	.000	.000	.000	223.322	.000
8.0 %	.368	.022	132.502	.000	.000	.000	.000	132.892	.000
12.0 %	.265	.019	107.502	.000	.000	.000	.000	107.786	.000
20.0 %	.143	.015	76.653	.000	.000	.000	.000	76.810	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT 4 ALTO ORIGINAL LENGTH 55.7 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECUR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.484	8.514	.000	.000	.000	.000	8.998	.000
1997	.000	.012	8.960	.000	.000	.000	.000	8.071	.000
1998	.000	.012	8.348	.000	.000	.000	.000	8.360	.000
1999	.000	.012	8.642	.000	.000	.000	.000	8.654	.000
2000	.000	.012	8.940	.000	.000	.000	.000	8.952	.000
2001	.000	.012	9.243	.000	.000	.000	.000	9.255	.000
2002	.000	.013	9.551	.000	.000	.000	.000	9.563	.000
2003	.000	.013	9.865	.000	.000	.000	.000	9.877	.000
2004	.000	.013	10.187	.000	.000	.000	.000	10.200	.000
2005	.000	.013	10.521	.000	.000	.000	.000	10.534	.000
2006	.000	.013	10.867	.000	.000	.000	.000	10.880	.000
2007	.000	.013	11.226	.000	.000	.000	.000	11.239	.000
2008	.000	.013	11.597	.000	.000	.000	.000	11.610	.000
2009	.000	.013	11.982	.000	.000	.000	.000	11.995	.000
2010	.000	.013	12.382	.000	.000	.000	.000	12.395	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:			.000	.000	.000	.000	.000	150.584	.000
FOREIGN:			.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0 %			.000	.000	.000	.000	.000	150.584	.000
8.0 %			.586	.000	.000	.000	.000	89.058	.000
12.0 %			.566	.000	.000	.000	.000	72.200	.000
20.0 %			.540	.000	.000	.000	.000	51.606	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT. 5 -ALTO ORIGINAL LENGTH 26.6 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.065	22.178	.000	.000	.000	.000	22.243	.000
1997	.000	.006	21.658	.000	.000	.000	.000	21.664	.000
1998	.000	.007	22.714	.000	.000	.000	.000	22.721	.000
1999	.000	.008	23.849	.000	.000	.000	.000	23.856	.000
2000	.000	.008	25.057	.000	.000	.000	.000	25.065	.000
2001	.000	.009	26.347	.000	.000	.000	.000	26.356	.000
2002	.000	.009	27.729	.000	.000	.000	.000	27.738	.000
2003	.000	.010	29.218	.000	.000	.000	.000	29.228	.000
2004	.000	.010	30.832	.000	.000	.000	.000	30.842	.000
2005	.000	.010	32.595	.000	.000	.000	.000	32.605	.000
2006	2.476	.005	34.537	.000	.000	.000	.000	37.019	.000
2007	.000	.005	28.803	.000	.000	.000	.000	28.809	.000
2008	.000	.005	29.762	.000	.000	.000	.000	29.767	.000
2009	.000	.005	30.720	.000	.000	.000	.000	30.725	.000
2010	.000	.005	31.712	.000	.000	.000	.000	31.717	.000
TOTAL BENEFITS - COSTS - UNDISCOUNTED:									
			ECONOMIC:		FOREIGN:				
			2.476		.167				
			.000		.000				
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
			2.476		.167				
			1.147		.127				
			.797		.115				
			.400		.100				
			420.355		.000				
			420.355		.000				
			248.008		.000				
			200.425		.000				
			142.035		.000				

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT. 6 -ALTO ORIGINAL LENGTH 46.0 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.000	22.536	.000	.000	.000	.000	22.728	.000
1997	.000	.000	21.122	.000	.000	.000	.000	21.132	.000
1998	.000	.000	22.022	.000	.000	.000	.000	22.034	.000
1999	.000	.000	22.981	.000	.000	.000	.000	22.993	.000
2000	.000	.000	23.995	.000	.000	.000	.000	24.007	.000
2001	.000	.000	25.065	.000	.000	.000	.000	25.079	.000
2002	.000	.000	26.185	.000	.000	.000	.000	26.200	.000
2003	.000	.000	27.358	.000	.000	.000	.000	27.373	.000
2004	.000	.000	28.588	.000	.000	.000	.000	28.604	.000
2005	.000	.000	29.880	.000	.000	.000	.000	29.896	.000
2006	.000	.000	31.249	.000	.000	.000	.000	31.265	.000
2007	.000	.000	32.710	.000	.000	.000	.000	32.727	.000
2008	.000	.000	34.277	.000	.000	.000	.000	34.294	.000
2009	.000	.000	35.959	.000	.000	.000	.000	35.977	.000
2010	.000	.000	37.771	.000	.000	.000	.000	37.789	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
	.000	.400	421.698	.000	.000	.000	.000	422.098	.000
ECONOMIC:	.000	.000							
FOREIGN:	.000	.000							
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0%	.000	.400	421.698	.000	.000	.000	.000	422.098	.000
8.0%	.000	.308	244.966	.000	.000	.000	.000	245.274	.000
12.0%	.000	.283	198.875	.000	.000	.000	.000	197.258	.000
20.0%	.000	.253	138.815	.000	.000	.000	.000	139.067	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.085	12.281	.000	.000	.000	.000	12.366	.000
1997	.000	.006	11.555	.000	.000	.000	.000	11.561	.000
1998	.000	.007	11.990	.000	.000	.000	.000	11.997	.000
1999	.000	.007	12.441	.000	.000	.000	.000	12.448	.000
2000	.000	.007	12.907	.000	.000	.000	.000	12.914	.000
2001	.000	.008	13.384	.000	.000	.000	.000	13.392	.000
2002	.000	.008	13.873	.000	.000	.000	.000	13.881	.000
2003	.000	.008	14.374	.000	.000	.000	.000	14.382	.000
2004	.000	.008	14.866	.000	.000	.000	.000	14.894	.000
2005	.000	.008	15.415	.000	.000	.000	.000	15.423	.000
2006	.000	.009	15.965	.000	.000	.000	.000	15.974	.000
2007	.000	.009	16.540	.000	.000	.000	.000	16.549	.000
2008	.000	.009	17.141	.000	.000	.000	.000	17.149	.000
2009	.000	.009	17.768	.000	.000	.000	.000	17.777	.000
2010	.000	.009	18.425	.000	.000	.000	.000	18.434	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:	.000	.196	218.945	.000	.000	.000	.000	219.141	.000
FOREIGN:	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0.0 %	.000	.196	218.945	.000	.000	.000	.000	219.141	.000
8.0 %	.000	.148	128.717	.000	.000	.000	.000	128.865	.000
12.0 %	.000	.135	104.047	.000	.000	.000	.000	104.182	.000
20.0 %	.000	.119	73.969	.000	.000	.000	.000	74.088	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

