



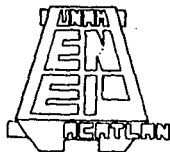
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

INGENIERIA CIVIL

*DISEÑO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCCION DEL
PAVIMENTO DE LA AUTOPISTA PEÑON-
TEXCOCO KM0+000 AL 3+000*

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A N :
HERNANDEZ DIAZ FERNANDO
VAZQUEZ RIVERA FELIPE



SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. MEXICO

1995

FALLA DE ORIGEN



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.

A mis padres y hermanos, que siempre me han apoyado y que me motivan a la superación diaria, a ellos con todo mi amor y cariño.

Fernando.

A mis únicos héroes reales, mis Padres.

A mis hermanos.

A la niña que me enseñó a amar.

Felipe.

A nuestros amigos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a:

La Universidad Nacional Autónoma de México, por la oportunidad que nos brindó para realizar nuestros estudios profesionales, así como a los profesores que contribuyeron en nuestra formación.

Ing. Francisco Anzures Rosas, por su asesoría y apoyo incondicionales.

Grupo Tribasa, en especial a los Ingenieros José Miramontes y Victor Gil, por las facilidades prestadas.

D. I. Fabián Lara, Ing. Celso Barrera, Ing. Victor Padilla, Ing. Rubén Montes, Lic. Elisa Cuevas, M.M.C. Sergio Hernández, Ing. Ignacio Castillo, Ing. Armando Martínez y a todas las personas que, de una u otra manera, colaboraron en la realización de este trabajo.

Y, sobre todo, a Dios.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
DIVISION DE MATEMATICAS E INGENIERIA
JEFATURA DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. FERNANDO HERNANDEZ DIAZ
SR. FELIPE VAZQUEZ RIVERA
ALUMNOS DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL.
P R E S E N T E :

DE ACUERDO A SU SOLICITUD PRESENTADA CON FECHA 10 DE OCTUBRE DE 1974, ME COMPLACE NOTIFICARLE QUE ESTA JEFATURA DEL PROGRAMA TUVO A BIEN ASIGNARLE EL SIGUIENTE TEMA DE TESIS:
"DISEÑO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO DE LA AUTOPISTA PERON-TEXCOCO. KM 0+000 AL 3+000"

INTRODUCCION.

- I.- ANTECEDENTES.
 - II.- ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS.
 - III.- METODOS DE CIMENTACION EN SUELOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD.
 - IV.- DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO.
 - V.- PROCESO CONSTRUCTIVO.
 - VI.- CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES.
- CONCLUSIONES.

ASI MISMO FUE DESIGNADO COMO ASESOR DE TESIS EL ING. FRANCISCO ANZURES ROBAS.

PIDO A USTED TOMAR NOTA QUE EN CUMPLIMIENTO DE LO ESPECIFICADO EN LA LEY DE PROFESIONES, DEBERA PRESTAR SERVICIO SOCIAL DURANTE UN TIEMPO MINIMO DE SEIS MESES COMO REQUISITO BASICO PARA SUSTENTAR EXAMEN PROFESIONAL, ASI COMO DE LA DISPOSICION DE LA DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES EN EL SENTIDO DE QUE SE IMPRIMA EN LUGAR VISIBLE DE LOS EJEMPLARES DE LA TESIS. EL TITULO DE TRABAJO REALIZADO. ESTA COMUNICACION DEBERA IMPRIMIRSE EN EL INTERIOR DE LA TESIS.

SIN MAS POR EL MOMENTO, RECIBA UN CORDIAL SALUDO



ATENTAMENTE.
"POR MI PAIS HABLARA EL ESPIRITU"
ACATLAN, EDO. DE MEX., A 13 DE ENERO DE 1975
ENEP-ACATLAN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

ING. CARLOS ROSALES ABUILAF
JEFE DEL PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

FALLA DE ORIGEN

**DISEÑO ESTRUCTURAL Y CONSTRUCCIÓN DEL PAVIMENTO
DE LA AUTOPISTA PEÑÓN - TEXCOCO.
KM 0+000 AL 3+000**

	<i>Pág.</i>
INTRODUCCIÓN	1
I.- ANTECEDENTES	4
A.- MARCO SOCIOECONÓMICO	4
B.- VIALIDAD ACTUAL DE LA ZONA Y AFOROS	8
C.- PROYECTO GEOMÉTRICO	10
a) Tránsito esperado y composición vehicular	
b) Selección de ruta	
c) Localización y ubicación física del proyecto	
d) Derecho de vía	
e) Clasificación de la autopista	
f) Sección transversal	
D.- IMPACTO AMBIENTAL	16
a) Emisiones a la atmósfera	
b) Niveles de ruido	
c) Impacto en flora y fauna	
II.- ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	30
A.- RESULTADOS	31
B.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	43

	<i>Pág.</i>
III. MÉTODOS DE CIMENTACIÓN EN SUELOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD	46
A.- REMOCIÓN DEL MATERIAL COMPRESIBLE	48
B.- TRATAMIENTO FÍSICOQUÍMICO DEL TERRENO COMPRESIBLE	48
C.- CONSTRUCCIÓN PREVIA DE TERRAPLENES	49
D.- USO DE MATERIALES LIGEROS	49
E.- SOBREVLEVACIÓN DE LA RASANTE	50
F.- USO DE DRENES VERTICALES DE ARENA	50
G.- COMPENSACIÓN PARCIAL O TOTAL DE LA CARGA DEL TERRAPLÉN	52
H.- COLOCACIÓN DE BERMAS O USO DE TALUDES MUY TENDIDOS	53
I.- COMPACTACIÓN	53
J.- USO DE GEOTEXTILES	53
K.- USO DE LOSA DE CONCRETO	57
IV.- DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO	61
A.- DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO DE DISEÑO	62
B.- VARIABLES DE DISEÑO	66
a) Resistencia	
b) Tránsito	
c) Nivel de confianza	
C.- DETERMINACIÓN DE ESPESORES	69
D.- CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS	77
V.- PROCESO CONSTRUCTIVO	84
A.- CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO NUEVO	84
a) Desmante y despalme	
b) Plantilla de arena de tezontle	
c) Losa de concreto	

d) Subbase hidráulica	
e) Riego de impregnación de subbase	
f) Riego de liga para base asfáltica	
g) Base asfáltica o base negra	
h) Riego de liga para carpeta	
i) Carpeta asfáltica	
j) Riego de sello	
B.- REHABILITACIÓN DEL CUERPO EXISTENTE	108
a) Cortes en caja en zonas de acotamiento	
b) Terracerías en zonas de acotamiento	
c) Subbase hidráulica	
d) Riego de impregnación de subbase	
e) Riego de liga para base asfáltica	
f) Base asfáltica	
g) Riego de liga para carpeta	
h) Carpeta asfáltica	
i) Riego de sello	
VI. CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES	117
A.- SUBRASANTE	118
B.- LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO	121
C.- SUBBASE	124
D.- BASE ASFÁLTICA	130
E.- CARPETA ASFÁLTICA	137
CONCLUSIONES	142
BIBLIOGRAFÍA	145

INTRODUCCIÓN

Las carreteras son una de las vías más importantes de comunicación en nuestro país, en estos últimos años y con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio para América del Norte han tenido un gran auge.

Dentro de los programas encaminados a la creación de nuevas autopistas se encuentra el Plan Nacional de Desarrollo que, en su fracción 5.3.4 se refiere a la ampliación prioritaria de la infraestructura, así como también establece la política de comunicaciones y transportes, que en forma general enuncia que el Gobierno Federal promoverá el desarrollo, y por tanto las inversiones en comunicaciones y transportes, para apoyar las políticas de crecimiento y estabilidad económica, integración y desarrollo regional, promoción del empleo, impulso al comercio exterior, atención a las demandas sociales, y fomento turístico; teniendo gran interés en el respeto al medio ambiente.

Con referencia a inversiones en carreteras, los efectos son diferentes según el medio económico en el que se aplican. Es decir, las consecuencias serán muy distintas si la inversión se realiza en una zona con un cierto grado de desarrollo o en otra en la que apenas se inicie un proceso de incorporación a la economía de mercado; ello determina el establecimiento de las siguientes

categorías: carreteras de función social, carreteras de penetración económica y carreteras para zonas en pleno desarrollo. Por supuesto pueden presentarse casos intermedios.

Las carreteras de función social son las obras en las que las consecuencias de invertir se manifiestan principalmente en el campo social, por que la zona afectada sea de escasa potencialidad económica pero con fuerte concentración de población; las carreteras de penetración económica son las obras en las que el impacto principal sea la incorporación al proceso de desarrollo general de zonas potencialmente productivas.

Las carreteras para zonas en pleno desarrollo son aquellas ubicadas en una región en la que ya existen las vías necesarias para prestar el servicio de transporte y la cuales se desea mejorar o substituir, tal es el caso de la autopista Peñón -Texcoco, que además, es necesaria para descongestionar el elevado tránsito vehicular de la zona norte del Distrito Federal y los Municipios conurbados del Estado de México.

La zona seleccionada para alojar la autopista es la correspondiente al exlago de Texcoco, puesto que en esta zona el eje de trazo sería prácticamente en línea recta; además, en esta zona se encuentra una estructura vial perteneciente a la SARH. que se puede aprovechar y ser utilizada como parte de la estructura de la autopista.

El proyecto de la autopista Peñón-Texcoco comprende una longitud de 16.43 km. y contempla la construcción de un cuerpo nuevo paralelo al existente, al cual se le realizarán trabajos de rehabilitación.

Uno de los principales problemas que representa la construcción de la autopista, es el terreno de sustentación de la estructura, debido a la presencia de arcillas altamente compresibles, con una profundidad mayor a 40 m., lo que podría generar asentamientos diferenciales muy notorios.

El objetivo de este trabajo es demostrar que, dentro de los métodos empleados para atacar el problema de los asentamientos diferenciales, el uso de losa de concreto como elemento de refuerzo es el más adecuado para el proyecto.

Debido a la colocación de la losa de concreto como parte de la estructura de la autopista, se realizó el diseño en dos partes; en la primera se calcularon los espesores conforme lo establece el Instituto de Ingeniería de la UNAM, sin considerar a la losa como parte de la estructura; en la segunda, se diseñó la losa como si fuera parte de un pavimento rígido, conforme al método de la Asociación de Cementos Portland de los EUA., ya que en la etapa de construcción servirá de acceso a maquinaria y vehículos usados en la obra.

Como se recordará, parte de la estructura pertenece al camino de la SARH., con lo que se puede dividir la etapa de construcción en rehabilitación del cuerpo existente y en construcción de un cuerpo nuevo; dentro de las características principales de la rehabilitación se encuentra la ampliación de la corona para alojar áreas de acotamientos, desplantando la nueva base asfáltica a partir de la carpeta existente.

Dentro de las etapas de construcción es necesario cuidar las características de los materiales y de los procesos constructivos, para ello será necesario un buen control de calidad, respetando las indicaciones marcadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

Este trabajo se desarrolló con la intención de que el lector tenga un panorama general del diseño estructural y la construcción del pavimento de una autopista, en apego a las normas correspondientes, desde los estudios preliminares hasta la conclusión de la obra.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

La gran explosión demográfica que ha tenido el Valle de México, ha generado un gran congestionamiento de las arterias viales que unen a la ciudad con los municipios que a ella rodean, tal es el caso de los municipios de Texcoco, Nezahualcóyotl, Chiconcuac, entre otros.

Este problema a llevado a las autoridades a la construcción de nuevas vías de comunicación, siendo la autopista Peñón - Texcoco una de ellas.

En este capítulo se hace una recopilación de los datos que determinan la factibilidad, para realizar el proyecto en la zona del exlago de Texcoco, así como aspectos de orden técnico que servirán para el diseño estructural del mismo.

A.- MARCO SOCIOECONÓMICO

La carretera Peñón - Texcoco tiene por objetivo lograr un enlace más directo entre la zona nororiental de la Ciudad de México y la carretera

Los Reyes - Texcoco - Lechería, permitiendo la unión de los municipios de Texcoco, Nezahualcóyotl, Atenco y Chiconcuac, con la Delegación Venustiano Carranza, lo cual permitirá el descongestionamiento vehicular en las avenidas Ignacio Zaragoza, Ermita Iztapalapa, carretera Lechería - Texcoco, vía Morelos y avenida Carlos Hank González (Av. Central) entre otras (figura 1.1).

Los municipios antes mencionados se han caracterizado por presentar crecimientos demográficos explosivos e incluso superiores a la tasa media del Estado de México en los últimos 20 años (9.8% promedio anual); para el caso de Nezahualcóyotl su población ha crecido 2.2 veces aproximadamente en los últimos 20 años, pasando de 580,436 habitantes a 1'256,115, siendo el municipio que mayor población presenta de los que comprende la zona de influencia del proyecto.

Texcoco ha tenido un crecimiento similar, ya que su población también se ha incrementado en 2.2 veces aproximadamente, en 1970 tenía 655,628 habitantes y en 1990 contaba con 1'440,368; de igual manera ha sucedido con Atenco, ya que en 1970 contaba con 10,616 habitantes y en 1990 tenía 21,219. Finalmente Chiconcuac es el municipio que menor crecimiento ha registrado de los que comprende la zona de influencia del proyecto, ya que su población ha crecido un 70% aproximadamente para el mismo periodo (1970 - 1990); de 8,399 habitantes creció a 14,179.

La actividad económica del municipio de Nezahualcóyotl está representada por cerca de 2,598 industrias manufactureras y existen 38,000 establecimientos dedicados a las actividades comerciales, lo anterior da una idea de la gran actividad que se presenta en el municipio, del cual es importante resaltar que a nivel estatal agrupa casi el 20% de

los establecimientos comerciales, industriales y de servicios del estado. Por lo que toca al municipio de Texcoco, en él existen 2,145 establecimientos, de los cuales casi el 60% están dedicados al comercio y 744 al área de servicios, es decir un 30%; cabe señalar que de las principales actividades del municipio destacan la ganadería y la agricultura, ya que de la superficie total del municipio el 60% está dedicada a esta última actividad.

En el municipio de Atenco el 40% de la población, se dedica a actividades de la industria manufacturera, siendo ésta la principal actividad, de la cual existen 17 empresas; en Chiconcuac, los 980 establecimientos dedicados al comercio absorben al 50% de la población económicamente activa.

Con respecto a los ingresos de la población, de los municipios que conforman la zona de influencia del proyecto, Nezahualcóyotl y Texcoco se caracterizan porque más del 50% de la misma perciben entre 1 y 3 salarios mínimos; por lo que toca a los municipios de Atenco y Chiconcuac el 50% de la población recibe ingresos entre 1 y 2 salarios mínimos.

En este contexto, el Gobierno del Estado de México está dando prioridad a los proyectos que brinden los mayores beneficios a los usuarios y a la comunidad.

Uno de los proyectos que ofrece una alta rentabilidad, gran eficacia para promover el desarrollo y suficiente demanda para recuperar la inversión es el proyecto de la carretera de cuota Peñón - Texcoco.

B.- VIALIDAD ACTUAL DE LA ZONA Y AFOROS

Actualmente la zona de influencia del proyecto, que se ubica, como ya se había mencionado anteriormente, en los municipios de Nezahualcóyotl, Texcoco, Atenco y Chiconcuac, cuenta con una infraestructura vial que se concentra en la carretera México - Los Reyes - Texcoco y en la carretera Texcoco - Lechería, dichas vialidades se pueden emplear en los movimientos vehiculares hacia la zona nororiental del Distrito Federal, ya que de otra manera se utilizarían las avenidas Ignacio Zaragoza y Carlos Hank González. Por otro lado, las carreteras antes citadas son pasos obligados de los vehículos que se mueven de los municipios señalados hacia el Distrito Federal.

De los municipios de Texcoco y Chiconcuac, los desplazamientos hacia el Distrito Federal se efectúan necesariamente por la carretera México - Los Reyes - Texcoco. Hacia el nororiental la población se ve precisada a usar la carretera Texcoco - Lechería, para de ahí entroncar en la autopista a las Pirámides y posteriormente a la carretera México - Pachuca.

Por otro lado, existe una alta saturación vehicular en las vías aledañas ya que de aforos realizados se observan tránsitos diarios de 91,900 en la Av. Ignacio Zaragoza, de 72,200 en la Av. Carlos Hank González, 34,030 vehículos en la Av. Xochiaca, 26,889 en la Vía Tapo y 60,922 en la Av. Taxímetros, lo cual da cuenta de la situación vehicular en la zona del proyecto.

Según encuesta de origen y destino realizada recientemente, el total de viajes originados en la zona de Nezahualcóyotl Norte y Sur, Texcoco y Atenco, se estima en poco más de dos millones de viajes al día, de los

cuales el 31% son movimientos en la misma zona. Por otro lado, un 19% de los mismos se dirige a los demás municipios conurbados con el D.F. y un 50% hacia el mismo Distrito Federal. El análisis de dichos resultados en la zona del proyecto hace ver, por un lado, la escasez de infraestructura vial de la zona para los desplazamientos hacia los destinos mencionados y por otro lado, el congestionamiento que se puede dar debido al elevado movimiento vehicular de la zona.

Asimismo, es importante prever la situación vial que puede presentarse en los municipios mencionados en los próximos años, la cual está estrechamente vinculada con la explosión demográfica y habitacional que se ha dado, además del importante efecto que provocaría la prolongación del Anillo Periférico en el incremento del tráfico vehicular.

Dada las características de la carretera Peñón - Texcoco es necesario establecer la importancia que como vía alterna tiene, ya que su operación podría disminuir el congestionamiento que se presenta en las vialidades aledañas como son Ignacio Zaragoza, en el tramo comprendido entre la Av. Eduardo Molina y Circuito Interior; La Av. Central, así como el tramo libre de la carretera México - Puebla de Av. Ermita Iztapalapa a los Reyes, La Paz; dicha importancia también radica en su característica de servir como enlace entre la zona nororiente del Distrito Federal con la carretera de Jalapa y Puebla y al norponiente con la de las Pirámides de Teotihuacán.

C.- PROYECTO GEOMÉTRICO

El proyecto geométrico de un camino está basado en ciertas características del individuo como usuario, de los vehículos y del camino mismo.

En el desarrollo de este tema se explicarán las características de los vehículos y del camino, por ser éstos los principales para el diseño del pavimento y lo de mayor interés para el desarrollo del presente trabajo.

a) Tránsito esperado y composición vehicular

Según estimaciones realizadas, se calcula que el tránsito diario promedio anual (TDPA) para 1994, año en el cual está planeado el inicio de operaciones de la carretera será de 4,500 vehículos diarios.

La composición vehicular proyectada está prevista que sea la siguiente:

TIPO	PORCENTAJE
Automóviles	70%
Autobuses	5%
Camiones	25%

con una tasa de crecimiento anual del 10% .

La clasificación que se da a la composición vehicular, esta tomada del "Manual de proyecto geométrico", y se distribuye de la siguiente forma:

A₂ = 70.0%

B₂ = 5.0%

C₂ = 17.0%

C₃ = 3.1%

T₃-S₂ = 2.6%

T₂-S₁-R₂ = 2.3%

b) Selección de ruta

La selección de la ruta se hizo en base al camino existente, al cual se le realizaron trabajos de reconocimiento para poder definir que la actual trayectoria es adecuada para alojar el proyecto; considerando las condiciones técnicas y topográficas que permitan unir lo más directamente posible los sitios de origen y destino. La factibilidad de rehabilitar el camino existente, además de los puentes sobre cruces con drenes, canales y ríos contribuyó en la determinación de la ruta (figura 1.2).

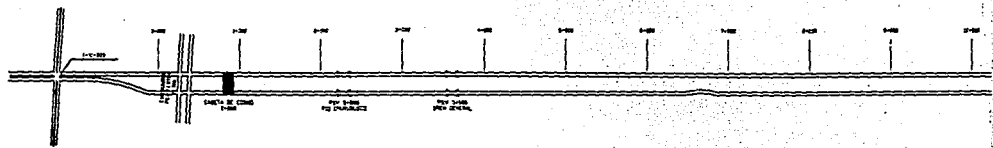
En segundo término, se trata que el trazo una lo más directamente posible los centros de población y evite terrenos agropecuarios, ya que la zona se caracteriza por este tipo de actividades.

Por último, tomando en consideración la mejor opción de trazo, se procurará utilizar las áreas desmontadas para evitar hasta donde sea posible, el derribamiento de árboles y el ocupar áreas con características especiales.

Para la selección de la ruta, se realizaron estudios socioeconómicos, topográficos, hidrológicos, reológicos y ambientales.

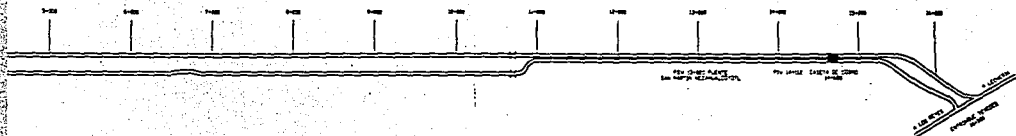
DATOS DE PROYECTO

ALICADO 110 + 00
2 VAL. DE 3.50 Mts 2° 00' 00"
PENTE 0.00%



DATOS DE PROYECTO

15.00340 110 + 00 =
2. 100. 30 C. PLANAS 24 00' 00"
PROYECTO: 100 + 00 42 8



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
E.N.C.P. ACATLAN	
TESS PROFESIONAL	AUT. BENON - TEXCOCCO
FERNANDO HERNANDEZ DIAZ	FIGURA
FELIPE VAZQUEZ RIVERA	1.2

c) Localización y ubicación física del proyecto

La autopista Peñón - Texcoco tendrá una longitud de 16.43 km. y seguirá una trayectoria de sur a nororiente, uniendo la Vía Tapo de la Ciudad de México con el entronque del proyecto del Libramiento de Texcoco con la Carretera Los Reyes - Texcoco - Lechería, es decir, se utiliza la ruta del camino al servicio de la SARH cruzando la denominada Zona de Amortiguamiento que es una zona de recuperación ecológica a cargo de la Comisión del Lago de Texcoco perteneciente a la Comisión Nacional del Agua.

Como se puede observar, la autopista cruza en su mayor parte a la zona del exlago de Texcoco. Se aloja al oriente de la Ciudad de México y al noroeste del Aeropuerto Internacional Benito Juárez de esta ciudad.

Se ubica entre las coordenadas 99°03' y 98°55' longitud oeste y 19°27' y 19°32' latitud norte.

d) Derecho de vía

Por concepto de derecho de vía el proyecto presenta las siguientes características:

TRAMO (km)	DERECHO DE VÍA (m)	SUPERFICIE (Ha)
0+000 - 10+740	79.00	84.85
10+740 - 16+430	60.00	34.60
	TOTAL	119.45

Debido a que el tramo comprendido del km. 0+000 al 10+740 pertenece al Proyecto Lago de Texcoco, y siendo, por tanto, zona federal, el derecho de vía es de 79.00 m.

En el tramo comprendido del km. 10+740 al 16+430, como se puede observar, se juntan los cuerpos, ya que éste corresponde a zona de ejidos.

e) Clasificación de la autopista

Los caminos se clasifican tomando en cuenta el tránsito que sostendrán y de acuerdo con esto, se han establecido especificaciones para su construcción, las cuales dependen fundamentalmente de la velocidad de operación e intensidad del tránsito.

En la siguiente tabla se presenta la clasificación de caminos de acuerdo al TDPA, conforme a lo expresado en el capítulo 2.01.01.002, del libro "Normas de servicios técnicos", editado por la SCT.

TIPO DE CAMINO	T D P A	Vel. de proyecto km/hr	Pendiente máxima
CAMINO A2	de 3000 a 5000 vpd (4 carriles)	80-110	3-5%
CAMINO A4	de 5000 a 20000 vpd (4 carriles)	80-110	3-5%
CAMINO B	de 1500 a 3000 vpd (2 carriles)	50-110	4-6%
CAMINO C	de 500 a 1500 vpd (2 carriles)	40-90	4-7%
CAMINO D	de 100 a 500 vpd (2 carriles)	30-70	6-12%
CAMINO E	hasta 100 vpd (1 carril)	30-70	7-13%

Analizando la tabla se puede observar que el tipo de camino que corresponde al proyecto es el camino A2, el cual corresponde a caminos especiales, y son aquellos que se proyectan cuando se tiene la necesidad imperiosa de movilizar un tránsito demasiado grande, para la comunicación entre zonas de gran influencia económica, estos caminos son llamados *autopistas*.

Existen otros tipos de clasificaciones, los cuales dan una mayor comprensión del tipo de camino o carretera que se esté analizando.

La autopista Peñón - Texcoco está clasificada de la siguiente forma:

- 1.- Por su transitabilidad, es un camino pavimentado.
- 2.- Por su administración se clasifica en camino de cuota.
- 3.- Por su capacidad se clasifica en autopista.
- 4.- Por la inversión, es un camino para zonas en pleno desarrollo.
- 5.- Por su financiamiento se clasifica en participación privada.

f) Sección transversal

En la siguiente tabla se presentan los anchos de corona, de calzada, de acotamientos y de la faja separadora central, conforme a lo establecido en el capítulo 2.01.01.004, del libro "Normas de servicios técnicos", editado por la SCT.

