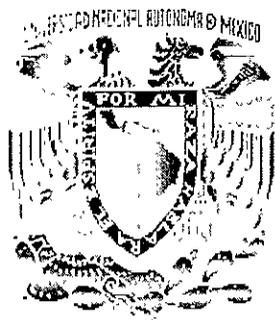


25



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ARAGON"

ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO EN UN TRAMO DE LA CARRETERA PUEBLA - STA. ANA-APIZACO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA
MAURICIO VALENCIA BANDERA

DIRECTOR:

ING. AMILCAR GALINDO SOLORZANO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON

SAN JUAN DE ARAGON, ESTADO DE MEXICO 1999

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

270057



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ARAGÓN

DIRECCION

MAURICIO VALENCIA BANDERA
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 9 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. AMILCAR GALINDO SOLÓRZANO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado, "ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACIÓN DEL PAVIMENTO EN UN TRAMO DE LA CARRETERA PUEBLA-STA. ANA-APIZACO", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México., 23 de junio de 1967

EL DIRECTOR

M. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- c c p Jefe de la Unidad Académica.
- c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.
- c c p Asesor de Tesis.

CCMC'AIR/lla.

AGRADECIMIENTOS

mis Padres, por todo el esfuerzo que hicieron, el cariño, apoyo y consejos que me dieron para concluir mis estudios, para ellos todo mi amor.

Ella Bandera Figueroa

Manuel Valencia Moreno

todos mis hermanos, por su apoyo y esfuerzo que realizaron para que siguiera estudiando y así lograr una de las metas propuestas.

Gracias.

Para ti Irma, que eres la compañera de mi vida y que me das fuerzas y ánimos para seguir adelante.

Te Amo

Para mis dos pequeños traviesos, que son los seres que me dan vida.

Xally Montserrat e Ian Mauricio

A todos mis Profesores, que con su sabiduría y paciencia lograron transmitirme sus conocimientos, pero muy en especial al Ing. Amilcar Galindo Solórzano por su gran ayuda.

A ellos gracias

A mis amigos de todos los grados, que con su compañía logramos varias metas, y en especial a mis compañeros y grandes amigos de la "ENEP ARAGON".

A todos ellos gracias

Al M I Raúl Vicente Orozco S Por todas las facilidades que me dio para realizar esta tesis

Gracias

A mis compañeros de trabajo (RVO) que con su ayuda y motivación se pudo lograr este trabajo. y muy en especial al M I Ricardo Torres Velázquez y al Ing Alberto Saenz Suárez por su ayuda incondicional A todos ellos gracias

ALTERNATIVAS PARA LA REHABILITACION DEL PAVIMENTO EN UN TRAMO DE LA CARRETERA PUEBLA-STA. ANA-APIZACO

INDICE

	Página
CAPITULO I INTRODUCCION	1
CAPITULO II GENERALIDADES	3
2.1 Entorno geográfico	3
2.1.1 Localización	3
2.1.2 Geología	4
2.1.3 Topografía	7
2.1.4 Hidrografía	7
2.1.5 Clima	9
2.1.6 Sismicidad	10
2.2 Medio socioeconómico	10
2.2.1 Actividades económicas	11
2.2.2 Agricultura	11
2.2.3 Ganadería	12
2.2.4 Industria	12
2.3 Antecedentes de construcción y de conservación	14
CAPITULO III EVALUACION TECNICA	19
3.1 Calificación Visual	19
3.1.1 Índice de Servicio Actual (ISA)	19
3.1.2 Levantamiento de deterioros	20
3.2 Medición técnica de desplazamientos	25
3.3 Estudio de los pavimentos	32
3.3.1 Principios básicos del método del elemento finito (MEF)	32
3.3.2 Análisis de resultados	39
3.4 Estudios de tránsito	40
3.4.1 Análisis del tránsito diario promedio anual	40

CAPITULO IV PRESENTACION DE ALTERNATIVAS	104
4.1 Pavimentos	104
4.1.1 Sub-base	104
4.1.2 Base	105
4.1.3 Carpeta asfáltica	105
4.1.4 Materiales asfálticos	106
4.1.5 Emulsiones asfálticas	107
4.1.6 Cemento Portland	108
4.2 Descripción general de las alternativas	108
4.3 Descripción del procedimiento constructivo	111
4.3.1 Alternativa I Recuperación con cemento Portland	111
4.3.2 Alternativa II Recuperación con emulsión asfáltica	113
4.3.3 Alternativa III Fresado y construcción de base hidráulica	115
4.4 Cantidades de obra	117
4.4.1 Alternativa I	117
4.4.2 Alternativa II	118
4.4.3 Alternativa III	119
4.5 Evaluación de alternativas	120
4.5.1 Evaluación económica de las alternativas	120
4.5.2 Selección de la alternativa más conveniente	122
CAPITULO V CONCLUSIONES	129
Bibliografía	132

CAPITULO I INTRODUCCION

Las carreteras representan un patrimonio de importancia primordial para la economía de cualquier país, pues constituyen la infraestructura que permiten el movimiento rápido y seguro de bienes y mercancías. Esta infraestructura se ve sujeta a un deterioro continuo, debido a la acción de los agentes ambientales y de las cargas rodantes, por lo que toda carretera debe ser objeto de trabajos permanentes de conservación, para que pueda seguir dando en forma eficaz el servicio para el que fue proyectada. Desafortunadamente en México, por diferentes razones económicas y políticas, los recursos destinados a la conservación de carreteras han sido insuficientes durante varias décadas. Esto ha ocasionado que importantes tramos de la red federal presenten un deterioro avanzado y por lo tanto requieren más que de trabajos de conservación, de acciones de rehabilitación.

Uno de esos tramos es el que se encuentra entre los km 4.8 y 16.2 de la carretera federal Puebla-Sta. Ana-Apizaco en el estado de Tlaxcala. Esta carretera inicialmente fue construida como un camino vecinal de bajas especificaciones, pero el desarrollo industrial de la zona motivó un fuerte incremento demográfico. y Consecuentemente se generó un aumento considerable de los volúmenes de tránsito, sobre todo en lo que se refiere al paso y frecuencia de los vehículos pesados.

Por estas razones el camino se amplió a 4 carriles implicando la construcción de un segundo cuerpo adosado al cuerpo original. Esta solución no fue del todo satisfactoria ya que generó una carretera con estructura y trazo inadecuado para las demandas del tránsito. Si a esto se añade la escasez de recursos que se destinaron a la conservación de este tramo, se explica que el deterioro alcanzado actualmente sea

inaceptable y por lo tanto se solicite la rehabilitación como una necesidad imprescindible.

La presente tesis se basa en un trabajo realizado por una empresa de consultores para la Dirección General de Conservación de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. El autor de esta tesis tuvo oportunidad de participar en estos trabajos.

El segundo capítulo trata de las generalidades de la carretera, como es su entorno geográfico, la geología, así como su topografía, el clima y la sismicidad del lugar. Por otra parte se realiza una descripción del medio socioeconómico de la zona y por último se mencionan los antecedentes de construcción y conservación.

En el capítulo III se realiza la evaluación técnica de la carretera, así como la calificación visual y el análisis de los desplazamientos medidos con el equipo KUAB (FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER), También se efectúa el estudio de tránsito y el análisis de la vida esperada para las posibles alternativas de rehabilitación.

La descripción y análisis de las tres alternativas que se proponen para la rehabilitación de la carretera se presentan en el capítulo IV. Se evalúa cada una de dichas alternativas y se selecciona la más conveniente.

Finalmente en el capítulo V se mencionan las conclusiones a las que se llegó al realizar esta tesis.

CAPITULO II GENERALIDADES

2.1 Entorno geográfico

2.1.1 Localización

El estado de Tlaxcala se localiza en la parte centro-oriental del país. Situado en las tierras altas del eje Neovolcánico, sobre la meseta de Anáhuac por arriba de los 2000 m de altitud.

Tlaxcala tiene una superficie de 4060.92 km², siendo la entidad más pequeña de la República.

Limita al poniente con el Estado de México y al noroeste con Hidalgo. Puebla rodea el resto de su perímetro (página 15).

El subtramo en estudio se encuentra en la región sur del estado de Tlaxcala, limitando con el estado de Puebla . En la página 16 se presenta un croquis de localización. Al sitio del proyecto se puede llegar por 3 rutas diferentes:

- La Autopista México-Veracruz, en su entronque con la Ciudad de Puebla con dirección hacia Zacatelco.

- Carretera 136 México-Veracruz, en su desviación hacia la Ciudad de Tlaxcala.

- Carretera 119, que une a Tlaxcala con Puebla, atraviesa las poblaciones de Panzacola, Xicohtizingo.y Zacatelco.

Debido a la poca distancia que existe entre las localidades y la trayectoria del proyecto, la región se considera urbana.

El subtramo en estudio tiene 11.4 km de longitud y consta de 2 cuerpos con 2 carriles de circulación por sentido. Se llamará cuerpo "A" al sentido de circulación de Puebla a Sta. Ana y Cuerpo "B" al sentido opuesto. La presente tesis sólo abarca lo correspondiente al cuerpo "A". La corona tiene un ancho de 10.2 m, 2 carriles de 3.6 m y un acotamiento de 3. m.

La estructura del pavimento está compuesta de una carpeta asfáltica que varía de 10 a 15 cm de espesor, una base de 15 a 22 cm, una sub-base de 8 a 16 cm y terracerías con espesores variables.

2.1.2 Geología

a) Fisiografía

El estado de Tlaxcala está totalmente comprendido, dentro de la provincia fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, por lo que su geología ha sido moldeada por una actividad volcánica, la cual le ha dado al relieve un perfil característico.

El Eje Neovolcánico constituye una franja volcánica del Cenozoico Superior que cruza transversalmente la República Mexicana a la altura del paralelo 20. Está formado por una gran variedad de rocas volcánicas que fueron emitidas a través de un importante número de aparatos volcánicos, algunos de los cuales constituyen las principales alturas del país.

La actividad volcánica en esta franja ha dado lugar a un gran número de cuencas endorreicas con el consecuente desarrollo de lagos.

El origen del Eje Neovolcánico ha sido relacionado principalmente a la subducción de la Placa de Cocos, debajo de la corteza continental de México.

Por otra parte la composición petrográfica de las rocas que forman esta provincia fisiográfica es muy variable. Son abundantes los derrames y productos piroclásticos de composición andesítica, aunque existen numerosas unidades conocidas tradicionalmente como basálticas, como el grupo Chichinautzin. Existen también manifestaciones locales aisladas de volcanismo riolítico reciente. Sin embargo, desde el punto de vista químico el Eje Neovolcánico es considerado por numerosos autores como una provincia calco-alcalina caracterizada por su abundancia de andesitas y dacitas.

b) Descripción geológica del subtramo recorrido

En Tlaxcala predominan los afloramientos de rocas volcánicas como andesitas, riolitas, tobas y brechas volcánicas, así como diversas asociaciones de éstas. Además hay sedimentos lacustres, fluvial y fluvio glaciares (brechas sedimentarias).

Las unidades estratigráficas más antiguas del estado son las rocas sedimentarias (terciario inferior); en particular los depósitos clásticos formados en un ambiente continental lacustre que, de acuerdo con su litología, son clasificadas como asociaciones alternantes de areniscas y limolitas y de areniscas y calizas. Estos depósitos se encuentran cubiertos por derrames andesíticos y tobas intermedias del Terciario Superior (Mioceno).

Las riolitas y tobas ácidas que aparecen restringidas a unos cuantos afloramientos dentro del estado, pertenecen al Terciario Superior (Plioceno). En este mismo período, los agentes de denudación fluviales y fluvio-glaciares iniciaron una actividad intensa que condujo a una nivelación de un relieve activo. Así se formaron grandes cuerpos de depósitos fluvio-glaciares (brechas sedimentarias) en las faldas de volcanes andesíticos como La Malinche, entre otros.

La actividad volcánica basáltica comenzó en el Terciario Superior y alcanzó una gran intensidad en el Cuaternario (Pleistoceno), dejando distribuidas numerosas estructuras volcánicas relativamente pequeñas. Durante los últimos derrames basálticos que hubo en Tlaxcala, se cerraron algunos valles y se formaron cuencas endorreicas, algunas de las cuales siguen siendo rellenadas por productos de la denudación del relieve, esto es, por aluviones y depósitos lacustres.

Las estructuras geológicas más importantes de Tlaxcala son volcánicas; entre ellas destaca, como uno de los seis estratovolcanes más grandes del país, la majestuosa Malinche. En toda la entidad existen estructuras volcánicas menores de tipo basáltico. Además de los volcanes, con sus aparatos y derrames lávicos, se presentan otras estructuras, como fallas y fracturas que han contribuido a modelar el relieve del estado y que están asociadas íntimamente a la actividad volcánica y tectónica continental.

c) Zonas de derrumbes y caídos

La zona en estudio no presenta problemas debido a la morfología del terreno; sin embargo, es importante mantener en observación el tramo para atender cualquier problema que se presente y poder proporcionar mayor seguridad al usuario.

2.1.3 Topografía

El estado de Tlaxcala es atravesado en sentido noroeste-sureste por un angosto corredor llano de carácter aluvial (2400 msnm) que conecta los llanos de Apan (Hidalgo) al norte y con las llanuras de la cuenca de Puebla al sur. Es dentro de esta alargada llanura que nace el río Zahuapan, el afluente más septentrional del Balsas que, a la altura de Apizaco, donde los lomeríos casi constriñen el corredor, se dirigen hacia el sur. Limitan por el norte a este corredor de Calpulaipan, Hueyotliplan, Apizaco y Huamantla, unidades de lomeríos de origen ígneo, algunas asociadas con llanos. Estos rematan al oriente con mesetas y lomeríos lávicos y al norte con los bordes de la sierra volcánica de Tlaxco. Por el lado sur, el corredor limita al oeste con los lomeríos periféricos de la Sierra Nevada, al centro con las cañadas de la meseta o bloque de Tlaxcala y al oriente con el volcán Matlalcuéyetl (Malinche). El río Zahuapan pasa hacia el suroeste por un angosto valle entre estas dos últimas unidades, donde se ubica la capital del estado. De manera particular el subtramo en estudio se encuentra dentro de una planicie.

2.1.4 Hidrografía

La mayor parte del estado de Tlaxcala, en sus porciones centro y sur, queda comprendida dentro de la región hidrológica "Río Balsas" (RH. 18). Al noroeste de la entidad es parte de la región "Alto Pánuco" (RH. 26). La región "Tuxpan-Nautla" (RH. 27) cubre el noreste del estado. En la página 17 se muestra un croquis con la ubicación de cada una de las regiones hidrológicas.

Región Hidrológica "Río Balsas" (RH. 18)

El Río Balsas, conocido también como Atoyac, Mezcala o Zacatula es uno de los más importantes de la República Mexicana. Nace a unos 40 km al norte de la ciudad de Tlaxcala en los límites del estado de Puebla.

Por otro lado, el río Atoyac que da origen al río Balsas se forma a partir de escurrimientos que bajan por la vertiente norte del Iztaccíhuatl desde una altitud de 4000 msnm en los límites de los estados de México y Puebla. En esta cuenca, donde se localizan las ciudades de Puebla, Atlixco y Tlaxcala hay un desarrollo industrial basado principalmente en fábricas textiles.

Sus afluentes intermedios son el río Atoyac-San Martín Texmelucan, el lago Totolzingo y el río Zahuapan. Este último es la principal corriente de Tlaxcala.

Región Hidrológica "Alto Pánuco" (RH. 26)

La región hidrológica "Alto Pánuco", a pesar de ser una de las más importantes del país, dentro del estado de Tlaxcala abarca una mínima extensión en la parte noroeste (límites con el estado de Hidalgo).

Región Hidrológica "Tuxpan-Nautla" (RH. 27)

La hidrografía de la región hidrológica "Tuxpan-Nautla" está integrada por ríos, lagunas, esteros y corrientes menores. Todas las corrientes comprendidas en la región pertenecen a la vertiente del Golfo de México. Aunque éstas están comprendidas prácticamente en el estado de Veracruz, cubren una zona importante en Puebla y áreas menores en Hidalgo y Tlaxcala.

2.1.5 Clima

El Estado de Tlaxcala posee en general, climas templados subhúmedos con lluvias de verano. Las precipitaciones medias anuales son más abundantes en el centro y sur, donde van de 600 a 1200 mm, en tanto que en el noroeste y oriente las lluvias son menores de 500 mm al año.

Los climas templados se presentan particularmente en los valles y las llanuras. El volcán de La Malinche, al sur del estado tiene un clima semifrío, excepto en su cumbre, donde el clima puede clasificarse como frío.

En algunas partes de la entidad se producen heladas y granizadas casi todo el año; factores que, junto con la escasez y la irregularidad de las lluvias, obstaculizan la actividad agrícola.

La temperatura media anual está entre 12 y 18 °C; la del mes más frío oscila entre 3 y 18 °C.

2.1.6 Sismicidad

El trabajo realizado sobre la sismicidad de la República Mexicana pone en evidencia la sismicidad mediana de la zona en estudio. De acuerdo a la carta sísmica de este estado, el subtramo se encuentra dentro de la zona sísmica B de la República Mexicana. En la página 18 se muestran las zonas sísmicas del país.

2.2 Medio socioeconómico

Para su gobierno y administración, Tlaxcala se divide en 44 municipios. La capital del estado es la ciudad de Tlaxcala, que es a la vez cabecera del municipio del mismo nombre.

La densidad de población (hab/km²) es mayor en los municipios urbano-industriales ubicados al centro y sur del estado como Tlaxcala (1.4), A. Carvajal (1.2), Zacatenco (1.0), Xicotécatl (1.0) y Xicohtzinco (0.9). El 76% de la población total del estado es urbana, mientras el 24% es rural.

El área de estudio que involucra la carretera Puebla Santa-Ana, tramo límites Puebla/Tlaxcala-El Molinito, subtramo km 4+800 a km 16+200, se localiza en los siguientes municipios.

MUNICIPIO	SUPERFICIE km ²	POBLACION	DENSIDAD DE POBLACIÓN hab/km ²
Mazatecochco	15 467	7 407	0.4
San Pablo del Monte	63 757	48 988	0.7
Tenancingo	17 336	9 597	0.5

El número total de localidades en el Estado de Tlaxcala es de 794, de las cuales 500 tienen menos de 100 habitantes y sólo hay 7 localidades que sobrepasan los 20,000 habitantes. El tramo carretero en estudio se encuentra en municipios que presentan pocas localidades.

Las tasas de participación económica oscilan entre 31.8 en el municipio de Xaltocan y 45.8 en el municipio de Tlaxcala. Esto indica que los municipios que abarcan este tramo se encuentran en un rango medio con excepción de San Pablo del Monte, que se ubica entre los 13 municipios del estado con mayor tasa de participación económica.

2.2.1 Actividades económicas

En los últimos años, el Estado de Tlaxcala ha experimentado una profunda transformación de sus sectores productivos. El sector primario ha sido superado por la industria y los servicios, lo que se traduce en una menor participación de la agricultura en la economía estatal.

2.2.2 Agricultura

Del total estatal de la superficie agrícola, el 11.7% pertenece a la zona de estudio.

La agricultura en esta zona es de importancia estratégica por ser el medio de autosubsistencia de muchas familias. El orden de importancia de los cultivos se presenta como sigue: maíz, haba, frijol, cebada y algunas leguminosas principalmente.

2.2.3 Ganadería

La actividad pecuaria ha sido reducida, ya que la mayor parte de las tierras se utilizan para cultivo. La cría de ganado bovino, porcino, caprino y ovino se desarrolla a pequeña escala en granjas familiares.

En el Municipio de Mazatecochco de José María Morelos predomina la cría de ganado bovino con un 65%, San Pablo del Monte con un 14% y Tenancingo con un 19%.

En cuanto al ganado porcino Mazatecochco sigue a la vanguardia con un 48%, Tenancingo con un 32% y San Pablo del Monte con un 19%.

El ganado ovino, caprino y avícola se practican en menor cantidad. Dentro de la zona de estudio predomina la producción porcícola con 3,667 cabezas, siguiéndole la crianza de aves con 3,511 cabezas y el ganado bovino con 2,367 cabezas. La producción de ganado ovino, caprino y avícola se presentan con 884, 420 y 239 cabezas, respectivamente.

2.2.4 Industria

Es evidente que la economía del Estado se ha venido desarrollando lenta y precariamente, si bien no todas las actividades muestran el mismo desarrollo, la industria en los últimos años ha registrado una evolución relativamente dinámica, ya que apenas en 4 años se crearon 34 empresas nuevas.

Actualmente el Estado cuenta con el mayor número de desarrollos industriales a nivel nacional, siendo 12 en total entre parques, áreas o corredores industriales. Los que se encuentran cercanos a nuestra zona de estudio son el corredor industrial La Malinche, el parque Industrial de Teolochoico, El corredor industrial de Apizaco-Xalostoc-Huamantla, el parque Industrial de Calpulalpan y el de Ixtacuixtla.

Por otro lado existen industrias que van en franca decadencia, como es el caso de la producción de magueyes, ya que el Patronato del Maguey fundado en 1961 no pareció ser la medida indicada.

Esta zona de estudio localizada en los límites de Puebla presenta un desarrollo industrial en franco avance, ya que cuenta con industria de alimentos.

La industria se ha diversificado sensiblemente en su producción, actualmente el grueso se concentra en la industria textil, que fabrica desde hilaturas hasta casimires y prendas de vestir.

Presenta servicios comerciales resultante de esta industria como son hospedaje, restaurantes, reparación de automóviles, cerrajería, herrería, sucursales bancarias, arrendamiento de servicios. En general predominan talleres de reparación, esto debido a la gran presencia de la industria. También se cuenta con una editorial que hace trabajos de impresión y encuadernación de libros, una fábrica de empaques y una fábrica de cerámica.

Por otro lado, también existen establecimientos comerciales de productos básicos como tendajones, farmacias, papelerías, tlapalerías, vidrierías, venta de carne, huevo, fruta, legumbres, así como de telas de algodón, ropa, zapatos y artículos de peltre,

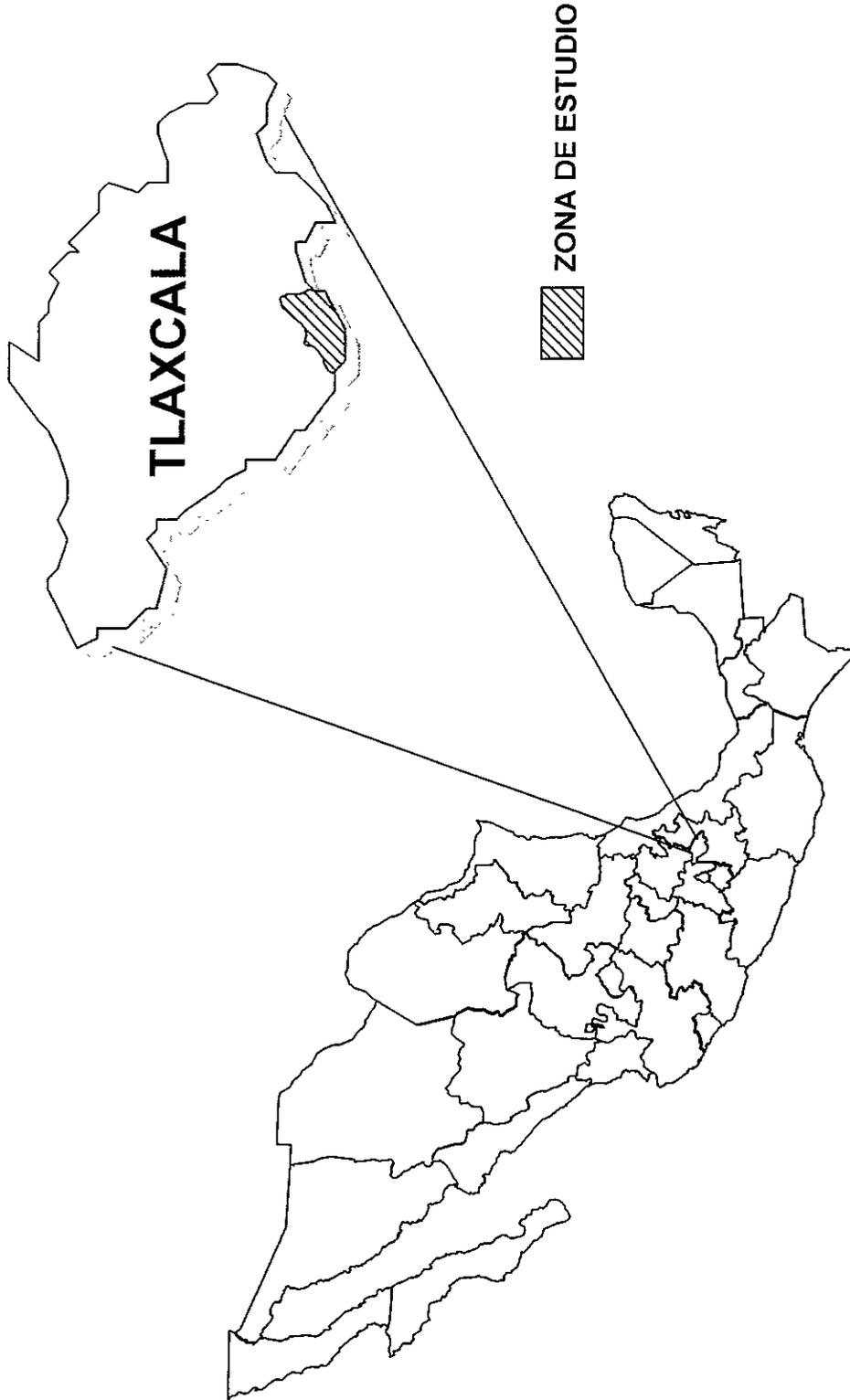
La región de Panzacola aloja fábricas de motores de combustión interna, de aguardiente, vinos y licores, materiales de piso y accesorios de la industria automotriz.

En general, el municipio de San Pablo del Monte cuenta con 10 unidades económicas dedicadas a actividades comerciales, Tenancingo cuenta con 25 unidades comerciales y Mazatecochco cuenta con 313.

San Pablo del Monte cuenta con 48 escuelas 444 personas docentes, Tenancingo cuenta con 12 escuelas y 100 maestros, mientras que para Mazatecochco cuenta con 6 escuelas y 56 maestros.

2.3 Antecedentes de construcción y de conservación

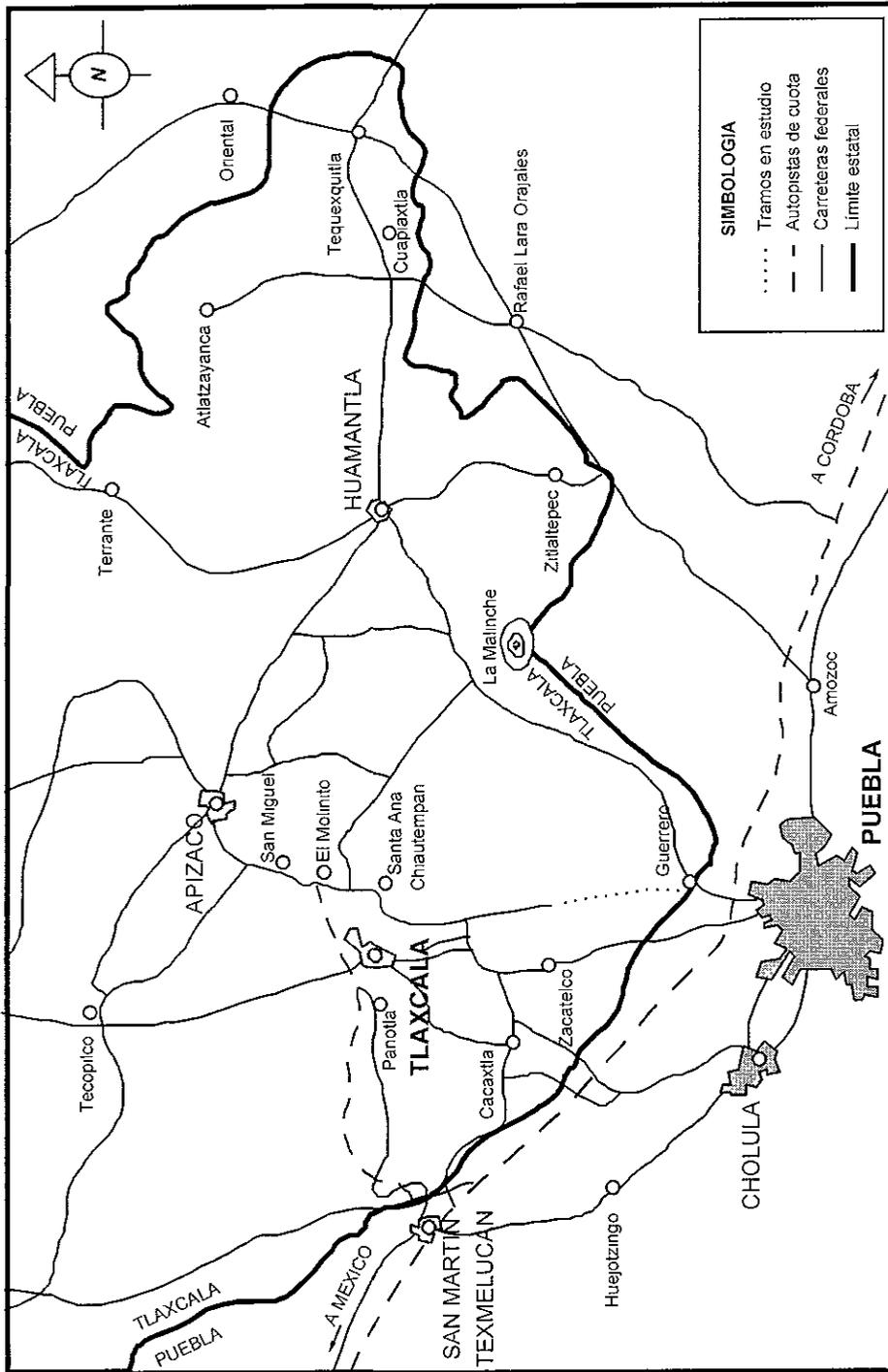
Los trabajos de conservación del subtramo en estudio han consistido en bacheo y construcción de sobrecarpetas asfálticas. No se dispone de información relativa a las fechas en que se puso en operación este subtramo, ni de los trabajos de conservación realizados.



