



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE PAVIMENTO DE CONCRETO  
ASFALTICO: ACCESO AL AICM**

**T E S I S**  
**PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**P R E S E N T A:**

**ALBERTO MANUEL PATEYRO MARTÍNEZ**

**ASESORA:**

**M. EN I. MARÍA TERESA TAPIA GARCÍA**

**NEZAHUALCÓYOTL, ESTADO DE MÉXICO  
FEBRERO 2022**





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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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

---

Dedico este agradecimiento, a mi familia, amigos, conocidos, compañeros que si no fuera por ustedes no llegaría hasta donde estoy y a los que confiaron en mi estaré eternamente agradecido porque me seguían apoyando que sabían y visualizaban lo que yo no pude ver y que ese error me costó tiempo y vida, por lo que llene de esta misma de miedos, dudas, desesperos y por lo tanto decidías.

A mi padre Alberto Pateyro Palacios.

Agradezco que estés ahí para mí y para mis hermanos, que sin tu guía estaría perdido en este camino cruel que solo depara infortunios y tormentos, espero seguir mejorando en mí vida y persona para seguir adelante; quiero que seas testigo mis éxitos y fracasos y como la podre superar cada obstáculo que la vida me tiene y quiero decirte que mis sueños se están haciendo realidad, pero falta mucho por hacer y que sigas siendo mi guía

A mi madre Emma Martínez Serrano

Agradezco que siempre estuviste ahí cuando más lo necesitaba, y que siempre fuiste un apoyo, mi salvadora. Y que este dolor que sentiré por siempre y sin condición de sanar me ha llevado hasta donde estoy extrañándote cada día y que tu ausencia solo ha significado un tormento que se puede superar. Y que, aunque falte mucho tiempo para mi hora de partir o no, seguiré mostrando mi fuerza y que no voy a parar hasta lograr cumplir mis sueños.

Para mi hermana Emma Francynes Pateyro Martínez

Agradezco que estés conmigo, que a pesar de nuestro infortunio estés conmigo, que las navajas y piedras que ambos aventamos hacia nosotros mismos no significa una enemistad eterna. Y que la fragilidad de nuestra hermandad se fortalece cuando alguien se mete con nuestra familia, y estos 26 años los momentos agrisados que la pase contigo los he disfrutado y he aprendido mucho de ti y que me hayas estado acompañando en los momentos difíciles y vergonzosos, muchas gracias y estaré eternamente agradecido contigo.

Para mi hermano Cristofer Ariel Pateyro Martínez

Son muchas cosas que como hermano mayor no podre expresar, hay algunas situaciones que podre ayudarte, así como tú lo has hecho por mí, así como ustedes tres han ayudado en mi crecimiento he podido ver en ti lo que era de mí y tu evolución como persona que yo nunca tuve y desearía tener, el miedo de ser señalado y vulnerado he sabido superarlo gracias a que tú has superado esa barrera, gracias y siempre te querré por lo que, inconscientemente has ayudado en mí.

Para la nueva familia y amigos.

Gracias por creer en mí, que por más me lastimaba a mí mismo tú con ironía, confianza, deseo supiste ponerme en mi lugar y centrarme, en lo que soy y quiero ser, sigo con miedo y ver lo que me falta por hacer me aterra, pero enfrentare eso que me detiene con el poco valor, lamento llegar tarde lamento mucho pero no quiero perder tiempo. Gracias por entenderme y con entusiasmo estas ahí, y, con incertidumbre pregúntame ¿qué será de mí? Mientras resuelvo esto quiero que estés conmigo apoyándome

También disculparme por la tardanza, no seré el mejor como persona, amigo, profesionista, o la relación que tenga contigo estoy eternamente agradecido.

---

Indice de Figuras.....	VI
Indice de Tablas.....	VII
<b>CAPITULO I</b>	
<b>OBSERVACIÓN DEL SUBSUELO .....</b>	<b>3</b>
GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.....	4
ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO.....	5
TRABAJOS DE EXPLORACIÓN EN CAMPO.....	6
TRABAJOS DE LABORATORIO.....	11
CONDICIONES DE ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO.....	11
<b>ESTRUCTURA Y DISEÑO DEL PAVIMENTO.....</b>	<b>14</b>
ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO.....	15
CRITERIO DE DISEÑO Y RESULTADOS.....	16
DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....	17
PROCESO FINAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	22
<b>ANÁLISIS GEOTÉCNICOS.....</b>	<b>23</b>
CARGAS DE CIMENTACIÓN DEL TERRAPLÉN.....	24
ANÁLISIS DE DEFORMACIONES.....	24
INSTRUMENTACIÓN PARA ASENTAMIENTOS.....	28
<b>RECOMENDACIONES GENERALES DE PROCESO CONSTRUCTIVO .....</b>	<b>35</b>
TRAZO Y NIVELACIÓN.....	36
EXCAVACIÓN EN CAJA.....	37
COLOCACIÓN DEL GEOTEXTIL (GT2).....	37
COLOCACIÓN DE LA PLANTILLA (PL) Y GEOMALLA (GM-4).....	38
COLOCACIÓN DE LA GEOMEMBRANA (GM-3).....	38
CONFORMACIÓN DEL TERRAPLÉN ESTRUCTURADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO (BP).....	38
COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL (GT1).....	39
PROCESO DE LA CAPA SUBRASANTE.....	39

---

PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.....	40
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>44</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>50</b>
EP.01 GEOTEXTIL DE POLIPROPILENO DE CALIDAD DRENANTE DE 200 g/m <sup>2</sup> 53	53
EP.02 PLANTILLA DE DESPLANTE DE LAS TERRACERÍAS .....	56
EP.03 GEOMEMBRANA DE POLIETILENO EN TERRAPLENES DE POLIESTIRENO .....	60
EP.04 CUERPO DE TERRAPLÉN, ESTRUCTURADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD.....	66
EP.05 CUERPO DE TERRAPLÉN, ESTRUCTURADO CON UNA MEZCLA DE TEZONTLE Y TEPETATE .....	69
EP.06 CAPA SUBRASANTE .....	71
EP.07 GEOMALLA TRIAXIAL DE ALTA RIGIDEZ A LA FLEXIÓN.....	72
EP.08 BASE HIDRÁULICA.....	77
EP.09 BASE DE CONCRETO ASFÁLTICO .....	78
EP.10 CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO .....	80

---

FIGURA 1. 1 Ubicación de sondeos mixtos, de cono eléctrico, pozos a cielo abierto y calas. .	4
FIGURA 1. 2 Ubicación del sitio en el mapa de zonificación geotécnica del Valle de México.	6
FIGURA 1. 3 Estructura del pavimento observada en las calas. ....	10
FIGURA 1. 4 SM-9 donde se ubica los depósitos profundos. ....	13
FIGURA 2. 1 Estructura del pavimento de la autopista. ....	19
FIGURA 2. 2 Estructura del pavimento. Sección tipo. ....	20
FIGURA 2. 3 Estructura del pavimento. ....	21
FIGURA 2. 4 Estructura del pavimento. Detalle 2. ....	21
FIGURA 3. 1 Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 0+060 y el km 1+930.	26
FIGURA 3. 2 Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 2+250 y el km 3+300.	27
FIGURA 3. 3 Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 3+600 y el km 4+810.	27
FIGURA 3. 4 Banco de nivel para control de asentamientos por nivelación superficial. ....	29
FIGURA 3. 5 Torpedo .....	30
FIGURA 3. 6 Revestimiento inclinométrico. ....	30
FIGURA 3. 7 Principio del inclinómetro. ....	31
FIGURA 3. 8 Direcciones A y B del torpedo y polaridad del ángulo de inclinación. ....	34
FIGURA 4. 1 Corte transversal de excavación. ....	37

TABLA 1. 1 Sondeos mixtos de exploración geotécnica.....	8
TABLA 1. 2 Sondeos de cono eléctrico.....	9
TABLA 1. 3 Pozo.....	9
TABLA 1. 4 Calas.....	10
TABLA 2. 1 Estimación del número y tipos de vehiculos que requieren transporte al aeropuerto.....	15
TABLA 2. 2 Distribución vehicular.....	16
TABLA 3. 1 Espesores de poliestireno.....	25

# INTRODUCCION

Este estudio se llevó a cabo mediante la exploración geotécnica para el terreno de la autopista que daría acceso a las terminales del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) a base de sondeos en campo y también de pruebas de ensayos de laboratorio. Al obtener la información necesaria que permitió realizar el análisis geotécnico del proyecto citado, corresponde al tramo normal de la vialidad sin ningún tipo de interferencia (los puentes de intersección de Conagua, ni del circuito exterior mexiquense, tampoco el de canal de río Churubusco, etc.)

Se describen los trabajos de exploración geotécnica del subsuelo ejecutados, se presentan datos sobre las muestras extraídas en los sondeos perforados y se definió la estratigrafía del sitio indicando. Con la información anterior y tomando en cuenta las características geométricas del proyecto de la vialidad, se determinó la estructuración del pavimento y la magnitud de sus asentamientos sobre el eje de la autopista.

El tramo donde se pretendía construir la autopista tenía como objetivo acceder al NAICM que se localizaba geográficamente entre las siguientes coordenadas UTM: para el kilómetro 0+000:2' 151,315.16 N; 495,847.13 E, y para el kilómetro 10+300:2' 155,032.00 N; 505,465.00 E. El kilómetro 0+060.00 se encuentra a la altura del cruce con el Periférico. Cabe señalar que en una primera etapa la autopista comprende hasta el km 7+500 con coordenadas: 2' 153,618.00 N y 501,801.00 E; la demás hasta el km 10+300 que sería la segunda etapa.

El proyecto contemplaba la construcción de seis carriles, tres en sentido al aeropuerto y tres en sentido a Periférico. El ancho de los tres carriles, en ambos sentidos, era de 10.50 m, con un acotamiento de 2.50 m, con un camellón central; la amplitud total de la vialidad era de 28.0 m, más el desarrollo de los taludes laterales.

Con la información que se contaba en ese momento de la nueva autopista, se podía observar, que el trazo inicia en el km 0+060 y continuaría con una parte en terraplén hasta el sitio de construcción de la estructura del puente que cruza en el canal del Río Churubusco, en el km

---

2+100 aproximadamente; sigue el trazo en el terraplén hasta donde inicia la rampa que accesa a la estructura del puente que se proyecta en el cruce con el Dren General del Valle ubicado en el km 3+440, donde se encuentran las estructuras del Circuito Exterior Mexiquense. Después del trazo, continua en el terraplén del km 4+480

En la siguiente figura se visualiza forma esquemática el proyecto general de la autopista hasta el km 4+840

La autopista se le proyectaron niveles de rasante con pendientes que tenían de  $-0.50\%$  y  $+0.35\%$  de acuerdo a esto la longitud del trazo tienen secciones con alturas que varían en 0.0 y 2.10 m.

