

16
2 Gen.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**EVALUACION DEL NIVEL DE SERVICIO DE UN
TRAMO DE PAVIMENTO FLEXIBLE**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
FRANCISCO BARCENAS AVALOS**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.

INDICE.		Pág.
INTRODUCCION.		A
I.- CARACTERISTICAS DE LA REGION.		1
a).- Topografía		1
b).- Geología		2
c).- Hidrología		2
d).- Climatología		3
II.- CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA ACTUAL.		4
a).- Localización		4
b).- Datos Geométricos		5
c).- Drenaje		5
d).- Otras Características		6
e).- Trabajos de Mantenimiento		6
III.- EVALUACION DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA EN OPERACION.		7
a).- Trabajos de Campo		7
a.1).- Estado Superficial del Pavimento		7
a.2).- Drenaje		7
a.3).- Indice de Servicio		13
a.4).- Programación de Sondeos		14
a.5).- Medición de Deflexiones		15
a.6).- Deformaciones Permanentes		16
b).- Trabajos de Laboratorio		16
b.1).- Pruebas Indice y de Calidad de los Materiales que forman la estructura.		16
IV.- ANALISIS DE INFORMACION OBTENIDA.		19
a).- Estado Superficial del Pavimento e <u>Indice de Servicio.</u>		20
b).- Tránsito		20
b.1).- Análisis de Tránsito por el Método del - Instituto de Ingeniería.		20

b.2).- Análisis de Tránsito por el Método de - California.	21
c).- Revisión de la Estructura por Método del Insti- tuto de Ingeniería.	22
d).- Capacidad del Camino	23
d.1).- Evaluación de la Capacidad.	23
e).- Bancos de Materiales	25
V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	27
VI.- BIBLIOGRAFÍA.	32

INTRODUCCION

La necesidad de mover más de 300 millones de toneladas de productos básicos, así como insumos para la industria en general y - distribuirlos por todo el país: como el movimiento de más de 370 millones de personas por medio de los autotransportes. Aspectos - importantes para el desarrollo del país, lo cual hace necesario - contar con una red carretera en óptimas condiciones, por lo cual - se ha considerado interesante desarrollar en el siguiente trabajo de evaluación como objeto de ejemplo, de un cierto camino correspondiente a la carretera de cuota con pavimento flexible.

Puebla - Orizaba en el sub-tramo Puebla - Acatzingo del Km, 128 al Km, 168 con origen en la Ciudad de México, D. F.

Este trabajo tiene la finalidad de orientar a los técnicos e ingenieros con poca experiencia en los trabajos de campo y gabinete para una eficiente evaluación.

El tramo de carretera en estudio se localiza en el Estado de Puebla, considerando que su funcionamiento es importante por ser - un eslabón en la comunicación entre la capital del país y las po--blaciones del centro y sureste de la República Mexicana, de ahí su trascendencia.

El estudio que aquí se realiza tiene por objeto determinar - las condiciones actuales de la superestructura del camino y hacer las recomendaciones para su rehabilitación o refuerzo.

Para lo cual el estudio presenta algunas características re--gionales; las características de la carreta actual; la evaluación del pavimento de la carretera en operación, basada en los trabajos de campo y laboratorio así como un análisis de la información obtenida y finalmente se dan las conclusiones y recomendaciones para - la rehabilitación del camino.

I.- CARACTERISTICAS DE LA REGION.

a) TOPOGRAFIA.

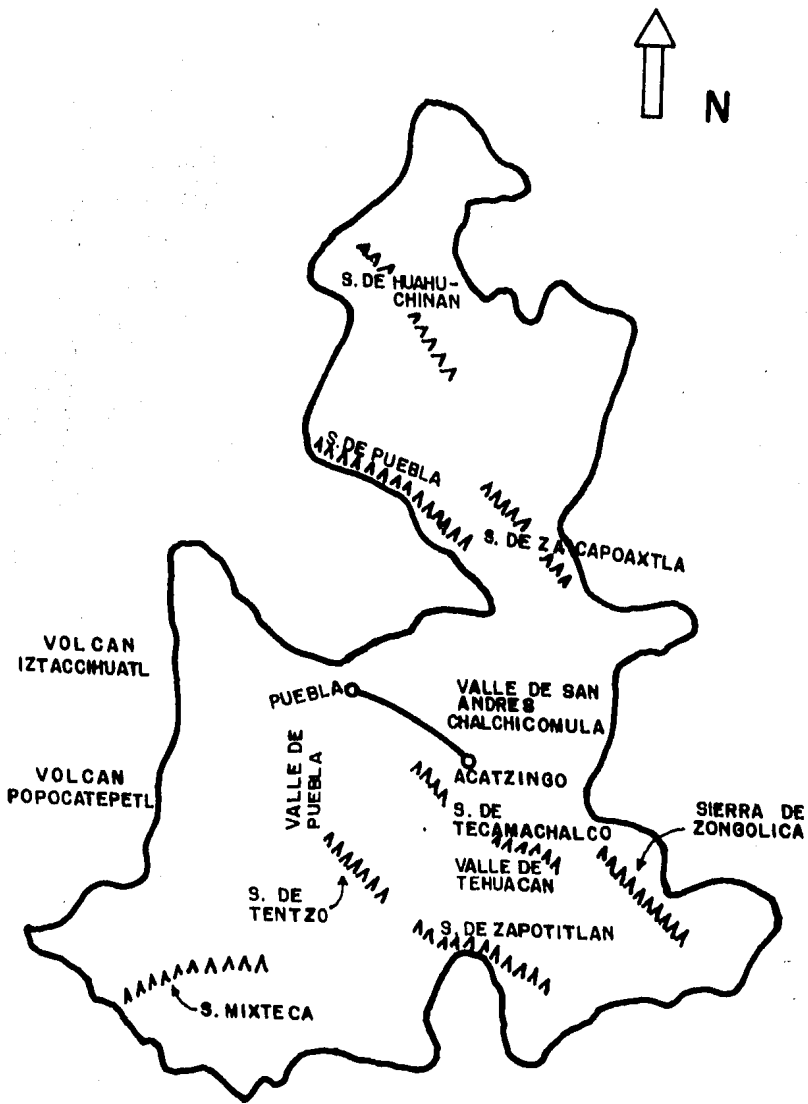
La Topografía de la región esta condicionada por: La Sierra - Madre Oriental y la Cordillera Neovolcánica. La primera con el nombre de Sierra Norte de Puebla que se subdivide en las serranías de Zacapoaxtla, Huachinango, Teziutlan, Tetela de Ocampo, Chignahuapan y Zacatlan: presentando altitudes de 4282 metros sobre el nivel del mar como son: Apulco, Chuichatl, Chignautla, Soltepec, Tlaltlauquitepec.

La segunda conocida como la Cordillera Neovolcánica que recibe diversos nombres. Sierra de Nevada, Serranía de los Frailes, Tenizo, Amozoc, Tepeaca y Soltepec.

Entre las cumbres más altas sobresalen: El Pico de Orizaba o Volcán de San Andrés con 5747 metros, el Popocatepetl con 5452 metros el Ixtaccihuatl (mujer blanca) con 5286 metros y la Malinche (la de la falda verde) con 4461 metros sobre el nivel del mar.

Más al sur de la sierra Madre de Oaxaca con el nombre de Sierra Colorada que recorre los valles de Tehuacan y Tomellin. Otros sistemas aislados, son la Sierra Mixteca Baja o Poblana cuyos componetes son las Sierras de Atenahuacan, Zapotitlán, el Lomerío - al Suroeste de éstas y la Sierra de Tehuacan. La Sierra Madre del Golfo que se desprende del nudo Mixteco entre la Sierra de Tehuacan y otra sierra formada entre, el Pico de Orizaba y el Cofre de Perote llamada Sierra Negra.

Esto da origen a los diversos valles y amplias llanuras como las de Puebla, Tehuacan, San Martín Texmelucan, Atlixco y Valle de San Andrés Chalchicomula, siendo sobre éstas dos últimas donde se desarrolla el camino (ver fig. 1.1).



O R O G R A F I A

Fig: 1.1

b) GEOLOGIA.

La Geología de la Región pertenece a la fisiografía del eje - Neovolcánico, donde existen formaciones del Cenozoico constituidas por rocas ígneas intrusivas y rocas sedimentarias (calizas) del cuaternario así como rocas ígneas extrusivas ácidas y conglomerado del terciario superior e inferior. Existiendo también formaciones del Mesozoico constituidas por rocas calizas y lutitas del cretácico superior e inferior y calizas, lutitas y areniscas del jurásico superior e inferior.

c) HIDROLOGIA.

El sistema hidrológico de la región esta constituido por dos vertientes, la Interna y la del Pacífico.

La vertiente del Pacífico de gran importancia para la región esta formada por el río Atoyac originado por los deshielos. Así como los ríos que se originan del Iztaccihuatl que descienden por su parte oriente y del río Zahuapan que tiene su origen en Tlaxcala - teniendo como afluentes a los ríos Acatenco, Atila, Amacuzac, Molinos, cruzando los límites de Cholula, Puebla y Tecali, en el Cañón del Diablo, desembocando a la presa de Valsequillo o Manuel Avila Camacho. Aquí recibe además las aguas de los ríos Alseseca, Laxamilpa (Tepexi), Acatlan (Chiautla), Tlaxpaneco y Huehuetlán.

En el este de la vertiente interna están los ríos Tlapanala, Valiente y Quetzalapa y en el oeste se localizan los ríos: Capulines, Cuautlapanga, Calcingo, Tlahuapan, Huepalco, San Matias, San Lucas el Verde, Santa Elena, Temizac, Zonapac y Tlatlahuau.

Adicionalmente en la región existen gran número de manantiales, algunos de aguas termales (SPA), entre estos los de Chignahuapan, Agua Azul, Amalucan y Cisanaguillas.

Así mismo entre las lagunas más importantes se tienen la Laguna Alchichica y el Lago de Totolzingo (ver fig.1.2).

d) CLIMATOLOGIA.