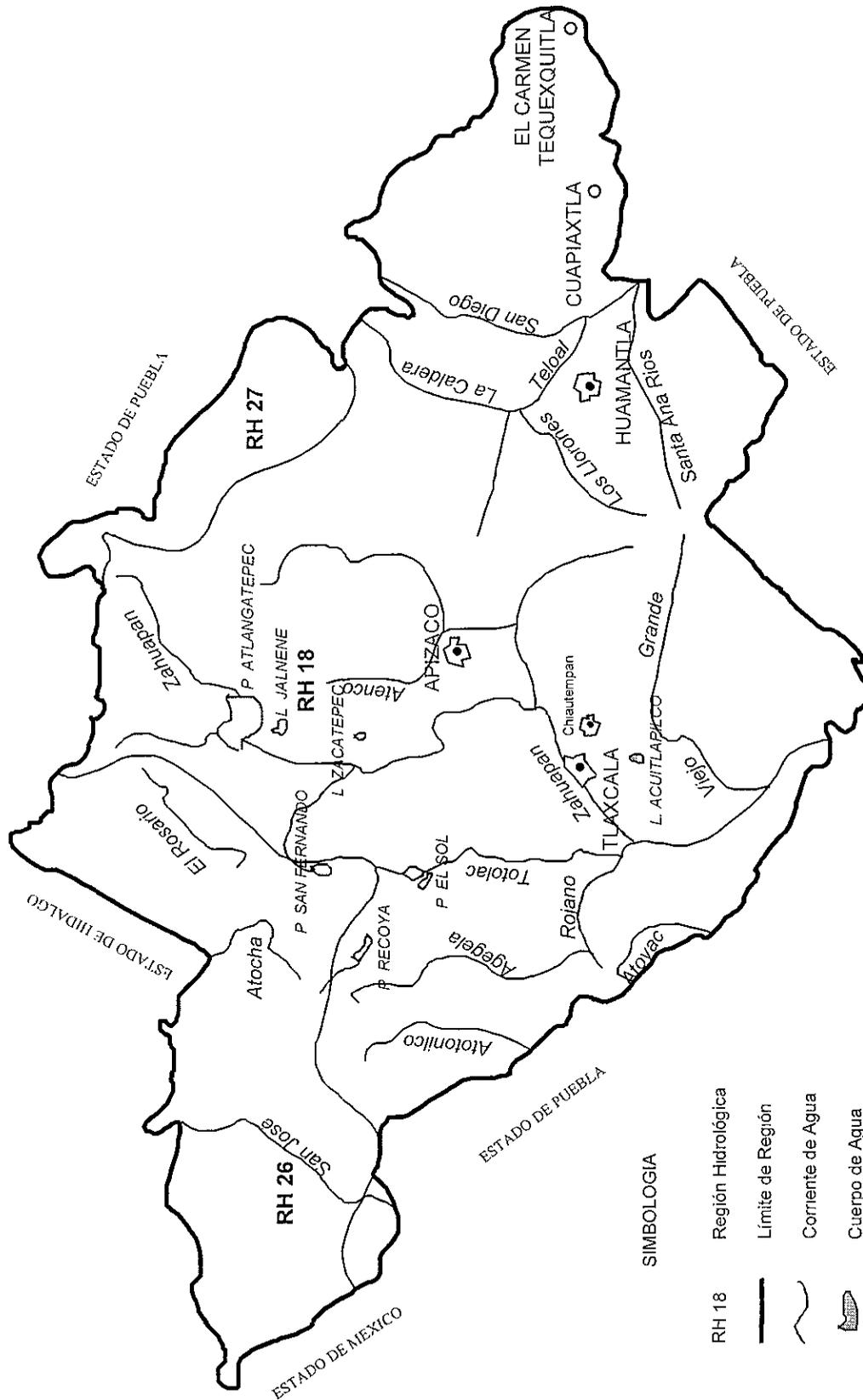
LOCALIZACION

CARRETERA: SANTA ANA-APIZACO
TRAMO: LIMITES EDO. TLAXCALA-EL MOLINITO
SUBTRAMO: km 4+800 A 16+200

CARRETERA: PUEBLA - SEFANA - APIZACO
 TRAMO: LIMEDOS, PUE. TLAX. - EL MOLINITO



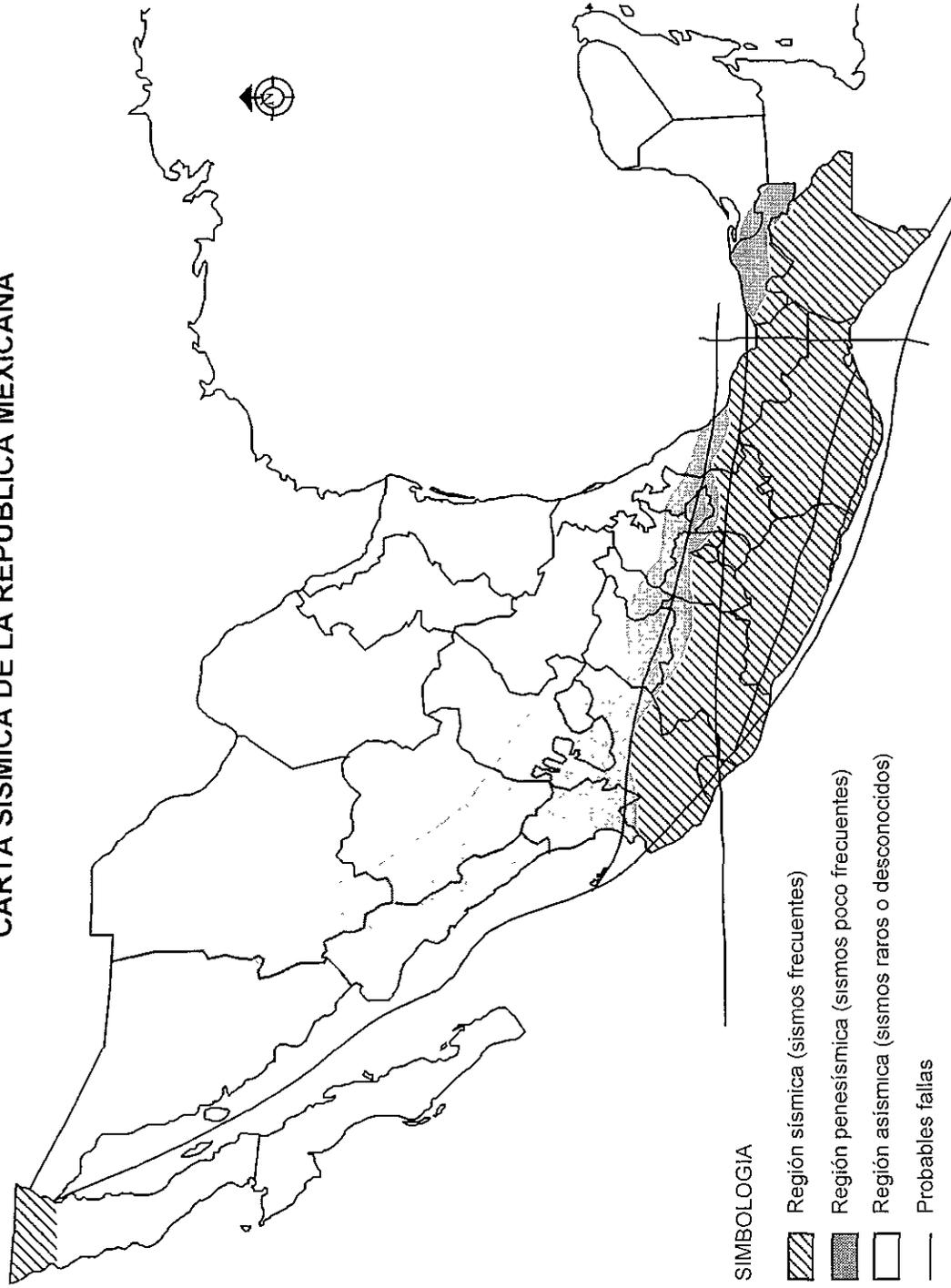
HIIDROLOGIA DEL EDO. DE TLAXCALA



SIMBOLOGIA

RH 18	Región Hidrológica
—	Límite de Región
~	Corriente de Agua
▭	Cuerpo de Agua
○	Localidad

CARTA SISMICA DE LA REPUBLICA MEXICANA



SIMBOLOGIA

- Región sísmica (sismos frecuentes)
- Región penesísmica (sismos poco frecuentes)
- Región asísmica (sismos raros o desconocidos)
- Probables fallas

FUENTE "Catálogo de sismos ocurridos en la República Mexicana" Jesús Figueroa A.
Publicación 272 del Instituto de Ingeniería de la UNAM, Agosto 1970

CAPITULO III EVALUACION TECNICA

3.1 Calificación visual

3.1.1 Índice de Servicio Actual (ISA)

Es la apreciación personal subjetiva de un grupo de ingenieros especializados, sobre la facilidad que ofrece un camino para ser recorrido en forma segura, cómoda y agradable.

Para calificar un camino se consideran diversos elementos, los cuales se evalúan de acuerdo a su importancia para proporcionar un servicio eficiente.

La evaluación debe conciliar los puntos de vista del calificador. El índice de servicio actual se conforma mediante la calificación ponderada de los siguientes elementos: corona, drenaje, zonas laterales del derecho de vía, señalamiento, obras diversas, servicios y estructuras.

La calificación que se otorgue a un elemento se referirá siempre a toda la sección considerada, por lo que dicha calificación debe reflejar el estado promedio que guarda el elemento calificado, dentro de la propia sección de 1 km.

Para poder calificar se deberá circular a una velocidad promedio de 80 km/h.

Se procedió a realizar un recorrido detallado al subtramo en estudio, con el fin de darle una calificación de servicio actual. La escala de calificación comprende desde **0** para un pavimento intransitable hasta **5** para un pavimento excelente; los valores intermedios de calificación de servicio del pavimento son: **1 a 2** (malo), **2 a 3** (regular) y **3 a 4** (bueno).

Tomando en cuenta lo anterior, se calificó el subtramo como se indica en el formato con datos de ISA que se presenta al final de este capítulo en las páginas 44 y 45. El subtramo se calificó, según la escala anterior, como regular.

3.1.2 Levantamiento de deterioros

Los principales tipos de daños que sufre un pavimento, se pueden agrupar de la siguiente forma:

1) Grietas

Aparecen sobre la superficie de rodamiento provocadas por deformaciones o insuficiencia estructural del pavimento.

- a) Piel de cocodrilo. Grietas que forman una serie de pequeños bloques sobre la superficie de la carpeta asfáltica.
- b) Grietas longitudinales. Pueden ser causadas por asentamientos del material subyacente debido al poco drenaje o mala compactación.
- c) Grietas transversales. Pueden ser causadas por asentamientos del material subyacente debido al poco drenaje o mala compactación
- d) Grietas en el hombro de la estructura. causadas por la separación de la junta entre el pavimento y el hombro Esto puede deberse, entre otras cosas, al humedecimiento y secado del material subyacente al hombro.

e) Agrietamiento de reflexión. Estas son grietas en el pavimento que se reflejan de las capas inferiores del pavimento; pueden ser longitudinales, transversales, diagonales o de bloque. Este tipo de grietas son causadas por movimientos verticales y horizontales en el pavimento, por expansión y contracción debido a cambios de temperatura.

f) Agrietamiento de mapa. Grietas en forma indefinida sobre la superficie de la carpeta asfáltica, son el reflejo de las capas inferiores del pavimento.

2) Deformaciones

Es cualquier cambio en la superficie del pavimento con respecto a la forma original del mismo.

a) Roderas. Son depresiones en forma de canal que se presentan en la superficie del pavimento. Estas se asocian a efectos acumulativos tales como: roturas de partículas, deformaciones verticales en la capa subrasante y migración de partículas, entre otros.

b) Deformaciones transversales y longitudinales. Son deformaciones que se presentan cuando existe exceso de asfalto y un alto contenido de finos

c) Superficie ondulada. Son ondulaciones que generalmente aparecen en la carpeta asfáltica de manera transversal. Usualmente éstas ocurren en lugares donde los vehículos frenan y arrancan. También una mezcla rica en asfalto puede provocar tal distorsión.

3) Baches

Este tipo de daño se origina por el escaso drenaje en las capas inferiores, favoreciendo así la presencia de agua en los poros existentes entre partículas.

a) Calavereo. Son pequeños baches de varios tamaños y son el resultado de la desintegración localizada del pavimento. Algunas causas son debilidad en el pavimento, poco asfalto, pérdida de finos y falta de drenaje.

Al aplicarse cargas en el pavimento se generan presiones de poro lo suficientemente grandes para transportar partículas en forma ascendente. Tal migración origina huecos que más tarde serán llenados después de un desplazamiento vertical (reacomodo) de la estructura. Dicho desplazamiento repercutirá en la superficie del pavimento, agrietándola. Debido al paso de los vehículos se provoca el desprendimiento de la carpeta asfáltica.

4) Riesgo de derrape

Estos deterioros provocan inseguridad al conductor y están muy ligados a la cantidad de asfalto aplicado durante la construcción.

a) Exudación de asfalto. Es el flujo o movimiento de asfalto hacia la superficie de la carpeta. Esto ocurre generalmente en climas cálidos y es causado por el exceso de asfalto de la mezcla asfáltica.

b) Pulimento de agregados. Es debido a que los agregados pétreos no tienen la dureza necesaria y se desgastan al paso de los vehículos.

c) Pérdida de agregado grueso y fino. Este deterioro se presenta cuando no existe el suficiente asfalto o los agregados no son compatibles con este, lo que lleva a un desprendimiento y pérdida de los agregados.

d) Inestabilidad. Es una deformación debida al exceso de asfalto y usualmente ocurre en los sitios en donde los autos frenan y en la parte externa de las curvas.

Se efectuó un levantamiento detallado de daños en el subtramo en estudio, para establecer el estado actual del deterioro en el pavimento. Este levantamiento se realizó por kilómetro, tal y como se indica en las tablas y figuras que se presentan al final de este capítulo, página 46 a 50.

A continuación se presenta la relación de los deterioros que se levantaron, así como la calificación que le corresponde de acuerdo al grado de severidad.

DETERIOROS

Pérdida de agregado grueso

Pérdida de agregado fino

Exudación de asfalto

Pulimento de agregados

Calavereo

Superficie ondulada

Inestabilidad

Deformaciones transversales

Deformaciones longitudinales

Rodera

Agrietamientos transversales

Agrietamientos longitudinales

Agrietamientos de mapa

Agrietamientos piel de cocodrilo

Agrietamientos de reflexión

Baches reparados

Baches sin reparar

CALIFICACION DE ACUERDO AL GRADO DE SEVERIDAD

- 1 Muy ligera
- 2 Ligera
- 3 Moderada
- 4 Severa
- 5 Muy severa

3.2 medición técnica de desplazamientos

a) Generalidades

El conocimiento de los parámetros que rigen el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales constitutivos (caracterización) es de suma importancia. Un indicador de la capacidad estructural de un pavimento y su consecuente comportamiento es la respuesta (en forma de desplazamiento vertical) a la aplicación de una carga. Debido a esto y con la finalidad de conocer el espectro de desplazamientos, se realizaron pruebas no destructivas con equipo dinámico especial FWD-2m (Falling Weight Deflectometer de doble masa marca KUAB), que se muestra en la página 51.

b) Medición de desplazamientos verticales

Seleccionar el tipo de rehabilitación en un pavimento es una decisión de considerable significado económico. Por ello, tomar una decisión sin tener el adecuado conocimiento de la condición estructural del pavimento, puede acarrear consecuencias muy costosas. Por tal motivo, el equipo utilizado para conocer la condición estructural del pavimento (a través de lecturas de desplazamiento vertical) es el KUAB-2m-FWD.

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

El equipo almacena en una computadora los valores de desplazamiento vertical de cada uno de los sismómetros. Esta información posteriormente es procesada mediante programas especiales de cómputo, para conocer los valores de los módulos elásticos de las diferentes capas que forman el pavimento.

Se seleccionó la rodada derecha de cada carril para efectuar la medición de desplazamientos verticales. En el carril de baja velocidad a cada 100 m y en el de alta a cada 200 m.

Los resultados de la medición de desplazamientos verticales se pueden observar en las páginas 52 y 53, donde se graficaron el cadenamiento (eje horizontal) y el desplazamiento vertical registrado en cada sismómetro o sensor (eje vertical). Cada una de las gráficas tiene el registro de los 7 sensores (S0, S1, S2, S3, S4, S5 y S6). Es importante mencionar que en cada gráfica aparece el promedio de carga aplicada, la cual es del orden de 6 t. Esta carga resulta ligeramente superior a la carga producida por un eje sencillo (4 llantas) de 11 t.

c) Calificación estructural del pavimento

En cada medición efectuada con el equipo KUAB se procedió a obtener el área comprendida entre la curva de los desplazamientos verticales registrados y los ejes cartesianos. En la página 54 se muestran dos curvas típicas de desplazamientos verticales, donde se graficaron los valores registrados por los 7 sismómetros (en el eje vertical) y la distancia de éstos a partir del punto de impacto (eje horizontal). A esta área se le denominó Índice Estructural (I_e), el cual está expresado en mm^2 . El valor de I_e proporciona un indicador cualitativo muy útil para conocer la condición estructural del pavimento, ya que toma en cuenta todos los desplazamientos verticales registrados por los sismómetros y, por consecuencia, considera la respuesta producida por las capas que forman el pavimento.

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

CALIFICACION	I_e
ESTRUCTURAL	(mm²)
10 Excelente	< 100
9 Muy buena	100 a 200
8 Buena	200 a 400
7 Regular	400 a 800
6 Mala	800 a 1600
5 Pésima	> 1600

En los ejemplos de la pagina 54 se obtuvo una calificación estructural de **9** (muy buena) para el caso de un desplazamiento vertical menor y de **6** (mala) cuando el desplazamiento vertical es mayor, lo que corresponde a un $I_e = 115 \text{ mm}^2$ y 1481 mm^2 , respectivamente.

En las páginas 55 y 56 se presentan los valores de I_e para el subtramo estudiado. Se observa que la calificación está entre **7** y **6** (regular a mala , respectivamente).

d) Módulos elásticos de las capas

Con ayuda de un programa especial de computadora se calcularon los módulos elásticos de los materiales que forman el pavimento (carpeta, base sub-base, y capas inferiores), a partir de los desplazamientos verticales medidos con el Equipo KUAB, de la carga aplicada y de los espesores de capa.

El procedimiento para calcular los módulos elásticos de las capas del pavimento es el siguiente:

- a) Con la carga aplicada por el KUAB, los espesores de las capas del pavimento y sus módulos elásticos propuestos, se calculan los desplazamientos debajo de los sensores. Estos desplazamientos calculados se comparan con los medidos por el KUAB.

- b) Si los desplazamientos verticales calculados son muy diferentes a los medidos, entonces se proponen otros valores de módulos elásticos de las capas del pavimento. Con esto se calculan nuevamente los desplazamientos verticales.

- c) El proceso se repite hasta que los valores de los desplazamientos verticales calculados y medidos converjan. En este momento se conocen los valores de los módulos elásticos de las capas del pavimento para la condición "in situ".

En las paginas 57 y 58 se observan gráficamente los módulos elásticos obtenidos para la carpeta asfáltica.

Por lo que se refiere a las capas debajo de la carpeta asfáltica (base, sub-base, subrasante, cuerpo de terraplén y terreno natural), en las páginas 59 y 60 se presentan los módulos elásticos correspondientes.

El patrón de comparación para los módulos elásticos obtenidos es el siguiente:

CAPA	MODULOS ELASTICOS (kg/cm²)
Carpeta	30,000 a 40,000
Base	3,000 a 5,000
Sub-base	2,000 a 4,000
Capas inferiores	300 a 1,500

e) Exploración y muestreo

La exploración a lo largo del subtramo estudiado se realizó mediante 6 pozos a cielo abierto, de los cuales se extrajeron muestras representativas que posteriormente se sometieron a los correspondientes ensayos de laboratorio.

La ubicación de los sondeos se muestra en la página 61. Los espesores de las capas que constituyen el subtramo en estudio se indican a continuación:

SONDEO	km	ESPESOR DE CAPA	(cm)	DESCRIPCION
1	6.00	Carpeta	10	-
		Base	15	Grava arcillosa
		Sub-base	10	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa
2	8.00	Carpeta	16	-
		Base	15	Grava arcillosa
		Sub-base	8	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa
3	10.00	Carpeta	13	-
		Base	15	Grava arcillosa
		Sub-base	16	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa
4	12.00	Carpeta	11	-
		Base	17	Grava arcillosa
		Sub-base	15	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa
5	14.15	Carpeta	15	-
		Base	22	Grava arcillosa
		Sub-base	15	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa
6	16.00	Carpeta	14	-
		Base	20	Grava arcillosa
		Sub-base	16	Grava arcillosa
		Terracería	variable	Arena arcillosa

f) Ensayes de laboratorio

De la página 62 a la 74 se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a todas las muestras extraídas de los sondeos.

De acuerdo con la información presentada en este capítulo, el subtramo en estudio se zonificó como se indica a continuación:

DEL km	AL km	ESPESOR (cm)		
		CARPETA	BASE	SUB-BASE
4.8	7.0	12	13	10
7.0	13.0	14	13	20
13.0	16.8	14	21	15

g) Determinación de las causas de deterioro

1) Condiciones actuales

Al observar los desplazamientos verticales se puede apreciar que son de magnitud considerable, lo cual es un indicio de cierta incapacidad estructural.

Si nos remitimos a la calificación estructural también se observa esta incapacidad estructural prácticamente en todo el subtramo.

Finalmente en los valores de los módulos elásticos de las capas que forman el pavimento, se detecta que los módulos elásticos correspondientes a las capas de base y sub-base son bajos.

Los deterioros que se aprecian en la superficie de rodamiento se asocian a esta falta de capacidad portante, ocasionada por un proceso de fatiga.

Adicionalmente a este proceso de fatiga, también se aprecia que la capa de base está constituida por una grava arcillosa cuyo valor relativo de soporte es bajo y además el contenido de finos en ocasiones es alto, lo que provoca que a pesar de ser minoría, el comportamiento estructural de dicha capa se ve influenciado por este material fino.

3.3 Estudio de los pavimentos

3.3.1 Principios básicos del Método de Elementos Finitos (MEF)

a) Generalidades

Dentro de este estudio se analizan técnicamente 3 alternativas de solución para restituir la capacidad estructural del pavimento. En el siguiente capítulo se describen estas alternativas y se presenta una evaluación económica de cada una de ellas.

ALTERNATIVA I. Corte y recuperación de 25 cm del pavimento existente con adición de cemento Portland al $6 \pm 1\%$. Sobre esta capa rigidizada construir una carpeta asfáltica de 7.5 cm de espesor.

ALTERNATIVA II. Corte y recuperación de 25 cm del pavimento existente con adición de emulsión asfáltica para formar una base asfáltica. Sobre esta capa recuperada construir una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor.

ALTERNATIVA III Corte y retiro de 20 cm del pavimento existente. Reposición con material granular de los 20 cm de corte. A continuación construcción de una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor.

Con la finalidad de conocer el comportamiento de la estructura del pavimento bajo solicitaciones (cargas de los vehículos), en este estudio se utilizó el MEF, ya que es un procedimiento que permite evaluar el estado de esfuerzos y deformaciones en un medio continuo. Básicamente consiste en discretizar el medio en un número finito de elementos de formas arbitrarias, interconectadas en sus fronteras por nodos comunes a dos o más elementos.

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

b) Programa de computadora

Para aplicar este método (MEF) y dada la complejidad del análisis, se requiere el auxilio de la computadora. Por lo tanto, a partir de los principios básicos del MEF y de las ecuaciones matriciales obtenidas, es necesario aplicar un programa de computadora que resuelva los problemas planteados en forma relativamente sencilla.

Para la utilización de este programa se requiere construir una malla de elementos finitos como la que se presenta en la página 75, que, para el caso particular de este estudio, consta de 144 elementos sólidos y 171 nodos.

c) Casos simulados

Con ayuda del programa del MEF, se simularon 12 diferentes estructuraciones agrupadas por condiciones similares en espesores y propiedades mecánicas de las capas. Estas estructuraciones se muestran en las tablas de las páginas 76 a la 79.

d) Resultados obtenidos

En las Tablas de las páginas 80 a 83 se presentan los resultados obtenidos de las 12 simulaciones efectuadas. Debido a que los archivos de salida del programa son demasiado grandes, se consideró conveniente incluir en estas tablas solamente los resultados más importantes (deformaciones unitarias máximas a compresión y a tensión o los esfuerzos máximos de tensión).

e) Análisis de fatiga

1) Generalidades

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

1. La máxima deformación unitaria a tensión (horizontal) en el plano inferior de la carpeta asfáltica.
2. La máxima deformación unitaria a compresión (vertical) de las capas inferiores a la carpeta asfáltica.

3. El esfuerzo máximo de tensión en el plano inferior de las capas del pavimento, cuando están rigidizadas.

A partir de estos datos obtenidos con el MEF, se procede a realizar el análisis de fatiga para determinar el número de ciclos necesario para llegar a la falla en las capas del pavimento y a su vida esperada.

2) Número de ciclos a la falla

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

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

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

en donde:

ε_v = deformación unitaria máxima a compresión

Para el caso de la carpeta asfáltica, se utilizó la siguiente expresión.

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

en donde:

ε_t = deformación unitaria máxima a tensión

En las capas rigidizadas se utilizó la siguiente correlación:

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

en donde:

σ_t = esfuerzo máximo de tensión en la capa rigidizada

En las páginas 80 a 83 se presentan los valores de N_f obtenidos al aplicar las Ecs. 1, 2 y 3.

3) Vida esperada

Puesto que se obtienen hasta 3 valores de N_f para cada una de las cargas consideradas (6.5, 11, 18 y 19.5 t), según se indica en las Tablas de las páginas 80 a 83, en los análisis subsecuentes solamente se deberá utilizar el valor menor de N_f . Por otra parte, debido a que se tienen resultados para los tipos de vehículo (B2, C3 y T3-S2) considerados y su número diario de aplicaciones es diferente, se necesita tomar en cuenta conjuntamente todos los valores de N_f (mínimos), con el fin de estimar el daño que recibirá el pavimento durante su vida esperada. Esto se logra al aplicar la Ley de Miner, por medio de la cual se acumulan los daños causados por cargas diferentes. Esta ley establece que la condición de falla se alcanza cuando:

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

en donde

- n_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que se tienen previstas durante la vida esperada
- N_i = número de aplicaciones de carga para el eje considerado, que puede resistir el pavimento. Se obtiene al aplicar las ecuaciones de fatiga
- e = número total de tipos de ejes considerados

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

Conviene señalar que en el punto 3.4 de este mismo capítulo se analiza con detalle el tránsito diario promedio anual utilizado en los siguientes cálculos.