En los tramos donde se proyectan los puentes las pendientes de las rasantes varían entre  $2.21\%$  y  $-2.015\%$ , definiéndose desniveles entre el terreno natural y las rasantes de hasta 7.50 m para cruzar los canales.

# **CAPITULO I**

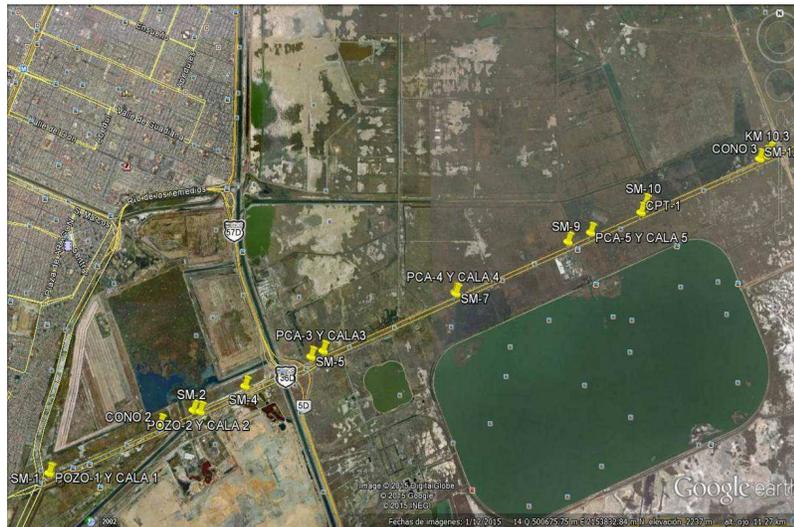
## **OBSERVACIÓN DEL SUBSUELO**

## GEOLOGÍA DE LA REGIÓN.

El Valle de México asemeja una gran presa azolvada, que está delimitada por las sierras de Pachuca, Tepotzotlán, Guadalupe, Patlachique, Tepozán hacia el norte; al sur la sierra de Chichinautzin, la Nevada al este y la sierra de las Cruces al oeste. La cual se formó con la fauna y el ecosistema del Pleistoceno y que termino la actividad volcánica en el cuaternario, por sus abundantes emisiones piroclasticas dio origen a las arcillas blandas de la Ciudad de México. Las erupciones volcánicas modificaron y cerraron los sedimentos lacustres subterráneos del lugar, por lo tanto, el clima se modificó aumentando el calor desde la última era glasear [1].:

### FIGURA 1.1

*Ubicación de sondeos mixtos, de cono eléctrico, pozos a cielo abierto y calas.*



*Nota: la ubicacion revela los sondeos realizados durante la exploración del subsuelo, google, 2017, google eath (<https://www.google.com.mx/maps/@19.4834279,-98.9699029,15z>).CC BY 2.0*

En las partes bajas de la cuenca se detectan grandes depósitos lacustres formados por las cenizas volcánicas que contienen arenas finas, piedra pómez y limos, estos yacimientos son de origen aluvial en contacto con las formaciones de tipo pétreo en la zona alta. En estas zonas hay domo dacíticos y depósitos piroclasticos con características de la sierra Chichinautzin.

Al pie de las sierras se depositan grandes cantidades de materiales aluviales de diversa composición y con estratificación lenticular, donde esta es cuando existe una alternancia de arena, indicativa de unas variaciones periódicas de la energía ambiental, la arena puede ser acumulada por las corrientes o las olas en forma de ripples que se alternan con las lutitas [2].

### **ZONIFICACIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO.**

La ciudad se divide en 3 zonas geotécnicas:

**Zona I:** de lomas, formadas por rocas o suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir, superficialmente o intercalados, depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. Es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos no controlados [3]

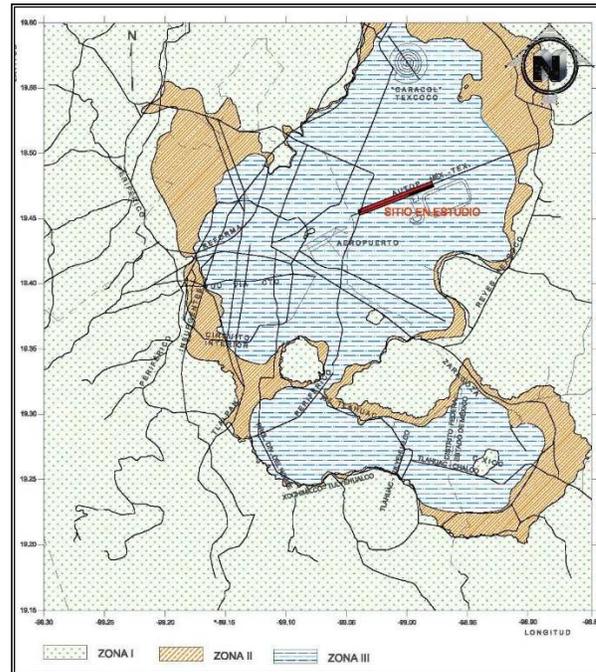
**Zona II:** de transición, los depósitos profundos se encuentran 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo-arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre, el espesor de estas es variable entre decenas de centímetros a pocos metros. [3]

**Zona III:** de lago, está se encuentra integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales. [3]

Dicho proyecto está en la zona de lago, donde el estudio establece grandes capas de arcilla de alta compresibilidad y el nivel freático esta sobre la aproximación de 0.80 m de desplante, tal y como lo confirma lo antes mencionado.

**FIGURA 1.2**

*Ubicación del sitio en el mapa de zonificación geotécnica del Valle de México.*



*Nota: Adaptado de Zonificación Geotécnica de la Ciudad De Mexico donde se muestra la ubicación del estudio, Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones [fotografía], 2004, Gaceta Oficial Del Distrito Federal. CORPORACIÓN MEXICANA DE IMPRESIÓN*

Este se debe a la consolidación de los depósitos de suelo arcilloso asociados al abatimiento del nivel freático, causado por el bombeo de los mantos acuíferos profundos y tienden a disminuir con el tiempo. En la zona se registra un hundimiento, del orden de 40.0 cm al año. estos valores son de acuerdo con las mediciones realizadas por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).

**TRABAJOS DE EXPLORACIÓN EN CAMPO.**

Para determinar el tipo de suelos se realizaron las siguientes pruebas mecánicas:

- Sondeos mixtos: sondeo de penetración estándar (SPT) Y sondeo de tubo Shelby
- Sondeo de cono eléctrico (CPT)

- Pozos a cielo abierto (PCA)
- Calas

#### **1.4.1. Sondeos Mixtos (SM)**

Esta es la combinación de la penetración estándar con la extracción aleatoria de muestras inalteradas con tubería de pared delgada de mayor diámetro, hincada a presión para no modificar sus características y así obtener un espécimen lo más parecido a como se encontraba naturalmente en el subsuelo, útil para pruebas en la cámara triaxial. [4]

Se realizaron alternando la obtención de muestras alteradas con las de tipo inalterado, las primeras mediante la técnica conocida como penetración estándar, y las segundas, mediante el hincado a presión de muestreadores de pared delgada tipo Shelby.

Los sondeos de penetración estándar se llevan a cabo siguiendo lo especificado por la norma ASTM D-1586. Durante este proceso se obtuvieron muestras alteradas del subsuelo, llevándose un registro del número de golpes necesarios para hacer penetrar dentro del suelo los últimos 30.0 cm del penetrómetro. En México se acostumbra hincar el penetrómetro una longitud de 60.0 cm, es decir, 15.0 cm adicionales. Este número de golpes, permite inferir a través de correlaciones la compacidad de los suelos granulares y/o la consistencia de los materiales finos. Las muestras inalteradas de suelo, se utilizaron muestreadores tipo Shelby, fabricados con a las dimensiones especificadas en la norma ASTM D-1587. El tubo muestreador se conecta a una cabeza roscada y ésta a su vez a la columna de barras de perforación.

Esta técnica se realiza con el propósito de suministrar especímenes inalterados al laboratorio que se determinen las características de resistencia y compresibilidad que se requieren para el diseño geotécnico. (ver Tabla 1.1)

SONDEO	Profundidad (m)
SM-1	70.60
SM-2	58.30
SM-4	55.10
SM-5	52.30
SM-7	70.60
SM-9	64.10
SM-10	61.30
SM-12	70.25

*TABLA 1. 1 Sondeos mixtos de exploración geotécnica.*

#### **1.4.2. Sondeos de Cono Eléctrico (CPT)**

Es un ensayo estandarizado que penetra el suelo a una velocidad constante y genera lecturas en tiempo real que permiten una adecuada caracterización de un perfil de suelo. [5]

Son fabricado de acuerdo a la norma ASTM D5778-95. consiste en empujar mediante el sistema hidráulico una columna de barras para que el cono penetre en el subsuelo con una velocidad controlada previamente establecida, en el módulo de adquisición de datos, se registran y almacenan los datos obtenidos de la resistencia, a intervalos de 10 cm, según se establezcan; por lo que se genera un perfil de resistencia a la penetración de la punta del cono contra la profundidad.

En las pruebas ejecutadas en la zona generalmente la velocidad adoptada es de 1 cm/seg, según se establece en la norma ASTM D5778-95 que la velocidad de hincado es comprendida entre 1.0 y 2.0 cm/seg (ver Tabla 1.2).

<b>SONDEO</b>	<b>Profundidad(m)</b>
CPT-1	31.60
CPT-2	52.00
CPT-3	33.60

*TABLA 1. 2 Sondeos de cono eléctrico.*

### **1.4.3. Pozos a Cielo Abierto (PCA)**

Consiste en excavar un pozo de dimensiones suficientes para que un técnico pueda directamente bajar y examinar los diferentes estratos de suelo en su estado natural, rinde una información correcta del suelo hasta donde se llega, pues permite la inspección visual de los estratos del suelo [6].

La ejecución de este tipo de exploración está en la Norma Mexicana NMX-C-430-ONNCCE-2002. Cada uno de los pozos a cielo abierto excavados se levantó un registro de campo. Los pozos excavados sobre la autopista en proyecto, se extrajeron muestras alteradas e inalteradas. La totalidad de las muestras de suelo exploradas se enviaron al laboratorio de mecánica de suelos (ver Tabla 1.3).