La diversidad de alturas en que se ubican los valles de la región, le confieren las siguientes características climatológicas:

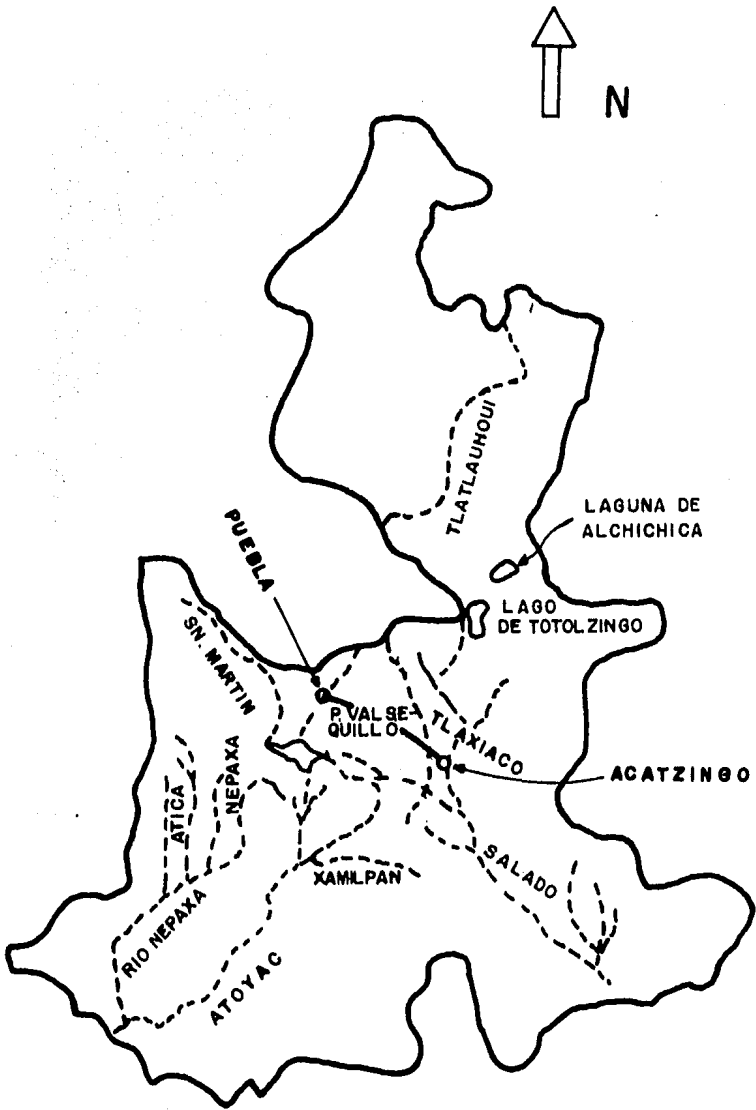
El clima imperante según Koopen Modificado es templado sub-húmedo con lluvias en verano (cw), subtropical de altura (cwh).

La precipitación está determinada por una estación de lluvias conveccionales de verano, considerando para la zona en estudio un promedio de 840 mm anuales.

La temperatura de la región esta determinada de acuerdo a los registros de la siguiente tabla.

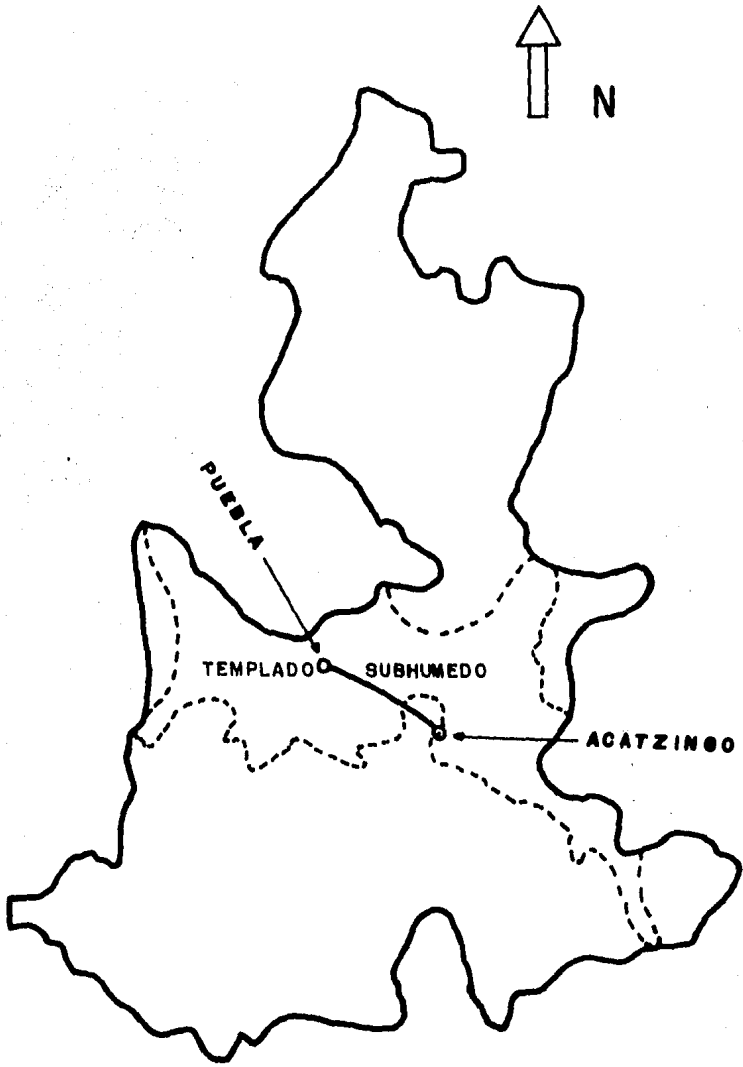
FACTORES CLIMATOLOGICOS

	P.PUEBLA	TEPEACA	AMOZOC	ACATZINGO
Precipitación anual (mm)	955.4	779.4	929.1	701.7
Temperatura - media anual °C	17.3	15.3		19.5
Temperatura máxima extrema °C	29.6	30		
Temperatura mínima extrema °C	0.5	5.0		



H I D R O L O G I A

Fig: 1.2



C L I M A

Fig: 1.3

II.- CARACTERISTICAS DE LA CARRETERA ACTUAL.

a) LOCALIZACION.

El tramo de carretera en estudio se localiza en el estado de Puebla, situada entre los paralelos $19^{\circ}02'$ y $18^{\circ}59'$ de latitud - norte así como entre los meridianos $98^{\circ}12'$ y $97^{\circ}48'$ de longitud. Comprende desde el último entronque (entronque Zaragoza) de acceso a la Cd. de Puebla Km, 128+000 hacia el oriente hasta el entronque al poblado de Acatzingo Km, 168+000 sobre la autopista - Puebla Orizaba con origen de cadenamiento en la Cd. de México D.F (ver plano 2.1).

El desarrollo del tramo de carretera se realiza principalmente en el Valle de Puebla y parte sobre el Valle de San Andrés Chalchicomula y la cuenca de Tlaxiaco. El desarrollo de la carretera está condicionado por una topografía de lomerío suave entre el - Km, 128+000 y la caseta de Amozoc Km, 140 + 300. En este tramo - existen cruzamientos a barrancas de poca profundidad originadas - por erosiones remontantes del Cerro "La Malinche", posteriormente la topografía es de planicie .

La sección de la carretera en estudio, en general se desarrolla en terraplén con alturas hasta de 3 m, principalmente donde - existen pasos inferiores para vehículos.

Se puede observar que los préstamos laterales que se realizaron en el derecho de vía para construir el terraplén actual, determinan en ciertos lugares el desnivel entre la rasante actual - y el pie del talud alcanzando una altura de 6 metros aproximadamente.

La carretera en estudio está en la colindancia de la zona fisiográfica del Eje Neovolcánico encontrándose en su desarrollo de

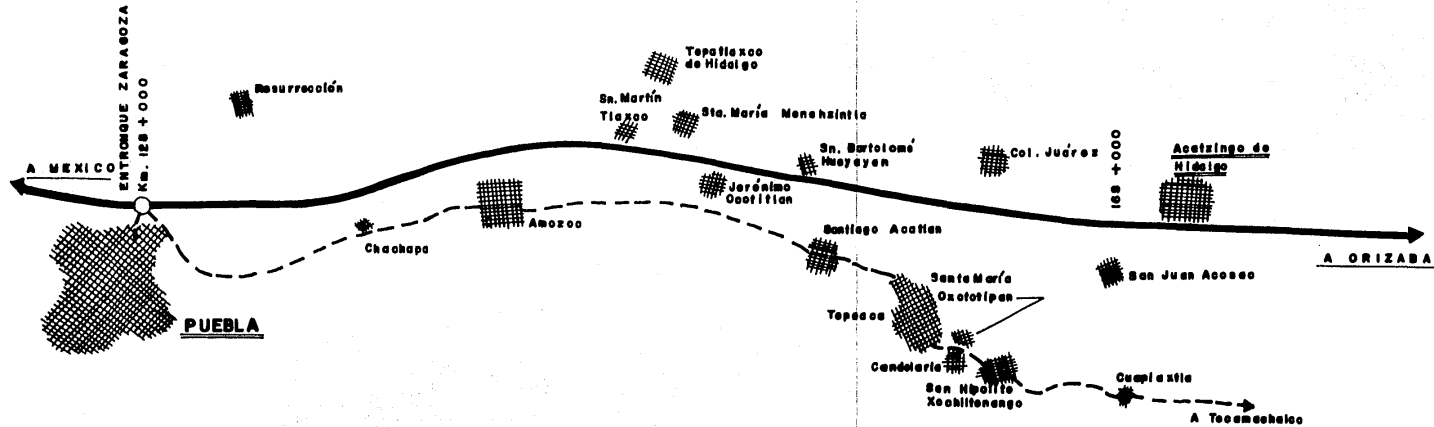
Puebla - Amozoc formaciones del cuaternario como son cenizas volcánicas intercaladas con arcillas, arenas limosas y arenas con incrustaciones de grava. A partir de Amozoc ya sobre la cuenca del Tlaxico afloran suelos aluviales predominando los materiales finos y afloramientos, esporádicos de roca caliza de color gris claro, muy compacta pero muy fracturada y plegada con nódulos de pedernal y calcita.

b) DATOS GEOMETRICOS.

Longitud	40	Km
Ancho de Corona	13	m
Ancho de carpeta	7	m
Acotamiento	3	m
Derecho de vía	40	m
Curvatura máxima	5°	
Pendiente máxima	4	%
Velocidad de Proyecto:		
en terreno plano	90	Km/h
en lomerio	70	Km/h
(ver fig. 2.1)		

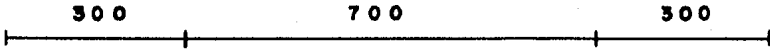
c) DRENAJE.

Las obras de drenaje están compuestas por alcantarillas de tubo de concreto y por losas de concreto de un sólo claro. Sus obras complementarias son bordillos de concreto asfáltico, lavaderos y cunetas de piedra braza (zampeado) además de contar la superficie de rodamiento con bombeo adecuado.



LOCALIZACION DEL TRAMO

P L A N O : 2 . 1



S E C C I O N T I P I C A

Fig: 2.1

ESCALA 1:100

ACOTACION: CM

d) OTRAS CARACTERISTICAS.

Cruzamientos superiores:

vehiculares	11
f.f.c.c.	1
peatonal	3

Cruzamientos interiores:

vehiculares	14
puentes por	
paso de río	22

e) TRABAJOS DE MANTENIMIENTO.

Al tramo de carretera en estudio se le ha colocado una sobre carpeta con espesor que varía de 4 a 6 centímetros así como también se pavimentaron ambos acotamientos en el subtramo comprendido entre el Km 142 + 000 al Km 146 + 200 al resto del subtramo se colocó un riego de sello.

Periódicamente se cuenta con un programa de trabajos de mantenimiento para la conservación del camino que considera los siguientes aspectos:

Para carpeta: bacheo, renivelación reencarpetao y pintura.

Para acotamiento: bacheo, renivelación y aplicación de sello rojo.

Desyerbe de: taludes, cunetas y derecho de vía.

Obras menores: reparación de lavaderos, alcantarillas, bordos y cunetas.