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

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

en donde:

- E_o = número total de aplicaciones de carga del eje considerado, el primer día del período de análisis
- r = tasa de crecimiento vehicular anual (decimales)
- a = vida esperada (años)

De acuerdo con las consideraciones tomadas en el estudio de tránsito el valor de r es igual a 3.1 %, la vida esperada (a) para las diferentes estructuraciones analizadas se obtiene al sustituir la Ec. 5 en la Ec. 4, es decir:

$$\frac{365}{Ln(1.031)} \left[(1.031)^a - 1 \right] \sum_{i=1}^e \frac{E_{oi}}{N_i} = 1 \quad (6)$$

en donde:

E_{0i} = número total de aplicaciones de carga del eje i , el primer día del período de análisis (el subíndice "i" corresponde a la sumatoria).

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

En las páginas 84 a 87 se presenta la vida esperada para las diferentes estructuraciones propuestas y la condición actual.

3.3.2 Análisis de resultados

La vida esperada para la condición actual oscila entre 0 y 0.2 años (página.84). Se consideró reforzar la estructura del pavimento para aumentar esta vida esperada.

Para la primera alternativa la vida esperada varía entre 15.8 años y 17.1 años (página 85). La segunda alternativa alcanzó una vida esperada entre 13.2 y 15.7 años (página 86). Finalmente la tercera alternativa tiene una vida esperada que fluctúa entre 10.4 y 12.6 años (página 87).

3.4 ESTUDIOS DE TRANSITO

3.4.1 Análisis del tránsito diario promedio anual

a) Introducción

Como parte de este estudio, se realizaron una serie de trabajos de campo y de gabinete para determinar el tránsito diario promedio anual (TDPA) en una estación maestra ubicada en el km 14.

b) Aforos vehiculares

Estos trabajos se efectuaron durante la semana del 11 al 17 de noviembre de 1996. En general, los aforos vehiculares iniciaron a las 7:00 h y terminaron a las 19:00 h, con excepción del domingo 17 de noviembre, en que los trabajos se efectuaron durante 24 h continuas. Los volúmenes de tránsito fueron ordenados por intervalos de quince minutos y clasificados por tipo de vehículo y sentido de circulación. Los tipos de vehículo considerados fueron los siguientes:

1. Automóvil (A)
2. Autobús (B)
3. Camión (C)
4. Tractocamión con semirremolque (T-S)

De la página 88 a la 102 se presenta la información detallada de los aforos vehiculares correspondientes a la estación maestra utilizada.

De acuerdo con los aforos vehiculares realizados el domingo 17 de noviembre, aproximadamente el 70 % de los vehículos circulan en el período comprendido entre las 7:00 y las 19.00 h. Los volúmenes de tránsito registrados durante el período de observación y en un sentido de circulación son los siguientes:

DIA	DURACION DEL PERIO DE OBSERVACION (h)	VOLUMENES DE TRANSITO (VEHICULOS) EN LA ESTACION
Lunes	12	5,436
Martes	12	5,534
Miércoles	12	5,796
Jueves	12	5,967
Viernes	12	5,679
Sábado	12	5,748
Domingo	24	8,136

En la página 103 se incluye una lámina donde se presenta la variación del volumen de tránsito horario registrado en la estación con la hora del día para el 17 de noviembre de 1996.

c) Estimación del tránsito diario promedio anual

Como primer paso, los volúmenes de tránsito de los seis días en que el período de observación fue de 12 h se convirtieron a volúmenes de tránsito diario. Esta conversión se realizó a partir de la distribución horaria del tránsito obtenida el 17 de noviembre. El tránsito diario promedio anual (TDPA) se calculó mediante una media aritmética ponderada, utilizando los volúmenes de tránsito totales diarios y los factores de ponderación siguientes: 1 para los días de menor circulación y 1.05 para los días de mayor circulación.

d) Estimación de la distribución del tránsito por tipo de vehículo

Mediante un procedimiento similar al descrito en el inciso anterior, se estimó la distribución del tránsito por tipo de vehículo en un sentido.

A	77 %
B	6 %
C	9 %
T-S	8 %

e) Resultados

Primero. Con base en los diversos análisis realizados con los datos de tránsito recopilados se determinó el siguiente TDPA en un sentido:

8,338 vehículos/día

Segundo. En cuanto a la distribución del tránsito por tipo de vehículo, se obtuvieron los siguientes valores:

A	77 %
B	6 %
C	9 %
T-S	8 %

Tercero. El número de aplicaciones iniciales de carga de los vehículos considerados es:

A2	2,889
B2	225
C3	338
T3-S2	300

Cuarto. Para determinar la tasa anual de crecimiento vehicular se recurrió a investigar datos de tránsito en años anteriores, sin embargo, la información disponible resultó escasa y no muy confiable, por lo tanto se recurrió a consultar el programa de desarrollo económico municipal (Ley Estatal del estado de Tlaxcala 1993-1999 y perfil socioeconómico. XI Censo General de Población y Vivienda, 1990, INEGI), de donde se obtuvo la siguiente información:

MUNICIPIO	PROYECCION DEL CRECIMIENTO ECONOMICO (%)
San Pablo del Monte	3.2
Mazatecochco	2.1
Tenancingo	3.8

Este crecimiento económico se ponderó con la superficie de cada municipio por donde cruza el subtramo en estudio. Como resultado se obtuvo un crecimiento de 3.1 % anual. El cual se tomó como tasa de crecimiento vehicular.

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana- Apizaco
 TRAMO: Lim. Edos. Pue/TIax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A
 CARRIL: Baja
 FECHA: 8-Nov-96

DETERIORO	DE km A km															
	4-8-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-16.2	CAL	%	
PERDIDA DE AGREGADO GRUESO			3	20												
PERDIDA DE AGREGADO FINO																
EXUDACION DE ASFALTO		2	30	1	10											
PULIMENTO DE AGREGADOS		2	30	1	20	1	10	2	30	3	20	1	10	2	10	
CALAVERO	1	1	10	3	20	1	20	2	10							
SUPERFICIE ONDULADA																
INESTABILIDAD	2	10	3	20	3	20	1	10	1	10	1	10	2	20		2
DEFORMACIONES TRANSVERSALES																
DEFORMACIONES LONGITUDINALES																
RODERAS	3	10	2	30	2	20	1	10	2	20	2	30	1	20	3	20
AGRIETAM LONGITUDINALES																
AGRIETAM TRANSVERSALES																
AGRIETAM DE MAPA	2	50	2	60	3	20										
AGRIETAM PIEL DE COCODRILO	3	30	2	70	4	20	4	80	3	10						
AGRIETAM DE REFLEXION						1	1									
BACHES REPARADOS		4	60	3	20	4	60	4	20							
BACHES SIN REPARAR																

CALIFICAR LA SEVERIDAD COMO

- MUY LIGERA 1
- LIGERA 2
- MODERADA 3
- SEVERA 4
- MUY SEVERA 5

Nota La columna con el signo %, indica el porcentaje del área dañada con respecto al km evaluado.

OBSERVACIONES:

CARRETERA: Puebla-Sta Ana- Apizaco
 TRAMO: Lim Edos. Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4 8 a km 16.2
 CUERPO: A
 CARRIL: Alta
 FECHA: 8-Nov-96

DETERIORO	DE km A km													
	4 8 - 5	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 16	16 - 16.2	
	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	CAL. %	
PERDIDA DE AGREGADO GRUESO			3 20											
PERDIDA DE AGREGADO FINO														
EXUDACION DE ASFALTO														
PULIMENTO DE AGREGADOS	1 30	1 30	1 30	1 10	2 30	1 20	1 10	1 20	1 20					
CALAVERO	1 1	1 30	1 30	1 10							1 10	1 10	1 10	
SUPERFICIE ONDULADA														
INESTABILIDAD	2 20	1 10		1 10				1 10	1 10	1 1			1 1	
DEFORMACIONES TRANSVERSALES														
DEFORMACIONES LONGITUDINALES														
RODERAS	3 30	2 30	2 30		1 10	1 10	1 10	2 10	1 20	1 20	1 10	1 20		
AGRIETAM LONGITUDINALES														
AGRIETAM TRANSVERSALES														
AGRIETAM DE MAPA	3 30	2 40	4 20	1 20		2 30	2 20	1 30	2 30	1 20	2 20	2 20	2 40	
AGRIETAM PIEL DE COCODRILO	2 20	2 30	3 20		2 20					2 10				
AGRIETAM DE REFLEXION														
BACHES REPARADOS	4 60			1 1	3 10		1 1	1 1	1 1	1 10				
BACHES SIN REPARAR														

CALIFICAR LA SEVERIDAD COMO:

- MUY LIGERA 1
- LIGERA 2
- MODERADA 3
- SEVERA 4
- MUY SEVERA 5

Nota La columna con el signo %, indica el porcentaje del área dañada con respecto al km evaluado

OBSERVACIONES:

RESUMEN DE DETERIOROS

Pérdida de agregado grueso

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	400	1.75
4	-	-
5	-	-
Total	400	1.75

Pérdida de agregado fino

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Exudación de asfalto

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	300	1.32
2	1,100	4.82
3	700	3.07
4	-	-
5	-	-
Total	2,100	9.21

Pulimento de agregados

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	1,400	6.14
2	1,000	4.39
3	500	2.19
4	-	-
5	-	-
Total	2,900	12.72

Calavereo

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	820	3.60
2	200	0.88
3	700	3.07
4	-	-
5	-	-
Total	1,720	7.54

Superficie ondulada

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Inestabilidad

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	520	2.28
2	1,200	5.26
3	600	2.63
4	-	-
5	-	-
Total	2,320	10.18

Deform. transversales

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Deform. longitudinales

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Rodera

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	1,100	4.82
2	2,100	9.21
3	1,800	7.89
4	-	-
5	-	-
Total	5,000	21.93

Agriet. longitudinales

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Agriet transversales

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	0	0.00

Agriet. tipo "mapa"

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	700	3.07
2	4,900	21.49
3	1,600	7.02
4	200	0.88
5	-	-
Total	7,400	32.46

Agriet. tipo "piel de cocodrilo"

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	1,900	8.33
3	1,000	4.39
4	1,000	4.39
5	-	-
Total	3,900	17.11

Agriet. de reflexión

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	10	0.04
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
Total	10	0.04

Baches reparados

Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	340	1.49
2	200	0.88
3	400	1.75
4	2,000	8.77
5	-	-
Total	2,940	12.89

Baches sin reparar

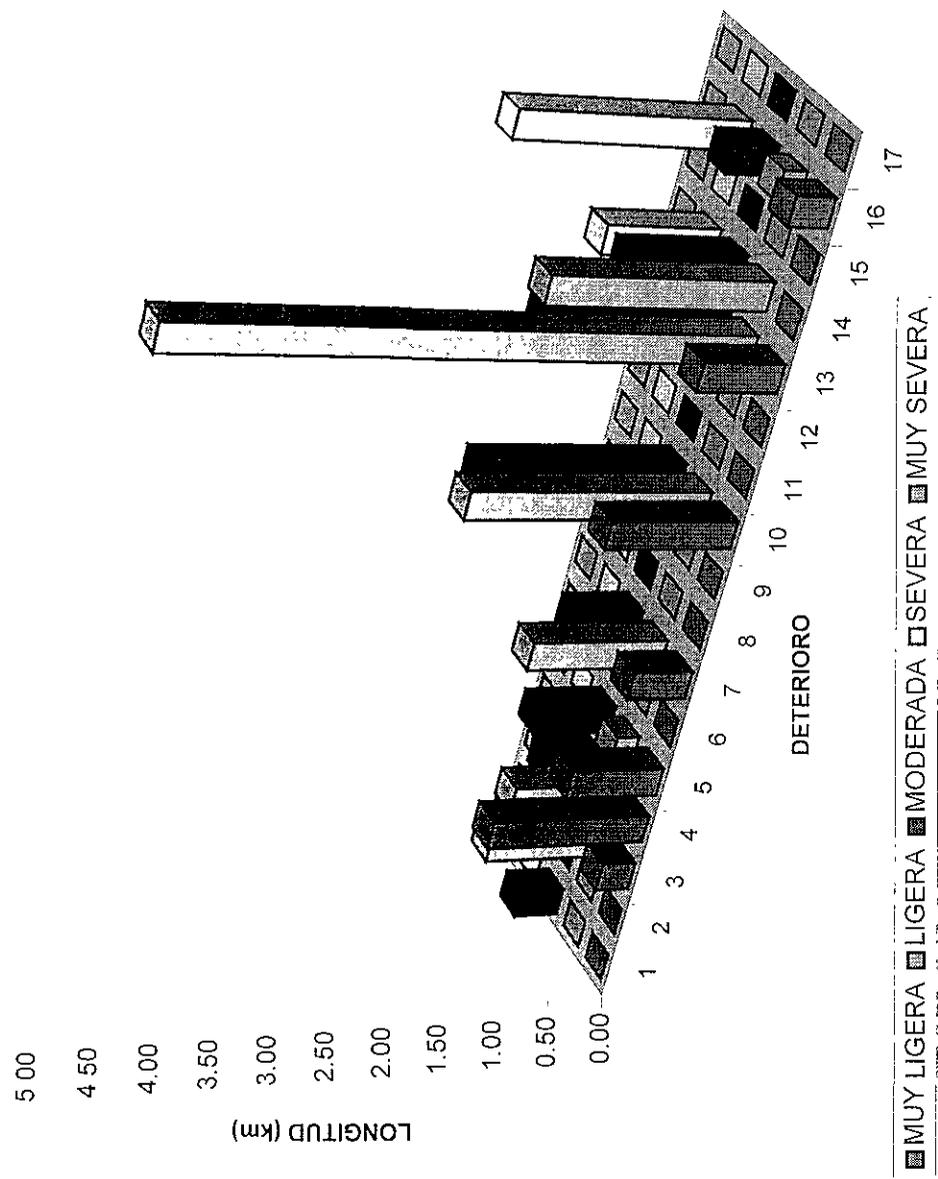
Calif.	Longitud (m-carril)	%
1	-	-
2	-	-
3	10	0.04
4	-	-
5	-	-
Total	10	0.04

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS PUE/TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2

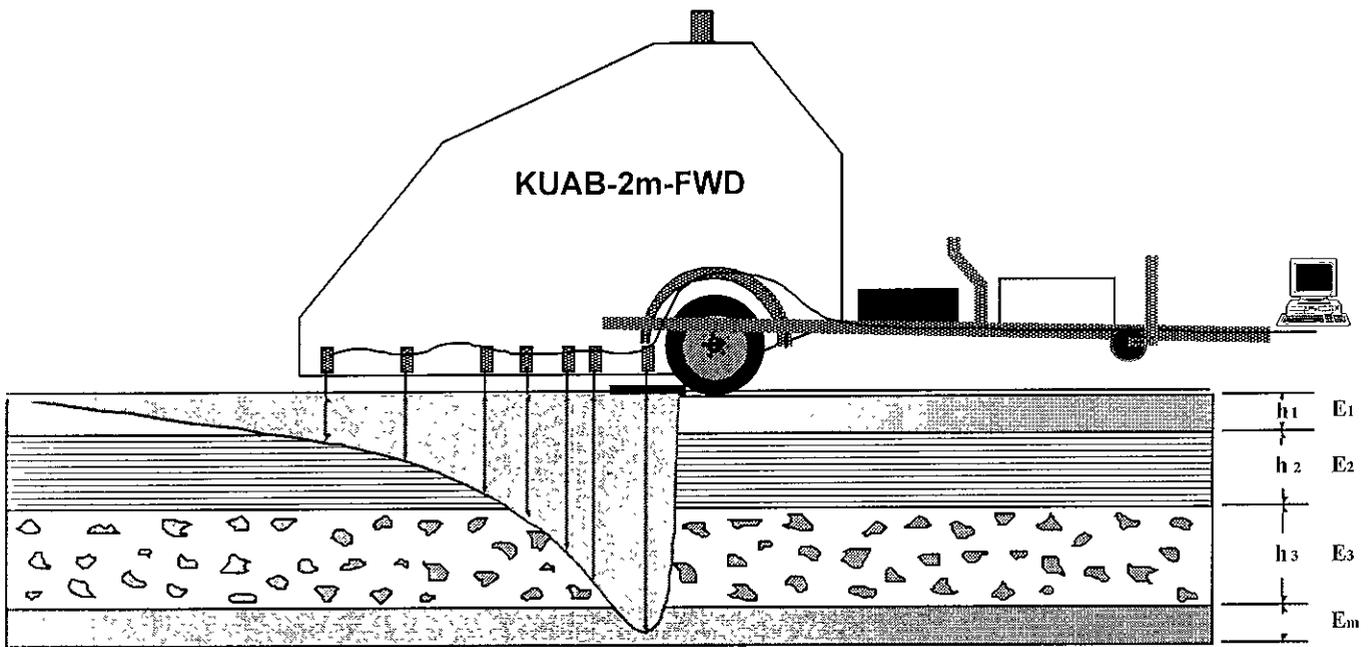
LONGITUD CON DETERIOROS (km)

DETERIORO	MUY		LIGERA	MODERAD	SEVERA	MUY		TOTAL
	LIGERA	LIGERA				SEVERA	SEVERA	
1 PERDIDA DE AGREGADO GRUESO	-	-	-	0.40	-	-	-	0.40
2 PERDIDA DE AGREGADO FINO	-	-	-	-	-	-	-	-
3 EXUDACION DE ASFALTO	0.30	1.10	0.70	-	-	-	-	2.10
4 PULIMENTO DE AGREGADOS	1.40	1.00	0.50	-	-	-	-	2.90
5 "CALAVEREO"	0.82	0.20	0.70	-	-	-	-	1.72
6 SUPERFICIE ONDULADA	-	-	-	-	-	-	-	-
7 INESTABILIDAD	0.52	1.20	0.60	-	-	-	-	2.32
8 DEFORMACIONES TRANSVERSALE	-	-	-	-	-	-	-	-
9 DEFORMACIONES LONGITUDINALE	-	-	-	-	-	-	-	-
10 RODERAS	1.10	2.10	1.80	-	-	-	-	5.00
11 AGRIETAM. LONGITUDINALES	-	-	-	-	-	-	-	-
12 AGRIETAM TRANSVERSALES	-	-	-	-	-	-	-	-
13 AGRIETAM. DE MAPA	0.70	4.90	1.60	-	0.20	-	-	7.40
14 AGRIETAM "PIEL DE COCODRILO"	-	1.90	1.00	-	1.00	-	-	3.90
15 AGRIETAM. DE REFLEXION	0.01	-	-	-	-	-	-	0.01
16 BACHES REPARADOS	0.34	0.20	0.40	-	2.00	-	-	2.94
17 BACHES SIN REPARAR	-	-	0.01	-	-	-	-	0.01

RESUMEN DE DETERIOROS



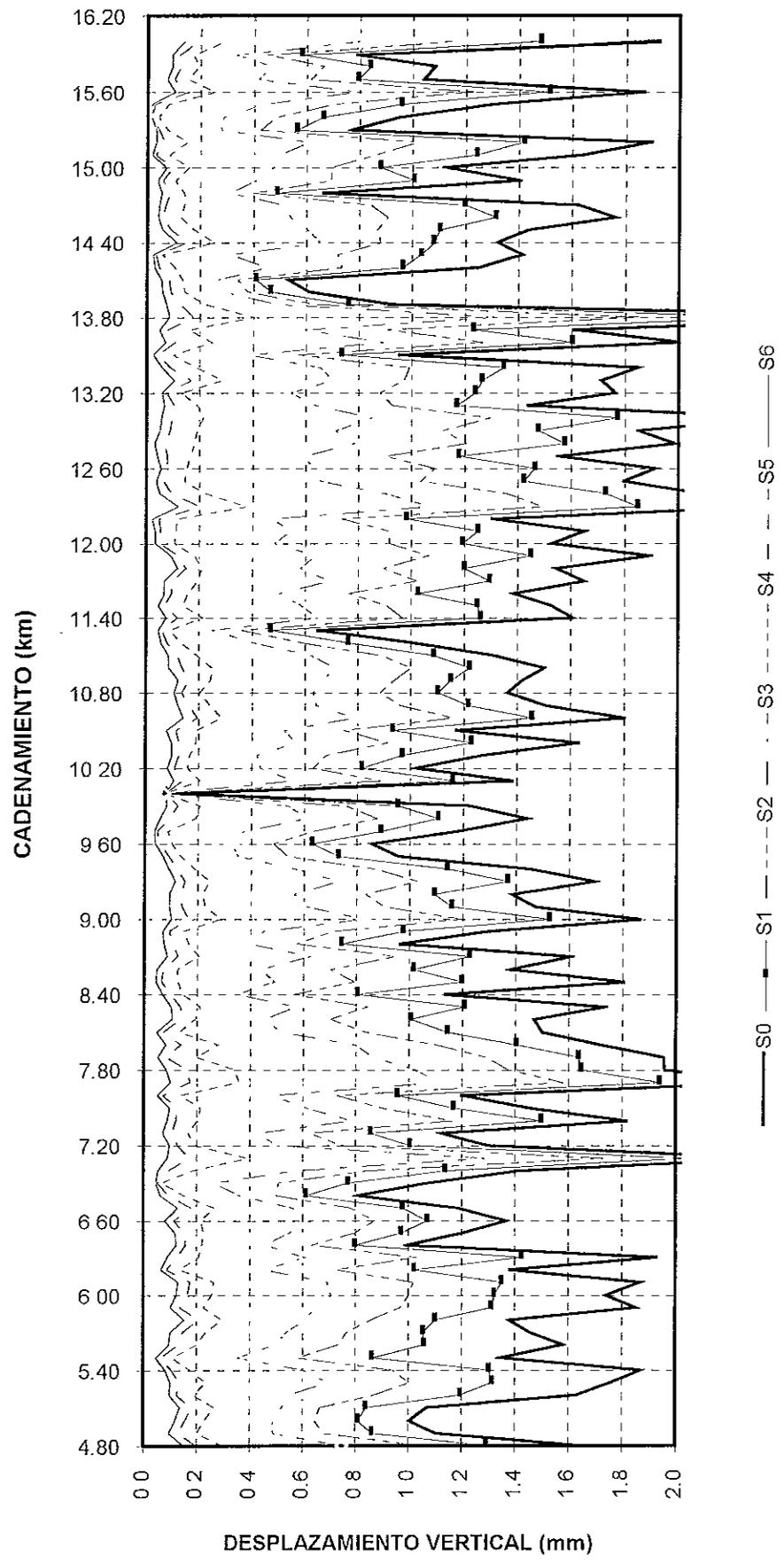
**EVALUACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DE
PAVIMENTOS CON EL EQUIPO KUAB-2m-FWD
(FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER)**



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

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
 CPO. "A", CARRIL DE BAJA

MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON EQUIPO KUAB

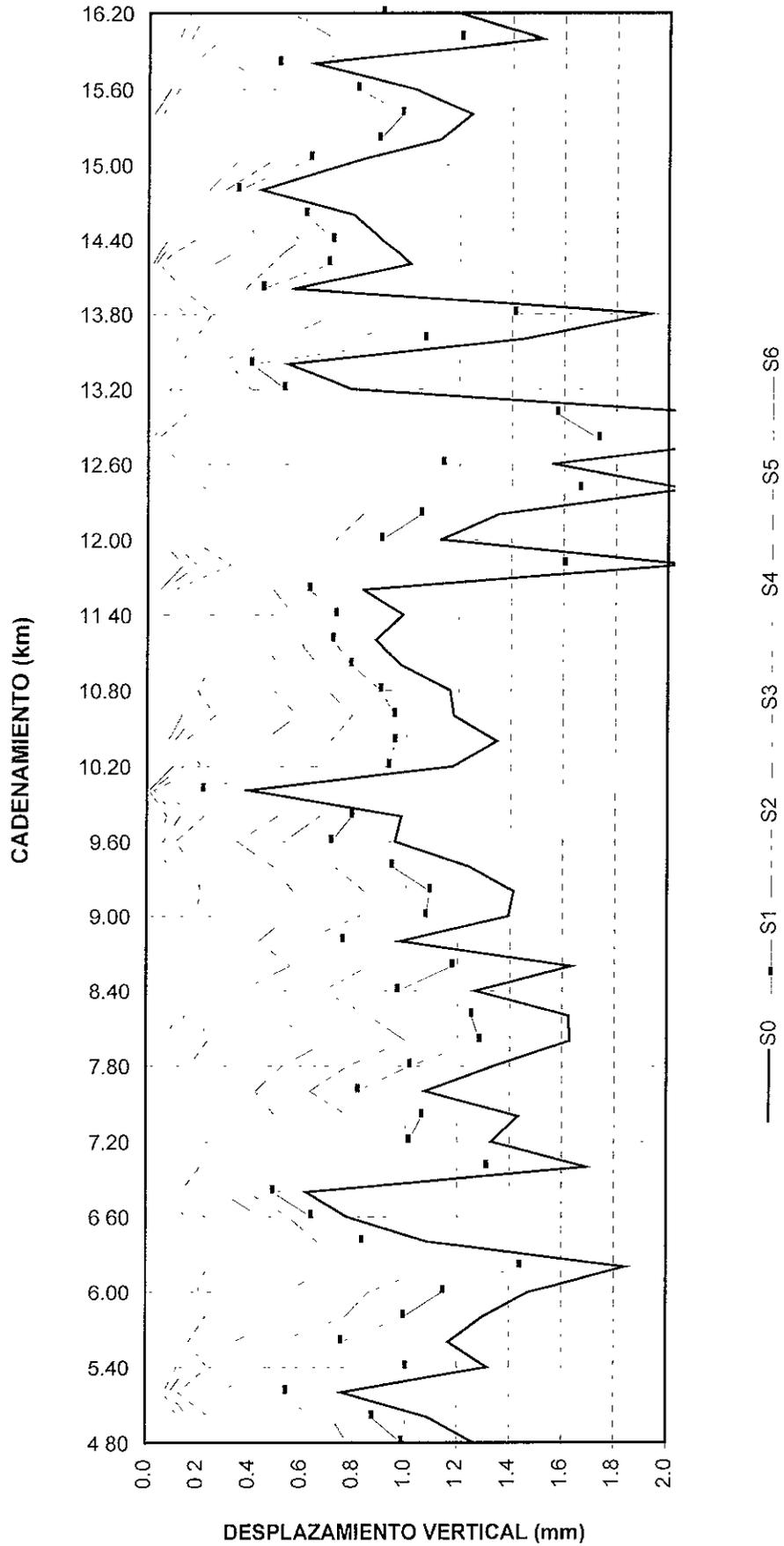


PROMEDIO DE CARGA: 6,004 kg

(S=Sismómetro)

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO. LIM. EDOS PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
 CPO: "A", CARRIL DE ALTA

MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES CON EQUIPO KUAB

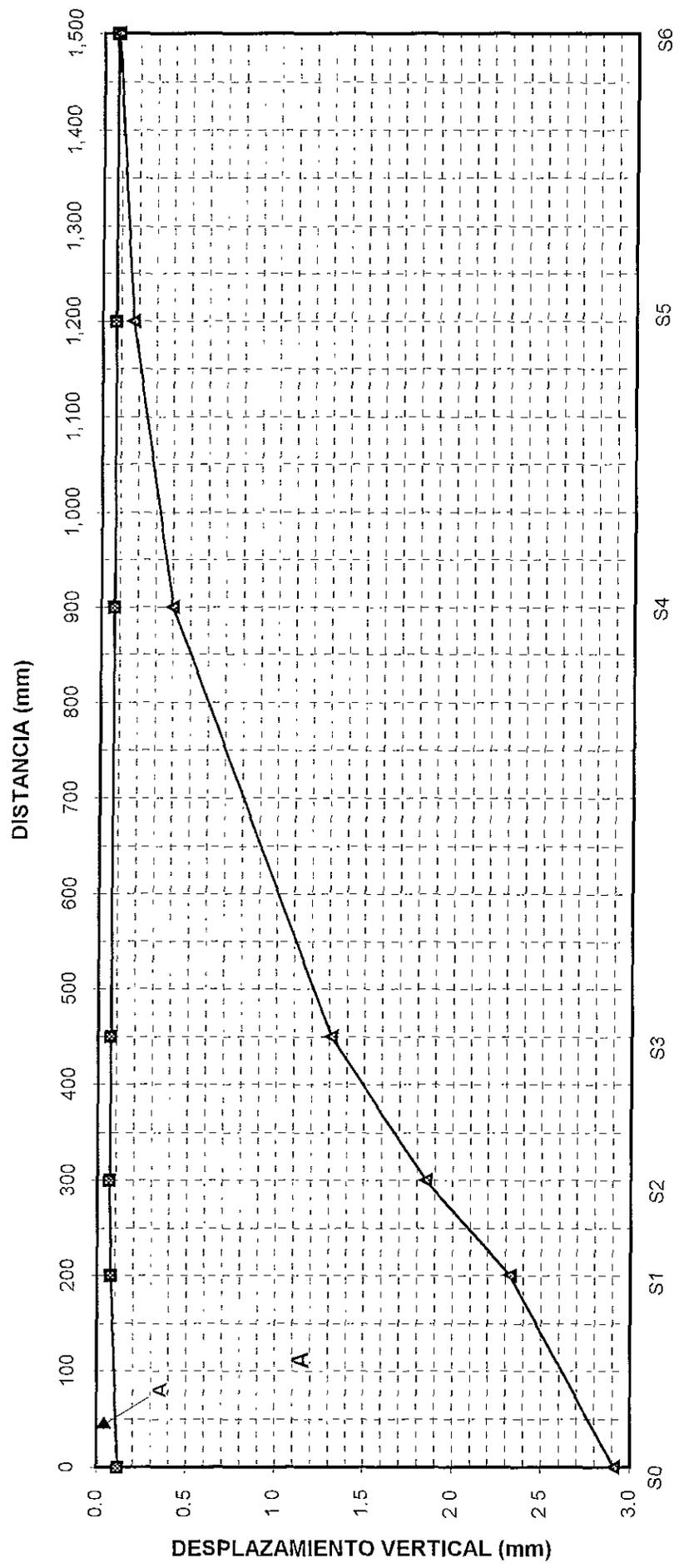


PROMEDIO DE CARGA: 6,013 kg

(S=Sismómetro)