Como se puede observar en dicha tabla, para el proyecto se requiere un ancho de corona de 12.00 m. siendo 7.00 m. los correspondientes al ancho de calzada y 2.50 m. para cada uno de los acotamientos (interior y exterior), al estar formado por dos cuerpos con faja separadora central, el acotamiento interior se reduce a 1.00 m. teniendo, por consiguiente, un ancho de corona de 10.50 m.

TIPO DE CARRETERA	ANCHOS DE				
	CORONA (m)	CALZADA (m)	ACOTAMIENTO (m)	FAJA SEPARADORA CENTRAL (m)	
E	4.00	4.00	-	-	
D	6.00	6.00	-	-	
C	7.00	6.00	0.50	-	
B	9.00	7.00	1.00	-	
A	A2	12.00	7.00	2.50	-
	A4	22.00 mínimo	2 x 7.0	EXT. 3.00 INT. 0.50	1.00 mínimo
	A4S	2 x 11.00	2 x 7.00	3.00	1.00 8.00 mínimo

D.- IMPACTO AMBIENTAL

El área del Proyecto Lago de Texcoco, se considera como área de protección para la vida silvestre, la cual por acuerdo presidencial del 23 de Junio de 1971, considera a ésta en vías de recuperación, y se encuentra a cargo de la Comisión del Lago de Texcoco, siendo ésta la zona por donde cruzará la autopista en el tramo comprendido entre el km. 0+000 al 10+740.

Por lo anterior es importante que se realicen los estudios de impacto ambiental necesarios, para poder determinar la factibilidad del proyecto vial.

a) Emisiones a la atmósfera

Las emisiones a la atmósfera en una autopista están relacionadas con el tránsito vehicular sobre la carretera, es decir, con los vehículos de

los usuarios, que de acuerdo con los factores de emisión para México y comparativamente para los Estados Unidos, son los siguientes:

CONTAMINANTES	FACTORES DE EMISIÓN	
	E.U.A. (g/km/vehículo)	MÉXICO (g/km/vehículo)
MONÓXIDO DE CARBONO	18.5	24.2
HIDROCARBUROS	2.9	2.1
BIÓXIDO DE NITRÓGENO	5.0	2.2
PARTÍCULAS	0.37	NO SE TIENE
ÓXIDO DE AZUFRE	0.14	NO SE TIENE

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

En lo que respecta a la predicción de las posibles emisiones que generan los usuarios de la autopista, se recurrió a un modelo Gaussiano específico para carreteras, en el que se tomaron las siguientes consideraciones:

VELOCIDAD DEL VIENTO	3.26 m/seg
DIRECCIÓN	Norte
ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA	B - C DE INESTABLE A LIGERAMENTE INESTABLE
TDPA	4,500 VEHÍCULOS
TIPO A	70% AUTOMÓVILES
TIPO B	5% AUTOBUSES
TIPO C	25% CAMIONES
TASA DE CRECIMIENTO	10% ANUAL
VELOCIDAD PROMEDIO	10 km/h

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

Los estándares y criterios que se emplearon para evaluar la calidad del aire, se presentan en las tablas 1.1, 1.2, 1.3 y 1.4 y corresponden a monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HCO), óxidos de nitrógeno (NO_x), partículas suspendidas y dióxido de azufre (SO_2); los cálculos se hicieron a nivel de piso $Z=0$ y a 40, 50, 100, 150, 200, 300, 400, 500, 750 y 1000 m. de distancia del eje de la carretera.

En la tabla 1.5 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los años 1993, 1995, 2000, 2010 y 2020, en donde se puede observar que en ninguno de los casos se sobrepasa los límites permisibles de emisiones a la atmósfera.

CONTAMINANTE	TIEMPO	ESTÁNDAR PARA E.U.A. mg/m^3	ESTÁNDAR PARA MÉXICO mg/m^3
PARTÍCULAS	24 hrs	260	275
SO_2	24 hrs	365	340
CO	8 hrs	10000	14857
NO_x	1 año	100	--
	1 hr	--	394

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Tezcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

CONTAMINANTE	TIEMPO	ESTÁNDAR PARA E.U.A. mg/m^3	ESTÁNDAR PARA MÉXICO mg/m^3
PARTÍCULAS	10 min.	652	690
SO_2	10 min.	915	863
NO_x	10 min.	747	549
CO	10 min.	20466	30406

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Tezcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

CONTAMINANTE	PROMEDIO	ESTÁNDAR PRIMARIO	ESTÁNDAR SECUNDARIO	OBJETIVO GENERAL
CO	8 hrs	10mg/m ³ (9 PPM)	10mg/m ³ (9 PPM)	PARA PREVENIR INTERFERENCIAS CON LA CAPACIDAD PARA TRANSPORTAR OXIGENO A LA SANGRE
	1 hr	40mg/m ³ (35 PPM)	40mg/m ³ (35 PPM)	
NO _x	PROMEDIO ANUAL	100mg/m ³ (0.05 PPM)	100mg/m ³ (0.05 PPM)	PARA POSIBLES RIESGOS A LA SALUD PÚBLICA
SO ₂	PROMEDIO ANUAL	80mg/m ³ (0.03PPM)	-----	PARA PREVENIR IRRITACIÓN PULMONAR
	24 hrs	366mg/m ³ (0.14PPM)	-----	
	3 hrs	-----	1300mg/m ³ (0.5 PPM)	PARA PREVENIR OLORES
PARTÍCULAS SUSPENDIDAS	PROMEDIO GEOMÉTRICO ANUAL	75mg/m ³	60mg/m ³	PARA PREVENIR EFECTOS A LA SALUD ATRIBUIBLE A LARGAS EXPOSICIONES
	24 hrs	260mg/m ³	150mg/m ³	
HIDROCARBUROS	3 hrs	160mg/m ³ (0.24PPM)	160mg/m ³ (0.24 PPM)	REDUCIR FORMACIÓN DE OXIDANTES

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

CONTAMINANTE	TIEMPO	ESTÁNDAR PROMEDIO
PARTÍCULAS TOTALES EN SUSPENSIÓN (PTS)	24 hrs	275 mg/m ³
BIÓXIDO DE AZUFRE (SO ₂)	24 hrs	0.13 PPM
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	8 hrs	1.3 PPM
BIÓXIDO DE NITRÓGENO (NO _x)	1 hr	0.21 PPM

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

TABLA No. 1.5 DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES PARA LA ETAPA DE OPERACIÓN DE LA AUTOPISTA						
VIENTOS DOMINANTES: N - S=3.26 (CRITERIO MÉXICO)						
AÑO 1993 (188 VEHÍCULOS/HR)						
D (m)	Tz (m)	CO (mg/m ³)	HIDROC. (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	PART. (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
21	1.843	167.79	15.25	15.25	2.58	0.98
40	3.540	87.38	7.59	7.94	1.34	0.51
50	4.437	63.71	6.05	6.34	1.07	0.41
100	8.951	34.56	3.00	3.14	0.53	0.20
150	13.494	22.92	1.99	2.08	0.35	0.13
200	18.057	17.13	1.49	1.56	0.26	0.10
300	27.223	11.36	0.99	1.03	0.17	0.07
400	36.429	8.49	0.74	0.77	0.13	0.05
500	45.663	6.77	0.59	0.62	0.10	0.01
1000	92.121	3.36	0.29	0.31	0.05	0.02
AÑO 1995 (227 VEHÍCULOS/HR)						
D (m)	Tz (m)	CO (mg/m ³)	HIDROC. (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	PART. (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
21	1.843	202.59	17.59	18.41	3.10	1.18
40	3.540	105.51	9.16	9.59	1.61	0.61
50	4.437	84.17	7.31	7.65	1.29	0.49
100	8.951	41.72	3.62	3.79	0.64	0.24
150	13.494	27.67	2.40	2.52	0.42	0.16
200	18.057	20.68	1.80	1.88	0.32	0.12
300	27.223	13.72	1.19	1.25	0.21	0.08
400	36.429	10.25	0.89	0.93	0.16	0.06
500	45.663	8.18	0.71	0.74	0.12	0.05
1000	92.121	4.05	0.35	0.37	0.06	0.02
AÑO 2000 (366 VEHÍCULOS/HR)						
D (m)	Tz (m)	CO (mg/m ³)	HIDROC. (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	PART. (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
21	1.843	326.66	28.36	29.69	4.99	1.90
40	3.540	170.12	14.77	15.46	2.60	0.99
50	4.437	135.72	11.78	12.33	2.07	0.79
100	8.951	67.27	5.84	6.11	1.03	0.39
150	13.494	44.62	3.87	4.06	0.68	0.26
200	18.057	33.35	2.90	30.3	0.51	0.19
300	27.223	22.12	1.92	2.01	0.34	0.13
400	36.429	16.53	1.44	1.50	0.25	0.10
500	45.663	13.19	1.14	1.20	0.20	0.08
1000	92.121	6.54	0.57	0.59	0.10	0.04

Continúa...

... Sigue

AÑO 2010 (949 VEHÍCULOS/HR)						
D (m)	Tz (m)	CO (mg/m ³)	HIDROC. (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	PART. (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
21	1.843	846.98	73.54	76.98	13.94	4.93
40	3.540	441.10	38.30	40.09	6.74	2.57
50	4.437	351.89	30.55	31.98	5.38	2.05
100	8.951	174.43	15.55	15.85	2.67	1.01
150	13.494	115.70	10.05	10.52	1.77	0.67
200	18.057	86.46	7.51	7.86	1.32	0.50
300	27.223	57.35	4.98	5.21	0.88	0.33
400	36.429	42.86	3.72	3.90	0.65	0.25
500	45.663	34.19	2.97	3.11	0.52	0.20
1000	92.121	16.95	1.47	1.54	0.26	0.10
AÑO 2020 (2461 VEHÍCULOS/HR)						
D (m)	Tz (m)	CO (mg/m ³)	HIDROC. (mg/m ³)	NO _x (mg/m ³)	PART. (mg/m ³)	SO ₂ (mg/m ³)
21	1.843	2196.42	190.71	199.62	33.57	12.77
40	3.540	1143.87	99.32	103.96	17.48	6.65
50	4.437	912.55	79.32	82.94	13.95	5.31
100	8.951	452.34	39.28	41.11	6.91	2.63
150	13.494	300.03	26.05	27.27	4.59	1.74
200	18.057	224.22	19.47	20.38	3.43	1.30
300	27.223	148.72	12.91	13.52	2.27	0.86
400	36.429	111.14	9.65	10.10	1.70	0.65
500	45.663	88.67	7.70	8.06	1.36	0.52
1000	92.121	43.95	3.82	3.99	0.67	0.26

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

En la construcción de una obra como ésta es necesaria la utilización de maquinaria de gran capacidad y un número considerable de vehículos, lo cual genera emisiones a la atmósfera superiores a la de los vehículos convencionales. La utilización de éstos sólo será temporal, por lo que el impacto será adverso, directo, a corto plazo y de corta duración; teniendo

como medidas de mitigación el buen estado de las unidades, así como de operadores calificados.

Con respecto a los vehículos de los usuarios, las emisiones que éstos produzcan se sumarán a las concentraciones existentes en la zona, considerándose un impacto local, adverso, a corto plazo y de larga duración, al que se le pueden aplicar como medidas preventivas únicamente el mantenimiento que los usuarios le den a sus vehículos, lo cual podrá ser indicado mediante anuncios fijos y folletos.

b) Niveles de ruido

Los niveles de ruido que se tendrán durante la operación de la autopista, independientemente de los que actualmente producen los vehículos que circulan por la carretera existente y los aviones que despegan del Aeropuerto de la Ciudad de México, serán producidos por los vehículos de los usuarios de la autopista.

Para predecir los niveles de ruido que se producirán durante la operación, se recurrió al modelo desarrollado por la "Federal Highway Administration" (FHA) en los Estados Unidos, para lo cual se hicieron las consideraciones de las tablas 1.6, 1.7, 1.8 y 1.9, además de las siguientes:

TDPA	4,500VEHÍCULOS
TASA DE CRECIMIENTO	10% ANUAL
COMPOSICIÓN VEHICULAR	70% AUTOMÓVILES
	5% AUTOBUSES
	25% CAMIONES

AÑOS EVALUADOS	1993
	1995
	2000
	2010
	2020
NIVEL DE RUIDO EQUIVALENTE	71.5 dB AUTOMÓVILES
	81.5 dB AUTOBUSES
	81.0 dB CAMIONES

FACTOR DE ABSORCIÓN DE LA CUBIERTA DE SUELO 0.5 VEGETACIÓN BAJA SUELO SUAVE

Ds, FACTOR DE PROTECCIÓN 4.5 dB

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

TABLA No 1.6 CRITERIOS DE RIESGO PARA PERDIDA DE OÍDO	
DURACIÓN MÁXIMA PERMITIDA POR DÍA (H O R A S)	NIVEL DE RUIDO (dB)
8	90
6	92
4	95
3	97
1.5	100
1.0	102
0.25	115

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

TABLA No. 1.7 EFECTOS DEL RUIDO EN EL HOMBRE	
NIVEL (dB)	EFEECTO POTENCIAL
20	NO SE PERCIBE EL SONIDO
25	UMBRAL DEL OÍDO
30	
35	LIGERA INTERFERENCIA CON EL SUEÑO
40	
45	
50	MODERADA INTERFERENCIA CON EL SUEÑO
55	
60	NIVEL DE HABLADO NORMAL
65	INTERFERENCIA CON LA COMUNICACIÓN
70	REACCIONES DE LAS GLÁNDULAS
75	CAMBIOS EN LA COORDINACIÓN MOTORA
80	MODERADO DAÑO AL OÍDO
85	MOLESTIA
90	AFECTA EL COMPORTAMIENTO MENTAL Y MOTOR
95	SEVERO DAÑO AL OÍDO
100	DESPIERTA A CUALQUIER PERSONA
105	
110	
115	ESFUERZO VOCAL MÁXIMO
120	
125	UMBRAL DEL DOLOR
130	LIMITE AMPLIFICADO DE DISCURSO
135	MUY DAÑINO
140	ALTA PÉRDIDA POTENCIAL DEL OÍDO

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Tezcoco.
 México: Comisión de Transporte del Estado de México.

TABLA No. 1.8 CRITERIOS PARA NIVELES DE SONIDO EXTERIOR, PARA ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL POR RUIDO PARA VARIOS USOS DEL SUELO		
USOS DEL SUELO	dn (dB)	eq (dB)
RESIDENCIAL	55	
HOSPITAL, a	55	
ÁREA DE ENSEÑANZA	60	
IGLESIA, b		60
EDIFICIO DE OFICINAS, a		60
TEATROS		
ÁREA DE JUEGOS Y DEPORTES		70
PARQUES		70
		70

dn NIVEL DÍA Y NOCHE

eq NIVEL EQUIVALENTE

a 15 dB VENTANAS ABIERTAS

b 25 dB VENTANAS CERRADAS

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.

México: Comisión de Transporte del Estado de México.

TABLA No. 1.9 EFECTOS POR RUIDO EN LA VIDA SILVESTRE			
ESPECIES	NIVEL DE RUIDO dB	DURACIÓN	REACCIÓN
RATÓN DE CAMPO	----	----	ESTRÉS
	75	1 mín.	HIPERTROFIA
OVEJA	80-85	1 mín.	ADRENALINA
AVE ACUÁTICA	82-92	1 mín.	CORRE PÁNICO
ALCE	85-95	1 mín.	BANDADA
BISÓN	80-85	1 mín.	INCREMENTA EL PASO
ZORRA ROJA	85	2 mín.	SE LEVANTA
PÁJAROS			CORRE
			SE ESPANTAN

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.

México: Comisión de Transporte del Estado de México.

En la tabla 1.8 se presentan los criterios de nivel de ruido sobre diferentes usos de suelo. Como puede observarse, 55 dB es el límite de

nivel permisible para los usos residencial y médico, por lo que se utilizará este valor como límite para evaluar el impacto por ruido.

Los cálculos se hicieron desde el eje del camino hasta los 40 m., que es el ruido a la orilla de la carretera, a partir de este punto a cada 10 m. hasta obtener 55 dB, que es el valor considerado como límite máximo para interferir con las actividades humanas; se obtuvieron los siguientes resultados:

AÑO	NIVEL DE RUIDO (dB)	DISTANCIA (m)
1993	55	260
1995	55	290
2000	55	400
2010	55	760
2020	55	1,410

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

Se realizó también otra evaluación considerando una barrera lateral a lo largo de la trayectoria del camino, como posible medio de amortiguamiento de ruido, dando los siguientes resultados:

AÑO	NIVEL DE RUIDO (dB)	DISTANCIA (m)
1993	55	70
1995	55	80
2000	55	110
2010	55	210
2020	55	390

FUENTE: Manifiesto de Impacto Ambiental, Autopista Peñón-Texcoco.
México: Comisión de Transporte del Estado de México.

Como se puede notar, el nivel de ruido producido por los vehículos hasta el año 2020, límite del modelo, se presenta hasta una distancia de

eje del proyecto de 1,410 m.; situación que se amortigua con una barrera sólida, según lo evaluado, hasta en un 70%, siendo en este mismo punto y año de 390 m. la distancia máxima.

Por otro lado la reforestación propuesta será una medida importante para atenuar el ruido, conjuntando las especificaciones que la SCT marca para autopistas de este tipo y las especificaciones técnicas del Proyecto Lago de Texcoco por lo que se construirá una barrera eficiente que atenúe el ruido hasta un 25% con una altura mínima de 3.00 m.

Si bien no se rebasan los límites permisibles por emisión de ruido, éstos interferirán con las actividades normales para el hombre, así como para animales silvestres y el uso del suelo, por lo que el impacto será local, directo, a corto plazo y larga duración, teniendo como medidas de mitigación el uso adecuado de los vehículos, mantenimiento y buena afinación, lo cual se puede informar mediante anuncios fijos y folletos por los operarios de la carretera.

c) Impacto en flora y fauna

La posible afectación de la vegetación en las 29.08 Ha. será relativamente baja, comparada con la del proyecto Lago de Texcoco, ya que las especies que se retirarán son abundantes y se encuentran incluidas dentro del programa de recuperación del Vaso, no encontrándose especies amenazadas ni raras.

La vegetación existente se puede clasificar de la siguiente forma:

TIPO DE VEGETACIÓN	IND/HA
Estrato rasante	1,750
Estrato herbáceo	1,500
Estrato arbustivo	1,350

Dentro del trazo de la autopista se retirarán 680 individuos del estrato arbóreo, de los cuales se transplantarán 400.

La afectación de la zona agrícola será mínima, ya que se permitirá levantar los cultivos antes de iniciar la obra.

El impacto esperado sobre la fauna silvestre por la construcción de la carretera, será de acuerdo a las diferentes clases de animales silvestres de la zona. Debido a la capacidad de locomoción que tienen las aves, la carretera no representa un obstáculo para su libre desplazamiento, se puede considerar que el impacto será nulo en la etapa de construcción, en la etapa de operación es muy probable que algunas aves choquen con la malla ciclónica colocada a lo largo de todo el trazo de la carretera, por lo cual el impacto será negativo a corto plazo y de larga duración.

La mala imagen que tienen para el hombre los anfibios y reptiles, originará que algunos de estos individuos sean sacrificados durante la etapa de construcción y, aunque esto suceda, la población del área no será afectada. Por lo que se espera un impacto negativo alto y de corta duración durante la construcción, y un impacto bajo durante la etapa de operación.

Tomando en cuenta la poca diversidad de mamíferos en el área, durante la etapa de construcción probablemente algunos organismos serán sacrificados (principalmente ratones), por lo que el impacto será negativo bajo de corta duración.

Para evitar que durante la etapa de operación de la carretera, el impacto sea negativo y de larga duración, se deben construir pasos suficientes (drenes) para que los mamíferos pequeños puedan desplazarse libremente. En el caso de mamíferos de talla mediana (conejos, ardillas y zorrillos), es importante que tengan libre paso a través de la carpeta

asfáltica, esto significa, que si se tiene diseñado camellón central continuo, cada 1,000 m. debe haber al menos 100 m. de barras de contención, en lugar de muro de concreto.

También se deberá respetar un espacio mínimo de 20 cm. entre el piso y la malla; con el fin de permitir el libre desplazamiento de los pequeños y medianos mamíferos.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Los estudios de mecánica de suelos sirven para conocer los espesores de los estratos que componen al suelo donde se apoyará la estructura; así como las propiedades físicas y mecánicas que presenta cada estrato.

Para poder conocer estos estratos es necesario que se realicen tanto trabajos de campo como de laboratorio.

Los trabajos de campo que se efectuaron fueron pozos a cielo abierto y sondeos mixtos con el uso de equipo especializado, y se ubicaron a lo largo del eje del trazo correspondiente. Los pozos se llevaron hasta una profundidad máxima de 3.00 m. o hasta el nivel freático y los sondeos profundos hasta 40.00 m.

A.- RESULTADOS

A continuación se muestran los valores obtenidos a partir de los ensayos realizados tanto en campo como en laboratorio.

La finalidad de los pozos a cielo abierto es la obtención de muestras inalteradas del suelo en estudio, así como proporcionar una identificación de tipo manual y visual, ésta sirve para obtener una clasificación preliminar del tipo de suelo que forma cada estrato.

La estratigrafía obtenida del pozo número PCA-1, que se realizó en el cadenamamiento 2+420, se presenta en la figura 2.1.




<i>ESTRATIGRAFÍA DE POZO</i>		
DESCRIPCIÓN DEL SUELO	ESTRATIGRAFÍA	PROFUNDIDAD (m)
Suelo vegetal		0.20
Arena con gravilla, color gris		0.30
Limo café oscuro con raicillas		0.50
Fin de la excavación = 1.00 m.		

Figura 2.1 Estratigrafía de pozo a cielo abierto PCA-1

Con las pruebas realizadas en el laboratorio a las muestras obtenidas de los pozos a cielo abierto se obtuvo el contenido natural de agua y el peso volumétrico natural cuyos valores se presentan a continuación:

Se obtuvo un peso volumétrico natural de $1,345 \text{ kg/m}^3$ y un contenido de agua de 100.6% a una profundidad de entre 0.50 y 0.70 m.

Un sondeo mixto, como su nombre lo indica, consta de dos o más tipos de sondeo; para este caso, en la exploración se realizaron sondeos de penetración estándar y sondeos con tubo Shelby.

La prueba de penetración estándar consiste en conocer el número de golpes necesarios para hincar el penetrómetro 30 cm. para ello se emplea una masa golpeadora llamada martineta de 63.5 kg. de peso y que se deja caer de 76 cm. de altura.

Este método sirve para encontrar un valor aproximado de la resistencia a la compresión simple (q_u) en arcillas relacionándolo con el número de golpes necesarios en ese suelo, para que el penetrómetro estándar logre entrar los 30 cm. especificados. Para pruebas en arcillas, Terzaghi y Peck dan la correlación que se presenta en la tabla 2.1.

Como ya se mencionó, los sondeos de penetración estándar dan una idea de la resistencia del suelo en forma indirecta, y además de ellos se puede obtener muestras alteradas, las cuales se someten a pruebas índice.

El sondeo con tubo Shelby sirve para obtener muestras inalteradas, las cuales son sometidas a pruebas tanto índice como mecánicas en el laboratorio.

El tubo Shelby es un tubo de pared delgada sin costuras de 4" de diámetro y 1 m. de longitud, su extremo inferior (que es el que se hince) se encuentra afilado y en el otro extremo tiene cuerda para unirse al tubo de perforación.

Los resultados obtenidos del sondeo mixto número SM-1, que se realizó en el cadenamamiento 2+480, se presentan en las figuras 2.2a, 2.2b y 2.2c, en las gráficas 2.1a, 2.1b y 2.1c y en las tablas 2.2a, 2.2b, 2.2c, 2.3 y 2.4.