Señalamientos: Pintura, reparación y reposición de señales - preventivas, restrictivas e informativas.

III.- EVALUACION DEL PAVIMENTO DE LA CARRETERA EN OPERACION.

a) TRABAJOS DE CAMPO.

a.1) Estado Superficial del Pavimento.

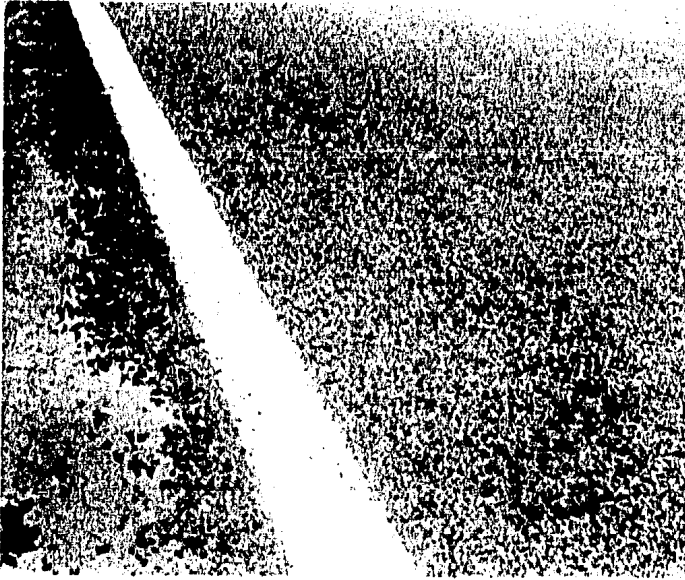
Siendo fundamental conocer el estado superficial del pavimento se realizó un levantamiento de los deterioros que presenta el camino en estudio determinándose de acuerdo a su tipo y severidad.

Se observó que los principales daños corresponden a agrietamientos reticulares del tipo "piel de cocodrilo de severidad moderada a mayor, variando su intensidad a lo largo del camino, apareciendo principalmente en la zona de roderas en el carril exterior. También la carpeta acusa desprendimientos moderados en un 70 % de su longitud así como exceso de asfalto en algunas zonas. (ver fotos y fig. 3.1).

Las deformaciones observadas son del tipo transversal coincidiendo con la zona de roderas así como en las orillas de la carpeta, ya que en algunas zonas existe desnivel entre la carpeta y el acotamiento. En otras zonas la carpeta y acotamiento forman una misma unidad con su respectiva pendiente. También se pudo apreciar que a la mayor parte del acotamiento se le aplicó un riego de sellado.

a.2) DRENAJE.

El drenaje trabaja de acuerdo al advenimiento regional de arroyos de tipo torrencial, con cruzamiento sensiblemente normal al camino, observándose que las alcantarillas trabajan eficientemente, tanto las alcantarillas de losas de concreto de un sólo claro como las de tubo de concreto, aunque éstas últimas tienden a acumular azolve.



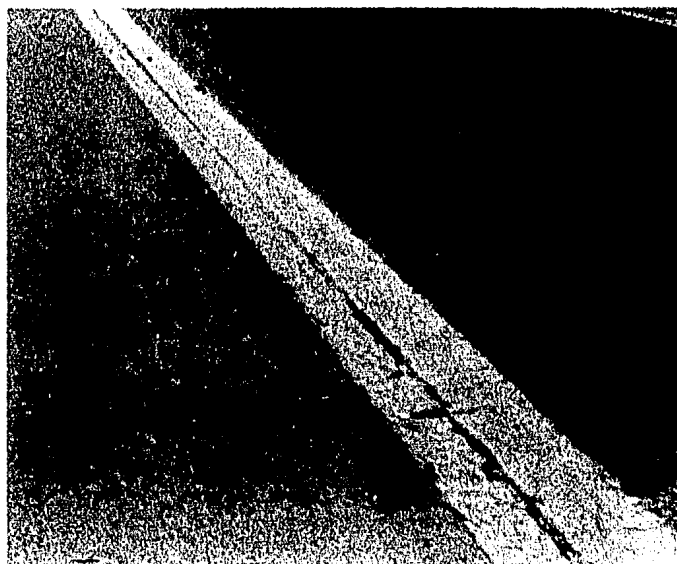
Desprendimientos del Km., 159 + 200



Agrietamientos reticular y desprendimientos
del Km., 159 + 500



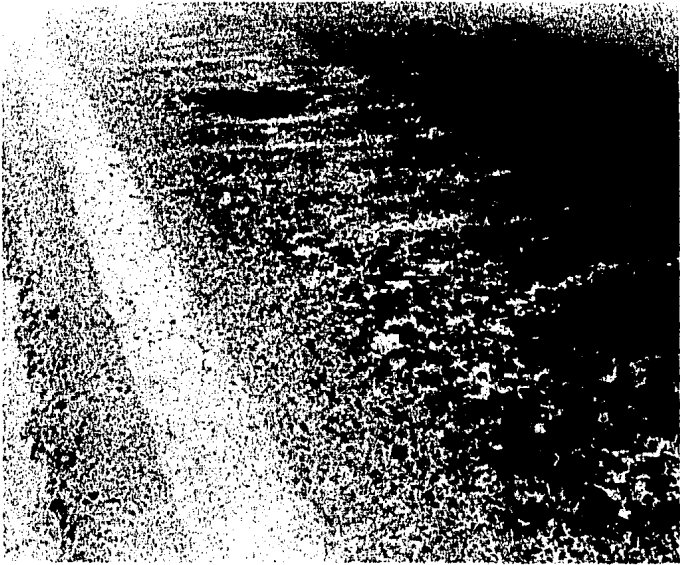
Agrietamiento reticular y grietas longitudinales
Km. 139 + 400



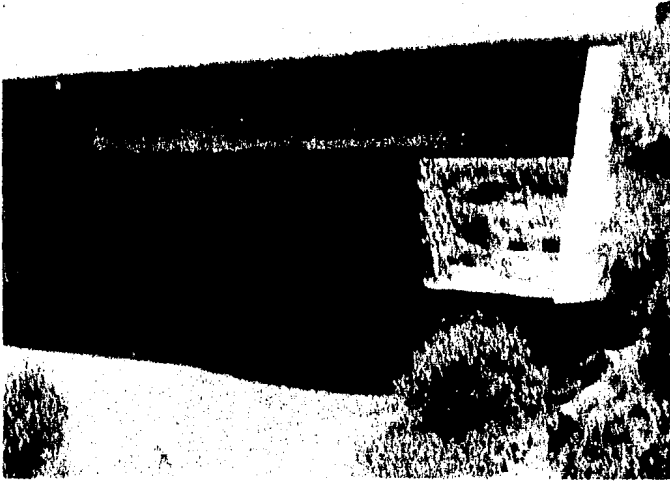
Grieta longitudinal Km., 141 + 300



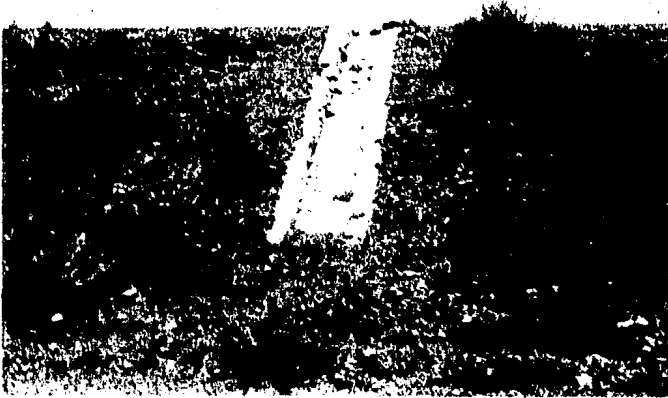
Desprendimientos Km., 138 + 600



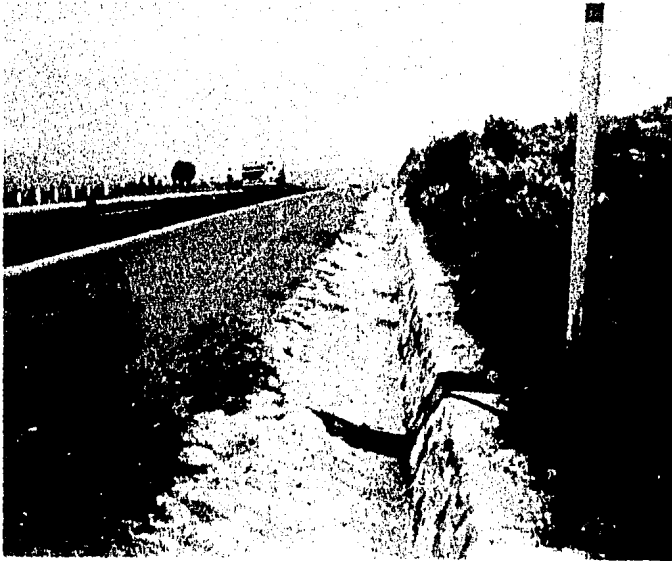
Desprendimientos Km., 148 + 400



Alcantarilla de un sólo claro Km. 136



Lavadero de piedra braza Km. 138



Cuneta de piedra braza Km. 143 + 600

También se observó un buen funcionamiento de sus obras complementarias como son bordillos, lavaderos y cunetas sólo apreciándose un encharcamiento sobre el acotamiento en el Km. 160+ 500, siendo este menor importancia.

Sobre los derechos de vía a ambos lados del camino se observaron encharcamientos sobre todo en la zona donde se realizaron préstamos laterales.

Por lo que respecta a los taludes se aprecia que son estables favoreciendo a esto la vegetación existente sobre su superficie a ambos lados del camino, disminuyendo con esto la erosión.

a.3) INDICE DE SERVICIO.

Para poder conocer las condiciones de servicio del camino se procedió a hacer un recorrido a lo largo de éste, con cinco observadores quienes calificaron el camino en secciones de un kilómetro.

La calificación se realizó de acuerdo al procedimiento desarrollado por el A.A.S.H.-T.Q, procedimiento en el cual se toma en cuenta la comodidad y seguridad con que el usuario transita el camino, tratándose de una calificación subjetiva cuya escala de valores es la siguientes:

Excelente	4 - 5
Bueno	3 - 4
Regular	2 - 3
Malo	1 - 2
Muy malo	0 - 1

Las calificaciones obtenidas para el camino fueron las siguientes de acuerdo a un promedio por cada 5 kilómetros.

Kilometraje	Lado Derecho	Lado Izquierdo.
128 - 133	3.3.	3.2.
133 - 138	3.1.	3.0
138 - 143	2.9	2.9
143 - 148	3.0	2.8
148 - 153	3.1	2.8
153 - 158	2.8	2.9
158 - 163	2.9	2.9
163 - 168	3.2	3.3

(ver fig. 3.1).

a.4.) PROGRAMACION DE SONDEOS.