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4 8 AL km 16 2
 CPO. "A", CARRIL DE BAJA

CURVAS TÍPICAS DE DESPLAZAMIENTOS VERTICALES

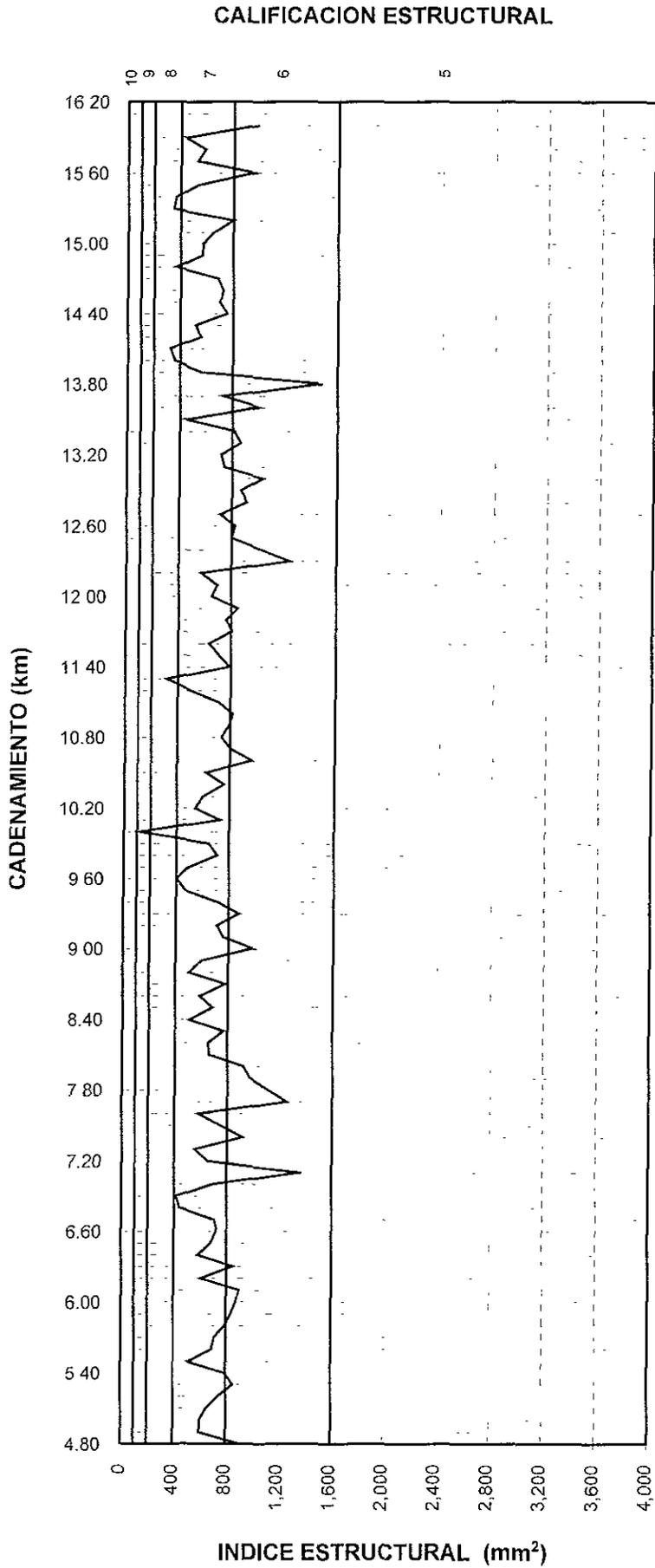


 Desplazamiento Menor, Carga: 6,184 kg, km 10.0
  Desplazamiento Mayor, Carga: 5,587 kg, km 13.8

A = AREA = INDICE ESTRUCTURAL
 (S=Sismómetro)

CARRETERA. PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO LIM. EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
 CPO. "A", CARRIL DE BAJA

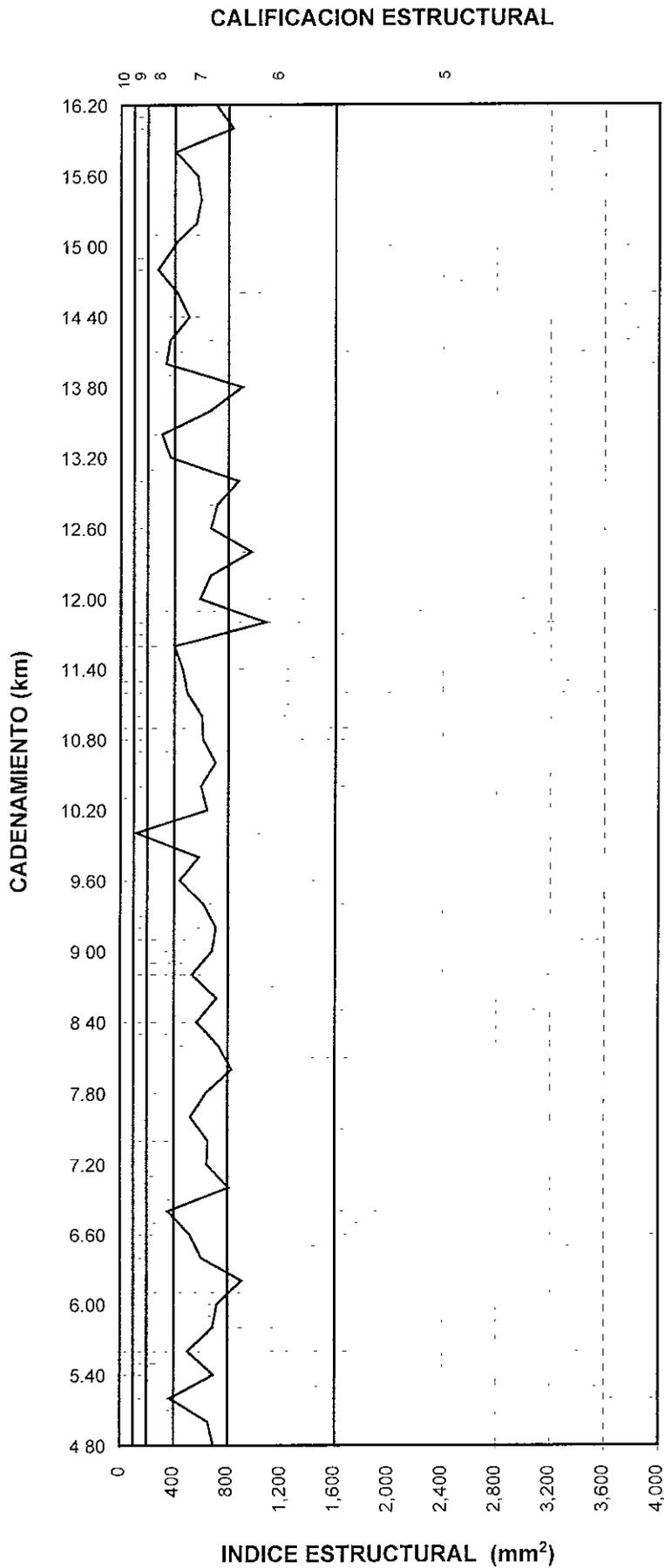
CALIFICACION ESTRUCTURAL



CALIFICACION	PERCENTAJE
10 EXCELENTE	0.00 %
9 MUY BUENA	0.88 %
8 BUENA	5.31 %
7 REGULAR	66.37 %
6 MALA	27.43 %
5 PESIMA	0.00 %

CARRETERA. PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
 CPO "A", CARRIL DE ALTA

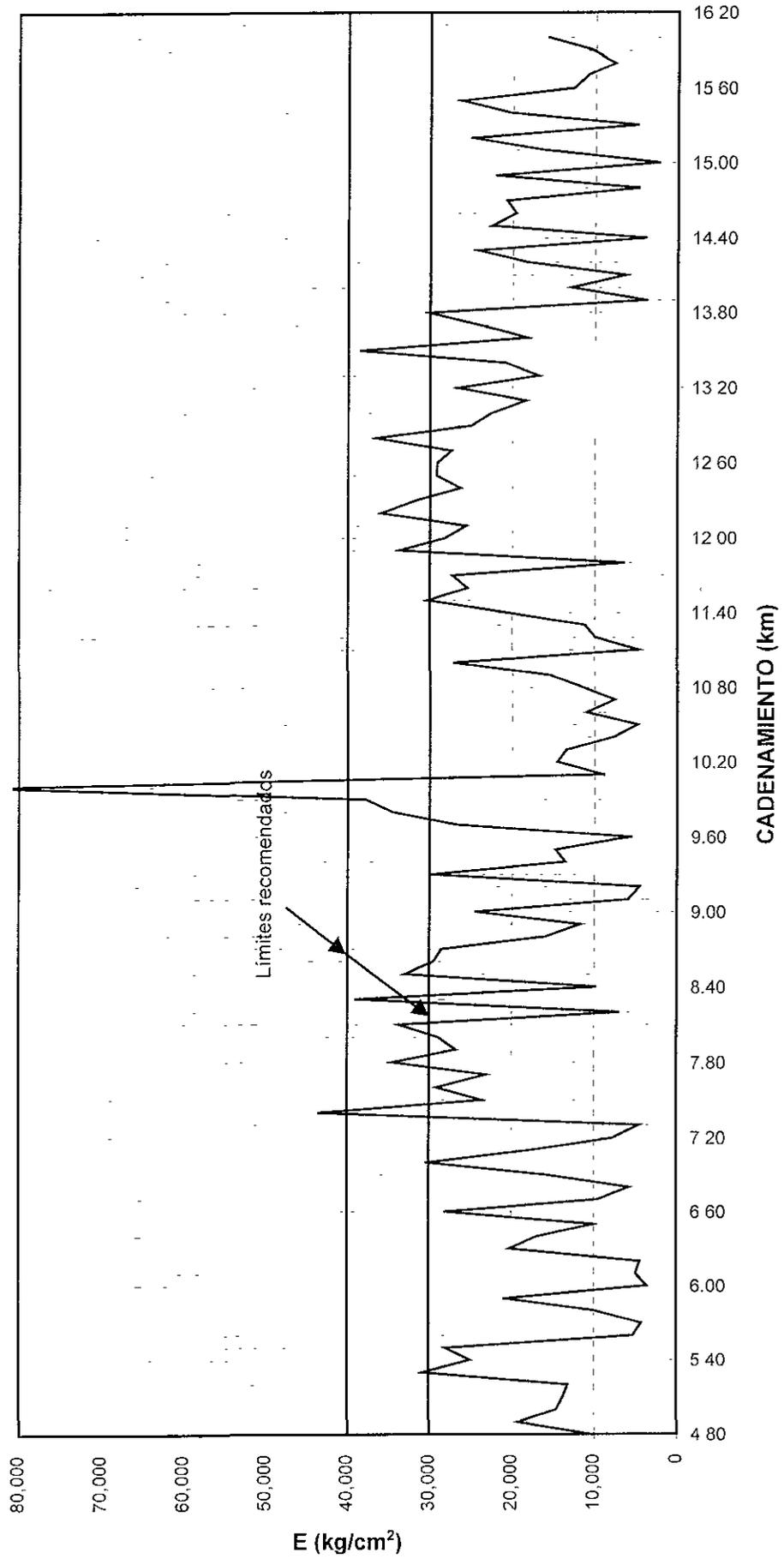
CALIFICACION ESTRUCTURAL



CALIFICACION	0.00 %
10 EXCELENTE	0.00 %
9 MUY BUENA	1.72 %
8 BUENA	13.79 %
7 REGULAR	70.69 %
6 MALA	13.79 %
5 PESIMA	0.00 %

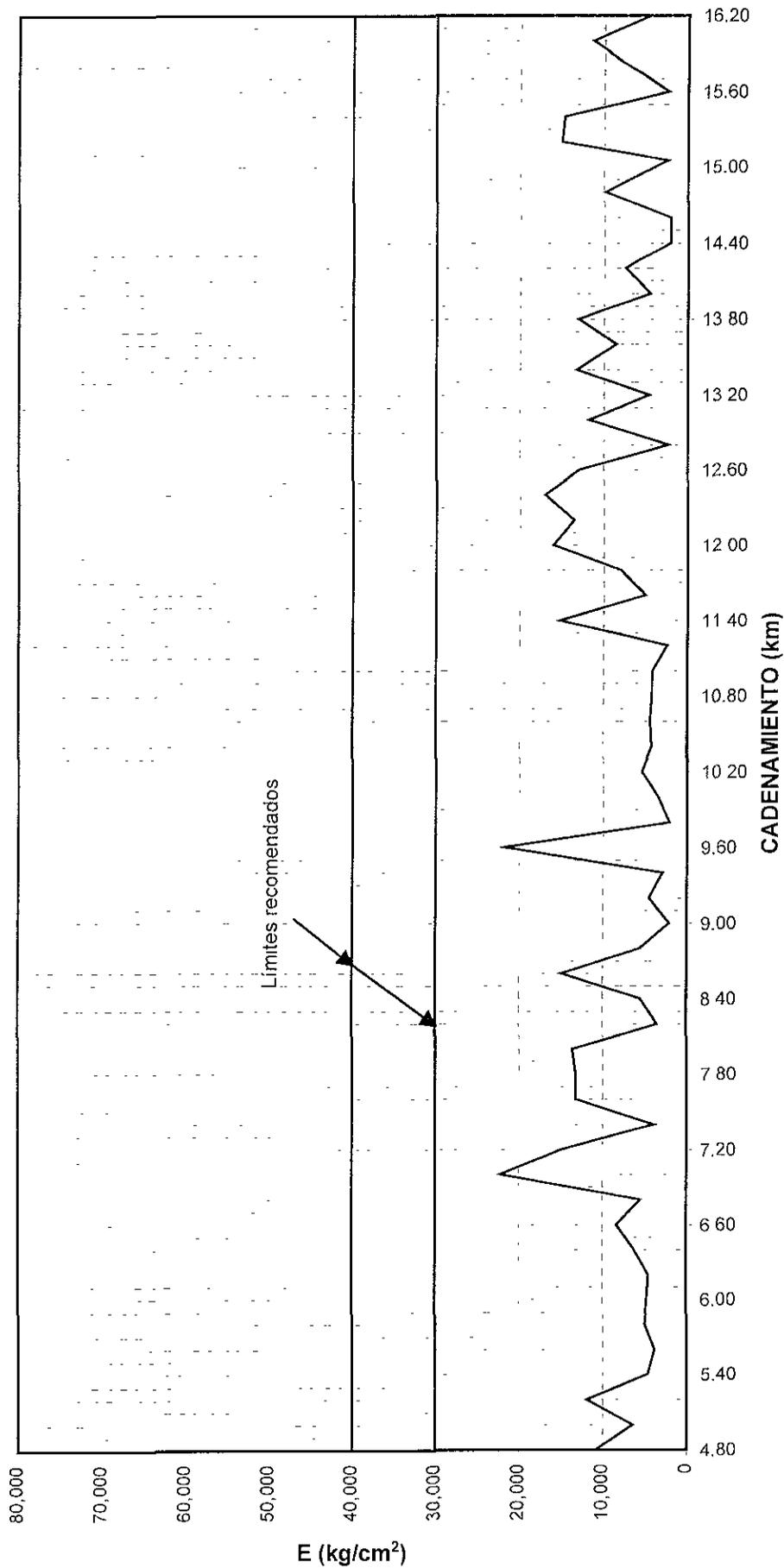
CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
TRAMO LIM EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
CPO. "A", CARRIL DE BAJA

MODULOS ELASTICOS DE LA CARPETA ASFALTICA



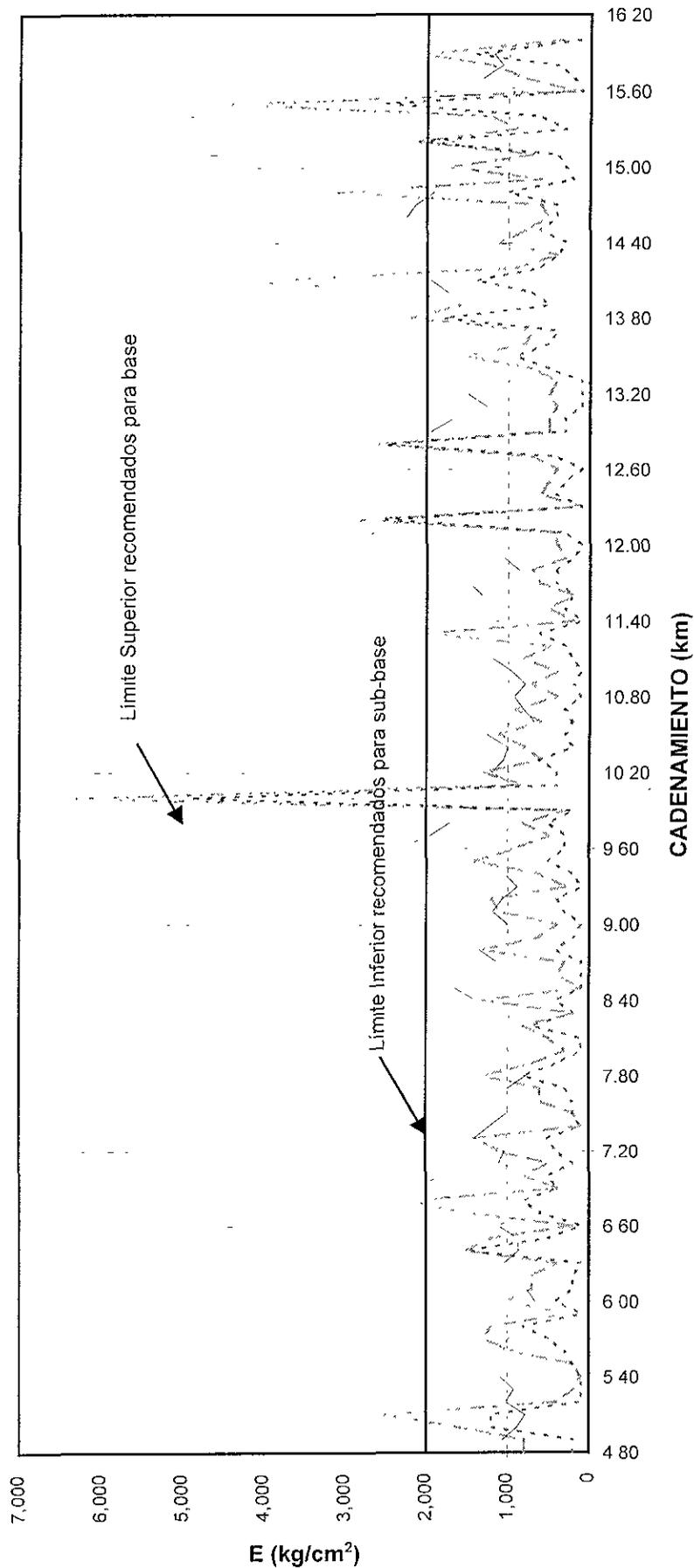
CARRETERA: PUEBLA-STA ANA-APIZACO
TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX-EL MOLINITO
SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
CPO "A", CARRIL DE ALTA

MODULOS ELASTICOS DE LA CARPETA ASFALTICA



CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2
 CPO. "A", CARRIL DE BAJA

MODULOS ELASTICOS

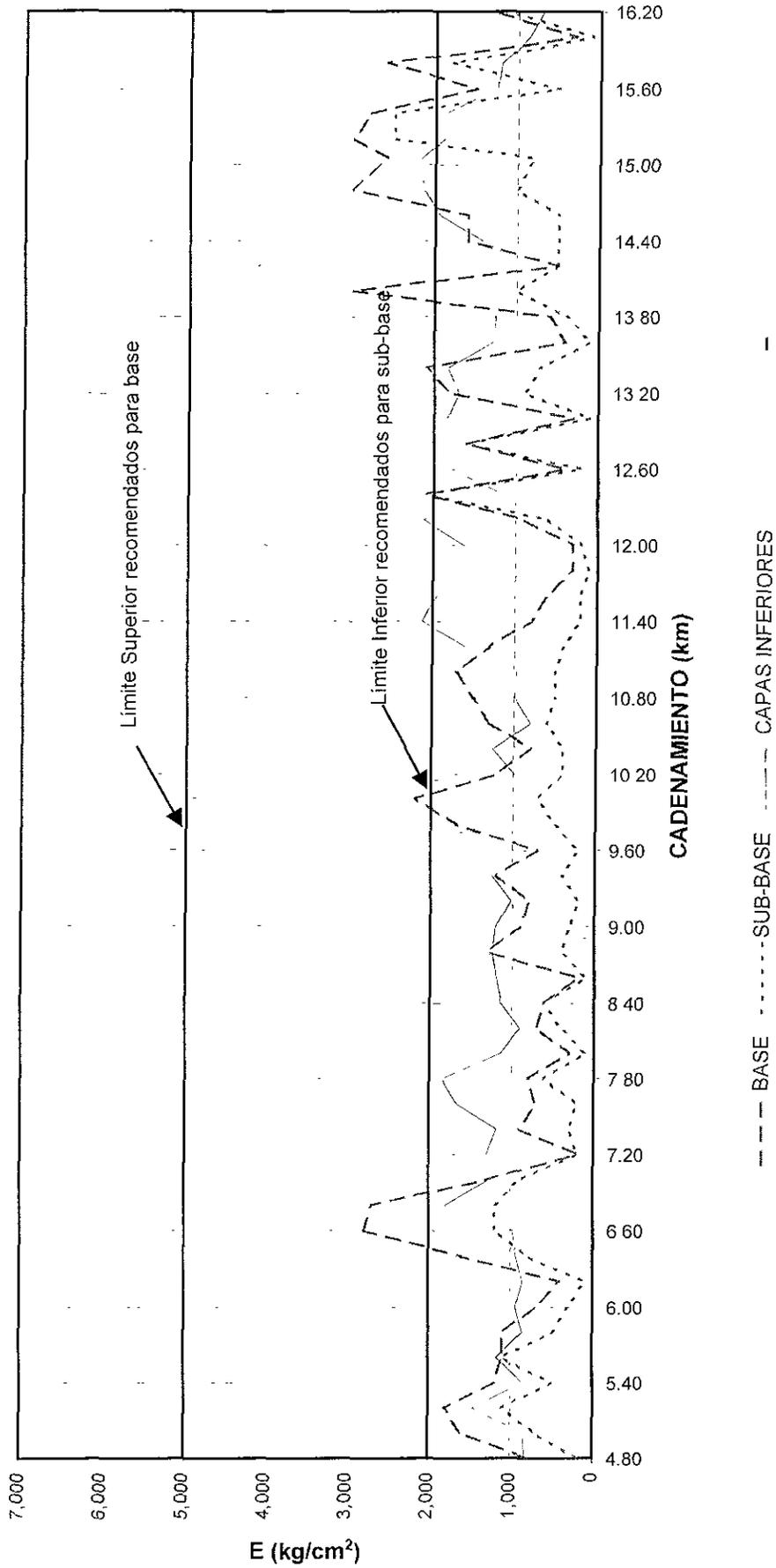


..... BASE - . - . - . SUB-BASE ——— CAPAS INFERIORES

CAPAS INFERIORES
 SUBRASANTE
 SUBYACENTE
 TERRAPLEN
 TERRENO NATURAL

CARRETERA. PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO. LIM. EDOS PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: DEL km 4 8 AL km 16.2
 CPO. "A", CARRIL DE ALTA

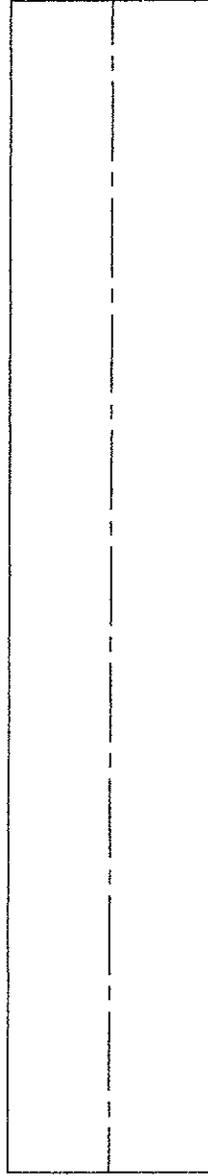
MODULOS ELASTICOS



CAPAS INFERIORES:
 SUBRASANTE
 SUBYACENTE
 TERRAPLEN
 TERRENO NATURAL

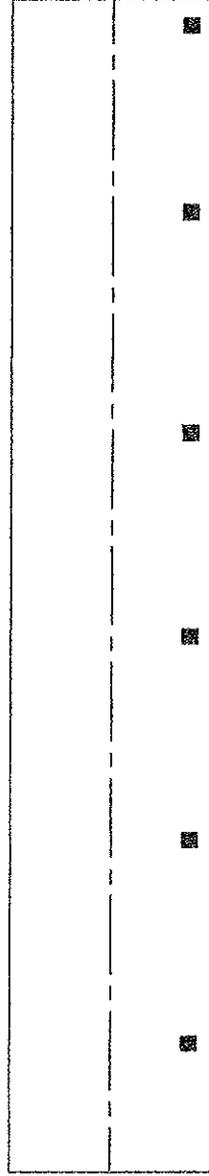
CARRETERA: PUEBLA-SANTA ANA-APIZACO
TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
SUBTRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2

CUERPO "B"



PUEBLA

SANTA ANA



CUERPO "A"

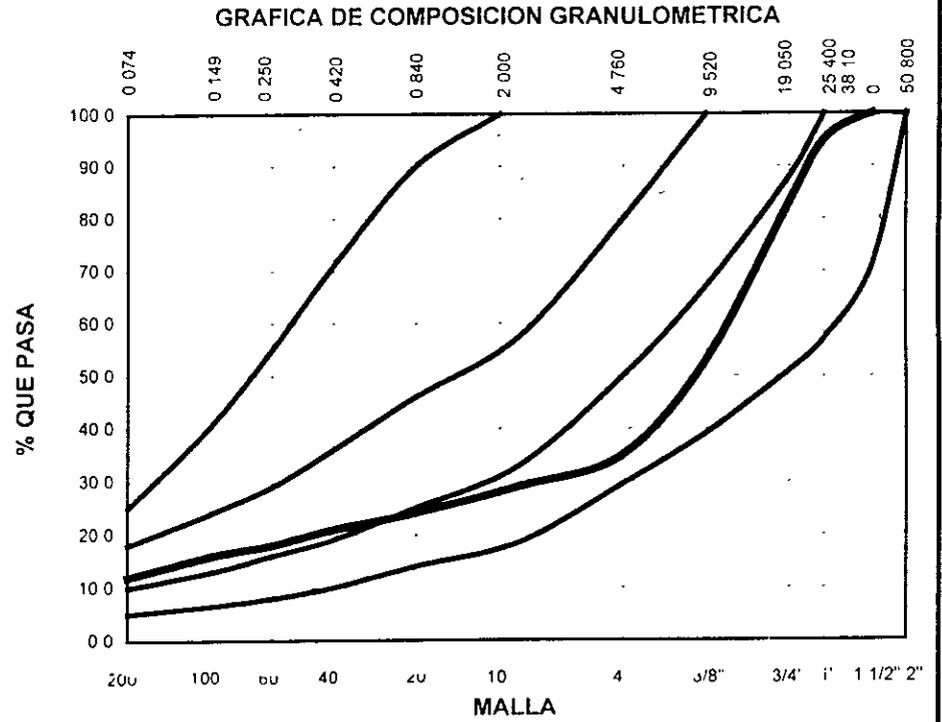
■ SONDEO

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	1	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 1 km 6 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO kg/m ³	1343
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1921
HUMEDAD OPTIMA	10.9 %
QUE PASA MALLA	%
2"	
1 1/2"	100
1"	95
3/4"	83
3/8"	53
Nº 4	35
Nº 10	29
Nº 20	24
Nº 40	21
Nº 60	18
Nº 100	16
Nº 200	12
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	90.00%
EXPANSION	1.03%
E D E A	38.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 6.8 %	LIMITE LIQUIDO 46.2 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.1	LIMITE PLASTICO 28.2 %	CONTRACCION LINEAL 7.0 %
	INDICE PLASTICO 18 %	