CONSISTENCIA	NÚMERO DE GOLPES (n)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE, q_{II} (kg/cm ²)
Muy blanda	< 2	< 0.25
Blanda	2 - 4	0.25-0.50
Media	4 - 8	0.50-1.00
Firme	8 -15	1.00-2.00
Muy firme	15 - 30	2.00-4.00
Dura	> 30	> 4.00

Tabla 2.1 Correlación de Terzaghi y Peck

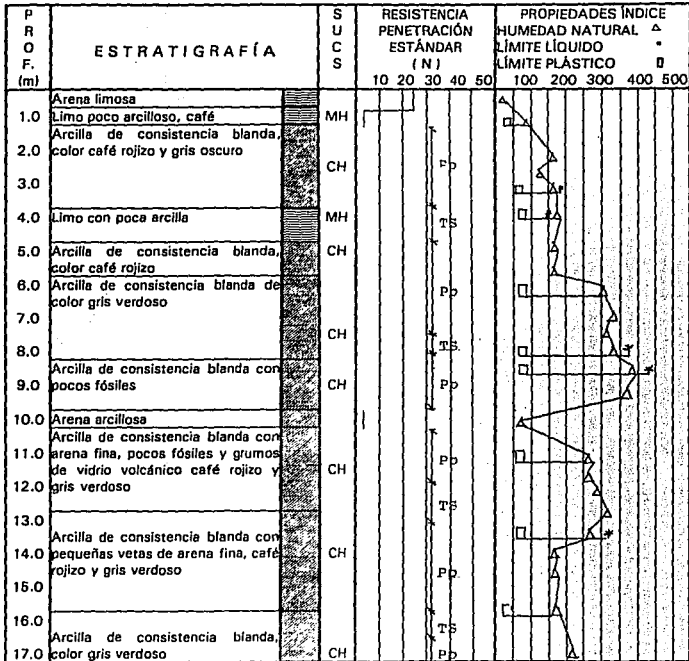
**SONDEO MIXTO No. 1
KM 2 + 480**
**CARRETERA
PEÑÓN-TEXCOCO**

SIMBOLOGÍA


Figura 2.2a Sondeo mixto SM-1 de 0 a 17 m.

SONDEO MIXTO No. 1
KM 2 + 480

CARRETERA
PEÑÓN-TEXCOCO



SIMBOLOGÍA

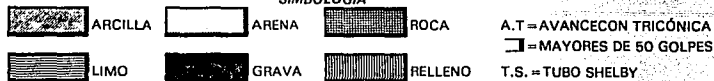
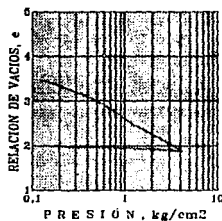


Figura 2.2a Sondeo mixto SM-1 de 17 a 33 m.

SONDEO SM-1
 PROF. 3.60-4.40 m
 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

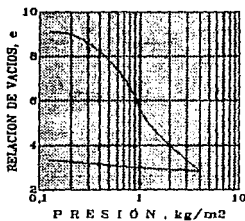


$P_c =$ kg/cm ²	$\gamma_{h_i} = 1318$ kg/m ³	$W_i = 161.3$ %	$G_i = 103.0$ %	$e_i = 3.756$
----------------------------	---	-----------------	-----------------	---------------

$S_s = 2.399$	$\gamma_{h_f} = 1441$ kg/m ³	$W_f = 100.7$ %	$G_f = 106.5$ %	$e_f = 2.268$
---------------	---	-----------------	-----------------	---------------

Gráfica 2.1a Consolidación unidimensional profundidad de 3.60 a 4.40 m.

SONDEO SM-1
 PROF. 7.40-8.20
 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

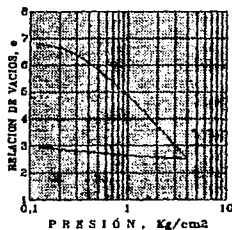


$P_c =$ kg/cm ²	$\gamma_{h_i} = 1160$ kg/m ³	$W_i = 345.4$ %	$G_i = 99.5$ %	$e_i = 9.362$
----------------------------	---	-----------------	----------------	---------------

$S_s = 2.698$	$\gamma_{h_f} = 1300$ kg/m ³	$W_f = 149.1$ %	$G_f = 96.2$ %	$e_f = 4.181$
---------------	---	-----------------	----------------	---------------

Gráfica 2.1b Consolidación unidimensional profundidad de 7.40 a 8.20 m.

SONDEO SM-1
 PROF. 26.30-27.20
 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL



$P_c =$	kg/cm^2	$\gamma_{hj} = 1175 \text{kg/m}^3$	$W_j = 290.0 \%$	$G_j = 100.2 \%$	$s_j = 6.963$
$S_s = 2.407$		$\gamma_{hf} = 1313 \text{kg/m}^3$	$W_f = 138.4 \%$	$G_f = 98.9 \%$	$s_f = 3.369$

Gráfica 2.1c Consolidación unidimensional profundidad de 26.30 a 27.20 m.

SONDEO MIXTO No. 1								
KM 2+480								
PROFUNDIDAD DE - A	W %	LÍM. DE CONSIST.			GRANULOMETRÍA			S.U.C.S.
		LL %	LP %	IP %	G %	A%	F%	
0.00-0.60	13.4				24.6	60.5	14.9	SM
0.60-1.20	84.0	84	41	43				MH
1.80-2.40	185.1							
2.40-3.00	111.7							
3.00-3.60	155.6	170	54	116				CH
3.60-4.40	169.4	162	60	102				MH
4.40-5.00	168.2							
5.00-5.60	157.0							
5.60-6.20	314.5	312	65	247				CH
6.20-6.80	336.0							
6.80-7.40	324.6							
7.40-8.20	340.2	364	63	301				CH
8.20-8.80	349.9	420	75	345				CH
8.80-9.40	352.2							
9.40-10.00	86.60				0.0	50.8	49.4	SC
10.60-11.20	268.2	298	58	240				CH
11.20-11.80	269.0							
11.80-12.70	296.1							
12.70-13.30	305.2							

Tabla 2.2a Sondeo mixto SM-1 profundidad de 0 a 13.30 m.

SONDEO MIXTO No. 1								
KM 2+480								
PROFUNDIDAD DE - A	W %	LÍM. DE CONSIST.			GRANULOMETRÍA			S.U.C.S.
		LL %	LP %	IP %	G %	A%	F%	
13.30-13.90	275.2	313	59	254				CH
13.90-14.5	203.8							
14.50-15.10	202.0							
15.10-15.70	206.6	203	40	63				CH
17.10-17.70	308.0							
17.70-18.30	312.6	335	60	275				CH
18.30-18.90	281.4							
18.90-19.50	226.3							
20.30-20.90	212.4	280	62	218				CH
20.90-21.50	202.1							
22.40-23.00	212.6							
23.90-24.50	245.2	286	46	240				CH
24.50-25.10	257.6							
25.10-25.70	287.8							
25.70-26.30	242.1	276	52	224				CH
26.30-27.20	221.1	282	53	229				CH
27.20-27.80	249.2							
27.80-28.40	221.2							
28.40-29.00	177.3	203	48	255				CH

Tabla 2.2b Sondeo mixto SM-1 profundidad de 13.30 a 29.00 m.

SONDEO MIXTO No. 1								
KM 2+2480								
PROFUNDIDAD DE - A	W %	LÍM. DE CONSIST.			GRANULOMETRÍA			S.U.C.S
		LL %	LP %	IP %	G %	A%	F%	
29.00-29.60	166.3							
29.60-30.20	282.2							
30.20-31.10	309.3							
31.10-31.70	222.3	148	34	114				CH
31.70-32.30	263.8							
32.30-32.90	246.8							
32.90-33.50	278.9							
33.50-34.10	260.6	305	55	250				CH
34.10-35.00	272.9							
35.00-35.60	251.4							
35.60-36.20	239.4							
36.80-37.40	273.5	311	57	254				CH
37.40-38.00	67.1							
38.00-38.90	264.3							
38.90-39.20	34.2				0.0	38.6	61.4	ML
39.50-39.80	33.2	44	30	14				ML
40.10-40.35	39.6				0.0	65.8	34.2	SM

Tabla 2.2c Sondeo mixto SM-1 profundidad de 29.00 a 40.35 m.

RESULTADOS DE LABORATORIO SONDEO MIXTO No. 1 PESO VOLUMÉTRICO NATURAL	
PROFUNDIDAD (m)	PESO VOL. NATURAL (kg/m ³)
0.00-0.60	1637
2.40-3.00	1439
6.20-6.80	1152
6.80-7.40	1152
8.80-9.40	1138

Tabla 2.3 Pesos volumétricos

TABLA 2.4 RESULTADOS DE LABORATORIO SONDEO MIXTO No. 1 DENSIDAD DE SÓLIDOS	
PROFUNDIDAD (m)	SS
0.00-0.60	2.707
0.60-1.20	2.388
3.60-4.40	2.399
4.40-5.00	2.396
7.40-8.20	2.698
8.20-8.80	2.575
12.70-13.30	2.542
16.50-17.10	2.606
20.90-21.50	2.598
25.10-25.70	2.658
26.30-27.20	2.407
29.00-29.60	2.556
35.00-35.60	2.633
39.50-39.80	2.524

Tabla 2.4 Densidad de sólidos

B.- INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El pozo a cielo abierto correspondiente al tramo en estudio fue realizado hasta 1 m. de profundidad, de ahí se observa que superficialmente el suelo está formado por tres capas, la primera es un suelo vegetal con un espesor de 20 cm., la segunda es una arena con gravilla, de color gris con un espesor de 30 cm., por último existe una capa de limo café oscuro con raicillas que comienza a los 50 cm. de profundidad y persiste hasta el final de la excavación.

De los resultados de los sondeos mixtos se puede decir que superficialmente existe un estrato de arena limosa (SM) en los primeros 60 cm., a partir de esta profundidad y hasta los 40.35 m. se encuentran suelos predominantemente finos, distribuidos de la siguiente manera:

- desde 0.60 hasta 1.20 m. se tiene un limo de alta compresibilidad
- desde 1.20 hasta 3.60 m. se encuentra arcilla de alta compresibilidad
- desde 3.60 hasta 4.40 m. se localiza un limo de alta compresibilidad
- desde 4.40 hasta 9.40 m. se encuentra arcilla de alta compresibilidad
- desde 9.40 hasta 10.00 m. se tiene un lente de arena arcillosa
- desde 10.00 hasta 38.00 m. encuentra arcilla de alta compresibilidad
- desde 38.00 hasta 39.80 m. se tiene un limo de baja compresibilidad
- y desde 39.80 hasta el fin del sondeo (40.35 m.) se tiene una arena limosa

Estos resultados dan las características estratigráficas del suelo en estudio, el cual, como se puede observar, es prácticamente un suelo fino, compuesto por arcillas de alta compresibilidad.

Como se puede ver en las figuras 2.2a, 2.2b y 2.2c, el sondeo por medio de penetración estándar fue casi nulo, debido a que, como ya se

explicó, el suelo es muy blando, lo que provocó que la herramienta bajara por peso propio.

Las muestras alteradas, obtenidas del penetrómetro, fueron sometidas a pruebas en el laboratorio para poder determinar sus propiedades índice y con ello poder darle la clasificación adecuada a cada uno de los estratos según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), como lo muestran las tablas 2.2a, 2.2b y 2.2c.

En resumen se puede decir que existe una costra formada por el secado de los depósitos aluviales blandos y materiales eólicos y zonas sin vegetación aunque otras muy vegetadas. Así mismo se observan agrietamientos rellenados (empacados) con material eólico, estas grietas llegan a ser de hasta 10 cm. de ancho y unos 10 m. de profundidad.

El nivel de aguas freáticas (NAF) se encuentra a una profundidad de 1.5 m. en el tramo en estudio; más abajo se encuentra el depósito de arcilla de origen volcánico de muy alta compresibilidad, que tiene consistencia de muy blanda a blanda, e interstratificación con capas delgadas o lentes de arena de origen volcánico, cenizas, vidrio y fósiles. Su contenido natural de agua varía, con valores más frecuentes entre 200 y 400%, imperando los primeros. El límite líquido fluctúa entre 150 y 350%, y el límite plástico entre 30 y 75%, como se muestra en las tablas 2.2a, 2.2b y 2.2c. El peso volumétrico de estos materiales varía entre 1.14 y 1.44 ton/m³. Y el número de golpes de penetración estándar entre 1 y 27 golpes.

Con respecto al sondeo de penetración estándar, éste nos indica que el suelo constituido básicamente por arcillas tiene una resistencia a la compresión simple del orden de 0.25 a 0.5 kg/cm².

Los estudios mecánicos que se realizaron fueron orientados a la consolidación unidimensional, ya que con estos resultados se conocen las

características de esfuerzo y deformación de los suelos, los cuales son presentados en las gráficas 2.1a, 2.1b y 2.1c.

Como se puede observar en las figuras 2.2, las muestras de suelo sometidas a pruebas mecánicas se extrajeron del tubo Shelby a profundidades de 3.60 a 4.40 m., 7.40 a 8.20 m. y 26.30 a 27.10 m.

Los resultados de la consolidación unidimensional muestran que se trata de un suelo altamente deformable, lo cual lleva a la conclusión de que es necesario el cálculo de los asentamientos para poder revisar que el diseño propuesto del pavimento sea el más adecuado, ya que los asentamientos que se presenten estarán dados por el incremento de carga provocado por la estructura de la autopista.

Los cálculos de asentamientos serán realizados en el capítulo IV, en la sección correspondiente.

CAPÍTULO III

MÉTODOS DE CIMENTACIÓN EN SUELOS DE ALTA COMPRESIBILIDAD

En general, todos los depósitos de suelos blandos y turbas susceptibles de causar serios problemas tienen tres condiciones en común: son zonas planas, tienen mal drenaje superficial y están formados por suelos muy finos u orgánicos, tal es el caso del suelo donde se localiza el proyecto objeto de este trabajo.

Una vez que se ha decidido afrontar los riesgos y costos que significan cruzar una zona de suelos blandos, se debe comprender que casi todos los métodos de proyecto y construcción de que se disponen requieren de un buen conocimiento de las características de compresibilidad y resistencia de los suelos sobre los que se construirá la vía, así como de los que se utilizarán en la formación de la misma.

La información recabada sobre el terreno de cimentación debe arrojar luz suficiente para estudiar principalmente los problemas de estabilidad y asentamiento del terraplén. La magnitud y la naturaleza del problema que se pueda tener en cada caso quedan fuertemente influidas por algunas características que conviene mencionar a continuación:

1. Las dimensiones del terraplén. Su altura y anchura influyen mucho en la solución que haya que adoptarse. Un terraplén alto y estrecho se hunde por desplazamiento mucho más que otro bajo y ancho, por lo cual en los primeros puede ser mucho más efectivo un procedimiento de construcción a base de desplazar el material de cimentación.

2. Características de la cimentación. Influyen sobre todo el perfil de resistencia y compresibilidad del suelo blando y su espesor.

3. Materiales de construcción. Los criterios de diseño se ven muy influidos por la disponibilidad y el costo de los materiales con que se hará el terraplén. Por ejemplo, la utilización de materiales ligeros, como tezontles y cenizas volcánicas, sólo será posible cuando las distancias de acarreo sean adecuadas, pero, por otro lado, la posibilidad de empleo de tales materiales abre oportunidades de utilizar muchas soluciones que de otra manera estarían vedadas.

4. El programa de construcción. Los requerimientos del programa influyen mucho en los métodos de proyecto que puedan intentarse. En este sentido es importante el momento en que haya de construirse el pavimento definitivo.

5. Localización. Las condiciones topográficas del lugar también influyen mucho en los métodos que puedan seleccionarse para resolver un problema dado. Por ejemplo, la existencia de población impone severas restricciones al uso de explosivos, o el disponer de un derecho de vía estrecho, al uso de bermas.

En este capítulo se describirán los principales métodos que se han seguido para mejorar las condiciones de sustentación del terreno natural, tanto en lo referente a resistencia como a compresibilidad.

A.- REMOCIÓN DEL MATERIAL COMPRESIBLE

En este caso se utiliza una idea tan sencilla como ésta: si el terreno de cimentación es malo y compresible, remuévase y póngase en su lugar otro de mejor calidad. El Departamento de Carreteras del Estado de California considera que ésta es la mejor solución en suelos muy blandos y compresibles, que se presentan en espesores no mayores a 4 ó 5 m.; en México se ha utilizado poco la sustitución de terrenos malos por suelos estables y la experiencia indica que cuando el espesor del terreno natural es inferior a 4 ó 5 m. es posible obtener un comportamiento favorable a un menor costo con alguno de los métodos descritos posteriormente. La sustitución de materiales deberá sopesarse para ser empleada sólo cuando resulte ser la más económica o conveniente después de un cuidadoso balance.

B.- TRATAMIENTO FISCOQUÍMICO DEL TERRENO COMPRESIBLE

Aun cuando estas técnicas no se han desarrollado lo suficiente, se sabe que al añadir ciertas sustancias al suelo se producen en éste intercambios iónicos entre sus partículas minerales y las materias disueltas en el agua intersticial, de manera que se modifican los nexos estructurales, mejorando la resistencia del suelo y disminuyendo su compresibilidad. En cada caso se hará necesario un análisis fisicoquímico del suelo, a fin de definir la sustancia o las sustancias que producirán los efectos más favorables; éstas pueden incorporarse al suelo haciéndolas circular por su interior disueltas en agua.

C.- CONSTRUCCIÓN PREVIA DE TERRAPLENES

En este caso se construye el terraplén con suficiente anticipación a las obras de pavimentación, permitiendo que ocurra el asentamiento durante ese lapso disponible; después se conformará la corona, para pavimentar una estructura que ya no se deformará. En ocasiones la falta de resistencia del terreno de cimentación puede obligar a completar la sección definitiva por medio de sucesivos recargues, aprovechando la resistencia que se genere como consecuencia de la consolidación. Naturalmente que el número de recargues tendrá que ser bajo, y el último tal, que produzca asentamientos que no sean de significación. La solución es muy ventajosa sobre todo en accesos y pasos a desnivel, pero está limitada por la disponibilidad de tiempo.

D.- USO DE MATERIALES LIGEROS

Se trata de conseguir, dentro de distancias de acarreo tolerables, bancos de materiales de bajo peso específico, como el tezontle, para la construcción de los terraplenes, a fin de lograr así que se reduzcan al máximo tanto las presiones comunicadas al terreno natural como las dimensiones de la geometría de la sección que se construya, pues no debe olvidarse que el problema de asentamientos suele estar ligado al de falta de resistencia, de modo que si el terraplén se hace con materiales pesados requerirá taludes muy tendidos, bermas, etc., que podrán reducirse y quizá eliminarse con el uso de materiales ligeros; siendo el hundimiento menor a menor ancho del terraplén, esta última ganancia repercutirá favorablemente en el asentamiento

final a que se llegue.

E.- SOBREVACIÓN DE LA RASANTE

Se trata ahora de sobrelevar inicialmente la rasante del terraplén, de manera que quede en el nivel requerido después de producirse el asentamiento. La efectividad de la solución depende de que el terreno natural soporte la sección sobrelevada.

F.- USO DE DRENES VERTICALES DE ARENA

Siendo el proceso de asentamiento un proceso de consolidación, todos los procedimientos que aceleren esta última servirán para que aquellos se produzcan con mayor rapidez, dando oportunidad a que ocurran durante el proceso de construcción, con lo que la estructura permanecerá prácticamente libre del problema durante su vida de servicio. Además, la aceleración de la consolidación sirve también para aumentar la rapidez de generación de resistencia al esfuerzo cortante consecuencia del proceso. Los drenes verticales de arena (figura 3.1) son un acelerador comprobado de los procesos de consolidación. Son perforaciones verticales rellenas de material permeable, de pequeño diámetro y de longitud suficiente para que sus efectos alcancen a la totalidad del manto compresible o, por lo menos, al espesor que vaya a producir la mayor parte del asentamiento.

Su función se ejerce disminuyendo la longitud de las trayectorias que el agua debe recorrer para ser drenada de los estratos compresibles que se

consoliden; esto se logra al permitirse el flujo en dirección horizontal, además del flujo vertical usual. Como la mayoría de los suelos arcillosos finos son algo estratificados, de manera que la permeabilidad horizontal es más grande que en la dirección vertical, el flujo radial hacia los drenes verticales de arena es, en principio, muy eficiente.

Los drenes se instalan introduciendo en el terreno un tubo de ademe del que después se extrae el suelo y que debe recuperarse por razones de costo, extrayéndolo a medida que se rellena de arena el espacio interior, o por medio de una broca apropiada que haga una perforación cuyas paredes se sostengan al retirar la herramienta, por lo menos el tiempo necesario para rellenar el hueco con la arena.

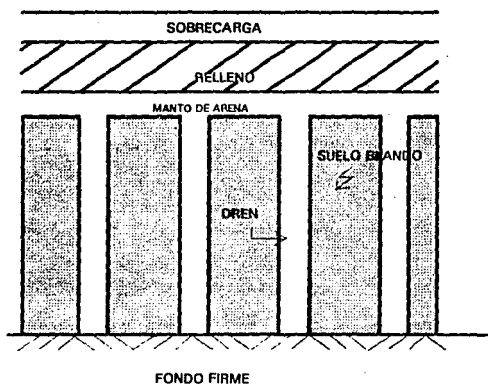


Figura 3.1 Drenes verticales de arena

La instalación de drenes verticales de arena debe complementarse con una capa drenante de espesor razonable, que cubra toda el área tratada. Así se garantizará salida al agua acumulada en los drenes verticales y además se propiciará el flujo vertical del agua, como ayuda del radial. Esa capa superior drenante no debe ser de menos de 30 ó 40 cm. de espesor.

La separación que se dé a los drenes verticales de arena en una instalación dada influye grandemente en la aceleración que se logre en el proceso de consolidación. También el diámetro de los pozos tiene importancia, aunque en menor grado. La práctica ha sancionado una relación entre separación y diámetro en el orden de 10, con valores de 30 ó 40 cm. para esta última dimensión.

G.- COMPENSACIÓN PARCIAL O TOTAL DE LA CARGA DEL TERRAPLÉN

Si se logra por algún procedimiento de construcción que al penetrar el material del terraplén desplace lateralmente al suelo blando, se producirá una compensación del peso de aquel, que actuará únicamente con la presión correspondiente a la diferencia entre el peso del colocado y el desplazado. El método es más factible cuando más fácil sea de desplazar lateralmente el terreno natural, por lo que rinde sus mejores resultados en suelos arcillosos orgánicos o en turbas. En ocasiones el desplazamiento del terreno natural se ayuda con sobrecargas, explosivos, etc.

El inconveniente del procedimiento estriba en la gran cantidad de material que puede llegar a incrustarse en el material natural antes de lograr una compensación efectiva.

H.- COLOCACIÓN DE BERMAS O USO DE TALUDES MUY TENDIDOS

Con ello se logra uniformizar las presiones transmitidas al terreno bajo el terraplén, con lo que se uniformizan también los asentamientos, reduciendo los diferenciales. Por otra parte conviene no olvidar que el asentamiento total es mayor cuanto mayor es el ancho del área cargada por lo que estas medidas tenderán a hacer crecer los asentamientos totales; naturalmente, la bondad de estas acciones estará supeditada al balance de estos factores contradictorios.

I.- COMPACTACIÓN

Cuando el espesor del terreno blando es muy pequeño, puede compactarse empleando equipos pesados, a fin de eliminar los asentamientos posteriores bajo el peso del terraplén. Este método no es muy efectivo en arcillas muy blandas o en turbas.

Frecuentemente se mejora la parte superior del terreno de cimentación con un proceso de compactación posterior a los de desmonte, deshierbe y desenraizado; el tratamiento es frecuente sobre todo en aeropistas y suele ser somero, alcanzando 85 a 90%, en relación a cualquier estándar usual.

J. - USO DE GEOTEXTILES

Para fines de construcción, una membrana (geotextil) debe cumplir tres funciones principales:

- Separación: evitar que materiales disímiles como las partículas gruesas para la base y el subsuelo se mezclen, con lo que debilitarían a la estructura. Cuando se coloca un terraplén directamente sobre un suelo fino, es común que el agregado penetre en él contaminándose con los finos procedentes del suelo que, además, actúan como lubricante, reduciendo la capacidad estructural del camino, originando deformaciones que deben ser corregidas mediante nivelaciones periódicas.

El uso de geotextiles entre el terreno natural y el agregado impide la mezcla y, por tanto, la contaminación de este último.

- Refuerzo: proporcionar resistencia a la tensión a fin de mantener la estructura unida. Debido a su baja deformabilidad, reduce la incrustación total pues las fuerzas que producen la penetración irregular del agregado son transmitidas al geotextil que equivale a una capa adicional de material pero con características complementarias como son: resistencia a la tensión, continuidad (no se disgrega), ligereza, delgadez, permeabilidad y rapidez de colocación. El efecto de membrana del geotextil ayuda a la distribución de la carga en caminos sobre suelos inestables. La deflexión en el plano del geotextil origina fuerzas normales que confinan el agregado permitiendo su más fácil y rápida compactación; esto representa ahorro de tiempo ya que se eliminan los retrasos por hundimiento del equipo de acarreo (figura 3.2).

- Filtro: evitar que los suelos se muevan a la vez que permite el paso del agua a todo lo largo de la membrana. La estructura porosa del geotextil le ofrece propiedades de permeabilidad y filtración. Por ello permite la liberación de presiones de poro, incrementando gradualmente la

resistencia del suelo al reducirse los vacíos bajo la carga aplicada. Además, como ya se mencionó, filtra las partículas contaminantes que serían bombeadas hacia el agregado, contaminándolo. Ello, además de reducir la capacidad estructural del camino, originaría asentamientos de importancia cuando se trata de materiales orgánicos que por descomposición generan vacíos (figura 3.3).