<b>POZO</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<b>PCA -1</b>	1.10
<b>PCA - 2</b>	1.60
<b>PCA - 3</b>	0.70
<b>PCA - 4</b>	2.00
<b>PCA - 5</b>	3.00

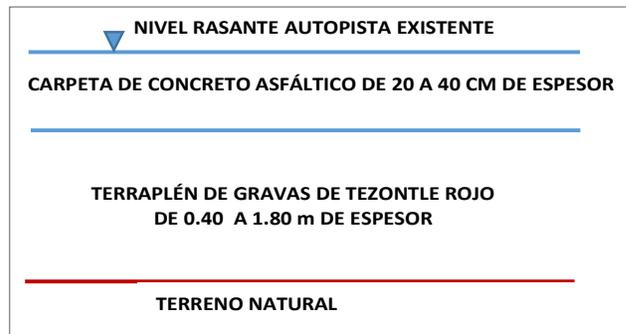
*TABLA 1. 3 Pozo*

#### 1.4.4. Calas

Perforación que se hace en un terreno o en una obra de fábrica para reconocer su profundidad, composición, estructura, etc [7].

### FIGURA 1.3

*Estructura del pavimento observada en las calas.*



*Nota: la estructura del pavimento se observa lo registrado en la carretera durante el estudio [fotografía], tomado por la empresa gupo *sacmag-spinfra*, 2017, *COMPRANET* (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>). CC. BY 2.0*

Las calas concluyen que la estructura del pavimento está constituida por una capa de concreto asfáltico cuyo espesor varía entre 20.0 y 40.0 cm; observando que se encuentran sobre un relleno o terraplén de tezontle rojo con un espesor variables entre 0.40 y 1.80 m de espesor.

CALA	Profundidad (m)
<b>CALA 1</b>	0.90
<b>CALA 2</b>	1.30
<b>CALA 3</b>	1.40
<b>CALA 4</b>	1.30
<b>CALA 5</b>	2.30

*TABLA 1.4 Calas*

---

## TRABAJOS DE LABORATORIO

Las muestras recuperadas en el proceso de exploración en un inicio se clasificaron de forma visual y al tacto; determinando las propiedades mecánicas e índices de los materiales explorados de acuerdo con las siguientes pruebas:

- **Ensayes de tipo índice:** que comprende la clasificación del suelo, contenidos de agua, límites de consistencia, granulometrías, densidad de sólidos y pesos volumétricos [8].
- **Ensayes de tipo mecánico:** se refiere a la prueba de compresión simple, pruebas triaxiales, consolidación unidimensional, saturación bajo carga y permeabilidades [8].

Los resultados obtenidos, se presentan en los perfiles estratigráficos individuales de los sondeos y pozos.

## CONDICIONES DE ESTRATIGRAFÍA DEL SUBSUELO

De acuerdo con el sondeo mixto aplicado en el terreno estudiado se determina que desde la superficie del terreno natural la profundidad varía entre 0.60 y 2.0 m, delimitando así la Costra Superficial; que se constituye por un estrato de arcilla color café claro, poca materia orgánica y material de relleno heterogéneo, en las pruebas de penetración estándar se registraron impactos entre 2 y más de 50 golpes.

La Formación Arcillosa Superior se localizó bajo la costra con una profundidad de entre 27.0 y 38.0 m, constituida como su nombre lo indica por un estrato de arcilla con poca arena fina y con alto contenido de carbonato de calcio, de color café claro, café rojizo y café verdoso, de consistencia muy blanda y alta plasticidad (CH), registrando de 0 golpes (el peso de herramienta) a 2 golpes, en la prueba de penetración estándar. Esta arcilla es de baja resistencia al esfuerzo cortante y bastante compresible, es decir que los contenidos de agua alcanzan valores de 450% hasta porcentajes finos de 97%.

---

La Primera Capa Dura oscila entre 0.60 y 3.0 m. formada por material limo-arenoso y arcillo-arenoso, de consistencia dura.

Bajo la capa dura el estrato siguiente oscila entre 35.0 y 55.0 m, definiendo la Segunda Formación Arcillosa, constituida con poca arena fina con alto contenido de carbonato de calcio, color verdoso grisáceo, de consistencia muy blanda a firme, en las pruebas de SPT registro de 0 a 30 golpes

Segunda Capa Dura oscila entre 46.0 y 63.0 m, constituida por limo con poca arena fina con alto contenido de carbonato de calcio, color café verdoso y café claro, de consistencia muy dura y alta plasticidad, en las pruebas de penetración registro más de 50 golpes en la prueba de SPT, en esta capa se encuentran intercalados estratos de arena limosa y de arena arcillosa de compacidad densa.

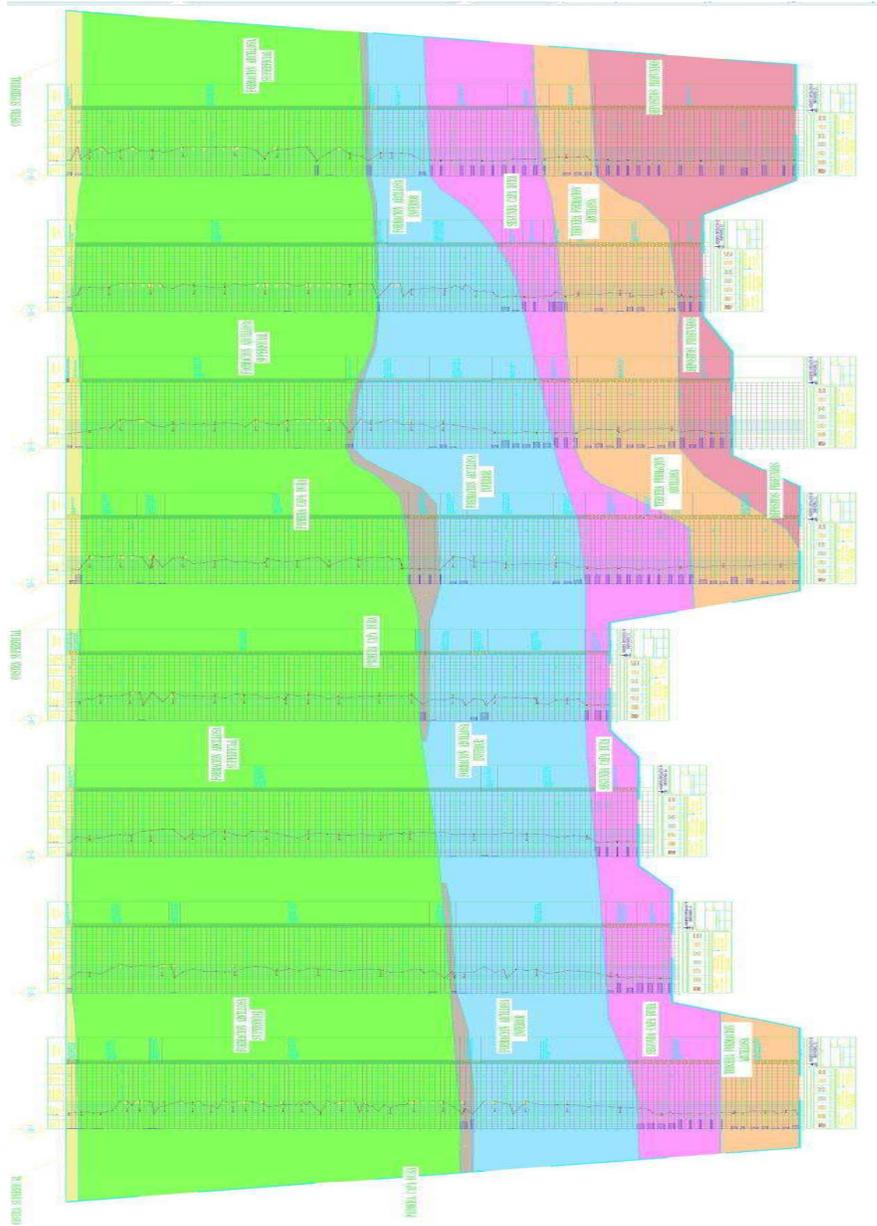
La Tercera Formación Arcillosa se localiza entre 51.0 y 70.6 m, constituida por arcilla poco arenosa color café oscura y verdosa, de consistencia muy blanda a media y alta plasticidad; cabe aclarar que esta formación también está constituida por material de limo con poca arena, café verdoso, de consistencia muy firme y alta plasticidad.

En el estudio señala exclusivamente en los sondeos SM-9, SM-10 y SM-12, a partir de profundidades de 51.0 m y 59.0 m y hasta la máxima profundidad de exploración alcanzada de 70.3 m en el sondeo SM-12, se presentan un estrato que podría corresponder a los Depósitos Profundos constituido por un limo poco arenoso, con grumos del mismo material, color gris verdoso, de consistencia dura, así como estratos de arena limosa café grisáceo, de compacidad densa, registrando en la prueba de penetración estándar más de 50 golpes.

Durante los sondeos se detectó el nivel de aguas freáticas entre 0.30 m y 2.60 m de profundidad, medido respecto al nivel de brocal de la perforación.

FIGURA 1.4

*SM donde se ubica los depósitos profundos..*



*Nota: la imagen muestra el sondeo mixto, donde a 70 metros (aproximadamente) de desplante, se conoce la estratigrafía del subsuelo [fotografía], grupo sacmag-spinfra, COMPRANET (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>), CC BY 2.0*

# **CAPÍTULO II**

## **ESTRUCTURA Y DISEÑO DEL PAVIMENTO**

### ESTIMACIÓN DEL TRÁNSITO.

La autopista de acceso al NAICM contaría con seis carriles, tres en cada sentido; se estimará el tránsito correspondiente al sentido con dirección al aeropuerto ya que es el que tendrá mayor porcentaje de camiones cargados; el carril del lado derecho, según el sentido de la circulación, será el carril de diseño, en el cual se concentrará el 80% de la carga total, ya que para una carretera de seis carriles, aplicando la norma se considera un coeficiente de 0.40 para el carril de diseño, y 0.80 para el carril de tránsito de diseño en un sentido.

A continuación, se indica el número y tipo de vehículos que se estima en los diferentes conceptos que requieren.