PESO VOL EN EL LUGAR 1755 kg/m ³	CLASIFICACION SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR 11.4 %		
GRADO DE COMPACTACION 92 %		

RECOMENDACIONES

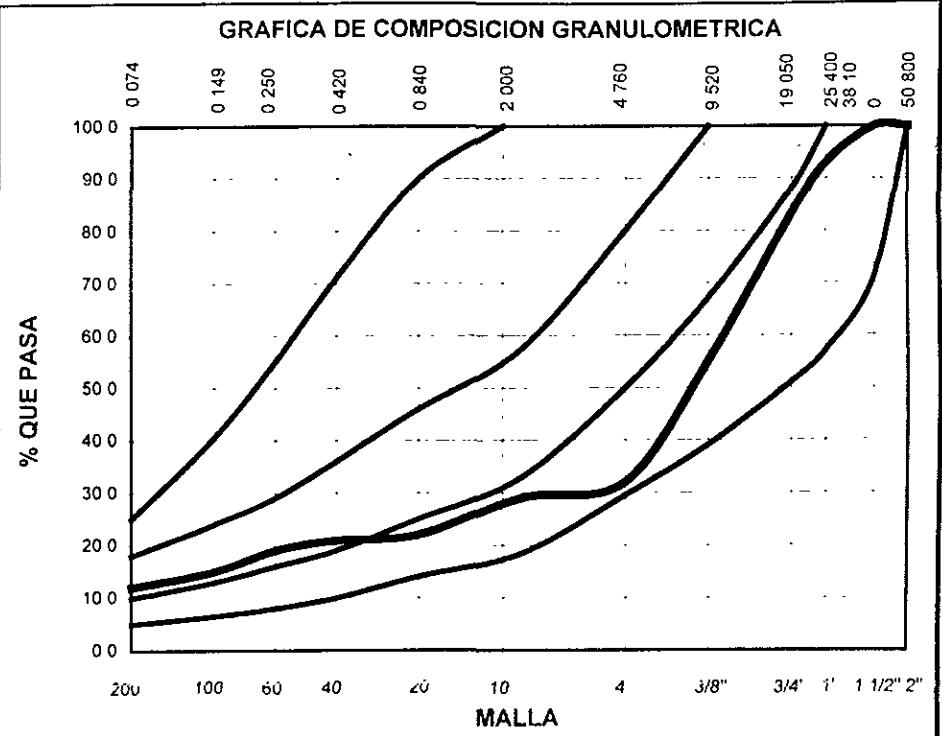
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	2	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 2 km 8 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO kg/m ³	1338
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1913
HUMEDAD OPTIMA	10.07 %
QUE PASA MALLA	%
2	
1 1/2	100
1"	93
3/4"	83
3/8"	55
Nº 4	32
Nº 10	29
Nº 20	22
Nº 40	21
Nº 60	19
Nº 100	15
Nº 200	12
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	90.00%
EXPANSION	1.00%
E. DE A	35.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

ABSORCION	6.8 %
DENSIDAD	2.1

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40

LIMITE LIQUIDO	46.1 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO	
LIMITE PLASTICO	29.2 %	CONTRACCION LINEAL	7.0 %
INDICE PLASTICO	16.9 %		

PESO VOL EN EL LUGAR	1747	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	11.2	%			
GRADO DE COMPACTACION	91	%			

RECOMENDACIONES

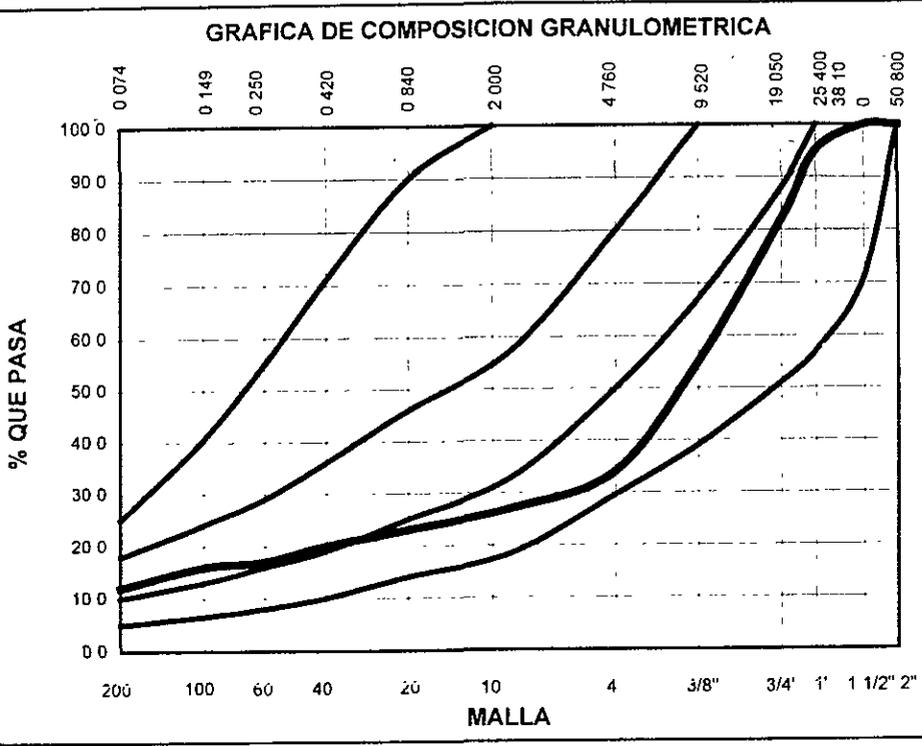
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	3	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 3 km 10 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO, kg/m ³	1341
PESO VOL MAXIMO, kg/m ³	1918
HUMEDAD OPTIMA	10.9 %
QUE PASA MALLA	%
2	
1 1/2"	100
1"	95
3/4"	82
3/8"	55
Nº 4	34
Nº 10	27
Nº 20	23
Nº 40	20
Nº 60	17
Nº 100	16
Nº 200	12
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	89.00%
EXPANSION	1.03%
E DE A	39.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 7 %	LIMITE LIQUIDO 45.2 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.1	LIMITE PLASTICO 28.2 %	CONTRACCION LINEAL 7.0 %
	INDICE PLASTICO 17 %	

PESO VOL EN EL LUGAR	1760	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	11.4	%			
GRADO DE COMPACTACION	92	%			

RECOMENDACIONES

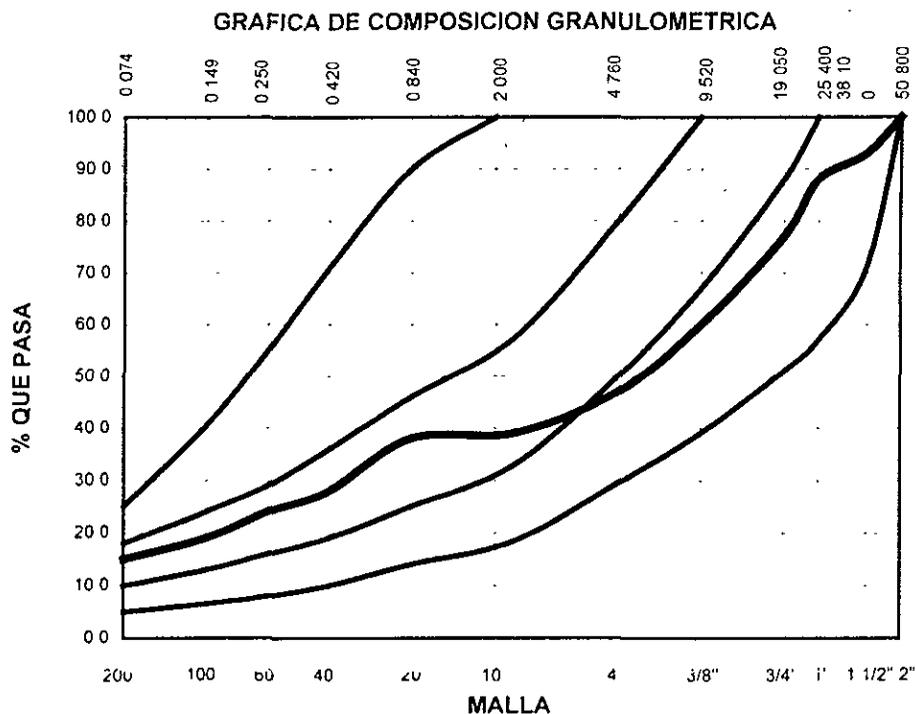
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo.
------------------	------------------------	--------

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	5	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 5 km 14 15 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO, kg/m ³	1164
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1690
HUMEDAD OPTIMA	10 %
QUE PASA MALLA	%
2	100
1 1/2	93
1	88
3/4"	77
3/8	60
Nº 4	47
Nº 10	39
Nº 20	38
Nº 40	28
Nº 60	24
Nº 100	19
Nº 200	15
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0 00
V R S (ESTANDAR)	83 00%
EXPANSION	1 30%
E DE A	33 00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 9.1 %	LIMITE LIQUIDO 44.1 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.1	LIMITE PLASTICO 25.1 %	CONTRACCION LINEAL 6.8 %
	INDICE PLASTICO 19 %	

PESO VOL EN EL LUGAR 1591 kg/m ³	CLASIFICACION SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR 7.1 %		
GRADO DE COMPACTACION 94 %		

RECOMENDACIONES

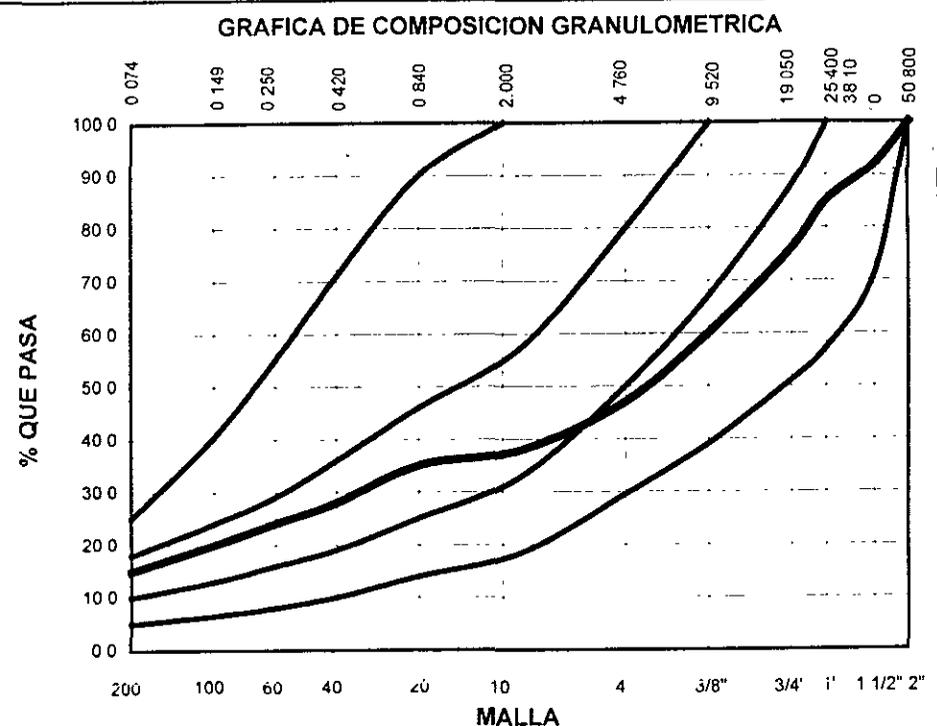
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	6	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 6 km 16 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO, kg/m ³	1185
PESO VOL MAXIMO, kg/m ³	1766
HUMEDAD OPTIMA	12.9 %
QUE PASA MALLA	%
2"	100
1 1/2"	92
1"	85
3/4"	76
3/8"	60
Nº 4	47
Nº 10	38
Nº 20	35
Nº 40	28
Nº 60	24
Nº 100	20
Nº 200	15
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	82.00%
EXPANSION	1.09%
E DE A	35.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40
ABSORCION 11.2 % DENSIDAD 2.1	LIMITE LIQUIDO 45.1 % LIMITE PLASTICO 27 % INDICE PLASTICO 18 % EQUIV HUMEDAD CAMPO CONTRACCION LINEAL 6.5 %

PESO VOL EN EL LUGAR	1621	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	13.4	%			
GRADO DE COMPACTACION	92	%			

RECOMENDACIONES

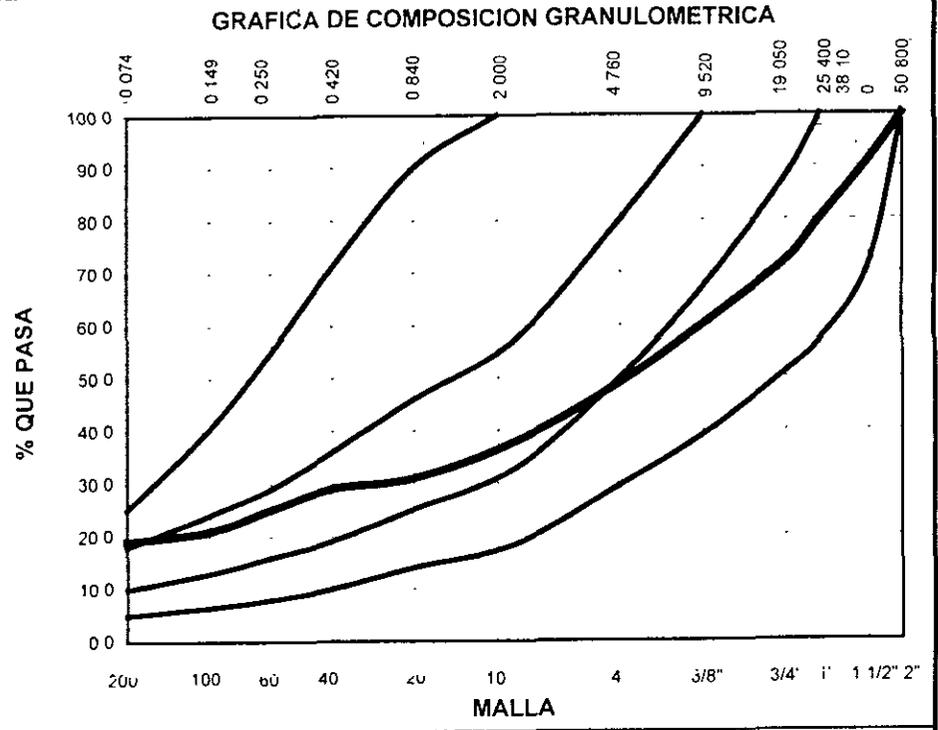
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	7	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 1 km 6 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO kg/m ³	1162
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1591
HUMEDAD OPTIMA	10 %
QUE PASA MALLA	%
2	100
1 1/2	91
1	80
3/4	72
3/8	60
Nº 4	49
Nº 10	38
Nº 20	31
Nº 40	29
Nº 60	25
Nº 100	21
Nº 200	19
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0 00
V R S (ESTANDAR)	78 00%
EXPANSION	1 01%
E DE A	32 00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40

ABSORCION	9 1 %	LIMITE LIQUIDO	42 2 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO	
DENSIDAD	2 0	LIMITE PLASTICO	34 3 %	CONTRACCION LINEAL	7 1 %
		INDICE PLASTICO	18 9 %		

PESO VOL EN EL LUGAR	1467	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	15 6	%			
GRADO DE COMPACTACION	92	%			

RECOMENDACIONES

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	8	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P.C.A. # 2 km 8 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>PESO VOL SUELTO kg/m³</td> <td>1157</td> </tr> <tr> <td>PESO VOL MAXIMO kg/m³</td> <td>1766</td> </tr> <tr> <td>HUMEDAD OPTIMA</td> <td>12.9 %</td> </tr> <tr> <td>QUE PASA MALLA</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>1 1/2</td> <td>91</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>78</td> </tr> <tr> <td>3/4</td> <td>71</td> </tr> <tr> <td>3/8</td> <td>59</td> </tr> <tr> <td>Nº 4</td> <td>47</td> </tr> <tr> <td>Nº 10</td> <td>36</td> </tr> <tr> <td>Nº 20</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Nº 40</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>Nº 60</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>Nº 100</td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>Nº 200</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>DESPERDICIO EN LA MUESTRA</td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>V.P.S. (ESTANDAR)</td> <td>75.00%</td> </tr> <tr> <td>EXPANSION</td> <td>1.03%</td> </tr> <tr> <td>E DE A</td> <td>34.00%</td> </tr> </table>	PESO VOL SUELTO kg/m ³	1157	PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1766	HUMEDAD OPTIMA	12.9 %	QUE PASA MALLA	%	2	100	1 1/2	91	1	78	3/4	71	3/8	59	Nº 4	47	Nº 10	36	Nº 20	32	Nº 40	28	Nº 60	25	Nº 100	21	Nº 200	18	DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00	V.P.S. (ESTANDAR)	75.00%	EXPANSION	1.03%	E DE A	34.00%	<div style="text-align: center;"> GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA </div>
PESO VOL SUELTO kg/m ³	1157																																								
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1766																																								
HUMEDAD OPTIMA	12.9 %																																								
QUE PASA MALLA	%																																								
2	100																																								
1 1/2	91																																								
1	78																																								
3/4	71																																								
3/8	59																																								
Nº 4	47																																								
Nº 10	36																																								
Nº 20	32																																								
Nº 40	28																																								
Nº 60	25																																								
Nº 100	21																																								
Nº 200	18																																								
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00																																								
V.P.S. (ESTANDAR)	75.00%																																								
EXPANSION	1.03%																																								
E DE A	34.00%																																								

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 10 %	LIMITE LIQUIDO 45.1 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.1	LIMITE PLASTICO 25 %	CONTRACCION LINEAL 6.9 %
	INDICE PLASTICO 20.1 %	

PESO SOL EN EL LUGAR 1598 kg m ⁻³	CLASIFICACION SUCS	GC
PESO SATURADO EN EL LUGAR 13.9		
GRADO DE COMPACTACION 91		

RECOMENDACIONES

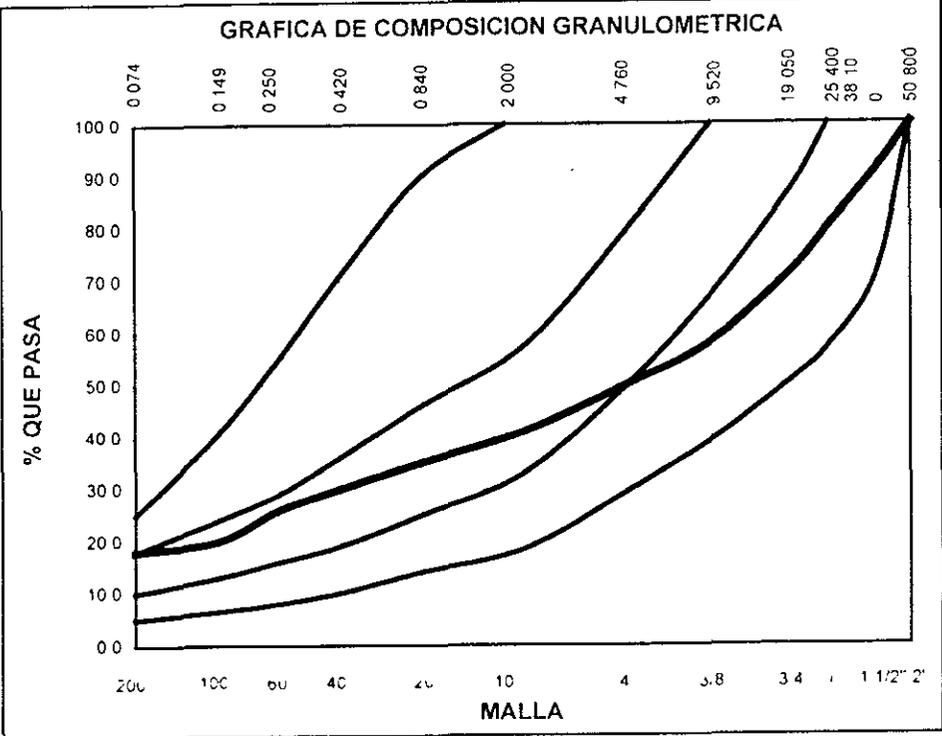
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	9	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 3 km 10 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO kg/m ³	1159
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1756
HUMEDAD OPTIMA	11.1 %
QUE PASA MALLA	%
2	100
7.5	91
15	80
30	72
60	58
Nº 4	50
Nº 10	41
Nº 20	35
Nº 40	30
Nº 60	26
Nº 100	20
Nº 200	18
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
UNIFORMIDAD ESTANDAR	75.00%
EXPANSION	1.41%
CONTRACCION	31.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40				
AFRACCION	8.2 %	LIMITE LIQUIDO	42.9 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO	
CONTRACCION	2.0	LIMITE PLASTICO	23.2 %	CONTRACCION LINEAL	6.8 %
		INDICE PLASTICO	19.7 %		

HUMEDAD EN EL LUGAR	16.38	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	12.4				
INDICE DE COMPACTACION	93				

RECOMENDACIONES

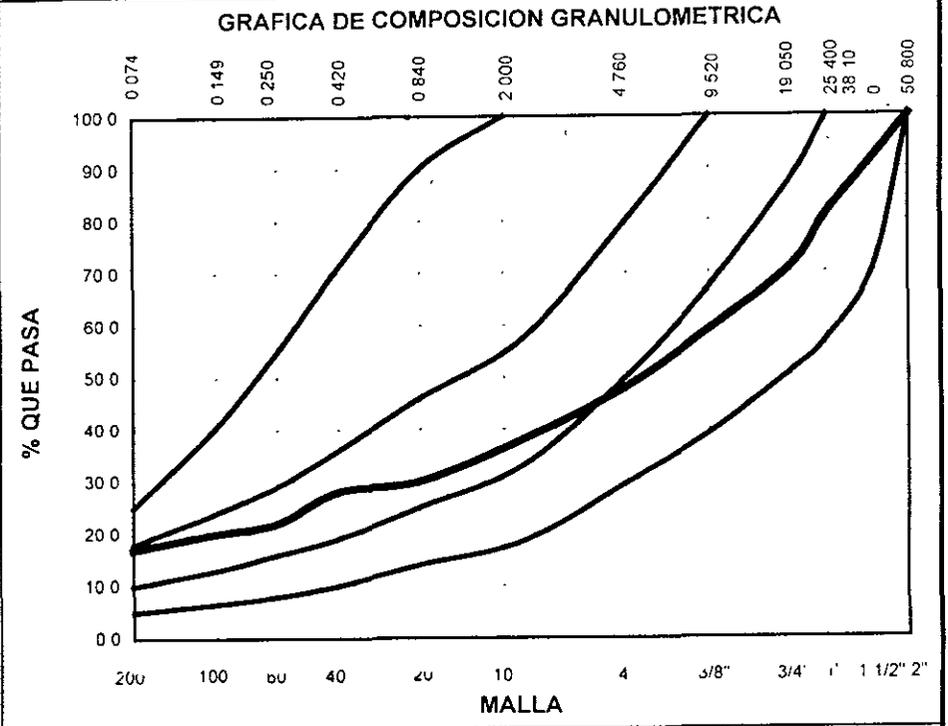
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	10	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 4 km 12.00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO, kg/m ³	1163
PESO VOL MAXIMO, kg/m ³	1700
HUMEDAD OPTIMA	16.7 %
QUE PASA MALLA	%
2	100
1 1/2	92
1	81
3/4	71
3/8	59
Nº 4	48
Nº 10	38
Nº 20	30
Nº 40	28
Nº 60	22
Nº 100	20
Nº 200	17
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	76.00%
EXPANSION	1.01%
E DE A	33.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 9.1 %	LIMITE LIQUIDO 44.8 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.0	LIMITE PLASTICO 25.7 %	CONTRACCION LINEAL 6.9 %
	INDICE PLASTICO 19.1 %	

PESO VOL EN EL LUGAR	1556	kg m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	8.3	%			
GRADO DE COMPACTACION	91	%			

RECOMENDACIONES

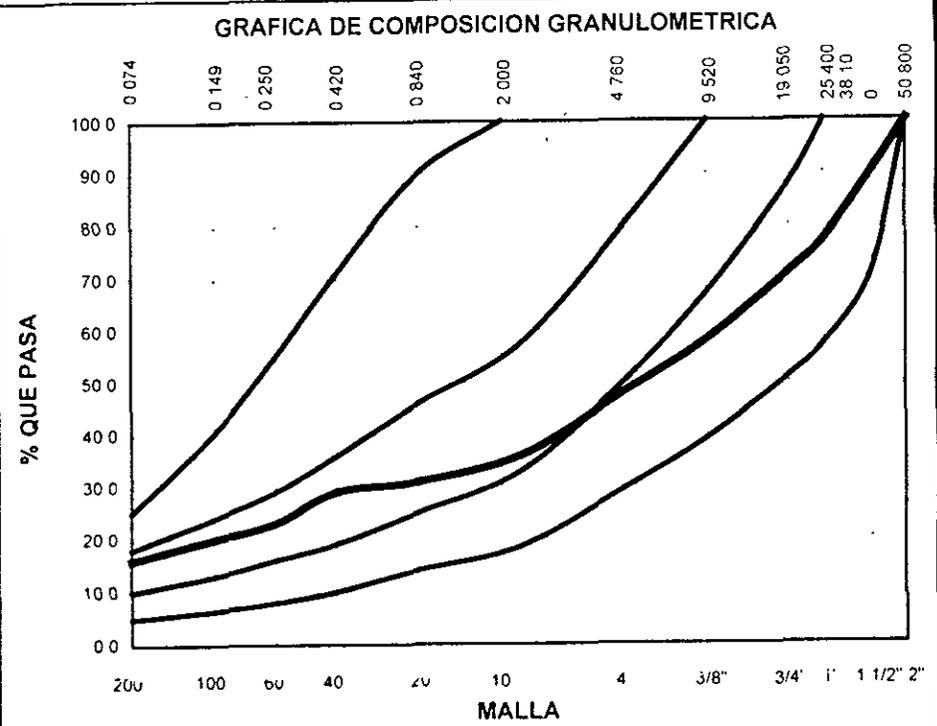
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	11	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 5 km 14 15 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO, kg/m ³	1165
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1690
HUMEDAD OPTIMA	16.6 %
QUE PASA MALLA	%
2	100
1 1/2	90
1	77
3/4	71
3/8	58
Nº 4	48
Nº 10	36
Nº 20	31
Nº 40	29
Nº 60	23
Nº 100	20
Nº 200	16
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	77.00%
EXPANSION	1.32%
E DE A	32.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"	PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40	
ABSORCION 8.9 %	LIMITE LIQUIDO 45.7 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO
DENSIDAD 2.0	LIMITE PLASTICO 25.6 %	CONTRACCION LINEAL 7.2 %
	INDICE PLASTICO 20.1 %	

PESO VOL EN EL LUGAR	1561	kg/m ³	CLASIFICACION	SUCS	GC
HUMEDAD EN EL LUGAR	14.5	%			
GRADO DE COMPACTACION	92	%			

RECOMENDACIONES

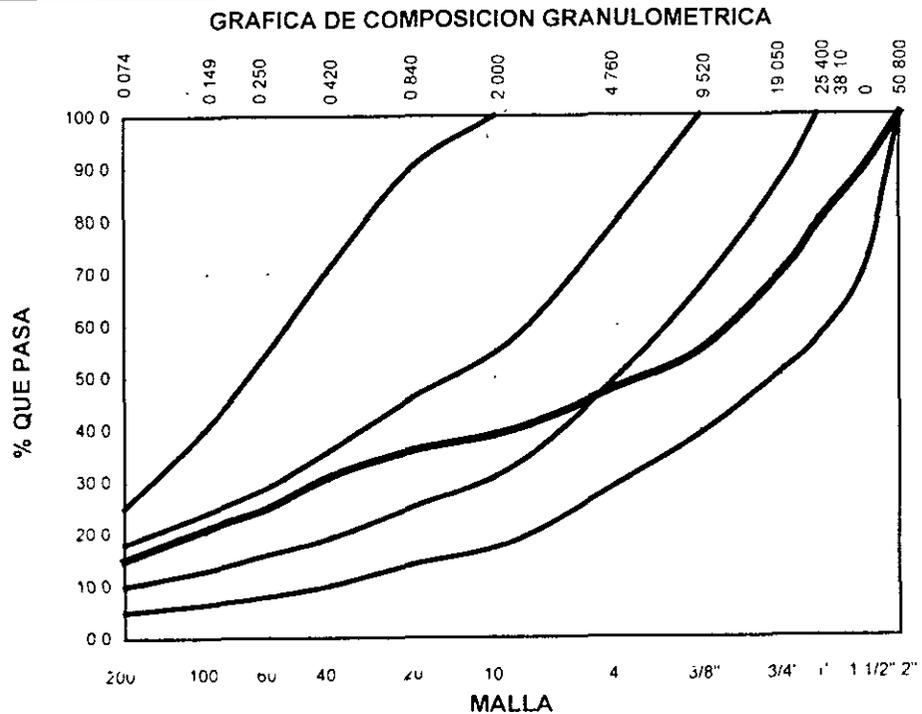
EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo

INFORME DE ENSAYE DE MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE

MATERIAL PARA	SUB-BASE HIDRAULICA	EXPEDIENTE	
ENSAYE NUM	12	MUESTRA NUM	1
ENVIADA POR	PERSONAL DE LABORATORIO	FECHA DE RECIBO	
PROCEDENCIA	P C A # 6 km 16 00 L/D	FECHA DE INFORME	

PRUEBAS SOBRE MATERIAL PETREO

PESO VOL SUELTO kg/m ³	1155
PESO VOL MAXIMO kg/m ³	1746
HUMEDAD OPTIMA	11.1 %
QUE PASA MALLA	%
2"	100
1 1/2"	90
1"	79
3/4"	70
3/8"	55
Nº 4	48
Nº 10	40
Nº 20	36
Nº 40	31
Nº 60	25
Nº 100	21
Nº 200	15
DESPERDICIO EN LA MUESTRA	0.00
V R S (ESTANDAR)	73.00%
EXPANSION	1.07%
E DE A	34.00%



PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO POR MALLA Nº40

ABSORCION 9.12 % DENSIDAD 2.0	LIMITE LIQUIDO 46 % LIMITE PLASTICO 27 % INDICE PLASTICO 19.9 %	EQUIV HUMEDAD CAMPO CONTRACCION LINEAL 6.8 %
----------------------------------	---	---

PESO VOL EN EL LUGAR 1625 kg m ³ HUMEDAD EN EL LUGAR 14.4 % GRADO DE COMPACTACION 93	CLASIFICACION SUCS GC
---	-----------------------

RECOMENDACIONES

EL LABORATORISTA	EL JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo
------------------	------------------------	-------

I N F O R M E D E T E R R A C E R I A S

OBRA CARRETERA PUEBLA STA ANA-APIZACO

TRAMO LIM. EDOS PUE/TLAX-EL MOLINITO

FECHA DE RECIBO

SUBTRAMIO DEL km 4 8 AL km 16.2 CUERPO "A"

FECHA DE INFORME.