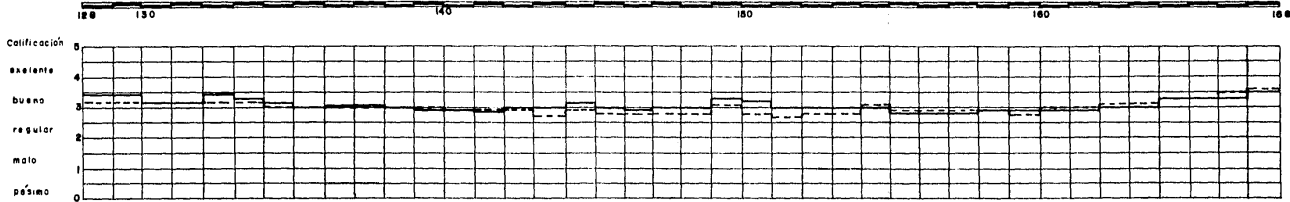
De acuerdo al deterioro observado y con el objeto de conocer las características estructurales del camino se realizaron seis pozos a cielo abierto cuya profundidad alcanza hasta la capa subrasante, obteniendo de cada sondeo muestras representativas de cada una de las capas estructurales del camino. (ver fig. 3.1).

Ubicación y profundidad de la exploración del pavimento.

Localización (Km)	Profundidad (m)
129 + 145	0.95
134 + 540	0.95
142 + 720	0.82
144 + 350	0.83
157 + 225	0.85
162 + 350	0.85

PUEBLA

ACATZINGO



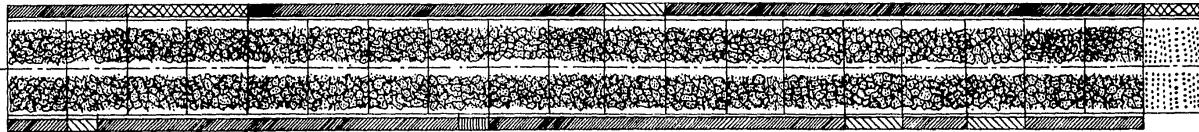
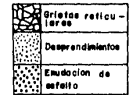
INDICE DE SERVICIO ACTUAL: 1.8 A .

CARRIL DERECHO
 $\bar{R} = 3.07$
 $S = 0.2018$
 $CV = 6.5 \%$

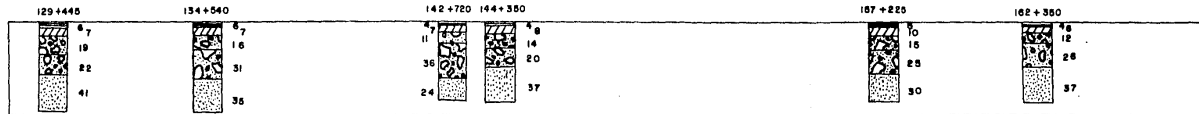
CARRIL IZQUIERDO
 $\bar{R} = 3.008$
 $S = 0.20600$
 $CV = 6.8 \%$

SIMBOLOGIA

DETERIOROS



DETERIOROS



CARACTERIZACION DE LA ESTRUCTURA

Fig. 3.1 Índice de servicio actual deterioros y espesores del pavimento del subtramo Km 128 al 168 de la Autopista Puebla - Córdoba

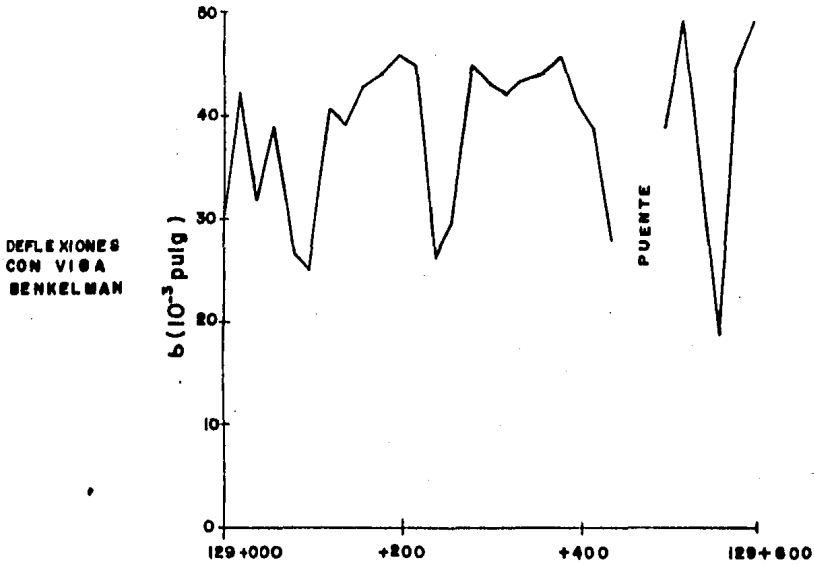
CAMINO : PUEBLA - CORDOBA

TRAMO : PUEBLA - ACATZINGO

SUB TRAMO : KM 129+000 AL 169+000

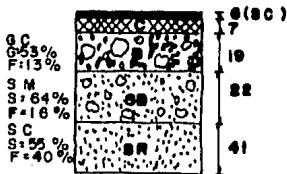
ORIGEN : MEXICO, D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 129+000 al 129+600



DEFLEIONES
CON VISA
BENKELMAN

Deflexiones del pavimento

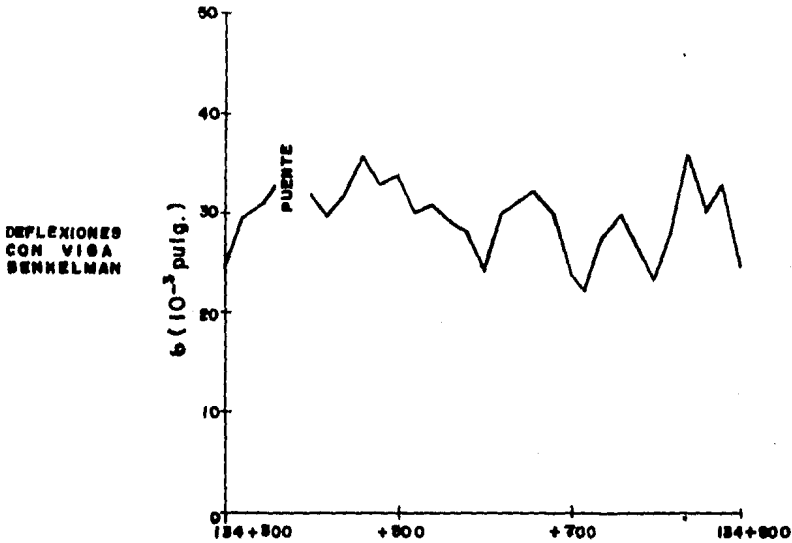


$b = 30.8 \times 10^3$ pulg.
$s = 0.2 \times 10^3$ pulg.
O.V. = 21.0 %
$b_{80} = 44 \times 10^3$ pulg.

Fig. 3.2

CAMINO : PUEBLA - CORDOBA TRAMO : PUEBLA - ACATZINGO
 SUBTRAMO : KM 128 + 000 AL 168 + 000 ORIGEN : MEXICO, D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 134+300 al 134+900



Deflexiones del pavimento

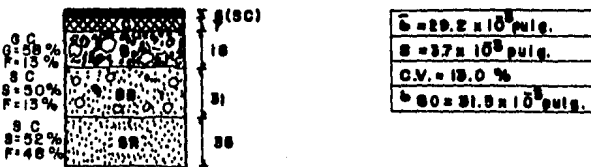


Fig. 3.3

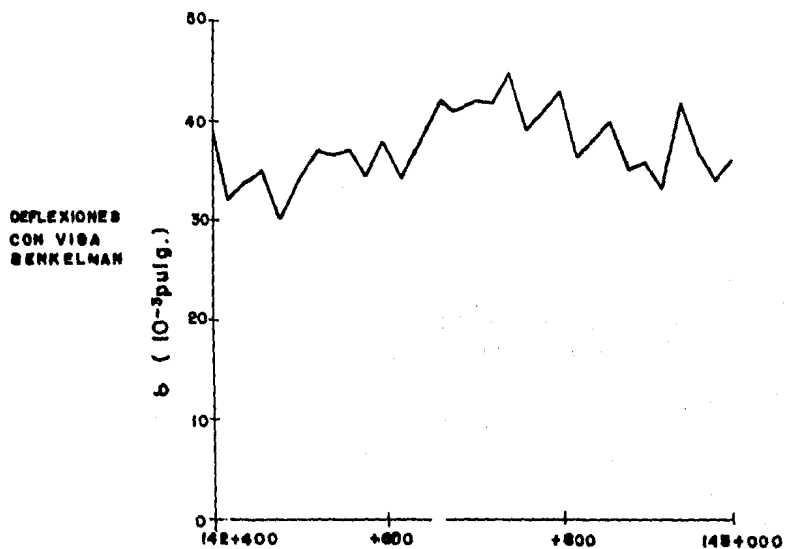
CAMINO : PUEBLA - CORCOBA

TRAMO : PUEBLA - ACATZINGO

SUBTRAMO : KM 128+000 AL 168+000

ORIGEN : MEXICO, D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 142+400 al 143+000



Deflexiones del pavimento

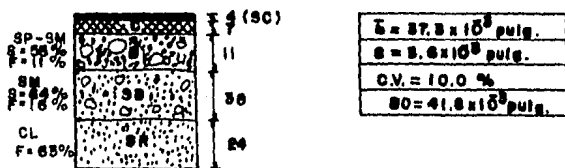
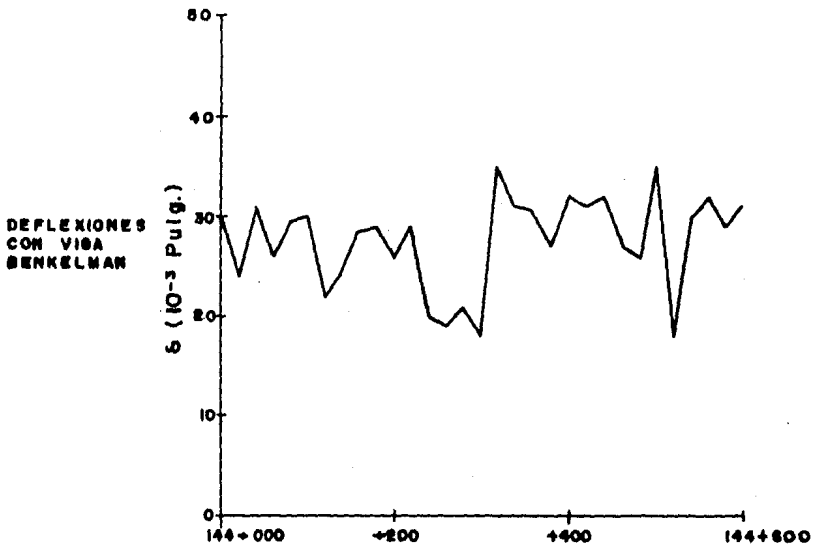


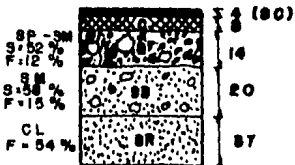
Fig. 3.4

CAMINO: PUEBLA - CORDOBA TRAMO: PUEBLA - ACATZIMO
 SUBTRAMO: Km 128+000 AL 168+000 ORIGEN: MEXICO, D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 144+000 al 144+600