	PASAJEROS	CARGA	PERSONAL ATM	EMPLEADOS	MATERIAL Y EQUIPO DE MANTENIMIENTO	COMBUSTIBLE PARA AVIONES	PROVISIONES DE ALIMENTOS Y BEBIDAS
POR DÍA	100,584	1128.4 ton/día	1037 per./día	51296	-	-	-
POR AÑO	36'640,311	411720 ton/año	1037 per/año	51296	-	-	-
PROMEDIO POR AÑO	50,192 al 50%	15 ton/camión	519 al 50%	-	-	-	-
A2	7529	-	173	3420	-	-	-
A'2	-	-	-	-	-	-	250
B2	1464	-	26	1603	-	-	-
C2	-	-	-	-	150	-	250
C3	-	75	-	-	200	-	-
T3-S2-R4	-	-	-	-	-	50	-
OTRO	-	-	-	2565	-	-	-

*TABLA 2. 1 Estimación del número y tipos de vehículos que requieren transporte al aeropuerto.*

En resumen, el total de vehículos de cada tipo se indica en la tabla siguiente:

Tipo	Descripción	Vehículos por día	Porcentaje de vehículos por día
A2	Automóviles	11,122	72.9
A'2	Camionetas o camiones ligeros (de 3 ton)	250	1.6
B2	Autobús con dos ejes	3,093	20.3
C2	Camión con dos ejes	150	1.0
C3	Camión con tres ejes	525	3.4
T3-S2-R4	Tráiler con semirremolque	125	0.8
Totales		15265	100.0%

*TABLA 2. 2 Distribución vehicular.*

Para el primer año de operación del aeropuerto resulta: TDPA = 15,265 vehículos/día, en una dirección hacia el aeropuerto, el TDPA en el carril de diseño es de:

$$\text{TDPA}_{\text{carril de diseño}} = 15,265 * 0.8 = 12,212$$

## CRITERIO DE DISEÑO Y RESULTADOS

El método elaborado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM propuso un pavimento flexible para el diseño de una obra vial. Añadió que dicho pavimento flexible debería trabajar como un sólido de capas múltiples y resistencias relativas y uniformes, puesto que cada una de estas, el esfuerzo normal es proporcional que ocasiona el flujo vial, en concordancias a la teoría de distribución de esfuerzos de Boussines por sobre carga.

El método del Instituto de Ingeniería considera la siguiente información básica:

- Tipo de carretera
- Número de carriles

- La vida del proyecto
- El TDPA
- Tasa de crecimiento
- Variables adicionales con respecto a las características del terreno
- Materiales

La propiedad que se utiliza para medir la resistencia del material que constituye cada una de las capas del pavimento, es el valor relativo de soporte (VRS), para determinar estas resistencias es necesario efectuar pruebas físicas, ya sea en laboratorio o en el campo, según corresponda, al sitio o a los bancos que se utilizarán para la construcción de la obra.

### **DISEÑO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

Parte 1: el volumen del TDPA se convierte en tránsito equivalente para ejes sencillos de 8.2 toneladas

Parte 2: la aplicación adecuada de los coeficientes de daño por tránsito para vehículos típicos.

Parte 3: El tránsito equivalente acumulado se calcula con la siguiente fórmula:

$$\Sigma Ln = (C)(T_0) \dots (1)$$

Dónde:

$\Sigma Ln$  = tránsito acumulado durante n años de servicio, y tasa de crecimiento r, en ejes equivalentes de 8.2 ton.

$T_0$  = tránsito medio diario en el primer año de servicio para el carril de diseño, en ejes equivalentes de 8.2 ton.

C' = coeficiente de acumulación de tránsito para n años de servicio y una tasa de crecimiento anual r, que se puede obtener mediante la ecuación siguiente:

$$C' = 365 \frac{(1+r)^n - 1}{r} \dots (2)$$

Parte 4: se determinan los espesores de las capas de la estructura del pavimento, usando los nomogramas para determinar cada uno de los materiales que constituyen dichas capas. Se emplean la curva de igual resistencia y propiedades del VRS de cada material que constituyen las capas ya mencionadas, para calcular la resistencia de los materiales de cada capa estabilizada mecánicamente por compactación se calcula mediante la fórmula.

$$VRS_z = VRS (1 - 0.84V) \dots (3)$$

Que es el valor de soporte crítico para diseño ( $VRS_z$ ).

Dónde:

VRS = Valor relativo de soporte esperado en campo.

V = Coeficiente de variación que incluye la incertidumbre debida a características del suelo, condiciones climatológicas, drenaje, procedimientos constructivos y de conservación, en este caso se consideró variable entre 0.20 y 0.30 dependiendo de la capa del pavimento.

De los parámetros anteriores se considera un nivel de confianza ( $Q_u$ ) de 0.90.

Con lo ya mencionado obtenemos la siguiente tabla con una vida útil de 15 años para la carpeta y 20 años para las capas restantes.

Tránsito equivalente acumulado (ejes de 8.2 ton).

PROFUNDIDAD (cm)	EJES EQUIVALENTES ( $\Sigma L$ )	PARA DISEÑO DE ESPESOR DE:
0	5.09 X 10 <sup>7</sup>	Carpeta de alto módulo
30	8.87 X 10 <sup>7</sup>	Base hidráulica y base asfáltica
60	1.15 X 10 <sup>8</sup>	Terracería y subrasante

Cálculo de espesores con el método del Instituto de Ingeniería.

CAPA	VRS crítico %	z <sub>i</sub> (cm)	ESPESOR CALCULADO (cm)	ESPESOR PROPUESTO (cm)
Terreno natural, arcilla lacustre muy blanda, cubierta con membrana geotextil y con geored	3	17	----	----
Terraplén (tezonle con tepetate)	5	89	$117 - 89 = 28$	30 mínimo
Subrasante	12	55	$89 - 55 = 34$	40
Base hidráulica	80	28	$55 - 28 = 27$	30
Base asfáltica	120	18	$28 - 18 = 10$	17
Carpeta asfáltica	----	----	$18/1.6 = 11.25$	10

**FIGURA 2. 1**

*Estructura del pavimento de la autopista.*



Nota: la imagen representa una forma general la estructura del pavimento incluyendo los espesores según lo calculado [fotografía], grupo *sacmag-spinfra*, 2017, COMPRANET(<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0

Se recomienda emplear materiales para la construcción de las capas de Base y Sub-rasante según las especificaciones de la SCT

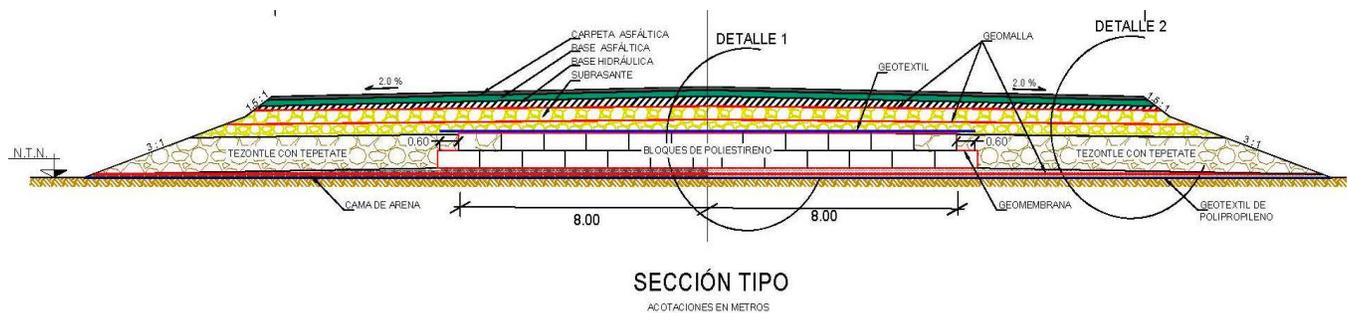
Previamente a la colocación sobre la superficie del terreno natural, un geotextil (GT2) de calidad drenante de 200 gr/m<sup>2</sup> que servirá como membrana separadora evitando la incrustación individual de arena de tezontle.

Arriba del geotextil se colocará una geomalla(GM4), las dos se protegerán mediante una capa de relleno del material de la plantilla. La plantilla (PL) de desplante se empleará para nivelar el terreno y tendrá un espesor del orden de 30 cm.

Se colocará el cuerpo del terraplén; en su parte central estará formado por bloques de poliestireno de alta densidad (BP) cubriendo un ancho de 16.0 m, 8.0 m a cada lado del eje de la autopista.

## FIGURA 2. 2

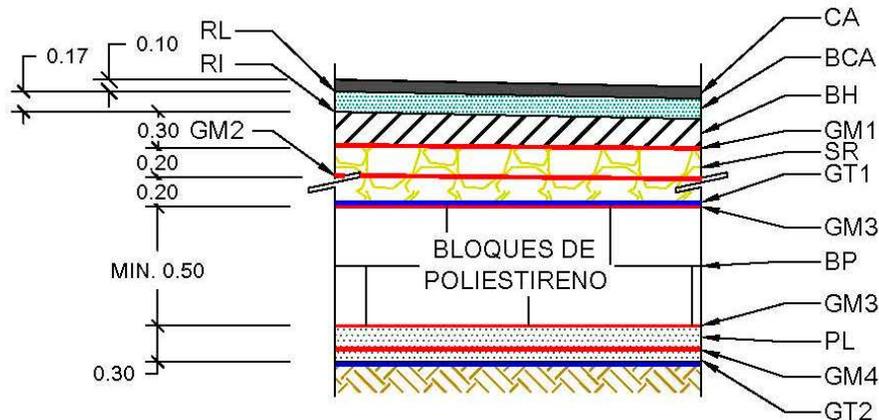
*Estructura del pavimento. Sección tipo.*



*Nota: la sección de la carretera plata a detalle la estructura detalladamente y los materiales que se sugiere instalar y que también especifica en la tesis lo que se debe establecer [fotografía], grupo sacmag-spinfra, 2017, COMPRANET (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0.*

FIGURA 2.3

*Estructura del pavimento.*

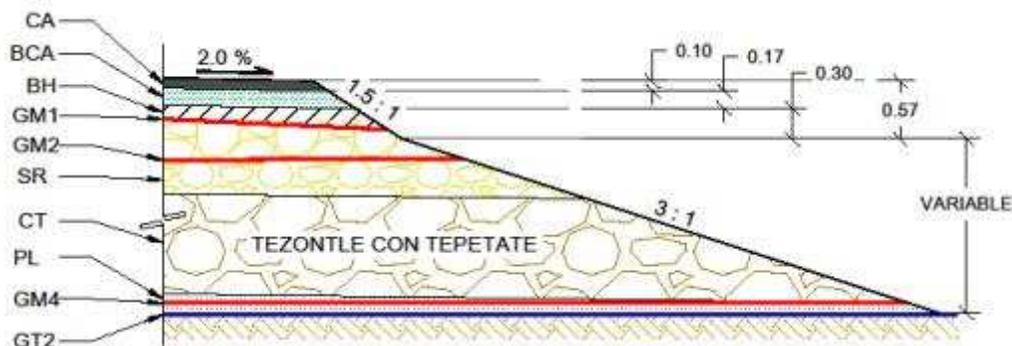


*Nota: esta imagen esclarece mas a detalle ya que menciona el uso de bloques de poliestireno [fotografía], grupo sacmag-spinfra, 2017, COMPRANET*

*(<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>). CC BY 2.0*

FIGURA 2.4

*Estructura del pavimento. Detalle 2.*



*Nota: la imagen da detalle respecto al talud que tendría ciertos tramos, y la inclinación que tendría la carpeta asfáltica [fotografía], grupo sacmag-spinfra, 2017. Compranet*  
*(<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0*