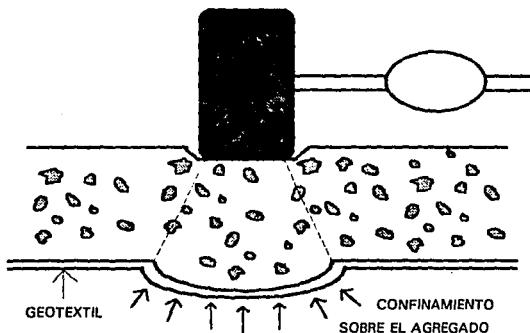


Figura 3.2 Distribución de esfuerzos en el geotextil

En resumen, el desempeño del geotextil colocado entre la capa subrasante y la subbase debe ser el siguiente:

- Como separador entre el suelo y el material del terraplén para prevenir la contaminación de los materiales sin impedir la circulación del agua ni la interacción de cargas entre ambas capas.

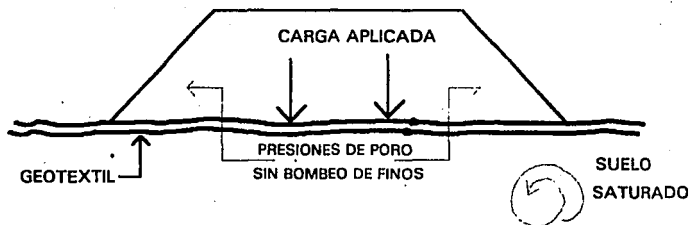


Figura 3.3 Liberación de presiones de poro

- Cuando la subrasante tiene bajo Valor Relativo de Soporte, esto es que está formada por suelos suaves y compresibles, la membrana actúa como refuerzo y permite reducir el espesor de las capas superiores así como las del pavimento.

Al colocar el geotextil entre el suelo blando y el agregado se logra con frecuencia un aumento del 60% en el valor de la capacidad de carga del suelo cuyo VRS sea menor al 5%, por lo que se tiene una formación más uniforme y homogénea del asentamiento, lo que conduce a una menor formación de grietas y a una mejor distribución del esfuerzo cortante.

En pruebas de laboratorio se ha determinado que las membranas aumentarán, actuando solas, hasta en cuatro puntos porcentuales el VRS del suelo en el que han sido colocadas.

K.- USO DE LOSA DE CONCRETO

El objetivo de colocar una losa de concreto dentro de la estructura del pavimento, es proporcionar un apoyo homogéneo a la sección y repartir los esfuerzos transferidos al suelo en forma uniforme.

La losa de concreto armado cuyo refuerzo consiste en una malla electrosoldada, se encuentra desplantada sobre una plantilla de arena que funge como subrasante (figura 3.4).

Este sistema ha sido empleado con buenos resultados en las aeropistas, prolongaciones de las existentes, calles de rodaje y, en general, grandes terraplenes conectados con las ampliaciones y servicios del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, que precisamente se encuentra en la zona del exlago de Texcoco.

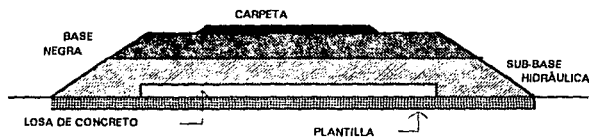


Figura 3.4 Ubicación de la losa de concreto

El uso de la losa de concreto se basa en las consideraciones generales sobre el contacto suelo - estructura, sobre las cuales se darán algunas ideas fundamentales para suelos cohesivos considerando áreas cargadas totalmente flexibles e infinitamente rígidas.

Considérese en primer lugar un área uniformemente cargada y

totalmente flexible. Debido a su flexibilidad, las presiones que el área pasa al suelo serán idénticas a la presión uniforme sobre el área. Por otra parte, el asentamiento no será uniforme, sino que es máximo al centro del área cargada adoptando una ley similar a la que se muestra en la figura 3.5, si es que se supone que el medio cargado es idealmente elástico.

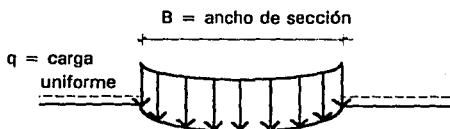


Figura 3.5 Aplicación de carga sobre un área flexible

Considérese ahora en cambio que la carga se transmite al suelo a través de una placa infinitamente rígida. En este caso es obvio que, por su rigidez, la placa se asentará uniformemente, por lo que la presión de contacto entre placa y medio no podrá ser uniforme. Comparando este caso (figura 3.6) con el de la figura 3.5, es fácil ver que en el medio homogéneo y elástico la presión es mínima al centro y máxima en las orillas, puesto que para llegar al asentamiento uniforme éste deberá disminuir en el centro (disminución de presión) y aumentar en las orillas (aumento de presión).

A manera de conclusión se puede decir que el método de cimentación más apropiado para el tipo de suelo que se presenta en el área de proyecto es el correspondiente al uso de losa de concreto, ya que los otros métodos tienen diferentes desventajas.

La remoción del material compresible no se puede realizar debido al

tamaño del espesor del estrato compresible en esta área. Este mismo impedimento limita la sobrelevación de la rasante porque el material colocado podría incrustarse a grandes profundidades impactando en el costo en forma importante. La compactación tampoco es factible, ya que la maquinaria pesada no puede operar en arcillas muy blandas; otro método restringido por la profundidad del estrato es el uso de drenes verticales de arena, que no pueden ser empleados en este caso porque no existe un estrato resistente a una profundidad adecuada.

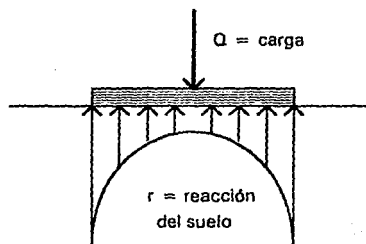


Figura 3.6 Transmisión de carga al suelo por medio de una estructura rígida

Una solución a la problemática de este terreno sería el tratamiento fisicoquímico del terreno de cimentación pero tiene el inconveniente de estar todavía en etapa de desarrollo por lo que su empleo no es recomendable en un proyecto de gran importancia como éste.

La utilización del camino existente como parte del proyecto se puede considerar como una construcción previa de terraplenes debido a que ya ha sufrido consolidación, sin embargo en el cuerpo nuevo no es posible el

empleo de este método por razones de tiempo.

En el caso de la colocación de bermas o uso de taludes muy tendidos, se tiene el inconveniente del sobrepeso que actúa en el suelo, provocando grandes asentamientos. En contraparte, la compensación parcial o total de la carga del terraplén genera asentamientos mínimos, pero tiene como inconveniente que el volumen de suelo removido para llegar al desplante de la estructura será muy grande.

El uso de geotextiles para el caso particular de este proyecto, no es el procedimiento más adecuado debido a que es un elemento flexible, el cual al aplicársele una presión la transmitirá al suelo de igual forma, como se puede observar en la figura 3.2; el resultado de la distribución de estos esfuerzos ocasionará que, en un suelo muy compresible, al retirarse la carga éste quede deformado, lo que producirá un asentamiento diferencial.

La losa de concreto tiene como principal ventaja la eliminación de los asentamientos diferenciales debido al efecto rigidizante de la estructura, que aunada a la utilización de materiales ligeros, origina una estructura ligera y suficientemente rígida. Los inevitables asentamientos se presentarán en forma uniforme y con magnitud razonable, por lo que este método es el más apropiado para el proyecto en análisis.

CAPÍTULO IV

DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO

El pavimento es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito de los vehículos, así como al intemperismo producido por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial. Como función estructural un pavimento tiene la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante.

Para cumplir sus funciones, un pavimento debe satisfacer dos condiciones básicas: ofrecer una buena y resistente superficie de rodamiento, con la rugosidad necesaria para garantizar buena fricción con las llantas de los vehículos y con el color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos; en segundo lugar, debe poseer la resistencia apropiada y las características mecánicas convenientes para soportar las cargas impuestas por el tránsito sin falla y con deformaciones que no sean permanentes, y que garanticen un tránsito en buenas condiciones.

En el presente capítulo se diseñará la estructura del pavimento, para lo cual se utilizará el método desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM.

A.- DESCRIPCIÓN DEL CRITERIO DE DISEÑO.

En esta sección se describe el criterio de diseño estructural para pavimentos flexibles desarrollado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM. Las recomendaciones que contiene se han validado mediante experimentación en tramos de prueba, carreteras típicas y pruebas aceleradas a escala natural en laboratorio.

En este método de diseño destacan los conceptos de comportamiento a fatiga de las diferentes capas que constituyen la carretera, el criterio de sección estructural de resistencia relativa uniforme y el tratamiento probabilístico para establecer niveles de confianza respecto a la falla. Además, los conceptos aplicados para valor los coeficientes de daño toman en cuenta las presiones de contacto y la profundidad de la capa en que se analiza el deterioro.

En el método de diseño se relacionan resistencias críticas en el lugar (VRS_2) contra aplicaciones de carga estándar esperadas en la vida de proyecto de la carretera.

El criterio de diseño está limitado al caso típico de las estructuras empleadas en México, donde prevalecen los climas tropicales, secos y subtropicales; además, el espesor de proyecto de las carpetas de concreto asfáltico en México, rara vez excede de 7.5 cm. y las demás capas de la carretera están constituidas por materiales granulares o suelos finos estabilizados mecánicamente por compactación.

Para el caso en que se presente deformabilidad perjudicial del terraplén causada por cambios volumétricos, asentamientos o consolidación, el diseño consistirá fundamentalmente en controlar las deformaciones del terraplén mediante técnicas de mecánica de suelos, seguido por recomendaciones

sobre el espesor de un pavimento deseable, a fin de transmitir los esfuerzos a las terracerías y suelo de cimentación en condiciones adecuadas.

Para desarrollar el modelo de comportamiento a fatiga se supone que la carretera tiene una resistencia relativa uniforme en todas las capas de su estructura y llega a la falla funcional cuando ha soportado el número de cargas estándar especificado para la vida de proyecto.

Se emplean los conceptos de capacidad de carga en suelos cohesivos y la teoría de distribución de esfuerzos verticales (σ_z) de Boussinesq deducida para una placa circular flexible de radio a , apoyada uniformemente en la superficie de un medio elástico homogéneo e isótropo, para su aplicación al caso de una estructura de capas múltiples.

Estos esfuerzos se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$\sigma = p \left(1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right)$$

donde:

- σ Esfuerzo vertical en kg/cm^2
- p Presión de contacto (presión de inflado) en kg/cm^2
- a Radio de la superficie de apoyo en cm.
- z Profundidad considerada en cm.

Se considera al esfuerzo vertical como un indicador adecuado del comportamiento a cargas repetidas de la capa correspondiente. Se supone que las carpetas asfálticas son delgadas y que su duración a la falla depende de la resistencia a la tensión.

Dado que las carreteras están sujetas a la acción de cargas diferentes en cuanto a magnitud y presión de contacto, es necesario ponderar su efecto multiplicando el número de cargas de cada tipo por su correspondiente coeficiente de daño, para establecer un patrón de referencia en términos de cargas estándar o equivalentes.

La carga estándar o equivalente se define como la sollicitación de un eje sencillo de 8.2 ton. y llantas con presión de contacto de 5.8 kg/cm^2 .

De acuerdo con el modelo desarrollado, dos cargas producen el mismo daño a la profundidad z cuando sus esfuerzos verticales a esa profundidad son iguales. Para obtener el coeficiente de daño (d) producido por un eje cualquiera de peso P y presión p con relación al eje equivalente se aplica la ecuación:

$$\log d = \frac{\log \sigma - \log \sigma_e}{\log 1.5}$$

donde:

- d Coeficiente de daño del eje en análisis
- σ Esfuerzo provocado por el eje en análisis a la profundidad z
- σ_e Esfuerzo provocado por la carga equivalente a la profundidad z

Es importante hacer notar que el coeficiente de daño varía con la profundidad, variación que depende de las características del eje considerado. Para ejes sencillos, la carga puede considerarse como una placa circular cuyo radio a_1 está dado por:

$$a_1 = \sqrt{\frac{1000P}{2\pi p}}$$

Para ejes dobles (tándem) o triples la ecuación anterior sigue siendo válida para las capas superficiales, en donde se supone que cada uno de los ejes del conjunto doble o triple actúa independientemente; pero no lo es para las capas profundas en donde existe interacción entre los esfuerzos producidos por dichos ejes. En estos casos se ha determinado empíricamente que el radio equivalente, para los ejes dobles es:

$$a_2 = \sqrt{\frac{1111 P}{4 \pi p}}$$

y para los ejes triples se establece como:

$$a_3 = \sqrt{\frac{1333 P}{6 \pi p}}$$

En las ecuaciones anteriores, **P** es la carga total en toneladas del conjunto de ejes, **p** es la presión de inflado (o de contacto) en kg/cm^2 y a_j es el radio en cm.

El modelo se calibró en términos del valor relativo de soporte crítico esperado en el lugar durante la vida de servicio de la carretera, considerándolo como un índice de resistencia del suelo a esfuerzos verticales.

Cada capa (i) tiene un espesor equivalente $a_i D_i$, donde D_i es el espesor real y a_i es un coeficiente de equivalencia estructural que toma en cuenta la capacidad de repartición de carga del material. (figura 4.1)

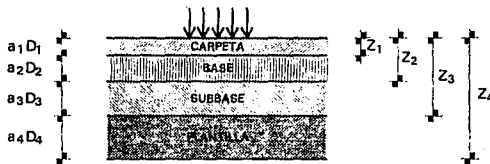


Figura 4.1 Espesores equivalentes y espesores reales

B.- VARIABLES DE DISEÑO.

Las variables que intervienen en el diseño de un pavimento flexible son numerosas y tienen interacción, por lo cual un proyecto adecuado debe analizar el problema desde un punto de vista general. Entre las diferentes variables pueden mencionarse:

1) Estructurales. Incluyen características relativas a cada una de las capas que constituyen la carretera, como espesores, resistencia y deformabilidad en las condiciones esperadas de servicio.

2) De carga. Se refieren a los efectos producidos por el tránsito mezclado al circular por la carretera. En este caso son importantes datos relacionados con el tránsito promedio diario anual, tasa de crecimiento, cargas por eje sencillo o múltiple y vida de proyecto del pavimento. Para simplificar esta información, y poderla presentar en gráficas de diseño, el tránsito mezclado se transforma en tránsito equivalente en ejes sencillos, mediante el empleo de factores teóricos o empíricos (coeficientes de daño).

3) De clima y condiciones regionales. Las características geológicas de

los materiales que constituyen la carretera dependen de la temperatura, régimen de precipitación, precipitación media anual, nivel freático, geología y topografía de la región, etc.

Todo lo anterior puede considerarse explícitamente en tres variables: resistencia esperada en el campo (VRS_2), número de aplicaciones de carga producidas por el tránsito (ΣL) y nivel de confianza (Q_u) deseado por el analista. La confiabilidad del diseño resultante dependerá de la precisión con que puedan estimarse las variables de resistencia y tránsito.

a) Resistencia

Como se indicó, para bases, subbases y terracerías, la resistencia se mide en términos del valor relativo de soporte crítico, por lo tanto, la resistencia es una variable que depende de las características del suelo, condiciones climatológicas, drenaje, procedimientos de construcción y conservación, así como las variaciones de dichos factores a lo largo de la carretera y de su vida de servicio.

b) Tránsito

Esta variable está caracterizada por el número de aplicaciones de carga estándar (ΣL), previsto al término del plazo de análisis; para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$\Sigma L = (TDPA)(C_D)(C_T) \sum_{i=1}^p C_i (W_i \Sigma d_m + (1-W_i) \Sigma d_v)$$

donde:

- ΣL Número de aplicaciones de carga estándar producidas por p tipos de vehículos durante n años
- TDPA Volumen de tránsito diario promedio anual en ambas direcciones en el año inicial de operación
- C_D Proporción del número de vehículos en el carril de proyecto (distribución direccional). Se recomienda emplear 0.5 para carreteras de dos carriles, 0.4 a 0.5 para cuatro carriles y 0.3 a 0.4 para seis o más carriles
- C_T Coeficiente de acumulación del tránsito al cabo de n años de operación, con una tasa de incremento anual de tránsito igual a r :
- $$C_T = 365 \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$
- C_i Proporción de cada tipo de vehículo (i) en la corriente de tránsito (composición)
- W_i Proporción de vehículos cargados por cada tipo de vehículo (i)
- d_m Coeficiente de daño del vehículo tipo (i) cargado
- d_v Coeficiente de daño del vehículo tipo (i) vacío

El TDPA esperado es de 4,500 vehículos y, para efectos de diseño, todos los vehículos se consideran totalmente cargados por ser la condición más desfavorable.

El coeficiente de daño de un vehículo a determinada profundidad es la suma de los coeficientes individuales de sus ejes o grupos de ejes a esa profundidad.

Se supone que durante el plazo de análisis, la composición, distribución

direccional, proporción de vehículos vacíos y tasa de incremento anual de tránsito permanecen constantes. En la medida en que se cumplan estas hipótesis y de la exactitud de los datos de tránsito inicial, se tendrá mayor o menor certeza en la determinación de ΣL .

c) Nivel de confianza

Para elegir el nivel de confianza (Q_u) se debe tomar en cuenta el tipo e importancia de la carretera, procedimientos y control de construcción, tipo de conservación previsto y riesgo que se quiera aceptar.

Aunque teóricamente, el nivel de confianza puede variar en forma continua de 0 a 1, para fines prácticos se consideran entre 0.5 y 0.9, los cuales cubren todas las opciones necesarias para casos usuales. A mayor nivel de confianza se tendrán mayores espesores y mejor estructuración, por ejemplo, cambiar de un nivel de confianza a otro mayor puede significar pasar de carpeta de un riego a carpeta de concreto asfáltico.

C.- DETERMINACIÓN DE ESPESORES.

A continuación se explicará el proceso de diseño que culminará con la determinación de espesores reales de las distintas capas que forman el pavimento del cuerpo nuevo de la autopista.

a) Los valores relativos de soporte críticos esperados, que se tomarán en cuenta para el diseño de la autopista son:

- Terreno natural $VRS_z = 5\%$
- Plantilla para recibir a la losa $VRS_z = 10\%$

- Subbase hidráulica $VRS_z = 50\%$
- Base asfáltica $VRS_z = 100\%$

b) Para el cálculo del número de aplicaciones de carga estándar (ΣL) producidas por los 4,500 vehículos durante 10 años considerando una tasa de crecimiento del 10% se empleó la tabla 4.1.

La tabla anteriormente mencionada se compone de las siguientes partes:

- Tipo de vehículo. Aquí se consideran los diferentes tipos de vehículos que se espera que transiten por la autopista.

- Composición del tránsito. Es el porcentaje que corresponde a cada tipo de vehículo con respecto al total del tránsito.

- Coeficientes de daño. Son los correspondientes a cada tipo de vehículo cargado a diferentes profundidades.

- Número de ejes equivalentes. Es el producto de multiplicar la columna de composición de tránsito por la de coeficientes de daño para las diferentes profundidades.

- Ejes equivalentes para tránsito unitario. Es la sumatoria de cada una de las profundidades que conforman el número de ejes equivalentes.

- TDPA inicial en el carril de proyecto. Es el valor de TDPA multiplicado por el coeficiente de distribución, para este caso es de 0.45 (para caminos de 4 carriles).

- C_T . Coeficiente de acumulación del tránsito al cabo de 10 años de operación, con una tasa de incremento anual de tránsito r igual al 10%.

- ΣL . Es el producto de la multiplicación de los renglones correspondientes a ejes equivalentes para tránsito unitario, TDPA inicial en el carril de proyecto y C_T .

CARRETERA: AUT. PEÑÓN - TEXCOCO		TRAMO: 0+000 al 3+000							
TDPA: 4.500		COMPOSICIÓN							
TIPO DE VEHÍCULO	Composición del tránsito	COEFICIENTES DE DAÑO*				No. DE EJES EQUIVALENTES 8.2 Ton.			
		Z=0cm	Z=15cm	Z=30cm	Z=60cm	Z=0cm	Z=15cm	Z=30cm	Z=60cm
A-2	0.70	0.004	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000
B-2	0.05	2.000	1.890	2.457	2.939	0.100	0.095	0.123	0.147
C-2	0.17	2.000	1.890	2.457	2.939	0.340	0.321	0.418	0.499
C-3	0.031	3.000	2.817	2.457	2.940	0.093	0.087	0.076	0.091
T3-S2	0.026	5.000	5.285	4.747	5.761	0.130	0.137	0.123	0.150
T3-S1-R2	0.023	5.000	6.513	9.327	11.399	0.115	0.150	0.215	0.262
TOTAL	1.00	Ejes equivalentes para tránsito unitario				0.781	0.790	0.955	1.149
		TDPA Inicial en el carril de proyecto				2025	2025	2025	2025
		CT				5817.6	5817.6	5817.6	5817.6
		ΣL				9.2x10 ⁶	9.3x10 ⁶	1.12x10 ⁷	1.4x10 ⁷

*Los coeficientes de daño fueron obtenidos del INSTRUCTIVO PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES PARA CARRETERAS. Apéndice "D".

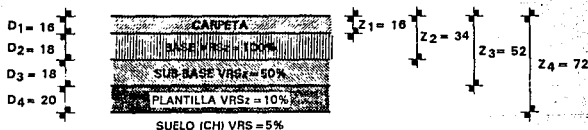
Tabla 4.1 Cálculo del tránsito equivalente acumulado

Generalmente se recomienda emplear el valor de ΣL a la profundidad de 0 cm. para obtener los espesores de las capas superficiales (carpeta y base) y el de 30 cm. para los espesores de las capas profundas (subbase y plantilla). Observando la tabla 4.1 se puede notar que los valores de ΣL a las profundidades de 0 y 15 cm. (9.2×10^6 y 9.3×10^6 respectivamente) y los correspondientes a 30 y 60 cm. (1.12×10^7 y 1.4×10^7) son muy parecidos entre ellos. Es por esa razón, y, atendiendo la recomendación anterior, que se utilizaron los valores de 9.2×10^6 y 1.12×10^7 para determinar los espesores de las capas superficiales y los de las capas profundas respectivamente.

c) Tratándose de una autopista, el nivel de confianza (Q_u) empleado es 0.9, el cual indica la gráfica que se debe utilizar para obtener los espesores equivalentes.

d) Una vez localizada la gráfica a utilizar (gráfica 4.1) se leen los valores correspondientes a cada espesor utilizando los datos de VRS_z y ΣL (espesores equivalentes $-z_i$).

e) Los valores de espesores equivalentes son los siguientes:



Acotaciones en cm.

f) Los espesores reales se obtienen dividiendo los espesores de cada capa (D_i) por su respectivo coeficiente estructural (a_i). Los valores resultantes son los siguientes:

Capa	D_i	a_i	espesor real	espesor de proyecto
Carpeta	16	2	8	10
Base	18	1.4	12.6	20
Subbase	18	1	18	20
Plantilla	20	1	20	20

Tratándose de una base asfáltica o base negra, el coeficiente estructural se incrementa a 1.4 originando un espesor menor, pese a esto, la Comisión de Transporte del Estado de México recomendó el espesor de la base de 20 cm. quedando como espesor de proyecto.

g) Después de haber calculado los espesores del pavimento se procede a calcular el espesor de la losa estabilizadora, tomando como consideración que aparte de cumplir en la estabilización del cuerpo, la losa sirve como acceso a los vehículos y a la maquinaria para la colocación del material de la subbase. Para poder calcular el espesor de la losa se puede aplicar el método de la Asociación de Cementos Portland de los E.U.A.

En la gráfica 4.2 se puede observar los valores para MR , k y $ejes\ tandem$, los cuales se explican y se obtienen a continuación:

- Módulo de resistencia a la tensión en flexión (MR); se obtiene de multiplicar la resistencia del concreto a compresión, por cero punto doce ($MR = 0.12f'c$); para el caso de avenidas con poco tránsito vehicular se recomienda usar un concreto con resistencia $f'c = 150 \text{ Kg/cm}^2$. El valor

correspondiente de MR que aparece en la gráfica de diseño es el de trabajo.

$$MRt = MR \cdot FS$$

donde:

MRt Módulo de resistencia a la tensión en flexión, de trabajo

FS Factor de seguridad, 1.75

por lo tanto

$$MR = (0.12)(150)$$

$$MR = 18 \text{ Kg/cm}^2$$

$$MRt = (18)(1.75) = 31.5 \text{ Kg/cm}^2$$

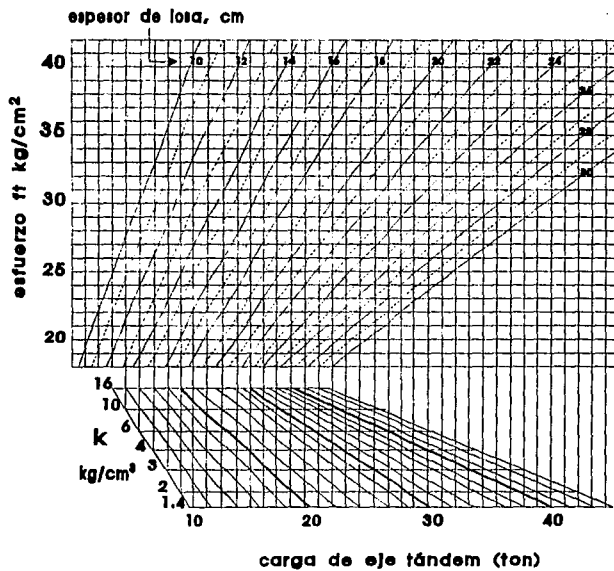
- Módulo de reacción de la subrasante (k); se obtiene de la prueba de placa que se haya realizado en el campo.

$$k = 3.3 \text{ kg/cm}^3$$

- Ejes tandem; es lo referente al peso del eje para un determinado vehículo.