Deflexiones del pavimento

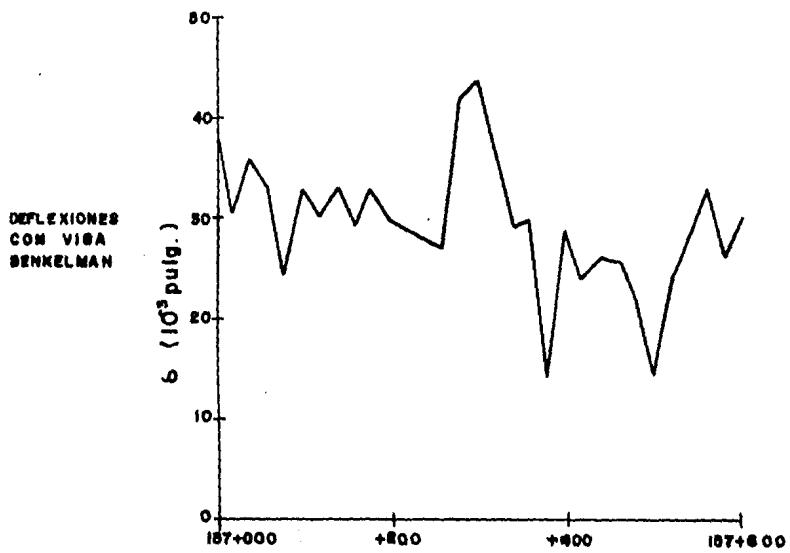


$\bar{S} = 27.6 \times 10^3$ pulg.
$S = 4.8 \times 10^3$ pulg.
C.V. = 17 %
$S_{90} = 30.8 \times 10^3$ pulg.

Fig. 3.5

CAMINO : PUEBLA - CORDOBA TRAMO: PUEBLA - AGATZINGO
 SUBTRAMO: KM 128+000 AL 168+000 ORIGEN: MEXICO, D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 157+000 al 157+800



Deflexiones del pavimento

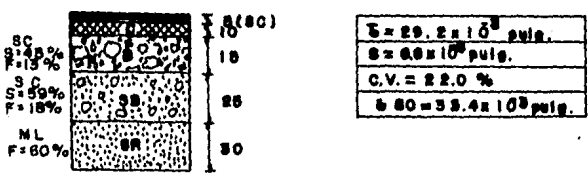


Fig. 3.6

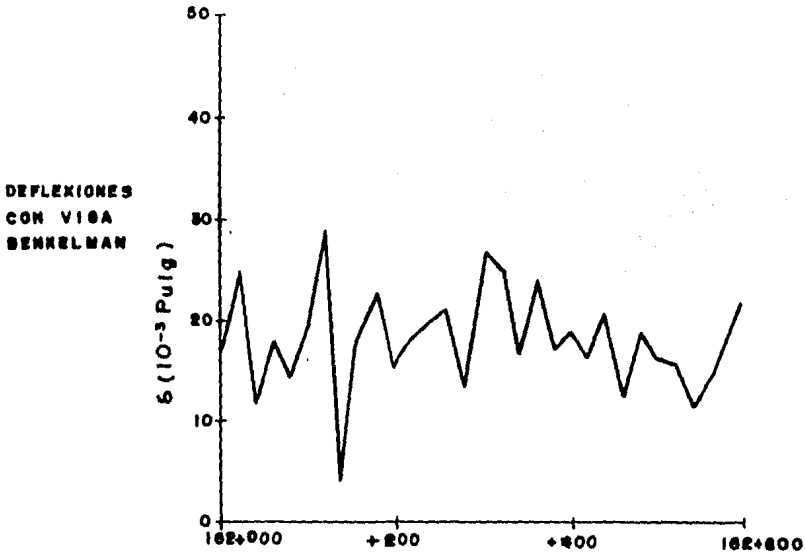
CAMINO : PUEBLA - CORDOBA

TRAMO : PUEBLA - ACATZINGO

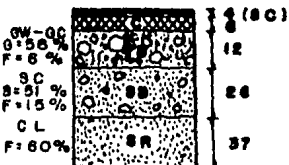
SUBTRAMO : KM 122+000 AL 162+000

ORIGEN : MEXICO D.F.

EVALUACION DEL PAVIMENTO DEL Km 162+000 al 162+600



Deflexiones del pavimento



GW-OC
G = 50%
F = 6%
3C
S = 51%
F = 15%
CL
F = 60%

$\delta = 17.7 \times 10^3$ pulg.
$\sigma = 0.3 \times 10^3$ pulg.
C.V. = 30 %
$\delta_{80} = 22.9 \times 10^3$ pulg.

Fig. 3.7

De los resultados obtenidos de los sondeos (fig. 3.1) se determinaron los espesores de sobrecarpeta, carpeta, base y sub-base. - Encontrándose las siguientes variaciones para la sobrecarpeta de 4 a 6 cm; para la carpeta de 6 a 10 cm; para la base se encontró una variación de 11 a 19 cm; la sub-base varía de 22 a 36 cms.

A partir de la base y hasta la capa subrasante se determinaron los pesos volumétricos en el lugar por el procedimiento del cono de arena, obteniéndose muestras representativas de las capas de sub-base y base, así como muestras alteradas de la capa subrasante, sobrecarpeta y carpeta.

a.5) MEDICION DE DEFLEXIONES.

Para la determinación de las deflexiones se fijaron seis tramos de prueba de 600 metros cada uno realizándose las mediciones a cada 20 metros por medio de la viga Benkelman (ver figs. 3.2 a 3.7).

En la siguiente tabla se presentan los resultados de tales mediciones.

Deflexiones con viga Benkelman (δ_0 en 10^{-3} pulg.)

Tramo de prueba (Km)	$\bar{\delta}$	S	C V %	δ_{80}
129 + 000 - 129 + 600	38.8	5.3	30	44.0
134 + 300 - 134 + 900	29.2	6.6	22	31.5
142 + 400 - 143 + 000	37.3	4.8	17	41.8
144 + 000 - 144 + 600	27.6	3.6	10	30.9
157 + 000 - 157 + 600	29.2	3.7	13	33.4
162 + 000 - 162 + 600	17.7	8.2	21	22.9

Las deflexiones características δ_{80} varían de 23 a 44 x - 10^{-3} pulg, conforme a los resultados de la tabla.

a.6) DEFORMACIONES PERMANENTES.

Estas mediciones se realizarón con el perfilógrafo transver--sal a cada 50 m. Con este método se puede obtener el bombeo actual del camino. Y para conocer la magnitud de roderas, se realizarón - las mediciones bajo una regla de 3 m.

Obteniéndose los siguientes resultados:

Valores características de las deformaciones permanentes.

(Δ en mm)

Ubicación de tramo de prueba	$\bar{\Delta}$	S	CV%	Δ_{80}	$\Delta_{min.}$	$\Delta_{max.}$
129 + 000 - 129 + 600	4.2	1.0	23	4	3	6
134 + 300 - 134 + 900	5.9	1.7	29	7	8	9
142 + 400 - 143 + 000	7.0	1.3	19	7	5	10
144 + 000 - 144 + 600	7.7	2.0	26	9	4	11
157 + 000 - 157 + 600	7.3	1.9	26	8	5	11
162 + 000 - 162 + 600	6.0	2.5	41	7	4	13

De estos datos se puede apreciar las zonas donde el bombeo - acusa deficiencias que son perjudiciales para el pavimento. Estas deficiencias se localizan donde la pendiente es horizontal o negativa perdiendo con esto su bombeo.

b) TRABAJOS DE LABORATORIO.

b.1) Pruebas Índice y de Calidad de los Materiales que for--man la estructura del camino.

A las muestras obtenidas de los pozos a cielo abierto se les determinó en el laboratorio:

Para sobrecarpeta y carpeta.

a).- Peso volumétrico

b).- Contenido de asfalto por centrifugación y lavado en el laboratorio.

c).- Densidad de los agregados pétreos.

d).- Porcentaje de vacíos y vacíos en el agregado mineral (ver figs. 3.8 y 3.8 bis).

Para base y sub-base.

a).- Clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos. (SUCS).

b).- Contenido de agua.

c).- Límites de consistencia. Límite Líquido (LL), y Límite Plástico (LP).

d).- Composición granulométrica.

e).- Porcentaje de partículas finas (fracción que pasa a la malla 200).

f).- Equivalente de arena (EA).

g).- Valor relativo de soporte (VRS), en prueba Porter - Stándart.

h).- Peso volumétrico seco máximo δ^*_{max} y su humedad óptima W_o en la prueba de compactación A.A.S.H.T.O., modificada. (ver figs. 3.9 y 3.10).

Por lo que respecta a la subrasante de acuerdo a las características de todo el tramo, se le determinarán las siguientes propiedades.

a).- Clasificación SUCS; encontrándose alternas a lo largo del camino M1, Sc y C1, que son limo arenoso café, arena-arcillosa café claro y arcilla arenosa café claro.

b).- Contenido de agua en un intervalo de 13 a 23 %.

c).- Límites de consistencia donde el LL, varía de 29 a 45%; el LP, varía de 15 a 23%.

- d).- Composición granulométrica; donde los finos varían de 40 a 63% y las arenas varían de 52 a 60%.
- e).- Porcentaje de partículas finas (fracción que pasa la malla 200).
- f).- Valor relativo de soporte que varía de 4.7% a 46%.
- g).- Peso volumétrico seco: que varía de 1 480 Kg/m³ a 1 760 Kg/m³.
- h).- Expansión; que varía de 0.07% a 0.45 %.
- i).- Peso volumétrico saturado; que varía de 1 340 Kg/m³ a 1 460 Kg/m³.

Para el terreno natural se determinó un VRS de 7%.

CAMINO: PUEBLA - CORDOBA

TRAMO: PUEBLA - AOATZINGO

SUBTRAMO: KM 129 + 000 AL 169 + 000

ORIGEN: MEXICO, D. F.

ANALISIS DE LOS MATERIALES DE LA SOBRECARPETA ACTUAL

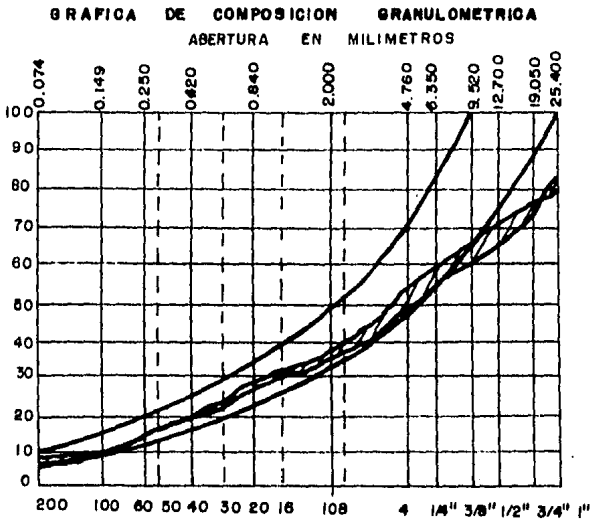


Fig. 3.8 Bis

		Intervalo	\bar{X}
Peso Volumetrico	(Kg/m ³)	1988 - 2074	1785
Contenido de asfalto	(%)	6.3	6.3
Vecios	(%)	14.6 - 19.2	16.88
V.A.M	(%)	26.4 - 30.6	28.48
Densidad	DENS.		