Bloques de poliestireno: Aligeran el peso del cuerpo del terraplén, reducen el incremento de esfuerzos del terreno y reducen la magnitud de asentamientos futuros que tenga la estructura del pavimento. Se coloca en vuelta de una geomembrana de polietileno(GM3) para reducir el

---

peso sobre el terreno e impedir su saturación

### **PROCESO FINAL DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO**

1. Se instalará el cuerpo del terraplén (CT) que es mezcla arena de tezontle con arena limosa con el propósito de balacear el peso que tiene la estructura del pavimento para homogenizar los asentamientos transversales.
2. Encima del Bloques de Poliestireno (BP), antes de colocar el terraplén, se coloca un geotextil, esta capa tendrá una mezcla de tezontle y arenas limosa, tendrá en medio un geomalla (GM2) con un espesor de 40 cm.
3. Terminada la sub-rasante se colocarán una base hidráulica (BH) y en medio de estas se instalará una geomalla triaxial misma que tiene el propósito de distribuir y uniformizar los esfuerzos inducidos por el peso de los vehículos.
4. Se colocará la ase hidráulica que contiene materiales pétreos triturados con un espesor de 30 cm y sobre de ella se hará un riego de impregnación (RI) con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento y después se hará el riego de liga (RL).
5. Se colocará una base de concreto asfáltico que contiene una mezcla de materiales pétreos triturados y cemento asfáltico con un espesor de 17 cm y esta misma se le hará un riego de impregnación (RI).
6. Por último, se colocará la carpeta asfáltica que contiene una mezcla de materiales pétreos triturados y cemento asfáltico con un espesor de 10 cm.

# **CAPÍTULO III**

## **ANÁLISIS GEOTÉCNICOS**

---

### CARGAS DE CIMENTACIÓN DEL TERRAPLÉN

Para el cálculo de las cargas de la estructura del pavimento transmitirá en el terreno de los siguientes factores:

- **El peso estructural del pavimento:** en este punto se transmitirá una carga de 1.65 ton/m<sup>2</sup> aproximadamente
- **El peso del terraplén:** el nivel rasante de la autopista este definido encima de los niveles del terreno natural. El peso correspondiente al terraplén se sumará al peso propio de la estructura del pavimento
- **Reducción del peso del terraplén:** su función es atenuar el peso del mismo por la colocación de PB
- **Compensación de cargas:** es necesario hacer cortes al terreno natural, donde se piensa hacer la autopista; por lo que el peso del volumen desalojado compensará una parte de las cargas de los terraplenes.
- **Distribución de cargas (sentido transversal):** se observa que tendrá distinta transmisión de cargas en sentido transversal, porque el pavimento está formado en el centro del terraplén por una capa de PB y por taludes laterales con un ángulo de 1.5:1 y 3:1.

De acuerdo con lo anterior, las cargas netas obtenidas que se transmiten sobre el terreno son de los terraplenes y de la estructura del pavimento.

### ANÁLISIS DE DEFORMACIONES

Se utilizó valores de cargas netas sobre el terreno ocasionadas por el peso de las capas de la estructura del pavimento y cuerpo del terraplén. Se utiliza la fórmula de criterio de Boussines de acuerdo a la teoría de consolidación unidimensional.

$$\Delta H = \Delta P * H * M_v \dots (4)$$

En la cual:

$\Delta H$  = Magnitud del asentamiento (cm).

$\Delta P$  = Incremento de esfuerzos (kg/cm<sup>2</sup>).

H = Espesor del estrato que se analiza (cm).

$M_v$  = Coeficiente de compresibilidad volumétrica (cm<sup>2</sup>/kg).

Las magnitudes de las deformaciones se calculan a lo largo del eje del proyecto con un ancho de corona de 28 m de longitud y taludes laterales de 1.5:1 y 3:1 de horizontal a vertical.

De acuerdo a las características de consistencia y compresibilidad de conformación del subsuelo se determina el asentamiento de 30 cm y el espesor máximo utilizada es de 1.50 m y el mínimo de 0.50 m, no tomando en cuenta el 1<sup>er</sup> tramo (km 0+060 a 0+510) ya que es una zona sobre compensada por que el nivel de rasante está por debajo del nivel de terreno natural.

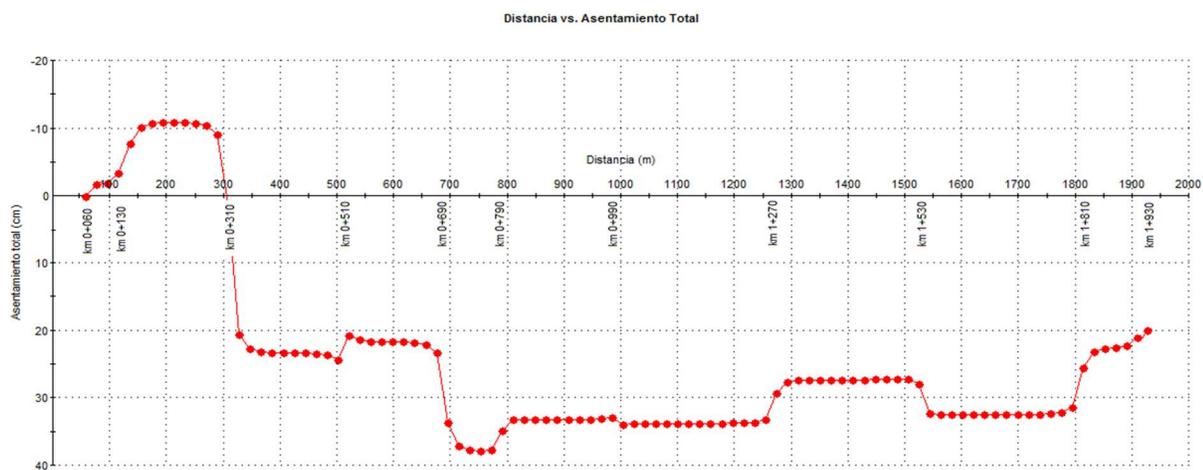
Del km	Al km	Espesor de poliestireno (m)
0+060.00	0+510.00	-----
0+510.00	0+990.00	1.50
0+990.00	1+530.00	1.00
1+530.00	1+930.00	0.50
Estructura del puente sobre el Río Churubusco		
2+250.00	2+830.00	1.00
2+830.00	3+300.00	1.50
Estructura del puente sobre el Dren General del Valle		
3+600.00	3+890.00	1.00
3+890.00	3+970.00	0.50
3+970.00	4+110.00	1.00
4+110.00	4+190.00	0.50
4+190.00	4+490.00	1.00
4+490.00	4+4840.00	1.50

*TABLA 3. 1 Espesores de poliestireno.*

En las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3, se presentan las gráficas de los asentamientos obtenidos a lo largo del eje de la autopista. El tramo entre los km 1+930 y km 2+250 se ubica la estructura del puente para cruzar el Río Churubusco y, asimismo, en el tramo comprendido entre los km 3+300 y km 3+600 en donde se localiza la estructura del puente para cruzar el Dren General del Valle.

### FIGURA 3.1

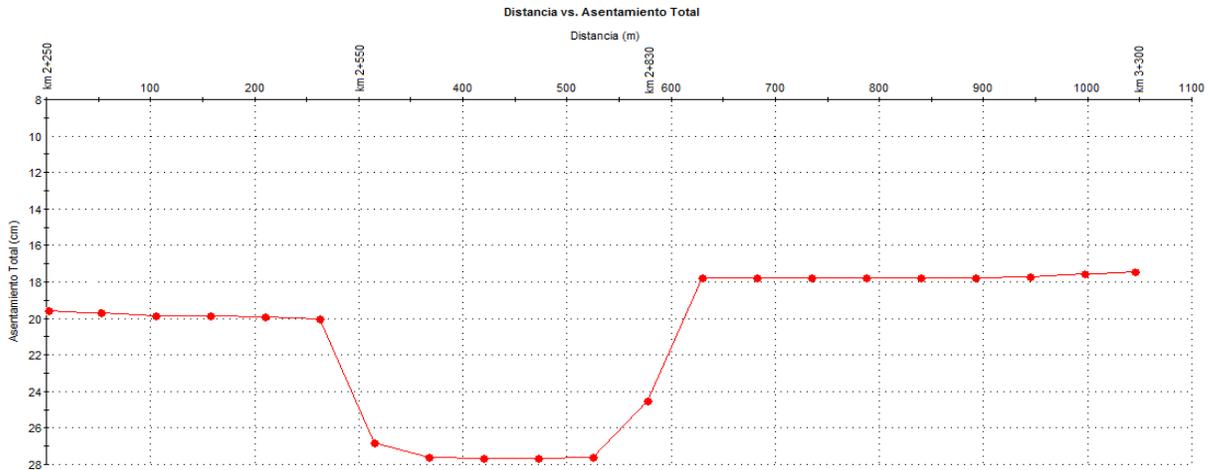
*Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 0+060 y el km 1+930.*



*Nota: la imagen muestra los asentamientos de cada cadenamiento observándose una expansión de arcilla después de este tramo llega a asentarse hasta los 0.39 m a 0.40 m [fotografía], grupo sacmag-spinfra, 2017, Compranet (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0*

FIGURA 3. 2

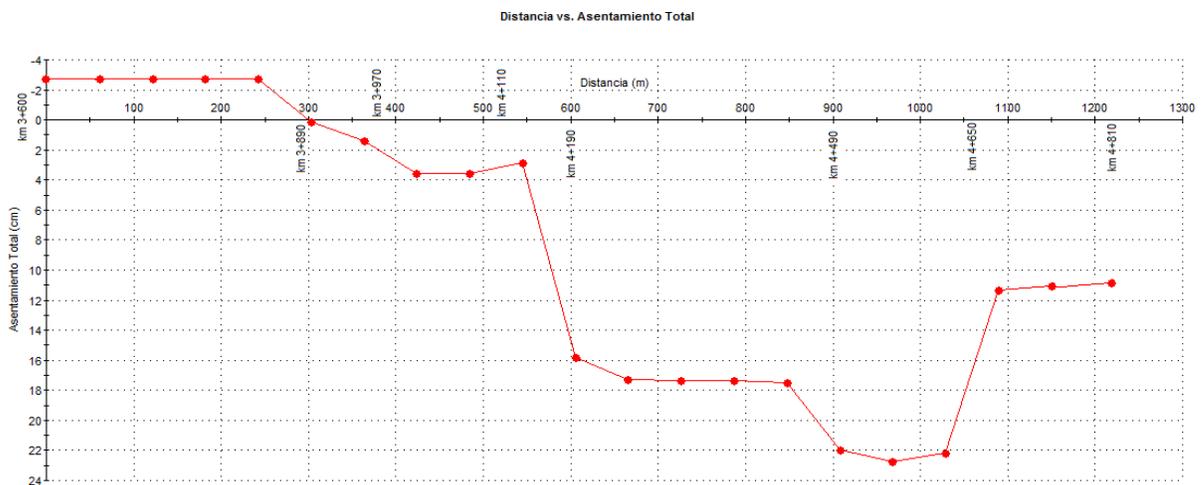
Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 2+250 y el km 3+300.