En el caso de este proyecto se determina que el vehículo más pesado que transitará sobre la losa en la etapa de construcción será del tipo C3 con una carga máxima de 18 ton.

Con los valores anteriores se obtiene de la gráfica 4.2 el espesor para la losa que es de 15 cm., y que se respetará a todo lo largo que determine el proyecto.



Gráfica 4.2 Nomograma para determinar el espesor de la losa

D.- CÁLCULO DE ASENTAMIENTOS

Los asentamientos son las deformaciones que el terreno puede sufrir bajo la acción de cargas comunicadas hacia él, independientemente de que éstas no alcancen a producir una situación de colapso brusco. De hecho, es seguramente mayor el número de fracasos en cimentaciones por problemas de deformación lenta y sostenida o de la deformación rápida de pequeña magnitud, que por problemas de capacidad de carga, que involucren una falla violenta.

Para calcular los asentamientos se requiere de la obtención de los esfuerzos en la masa de suelo, producidos por la estructura del pavimento (ΔP), así como los producidos por los estratos del suelo (P_0), todo ello a la profundidad a analizar.

En el caso específico de este trabajo, el cálculo de asentamientos debidos al esfuerzo transmitido por la estructura del pavimento se hará por medio del caso propuesto por Terzaghi y Carothers respecto a una carga rectangular de longitud infinita, esto se debe a que la carga transmitida por la estructura del pavimento es de forma trapecial, empero al llegar a la losa, ésta la distribuye de forma uniforme, creándose una carga rectangular.

La fórmula general que permite calcular el asentamiento por consolidación de un estrato de espesor H es la siguiente:

$$\Delta H = (\Delta e / (1 + e_0)) H$$

donde:

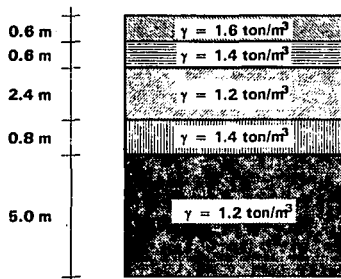
ΔH Asentamiento del suelo

Δe $e_0 - e_f$, siendo e_0 la relación de vacíos para una condición de presión inicial y e_f relación de vacíos para la condición de presión final

H Espesor del estrato al cual se calcula el asentamiento

El cálculo del asentamiento es el siguiente:

- 1) Se calcula el esfuerzo producido por los estratos del suelo, hasta la profundidad de 5.7 m., que es el centro del estrato que se analiza. Este esfuerzo total es la sumatoria de los esfuerzos provocados por cada estrato ($P_o = \sum \gamma_i h_i$).



Pesos volumétricos de los estratos del suelo bajo la estructura hasta la profundidad a analizar

$$P_o = (0.6)(1.6) + (0.6)(1.4) + (0.3)(1.2) + (2.1)(0.2) + (0.8)(0.4) + (2.5)(0.2)$$

$$P_o = 3.4 \text{ ton/m}^2$$

- 2) Con el valor de P_o se entra a la gráfica 2.1b y se obtiene el valor correspondiente a la relación de vacíos (e_0).

De la gráfica obtenemos:

$$e_0 = 8.47$$

SONDEO SM-1
 PROP. 7.40-8.20
 CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

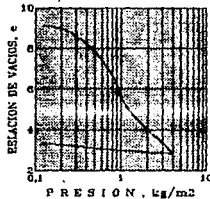


Gráfico 2.1b

3) La presión ejercida por el cuerpo del pavimento a nivel de terreno natural se obtiene calculando la presión de cada una de las capas, siendo la sumatoria de éstas la presión a nivel de desplante de la estructura.



Pesos volumétricos de las capas del pavimento.

La presión producida por la estructura es la siguiente:

$$P = (2.2)(0.1) + (2.2)(0.2) + (1.5)(0.2) + (2.4)(0.15) + (1.5)(0.2)$$

$$P = 1.62 \text{ ton/m}^2$$

4) El esfuerzo producido por las cargas vivas será provocado por los vehículos que transitan en la autopista, para poder calcularlo se tomarán las siguientes consideraciones:

a) Ya que para el diseño del pavimento se considera el eje sencillo

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

equivalente, para el caso del cálculo de esfuerzos también se debe tomar en cuenta esta consideración, por lo que se tiene que:

$$a_1 = \sqrt{\frac{1000P}{2\pi p}}$$

donde:

$$a_1 = \text{radio}$$

$$P = 8.1 \text{ ton.}$$

$$p = 5.8 \text{ kg/cm}^2$$

$$a_1 = \sqrt{\frac{1000(8.2)}{2\pi(5.8)}}$$

$$a_1 = 15.00 \text{ cm.}$$

b) La distribución de esfuerzos se calculará a una profundidad de 50 cm. debido a que a esta profundidad se ubica la losa estabilizadora que repartirá los esfuerzos en forma uniforme; usando la fórmula de Boussinesq se tiene:

$$\sigma = p \left(1 - \frac{z^3}{(a^2 + z^2)^{3/2}} \right)$$

$$\sigma_{50} = 5.8 \left(1 - \frac{50^3}{(15^2 + 50^2)^{3/2}} \right)$$

$$\sigma_{50} = 0.703 \text{ kg/cm}^2 = 7.03 \text{ ton/m}^2$$

c) El esfuerzo generado por el tránsito no será permanente, por lo que únicamente se considerará un porcentaje de éste en función del tiempo de aplicación.

- Si se tiene un TDPA de 4,500 vehículos y si se considera que el tiempo que tarda un solo vehículo en pasar por un punto determinado es de un segundo, se tiene que el tiempo de aplicación de la carga es de 4,500 segundos al día que representan el 5.21% y, por tanto, también representan el mismo porcentaje para todo el tiempo de vida del pavimento.

- Siendo el 5.21% del tiempo en que actuará la sollicitación, el esfuerzo se puede reducir a ese porcentaje:

$$\sigma_{50} = (7.03 \text{ ton/m}^2)(0.052)$$

$$\sigma_{50} = 0.366 \text{ ton/m}^2$$

5) Se calcula el incremento del esfuerzo (ΔP) producido por la estructura del pavimento a la mitad del estrato sujeto a análisis, esto es a una profundidad de 5.7 m. Para el cálculo se utiliza la gráfica 4.3:

$$\Delta P = 0.75 P_1$$

$$P_1 = \sigma_{50} + P$$

$$P_1 = 0.366 + 1.62$$

$$P_1 = 1.986 \text{ ton/m}^2$$

$$\Delta P = 0.75(1.986)$$

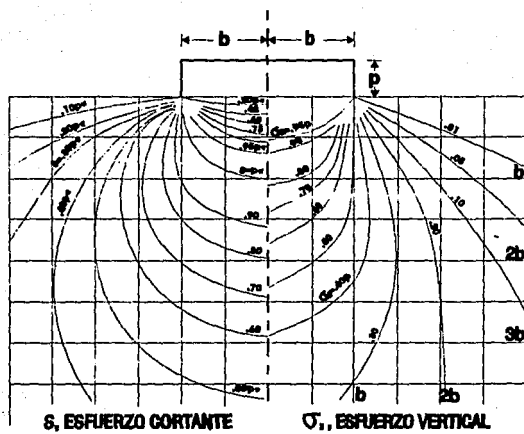
$$\Delta P = 1.490 \text{ ton/m}^2$$

5) Después de haber calculado ΔP se procede al cálculo de la presión final (P_f), y se obtiene de la siguiente forma:

$$P_f = P_o + \Delta P$$

$$P_f = 3.26 + 1.490$$

$$P_f = 4.75 \text{ ton/m}^2$$



Gráfica 4.3 Distribución de esfuerzos verticales y cortantes máximos
bajo una carga rectangular de longitud infinita

6) Con la obtención de P_f se entra nuevamente a la gráfica 2.1b y se obtiene el valor correspondiente a la relación de vacíos (e_f).

$$e_f = 7.94$$

7) Ya obtenidas las relaciones de vacíos correspondientes, se procede al cálculo del asentamiento:

$$\Delta H = (\Delta e / (1 + e_0)) H$$

$$\Delta H = ((8.47 - 7.94) / (1 + 8.47)) (5.0)$$

$$\Delta H = 0.28 \text{ m.}$$

El asentamiento calculado (0.28 m.) será el total que se presente a lo largo del tiempo sin considerar el asentamiento producido por la extracción de agua del manto freático. La magnitud del asentamiento es aceptable tomando en cuenta que el hundimiento de la Ciudad de México es del orden de 13 cm. por año.

CAPÍTULO V

PROCESO CONSTRUCTIVO

El diseño representa la parte más compleja y difícil de los pavimentos, es la parte creadora, pero para el buen desempeño de la autopista es necesario aparte que cumpla con las especificaciones necesarias, lo que lleva a la elección del proceso constructivo más adecuado para la realización de la obra. También se debe tomar en cuenta la debida supervisión, así como llevar un buen control de calidad.

A.- CONSTRUCCIÓN DEL CUERPO NUEVO

En esta sección se explican las etapas del proceso constructivo efectuadas para llevar a cabo la realización del cuerpo nuevo de la autopista; en la figura 5.1 se puede observar la sección tipo de la estructura.

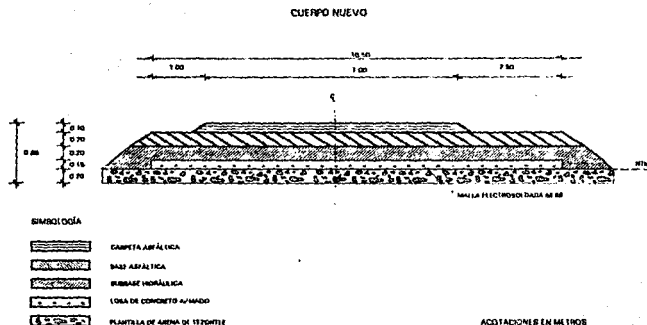


Figura 5.1 Sección tipo propuesta para el cuerpo nuevo del km. 0+000 al 11+100

a) Desmonte y despalme

El desmonte consiste en quitar toda la vegetación dentro del derecho de vfa; se incluye en este trabajo el desenraice; en el caso que al desenraizar queden hoyos, éstos se rellenarán con material de buena calidad, compactando adecuadamente.

Una vez desmontado el terreno natural, se procede a extraer la capa que contenga materia vegetal; el espesor de esta capa puede variar de 10 a 50 cm. y puede llegar a 1 m. si se tiene un espesor fuerte de material altamente compresible. A esta etapa se le denomina despalme.

En seguida, sólo si se requiere, se compactará el terreno natural, y cuando se hace se llega al 90% de su peso volumétrico seco máximo (PVSM), según la prueba Proctor.

En la zona de pastizales, de cultivo y de rellenos sanitarios, se removerá la capa vegetal superficial. En el cruce con los canales que se

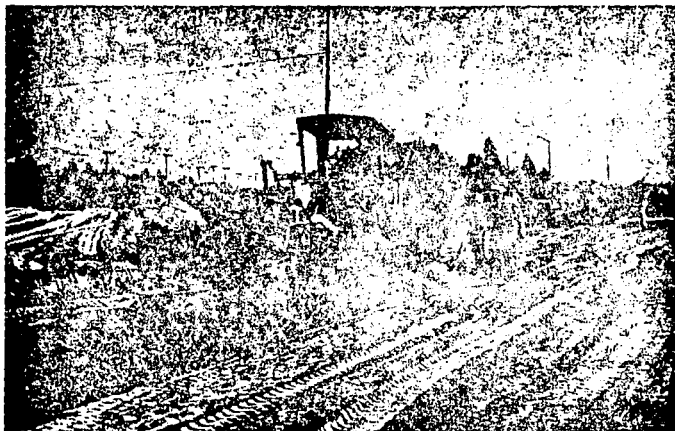
encuentran en el área se hará la remoción de las especies vegetales que actualmente forman cortinas rompevientos.



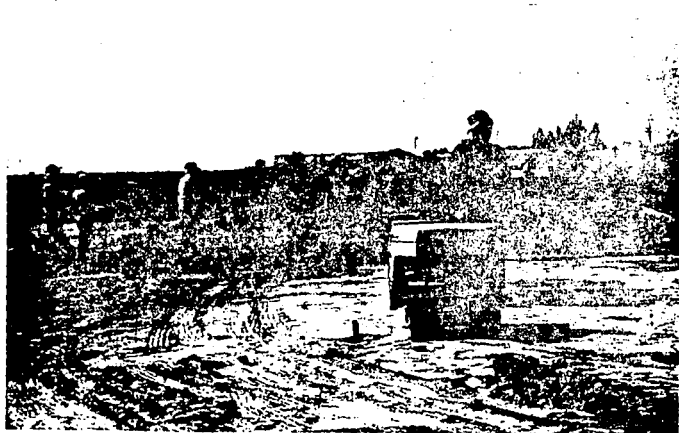
Despalme con tractor D4H

b) Plantilla de arena de tezontle

Para lograr una paralela a la rasante, en las zonas de terraplenes se efectuará una plantilla de arena de tezontle con características de subrasante y un espesor de 0.20 m., afinando con tepetate la superficie terminada que recibirá la losa estabilizadora una vez llegada al nivel de desplante de ésta. La plantilla tiene también la finalidad de proporcionar una superficie de trabajo así como evitar el remoldeo del desplante en la zona de cortes.



Tendido de plantilla con motoconformadora



Alinado de plantilla

c) Losa de concreto

La losa de concreto tiene la función, por una parte, de distribuir hacia el suelo los esfuerzos causados por el tránsito, así como los generados por el peso propio de la estructura del pavimento, y por la otra, dar rigidez a la estructura para evitar los asentamientos diferenciales.

La plantilla de arena de tezontle debe encontrarse debidamente compactada y humedecida para que no absorba el agua del concreto fresco, cuidando el no provocar encharcamientos, al término de esta operación se debe proceder al vaciado del concreto, el cual es transportado de la planta de premezclado hacia el tramo, por medio de camiones revolvedores y vaciado en el lugar.



Colado del concreto

El concreto se deposita en el encofrado o moldes, los cuales se deben colocar con la debida anticipación y fijados de tal manera a la plantilla que no vayan a tener movimiento con la presión del concreto fresco. También con anticipación se debe colocar la electromalla que se va a usar como refuerzo, y ésta debe estar soportada de tal forma que quede a una cuarta parte del espesor de la losa.



Colocación de la malla electrosoldada

Encofrado habitualmente se denomina a la cimbra lateral, de madera o acero, que debe tener una altura igual a la del espesor de proyecto de la losa.

En forma general se puede decir que, sobre la plantilla de arena de tezontle o sobre la superficie afinada del terraplén se colocará una losa de

concreto con resistencia $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ y de 0.15 m. de espesor, armada con electromalla, la superficie terminada deberá ser regleada para evitar desplazamientos.



Vista general del encofrado, malla y losa de concreto

d) Subbase hidráulica

La subbase, tiene como principal función abaratar los costos del pavimento. Si el espesor de la base es mayor de 20 cm., conviene sustituir parte del espesor con un material de menor calidad.

La subbase es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la subrasante, teniendo por objeto:

- Servir de capa de drenaje al pavimento.

- Controlar o eliminar en lo posible los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante.
- Controlar la ascensión capilar del agua proveniente de las capas freáticas cercanas o de otras fuentes, protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de heladas. Este hinchamiento es debido al congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es grande.

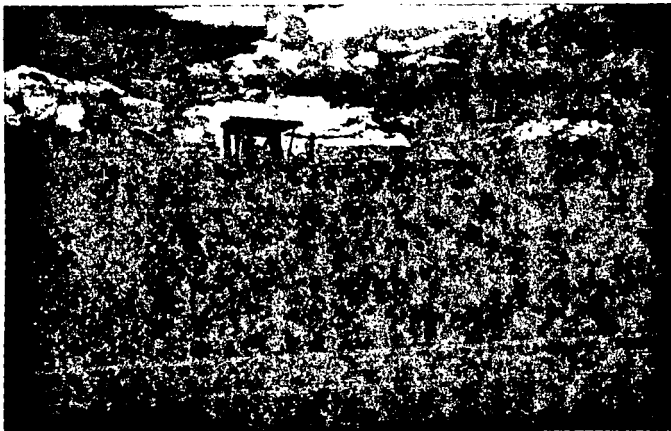
El material de la subbase debe ser seleccionado y tener mayor capacidad de soporte que el terreno de fundación compactado. El material de la subbase puede ser: arena, grava, granzón, escoria de altos hornos, o residuos del material de cantera. En algunos casos se puede emplear el material de la subrasante mezclado con granzón, cemento, etcétera.

Los materiales tratados previamente, o los que puedan llevarse en forma directa del banco, se acarrear a la obra, en donde se acamellonan, es decir, se hace un acordonamiento de sección constante para medir su volumen, y en caso de que haya faltante, se debe realizar los recargos necesarios. Para acamellonar los materiales se utilizan motoconformadoras.

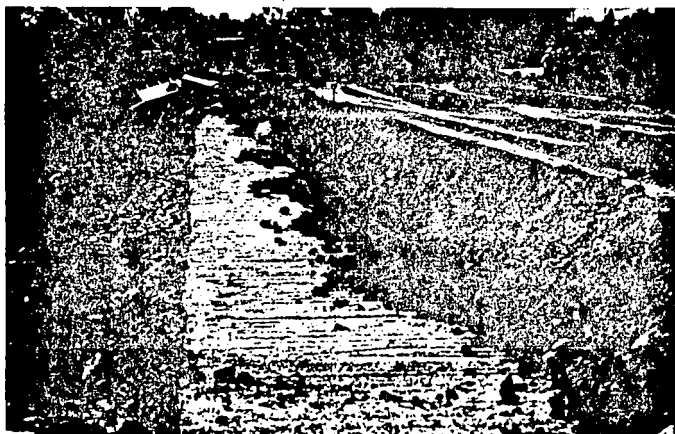
A continuación, a los materiales que lo necesiten; se les efectuarán los tratamientos en el tramo, que en general son estabilizaciones mecánicas aunque en ocasiones son de tipo químico. Para usar estos tratamientos, con el material que constituye el mayor volumen, una vez acamellonado y medido, se forma una capa en parte de la corona de la obra, y sobre ella se coloca el material que se le va a mezclar en forma de acordonada; si es necesario se disgregan para luego mezclarlos con motoconformadora hasta homogeneizarlos, después de lo cual, conviene volver a acamellonarlos para

comprobar el volumen, pues como ya se sabe la suma de los volúmenes de materiales separados es mayor que cuando ya están unidos.

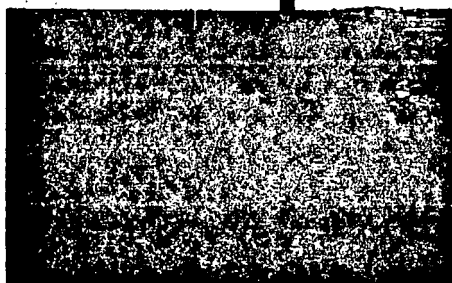
El tendido y compactación del material requieren que éste sea humedecido con una cantidad de agua cercana a la óptima; esta humedad óptima de campo, en general es menor que la del laboratorio, porque las máquinas que se utilizan son de gran peso, aunque se debe compensar el agua que se evapora mientras se hacen los tratamientos. El agua no se riega de una sola vez, sino que se distribuye en varias pasadas de la pipa como se indica a continuación.



Tendido de tezontle sobre la losa previo a la mezcla con tepetate



Tezontle y tepetate tendidos para su mezcla



Acamellonamiento de mezcla de tezontle y tepetate

El material acamellonado se abre parcialmente hacia la corona de la obra y pasa la pipa haciendo un primer riego, luego, la motoconformadora abre una nueva cantidad de material y la coloca sobre el ya humedecido, vuelve a pasar la pipa y así en seguida, hasta que se proporciona toda el agua necesaria, en seguida se homogeneiza la humedad en todo el material por medio de la motoconformadora, que hace cambios sucesivos del material hacia un lado y otro, sobre la corona de la subbase.

Ya que se consiguió uniformar la humedad en todo el material se distribuye a través de la corona para formar la capa con el espesor suelto necesario, a esta operación se le llama tendido. Se debe cuidar que el material no se segregue, es decir, que no se separen los finos de los gruesos; para ello es conveniente que el material húmedo se coloque en el centro de la corona y se vaya distribuyendo hacia los lados por medio de la o las motoconformadoras que operarán a una velocidad moderada, más bien baja.

Una vez que se tiene extendido el material, se compacta hasta alcanzar el grado de proyecto, es decir, al 90% de su PVSM, la compactación de este material se realiza con compactadores de tambor liso vibratorio (vibrocompactadores); el peso de estos equipos puede variar entre 15 y 25 ton.

Sobre la losa de concreto, después de haber alcanzado el 90% de su resistencia de proyecto, se podrá construir una plataforma con el material de subbase, rodando los camiones sobre ésta, para el suministro de material y posteriormente se deberá construir una capa de subbase hidráulica de 0.20 m. mediante una mezcla de tezontle y tepetate cuyo proporcionamiento será de 80 - 20 en volumen, dicho proporcionamiento podrá ser modificado posteriormente de acuerdo a los resultados que se obtengan en pruebas de laboratorio.

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que serán empleados en la conformación de esta capa deberán cumplir las normas SCT vigentes, destacando entre otras las siguientes:

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Tamaño máximo(mm.)	51
% menor malla No. 200	25 Máx.
Zona granulométrica	1 y 3
Límite líquido (%)	25 Máx.
Índice plástico (%)	10 Máx.
Equivalente de arena (%)	20 Mín.
Compactación	90 Mín.
VRS	50 Mín.

e) Riego de impregnación de subbase

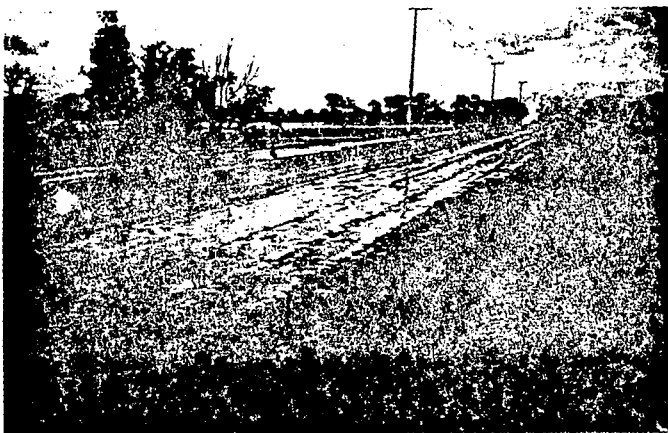
Su objetivo es el de proteger la subbase hidráulica de la lluvia y del tránsito normal de vehículos ligeros durante la construcción. Además, sirve como zona de transición entre la subbase hidráulica y la capa siguiente (base asfáltica), de tal manera que el riego de liga tenga una superficie afín para asegurar el anclaje de la capa siguiente.

Una vez alcanzando en la subbase el grado de compactación del proyecto, se deja secar superficialmente durante varios días, una vez que se tiene a la capa en esta condición, se barre para retirar de ella basura, polvo y partículas sueltas que pueda haber.

Sobre la capa de subbase superficialmente seca y barrida se aplicará en todo lo ancho de la corona el riego de impregnación con producto asfáltico

del tipo FM-1 a razón de 1.5 lt/m^2 aproximadamente, el cual cumplirá con las normas SCT.

Una vez barrida la superficie, se hará el riego del material asfáltico, por medio de una petrolizadora, el cual no debe hacerse bajo ninguna circunstancia, si la superficie por tratar está mojada, preferentemente se debe ejecutar durante las horas más calurosas del día. Se puede decir que se realizó una buena impregnación, si la superficie presenta un aspecto uniforme.



Impregnación de subbase

La cantidad aplicada debe ser absorbida en 24 horas, y el periodo normal de secado o cura es aproximadamente de 48 horas. Es preferible impregnar escasamente a impregnar con exceso, pues el material no

absorbido lo recoge la base, lo cual puede generar afloramientos de asfalto en la superficie de la misma.

f) Riego de liga para base asfáltica

Es un tratamiento superficial para unir capas; sea una base hidráulica con una capa asfáltica o una capa asfáltica con otra del mismo tipo.