IDENTIFICACION	NUM. DE ENSAYE	P.C.A #1	P.C.A #2	P.C.A #3	P.C.A #4	P.C.A #5	P.C.A #6
	ESTACION (km)	6.00	8.00	10.00	12.10	14.15	16.00
	LADO	DERECHO	DERECHO	DERECHO	DERECHO	DERECHO	DERECHO
	CAPA	1ª C TERR	1ª C TERR	1ª C TERR	1ª C. TERR	1ª C TERR	1ª C TERR
CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	TAMAÑO MAXIMO	-	-	-	-	-	-
	% RETENIDO EN MALLA DE 75 mm	-	-	-	-	-	-
	% QUE PASA MALLA DE 4 75 mm	92.0	90.0	90.0	92.0	91.0	89.0
	% QUE PASA MALLA DE 4 25 mm	70.0	68.0	69.0	71.0	70.0	69.0
	% QUE PASA MALLA DE 0 075 mm	38.0	37.0	37.0	38.0	38.0	36.0
	EQUIVALENTE DE HUM. DE CAMPO	-	-	-	-	-	-
	LIMITE LIQUIDO, %	45.1	46.1	44.3	41.8	47.5	43.2
	INDICE PLASTICO, %	14.5	16.7	15.1	14.9	16.2	15.8
	CONTRACCION LINEAL, %	5.5	5.6	5.1	5.0	6.1	5.8
	P E S SUELTO kg/m ³	1063.0	1057.0	1083.0	1091.0	1068.0	1065.0
	P E S MAXIMO kg/m ³	1496.0	1496.0	1496.0	1496.0	1540.0	1540.0
	HUMEDAD OPTIMA, %	28.5	28.5	28.5	28.1	26.1	26.1
	HUMEDAD DEL LUGAR, %	25.1	24.4	23.4	22.1	24.2	25.3
	COMPACTACION DEL LUGAR, %	93.0	91.0	95.0	94.0	93.0	94.0
	V R S ESTANDAR SATURADO, %	36.1	35.0	37.0	40.1	33.0	37.0
	EXPANSION, %	1.8	1.3	1.7	1.3	1.4	1.3
CLASIFICACION SUCS	SC	SC	SC	SC	SC	SC	

ESTUDIO DE ESPESORES

TIPO DE PRUEBA

CURVA DE PROYECTO

CONDICION DEL LUGAR	HUMEDAD DE PRUEBA, %						
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %						
90 % DE COMPACTACION	ESPOSOR REQUERIDO, cm						
	HUMEDAD DE PRUEBA, %						
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %						
95 % DE COMPACTACION	ESPOSOR REQUERIDO, cm						
	HUMEDAD DE PRUEBA, %						
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %						
100 % DE COMPACTACION	ESPOSOR REQUERIDO, cm						
	HUMEDAD DE PRUEBA, %						
	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %						

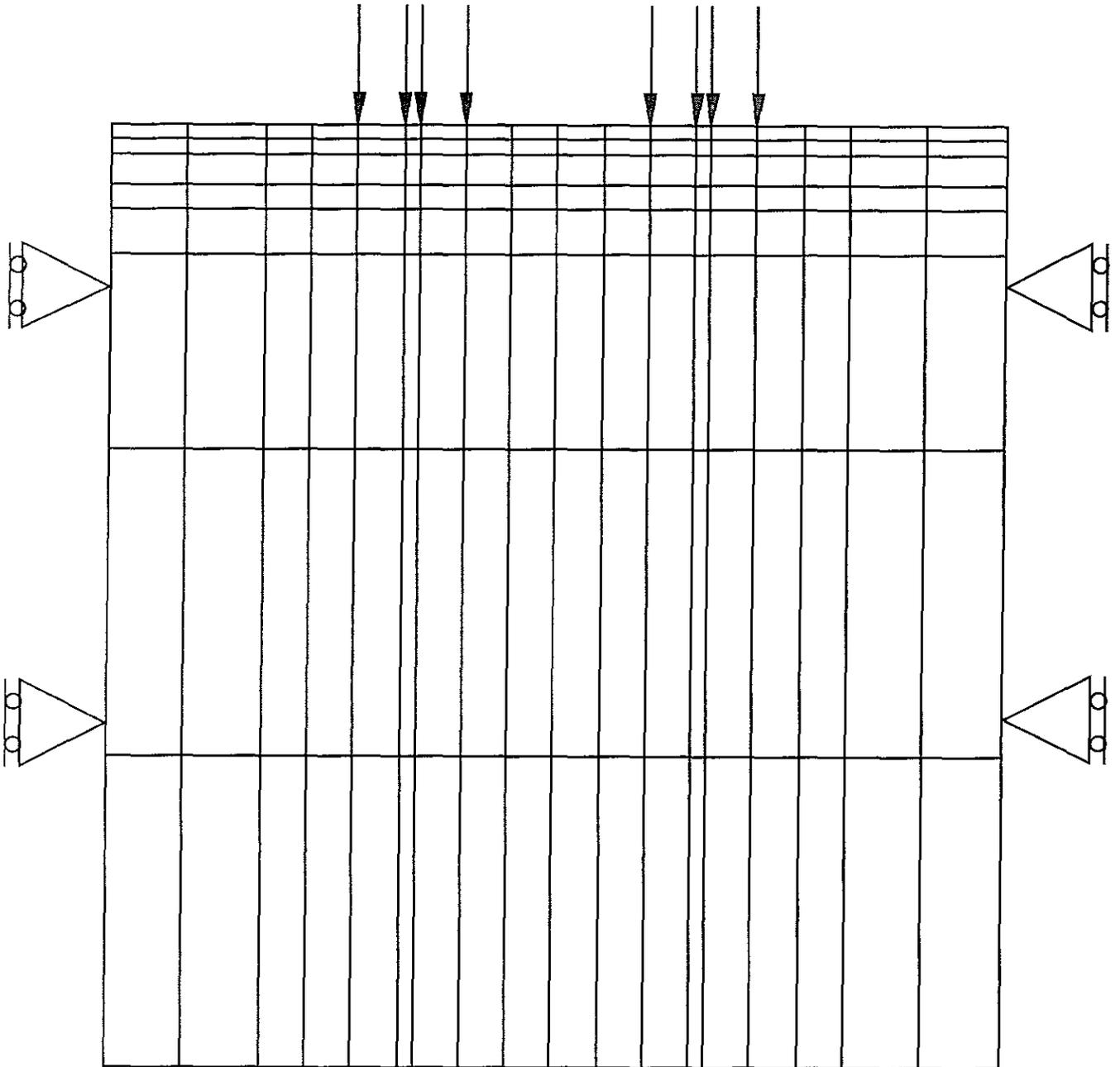
OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

--	--	--

LABORATORISTA	JEFE DE LABORATORIO	Vo Bo
---------------	---------------------	-------

TRAMO: DEL km 4.8 AL km 16.2

MALLA DE ELEMENTOS FINITOS



CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (PROPIEDADES MECANICAS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)		PROPIEDADES MECANICAS	
				MODULO ELASTICO (E) (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON (u)
1	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (existente)	12	10,134	0.35
		Base (existente)	13	939	0.40
		Sub-base (existente)	10	738	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,139	0.45
2	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (existente)	14	15,837	0.35
		Base (existente)	13	857	0.40
		Sub-base (existente)	20	375	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,150	0.45
3	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (existente)	14	12,150	0.35
		Base (existente)	21	1,340	0.40
		Sub-base (existente)	15	874	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,630	0.45

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA
 (PROPIEDADES MECANICAS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	PROPIEDADES MECANICAS		
			MODULO ELASTICO (E) (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON (μ)	
4	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	35,000	0.35
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	70,000	0.35
		Sub-base (existente)	10	738	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,139	0.45
5	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	35,000	0.35
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	70,000	0.35
		Base (existente)	2	857	0.40
		Sub-base (existente)	20	375	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,150	0.45
6	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (nueva)	5	35,000	0.35
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	70,000	0.35
		Base (existente)	10	1,340	0.40
		Sub-base (existente)	15	874	0.40
		Capas inferiores (existentes)	300	1,630	0.45

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA
 (PROPIEDADES MECANICAS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	PROPIEDADES MECANICAS	
			MODULO ELASTICO (E) (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON (u)
7	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	35,000	0.35
		Base asfáltica (nueva) 25	30,000	0.35
		Sub-base (existente) 10	738	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,139	0.45
8	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	35,000	0.35
		Base asfáltica (nueva) 25	30,000	0.35
		Base (existente) 2	857	0.40
		Sub-base (existente) 20	375	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,150	0.45
9	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	35,000	0.35
		Base asfáltica (nueva) 25	30,000	0.35
		Base (existente) 10	1,340	0.40
		Sub-base (existente) 15	874	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,630	0.45

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE/TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA TERCERA ALTERNATIVA
 (PROPIEDADES MECANICAS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	PROPIEDADES MECANICAS	
			MODULO ELASTICO (E) (kg/cm ²)	RELACION DE POISSON (u)
10	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva) 10	35,000	0.35
		Base granular (nueva) 20	4,000	0.40
		Base (existente) 5	939	0.40
		Sub-base (existente) 10	738	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,139	0.45
11	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva) 10	35,000	0.35
		Base granular (nueva) 20	4,000	0.40
		Base (existente) 5	857	0.40
		Sub-base (existente) 20	375	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,150	0.45
12	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (nueva) 10	35,000	0.35
		Base granular (nueva) 20	4,000	0.40
		Base (existente) 15	1,340	0.40
		Sub-base (existente) 15	874	0.40
		Capas inferiores (existentes) 300	1,630	0.45

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

CARRETERA PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO LIM EDOS PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO. A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (RESULTADOS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPEJOR DE CAPA (cm)	CARGA POR RUEDA (t)	DEFORMACION UNITARIA		ESFUERZO DE TENSION EN CAPA RIGIDIZADA (st) kg/cm ²	CICLOS A LA FALLA (Nf)		
				COMPRESION 1x10 ⁻⁴ (m/m)	TENSION 1x10 ⁻⁴ (m/m)		COMPRESION 1 x 10 ⁷	POR TENSION 1 x 10 ¹⁰	POR ESFUERZO DE TENSION 1 x 10 ⁹
1	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (existente)	6.5	10.59	0.65	-	0.025	0.020	-
		Base (existente)	11.0	12.85	1.05	-	0.011	0.002	-
		Sub-base (existente)	18.0	14.58	1.04	-	0.007	0.002	-
		Capas inferiores (existentes)	19.5	12.17	0.93	-	0.014	0.003	-
2	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (existente)	6.5	13.77	0.85	-	0.009	0.005	-
		Base (existente)	11.0	16.70	1.36	-	0.004	0.000	-
		Sub-base (existente)	18.0	18.96	1.35	-	0.002	0.001	-
		Capas inferiores (existentes)	19.5	15.82	1.21	-	0.005	0.001	-
3	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (existente)	6.5	9.53	0.69	-	0.039	0.034	-
		Base (existente)	11.0	11.56	0.94	-	0.018	0.003	-
		Sub-base (existente)	18.0	13.12	0.93	-	0.010	0.003	-
		Capas inferiores (existentes)	19.5	10.95	0.84	-	0.022	0.006	-

CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO. LIM EDOS PUE /TLAX -EL MOLINITO
 SUBTRAMO km 4 8 a km 16 2
 CUERPO A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA PRIMERA ALTERNATIVA
 (RESULTADOS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	CARGA (t)	DEFORMACION UNITARIA		ESFUERZO DE TENSION EN CAPA RIGIDIZADA (σt) kg/cm ²	CICLOS A LA FALLA (Nf)		
				COMPRESION 1x10 ⁻⁴ (m/m)	TENSION 1x10 ⁻⁴ (m/m)		POR COMPRESION 1 x 10 ⁷	POR TENSION 1 x 10 ¹⁰	POR ESFUERZO DE TENSION 1 x 10 ⁹
4	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	2.93	0.18	2.18	5.400	12.300	1.50
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	3.55	0.29	3.28	2.420	1.140	0.36
		Sub-base (existente)	10	4.03	0.29	2.52	1.430	1.200	0.96
		Capas inferiores (existentes)	300	3.36	0.26	2.88	3.080	2.080	0.60
5	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	2.98	0.18	2.23	5.000	11.200	1.41
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	3.62	0.29	3.34	2.240	1.040	0.33
		Base (existente)	2	4.11	0.29	2.57	1.320	1.080	0.90
		Sub-base (existente)	20	3.43	0.26	2.94	2.800	1.880	0.55
6	13.0 16.8	Capas inferiores (existentes)	300						
		Carpeta asfáltica (nueva)	5	2.90	0.18	2.14	5.620	12.900	1.59
		Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	3.52	0.29	3.21	2.520	1.200	0.39
		Base (existente)	10	3.99	0.28	2.47	1.480	1.260	1.03
		Sub-base (existente)	15	3.33	0.25	2.82	3.150	2.160	0.65
		Capas inferiores (existentes)	300						

CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO LIM. EDOS PUE/TLAX -EL MOLINITO
 SUBTRAMO km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA
 (RESULTADOS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	CARGA (t)	DEFORMACION UNITARIA		ESFUERZO DE TENSION EN CAPA RIGIDIZADA (σ_t) kg/cm ²	CICLOS A LA FALLA (Nf)		
				COMPRESION 1x10 ⁻⁴ (m/m)	TENSION 1x10 ⁻⁴ (m/m)		POR COMPRESION 1 x 10 ⁷	POR TENSION 1 x 10 ¹⁰	POR ESFUERZO DE TENSION 1 x 10 ⁹
7	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	3.07	0.19	2.29	4.410	9.610	1.30
		Base asfáltica (nueva)	11.0	3.73		3.44	1.970	0.896	0.29
		Sub-base (existente)	18.0	4.23	0.30	2.65	1.160	0.940	0.82
		Capas inferiores (existentes)	19.5	3.53	0.27	3.03	2.470	1.620	0.49
8	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	3.15	0.19	2.35	3.980	8.490	1.20
		Base asfáltica (nueva)	11.0	3.82	0.31	3.53	1.780	0.792	0.26
		Base (existente)	18.0	4.34	0.31	2.71	1.050	0.831	0.75
		Sub-base (existente)	19.5	3.62	0.28	3.10	2.230	1.430	0.45
9	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	2.98	0.18	2.23	5.010	11.200	1.42
		Base asfáltica (nueva)	11.0	3.61	0.29	3.34	2.240	1.040	0.33
		Base (existente)	18.0	4.10	0.29	2.57	1.320	1.090	0.91
		Sub-base (existente)	19.5	3.43	0.26	2.94	2.810	1.880	0.56

CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO LIM EDOS PUE TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO km 4.8 a km 16.2
 CUERPO A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA TERCERA ALTERNATIVA
 (RESULTADOS)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	CARGA (t)	DEFORMACION UNITARIA		ESFUERZO DE TENSION EN CAPA RIGIDIZADA (σ_t) kg/cm ²	CICLOS A LA FALLA (N F)		
				COMPRESION 1x10 ⁻⁴ (m/m)	TENSION 1x10 ⁻⁴ (m/m)		POR COMPRESION 1 x 10 ⁷	POR TENSION 1 x 10 ¹⁰	POR ESFUERZO DE TENSION 1 x 10 ⁹
10	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	3.32	0.20	-	3.200	6.540	-
		Base granular (nueva)	11.0	4.02	0.33	-	1.430	0.610	-
		Base (existente)	18.0	4.57	0.32	-	0.844	0.640	-
		Sub-base (existente)	19.5	3.81	0.29	-	1.790	1.100	-
		Capas inferiores (existentes)	300						
11	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	3.39	0.21	-	2.950	5.920	-
		Base granular (nueva)	11.0	4.11	0.33	-	1.320	0.552	-
		Base (existente)	18.0	4.66	0.33	-	0.778	0.579	-
		Sub-base (existente)	19.5	3.89	0.30	-	1.650	0.996	-
		Capas inferiores (existentes)	300						
12	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (nueva)	6.5	3.19	0.20	-	3.780	8.000	-
		Base granular (nueva)	11.0	3.87	0.31	-	1.690	0.746	-
		Base (existente)	18.0	4.39	0.31	-	0.998	0.782	-
		Sub-base (existente)	19.5	3.66	0.28	-	2.120	1.340	-
		Capas inferiores (existentes)	300						

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (VIDA ESPERADA)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	VIDA ESPERADA (AÑOS)
1	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (existente)	12
		Base (existente)	13
		Sub-base (existente)	10
		Capas inferiores (existentes)	300
2	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (existente)	14
		Base (existente)	13
		Sub-base (existente)	20
		Capas inferiores (existentes)	300
3	13.0 16.8	Carpeta asfáltica (existente)	14
		Base (existente)	21
		Sub-base (existente)	15
		Capas inferiores (existentes)	300

NOTAS:

- a) La distribución vehicular considerada es: A = 77 %, B = 6 % y C = 17 %
- b) Las cargas consideradas son de 6.5 y 11 t para eje sencillo y 18 y 19.5 t para eje "tandem"
- c) La tasa de crecimiento vehicular considerada es 3.1 % anual

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA CONDICION ACTUAL
 (VIDA ESPERADA)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO		ESPESOR DE CAPA (cm)	VIDA ESPERADA (AÑOS)	
	km a	km			
4	4.8	7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	16.6
			Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	
			Sub-base (existente)	10	
			Capas inferiores (existentes)	300	
5	7.0	13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	5	15.8
			Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	
			Base (existente)	2	
			Sub-base (existente)	20	
			Capas inferiores (existentes)	300	
6	13.0	16.8	Carpeta asfáltica (nueva)	5	17.1
			Capa rigidizada con cemento Portland (nueva)	25	
			Base (existente)	10	
			Sub-base (existente)	15	
			Capas inferiores (existentes)	300	

NOTAS:

- a) La distribución vehicular considerada es: A = 77 %, B = 6 % y C = 17 %
- b) Las cargas consideradas son de 6.5 y 11 t para eje sencillo y 18 y 19.5 t para eje "tandem"
- c) La tasa de crecimiento vehicular considerada es 3.1 % anual

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA SEGUNDA ALTERNATIVA
 (VIDA ESPERADA)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO km a km	ESPESOR DE CAPA (cm)	VIDA ESPERADA (AÑOS)
7	4.8 7.0	Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	14.2
		Base asfáltica (nueva) 25	
		Sub-base (existente) 10	
		Capas inferiores (existentes) 300	
8	7.0 13.0	Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	13.2
		Base asfáltica (nueva) 25	
		Base (existente) 2	
		Sub-base (existente) 20	
9	13.0 16.8	Capas inferiores (existentes) 300	15.7
		Carpeta asfáltica (nueva) 7.5	
		Base asfáltica (nueva) 25	
		Base (existente) 10	
		Sub-base (existente) 15	

NOTAS:

- a) La distribución vehicular considerada es. A = 77 %, B = 6 % y C = 17 %
- b) Las cargas consideradas son de 6.5 y 11 t para eje sencillo y 18 y 19.5 t para eje "tandem"
- c) La tasa de crecimiento vehicular considerada es 3.1 % anual

CARRETERA: PUEBLA-STA. ANA-APIZACO
 TRAMO: LIM. EDOS. PUE./TLAX.-EL MOLINITO
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2
 CUERPO: A

ESTRUCTURAS ANALIZADAS PARA LA TERCERA ALTERNATIVA
 (VIDA ESPERADA)

CASO SIMULADO	SUBTRAMO		ESPESOR DE CAPA (cm)	VIDA ESPERADA (AÑOS)	
	km a	km			
10	4.8	7.0	Carpeta asfáltica (nueva)	10	11.1
			Base granular (nueva)	20	
			Base (existente)	5	
			Sub-base (existente)	10	
			Capas inferiores (existentes)	300	
11	7.0	13.0	Carpeta asfáltica (nueva)	10	10.4
			Base granular (nueva)	20	
			Base (existente)	5	
			Sub-base (existente)	20	
			Capas inferiores (existentes)	300	
12	13.0	16.8	Carpeta asfáltica (nueva)	10	12.6
			Base granular (nueva)	20	
			Base (existente)	15	
			Sub-base (existente)	15	
			Capas inferiores (existentes)	300	

NOTAS:

- a) La distribución vehicular considerada es: A = 77 %, B = 6 % y C = 17 %
- b) Las cargas consideradas son de 6.5 y 11 t para eje sencillo y 18 y 19.5 t para eje "tandem"
- c) La tasa de crecimiento vehicular considerada es 3.1 % anual

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
TRAMO: Lím. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: lunes 11 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07:00	49	10	12	11	82	
07:15	45	9	15	9	78	
07:30	51	11	9	9	80	
07:45	55	10	12	15	92	332
08:00	58	9	13	10	90	340
08:15	48	10	12	14	84	346
08:30	57	16	18	16	107	373
08:45	62	23	16	16	117	398
09:00	57	17	12	16	102	410
09:15	58	22	21	16	117	443
09:30	65	27	26	20	138	474
09:45	50	18	21	20	109	466
10:00	50	11	13	10	84	448
10:15	75	8	7	3	93	424
10:30	83	8	16	10	117	403
10:45	75	13	12	17	117	411
11:00	96	11	17	6	130	457
11:15	75	15	16	10	116	480
11:30	67	11	17	12	107	470
11:45	77	9	13	5	104	457
12:00	90	7	10	5	112	439
12:15	73	16	13	17	119	442
12:30	91	11	10	10	122	457
12:45	60	12	13	7	92	445
13:00	106	13	11	6	136	469
13:15	92	7	7	12	118	468
13:30	76	13	11	7	107	453
13:45	82	15	10	5	112	473
14:00	81	10	12	16	119	456
14:15	63	13	10	6	92	430
14:30	82	7	14	7	110	433
14:45	92	12	13	5	122	443

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lim. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra km 14+000
 Fecha: lunes 11 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
15.00	97	11	15	6	129	453
15.15	95	3	10	7	115	476
15.30	83	11	7	10	111	477
15.45	86	10	11	5	112	467
16.00	106	13	10	8	137	475
16.15	101	11	15	18	145	505
16.30	108	2	10	6	126	520
16.45	107	10	15	16	148	556
17.00	95	6	11	12	124	543
17.15	92	8	12	11	123	521
17.30	86	10	11	10	117	512
17.45	90	12	17	11	130	494
18.00	75	21	16	16	128	498
18.15	77	12	17	16	122	497
18.30	66	26	11	16	119	499
18.45	47	31	20	27	125	494

Totales	3 652	601	640	543	5 436
Distribucion %	67.18	11.06	11.77	9.99	100.00

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lím Edos. Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16'2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: martes 12 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07.00	69	8	10	4	91	
07.15	75	8	11	3	97	
07.30	74	8	9	5	96	
07:45	65	7	10	4	86	370
08.00	69	9	9	5	92	371
08.15	74	6	12	5	97	371
08.30	81	10	11	5	107	382
08.45	83	10	13	7	113	409
09.00	105	11	12	8	136	453
09.15	85	3	16	6	110	466
09.30	71	15	8	7	101	460
09:45	92	8	11	6	117	464
10:00	88	13	11	7	119	447
10.15	87	11	15	2	115	452
10.30	75	6	11	7	99	450
10.45	91	6	13	11	121	454
11:00	85	8	13	13	119	454
11:15	107	10	22	6	145	484
11:30	132	10	15	10	167	552
11:45	83	11	16	6	116	547
12.00	93	6	18	20	137	565
12.15	81	8	11	15	115	535
12.30	80	7	10	7	104	472
12.45	87	8	11	6	112	468
13.00	86	8	17	7	118	449
13:15	97	7	5	10	119	453
13:30	97	6	10	11	124	473
13.45	91	5	15	10	121	482
14:00	98	7	16	11	132	496
14:15	81	8	15	6	110	487
14.30	86	6	6	5	103	466
14.45	107	5	15	6	133	478

CARRETERA: Puebla-Sta Ana-Apizaco
TRAMO: Lím Edos Pue/Tlax-El Molnito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: martes 12 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
15:00	111	8	17	5	141	487
15:15	92	6	8	7	113	490
15:30	88	6	11	6	111	498
15:45	96	10	8	5	119	484
16:00	92	6	6	8	112	455
16:15	103	8	10	20	141	483
16:30	88	8	13	11	120	492
16:45	77	3	16	10	106	479
17:00	88	7	3	13	111	478
17:15	107	5	15	17	144	481
17:30	82	7	8	11	108	469
17:45	68	5	6	11	90	453
18:00	81	6	11	21	119	461
18:15	78	2	6	17	103	420
18:30	68	7	15	17	107	419
18:45	65	7	18	27	117	446

Totales	4 159	360	568	447	5 534
Distribución %	75.15	6.51	10.26	8.08	100.00

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lim. Edos Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4 8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000

Fecha: miércoles 13 de noviembre de 1996

Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica

Sentido de Circulación: S-N

Hora de Terminación: 19 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07:00	63	11	26	16	116	
07:15	72	17	18	11	118	
07:30	66	7	21	12	106	
07:45	82	8	6	6	102	442
08:00	103	6	7	2	118	444
08:15	107	6	11	13	137	463
08:30	138	6	8	10	162	519
08:45	121	5	7	5	138	555
09:00	108	7	6	6	127	564
09:15	102	5	8	12	127	554
09:30	101	5	12	11	129	521
09:45	122	8	16	5	151	534
10:00	111	6	7	3	127	534
10:15	90	15	11	8	124	531
10:30	98	5	17	7	127	529
10:45	96	3	11	10	120	498
11:00	103	8	11	10	132	503
11:15	97	6	13	15	131	510
11:30	101	2	10	3	116	499
11:45	101	6	18	10	135	514
12:00	102	10	20	12	144	526
12:15	87	5	16	7	115	510
12:30	77	6	16	6	105	499
12:45	107	6	12	7	132	496
13:00	82	2	11	11	106	458
13:15	123	6	12	7	148	491
13:30	77	6	13	17	113	499
13:45	81	5	13	5	104	471
14:00	65	10	15	12	102	467
14:15	98	11	16	13	138	457
14:30	77	7	8	13	105	449
14:45	78	12	8	17	115	460