CAMINO: PUEBLA - CORDOBA TRAMO: PUEBLA - ACATZINGO
 SUBTRAMO: KM 128 + 000 AL 168 + 000 ORIGEN: MEXICO, D. F.

ANALISIS DE LOS MATERIALES DE LA CARPETA ACTUAL

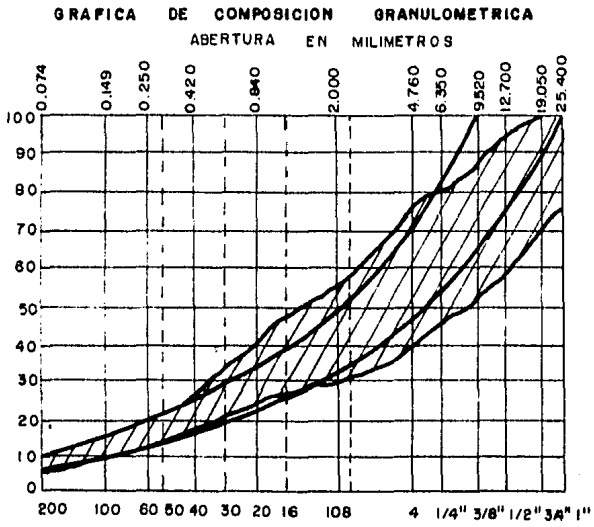


Fig. 3.8

		Intervalo	\bar{x}	s	C.V. %
Peso Volumetrico	(Kg/m ³)	1988 - 2250	2119	61.8	3.9
Contenido de asfalto	(%)	6.3 - 9.3	8.7	0.62	7.1
Vacos	(%)	5.3 - 14.8	9.8	3.4	35.4
V A M	(%)	22.6 - 30.8	26.4	2.7	10.2
Densidad	DENS.	2.85			

CAMINO: PUEBLA - CORDOBA

TRAMO: PUEBLA - AGATZINGO

SUBTRAMO: KM 128+000 AL 188+000

ORIGEN: MEXICO D.F.

ANALISIS DE LA BASE ACTUAL

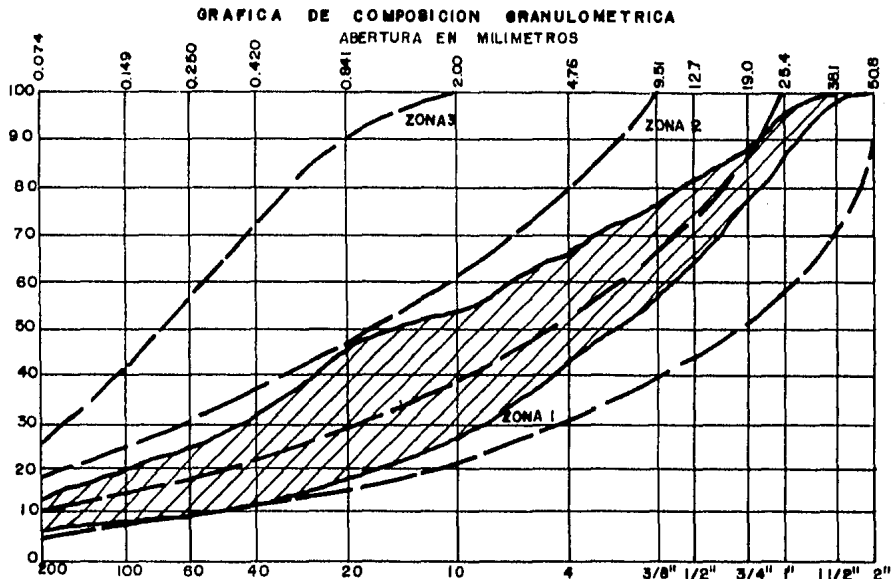


Fig. 3.9

		Intervalo	X	S	C.V. (%)
Límite Líquido	LL (%):	23 - 38	28.8	6.7	23.3
Índice plástico	IP (%):	7 - 17	10.5	4.5	43.0
Contenido Natural de agua	W (%):	8 - 12	7.3	3.3	44.7
Peso vol. seco "in situ"	γ_d (Kg/m ³):	1860 - 2270	2040	142.3	7.0
Porter Estandar	γ_s (Kg/m ³):	1960 - 2057			
	W _o (%):	9 - 10			
	VRB (%):	86 - 107			
	Exp (%):	0.02 - 0.09			
Equivalentes de arena	EA (%):	16 - 40	25.7	8.9	34.6
A ASHTO modificade	γ_d (Kg/m ³):	1930 - 2059			
	W _o (%):	9 - 10			
Clasificación y descripción	Grava poca arcillosa café claro o rosado				

CAMINO: PUEBLA - CORDOBA
 SUB TRAMO: KM189+000 AL 189+000

TRAMO: PUEBLA - ADATZINGO
 ORIGEN: MEXICO, D.F.

ANALISIS DE LA SUB BASE ACTUAL

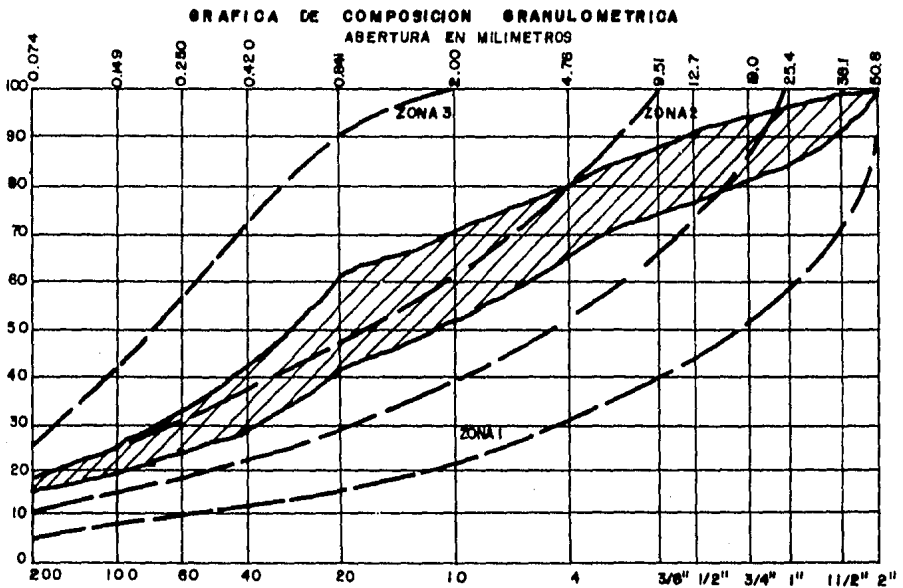


Fig. 3.10

		Intervalo	\bar{X}	S	C.V. (%)
Límite Líquido	LL (%) :	19 - 25	22.4	2.1	9.3
Índice Plástico	IP (%) :	6 - 8	7.0	1.0	14.3
Contenido Natural de agua	(%) :	3 - 10	6.2	2.6	40.3
Peso vol. seco "in situ"	$\gamma_d (Kg/m^3)$:	1910 - 2210	2015	148.7	7.3
Porter Estender	$\gamma_d (Kg/m^3)$:	1922 - 2043			
	W _o (%) :	9 - 10			
	VR ₉ (%) :	78 - 92			
	Exp (%) :	0.01 - 0.08			
Equivalente de arena	EA (%) :	23 - 37	26.7	6.2	19.6
AASHTO Modificada	$\gamma_d (Kg/m^3)$:	1968 - 2076			
	W _o (%) :	7 - 9			

Clasificación y Descripción SC - SM Grava poco limosa cesa amarillenta o clara así como arena poco limosa cesa.

IV ANALISIS DE INFORMACION OBTENIDA.

De las observaciones y resultados de pruebas de campo y ensayos de laboratorio, se puede considerar que la estructura actual promedio es de:

sobrecarpeta	5 cm.
carpeta	7 cm.
base	15 cm.
sub-base	26 cm.

Los factores que determinan su comportamiento y las características de los materiales que la integran son las siguientes:

Sobrecarpeta de concreto asfáltico: En este sub-tramo acusa una granulometría deficiente (el 20% de las partículas tienen tamaños - mayores de 2.54 cm). Por otro lado su espesor es delgado (de 4 a 6 cm), dando lugar a la reflexión de las grietas reticulares que se habían generado en la superficie de la carpeta original en un plazo - muy corto, el porcentaje de vacíos también es alto.

Carpeta de concreto asfáltico: Acusa heterogeneidad (fig 2.8) y elevados contenidos de asfalto.

La base hidráulica tiene material triturado (calizo) de buena - calidad alcanzando un alto grado de compactación comprendido entre - 98 y 108%.

La sub-base actual también muestra una calidad adecuada en lo - que se refiere a sus materiales con grados de compactación comprendi da entre 96 y 101%.

La capa subrasante está constituida por arcillas y limos arenosos de mediana plasticidad a la que se le asigna un VRS de diseño de 19%.

a) ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO.

Los agrietamientos reticulares tipo "piel de cocodrilo", que se ubican en la zona de roderas con severidad moderada a mayor así como desprendimientos moderados, hace pensar que la superestructura es tá fatigada. Este hecho se corrobora con las deflexiones características obtenidas bajo un eje de 8.2 Ton. (18 000 lb) y cuyos valores son superiores a la deflexión tolerable para dicha estructura - (6_p 12 x 10⁻³ pul.).

El índice de servicio actual 3.07 y 3.0, indican que la superfi cie actual en cuanto a comodidad esta en buenas condiciones.

Superficialmente no se aprecia debilidad en la subestructura - conforme a las deformaciones plásticas permanentes detectadas en el perfilógrafo transversal ($\Delta \leq 1.3$ cm).

b) TRANSITO.

Para conocer los datos correspondientes al tránsito de la carre tera en estudio se recurrió a los aforos realizados por Caminos y - Puentes Federales, los datos están formados para ambos sentidos e in feridos a 1984, considerando una tasa de crecimiento del orden de 8%.

Tipo	TDPA (1984)	Composición Vehicular %
Ap	6 107	55.85
B	1 076	9.84
C2	1 926	17.61
C3	599	5.48
T2 - S2	23	0.21
T3 - S2	1,203	11.00

b.1) Análisis de Tránsito por el método del Instituto de Inge nería.

Este análisis se cálculo a partir de un tránsito promedio dia rio anual (TPDA), de vehículos.

Considerando un tránsito acumulado en ejes sencillos de 8.2 Ton, con una proyección a 15 años para un incremento de 8% anual para el carril de diseño. Los coeficientes de daño considerados - para cada tipo de vehículo, se tomaron los recomendados por el - Instituto de Ingeniería tomando en cuenta niveles de daño a las - profundidades $Z = 0$ cm y $Z = 60$ cm.