Al igual que el riego de impregnación, el riego de liga se hace con una petrolizadora y generalmente casi en el momento de realizar el tendido de la capa asfáltica. Cuando hay superficies muy secas y polvosas, es necesario barrer correctamente y dar un ligero riego de agua para romper la tensión superficial.

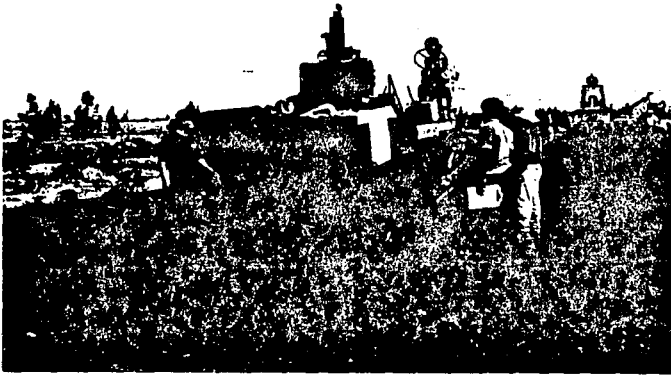
Sobre la subbase impregnada se aplicará en todo lo ancho de corona de la sección el riego de liga con producto asfáltico de tipo FR-3 a razón de 0.50 lt/m^2 , dicho producto deberá cumplir con las normas de SCT.

g) Base asfáltica o base negra

En pavimentos flexibles las capas de base y subbase tienen la principal función de contribuir mucho a la capacidad de soportar cargas del pavimento. La base debe tener la suficiente resistencia para recibir cargas de la superficie arriba de ella y transmitir las a un nivel de esfuerzo adecuado a la capa siguiente, que puede ser una subbase o una subrasante.

La mezcla es transportada al tramo, a donde debe llegar a una temperatura de 110 a 120°C, para lo que, si es necesario, se debe utilizar lonas que la cubran durante la trayectoria. Al llegar el equipo de transporte al tramo, descarga su contenido en la máquina extendedora (finisher) que forma una franja de mezcla asfáltica, evitando segregaciones del material y dándole una ligera compactación. Al terminar de vaciar un camión la mezcla que

acarreo, se detiene el tren de extendido y luego, al ensamblarse el siguiente, se reanuda el trabajo, por lo que entre vehículo y vehículo se tiene una junta en donde puede haber una discontinuidad que deberá ser evitada o reducida por un equipo de rastrilleros, que en número de 4 a 6 por extendedora, tienen como misión, además de lo anterior, la de asegurar una textura conveniente en la superficie y borrar las juntas longitudinales entre las franjas.



Tendido de base asfáltica

A una temperatura mayor de 90°C se debe iniciar la compactación de la franja, para lo que al principio se utiliza un rodillo de aproximadamente 7 ton., para dar un primer armado y permitir posteriormente, la entrada de equipo con peso de 15 ton. aproximadamente, el cual no se puede usar desde

el principio, porque produce el desplazamiento de la mezcla. Se puede utilizar rodillos lisos o neumáticos; al final se debe borrar las huellas de la compactación, utilizando un rodillo liso. El grado de compactación será de 95% como mínimo, con respecto al peso volumétrico de proyecto, que no necesariamente corresponde al máximo. Para conocer este grado de compactación, se extraen corazones con máquinas rotatorias.

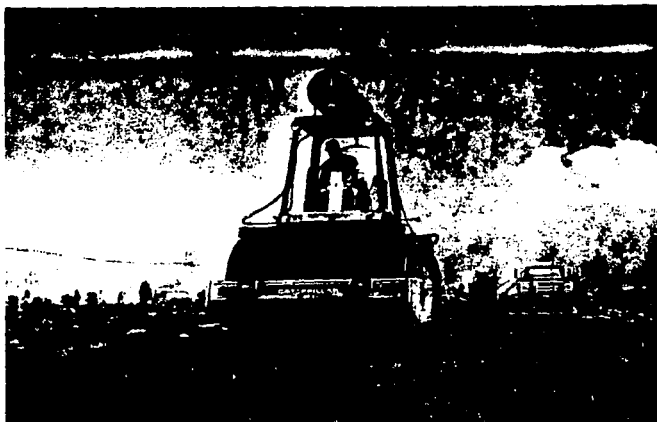
Por lo general es práctica aceptada que la compactación inicial con rodillo se efectúe inmediatamente después del tendido de la mezcla, o tan pronto como sea posible. El orden de las operaciones de compactación principia comúnmente con las pasadas que se dan con un compactador de rodillo liso, seguido del compactado intermedio efectuado con un compactador de neumáticos, para terminar con el compactado final, para el cual se emplea un compactador de rodillo en tándem.

Es una práctica universal empezar las pasadas de rodillos en las orillas exteriores de la capa recién tendida, para ir compactando hacia el centro del camino, o sea la cúspide del bombeo. En el caso de curvas con sobrelevación, la pasada del rodillo se inicia en el lado más bajo, hasta rematar en la cúspide.

Inmediatamente después del compactado inicial con rodillo, deberá comprobarse la superficie del pavimento tendiendo una regla, según las especificaciones. Dado que la capa se encuentra aun caliente y relativamente blanda, hay tiempo para efectuar las correcciones que procedan.

En las pasadas con el compactador de neumáticos se sigue el mismo procedimiento que en el compactado inicial, comenzando en las orillas y terminando en el centro del camino. Una vez que se hayan dado las pasadas suficientes para cubrir toda la superficie del pavimento sin que se observe que sigue habiendo compactación, deberá suspenderse el trabajo del compactador

de neumáticos, ya que el exceso de pasadas puede producir afloramiento del cemento asfáltico.



Compactación de base con rodillo liso, se puede observar al fondo al compactador de neumáticos

Al concluir las pasadas con el compactador de neumáticos, no obstante que la capa ha quedado debidamente compactada, según la densidad especificada, la superficie pudiera dar la impresión de no encontrarse totalmente terminada. En este caso, el empleo de un compactador de rodillos en tándem eliminará cualquier huella dejada por los neumáticos, quedando la superficie lisa, como si hubiera sido planchada. Este compactado final deberá

ejecutarse antes de que la mezcla se enfríe y endurezca, ya que no podrá hacerse tales correcciones.

Sobre el riego de liga y en todo lo ancho de la corona se construirá una capa de 0.20 m. de base asfáltica elaborada en planta y en caliente, con materiales procedentes de bancos autorizados para el fin, y cemento asfáltico No. 6 con una proporción de 130 kg/m^3 de material pétreo, seco y suelto, de tamaño máximo de 1", la cual se colocará en dos capas de 0.10 m. cada una, con su correspondiente riego de liga en la 2ª capa.

h) Riego de liga para carpeta

Al igual que el riego de liga para base, el riego de liga para carpeta es un tratamiento superficial para unir capas, en este caso, una capa asfáltica con otra del mismo tipo.

Generalmente, el riego de liga se hace casi en el momento de realizar el tendido de la capa asfáltica. Cuando hay superficies muy secas y polvosas, es necesario barrer correctamente y dar un ligero riego de agua para romper la tensión superficial.

Sobre la base asfáltica terminada se aplicará en todo el ancho de la sección un riego de liga con material asfáltico del tipo FR-3 a razón de 0.50 lt/m^2 .

i) Carpeta asfáltica

La función primordial de la carpeta asfáltica (capa de rodamiento) será proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles infiltraciones del agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores. Además, evita que se desgaste o se desintegre la base debido al tránsito de los vehículos.

Así mismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor de 7.5 cm).

La carpeta asfáltica es la capa o las capas formadas por agregados pétreos y asfalto, colocadas sobre la capa de base, teniendo como función la de proporcionar una superficie tersa y segura al rodamiento de los vehículos, debiendo tener suficiente resistencia tanto al desgaste como a la fractura para soportar las cargas transmitidas a ella; también debe ser antiderrapante y no deformable.

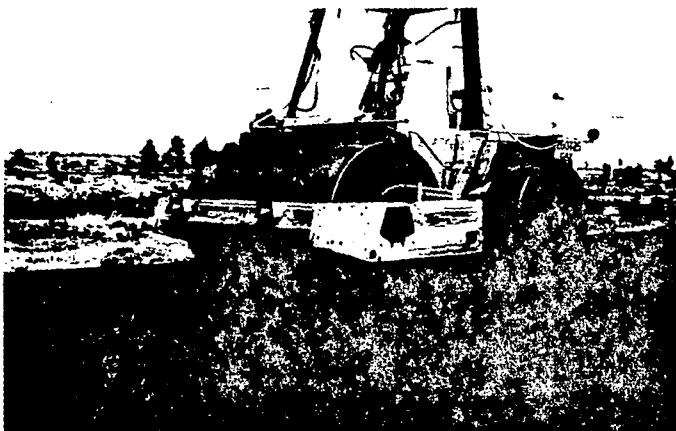
Por el tipo de preparado de mezcla para una carpeta asfáltica se puede clasificar en carpetas de riego superficial, carpetas de mezcla en el lugar y en carpetas de concreto asfáltico, siendo esta última la que compete a este trabajo.

La carpeta de concreto asfáltico se emplea cuando el tránsito es intenso y pesado, este tipo de carpeta se elabora con cemento asfáltico, el cual debe estar dentro de las especificaciones de la SCT.

Como quedó establecido en el diseño, el espesor de la carpeta será de 10 cm., y colocada en una sola capa, usándose el mismo método empleado para la colocación de la base asfáltica.

Para la carpeta se empleará una máquina extendedora, tendiéndola a un solo espesor y compactando al 95% en su peso volumétrico determinado en la prueba Marshall.

Será necesario que la curva granulométrica del pétreo quede dentro de la zona especificada por la SCT no permitiendo cambios bruscos de pendiente, con una tolerancia no mayor de 8% en peso de tamaños menores que la malla No. 200. En términos generales todas las características físicas del pétreo y asfalto deberán cumplir lo especificado por la SCT.



Compactación de carpeta con rodillo liso

j) Riego de sello

Este tipo de tratamiento sirve para proteger y sellar la superficie de un pavimento y es colocado sobre la carpeta.

Las funciones de este tipo de riego son las de proporcionar:

- Protección para la estructura del pavimento.
- Una capa impermeable y que tome algunos esfuerzos tangenciales de aceleración y frenaje.
- Una capa de rodamiento con rugosidad.

Sobre la carpeta asfáltica debidamente barrida y terminada se deberá aplicar un riego de sello con material pétreo 3-A ó 3-E a razón de 9 a 10 lt/m^2 , empleando asfalto rebajado del tipo FR-3 a razón de 0.7 a 1.0 lt/m^2 .

Antes de aplicar el riego de sello, la superficie por tratar deberá estar seca y barrida, para dejarla libre de materias extrañas y polvo.

En cada caso, tomando en cuenta las condiciones de la carpeta por sellar y las características del material pétreo que se empleará en el riego, se harán pruebas sobre la propia carpeta, para determinar las cantidades tanto de materiales pétreos como de ligante, que deban utilizarse para el tratamiento.

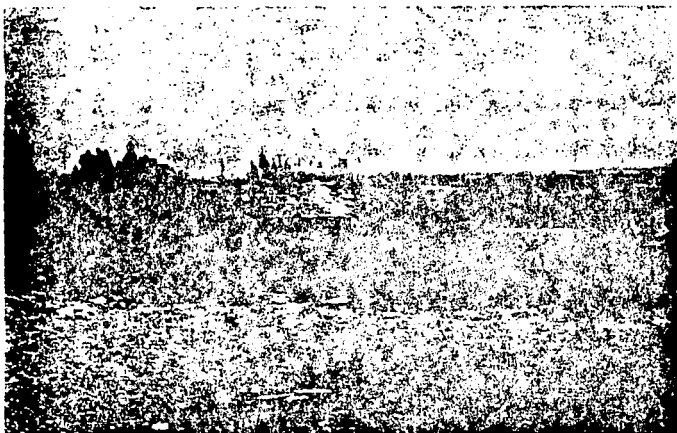
Para la ejecución del riego de sello, se procederá, en términos generales, de acuerdo con las etapas siguientes:

- Se barre la superficie por tratar.
- Se procede al riego de ligante asfáltico.
- Se cubre el riego asfáltico con la capa de material pétreo.
- Se rastrea y plancha el tratamiento.
- Se barre y recolecta el material que no se adhiera al ligante asfáltico.

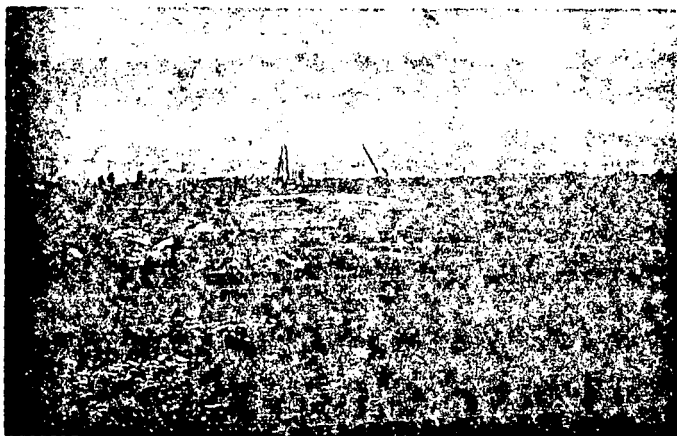
Los materiales pétreos tendidos y rastreados como se indicó anteriormente, se plancharán inmediatamente con un rodillo liso ligero, únicamente para acomodar las partículas, pero hay que poner especial cuidado en no fracturarlas por exceso de planchado.

Después se hace otro planchado, para el que se utiliza un compactador de neumáticos con peso de 4,500 a 7,300 kg. y una rastra de cepillo de fibra o de raíz. Este equipo debe pasarse por la superficie las veces que se considere necesario para mantener uniformemente distribuido el material y evitar que se formen acumulaciones u ondulaciones. El compactador de neumáticos deberá pasarse alternativamente con la rastra, durante el tiempo necesario para asegurar que se adhiera el máximo posible de material pétreo.

A continuación se presenta una secuencia fotográfica de las etapas de construcción del cuerpo nuevo.



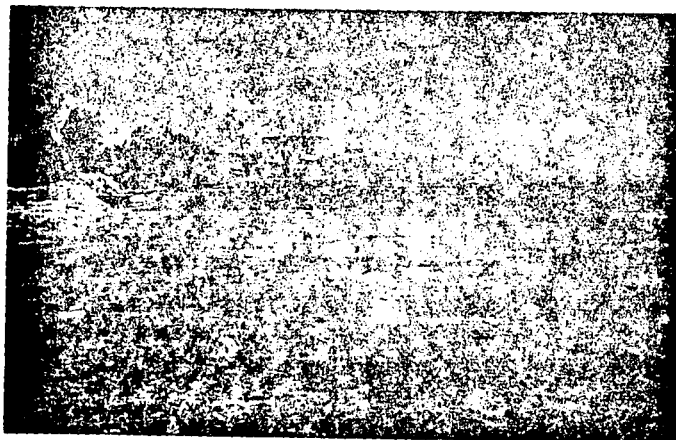
Plantilla de tezontle y acamellonado de tepetate



Losa de concreto. Obsérvese la plantilla de tezontle afinada con tepetate



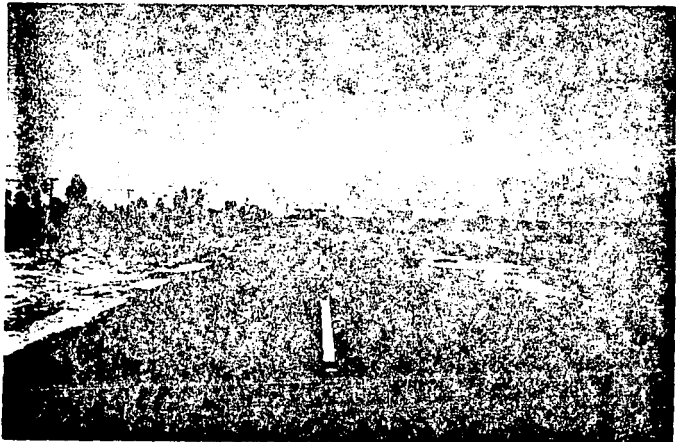
Losa de concreto terminada a nivel de subrasante



Subbase hidráulica terminada, al fondo se aprecia la estructura de la caseta de cobro



Base asfáltica terminada, al fondo se aprecia el avance en la construcción de la casota de cobro



Carpeta terminada hasta nivel de rasante

B.- REHABILITACIÓN DEL CUERPO EXISTENTE.

Como se mencionó anteriormente, uno de los cuerpos de la autopista será construido sobre el camino existente al servicio de la SARH. Debido al comportamiento satisfactorio que ha presentado esta estructura, se consideró adecuado conservarla para que forme parte de todo el conjunto del pavimento por construir, estructurando únicamente las zonas laterales a nivel de subbase como se indicará posteriormente.

En esta sección se mencionarán las actividades de preparación del sitio y de construcción que son necesarias para llevar a cabo la integración de cuerpo existente a la autopista.

En la figura 5.2 se puede observar la sección tipo para la estructura del cuerpo, la cual presenta ampliación en las zonas laterales, así como el desplante de la base nueva, a partir de la carpeta existente.

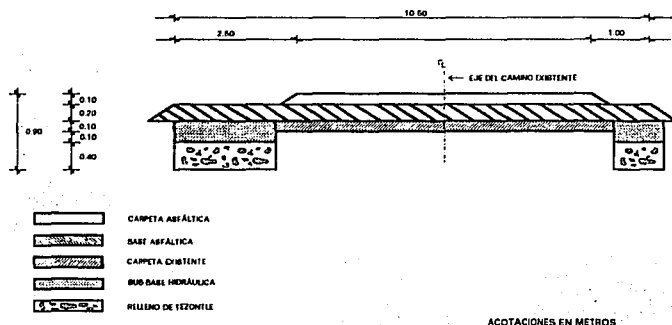


Figura 5.2 Sección tipo propuesta para el cuerpo existente del km. 0+000 al km. 12+500

a) Cortes en caja en zonas de acotamiento

Para la construcción de los acotamientos de la carretera es necesario que en la zona lateral interna se abra un cajón de 1 m. de ancho y en la zona lateral externa se abra uno de 2.50 m. de ancho, y en ambos casos hasta una profundidad de 0.60 m.

La excavación de estos cajones se realizará con una excavadora tipo 205B, desechando el material producto de la operación y depositándolo en los lugares destinados para su tiro. Junto con el material producto de la excavación del cajón se removerá la capa superficial, así como las especies vegetales que actualmente forman cortinas rompevientos.



Corte con retroexcavadora, lado derecho del cuerpo existente

b) Terracerías en zonas de acotamiento

Se utilizará una sección estructural de acuerdo a la sección tipo proporcionada por el Centro SCT del Estado de México y en función de la actual estructura del camino que será aprovechada de acuerdo al estudio e indicaciones proporcionados por el laboratorio de la SCT (figura 5.2).

Después de haber realizado la excavación de los cajones, se colocará un relleno de tezontle de 0.40 m. de espesor, debiéndose retirar los fragmentos con tamaños mayores a los especificados mediante papeo, el cual será un material no compactable, debiéndosele dar un tratamiento de bandeado para aumentar su acomodo, por lo cual se sugiere sea en capas de 0.20 m. y empleando tractor D8N o similar. La compactación de esta capa se realizará por medio de un compactador tipo CS-323.

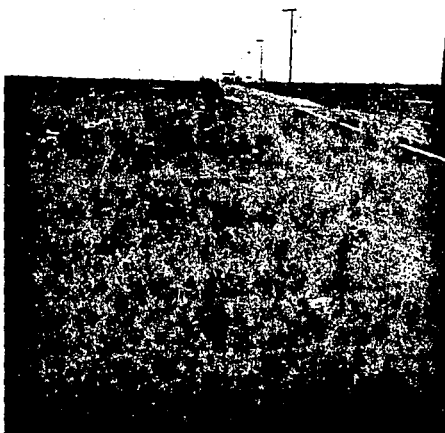
c) Subbase hidráulica

Como es bien sabido la subbase es la capa de material seleccionado, el cual se coloca encima de la subrasante y tiene por objeto servir de capa de drenaje al pavimento, así como el controlar o eliminar en lo posible los cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la subrasante, por lo cual es importante que los acotamientos presenten esta capa.

Después de haber colocado la capa de terracería en la zona de acotamientos y quedar a nivel de subrasante, se deberá colocar una capa de subbase hidráulica de 0.20 m. de espesor mediante una mezcla de tezontle y tepetate cuyo proporcionamiento será de 80 - 20 en volumen, dicho proporcionamiento podrá ser modificado posteriormente de acuerdo a los resultados que se obtengan en pruebas de laboratorio.

Al igual que el tendido de la terracería, el tendido para la subbase se realizará por medio de un tractor tipo D8N y la compactación también será por medio de un compactador del tipo CS-323.

Las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que serán empleados en la conformación de esta capa deberán cumplir con las Normas de la SCT vigentes.



Ampliación terminada hasta subbase impregnada, lado derecho cuerpo existente

d) Riego de impregnación de subbase

Es importante recordar que, el objetivo del riego de impregnación es proteger a la subbase hidráulica de la lluvia y del tránsito normal de vehículos

ligeros durante la construcción. Además, sirve como zona de transición entre la subbase hidráulica y la base asfáltica.

Sobre las capas de subbase laterales y en los taludes del material que la conformen, se aplicará un riego de impregnación con producto asfáltico del tipo FM-1 a razón de 1.50 lt/m^2 aproximadamente, el cual deberá cumplir con las Normas de la SCT.

El proceso de aplicación del riego de impregnación se realiza de igual forma que el aplicado en el cuerpo nuevo, teniendo como característica principal que sólo se aplicará en la subbase de los acotamientos.

e) Riego de liga para base asfáltica

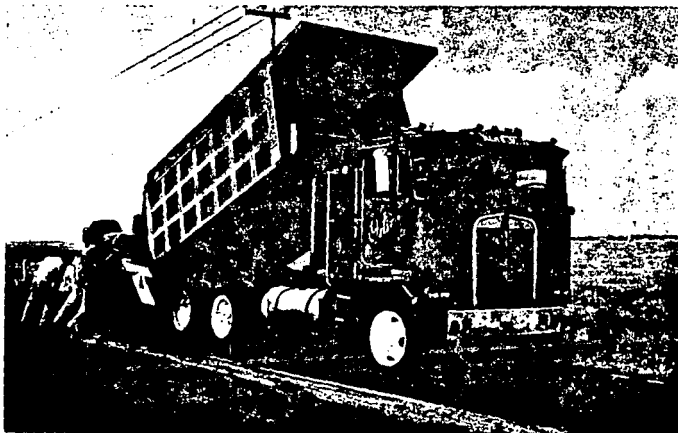
Este tratamiento superficial sirve para unir capas asfálticas o para una capa de subbase hidráulica con una asfáltica; en este caso sirve para unir la capa de subbase hidráulica y la carpeta asfáltica existente con la base asfáltica que se colocará encima de ellas.

Al igual que el riego de impregnación, el riego de liga se hace con una petrolizadora y generalmente casi en el momento de realizar el tendido de la capa asfáltica. Cuando hay superficies muy secas y polvosas, es necesario barrer correctamente y dar un ligero riego de agua para romper la tensión superficial.

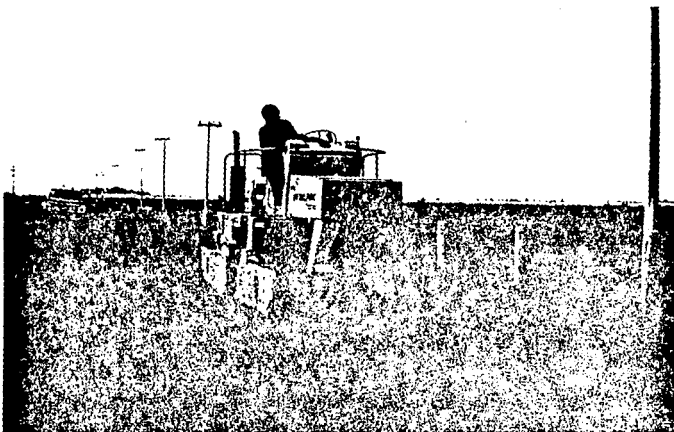
Sobre la subbase impregnada y sobre el resto del pavimento existente se aplicará, en todo lo ancho de la sección, un riego de liga con producto asfáltico FR-3 a razón de 0.50 lt/m^2 , dicho producto deberá cumplir con las características que marcan las Normas de la SCT.

f) Base asfáltica

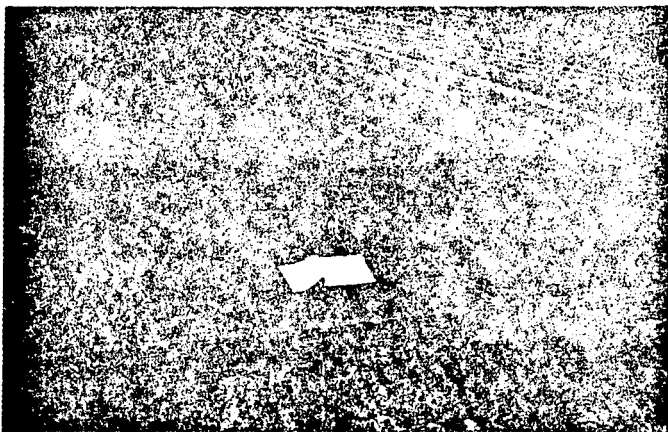
El método constructivo de la base asfáltica se describió en la sección anterior, por lo que cabe mencionar únicamente que sobre el riego de liga y en todo lo ancho de la corona se construirá una capa de 0.20 m. de base asfáltica elaborada en planta y en caliente, con materiales procedentes de los bancos autorizados para tal fin y cemento asfáltico No. 6 con una proporción de 130 kg/m³ de material pétreo, seco y suelto de tamaño máximo de 1" (25 mm.) la cual se colocará en dos capas de 0.10 m. de espesor cada una y con su correspondiente riego de liga para la segunda capa.