Nota: durante las pruebas de cosolidacion se observa en la imagen un asentamiento máximo de 0.28 m por lo menos en el tramo señalado, grupo sacmag-spinfra [fotografía], 2017, Compranet (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0

FIGURA 3. 3

Asentamientos en el tramo de la autopista entre el km 3+600 y el km 4+810.



Nota: la grafica en este tramo muestra en los primeros 250 m una expansión de 3 cm y un promedio de 24 cm resultados obtenidos por la prueba de consolidación, grupo sacmag-spinfra [fotografía], 2017, Compranet (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0

---

El primer tramo analizado ubicado en el km 0+060 y el km 0+300 se presentó expansiones del orden de 11cm debido a que el nivel de rasante se ubicó por debajo del nivel de terreno natural de aquel momento. Y su estructura se encuentra ligeramente sobre compensada.

Queda claro que en este tramo no se empleó bloque de poliestireno para evitar la sobrecompensación y reducir las expansiones. Se observó que, en el resto del tramo, se presenta asentamientos que varían entre 21 y 33 cm. Y una fracción de está tiene un asentamiento máximo de 38 cm.

En el tramo 2 se observan asentamientos que varían entre 18 y 27.5 cm. Y en el tramo 3 se observa que el primer subtramo de 300 de distancia se presentan expansiones de 3cm mínimo y un asentamiento máximo de 22 cm.

## **INSTRUMENTACIÓN PARA ASENTAMIENTOS**

Se realizaron con el fin de monitorear y llevar un control sobre el volumen de los asentamientos que se provocaron por la construcción del terraplén con el propósito de medir los desplazamientos del terreo natural.

### **Cuantificación para los asentamientos.**

#### **Bancos de nivel**

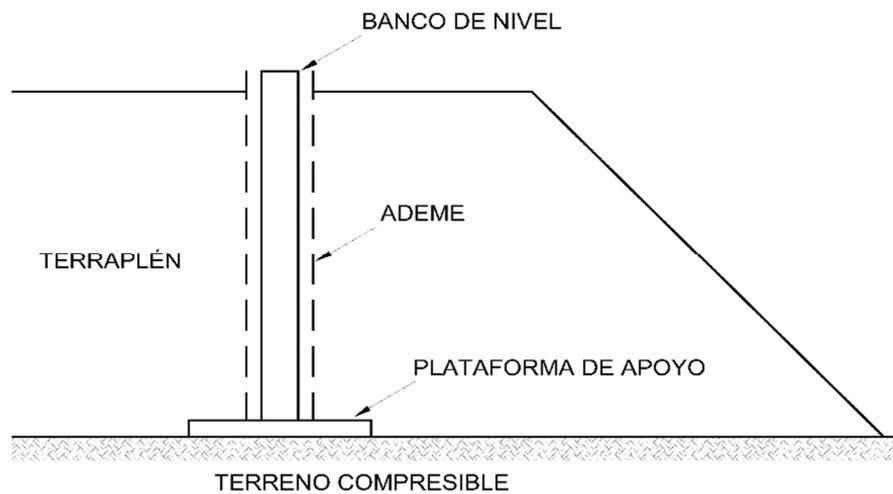
Este método sirve para conocer los asentamientos de un terraplén una vez que este pavimentado para que posteriormente se coloquen puntos en donde se colocaran clavos en la superficie. Las operaciones de nivelación se debe escoger un punto de referencia que sea móvil y a una distancia de 100m con la finalidad de ser utilizados como base de nivelación para los puntos que están situados en la superficie.

La referencia móvil y fija serán necesarios para la corrección que se tenga que hacer en los movimientos verticales en los puntos situados sobre la superficie del terraplén provocados por los hundimientos regionales.

Para cotas la técnica más usada, banco de nivel, es una cuadrícula que permite el trazado preciso de curvas de igual hundimiento. Los puntos del banco de nivel están situados entre la base y el terreno natural en una losa de concreto de 40x40cm y en el centro un tubo que se hace crecer con forme aumenta la construcción del terraplén.

### FIGURA 3. 4

*Banco de nivel para control de asentamientos por nivelación superficial.*



*Nota: la imagen representada refleja el monitoreo del asentamiento en la cual consistía de un tubo protegido por ademes una vez que baje el terreno el tubo se descubrirá para ser medido después [fotografía], grupo sacmag-spinfra, 2017, Compranet (<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0*

**FIGURA 3. 5***Torpedo*

Nota: el torpedo o sensor [fotografía], SISGEO, 2019, SISGEO ([https://www.sisgeo.com/uploads/schede/schede/BRAIN\\_ES\\_01\\_Sistema\\_inclinometrico.pdf](https://www.sisgeo.com/uploads/schede/schede/BRAIN_ES_01_Sistema_inclinometrico.pdf)) CC BY 2.0

**Medición de movimientos laterales**

Es necesario medirlo para conocer los cambios de forma provocados por el trabajo realizado por los esfuerzos cortantes. Los asentamientos laterales son provocados por los estratos compresibles mencionando también otra causa, la falla de terraplenes sobre el suelo blando procede de desplazamiento laterales abajo y alrededor del terreno de cimentación para evitar posibles fallas.

**Torpedo medidor de asentamientos**

Tienen una doble ventaja, la primera es que conocemos los asentamientos en la superficie y otras que también se obtienen asentamientos a diferentes profundidades. Este instrumento se introduce dentro de una tubería y está provisto de un sistema de pequeñas patas extensibles y cada vez que llega a uno de os pequeños escalones entre el tubo y el cople se hace una referencia. De esta forma conocemos los sentamientos que se están realizando con la referencia inicial.

**FIGURA 3. 6***Revestimiento**inclinométrico.*

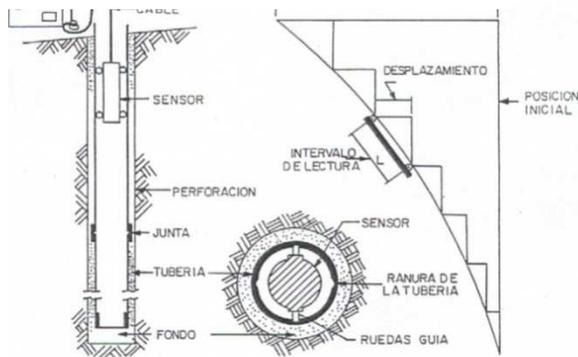
nota. Adaptado de UNIFE,tomado de UNIFE [fotografía], 2020, (<http://www.unife.it/ing/lm.civile/insegnamenti/stabilita-versanti-opere-terra/materiale-didattico/lezione-20-aprile>)

## Inclinómetros

Son utilizados para controlar los movimientos laterales en terraplenes, áreas de derrumbe, flexiones en muros de contención, pilares, deformaciones de paredes de una excavación, túneles y pozos.

**FIGURA 3. 7**

*Principio del inclinómetro.*



*Nota. Adaptado de esquemas de las partes y funcionamiento de un inclinómetro, Control de Movimientos Reales Producidos en Pantallas Continuas en Madrid (1ª Parte) [fotografía], 2009 (<https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619798007.pdf>) CC BY 2.0*

mide la inclinación en el plano de las ruedas que hacen recorrido sobre las ranuras longitudinales del tubo; el otro mide la inclinación perpendicular al de las ruedas, las medidas obtenidas son convertidas en desviaciones laterales y los cambios en las desviaciones indican los movimientos del terreno. Los perfiles de desplazamiento son útiles para determinar la magnitud, profundidad, dirección y velocidad del movimiento del terreno.

El revestimiento inclinométrico es un tubo especialmente ranurado; normalmente es utilizado en sondeos cercanos a la vertical que atraviesa las zonas sospechosas de movimiento hasta el terreno estable, pero también pueden ser embebidos en rellenos de concreto o fijado a una estructura, el tubo guía permite que el sensor tome medidas por debajo de la superficie, controla la orientación del torpedo y se deforma con el terreno o estructura adyacente.

La primera medida establece el perfil inicial del revestimiento inclinométrico. Las medidas posteriores muestran los cambios en el perfil si tienen lugar movimiento del terreno. El sensor (denominado torpedo) está provisto de 4 ruedas, dos en la parte superior y dos en la parte inferior, separadas por una distancia de 0.50 m. En el tubo, es soportado lateralmente por las ruedas guía y suspendido verticalmente por el cable de conexión. Este es izado desde el fondo del tubo hacia la parte posterior del mismo, deteniéndolo en su recorrido en intervalos de 50 cm para tomar lectura. Uno de los acelerómetros

Los tubos normalmente se presentan en diámetro que van desde los 6.0 cm hasta los 8.50 cm y en tramos de 3.00 m de longitud ya sea de aluminio o de ABS (acrilonitrilo-butadieno-estireno), este material es un revestimiento interno y externo de base epoxica que le proporciona una notable resistencia a la corrosión. Las secciones del tubo se pueden unir en obra rápidamente, haciendo uso de acoplamientos corredizos sobre el tubo, lo cual permite tener una alineación correcta y las ranuras a lo largo de la junta, así como también que los remaches de unión queden en medio de estas.

En el proceso de instalación de las tuberías es necesario, principalmente, ejecutar el proceso de perforación si hay necesidad estricta de tomar muestras de suelo. Si al instalarse, las perforaciones están parcial o totalmente llenas de agua, debería añadirse agua limpia al interior del tubo para mantener cierta flotabilidad, ya terminada la instalación se procede a inyectar lechada para cubrir los espacios vacíos, en caso de que la lechada entre al interior del tubo guía se debe limpiar con agua presurizada.

Es de gran importancia conectar los tubos correctamente para lo cual se debería aplicar un sellado a cada remache en su cabezal y a los puntos en los que este entrara en el acoplamiento; se recomienda el uso de tapones hembra en la base del tubo, pues son esenciales para evitar que penetre en el relleno.

Para proteger las instalaciones ya construidas de daños accidentales o de vandalismos es muy importante colocar una protección de concreto alrededor del tubo saliente y demás tubería se cierra con un tapón para poder sellarse.