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
TRAMO: Lim. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: miércoles 13 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
15 00	57	12	17	16	102	460
15 15	77	8	11	18	114	436
15 30	71	7	12	15	105	436
15 45	86	7	18	7	118	439
16 00	83	6	17	13	119	456
16 15	71	8	17	12	108	450
16 30	87	3	18	7	115	460
16 45	102	6	6	7	121	463
17 00	78	3	12	16	109	453
17 15	77	7	22	12	118	463
17 30	83	8	11	10	112	460
17 45	92	8	10	8	118	457
18 00	77	7	17	21	122	470
18 15	82	8	7	13	110	462
18 30	73	8	22	11	114	464
18 45	73	8	23	17	121	467

Totales	4 305	342	644	505	5 796
Distribución %	74.28	5.90	11.11	8.71	100.00

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
TRAMO: Lím. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra. km 14+000
 Fecha: jueves 14 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7.00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07:00	97	6	12	11	126	
07:15	93	6	8	6	113	
07:30	92	6	11	13	122	
07:45	96	8	13	16	133	494
08:00	91	8	13	17	129	497
08:15	93	11	17	12	133	517
08:30	88	6	8	6	108	503
08:45	97	2	5	7	111	481
09:00	88	7	11	7	113	465
09:15	88	3	11	3	105	437
09:30	92	3	12	3	110	439
09:45	111	7	6	1	125	453
10:00	87	6	6	6	105	445
10:15	93	3	12	11	119	459
10:30	107	11	17	16	151	500
10:45	82	6	16	6	110	485
11:00	101	3	11	8	123	503
11:15	87	6	8	11	112	496
11:30	82	7	11	7	107	452
11:45	102	3	20	7	132	474
12:00	98	7	15	7	127	478
12:15	87	7	13	13	120	486
12:30	93	6	8	11	118	497
12:45	82	8	6	8	104	469
13:00	77	5	7	5	94	436
13:15	72	7	11	17	107	423
13:30	87	7	18	17	129	434
13:45	93	6	12	8	119	449
14:00	92	6	16	11	125	480
14:15	97	6	12	16	131	504
14:30	103	13	8	12	136	511
14:45	111	3	21	23	158	550

CARRETERA: Puebla-Sta Ana-Apizaco
TRAMO: Lim Edos Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra km 14+000
 Fecha jueves 14 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación S-N
 Hora de Terminación 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
15:00	83	12	18	11	124	549
15:15	82	7	16	12	117	535
15:30	108	8	20	13	149	548
15:45	107	5	15	8	135	525
16:00	87	8	12	16	123	524
16:15	92	7	11	17	127	534
16:30	86	13	8	12	119	504
16:45	97	7	11	7	122	491
17:00	92	3	23	16	134	502
17:15	113	5	16	11	145	520
17:30	97	11	26	16	150	551
17:45	102	6	11	13	132	561
18:00	86	11	41	0	138	565
18:15	77	7	16	18	118	538
18:30	102	8	12	11	133	521
18:45	108	11	16	11	146	535

Totales	4 478	328	647	514	5 967
Distribucion %	75.05	5.50	10.84	8.61	100.00

CARRETERA: Puebla-Sta Ana-Apizaco
 TRAMO: Lím. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16 2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: viernes 15 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7 00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07 00	92	6	12	11	121	
07 15	87	7	11	13	118	
07 30	86	6	11	11	114	
07 45	76	8	6	6	96	449
08 00	92	7	11	12	122	450
08 15	83	6	12	12	113	445
08 30	78	5	3	2	88	419
08 45	107	5	11	3	126	449
09 00	87	8	8	3	106	433
09 15	78	3	5	12	98	418
09 30	102	5	5	6	118	448
09 45	92	5	10	10	117	439
10 00	88	6	10	11	115	448
10 15	87	5	12	8	112	462
10 30	91	5	6	6	108	452
10 45	93	6	7	2	108	443
11 00	116	6	18	16	156	484
11 15	100	5	6	8	119	491
11 30	97	5	11	11	124	507
11 45	103	6	10	13	132	531
12 00	129	6	8	7	150	525
12 15	92	3	7	8	110	516
12 30	87	6	16	17	126	518
12 45	78	11	21	17	127	513
13 00	77	5	21	11	114	477
13 15	110	5	21	8	144	511
13 30	81	6	8	6	101	486
13 45	78	6	7	17	108	467
14 00	87	6	5	8	106	459
14 15	103	6	12	16	137	452
14 30	90	6	8	7	111	462
14 45	108	5	12	7	132	486

CARRETERA: Puebla-Sta Ana-Apizaco
TRAMO: Lím Edos. Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha viernes 15 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio 7.00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación S-N
 Hora de Terminación 19 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamion con Semirremolque (T-S)	Total	
15 00	88	5	10	6	109	489
15 15	83	5	12	10	110	462
15 30	88	6	8	13	115	466
15 45	78	7	11	13	109	443
16 00	92	6	11	12	121	455
16 15	83	7	11	10	111	456
16 30	97	7	8	5	117	458
16 45	103	5	12	8	128	477
17 00	83	7	11	15	116	472
17 15	88	2	8	6	104	465
17 30	88	6	12	13	119	467
17 45	92	7	13	16	128	467
18 00	92	6	12	13	123	474
18 15	102	8	11	13	134	504
18 30	92	6	13	13	124	509
18 45	101	6	11	16	134	515

Totales	4 405	282	505	487	5 679
Distribucion %	77 57	4 97	8 89	8 58	100 00

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
TRAMO: Lím. Edos. Pue/Tlax-El Molinito
SUBTRAMO: km 4.8 a km 16 2

Ubicación de la Estación Maestra. km 14+000
 Fecha: sábado 16 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 7 00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 19:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
07:00	77	3	11	13	104	
07:15	78	6	13	11	108	
07:30	91	3	7	0	101	
07:45	76	6	8	6	96	409
08:00	87	7	11	3	108	413
08:15	83	6	11	16	116	421
08:30	103	5	1	1	110	430
08:45	107	5	6	0	118	452
09:00	101	2	12	1	116	460
09:15	93	12	13	5	123	467
09:30	103	5	5	5	118	475
09:45	103	7	7	15	132	489
10:00	112	3	6	3	124	497
10:15	97	3	6	11	117	491
10:30	107	6	7	7	127	500
10:45	107	5	13	2	127	495
11:00	133	3	21	7	164	535
11:15	98	7	8	11	124	542
11:30	116	4	15	13	148	563
11:45	103	3	10	6	122	558
12:00	103	7	11	6	127	521
12:15	128	8	7	7	150	547
12:30	78	6	8	12	104	503
12:45	91	7	11	16	125	506
13:00	82	6	11	7	106	485
13:15	93	6	10	5	114	449
13:30	96	6	11	17	130	475
13:45	97	3	3	5	108	458
14:00	93	7	17	11	128	480
14:15	77	6	9	7	99	465
14:30	93	1	1	5	100	435
14:45	88	5	6	6	105	432

CARRETERA: Puebla-Sta Ana-Apizaco
 TRAMO: Lim Edos Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4 8 a km 16 2

Ubicación de la Estación Maestra km 14+000
 Fecha sábado 16 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio 7 00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación S-N
 Hora de Terminación. 19 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
15 00	97	5	8	10	120	424
15 15	88	6	12	11	117	442
15 30	91	7	6	8	112	454
15 45	92	3	8	6	109	458
16 00	91	6	2	11	110	448
16 15	111	6	11	1	129	460
16 30	106	2	6	8	122	470
16 45	108	6	12	16	142	503
17 00	106	6	11	10	133	526
17 15	93	7	12	11	123	520
17 30	81	6	11	13	111	509
17 45	93	3	13	7	116	483
18 00	93	6	11	13	123	473
18 15	108	6	11	7	132	482
18 30	107	7	12	11	137	508
18 45	91	3	6	13	113	505

Totales	4 650	254	448	396	5 748
Distribución	80 90	4 42	7 79	6 89	100 00

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lim Edos Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4 8 a km 16 2

Ubicación de la Estación Maestra: km 14+000
 Fecha: domingo 17 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 6:00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 6:00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
06 00	75	5	6	1	87	
06 15	56	3	5	2	66	
06 30	66	4	5	1	76	
06 45	80	5	4	3	92	321
07 00	72	7	7	3	89	323
07 15	58	3	6	6	73	330
07 30	61	2	7	0	70	324
07 45	51	3	4	0	58	290
08 00	57	2	6	0	65	266
08 15	61	1	6	0	68	261
08 30	58	3	6	3	70	261
08 45	51	2	3	1	57	260
09 00	61	3	2	2	68	263
09 15	59	2	2	1	64	259
09 30	72	3	3	1	79	268
09 45	92	5	5	1	103	314
10 00	88	6	2	3	99	345
10 15	102	11	6	6	125	406
10 30	92	6	0	6	104	431
10 45	92	8	7	8	115	443
11 00	107	6	7	8	128	472
11 15	87	17	8	6	118	465
11 30	77	3	6	3	89	450
11 45	86	3	3	2	94	429
12 00	86	2	2	4	94	395
12 15	86	6	7	7	106	383
12 30	108	3	6	7	124	418
12 45	81	10	11	5	107	431
13 00	83	10	13	7	113	450
13 15	105	11	12	8	136	480
13 30	85	3	16	6	110	466
13 45	82	15	10	5	112	471

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lim Edos Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4.8 a km 16.2

Ubicación de la Estación Maestra. km 14+000
 Fecha: domingo 17 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio: 6 00

Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación: S-N
 Hora de Terminación: 6 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
14 00	87	6	5	8	106	464
14 15	92	6	8	7	113	441
14 30	85	5	7	5	102	433
14 45	86	6	7	4	103	424
15 00	83	8	5	5	101	419
15 15	90	5	6	7	108	414
15 30	88	7	5	8	108	420
15 45	79	4	3	6	92	409
16 00	81	6	8	3	98	406
16 15	87	5	7	5	104	402
16 30	93	3	5	4	105	399
16 45	85	7	4	6	102	409
17 00	87	5	6	3	101	412
17 15	86	6	8	7	107	415
17 30	83	3	3	4	93	403
17 45	84	4	5	5	98	399
18 00	83	6	7	8	104	402
18 15	83	7	6	3	99	394
18 30	82	6	3	6	97	398
18 45	92	3	6	7	108	408
19 00	78	6	7	8	99	403
19 15	87	2	3	7	99	403
19 30	92	3	7	6	108	414
19 45	93	6	8	3	110	416
20 00	74	3	3	2	82	399
20 15	78	2	3	4	87	387
20 30	66	3	4	3	76	355
20 45	63	3	3	4	73	318
21 00	71	3	2	4	80	31
21 15	69	2	3	4	78	307
21 30	65	3	2	3	73	304
21 45	70	2	3	4	79	310

CARRETERA: Puebla-Sta. Ana-Apizaco
 TRAMO: Lím Edos Pue/Tlax-El Molinito
 SUBTRAMO: km 4 8 a km 16 2

Ubicación de la Estacion Maestra km 14+000
 Fecha domingo 17 de noviembre de 1996
 Hora de Inicio 6 00

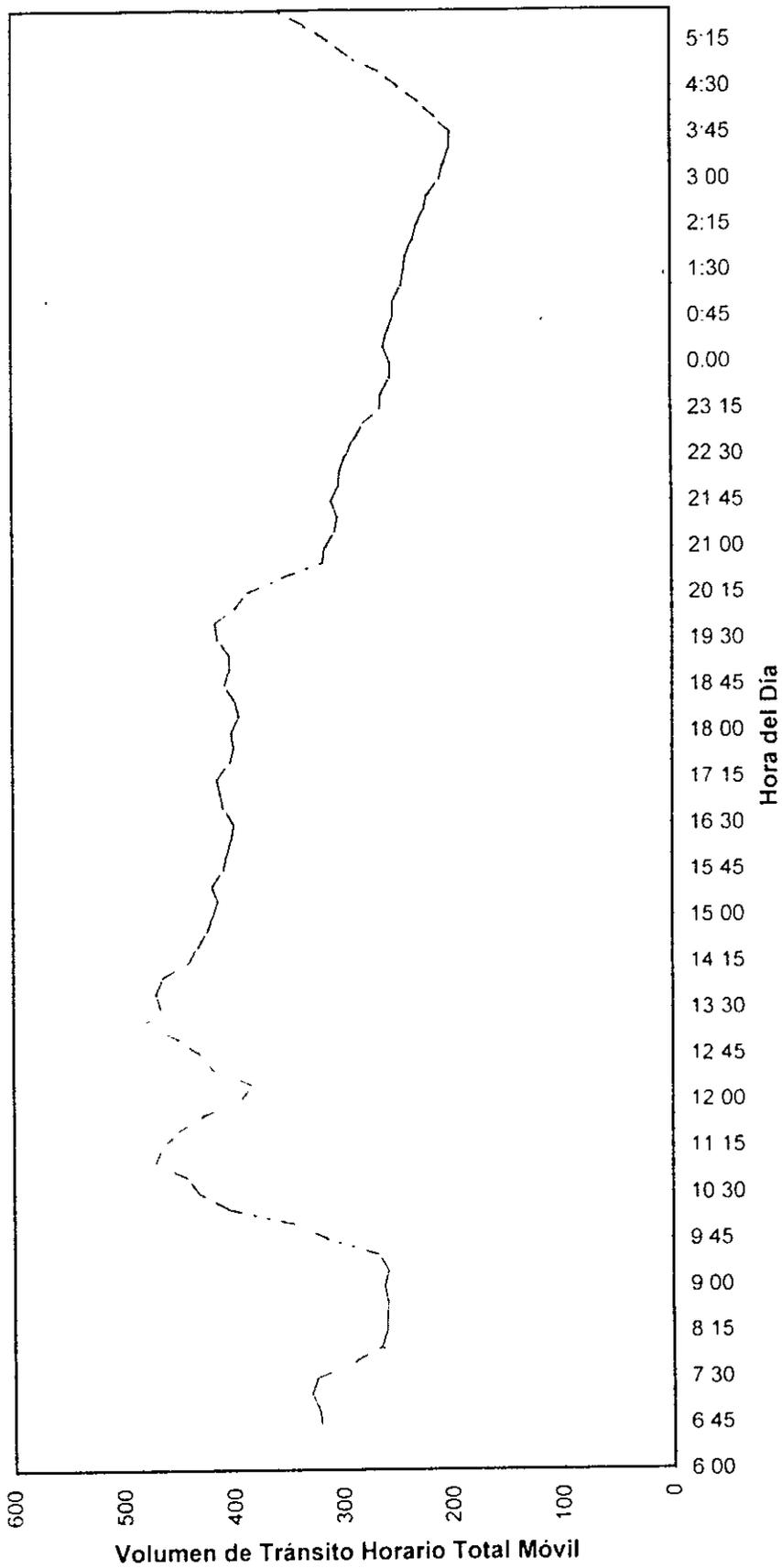
Estación Maestra Unica
 Sentido de Circulación S-N
 Hora de Terminación 6 00

Hora de Inicio del Intervalo de Registro	Volumen de Tránsito por Tipo de Vehículo en el Intervalo de Registro de 15 Minutos					Volumen de Tránsito Horario Total Móvil
	Automóvil (A)	Autobús (B)	Camión (C)	Tractocamión con Semirremolque (T-S)	Total	
22 00	64	4	2	3	73	303
22 15	69	3	3	2	77	302
22 30	57	3	3	4	67	296
22 45	62	4	2	4	72	289
23 00	58	3	1	2	64	280
23 15	55	2	3	2	62	265
23 30	57	4	3	2	66	264
23 45	57	2	2	3	64	256
24 00	57	2	3	1	63	255
24 15	61	3	2	3	69	262
24 30	54	3	3	2	62	258
24 45	52	2	2	3	59	253
01 00	57	1	3	2	63	253
01 15	53	2	3	3	61	245
01 30	55	1	2	2	60	243
01 45	49	2	3	3	57	241
02 00	53	0	2	2	57	235
02 15	52	1	2	2	57	231
02 30	47	1	2	3	53	224
02 45	48	2	3	1	54	221
03 00	43	0	1	2	46	210
03 15	45	2	3	3	53	206
03 30	42	1	2	3	48	201
03 45	49	0	2	2	53	200
04 00	53	2	3	2	60	214
04 15	60	3	2	3	68	229
04 30	59	3	2	2	66	247
04 45	64	2	3	2	71	265
05 00	80	3	2	3	88	293
05 15	79	2	3	2	86	311
05 30	84	2	2	1	89	334
05 45	85	3	5	3	96	359

Totales	6 959	387	434	356	8.136
Distribución %	85 53	4 76	5 33	4 38	100 00

CARRETERA PUEBLA-STA ANA-APIZACO
 TRAMO LIM EDOS PUE/TLAX-EL MOLINITO
 SUBTRAMO DEL km 4.8 AL km 16.2
 CUERPO "A"

VARIACION DEL VOLUMEN DE TRANSITO HORARIO TOTAL MOVIL CON LA HORA DEL DIA



--- Estación Maestra km 14 S-N

CAPITULO IV PRESENTACION DE LAS ALTERNATIVAS

4.1 Pavimento

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento. Sus principales funciones son las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiado, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito.

En la página 124 se muestra la estructura de un pavimento que normalmente esta constituida por las siguientes capas: sub-base, base y carpeta asfáltica. La calidad de cada una de estas capas es mayor conforme se acerca a la superficie de rodamiento.

4.1.1 Sub-base

La función de una sub-base consiste en servir de transición entre el material de la base, generalmente granular grueso y el de la subrasante, que tiende a ser mucho más fino. La sub-base actúa como filtro de la base e impide su incrustación en la subrasante.

La sub-base también se coloca para distribuir los esfuerzos ala capa sub-rasante y a la vez para absorber las deformaciones perjudiciales de la sub-rasante; por ejemplo, cambios volumétricos asociados a cambios de humedad que podrían llegar a reflejarse en la superficie del pavimento.

Otra función de la sub-base es actuar como dren para desalojar el agua que se infiltre desde arriba y para impedir la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de la terracería.

4.1.2 Base

La función fundamental de la base de un pavimento flexible consiste en proporcionar un elemento resistente a la acción de las cargas del tránsito y ser capaz de transmitir los esfuerzos resultantes con intensidades adecuadas. La base tiene también una importante función drenante, capaz de eliminar fácil y rápidamente el agua que llegue a infiltrarse a través de la carpeta, así como de impedir radicalmente la ascensión capilar del agua que provenga de niveles inferiores.

4.1.3 Carpeta asfáltica

La carpeta asfáltica debe proporcionar, en el pavimento flexible, una superficie de rodamiento estable capaz de resistir la aplicación directa de las cargas, la fricción de las llantas, los esfuerzos de frenaje, los producidos por las fuerzas centrífugas, los impactos, etc. Debe tener la textura necesaria para permitir un rodamiento seguro y cómodo, así como un frenaje apropiado.

La naturaleza de la carpeta debe ser tal que resista la acción de los agentes del intemperismo. Es deseable que tenga un color que evite reflejos del sol durante el día o de luces artificiales durante la noche.

4.1.4 Materiales asfálticos

Son materiales bituminosos con propiedades aglutinantes, sólidos, semisólidos o líquidos que se licúan gradualmente al calentarse. Se utilizan en estabilizaciones, en riegos de impregnación, de liga y de sello, en construcción de carpetas y en la elaboración de mezclas y morteros asfálticos.

El asfalto está constituido, principalmente, por asfaltenos, resinas y aceites. Estos elementos le dan al asfalto sus características de consistencia, poder de aglutinación y ductilidad.

Los materiales asfálticos se dividen en:

- a) Cementos asfálticos. Son los asfaltos obtenidos por un proceso de destilación del petróleo para eliminar sus solventes volátiles y parte de los aceites.
- b) Asfaltos rebajados de fraguado rápido. Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo de la nafta o gasolina.
- c) Asfaltos rebajados de fraguado medio. Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente del tipo del queroseno.
- d) Asfaltos rebajados de fraguado lento. Son los materiales asfálticos líquidos, compuestos de un cemento asfáltico y un disolvente de baja volatilidad o aceite ligero.

4.1.5 Emulsiones asfálticas

Son los materiales asfálticos líquidos estables, formulados por dos fases no miscibles, donde la fase continua de la emulsión está formada por agua y la fase discontinua por pequeños glóbulos de asfalto.

Dependiendo del agente emulsificante, las emulsiones asfálticas pueden ser aniónicas (si los glóbulos de asfalto tienen carga electronegativa) o catiónicas (si los glóbulos asfálticos tienen carga electropositiva). Las emulsiones asfálticas pueden ser de rompimiento rápido, medio y lento.

Los materiales asfálticos se emplean para aglutinar los materiales pétreos empleados en la elaboración de carpetas y bases asfálticas; además, para ligar o unir tales capas entre sí.

4.1.6 Cemento Portland

Un cemento es en general un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan capacidad para aglutinar fragmentos minerales formando un todo compacto. Dentro de esta definición queda comprendida una gran variedad de materiales de cementación. El cemento es una mezcla compleja de diversos compuestos que reaccionan con el agua. Todos esos compuestos son anhídridos, es decir están completamente desprovistos de agua. Cuando entran en contacto con esta, reaccionan activamente formando nuevos compuestos hidratados. Todos ellos son poco solubles, lo que proporciona al concreto su durabilidad. Los principales materiales cementantes de este tipo son los compuestos de cal.

La utilidad del cemento Portland dentro de los pavimentos es para la construcción de capas estabilizadas o rigidizadas.

4.2 Descripción general de las alternativas

Con base a los estudios realizados en el capítulo III, se consideró reforzar la estructura del pavimento para evitar daños como los existen y a la vez aumentar la vida útil, dando así un mejor servicio al usuario.

Con la finalidad de restituir la capacidad estructural del pavimento y tratar de modificar lo menos posible el alineamiento horizontal y vertical de la carretera, se proponen las siguientes alternativas:

Alternativa I

Corte y recuperación de 25 cm del pavimento existente con adición de cemento Portland al $6 \pm 1\%$. Sobre esta capa rigidizada construir una carpeta asfáltica de 7.5 cm de espesor.

Con la ejecución de esta alternativa se pretende dejar la preparación para la construcción de la sección invertida, es decir que una de las capas inferiores en un futuro tendrá mejor calidad que las superiores. En la página 125 se muestra una sección invertida.

Se construye en su primera etapa una base rigidizada producto de una recuperación de material del pavimento existente, que posteriormente en una segunda etapa hace la función de sub-base rigidizada. La base se rigidiza con el $6\pm 1\%$ de cemento Portland y una vez trabajando llega a tener módulos elásticos de 60,000 a 100,000 kg/cm² (pruebas realizadas con el equipo KUAB). Este tipo de capas distribuye las cargas aplicadas por el tránsito hacia las capas inferiores y a su vez evita que las deformaciones que sufren estas capas se transmitan a la superficie de rodamiento.

En la segunda etapa se construirá una base totalmente triturada (BTT) sobre la carpeta existente, compactando el material hasta alcanzar su máximo acomodo y después se tenderá una carpeta asfáltica. Esto ayuda a que las grietas que se lleguen a formar en la sub-base rigidizada no se transmitan a la carpeta asfáltica y así obtener una superficie de rodamiento segura y confortable.

Este tipo de capas impide la ascensión capilar del agua proveniente de capas inferiores hacia la superficie de rodamiento.

Alternativa II

Corte y recuperación de 25 cm del pavimento existente con adición de emulsión asfáltica para formar una base asfáltica. Sobre esta capa recuperada construir una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor.

En esta alternativa, al igual que la primera, se pretende estabilizar la base. Aquí la estabilización se realiza con emulsiones asfálticas, su función es similar a la primera alternativa, pero esta rehabilitación sólo se realiza en una etapa. Las pruebas que se han realizado a este tipo de rehabilitación (con el equipo KUAB) dan como resultado módulos elásticos de 30,000 a 40,000 kg/cm². Por consiguiente los módulos elásticos de la primera alternativa son mayores.

Alternativa III

Corte y retiro de 20 cm del pavimento existente, reposición con material granular de los 20 cm de corte, a continuación construcción de una carpeta asfáltica de 10 cm de espesor.

La solución que se da en esta alternativa es fresar los 20 cm existentes del pavimento y sustituirlos por un material granular de mejor calidad y así reforzar estructuralmente al pavimento. La función que realiza este tipo de rehabilitación es la que comúnmente se conoce en una estructura típica de pavimento.

4.3 Descripción del procedimiento constructivo

4.3.1 Alternativa I. Recuperación con cemento Portland

La rehabilitación del pavimento se ejecutará sin modificar el ancho de la corona actual, siguiendo los lineamientos que en términos generales se describen a continuación:

La recuperación del pavimento con cemento Portland se realizará en los 2 carriles, empleando el equipo adecuado.

Se deberá cortar en frío el material que constituye los 25 cm superiores del pavimento en todo el ancho de los 2 carriles. Simultáneamente al corte y disgregado hasta 38 mm del pavimento se deberá añadir agua y cemento Portland tipo I, de tal manera que se asegure una mezcla homogénea entre los elementos. La relación agua/cemento será de 0.48 ± 0.02 y el contenido de cemento de $6 \pm 1\%$ con relación al peso de los agregados secos.

Inmediatamente después de realizar las actividades anteriores, se procederá a compactar el material con equipo vibratorio, hasta alcanzar la máxima compacidad posible. Se ajustará el número de pasadas mediante tramos de pruebas y se definirá la velocidad de recorrido del equipo de compactación, así como la amplitud y la frecuencia de oscilación del equipo vibratorio.

Durante el proceso, las pendientes longitudinales y transversales de la carretera deberán ser las mismas que existían antes de la rehabilitación.

La distancia máxima entre los equipos de recuperación y de compactación, una vez que el primero termine su actividad, será de 40 m máximo.

Al finalizar la compactación se aplicarán dos riegos superficiales con agua limpia, a razón de 1.5 l/m² y con un intervalo de 8 horas entre ellos.

Sobre la capa rigidizada, se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (RR-2K) a razón de 0.7 l/m². Previo a la aplicación del riego de liga se deberá verificar que la superficie por ligar esté libre de polvo, material suelto y materias extrañas. Una vez limpia la superficie por tratar, se procederá a dar el riego de emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora. Cuando el producto asfáltico de riego de liga tenga la consistencia conveniente, se construirá una carpeta con concreto asfáltico de 7.5 cm de espesor en todo el ancho de la corona, desvaneciendo el espesor en el acotamiento hasta 7.5 cm (pag. 126), compactándola al 95% del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall. A partir de este método se obtendrá el contenido óptimo de asfalto a utilizar. El concreto asfáltico deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico AC-20 y material pétreo de tamaño máximo de 19 mm.

Durante la ejecución de los trabajos se deberá cumplir con los requisitos estipulados en las Normas para Construcción e Instalaciones, con las de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y con las que a continuación se mencionan.

El equivalente de arena para el agregado fino será mayor de 65%.

El contenido de partículas deleznableles (lutitas, tezontle, esquistos, pizarras, calcitas, etc.) no deberá ser mayor del 3%, con respecto al peso del material.

El cemento asfáltico AC-20 para la elaboración de la mezcla asfáltica deberá cumplir con lo estipulado en las Normas AASHTO.

4.3.2 Alternativa II. Recuperación con emulsión asfáltica

La rehabilitación del pavimento se ejecutará sin modificar el ancho de la corona actual, siguiendo los lineamientos que en términos generales se describen a continuación:

La recuperación del pavimento con emulsión asfáltica se realizará en los 2 carriles, empleando el equipo adecuado.

Se deberá cortar en frío el material que constituye los 25 cm superiores del pavimento en todo el ancho de los carriles. Simultáneamente al corte y disgregado hasta 38 mm del pavimento se deberá añadir emulsión asfáltica de rompimiento medio (RM-2K), de tal manera que se asegure una mezcla homogénea entre los elementos. El contenido de emulsión asfáltica para la recuperación deberá tener la ponderación de 12 l/m³ para material recuperado de carpeta asfáltica y de 120 l/m³ para material recuperado de base.

Inmediatamente después de realizar las actividades anteriores, se procederá a compactar el material con equipo vibratorio al 95% del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall.

Durante el proceso, las pendientes longitudinales y transversales de la carretera deberán ser las mismas que existían antes de la rehabilitación.

La distancia máxima entre los equipos de recuperación y de compactación, una vez que el primero termine su actividad, será de 40 m máximo.