Tendido de base asfáltica



Compactación de la base en zona lateral izquierda, cuerpo existente



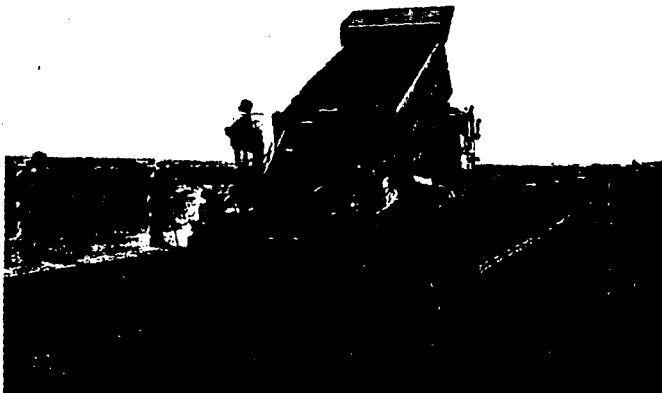
Base asfáltica terminada hasta la segunda capa

g) Riego de liga para carpeta

Sobre la base asfáltica terminada se aplicará en todo lo ancho de la sección un riego de liga con material asfáltico FR-3 a razón de 0.50 lt/m^2 , utilizando una petrolizadora, este proceso deberá cumplir con las Normas de la SCT.

h) Carpeta asfáltica

Sobre la capa de base asfáltica y en todo lo ancho de la calzada se deberá construir una capa de 0.10 m. de carpeta asfáltica con las mismas características que las de la base asfáltica.



Tendido de carpeta

Tanto para el tendido de la base asfáltica como para el de la carpeta, se empleará una máquina extendedora, colocando el material en un solo espesor, compactando al 95% de su peso volumétrico determinado en la prueba Marshall. El contenido de asfalto se determinará en la misma prueba.

Será necesario que la curva granulométrica del pétreo quede dentro de la zona especificada por la SCT, no permitiendo cambios bruscos de pendiente, con una tolerancia no mayor de 8% máxima en peso de partículas menores a la malla 200.

En términos generales, todas las características físicas del pétreo y del asfalto deberán cumplir con lo especificado por la SCT.

i) Riego de sello

El riego de sello para este cuerpo de la autopista tiene las mismas características que el riego de sello para el cuerpo nuevo, por lo que se realizará de la misma forma que el ya mencionado.

Sobre la carpeta asfáltica, debidamente barrida y terminada, se deberá aplicar un riego de sello con material pétreo 3-A ó 3-E a razón de 9 a 10 lt/m^2 empleando asfalto rebajado del tipo FR-3 a razón de 0.7 a 1.0 lt/m^2 .

Para llevar a buen término la realización del proyecto, es importante una correcta supervisión de las etapas para asegurar el cumplimiento de los objetivos de resistencia y de seguridad para el usuario.

CAPÍTULO VI

CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

Se puede definir al control de calidad como el conjunto sistemático de esfuerzos, principios, prácticas y tecnología de una organización o industria, para asegurar, mantener o superar la calidad de un producto al menor costo posible.

Para que un producto sea elaborado en forma correcta, es necesario que sus características geométricas y la calidad de los materiales estén de acuerdo con los planos y normas correspondientes.

El control de calidad en vías terrestres interviene en todas las etapas de la obra, es decir desde su proyecto y construcción hasta la operación y mantenimiento, esto es que, en la construcción de vías terrestres, se tiene la necesidad de llevar a cabo diferentes controles, a fin de que se obtengan las obras de calidad necesarias en el tiempo programado y con los costos presupuestados.

En este capítulo se hablará del control de calidad para la construcción de la estructura del pavimento, determinando la calidad de los materiales empleados, así como de los procesos constructivos, para ello es necesario

que los resultados obtenidos de las pruebas correspondientes de laboratorio cumplan con las especificaciones recomendadas por la SCT.

A.- SUBRASANTE

Es importante recordar que en el cuerpo nuevo se construyó un plantilla de arena de tezontle con características de subrasante; en el cuerpo existente las terracerías corresponden al área de acotamientos.

En los cuadros 1 y 2 del inciso 002-C.01 del capítulo 4.01.01.002 del libro 4.01.01 de las Normas de calidad de los materiales de la SCT, se presentan las características que deben cumplir los materiales correspondientes. En las tablas 6.1 y 6.2 se muestran los resultados del laboratorio para materiales de terracerías.

OBRA:	AUTOPISTA PEÑÓN-TEXCOCO	ENSAYES Nos:	895/896
LOCALIZACIÓN:	CUERPO NUEVO	FECHA DE RECIBO:	30-09-93
		FECHA DE INFORME:	21-10-93

IDENTIFICACIÓN	No. DE ENSAYE	895	896
	ESTACIÓN	1+000 - 1+500	1+500 - 2+000
	LADO	DERECHO	DERECHO
	CAPA	PLANTILLA	PLANTILLA

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	TAMAÑO MÁXIMO	1 1/2"	1"
	% RETENIDO EN MALLA DE 75mm	0.0	0.0
	% QUE PASA MALLA DE 4.75mm	90	88
	% QUE PASA MALLA DE 0.425mm	62	60
	% QUE PASA MALLA DE 0.075mm	32	30
	EQUIVALENTE DE HUM. DE CAMPO, %		
	LÍMITE LÍQUIDO, %	26.21	26.45
	ÍNDICE PLÁSTICO, %	5.05	5.20
	CONTRACCIÓN LINEAL, %	2.6	2.5
	P.E.S. SUELTO Kg/m ³	1264	1256
	P.E.S. MÁXIMO Kg/m ³	1586	1576
	HUMEDAD ÓPTIMA, %	20.9	21.0
	HUMEDAD NATURAL, %		
COMPACTACIÓN DEL LUGAR, %			
V.R.S. ESTÁNDAR SATURADO, %	36.8	40.5	
EXPANSIÓN, %	0.40	0.30	
CLASIFICACIÓN	ML	ML	

ESTUDIO DEL LUGAR DE COMPRESIÓN	TIPO DE PRUEBA	PORTER MODIFICADA VARIANTE II		
	CURVA DE PROYECTO			
	COND. DEL LUGAR	HUMEDAD DE PRUEBA, %		
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %		
	90%	ESPESOR REQUERIDO, cm.		
		HUMEDAD DE PRUEBA, %	23.9	24.0
	COMP.	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	11.0	13.0
		ESPESOR REQUERIDO, cm.		
	95%	HUMEDAD DE PRUEBA, %	22.4	22.5
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	21.8	25.5
	COMP.	ESPESOR REQUERIDO, cm.		
		100%	HUMEDAD DE PRUEBA	
	RES	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %		
COMP.		ESPESOR REQUERIDO, cm.		

Tabla 6.1 Informe de ensayos para materiales de terracerías

OBRA:	AUTOPISTA PEÑÓN - TEXCOCO	ENSAYES Nos:	16/17
LOCALIZACIÓN:	CUERPO EXISTENTE	FECHA DE RECIBO:	12-06-93
		FECHA DE INFORME:	25-06-93

IDENTIFICACIÓN	No. DE ENSAYE	16	17
	ESTACIÓN	1+000 - 1+500	1+500 - 2+000
	LADO	IZQUIERDO	IZQUIERDO
	CAPA	SUBRASANTE	SUBRASANTE

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL	TAMAÑO MÁXIMO	2"	2"
	% RETENIDO EN MALLA DE 75mm	0.0	0.0
	% QUE PASA MALLA DE 4.75mm	81	74
	% QUE PASA MALLA DE 0.425mm	24	20
	% QUE PASA MALLA DE 0.075mm	5	1
	EQUIVALENTE DE HUM. DE CAMPO, %		
	LÍMITE LÍQUIDO, %	32	22
	ÍNDICE PLÁSTICO, %	11.3	NP
	CONTRACCIÓN LINEAL, %	0.94	0.80
	P.E.S. SUELTO Kg/m ³	1266	1433
	P.E.S. MÁXIMO Kg/m ³	1570	1885
	HUMEDAD ÓPTIMA, %	17.8	12.1
	HUMEDAD NATURAL, %		
	COMPACTACIÓN DEL LUGAR, %		
V.R.S. ESTÁNDAR SATURADO, %	54	70	
EXPANSIÓN	0.20	0.0	
CLASIFICACIÓN	ML	ML	

ES-TU-DIO	TIPO DE PRUEBA		
	CURVA DE PROYECTO		
DE	COND. DEL LUGAR	HUMEDAD DE PRUEBA, %	
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	
	90%	HUMEDAD DE PRUEBA, %	20.8
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	17.6
ES-PE-SO-RES	COMP. 95%	ESPESOR REQUERIDO, cm.	15.1
		HUMEDAD DE PRUEBA	39.7
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	19.3
		ESPESOR REQUERIDO, cm.	13.6
RES	COMP. 100%	VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	25.0
		ESPESOR REQUERIDO, cm.	25.7
		HUMEDAD DE PRUEBA	
		VALOR RELATIVO DE SOPORTE, %	
	COMP.	ESPESOR REQUERIDO, cm.	

Table 6.2 Informe de ensayos para materiales de terracerías

Algunas características de las Normas con las que debe cumplir el material que merecen ser mencionadas son: grado de compactación del 95%, VRS estándar saturado mayor al 10% y expansión menor al 3%.

Comparando los resultados contra las especificaciones de la SCT, se concluye que los materiales empleados cumplen para su empleo en subrasante y plantilla.

B.- LOSA DE CONCRETO HIDRÁULICO

Los estudios que se realizan a la losa estabilizadora son revenimiento y resistencia a compresión simple. El primero sirve para determinar la manejabilidad del concreto y, de cumplir éste con el requerimiento, aprobarse para su colocación; con la segunda prueba se determina la resistencia del concreto a 7, 14 y 28 días después de su colado para comprobar que la evolución de su capacidad de carga se apegue a la del proyecto.

La prueba de revenimiento se aplica en campo y se realiza momentos antes del colado del concreto, por su parte la prueba de compresión se realiza en laboratorio y, como ya se mencionó, en diferentes fechas, por lo cual se debe extraer varias muestras.

En las tablas 6.3 y 6.4 se presentan los resultados obtenidos tanto en campo como en laboratorio, para la losa estabilizadora.

OBRA: <u>LOSA ESTABILIZADORA</u>	ENSAYE No.: <u>2234/2235</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN-TEXCOCO KM 2+800</u>	FECHA DE RECIBO: <u>15-12-93</u>
	FECHA DE INF: <u>03-01-94</u>

IDENTIFICACIÓN	ENSAYE No	2234	2235
	MUESTRA No	1863	1864
DATOS	TOMADA DE	LOSA ESTABILIZADORA	
	PROPORCIONAMIENTO: No.	f_c (Kg/cm ²)	190
		REV. PROYECTO, cm	10x2
		CEMENTO, MARCA Y TIPO	
PREVIOS	DE FECHA:	CONSUMO CEMENTO	
	ADICIONANTE MARCA Y TIPO:	CANTIDAD PROJ.	
DATOS DE LA OBRA	CEMENTO	MARCA Y TIPO	PREMEZCLADO
		CONSUMO	
	ADICIONANTE, MARCA Y TIPO:	CANTIDAD USADA	NINGUNA
		FINALIDAD	
LA	EQUIPO DE MEZCLADO Y SU CAPACIDAD	C. REVOLVEDOR	
	TIPO DE VIBRADOR UTILIZADO	REGLEADO	
OBRA	AGUA, CONSUMO POR SACO		
	REVENIMIENTO, cm.	12.0	12.0
DATOS DEL ESPÉCIMEN	DIÁMETRO, cm.	15.0	15.1
	SECCIÓN, cm ²	177	179
DEL	FECHA DE COLADO	15-12-93	
	FECHA DE RUPTURA	22-12-93	
DATOS DEL ENSAYE	EDAD, días	7	7
	TIPO DE PRUEBA	COMPRESIÓN AXIAL	
DEL	PROCEDIMIENTO DE CURADO	INMERSIÓN TOTAL EN AGUA	
	CARGA DE RUPTURA, Kg	20600	21800
ENSAYE	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	116	122
	% DE LA RESISTENCIA DEL PROYECTO	77	80

Tabla 6.3 Ensayes para concreto hidráulico

OBRA: <u>LOSA ESTABILIZADORA</u>	ENSAYE No. <u>2028/2029</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN-TEXCOCO KM. 2+800</u>	FECHA DE RECIBO: <u>13-11-93</u>
	FECHA DE INF: <u>23-12-93</u>

IDENTIFICACIÓN	ENSAYE No	2028	2029
	MUESTRA No	1689	1690
	TOMADA DE	LOSA ESTABILIZADORA	
DATOS	PROPORCIONAMIENTO:	Fe (Kg/cm ³)	
	No.	150	
PREVIOS	REV. PROYECTO, cm	10.0+2	
	CEMENTO, MARCA Y TIPO		
	DE FECHA:	CONSUMO CEMENTO	
ADICIONANTE MARCA Y TIPO:	CANTIDAD PROY.		
	FINALIDAD		
DATOS	CEMENTO	MARCA Y TIPO	
		PREMEZCLADO	
DE	ADICIONANTE, MARCA Y TIPO:	CONSUMO	
		NINGUNA	
LA	EQUIPO DE MEZCLADO Y SU CAPACIDAD	C. REVOLVEDOR	
	TIPO DE VIBRADOR UTILIZADO	REGLEADO	
OBRA	AGUA, CONSUMO POR SACO		
	REVENIMIENTO, cm.	11.0	11.0
DATOS	DIÁMETRO, cm.	15.0	15.1
	SECCIÓN, cm ²	177	179
DEL ESPÉCIMEN	FECHA DE COLADO	13-11-93	
	FECHA DE RUPTURA	11-129-23	
	EDAD, DÍAS	28	28
DATOS	TIPO DE PRUEBA	COMPRESIÓN AXIAL	
	PROCEDIMIENTO DE CURADO	INMERSIÓN TOTAL EN AGUA	
DEL ENSAYE	CARGA DE RUPTURA, Kg	26200	26800
	RESISTENCIA (Kg/cm ²)	148	149
	% DE LA RESISTENCIA DEL PROYECTO	99	100

Tabla 6.4 Ensayes para concreto hidráulico

Si se observa el revenimiento de proyecto es de 10.0 ± 2 cm, y el obtenido en cada una de las muestras va de 10 a 12 cm. por lo cual se puede decir que el revenimiento cumple satisfactoriamente con las especificaciones del proyecto.

El proyecto indica una resistencia del concreto de 150 kg/cm^2 , teniendo en los resultados de las pruebas a 28 días una resistencia del orden de 148 kg/cm^2 y a 7 días al rededor del 70% de la resistencia marcada en el proyecto.

Se puede concluir que la losa cumple con las especificaciones recomendadas, para su óptimo desempeño.

C.- SUBBASE

Las pruebas que se realizan a la subbase son granulometría, límites de consistencia, VRS, equivalente de arena y compactación.

Los resultados obtenidos de las pruebas deben cumplir con las especificaciones de SCT, comprendidas en el capítulo 4.01.03.009, del libro 4, de las "Normas de calidad de los materiales".

En las tablas 6.5, 6.6, 6.7, 6.8 y 6.9 se presentan los resultados para los materiales ensayados en laboratorio para subbase, las pruebas fueron realizadas para las zonas ampliadas en el cuerpo existente y para el cuerpo nuevo.

OBRA: <u>AUTOPISTA PEÑÓN-TEXCOCO</u>	DIRECTOR: _____
UBICACIÓN: <u>CUERPO EXISTENTE</u>	CONSTRUCTORA: <u>TRIBASA</u>
ENSAYE No: <u>1095</u>	PROCEDENCIA: <u>1-500-2-000</u>
MUESTRA No: <u>1</u>	MUESTREADA EN: <u>LUGAR</u>
FECHA DE MUESTREO: <u>21-10-93</u>	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: <u>SUBBASE</u>
CALIDAD DE TRAZO	

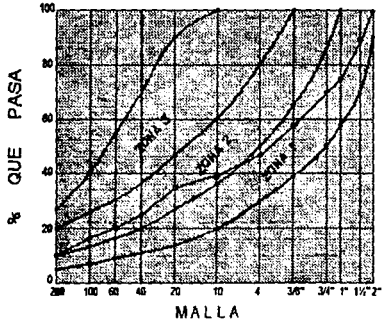
Peso vol. suelto (Kg/m ³): 1183 . Peso vol. máx. (Kg/m ³): 1560 . Humedad óptima %: 15.4 . % QUE PASA MALLA: • 2" 100 . • 1 1/2" 90 . • 1" 75 . • 3/4" 70 . • 3/8" 57 . • NUM. 4 47 . • " 10 39 . • " 20 34 . • " 40 25 . • " 60 20 . • " 100 15 . • " 200 10 . % Desperdicio de la muestra: 4.9 V.R.S. (estándar), %: 131.7 . % Expansión: 0.0 . Valor cementante 5.7	GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA 
PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO PAR MALLA No. 40	
Absorción: 13.7 . Densidad: 1.66 . Índice plástico: <u>N.P.</u>	Límite líquido: <u>21.1</u> . Límite plástico: _____ . Equiv. humedad campo: _____ . Contracción lineal: <u>0.40</u> .
Peso vol. en el lugar: _____ Humedad en el lugar: _____ Grado de compactación: _____ Equivalente de Arena (%) = <u>37.1</u>	Clasificación petrográfica: <u>SM</u>

Tabla 6.5 Ensayes de materiales para subbase

OBRA: <u>AUTOPISTA PEÑÓN-TEXCOCO</u>	DIRECTOR: _____
UBICACIÓN: <u>CUERPO NUEVO</u>	CONSTRUCTORA: <u>TRIBASA</u>
ENSAYE No.: <u>1241</u>	PROCEDENCIA: <u>1+500 - 2+000</u>
MUESTRA No.: <u>1</u>	MUESTREADA EN: <u>LUGAR</u>
FECHA DE MUESTREO: <u>06-11-93</u>	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: <u>SUBBASE</u>
CALIDAD DE TRAZO	

<p>Peso vol. suelto (Kg/m^3): 1145 .</p> <p>Peso vol. máx. (Kg/m^3): 1560 .</p> <p>Humedad óptima: 17.4 .</p> <p>% QUE PASA MALLA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2" 100 . • 1 1/2" 96 . • 1" 88 . • 3/4" 83 . • 3/8" 71 . • NUM: 4 59 . • " 10 50 . • " 20 42 . • " 40 31 . • " 60 25 . • " 100 20 . • " 200 13 . <p>% Desperdicio de la muestra: 5.2</p> <p>V.R.S. (estándar), %: 118.2 .</p> <p>% Expansión: 0.0 .</p> <p>Valor cementante 6.5 .</p>	<p>GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA</p>	
<p>PRUEBAS EN MAT. MAYOR A 3/8" PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO PAR MALLA No. 40</p>		
<p>Absorción: 13.5 .</p> <p>Densidad: 1.67 .</p>	<p>Límite líquido: <u>22.35</u></p> <p>Límite plástico: _____</p> <p>Índice plástico: <u>N.P.</u></p>	<p>Equiv. humedad campo: _____</p> <p>Contracción lineal: <u>1.6</u></p>
<p>Peso vol. en el lugar: _____</p> <p>Humedad en el lugar: _____</p> <p>Grado de compactación: _____</p> <p>Equivalente de Arena (%) = <u>29.1</u></p>	<p>Clasificación petrográfica: <u>SM</u></p>	

Tabla 6.6 Ensayes de materiales para subbase

OBRA: <u>AUTOPISTA PERÓN-TEXCOCO</u>	DIRECTOR: _____
UBICACIÓN: <u>CUERPO NUEVO</u>	CONSTRUCTORA: <u>TRIBASA</u>
ENSAYE No.: <u>1338</u>	PROCEDENCIA: <u>KM 0+000 - 0+500</u>
MUESTRA No.: <u>1</u>	MUESTREADA EN: <u>LUGAR</u>
FECHA DE MUESTREO: <u>29-11-93</u>	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: <u>SUBBASE</u>

CALIDAD DE TRAZO

<p>Peso vol. suelto (Kg/m^3): 1217</p> <p>Peso vol. máx. (Kg/m^3): 1573</p> <p>Humedad óptima %: 17.3</p> <p>% QUE PASA MALLA:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2" 100 • 1 1/2" 98 • 1" 86 • 3/4" 82 • 3/8" 72 • NUM: 4 62 • " 10 56 • " 20 50 • " 40 39 • " 60 33 • " 100 27 • " 200 20 <p>% Desperdicio de la muestra: 0.0</p> <p>V.R.S. (estándar), %: 105.3</p> <p>% Expansión: 0.0</p> <p>Valor cementante: 7.3</p>	<p>GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA</p> <p style="text-align: center;">MALLA</p>
PRUEBAS EN MAT. MAYOR A 3/8"	
<p>Absorción: 13.75</p> <p>Densidad: 1.70</p>	<p style="text-align: center;">PRUEBAS SOBRE MATERIAL TAMIZADO PAR MALLA No. 40</p> <p>Límite líquido: <u>22.36</u></p> <p>Límite plástico: _____</p> <p>Índice plástico: <u>N.P.</u></p>
<p>Peso vol. en el lugar: _____</p> <p>Humedad en el lugar: _____</p> <p>Grado de compactación: _____</p>	<p>Equiv. humedad campo: _____</p> <p>Contracción lineal: <u>1.0</u></p> <p>Clasificación petrográfica: <u>SM</u></p>
<p>Equivalente de Arena (%)= 326</p>	

Tabla 6.7 Ensayos de materiales para subbase

OBRA: <u>AUTOPISTA PEÑÓN-TEXCOCO</u>	ENSAYE No: <u>1265/1272</u>
LOCALIZACIÓN: <u>CUERPO NUEVO KM 1+920 - 2+120</u>	FECHA DE RECIBO: <u>09-11-93</u>
	FECHA DE INFORME: <u>19-11-93</u>

REPORTE DE CAMPO No: _____	COMPACTACIÓN
GRADO DE COMPACTACIÓN MÍNIMO ESPECIFICADO PARA LA CAPA ENSAYADA: <u>90%</u>	
ESPESOR DE PROYECTO ORIGINAL: <u>20 cm</u> ; ESPESOR AJUSTADO QUE SE ORDENO CONSTRUIR:	
MOTIVO DEL AJUSTE DEL ESPESOR:	

ENSAYE No	ESTACIÓN	LADO	ESPESOR DE LA CAPA ENSAYADA	HUMEDAD		PESO ESPECÍFICO SECO		% DE COMPACTA- CIÓN
				DEL LUGAR	OPTIMA	DEL LUGAR	MÁXIMO	
1265	1+920	D	23	17.0	17.4	1541	1560	98.8
1266	1+980	I	24	16.6	17.4	1529	1560	98.0
1267	2+000	C	22	17.2	17.4	1500	1560	98.1
1268	2+020	D	23	15.4	16.0	1503	1544	97.3
1269	2+060	I	21	15.9	16.0	1522	1544	98.5
1270	2+100	C	23	15.6	16.0	1496	1544	97.0
1271	2+120	D	20	15.5	16.0	1487	1544	96.3
1272	2+180	I	21	15.8	16.0	1536	1544	99.4

Tabla 6.8 Reporte de compactación y espesores de subbase

OBRA: <u>AUTOPISTA PEÑÓN-TEXCOCO</u>	ENSAYE No: <u>1192/1203</u>
LOCALIZACIÓN: <u>CUERPO EXISTENTE KM 2+100 - 3+200</u>	FECHA DE RECIBO: <u>30-10-93</u>
FECHA DE INFORME: <u>09-11-93</u>	

REPORTE DE CAMPO No: _____ COMPACTACIÓN GRADO DE COMPACTACIÓN MÍNIMO ESPECIFICADO PARA LA CAPA ENSAYADA: <u>90%</u> ESPESOR DE PROYECTO ORIGINAL: <u>20 cm</u> , ESPESOR AJUSTADO QUE SE ORDENO CONSTRUIR: MOTIVO DEL AJUSTE DEL ESPESOR:
--

ENSAYE No	ESTACIÓN	LADO	ESPESOR DE LA CAPA ENSAYADA	HUMEDAD %		PESO ESPECÍFICO SECO kg/m ³		% DE COMPACTA- CIÓN
				DEL LUGAR	OPTIMA	DEL LUGAR	MÁXIMO	
1192	2+100	C	21.0	13.8	14.8	1467	1571	93.4
1193	2+200	C	22.0	13.4	14.8	1445	1571	92.0
1194	2+300	C	20.00	13.2	14.8	1499	1571	95.4
1195	2+400	C	21.0	13.5	14.8	1516	1571	96.5
1196	2+500	C	21.0	13.2	13.7	1483	1568	93.4
1197	2+600	C	22.0	13.0	13.7	1528	1568	96.2
1198	2+700	C	21.0	13.4	13.7	1521	1568	95.8
1199	2+800	C	22.0	13.4	13.7	1501	1568	94.5
1200	2+900	C	21.0	13.0	13.7	1512	1568	95.2
1201	3+000	C	20.0	13.4	14.7	1471	1548	95.0
1202	3+100	C	20.0	13.6	14.7	1460	1548	94.3
1203	3+200	C	20.0	13.5	14.7	1416	1548	91.5

Tabla 6.9 Reporte de compactación y espesores de subbase

Al comparar los valores obtenidos de la granulometría con los que especifica la SCT se puede observar que cumple con ellos, ya que estos se encuentran dentro de las zonas granulométricas 1 y 3.