La unidad de lectura es un instrumento portátil el cual está provisto de una batería, controles y pantalla digital. Para evitar errores de lecturas por deficiencia de carga, la batería debe ser monitoreada cada cierto tiempo; la pantalla está provista de 4 dígitos significativos que miden el ángulo de inclinación con respecto a la vertical (en términos matemáticos de  $x \cdot \sin \theta$ , siendo  $\theta$  el ángulo de inclinación del tubo guía en las direcciones A y B del torpedo), como la distancia entre ruedas del torpedo es de 0.50 m, la lectura monitoreada es 5 veces el desplazamiento en metros.

El cable eléctrico es de 6 almas revestidos de poliuretano de 10.7 mm de diámetro, graduado con marcadores metálicos cada 0.50 m a lo largo de toda su longitud. Está conectado al sensor por una conexión a prueba de agua (ver figura 3.5).

Para el uso de este medidor se debe seguir los siguientes pasos:

- 1- destapar la tubería de revestimiento o tubo guía
- 2- el sensor debe estar fuera de su estuche y conectarlo al cable eléctrico
- 3- el cable se conecta al monitor
- 4- el torpedo se pone en las guías del tubo para poder descender a través de esta hasta el fondo.
- 5- al encenderse el monitor se toma las lecturas tanto en dirección de A como para B
- 6- se elevará el cable con intervalos de 0.50 m y se registran a mano las respectivas lecturas hasta que el sensor llegue a la superficie
- 7- se gira el torpedo 180° para repetir los procedimientos ya mencionados

Si un inclinómetro es medido por primera vez, es preciso seleccionar una referencia fija para el sensor, con el objetivo de que cada vez que se repita la medición la orientación en el tubo sea la misma.

Para Inclinómetros biaxiales, es plausible, que la componente A sea orientada como una componente principal en la dirección de la deformación previa como un cambio positivo. De modo que el primer grupo de lecturas serán tomadas colocando las ruedas superiores del torpedo en la orientación A<sup>+</sup>. Para concluir la medición el sensor se gira 180° y se repite el grupo de lecturas (ver figura 3.6). La lectura de los grupos es usada para cotejar con otras medidas y así determinar cualquier cambio se realiza una diferencia algebraica. En ocasiones es complicado orientar con exactitud las ranuras con la dirección de la deformación o desplazamiento. En cambio, estas guías son tomadas como referencia principal.

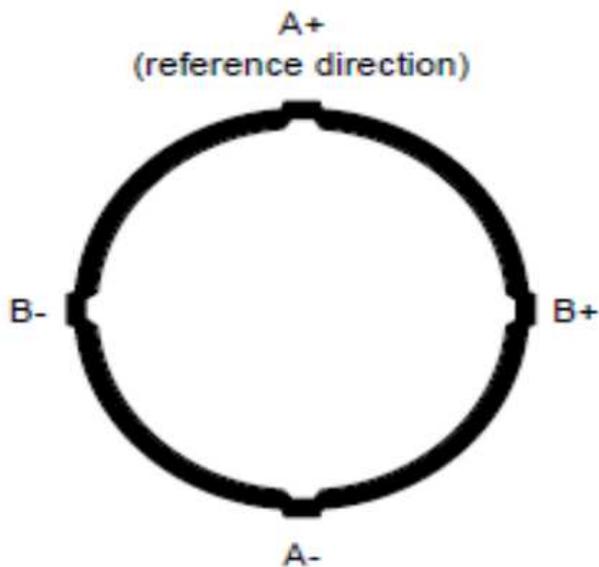
Los registros de lecturas en campo se pueden realizar en 2 formas: manual o con el indicador digital. La primera serie de lecturas corresponde a los registros Norte (N) y este (E);

después de girar el torpedo 180° se registran las lecturas sur (S) y Oeste (O)

La segunda serie de lecturas, después de girar el torpedo 180°, nos permite cancelar o minimizar los errores producidos por irregularidades en la tubería o por el instrumento mismo. Esto nos permite tener una revisión necesaria para las lecturas obtenidas a la misma profundidad donde, en cada caso, debe mantenerse constante en cuanto al número de dígitos. Dependerá esta variación del instrumento, del paralelismo entre las guías y la inclinación de la tubería. La ventaja de hacer este chequeo en campo es que se puede corregir inmediatamente repitiendo las lecturas mencionadas.

### FIGURA 3. 8

*Direcciones A y B del torpedo y polaridad del ángulo de inclinación*



*Nota. Adaptado de teoría de operación [fotografía], Manual de Instrucciones Modelo GK-603 Consola de Lectura de Inclómetro Version 3.1, 2007 ([https://www.geokon.com/content/manuals/GK-603\\_Manual\\_de\\_Instrucciones.pdf](https://www.geokon.com/content/manuals/GK-603_Manual_de_Instrucciones.pdf)) CC BY 2.0*

# **CAPÍTULO IV**

## **RECOMENDACIONES GENERALES DE PROCESO CONSTRUCTIVO**

El proceso de construcción para la estructura del pavimento de la carretera se desarrollará de la siguiente forma.

Tramo 1: Se iniciará a partir de km 1+100 en dirección al km 0+000.

Tramo2: se inicia en el km 1+100 con dirección al km 2+000.

El tramo 3 y 4 se inicia cuando se concluyan los trabajos del tramo 1 y 2.

El tramo 3: inicia en el km 2+700 con dirección hacia km 2+000.

El tramo 4: inicia de 2+700 al km 3+400.

Los trabajos para realizar las excavaciones la conformación del terraplén y la construcción del pavimento se realizaron de la siguiente manera.

- Trazo y nivelación.
- Excavación en caja.
- Colocación del geotextil de polipropileno (GT2).
- Colocación de la plantilla y geomalla triaxial (GM-4).
- Colocación de la geomembrana (GM-3)
- Conformación del terraplén estructurado con bloques de poliestireno (PB).
- Colocación de geotextil (GTI).
- Construcción de la capa subrasante (SR).
- Construcción de cada una de las capas de la estructura del pavimento.

A continuación, se dan las recomendaciones de proceso constructivo correspondientes a cada una de las actividades enumeradas:

### **TRAZO Y NIVELACIÓN.**

Inicialmente se deberá efectuar el trazo del eje de la vialidad sobre el terreno, definiendo el área de construcción de la misma y colocando las referencias correspondientes sobre el terreno [9].

## EXCAVACIÓN EN CAJA

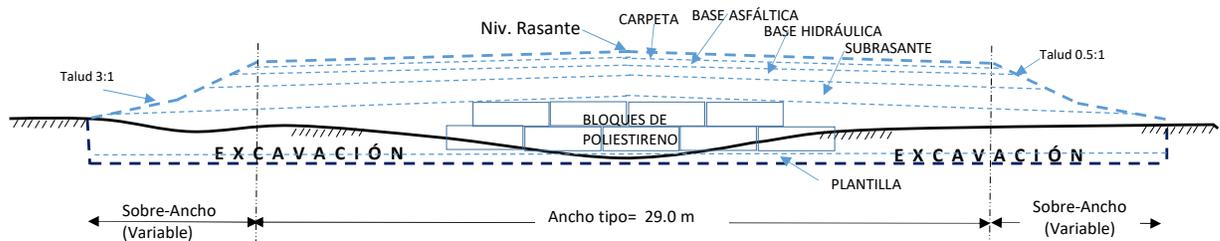
La excavación se realizará a cielo abierto con la longitud de 100 m y un ancho que corresponde a la sección de la autopista y proyectada a la profundidad del corte se establecerá por el nivel de PL y que dependerá de los niveles del terreno natural y espesores de las capas del pavimento (ver Figura 4.1) [10].

Es probable que durante la excavación y dependiendo del desplante, haya presencia de agua freática o lluvias intensas. Se recomienda que se cuente con una pendiente pequeña para encausar el agua que va hacia unas zanjas perimetrales rellenas de grava de 30x30 cm e ira hacia los cárcamos desde donde bombearan hacia el exterior de la excavación. Respecto a las características de la bomba podrá de ser de un gasto de 26 l/seg. De 4" o 6" de diámetro y estas pueden ser eléctricas o de gasolina.

Se recomienda emplear en los trabajos de excavación en caja, una Excavadora Pantanera Tipo Caterpillar 320 DSP con oruga ancha, o equipo equivalente similar.

### FIGURA 4. 1

*Corte transversal de excavación.*



*Nota. Representación del terreno natural y sobrepuesto la estructura del pavimento a construir [fotografía] grupo sacmag-spinfra, 2017, COMPRANET(<https://compranet.hacienda.gob.mx/esop/toolkit/opportunity/past/1293353/detail.si>) CC BY 2.0*

## COLOCACIÓN DEL GEOTEXTIL (GT2)

Durante los avances de la excavación se estará colocando sobre la superficie del terreno natural un geotextil de polipropileno (GT2), esta membrana servirá para separar y evitar la

incrustación de arena en la plantilla al terreno natural. La superficie del terreno natural deberá estar libre de materiales que pudieran lastimar la membrana ya que su colocación será de forma manual.

#### **COLOCACIÓN DE LA PLANTILLA (PL) Y GEOMALLA (GM-4)**

Se colocará una plantilla con un espesor de 30 cm junto a una geomalla triaxial, su función será el de nivelar el terreno de desplante del material del cuerpo del terraplén, contará con una adecuada superficie para la que la maniobrabilidad del equipo de construcción pase sin dificultad. Se prohíbe la circulación de equipos sobre orugas y solo se permitirá la operación de solamente equipos sobre neumáticos sobre la GT2.

La plantilla estará conformada por arena de tezontle, se realizarán su colocación en camas que no rebasen los 20 cm de espesor; deberá estar colocada apropiadamente, nivelada y compactada. Sus características, así como el tamaño de las partículas y la colocación La plantilla se extenderá con tractor D4 Caterpillar o equivalente.

#### **COLOCACIÓN DE LA GEOMEMBRANA (GM-3)**

Se procede a colocar una geomembrana con un espeso de 1.50 mm de espesor, este cubrirá los bloques de poliestireno y después deberá termofusionarse ya que la geomembrana funcionará como protección a los bloques impidiendo la degradación por humedad o fricción del mismo.

#### **CONFORMACIÓN DEL TERRAPLÉN ESTRUCTURADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO (BP)**

El cuerpo del terraplén se estructurará con bloques de poliestireno debidamente confinado lateralmente con los materiales del mismo. Estos materiales tendrán una mezcla de grava de tezontle con arenas limosas. La función que tienen los bloques es aligerar el peso del terraplén para reducir la magnitud que presente los asentamientos de la autopista; estos serán

---

colocados en su parte central cubriendo todo el ancho de la sección proyectada de la autopista.