Sobre la capa recuperada se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (RR-2K) a razón de 0.7 l/m². Previo a la aplicación del riego de liga se deberá verificar que la superficie por ligar esté libre de polvo, material suelto y materias extrañas. Una vez limpia la superficie por tratar, se procederá a dar el riego de emulsión asfáltica por medio de una petrolizadora. Cuando el producto asfáltico de riego de liga tenga la consistencia conveniente, se construirá una carpeta con concreto asfáltico de 10 cm de espesor en todo el ancho de la corona, desvaneciendo el espesor en el acotamiento hasta 10 cm (pag. 127), compactándola al 95% del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall. A partir de este método se obtendrá el contenido óptimo de asfalto a utilizar. El concreto asfáltico deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico AC-20 y material pétreo de tamaño máximo de 19 mm.

Durante la ejecución de los trabajos se deberá cumplir con los requisitos estipulados en las Normas para Construcción e Instalaciones, con las de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y con las que a continuación se mencionan.

El equivalente de arena para el agregado fino será mayor de 65%.

El contenido de partículas deleznableles (lutitas, tezontle, esquistos, pizarras, calcitas, etc.) no deberá ser mayor del 3%, con respecto al peso del material.

El cemento asfáltico AC-20 para la elaboración de la mezcla asfáltica deberá cumplir con lo estipulado en las Normas AASHTO.

4.3.3 Alternativa III. Fresado y construcción de base hidráulica

La rehabilitación del pavimento se ejecutará sin modificar el ancho de la corona actual, siguiendo los lineamientos que en términos generales se describen a continuación.

El fresado de la carpeta asfáltica se realizará en los 2 carriles empleando el equipo adecuado para efectuar correctamente los trabajos correspondientes.

Se deberá cortar en frío (fresado) el material que constituye los 20 cm superiores del pavimento en todo el ancho de los 2 carriles.

Durante el proceso, las pendientes longitudinales y transversales de la carretera deberán ser las mismas que existían antes de la rehabilitación.

Sobre la superficie expuesta del corte se construirá una base hidráulica de 20 cm de espesor con material pétreo sano y sin finos. El tamaño máximo del agregado será de 38 mm. En la formación de esta capa se empleará equipo vibratorio de la capacidad suficiente para proporcionar la máxima compactación posible en forma eficiente. Se ajustará el número de pasadas mediante tramos de pruebas y se definirá la velocidad de recorrido del equipo de compactación, así como la amplitud y la frecuencia de oscilación del equipo vibratorio.

Para dar por terminada la construcción de la base hidráulica se verificará el alineamiento, perfil, sección, espesor y acabado con la máxima compactación alcanzada.

Sobre la base hidráulica, previo barrido de su superficie, se aplicará un riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento medio (RM-2K) a razón de 1.5 l/m². No se deberá permitir el tránsito de vehículos en las 24 horas siguientes a la terminación de su aplicación. Posteriormente se aplicará un riego de liga con emulsión asfáltica de rompimiento rápido (RR-2K) a razón de 0.7 l/m². Una vez que el producto asfáltico de riego de liga tenga la consistencia conveniente, se construirá una carpeta con concreto asfáltico de 10 cm de espesor en todo el ancho de la corona, desvaneciendo el espesor en el acotamiento hasta 6 cm (pag. 128), compactándola al 95% del peso volumétrico máximo determinado en el laboratorio con el método Marshall. A partir de este método se obtendrá el contenido óptimo de asfalto a utilizar. El concreto asfáltico deberá elaborarse utilizando cemento asfáltico AC-20 y material pétreo de tamaño máximo de 19 mm.

Durante la ejecución de los trabajos se deberá cumplir con los requisitos estipulados en las Normas para Construcción e Instalaciones, con las de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes y con las que a continuación se mencionan.

El equivalente de arena para el agregado fino será mayor de 65%.

El contenido de partículas deleznableles (lutitas, tezontle, esquistos, pizarras, calcitas, etc.) no deberá ser mayor del 3%, con respecto al peso del material.

El cemento asfáltico AC-20 para la elaboración de la mezcla asfáltica deberá cumplir con lo estipulado en las Normas AASHTO.

4.4 Cantidades de obra

4.4.1 Alternativa I

- Recuperación:

$$11,400 \times 7.2 \times 0.25 = 20,520 \text{ m}^3$$

- Cemento Portland (6 % de 2,400 kg/m³):

$$20,520 \times 2,400 \times 0.06 = 2'954,880 \text{ kg}$$

- Carpeta

$$11,400 \times 7.2 \times 0.05 = 4,104 \text{ m}^3$$

$$11,400 \times 3.0 \times ((0.05+0.09)/2) = 2,394 \text{ m}^3$$

$$11,400 \times 10.2 \times 0.025 = 2,907 \text{ m}^3$$

$$\text{Total} \quad 9,405 \text{ m}^3$$

- Cemento asfáltico (130 kg/m³):

$$9,405 \times 130 = 1'222,650.00 \text{ kg}$$

- Riego de liga (0.7 l/m²):

$$11,400 \times 10.2 \times 0.7 = 81,396 \text{ l}$$

La sección tipo se presenta en la página 126.

4.4.2 Alternativa II

- Recuperación:

$$11,400 \times 7.2 \times 0.25 = 20,520 \text{ m}^3$$

- Emulsión asfáltica para recuperación del km 4.8 al km 7 (68.16 l/m³):

Del km 4.8 al km 7

$$2,200 \times 7.2 \times 0.25 \times 68.16 = 269,913.6 \text{ l}$$

- Emulsión asfáltica para recuperación del km 7 al km 16.2 (59.52 l/m³):

Del km 7 al km 16.2

$$9,200 \times 7.2 \times 0.25 \times 59.52 = 985,651.2 \text{ l}$$

$$\text{Total} = 1'255,564.8 \text{ l}$$

- Carpeta

$$0.10 \times 7.2 \times 11,400 = 8,208 \text{ m}^3$$

$$(0.10 + 0.14) / 2 \times 3.0 \times 11,400 = 4,104 \text{ m}^3$$

$$\text{Total} = 12,312 \text{ m}^3$$

- Cemento asfáltico (130 kg/m³):

$$12,312 \times 130 = 1'600,560 \text{ kg}$$

- Riego de liga (0.7 l/m²):

$$11,400 \times 10.2 \times 0.7 = 81,396 \text{ l}$$

La sección tipo se presenta en la página 127.

4.4.3 Alternativa III

- Fresado

$$11,400 \times 7.2 \times 0.2 = 16,416 \text{ m}^3$$

- Base hidráulica

$$11,400 \times 7.2 \times 0.2 = 16,416 \text{ m}^3$$

- Carpeta

$$11,400 \times 7.2 \times 0.1 = 8,208 \text{ m}^3$$

$$11,400 \times 3.0 \times ((0.1+0.06)/2) = 2,736 \text{ m}^3$$

$$\text{Total} = 10,944 \text{ m}^3$$

- Cemento asfáltico (130 kg/m³):

$$10,944 \times 130 = 1'422,720 \text{ kg}$$

- Riego de liga (0.7 l/m²):

$$11,400 \times 10.2 \times 0.7 = 81,396 \text{ l}$$

- Riego de impregnación (1.5 l/m²)

$$11,400 \times 7.2 \times 1.5 = 123,120 \text{ l}$$

- Barrido

$$11,400 \times 7.2 / 10,000 = 8.2 \text{ ha}$$

La sección tipo se presenta en la página 128.

4.5 Evaluación de alternativas

4.5.1 Evaluación económica de las alternativas

El problema económico básico de todos los países es el de asignar recursos que por definición son limitados a una variedad de usos diferentes, de tal modo que el beneficio neto a la sociedad sea el mayor posible. Dada la limitación de recursos se debe escoger entre usos que compiten entre sí, donde el análisis de proyectos es el método para evaluar las alternativas de una manera integral y conveniente. En esencia, los análisis de proyectos evalúan los beneficios y los costos de un proyecto y los reducen a una medida común. Si los beneficios exceden a los costos, ambos expresados en la medida común, el proyecto es aceptable; en caso contrario deberá ser rechazado.

Al evaluar los diferentes proyectos, se deberán tomar en cuenta los objetivos de la sociedad, es decir los costos y los beneficios del proyecto deben ser examinados en función de la medida en que contribuyan o no al logro de los objetivos de la comunidad. Estos pueden ser, en general, el incremento del ingreso nacional, el crecimiento económico, la equidad social y la mejor distribución del ingreso. Particularmente, a nivel de obra, los análisis de proyectos tienen el objetivo de examinar si la aplicación de los recursos se hará con la mayor eficiencia posible.

Las carreteras son parte de la infraestructura del país en la que descansa la creación de riqueza y el bienestar de la sociedad y requieren una rehabilitación adecuada como cualquier otro activo económico. En su caso, mientras más se demora la rehabilitación, mayor será el costo de realizarla. El pavimento se degrada por el uso y el clima normales, pero se deteriora más con volúmenes cuantiosos de tránsito de vehículos pesados. Las carreteras requieren una atención adecuada en función de multitud de factores, entre los que destacan su edad, condición física, volumen de tráfico y condiciones atmosféricas. El mantenimiento y la inversión en rehabilitación y renovación de la superficie pueden ayudar a restaurar la condición del pavimento.

La evaluación de proyectos, también conocida como análisis beneficio/costo, comprende tres partes claves: el valor presente neto, la relación beneficio/costo y la tasa interna de retorno.

Se creyó conveniente mencionar el párrafo anterior debido a la importancia que reviste. Sin embargo, los objetivos del presente trabajo no pretenden abordar estos conceptos. Cabe mencionar que con la aplicación del programa VOCMEX se obtuvieron los resultados de la evaluación económica, considerando los datos obtenidos de la evaluación técnica y el análisis del tránsito diario promedio anual del capítulo anterior,

Los resultados que se obtuvieron en el estudio de la evaluación económica para las alternativas descritas son los siguientes:

INVERSION	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II	ALTERNATIVA III
PRESUPUESTO	\$9'468,558.59	\$10'451,159.54	\$14'080,954.75
PLAZO DE EJECUCIÓN	1 año	1 año	1año
TASA DE DESCUENTO	12%	12%	12%
INDICADORES	ALTERNATIVA I	ALTERNATIVA II	ALTERNATIVA III
HORIZONTE	15 años	15 años	15 años
VALOR PRESENTE NETO	\$155'936,270.53	\$146'458,490.06	\$138'061,747.40
RELACIÓN BENEFICIO/COSTO	14.82	11.92	8.78
TASA INTERNA DE RETORNO (%)	más de 1000	más de 1000	más de 1000
RECUPERACIÓN EN AÑOS	inmediata	inmediata	inmediata

4.5.2 Selección de la Alternativa más conveniente

La elección de la mejor alternativa entre varias posibles es un problema de cuya solución depende el futuro de la carretera.

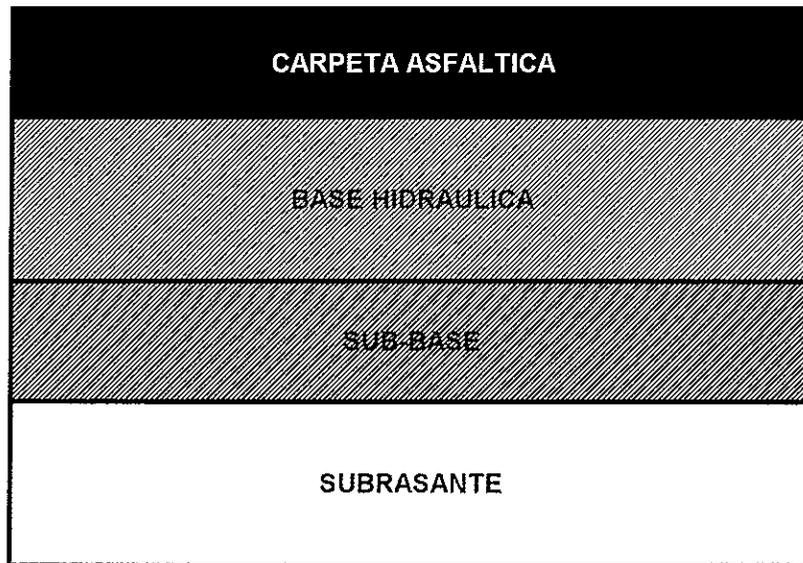
Al comparar las ventajas que ofrecen las alternativas posibles, es preciso hallar el costo aproximado de rehabilitación y compararlo con los beneficios probables que se deriven de ella.

A continuación se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos para las tres alternativas.

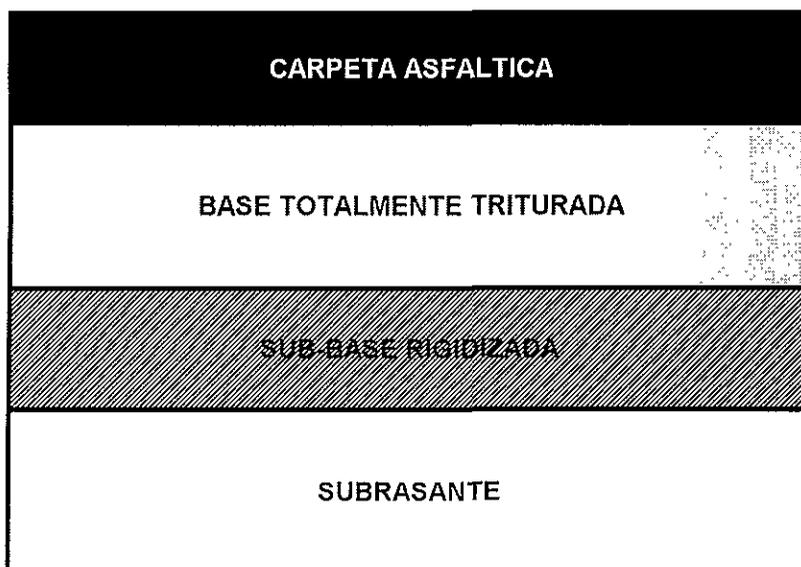
ALTERNATIVA	INVERSION (\$)	VALOR PRESENTE NETO (\$)	RELACION BENEFICIO/COSTO ACTUALIZADO	TASA INTERNA DE RETORNO (%)	PERIODO DE RECUPERACION (AÑOS)
1	9'468,558.59	155'936,270.53	14.82	más de 1000	inmediata
2	10'451,159.54	146'458,490.06	11.92	más de 1000	inmediata
3	14'080,954.75	138'061,747 49	8.78	más de 1000	inmediata

De acuerdo con las condiciones determinadas por los estudios técnicos y económicos, se considera que la alternativa uno es la más conveniente de llevar a cabo para la rehabilitación del subtramo, ya que presenta mayor durabilidad, menor costo de construcción y mayor relación beneficio/costo.

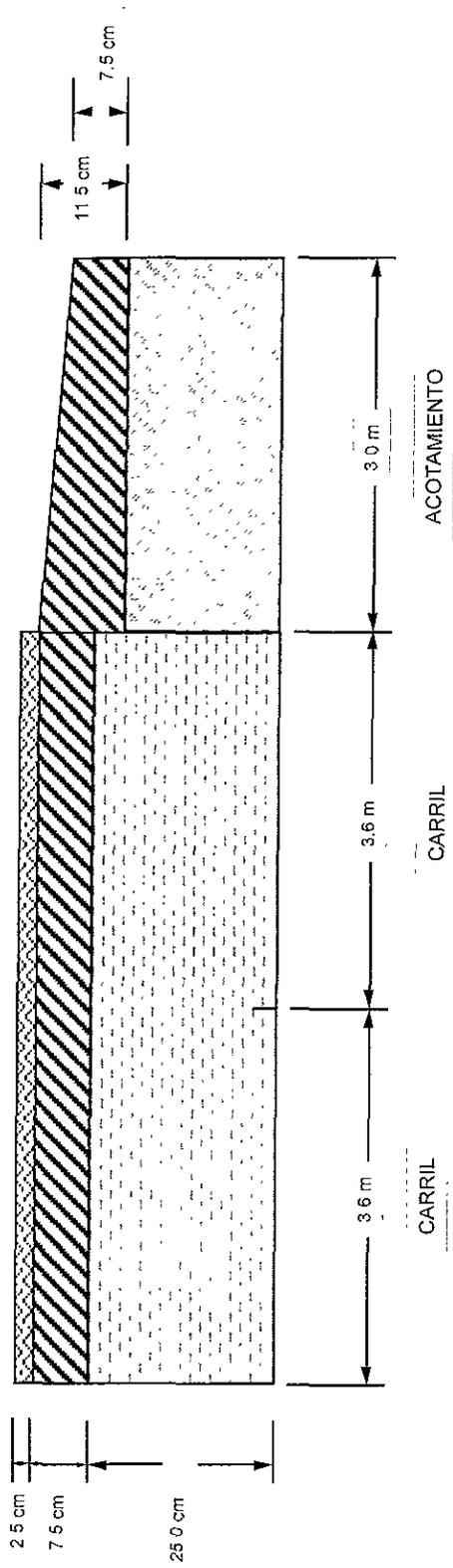
SECCION TIPICA DE PAVIMENTO



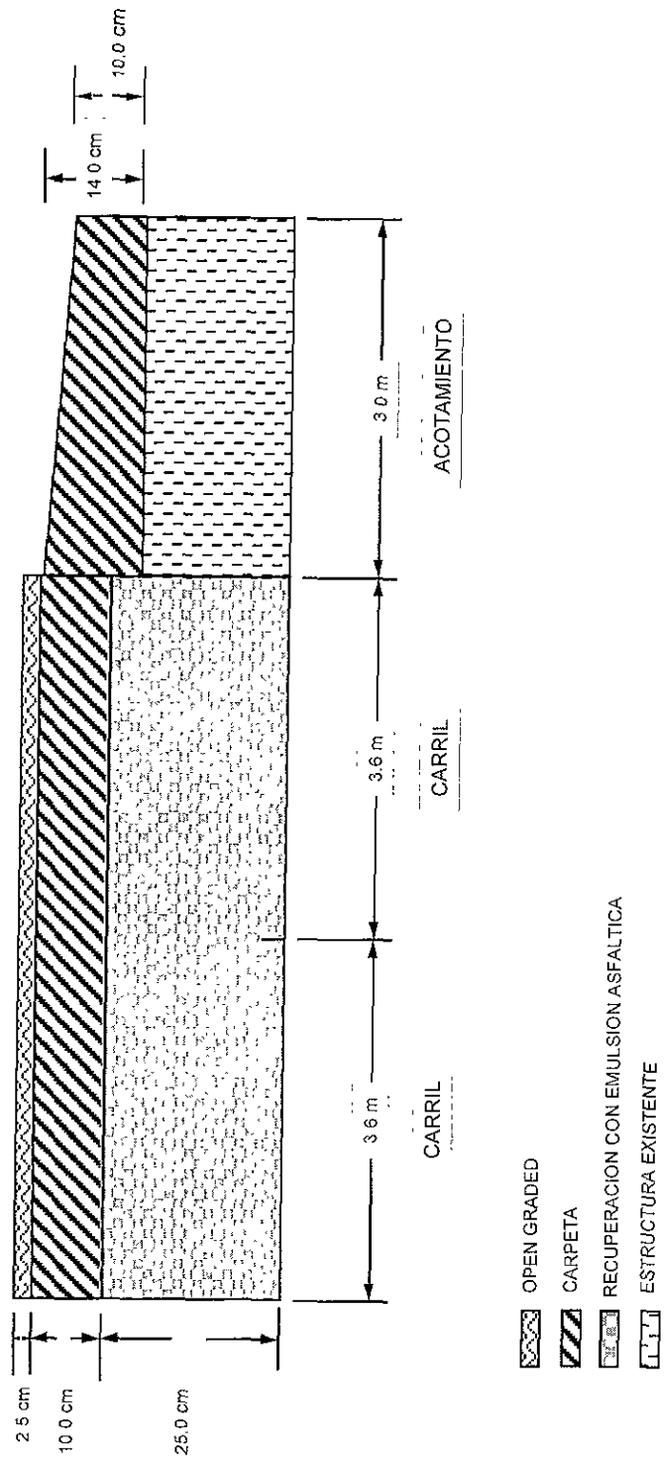
SECCION INVERTIDA DE PAVIMENTO



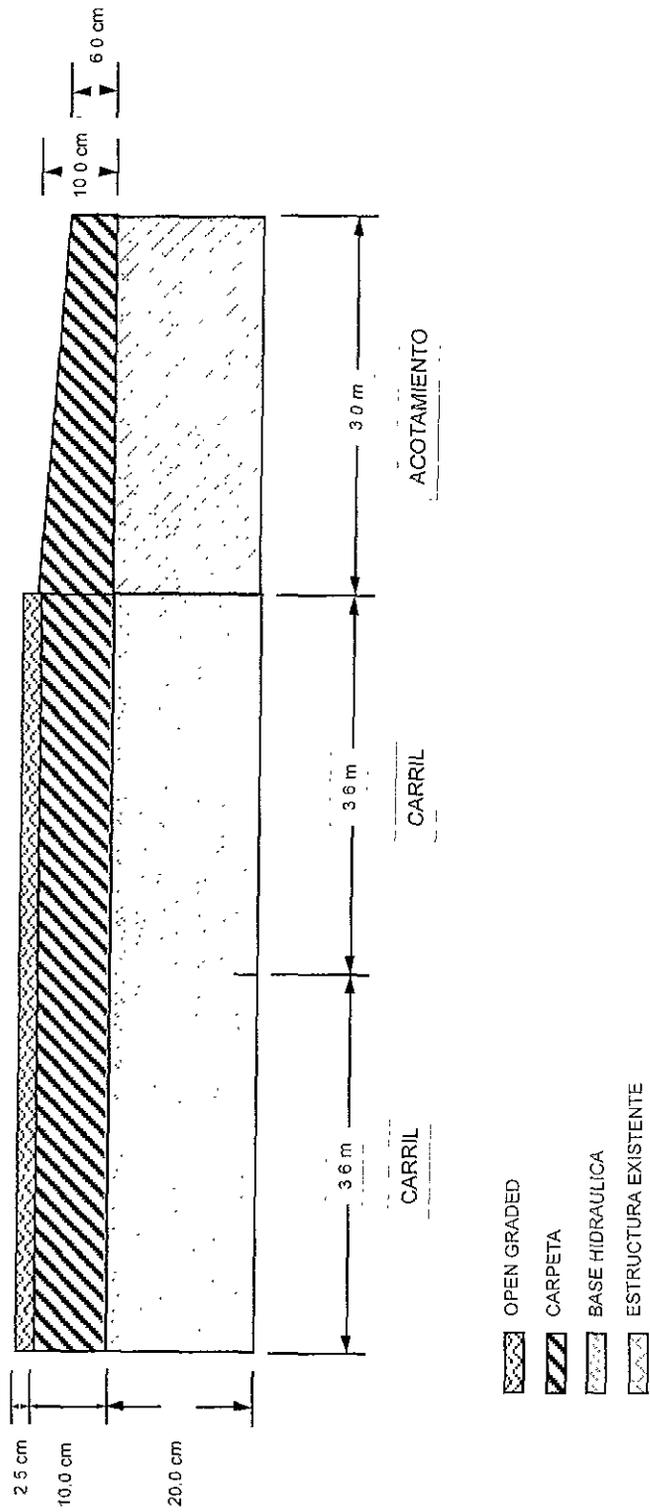
SECCION TIPO
ALTERNATIVA 1 (UNO)



SECCION TIPO
ALTERNATIVA 2 (DOS)



SECCION TIPO
ALTERNATIVA 3 (TRES)



CAPITULO V. CONCLUSIONES

1.- La importancia de las carreteras en la economía de una Nación plantea la necesidad imprescindible de asignar recursos suficientes para su conservación. Las inversiones en su conservación aseguran el patrimonio, garantizan la continuidad de la comunicación, protegen la vida, los bienes de los usuarios y previenen de las pérdidas y altos costos asociados con el deterioro irreversible.

2.- Cuando se abandona una carretera a merced de los agentes destructores del medio ambiente y a la acción nociva del paso frecuente de ejes pesados, el deterioro se presenta en forma irreversible y la necesidad de rehabilitación es imprescindible

3.- Para plantear en forma adecuada las alternativas de rehabilitación es necesario evaluar confiablemente el estado del deterioro. La tecnología de vías terrestres en el mundo ha desarrollado diferentes métodos de evaluación, tales como la viga Benkelman, el curvómetro Dehelen y el Dynaflect, entre otros; sin embargo, estos equipos aunque siguen siendo útiles tienden a ser sustituidos por otros más eficientes.

4.- Entre los equipos con mayor eficiencia se tiene el deformómetro de impacto (Falling Weight Deflectometer) que reproduce la carga originada por el tránsito de un vehículo pesado dejando caer unas pesas sobre una placa segmentada, registrando los desplazamientos verticales y sus tiempos de ocurrencia por medio de sismómetros.

5.- Para analizar las posibles estructuraciones de rehabilitación del pavimento se aplica el método de los elementos finitos, mediante el cual es posible evaluar los esfuerzos y deformaciones en un medio continuo discretizado en un conjunto de elementos particulares enlazados entre sí.

6.- Para seleccionar la alternativa más conveniente de reestructuración de un pavimento debe recurrirse a un enfoque económico, a fin de obtener un beneficio óptimo de los recursos destinados a la rehabilitación. Para este análisis es necesario definir la vida esperada del pavimento, así como los daños que el pavimento recibirá durante su vida.

7.- Para llevar a cabo el análisis anteriormente descrito, es preciso contar con datos estadísticos confiables sobre el volumen y las características del tránsito. De ahí surge la necesidad de que en la red de carreteras se realice de una manera continua una recopilación de los datos del tránsito.

8.- Así mismo, para que los análisis económicos descritos sean reales, es necesario que se monitoree en forma permanente la evaluación de los pavimentos en función del tiempo, mediante observaciones instrumentadas con periodicidad del orden de 5 años. Para este monitoreo se pueden utilizar los equipos de evaluación de la capacidad estructural ya mencionados. De estas acciones se tendrán datos importantes para retroalimentar el diseño sobre los daños que causan los vehículos pesados y sobre la vida económica de las diferentes alternativas de rehabilitación.

9.- Las acciones de mantenimiento menor rutinaria no deben descuidarse una vez que el camino ha sido rehabilitado, porque su omisión distorsiona las hipótesis adoptadas para el análisis económico que permitió seleccionar la alternativa más conveniente de rehabilitar.

10.- Aún cuando esta tesis se restringió a la rehabilitación de un sólo tramo de la red federal, no debe perderse de vista que las acciones sobre un tramo inciden sobre el comportamiento del transporte en todo el sistema carretero. Por lo tanto, las decisiones que se tomen sobre un tramo aislado deben ser el resultado de un análisis global mediante un sistema de administración de la conservación de carreteras.

BIBLIOGRAFIA

1. "Geología de la República Mexicana", INEGI, México 1984.
2. "Síntesis Geográfica de Tlaxcala", INEGI, México 1986.
3. "Manual para calificar las condiciones de servicio en caminos de cuota", CAPUFE, Cuernavaca 1991.
4. Programa elaborado especialmente para RVO y Cía. Uddin, W. "Pavement Evaluation Based on Dynamic Deflection" PEDD1-Versión 1.1 Owner's guide, Silver Spring, Maryland, USA, 1993.
5. "Asphalt Overlays for Highway and Street Rehabilitation". The Asphalt Institute. Manual Series No. 17 (MS-17) Junio, 1983
6. Hughes, Thomas J. R. The Finite Element Method. Linear static and dynamic finite element analysis Englewood Cliffs, New Jersey, 1987.
7. "Procedimiento Simplificado para el Diseño Geométrico de Pavimentos Flexibles" Proyecto realizado en el Instituto de Ingeniería-UNAM, con patrocinio de Raúl Vicente Orozco y Cía.. S.A. de C.V Ene 1993.
8. Torres, Ricardo "Método para el Diseño Geométrico de Pavimentos Flexibles", Tesis de Maestría, UNAM, México, Dic. 1992.
9. Marchand, J. P., Dauxats, M., Lichtenstein, H. y Kobisch, R., "Quelques Formules utiles pour le calcul des chaussées sur petites programmables" Número especial, Mécanique des chaussées, del Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées, París, Francia, 1984
10. Dauxats, M., Lichtenstein, H. y Marchand J. P., "Exemple d'utilisation de la Méthode Rationnelle de Dimensionnement: le transfert d'un Eugin Exceptionnel dans l'Enceinte du Port Autonome de Marseille", Número especial, Mécanique des chaussées, del Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées, París, Francia, 1984
11. "Stage de Formation Sur l'utilisation du Programa ALIZE", Laboratoire central des Ponts et chaussées, Nantes, Francia, 1981.
12. Haas, R., Hudson, R. W., "Pavement Management System", Malbar, Florida, 1982.