A continuación se presentan las especificaciones para límites de consistencia, VRS, equivalente de arena y compactación, entre otros, marcados por la SCT:

CARACTERÍSTICAS	VALOR
Tamaño máximo(mm.)	51
% menor malla No. 200	25 Máx.
Límite líquido (%)	25 Máx.
Índice plástico (%)	10 Máx.
Equivalente de arena (%)	20 Mfn.
Compactación (%)	90 Mfn.
VRS (%)	50 Mfn.

Analizando cada uno de los resultados de las pruebas con los valores anteriormente mostrados, se puede observar que cada uno cumple con las especificaciones marcadas, por lo cual se puede concluir que los materiales son los apropiados para su empleo en subbase y que el proceso con que se colocaron fue el adecuado.

D.- BASE ASFÁLTICA

Las pruebas realizadas a la base asfáltica se dividen en pruebas de campo y de laboratorio. En las primeras se mide las temperaturas de tendido y compactación, así como la temperatura al salir de la planta.

Las pruebas realizadas en laboratorio son para obtener la composición granulométrica y las características del espécimen como peso específico, estabilidad, porcentaje de vacíos y porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VAM).

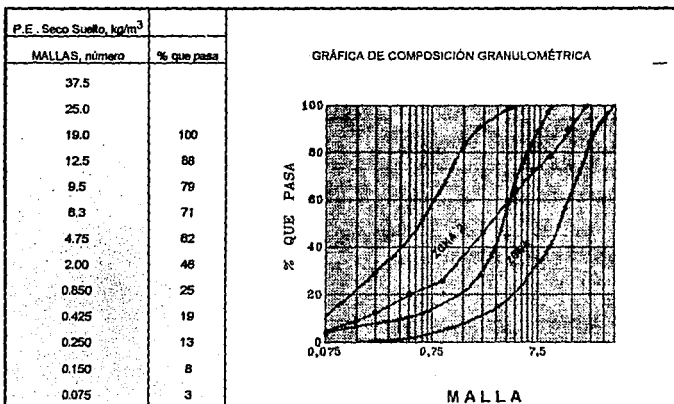
Los resultados obtenidos deben cumplir con las especificaciones de la SCT, comprendidas en las Normas de calidad de los materiales, libro 4, capítulo 4.01.03.009, sección 009-C.10.

En las tablas 6.10, 6.11, 6.12, 6.13, 6.14 y 6.15 se presentan los resultados obtenidos para la base asfáltica, tanto para el cuerpo nuevo, como para el existente.

OBRA: PEÑÓN-TEXCOCO ENSAYE No: 7197
 LOCALIZACIÓN: CUERPO NUEVO FECHA DE RECIBO: 02-12-93
 FECHA DE INF: 27-12-93

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: BASE ASFÁLTICA
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: NINGUNO
 CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: _____
 UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MAT. PÉTREO: PLANTA TRIBASA

VIAJE No: 407ACI TENDIDO EN Km. 0+003 A Km. 0+024 CARRIL CPO DER FRANJA CEN
 TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA 135 °C. EN EL TENDIDO 130 °C, AL INICIAR LA COMPACTACIÓN 100 °C



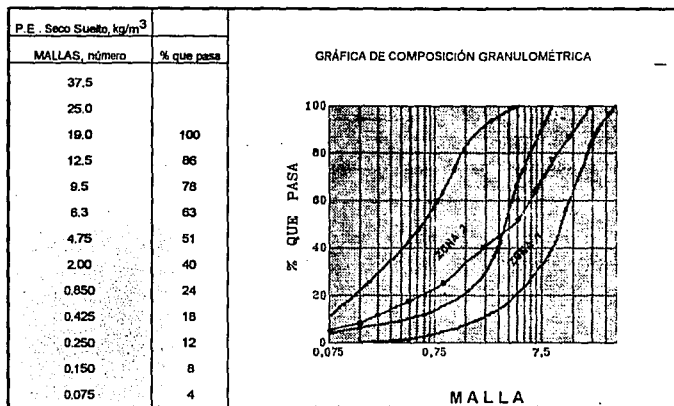
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Contenido de Asfalto	8.2		P.E. kg/m ³	2230		Tipo:	
Marca			Estabilidad, kg	924	700 MÍN.	Penetración:	94
Tipo			Flujo, mm.	2.9	2-4	Viscosidad:	97
Cantidad %			Vacios, %	3.6	3-8	Temp. Recom.:	
			V.A.M., %	17.1	13 MÍN.	Temp de Aplic.:	153

Tabla 6.10 Ensayo de materiales para base asfáltica

OBRA: <u>PERÓN-TEXCOCO</u>	ENSAYE No: <u>7191</u>
LOCALIZACIÓN: <u>CUERPO NUEVO</u>	FECHA DE RECIBO: <u>22-11-93</u>
	FECHA DE INF: <u>12-12-93</u>

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: <u>BASE ASFÁLTICA</u>
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>NINGUNO</u>
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: _____
UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MAT. PÉTREO: <u>PLANTA TRIBASA</u>

VIAJE No: <u>021A14</u> TENDIDO EN Km. <u>1+395</u> A Km. <u>1+364</u> CARRIL <u>CPO DER</u> FRANJA <u>CEN</u>
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA <u>140</u> °C, EN EL TENDIDO <u>133</u> °C, AL INICIAR LA COMPACTACIÓN <u>105</u> °C



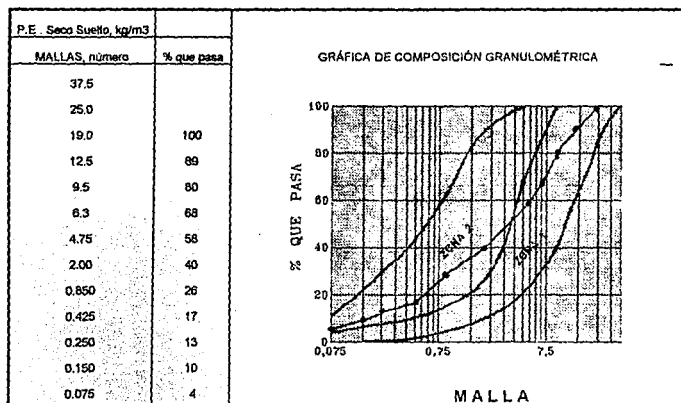
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÍCIMEN		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Contenido de Asfalto	5.0		P.E. kg/m ³	2218		Tipo	
Marca			Estabilidad, kg	941	700 MIN.	Penetración: 89	
Tipo			Flujo, mm.	3.6	2-4	Viscosidad: 97	
Cantidad %			Vacíos, %	3.4	3-8	Temp. Recom.:	
			V.A.M. %	16.8	13 MIN.	Temp de Aplc.: 146	

Tabla 6.11 Ensayo de materiales para base asfáltica

OBRA: <u>PERÓN-TEXCOCO</u>	ENSAYE No: <u>7193</u>
LOCALIZACIÓN: <u>CUERPO NUEVO</u>	FECHA DE RECIBO: <u>23-11-93</u>
	FECHA DE INF: <u>21-12-93</u>

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: <u>BASE ASFÁLTICA</u>
TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: <u>NINGUNO</u>
CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: _____
UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MAT. PÉTREO: <u>PLANTA TRIBASA</u>

VIAJE No: <u>6697</u> TENDIDO EN Km. <u>2+000</u> A Km. <u>2+025</u> CARRIL <u>CPO.DER</u> FRANJA <u>DER</u>
TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA <u>125</u> °C, EN EL TENDIDO <u>115</u> °C, AL INICIAR LA COMPACTACIÓN <u>100</u> °C



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Contenido de Asfalto	6.5		P.E. kg/m ³	2214		Tipo	
Marca			Estabilidad, kg	927	700 Mlt.	Penetración:	56
Tipo			Flujo, mm.	3.6	2-4	Viscosidad:	101
Cantidad %			Vacos, %	3.0	3-8	Temp. Recom.	
			V.A.M. %	16.6	13 Mln.	Temp de Aplic.	134

Tabla 6.12 Ensayo de materiales para base asfáltica

OBRA: BASE ASFÁLTICA, 2ª CAPA	ENSAYE No: 6707/6720
LOCALIZACIÓN: AUT. PEÑÓN-TEXCOCO	FECHA: 12-12-93

ENSAYE	KILÓMETRO	% COMPACT.	% CONT. ASFALTO
6707	1+280	102.1	5.4
6708	1+300	101.3	6.0
6709	1+320	100.4	5.2
6710	1+480	101.6	5.6
6711	1+500	102.4	6.0
6712	1+880	100.9	5.7
6713	1+700	101.8	5.4
6714	1+720	100.0	5.1
6715	1+880	99.2	5.0
6716	1+900	101.4	5.3
6717	1+920	97.4	5.4
6718	2+080	99.2	5.6
6719	2+100	103.4	4.8
6720	2+120	102.5	4.9

Tabla 6.13 Reporte de compactación de base asfáltica

OBRA: <u>BASE ASFÁLTICA 2ª CAPA</u>	ENSAYE No: <u>6721/6729</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN-TEXCOCO</u>	FECHA: <u>13-12-83</u>

ENSAYE	KILÓMETRO	% COMPACT.	% CONT. ASFALTO
6721	2+480	103.4	5.6
6722	2+500	101.6	5.0
6723	2+520	103.1	4.9
6724	2+680	100.6	5.4
6725	2+700	100.0	5.8
6726	2+720	99.2	5.1
6727	2+880	96.1	5.9
6728	2+900	101.4	4.8
6729	2+920	102.6	4.9

Tabla 6.14 Reporte de compactación de base asfáltica

OBRA: <u>BASE ASFÁLTICA 2ª CAPA</u>	ENSAYE No: <u>6736/6748</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN-TEXCOCO</u>	FECHA: <u>01-12-83</u>

ENSAYE	KILÓMETRO	% COMPACT.	% CONT. ASFALTO
6737	0+380	103.1	5.4
6738	0+400	101.6	5.4
6739	0+420	101.6	5.5
6740	0+580	102.1	5.4
6741	0+600	100.3	6.2
6742	0+820	103.0	4.8
6743	0+780	101.6	5.3
6744	0+800	101.6	5.6
6745	0+820	100.6	5.6
6746	0+860	102.3	5.7
6747	1+000	100.5	5.2
6748	1+020	100.7	5.9

Tabla 6.16 Reporte de compactación de base asfáltica

Las normas establecen que la curva granulométrica del material debe quedar entre el límite superior de la zona 1 y el límite inferior de la zona 2, teniendo una forma semejante a las que limitan las zonas, y como se puede observar, los resultados correspondientes a la composición granulométrica cumplen con estas características.

Para las temperaturas de tendido y compactado del material, la SCT indica que se realice a 110°C como mínimo el tendido y a 90°C como mínimo al inicio de la compactación, debiéndose terminar el compactado a una temperatura mínima de 70°C, y con un grado de compactación del 95%. En los resultados de las pruebas presentadas anteriormente, se puede observar que se cumple con estas especificaciones.

Al comparar los resultados obtenidos de las características de los especímenes con las especificaciones, se observa que estos cumplen con ellas.

Se puede concluir que los materiales empleados para la base asfáltica cumplen con las especificaciones correspondientes, así como el proceso constructivo es el correcto.

E.- CARPETA ASFÁLTICA

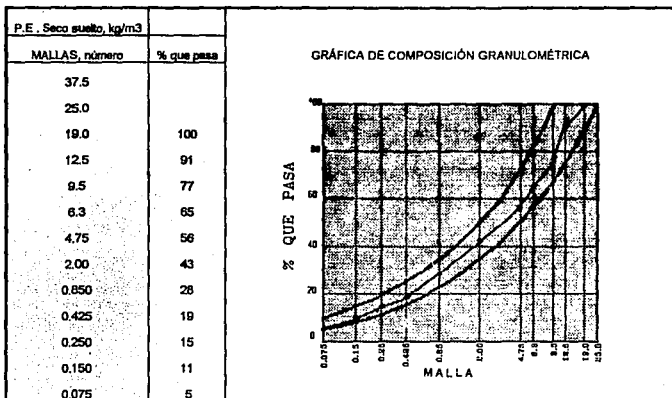
Al ser la base y la carpeta mezclas asfálticas, las pruebas a las que se someten son similares, teniendo como principal diferencia la composición granulométrica.

Los resultados deben cumplir con las especificaciones SCT en la sección 010-C.01, capítulo 4.01.03.010, de las normas de calidad de los materiales y se presentan en las tablas 6.16, 6.17, 6.18 y 6.19.

OBRA: PEÑÓN-TEXCOCO ENSAYE No. 6297
 LOCALIZACIÓN: CUERPO NUEVO FECHA DE RECIBO: 26-10-93
 FECHA DE INF: 02-12-93

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: CARPETA ASFÁLTICA
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: NINGUNO
 CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: TOLVA EXTENDEDORA
 UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MAT. PÉTREO: PLANTA TRIBASA

VIAJE No. 984454 TENDIDO EN Km. 2+721 A Km. 2+756 CARRIL INTERIOR FRANJA IZQ.
 TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA 141 °C, EN EL TENDIDO 130 °C, AL INICIAR LA COMPACTACIÓN 84 °C



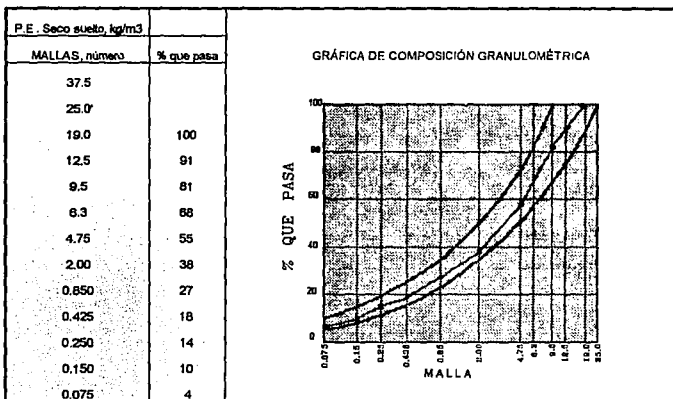
CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Contenido de Asfalto	5.5		P.E. Kg/m ³	2231		Tipo	
Marca			Estabilidad, Kg	969	700 MÍN.	Penetración:	86
Tipo			Flujo, mm.	3.2	2-4	Viscosidad:	89
Cantidad %			Vacios, %	3.1	3-6	Temp. Recom.	
			V.A.M, %	18.0	13 MÍN.	Temp de Aplic.:	142

Tabla 6.16 Ensayo de materiales para carpeta asfáltica

OBRA: PERÓN-TEXCOCO ENSAYE No: 6389
 LOCALIZACIÓN: CUERPO NUEVO FECHA DE RECIBO: 27-10-93
 FECHA DE INF: 02-12-93

DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL: CARPETA ASFÁLTICA
 TRATAMIENTO PREVIO AL MUESTREO: NINGUNO
 CLASE DE DEPÓSITO MUESTREADO: TOLVA EXTENDEDORA
 UBICACIÓN DEL BANCO DONDE PROCEDE EL MAT. PÉTREO: PLANTA TRIBASA

VIAJE No: KL13334 TENDIDO EN Km. 1+951 A Km. 1+984 CARRIL EXTERIOR FRANJA DER
 TEMP. DE LA MEZCLA AL SALIR DE LA PLANTA 125 °C, EN EL TENDIDO 115 °C, AL INICIAR LA COMPACTACIÓN 90 °C



CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA		DEL PROYECTO	CARACTERÍSTICAS DEL ESPÉCIMEN		ESPECIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL ASFALTO	
Contenido de Asfalto	4.8		P.E. kg/m ³	2219		Tipo	
Marca			Estabilidad, kg	972	700 MÍN.	Penetración:	94
Tipo			Flujo, mm	3.4	2-4	Viscosidad:	103
Cantidad %			Vacios, %	3.1	3-6	Temp. Recom.:	
			V.A.M., %	18.2	13 MÍN.	Temp de Aplic.:	146

Tabla 6.17 Ensayo de materiales para carpeta asfáltica

OBRA: <u>CARPETA ASFÁLTICA</u>	ENSAYE No: <u>6755/6768</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN- TEXCOCO</u>	FECHA: <u>01-12-93</u>

ENSAYE	KILÓMETRO	% COMPACT.	% CONT. ASFALTO
6755	1+280	101.4	6.4
6756	1+300	103.3	6.0
6757	1+320	101.5	5.1
6758	1+480	103.6	5.3
6759	1+500	104.5	6.0
6760	1+520	102.5	5.8
6761	1+680	98.1	5.5
6762	1+700	102.3	6.7
6763	1+720	100.1	5.8
6764	1+880	130.2	6.1
6765	1+900	100.9	6.4
6766	1+820	96.8	6.3
6767	2+080	101.7	5.6
6768	2+100	99.8	6.8

Tabla 6.18 Reporte de compactación para carpeta asfáltica

OBRA: <u>CARPETA ASFÁLTICA</u>	ENSAYE No: <u>6769/6784</u>
LOCALIZACIÓN: <u>AUT. PEÑÓN- TEXCOCO</u>	FECHA: <u>02-12-93</u>

ENSAYE	KILÓMETRO	% COMPACT.	% CONT. ASFALTO
6769	2+480	103.6	6.0
6770	2+500	104.5	5.8
6771	2+520	100.0	5.9
6772	2+680	100.9	6.2
6773	2+700	102.0	6.3
6774	2+720	100.8	5.9
6775	2+880	102.2	4.9
6776	2+900	103.0	6.7
6777	2+920	100.7	5.7

Tabla 6.19 Reporte de compactación para carpeta asfáltica

Según las Normas de la SCT, la granulometría del material pétreo deberá quedar comprendida entre las curvas marcadas en las tablas 6.16 y 6.17; comparando los resultados se concluye que, el material cumple con la especificación de la Secretaría.

En las especificaciones de la SCT se pide que el grado de compactación de la carpeta sea del 95% mínimo de su peso volumétrico máximo, en los ensayos realizados a las muestras de la carpeta asfáltica se puede observar que cumplen con ésta especificación; así mismo se cumple con las especificaciones de temperaturas de tendido de la mezcla y compactación mayores a 110 y 90°C respectivamente.

En términos generales se puede apreciar durante todo el desarrollo de este capítulo que, tanto los materiales como los procedimientos de construcción fueron satisfactorios, lo que influirá en el buen desempeño de la autopista.

CONCLUSIONES

PRIMERA:

La autopista Peñón - Texcoco plantea una solución a las demandas de comunicación que actualmente se presentan en esta zona.

SEGUNDA:

Su trazo en línea recta permite una mayor seguridad al usuario, así como un menor tiempo de recorrido.

TERCERA:

La integración a la autopista del cuerpo existente a cargo de la SARH, genera un menor tiempo de ejecución de la obra y también permite un menor costo de construcción.

CUARTA:

Aunque la autopista se construyó en una zona de recuperación ecológica el impacto ambiental que se generará durante la construcción y operación de la autopista será mínimo.

QUINTA:

El suelo en la zona de estudio de este trabajo está compuesto principalmente por arcillas de alta compresibilidad, por lo que sin la debida cimentación los asentamientos generados, principalmente los diferenciales, hubiesen obligado a un mantenimiento muy costoso por concepto de renivelaciones.

SEXTA:

El método más eficaz para reducir los asentamientos diferenciales es el uso de una losa de concreto colocada entre una plantilla con características de subrasante y la subbase hidráulica. Su función es rigidizar la base de la estructura y distribuir, tanto los esfuerzos provocados por la estructura misma, como el de las cargas vivas, convirtiéndolas en carga uniformemente repartida, lo que genera que la autopista presente asentamientos uniformes en lugar de los diferenciales.

SÉPTIMA:

El inconveniente del uso de la losa es que, debido a ella la estructura se vuelve más pesada, lo que generará un asentamiento total mayor que si no la tuviera.

OCTAVA:

Diseñar el pavimento siguiendo el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM permite tener valores correspondientes al tipo de estructura más adecuada para nuestro país.

NOVENA:

Siendo que la autopista consta de un cuerpo nuevo y uno existente, podría inferirse que este último tendrá los mayores problemas de asentamiento debido a que aparentemente no cuenta con un sistema adecuado de cimentación, pero la realidad es que este cuerpo se ha estado asentando desde su construcción y al haber sido ya transitado, por lo que el suelo debajo de él se ha consolidado a lo largo del tiempo, es por esto que su asentamiento a partir de su renivelación será menor que el del cuerpo nuevo.

DÉCIMA:

Las pruebas de laboratorio durante la construcción de la obra arrojaron resultados satisfactorios de acuerdo con lo que estipula la SCT, tanto para los materiales como para los procesos constructivos, lo que hace suponer que no debe presentar problemas de mantenimiento durante su vida de servicio.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- BARBER - GREEN COMPANY: *Manual de construcción bituminosa*, trad. por International Language & Communication Center, Chicago, s/ed., 1963.
- 2.- BIODesarrollo Y PROTECCIÓN AMBIENTAL S.A.: *Manifiesto de impacto ambiental; modalidad general, autopista Peñón - Texcoco*, México, 1993.
- 3.- CORRO C, Santiago y PRADO O, Guillermo: *Diseño estructural de carreteras con pavimento flexible*, 325 Instituto de Ingeniería, U.N.A.M., México, 1974.
- 4.- CORRO C, Santiago; PRADO O, Guillermo; y MAGALLANES N, Roberto: *Instructivo para el diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras*, S.A.H.O.P., México, 1980.
- 5.- JUÁREZ B, Eulalio y RICO R, Alfonso: *Mecánica de suelos*, 3ª ed., México, Limusa, 1990, 2 t.
- 6.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas de servicios técnicos; Proyecto geométrico, Carrateras*, 2.01.01, S.C.T., México, 1984.
- 7.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas para construcción e instalaciones; Carrateras y aeropistas, Terracerías*, 3.01.01, S.C.T., México, 1984.
- 8.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas de calidad de los materiales; Carrateras y aeropistas, Materiales para terracerías*, 4.01.01, S.C.T., México, 1986.
- 9.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas para construcción e instalaciones; Carrateras y aeropistas, Pavimentos*, 3.01.03, S.C.T., México, 1983.
- 10.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas; Carrateras y aeropistas, Materiales para terracerías*, 6.01.01, S.C.T., México, 1986.
- 11.- MÉXICO, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES: *Normas para muestreo y pruebas de materiales, equipos y sistemas; Carrateras y aeropistas, Pavimentos (III)*, 6.01.03, S.C.T., México, 1991, 2 t.
- 12.- MÉXICO, SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS: *Manual de proyecto geométrico de carreteras*, 1ª ed., México, 1976.
- 13.- MONCAYO V, Jesús: *Manual de pavimentos; asfalto, adoquín, empedrado y concreto*, México, Cía. Editorial Continental, S.A., s/f.
- 14.- OLIVERA BUSTAMANTE, Fernando: *Estructuración de vías terrestres*, 1ª ed., México, Cía. Editorial Continental, S.A., 1991.

- 15.- RICO R, Alfonso y CASTILLO, Hermito de: *La ingeniería de suelos en las vías terrestres*, 2 t.
- 16.- SÁNCHEZ ROSADO, Domingo: *Materiales asfálticos utilizados en pavimentación*, México, Dirección General de Servicios Técnicos, S.C.T., 1987.