GROUP-ALT. GPV-ALTO ORIGINAL LENGTH 173.5 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.886	78.175	.000	.000	.000	.000	79.062	.000
1997	.000	.037	75.355	.000	.000	.000	.000	75.392	.000
1998	.000	.040	78.621	.000	.000	.000	.000	78.661	.000
1999	.000	.042	82.097	.000	.000	.000	.000	82.140	.000
2000	.000	.044	85.272	.000	.000	.000	.000	85.316	.000
2001	.000	.047	89.546	.000	.000	.000	.000	89.593	.000
2002	.000	.049	93.729	.000	.000	.000	.000	93.778	.000
2003	.000	.051	98.049	.000	.000	.000	.000	98.091	.000
2004	.000	.052	102.649	.000	.000	.000	.000	102.664	.000
2005	.735	.051	107.885	.000	.000	.000	.000	108.620	.000
2006	2.476	.047	108.547	.000	.000	.000	.000	111.070	.000
2007	.000	.047	105.748	.000	.000	.000	.000	105.796	.000
2008	.000	.048	108.787	.000	.000	.000	.000	109.834	.000
2009	.000	.048	114.003	.000	.000	.000	.000	114.052	.000
2010	.000	.048	118.451	.000	.000	.000	.000	118.499	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC:	3.212	1.539	1448.072	.000	.000	.000	.000	1452.823	.000
FOREIGN:	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
0.0 %	3.212	1.539	1448.072	.000	.000	.000	.000	1452.823	.000
8.0 %	1.515	1.263	851.537	.000	.000	.000	.000	854.315	.000
12.0 %	1.063	1.186	687.877	.000	.000	.000	.000	690.125	.000
20.0 %	.543	1.090	487.874	.000	.000	.000	.000	489.507	.000

ECONOMIC AND FOREIGN EXCHANGE COSTS OF ALTERNATIVE
IN MILLION

LINK-ALT. 1 -ALTI ORIGINAL LENGTH 4.5 KM

YEAR	ROAD CAPITAL COSTS	ROAD RECURR COSTS	EXISTING VEHICLE OPERATING COSTS	GENERATED VEHICLE OPERATING COSTS	EXISTING VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	GENERATED VEHICLE TRAVEL TIME COSTS	NET EXOGENOUS COSTS	TOTAL ECONOMIC COSTS	TOTAL FOREIGN EXCHANGE COSTS
1996	.000	.046	.463	.000	.000	.000	.000	.509	.000
1997	.000	.001	.433	.000	.000	.000	.000	.434	.000
1998	.000	.001	.449	.000	.000	.000	.000	.450	.000
1999	.000	.001	.464	.000	.000	.000	.000	.465	.000
2000	.000	.001	.480	.000	.000	.000	.000	.481	.000
2001	.000	.001	.497	.000	.000	.000	.000	.498	.000
2002	.000	.001	.514	.000	.000	.000	.000	.515	.000
2003	.000	.001	.531	.000	.000	.000	.000	.532	.000
2004	.000	.001	.548	.000	.000	.000	.000	.549	.000
2005	.000	.001	.567	.000	.000	.000	.000	.568	.000
2006	.000	.001	.586	.000	.000	.000	.000	.587	.000
2007	.000	.001	.606	.000	.000	.000	.000	.607	.000
2008	.000	.001	.626	.000	.000	.000	.000	.627	.000
2009	.000	.001	.648	.000	.000	.000	.000	.649	.000
2010	.000	.001	.670	.000	.000	.000	.000	.671	.000
TOTAL BENEFITS-COSTS - UNDISCOUNTED:									
ECONOMIC: .000									
FOREIGN: .000									
DISCOUNTED ECONOMIC COSTS AT :									
8.0 % 8.083									
12.0 % 4.769									
20.0 % 3.861									
TOTAL ECONOMIC COSTS AT 8.143									
TOTAL ECONOMIC COSTS AT 12.0 % 8.143									
TOTAL ECONOMIC COSTS AT 20.0 % 3.914									
TOTAL ECONOMIC COSTS AT 2.803									



CIUDAD DE MEXICO

Av. Patriotismo 683
Col. Mixcoac
03730, México, D. F.
Tel (55) 56 15 35 75
55 98 52 18
Fax (55) 55 98 64 57

SANFANDILA

Km. 12+000, Carretera
Querétaro-Galindo
76700, Sanfandila, Qro.
Tel (442) 2 16 97 77
2 16 96 46
Fax (442) 2 16 96 71

Internet: <http://www.imt.mx>
publicaciones@imt.mx