TABLA DE EJES ACUMULADOS. (b.1)

AÑO.	Número de ejes sencillos equivalentes acumulados, de 8.2 ton (18 000 - lbs) para el carril de diseño.		
	\bar{z} Ln	Z = 0 cm	Z = 60 cm
1987		8×10^6	8×10^6
1989		15×10^6	14×10^6
1994		33×10^6	32×10^6
1999		69×10^6	67×10^6

b.2) Análisis de Tránsito por método de California.

La determinación del EWL, para el carril de diseño expresado por el número de cargas equivalentes de 5 000 lbs por rueda durante su vida de diseño, para lo cual se consideró un incremento - anual de 8%.

Este método sólo considera los efectos producidos por los - vehículos pesados.

Tabla de ejes acumulados. (b.2)

AÑO.	Número de ejes sencillos equivalentes acumulados de 2.270 ton (5 000 lbs). por rueda.
1987	8 934 345
1989	16 274 213
1994	41 640 900
1999	83 018 250

c) REVISION DE LA ESTRUCTURA POR EL METODO DEL INSTITUTO DE INGENIERIA.

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla de ejes acumulados (b.1) para los próximos 15 años, donde $Z_0 = 6.9 \times 10^6$ y $Z_{60} = 67. \times 10^6$. Y además considerando los VRS obtenidos en el laboratorio para:

Terracería	7 %
Subrasante	19 %
Sub-base	84 %
Base	97 %

Se procedió a la revisión de la estructura aplicando el método del Instituto de Ingeniería, obteniendo la siguiente estructura:

carpeta	8 cm
base	14 cm
sub-base	16 cm.

d) CAPACIDAD DEL CAMINO.

Considerando que el tránsito del camino es alto se hace necesario un análisis de la capacidad, para el tránsito que pasa a la hora crítica y que es el 12%, para un sólo carril.

Tabla de Volumén Horario Acumulado de Tránsito (d).

AÑO	v.p.h (en el carril de diseño).
1984	656
1985	709
1986	765
1987	827
1988	893
1989	964
1990	1 041
1991	1 125
1992	1 214
1993	1 312
1994	1 417
1995	1 530
1996	1 652
1997	1 784
1998	1 927
1999	2 082

d.1) EVALUACION DE LA CAPACIDAD.

Aplicando; El Manual de Proyecto Geométrico.

$$C = 2\,000 N \frac{V}{C} Wc Tc Bc \quad (1)$$

donde:

C = Capacidad de tránsito mixto en ambos sentidos.

N = Número de carriles (para este caso 1).

$\frac{V}{C}$ = Relación volumen capacidad.

W_c = Factor de ajuste a la capacidad por ancho de carril y -
distancia a obstáculos laterales.

T_c = Factor de Ajuste por camiones de carga.

B_c = Factor de ajuste por autobuses.

Datos.

Corona	13	m
Ancho de carpeta	7	m
Acotamiento.	3	m
Pendiente	4	%
Velocidad	90	Km/h
Visibilidad	500	m = 40 %
Tránsito pesado	34	%
Autobuses	9.8	%

$$N = 1; \frac{V}{C} = 1; W_c = 1; T_c = 0.91; B_c = 0.74$$

Aplicando la ecuación (1)

$$C = 2\ 000 (1) (1) (1) (0.91) (0.74) = 1\ 348 \text{ v/h.}$$

Tal resultado es la cantidad de vehículos que pasan por un ca
rril durante la hora crítica, lo cual nos indica que el camino es-
ta perdiendo sus condiciones de operación, así como cuando será -
inoperante.

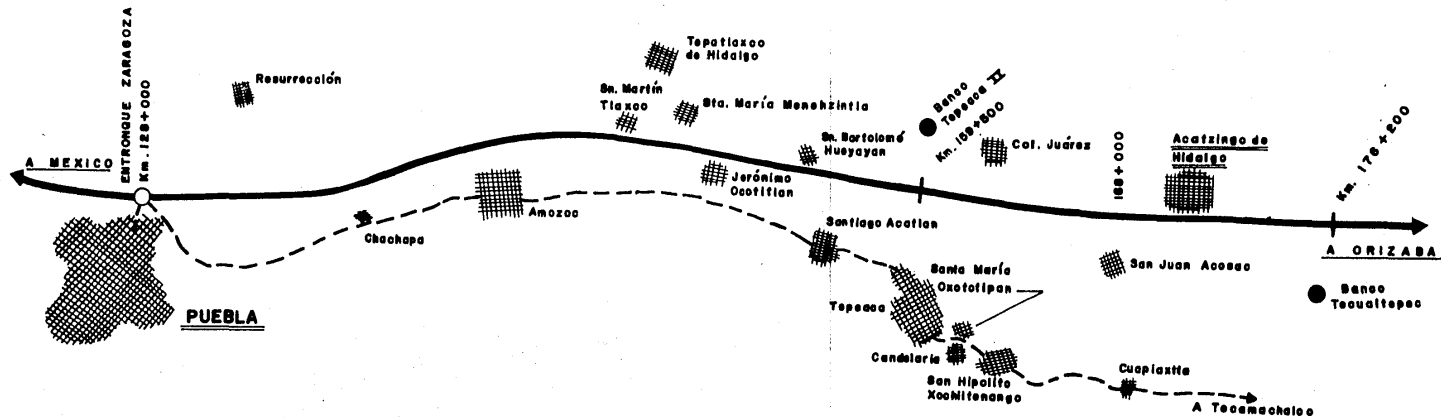
e) BANCOS DE MATERIALES.

De acuerdo a los trabajos de localización y observación de posibles bancos de materiales que fueran útiles para la reconstrucción del camino. Ubicándose estratégicamente los bancos denominados Tepeaca II y Tecualtepec. El primero localizado en el Km, 159 + 500 a 500 m D.I, al cual se le estima un volumen de 600 000 m³ - de roca caliza poco fractura.

El segundo se localiza en el Km 176 + 200 a 800 m D.D., al cual se le estima un volumen de 700 000 m³, de conglomerado (ver plano 4.1).

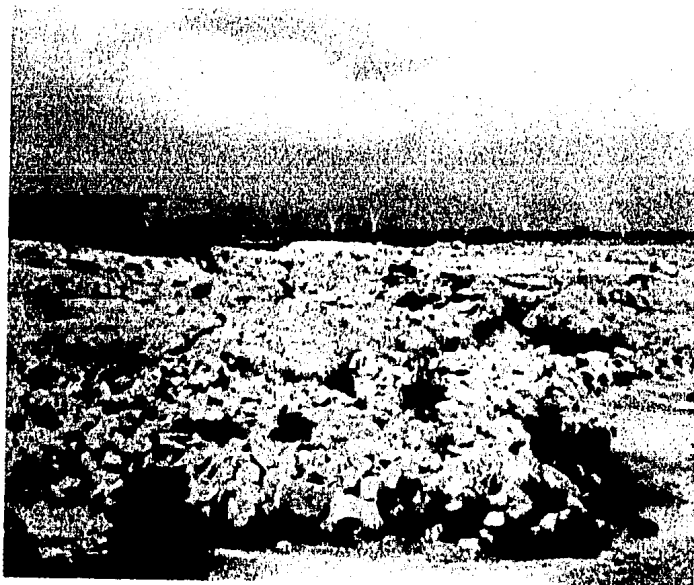
Resultados de Laboratorio.

	Tepeaca II	Tecualtepec
Desgaste los Angeles (%)	22.0	22.0
Densidad	2.75	2.73
Absorción (%)	0.71	0.87
CKE Superficial (%)	4.59	3.57
CKE Absorción (%)	0.07	0.25
V.R.S. (%)	100.0	100.0
E.A. (%)	40.0	35.0
LL.	25.0	28.0



LOCALIZACION DE BANCOS DE MATERIALES

P L A N O : 4 . 1



Banco Tecualtepec.



Banco Tepeaca II.

V.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los estudios realizados sobre el comportamiento - y estado actual del pavimento, se concluye y recomienda lo siguiente:

a).- El índice de servicio de la superficie de rodamiento del tramo en estudio es mayor de 3, por lo que se considera en buenas - condiciones.

b).- Las deformaciones permanentes que presenta la superficie de rodamiento en la sección de roderas, son leves. ($\Delta \leq 1.3$ cm).

c).- Las grietas reticulares que presenta la superficie de rodamiento, indican una deformación elástica severa.

d).- Las deflexiones medidas con la viga Benkelman, están por arriba de las deflexiones tolerables, considerando los próximos 15 años de servicio.

e).- La actual carpeta y sobrecarpeta asfáltica acusa deficiencias en cuanto a calidad, como son; mala granulometría y alto - contenido de cemento asfáltico así como heterogeneidad.

f).- El material que forma las capas de base y sub-base presenta una buena calidad según se aprecia en los ensayos de laboratorio.

g).- Como resultado de la revisión del diseño del pavimento - por el método del Instituto de Ingeniería, se concluye que la estructura en servicio tiene el espesor adecuado para el tránsito esperado en los próximos 15 años.

h).- De acuerdo a lo anterior se considera que en el camino - no existe falla funcional así como tampoco falla estructural del pavimento, pero acusa deficiencias por fatiga por lo cual a continuación se hace una revisión por fatiga aplicando el Método de California - (Ref. 1).

Revisando para los próximos 15 años de servicio con las deflexiones medidas. $\bar{\delta}_{80}$ (deflexión característica).

$$\bar{\delta}_{80} = \frac{\sum \delta_{80}}{N}$$

donde:

$\sum \delta_{80}$ Es la suma de las deflexiones características, medidas en cada tramo.

N = Número de deflexiones características.

Sustituyendo valores:

$$\bar{\delta}_{80} = \frac{(22.9+33.4+30.9+41.8+31.5+44)}{6} 10^{-3} \text{ pulg.}$$

$$\bar{\delta}_{80} = 34 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

Utilizando la gráfica 5.1, la deflexión permisible en los próximos 15 años es:

$$\delta_p \leq 12 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

Donde δ_p : es la deflexión permisible.

Comparando δ_p , con $\bar{\delta}_{80}$, resulta que: $\bar{\delta}_{80} > \delta_p$, por lo que se aplica.

$$R\% = \frac{\bar{\delta}_{80} - \delta_p}{\bar{\delta}_{80}} 100$$

Donde: R%: es la corrección de la deflexión en porcentaje. y de la gráfica 5.2, se obtiene que la estructura necesita un refuerzo de 16 cms, de grava equivalente. Estos 18 cms, de grava equivalente se pueden dar con una carpeta de concreto asfáltico. De 8 cms, de espesor.

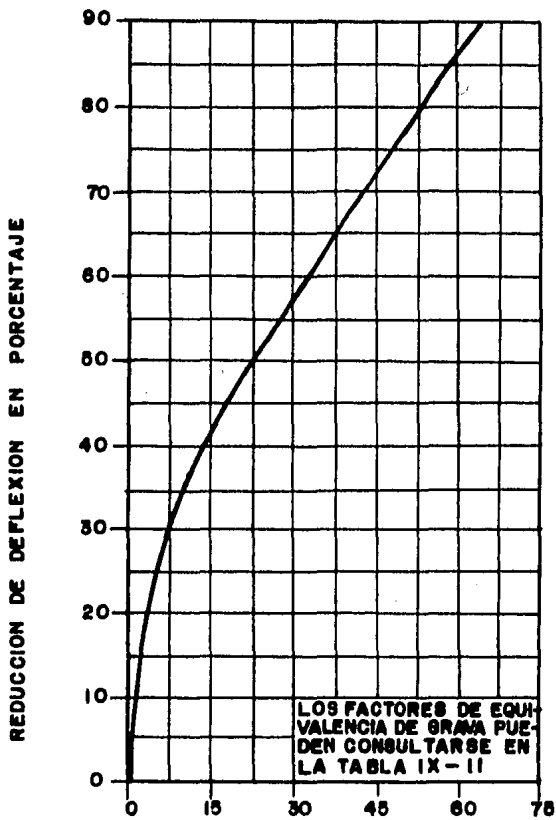
Para nuestro tramo la rehabilitación se puede hacer de acuerdo a las siguientes alternativas.

Primer Alternativa: Contempla el bacheo y renivelación de la carpeta actual, posteriormente se colocará un riego de liga con un rebajado asfáltico del tipo FR - 3, a razón de 0.5 Lt/m²., aproximadamente, contemplándose la estructura con una sobrecarpeta de concreto asfáltico de 8 cms, de espesor elaborada en planta.

El Bacheo: Se realizará de acuerdo al siguiente procedimiento Se elimina el material de superficie y de base en la zona agrietada hasta la profundidad a la que se ha producido la falla. Al eliminarse la base debe extenderse la excavación al menos 30 cms, por fuera del perímetro de la zona agrieta, para que la reparación es te unida al material sólido en todo su perímetro. Los cortes de la excavación deben ser rectos y verticales, una vez realizado esto, se procede a rellenar con material de base procedente de banco com pactándose a un 95%, posteriormente se aplica un riego de impregnación con asfalto del tipo FM-1, a razón de 1.2 Lt/m², aproximadamente y colocando en la zona del bache una carpeta asfáltica.

La renivelación: Se recomienda realizarla con una mezcla asfáltica con tamaño máximo de agregado petreo de 1/2" con el objeto de restituir el bombeo de la sección transversal, debiendo aplicar se previamente un riego de liga con un rebajado asfáltico del tipo FR-3, a razón de 0.5 Lt/m², aproximadamente.

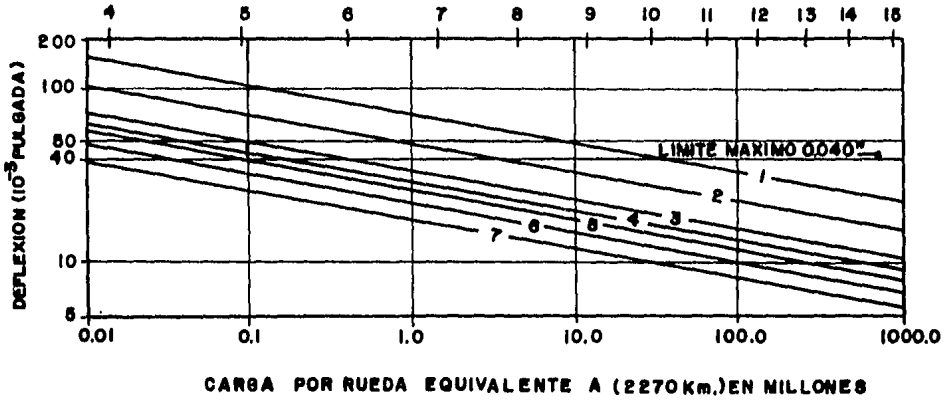
Segunda Alternativa: Contempla el bacheo y renivelación de la carpeta actual, dándole un riego liga con asfalto tipo FR-3, a razón de 0.80 Lt/m², posteriormente se colocará un geotextil (membrana de plástico), para tratar de evitar la reflexión de los deterioros actuales y sobre esta membrana se aplica un riego de liga con un rebajado asfáltico del tipo FR-3, a razón de 0.5 Lt/m², aproximadamente, completándose la estructura con una carpeta de concreto asfáltico de 7 cms, de espesor.



INCREMENTO DE ESPESOR EN GRAVA EQUIVALENTE, Cm.

Fig. 5.2

INDICE DE TRANSITO



TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO

- 1.- TRATAMIENTO SUPERFICIAL _____ 1.2 Cm.
- 2.- CONCRETO ASFALTICO _____ 3
- 3.- CONCRETO ASFALTICO _____ 6
- 4.- CONCRETO ASFALTICO _____ 7.5
- 5.- CONCRETO ASFALTICO _____ 9
- 6.- CONCRETO ASFALTICO _____ 10
- 7.- CONCRETO ASFALTICO _____ 15
- 7.- BASE TRATADA CON CEMENTO _____ 15

Fig. 5.1 Gráfica para la determinación del nivel tolerable de deflexión en el método de California.

El bacheo y renivelación se realizará de acuerdo a lo señalado en la primer alternativa.

Tercer Alternativa: Se contempla la escarificación y disgregación de la carpeta y sobrecarpeta actual (10 cms, de espesor), para formar una nueva base hidráulica de 18 cms, de espesor con un tamaño máximo de agregado petreo de 1 1/2", la cual estará integrada con el material disgregado y material procedente del banco Tecualtepec. La nueva base se colocará sobre la superficie descubierta previa recompatación al 95% de la prueba Proctor y renivelación, a la nueva base se le dará un riego de impregnación con asfalto del tipo FM-1, a razón de 1.3 Lt/m², a 1.5 Lt/m², completando la estructura con una carpeta de concreto asfáltico de 8 cms, de espesor.

En la primer alternativa de acuerdo con el analisis por fatiga con 8 cm, de carpeta asfáltica es suficiente, pero no soluciona la reflexión de los agrietamientos, por lo cual en segunda alternativa se considera colocar un geotextil. Siendo la tercer alternativa, - la más completa, ya que con la nueva base hidráulica, propuesta resulta una estructura de pavimento adecuada para abatir los niveles de reflexión a valores tolerables por fatiga.

Independientemente de la alternativa elegida, se recomienda - construir un tramo experimental con la segunda alternativa, ya que de obtener resultados aceptables será una solución de gran utilidad para la rehabilitación de los pavimentos.

1).- Teniendo en cuenta que la capacidad del camino de acuerdo a la fref. 5), perderá sus condiciones de operación para el año 1994 según se determinó al hacer su evaluación será necesario construir un nuevo cuerpo con dos carriles.

El nuevo cuerpo deberá construirse primero para no interferir el tránsito y estar en condiciones de reconstruir el cuerpo actual y provisionalmente para mantener el servicio de la superficie actual se le dará un riego de sello asfáltico del tipo FR-3, a razón de 1.2 Lt/m², procediéndose a la construcción del nuevo cuerpo y al terminó de este realizar la reconstrucción.

El nuevo cuerpo contará con dos carriles, bombeo a ambos lados, ligado al cuerpo actual y sólo separado por una cuneta de 1 m, de ancho de hombro a hombro ver (fig. 5.2.), y sus características geométricas son las siguientes.

Ancho de Corona	11.0	m.
Ancho de carpeta.	7.0	M.
Acotamientos.	1.0	m. y 3.0 m.

Para el cual se recomienda la siguiente estructura de pavimento:

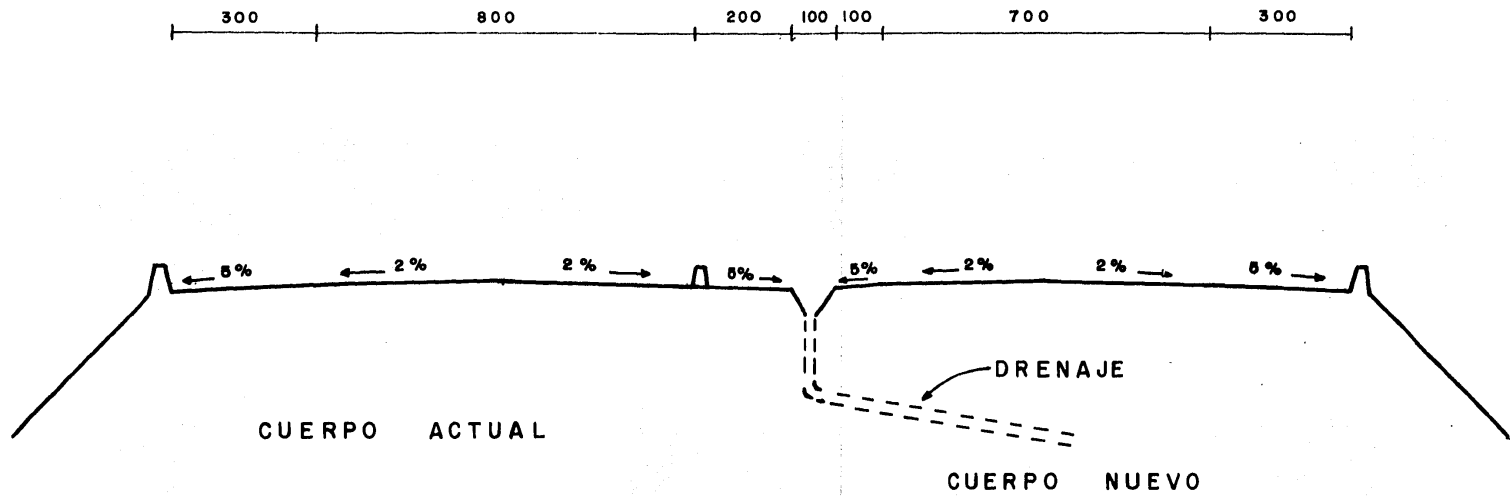
Carpeta	10.0	cm.
Base	15.0	cm.
Sub-base	18.0	cm.

Aspecto Constructivo: Para ligar el nuevo cuerpo al cuerpo actual se deberán construir escalones con un peralte de 30 cms, a 50 cms, y una plantilla de 1.0 m, a 1.5 m.

j).- Los bancos de materiales considerados satisfacen los requisitos de calidad y volúmen necesarios para los trabajos a realizar de acuerdo a lo siguiente:

El banco Tepeaca II.- Se podrá obtener material para concreto - asfáltico y para riego de sello, sometiendo al material a un proceso de trituración total y cribado de acuerdo a la granulometría requerida.

El banco Tecualtepec.- Se podrá obtener material para base y sub base sometiendo al material a un proceso de trituración total y cribado de acuerdo a la granulometría requerida.



SECCION TIPICA DE AMPLIACION
A CUATRO CARRILES

Fig: 5.1

ESCALA 1:100
ACOTACION : CM

BIBLIOGRAFIA

- 1.- La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.
TOMO I. ALFONSO RICO Y HERMILO DEL CASTILLO. EDIT. LIMUSA.
- 2.- Instructivo para Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles para Carreteras.
INSTITUTO DE INGENIERIA.
- 3.- Evaluación de las Condiciones de Servicio de los Pavimentos y Procedimientos para el Proyecto de Reconstrucción.
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS S.C.T.
- 4.- Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.
SOP.
- 5.- Cartas CETENAL.