Serán colocados de manera longitudinal respetando los ejes de trazo, como su peso es muy ligero se colocan envuelto de una geomembrana de polietileno. cabe mencionar que los BP se deberán asentar de manera uniforme sobre una de las caras que tienen, colocado en traslape para que todo el conjunto quede rígido. Cada cama se confina lateralmente con todo el material del cuerpo del terraplén mencionado anteriormente para evitar que tengan un movimiento accidental para que esto no suceda se deberá utilizar grapas de sujeción para evitar el movimiento entre los bloques

Durante todo el proceso de confinamiento de los BP se realizan necesariamente otras actividades por ejemplo la conformación de la sección transversal del CT a la vez se conforman lateralmente los taludes con una inclinación 3:1 según el proyecto.

Los materiales van mezclados en una porción de 80% de tepetate y 20% de tezontle. Compactado los materiales en capas cuyo espesor máximo debe ser 25 cm sueltos con un grado mínimo de compactación de 95% y su peso no debe exceder de 14000 kg/cm<sup>3</sup> con el propósito de la masa volumétrica seca máxima de la prueba AASHTO (la mezcla deberá cumplir con la norma de la SCT para la infraestructura del transporte) [11]

### **COLOCACIÓN DE GEOTEXTIL (GT1)**

Terminado todo lo anterior sobre la geomembrana que envuelve en Bloques de Poliestireno y concluido el Cuerpo del Terraplen se colocara un geotextil traslapada a 90 cm, la especificación de la colocación del geotextil esta en el capítulo de anexos de especificaciones particulares de este caso

### **PROCESO DE LA CAPA SUBRASANTE**

Terminado el proceso anterior se coloca una capa sub rasante de 15 cm de espesor. El

material de banco con un tamaño máximo 3” colocadas en dos capas de 20 cm compactadas al 100%, los datos se obtienen a la MVS mediante la prueba de control AASHTO (ver anexo Especificaciones Particulares). Se menciona que La colocación de la primera capa se use un rodillo compactador estático sin vibrado

Después del proceso anterior y ser compactada, se deberá colocar una geomalla (GM2), posteriormente se colocará una segunda capa de 25 cm de espesor completando la capa Subrasante, sera compactada de forma estática evitando vibros. Posterior a la colocación de la Subrasante se debe evitar orugas y neumáticos que circulen sobre los Bloques de Poliestireno del cuerpo de terraplén (las recomendaciones para la comlocacion y el cumplimiento de la geomalla están en el capitulo de anexos: Especificaciones Particulares).

Los materiales mencionados en este apartado deberancumplir con los requisitos de calidad señalados en las normas de la sct: N.CMT.1.02 y N.CMT.1.03 provenientes de la normatividad de las infraestructuras del transporte de la SCT vigente; los procedimientos de ejecución y la tolerancia que están señaladas en la norma N.CTR.CAR.1.01.009. \*todos los materiales deben cumplir con las normas.

## **PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.**

### **Base hidráulica**

Se construye una base hidráulica granular para pavimentos asfálticos con un espesor de 30 cm compactada en 2 capas. Se usan agregados pétreos en los bancos recomendados con un tamaño maximo de 38 mm. Previo a la colocación de la base se colocará una geomalla traxial con un traslape de 0.90 m en ambos sentidos esto evitará que la propia base se incruste al cuerpo del terraplén provocando una trabazón entre los materiales cuando los vehículos pases sobre el pavimento. Los requerimientos de calida deben ser cumplidos conforme al anexo Especificaciones Particulares.

Todo este procedimiento está indicado en la norma de la SCT para la Infraestructura del

---

Transporte N.CTR.CAR.1.04.002. La base hidráulica debe compactarse al 100% indicada a la prueba de control AASHTO modificada.

### **Riego de impregnación**

Se hará de un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento del tipo ECI-60 [12]. El riego se dosifica de 1.20 y 1.50 L/m<sup>2</sup> con ayuda de la petrolizadora dejando que repose 48 horas para que penetre con supervisión de un laboratorio para su verificación.

Todos estos procedimientos y equipo a utilizar se sujetan a las cláusulas de la SCT en la Normativa para la Infraestructura del Transporte vigente [13].

### **Riego de liga**

Se aplica con una emulsión asfáltica catiónica de rápido rompimiento del tipo ECR-65. El riego se dosificará de 0.5 a 0.70 L/m<sup>2</sup> aplicado por una petrolizadora.

En términos generales, el equipo a utilizar, el manejo del producto asfáltico y su aplicación se sujetan a los procesos que describen en las cláusulas de la Normativa Para La Infraestructura Del Transporte de la SCT [14].

### **Base asfáltica**

Tendría un espesor de 17 cm construida sobre la base hidráulica, (terminada e impregnada), la mezcla asfáltica empleada se elabora en planta, se coloca y se compacta en caliente. El tendido se dividiría en dos capas de 9 cm y 8 cm se hace un riego de liga entre las mismas, para su estructuración se emplearían materiales procedentes de los bancos recomendados, con un tamaño máximo de 38 mm de viendo cumplir los requisitos de calidad en el que se encuentra en las Normas de la SCT [15]. La construcción de la base asfáltica se hace

con una pavimentadora Caterpillar AP1000 o equivalentes. Para La mezcla se empleará un cemento asfáltico de tipo AC-20 se empleará en obra cumpliendo con la norma de la SCT [12].

La capa de base asfáltica se debera compactarse a un grado minimo del 95% respecto a su Masa volumetrica maxima (mvm) realizada en la prueba marshall de control; tambien debe cumplir con las características de calidad señaladas en el anexo de Especificaciones Particulares, ASI COMO EL PROCESO de ejecuciones y limitaciones indicados en N.CTR. CR.1.04.003 de la Normatividad Para La Infraestructura Del Transporte de la SCT.

### **Carpeta de concreto asfáltico**

Tendría un espesor de 10 cm que será construida sobre la base asfáltica, y que previamente se colocara un riego de liga antes mencionado. Para su instalación la mezcla se elaborará en planta lo cual será ubacada y compactada en caliente.

La estructuración se empleará agregados pétreos con tamaño máximo de 19 mm en los bancos recomendados. De los cuales deberán cumplir con los requerimientos de calidad de la norma N.CTM.4.04. D.

La mezcla deberá compactarse a un grado minimo de 95% coreespondientes a su MVM de las pruebas Marshall de contros y además de las especificaciones particulares mecnonados en los anexos. Los procesos de toleracias y ejecución estarán sujetos a la normativa N.CTR.CAR.1.04.006 mencionada en las normas de la SCT.

Se recomendaría que el tendido de la carpeta asfáltica debria hacerse mediante una pavimentadora Caterpillar ap 1000 o su equivalente con |un ancho máximo de hasta 6 m para el concreto tendido y la compactación será con un Compactador Tándem CB 534 Caterpillar y un Compactador Neumático CW34 o equivalente.

# CONCLUSIONES

---

El estudio mostrado en esta exposición, muestra las características físicas, químicas y mecánicas del terreno, para el diseño de carretera del acceso a lo que iba ser la IACM; en la realización del estudio hasta la construcción del mismo.

La constructora encargada de realizar los trabajos en base al estudio, no cumplió con los requisitos necesarios para terminar dicho proyecto. Por lo tanto, las recomendaciones asignadas tampoco fueron seguidas en su mayoría de acuerdo al avance de obra.

Con el objetivo de reducir costo, tiempo, diseño, construcción y gestión del activo; se optó por el Modelado de Información para la Edificación (BIM, por sus siglas en inglés); que es un conjunto de procesos y metodologías para la generación y gestión de datos de un edificio u obra de ingeniería civil, durante su ciclo de vida. Para esto, se utiliza un modelo digital compartido entre varios actores de la cadena de valor. Este método es utilizado durante la construcción del tramo de acceso, debido a las condiciones topográficas del terreno y respetando lo sugerido en el estudio de la mecánica de suelos del proyecto para su elaboración.

En cuanto a la construcción de la carretera se tuvo que hacer una excavación, tomando en cuenta el tipo de suelo que está en la zona, se tomaron medidas en caso de que esta se llenara de agua drenada a través de las paredes de la excavación. Se sugirió a la constructora que completara con un desazolve, mediante bombas impulsadas por gasolina o de electricidad que transportarían el agua a un cárcamo que estaría a 5 o 6 metro de la obra y poder seguir con los trabajos a realizar.

Para la fecha de su cancelación, el avance de la obra solo se terminó hasta la base asfáltica, ya que no contaban con los riegos de liga, ni con el concreto asfáltico y riegos de impregnación respectivamente, por la poquedad de experiencia en vías carreteras.

Debido a varios factores se concluyó que no terminarían la obra en el tiempo establecido por el contrato consignado para la empresa constructora.

Ley de Obras Publicas y Servicios Relacionadas con las Mismas. Indica que si las empresas constructoras no cumplen con los avances de obra se puede rescindir el contrato. Aun así, no se pudo rescindir el contrato de la constructora, por factores internos de las personas responsable del proyecto.

En relación a los factores mencionados, por la falta de responsabilidad de la contratista solo menos del 5% de la obra fue concluida. La revisión de obra se siguió hasta su cancelación debido a cuestiones políticas.

Comparando, en lo que sería el futuro del nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad e México y del aeropuerto internacional de China (Daxing), que iniciaron al mismo tiempo. Es que el de china se construyó en menos tiempo y se entregó funcionando. El de la ciudad México no se terminó teniendo más tiempo y se invirtió más dinero y se canceló por cuestiones políticas. A los funcionarios de ese tiempo les faltó más autoridad y responsabilidad en la supervisión de los avances de obra y hacer cumplir la ley de obras públicas. El profesionalismo, compromiso y responsabilidad en la aplicación del presupuesto para este tipo de megaproyectos debe ser fundamental para la culminación del mismo.

Mi participación en dicha obra con respecto a mis funciones lo hice con mucha dedicación y esmero en mi trabajo, creyendo en un proyecto que beneficiaría a los ciudadanos de esta Nación.

**REFERENCIAS**

- [1] J. U. Fucugauchi, «Ciencia Mx,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/la-tierra/26108-formacion-del-valle-de-mexico-geologia-volcanismo-clima>.
- [2] M. D. M. P. A. D. M. y C. J. D. G. , CICLO DE SEMINARIOS DE SEDIMENTOLOGIA. - I. G. M. E. VOL. 1, ESPAÑA: IDEAL, 1984.
- [3] L. ARNAL SIMON, «NORMAS TECNICAS COMPLEMENTARIAS PARA DISEÑO Y CONTRUCCION DE CIMENTACIONES,» de *REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL*, CIUDAD DE MEXICO, TRILLAS, 2013.
- [4] R. Sondeos, «Roldan Sondeos,» 2017. [En línea]. Available: <https://roldansondeos.mx/sondeos-mixtos/#:~:text=Es%20la%20combinaci%C3%B3n%20de%20la,en%20el%20subsuelo%2C%20%C3%BAtil%20para>.
- [5] S. d. Suelos, «Sísmica de Suelos,» [En línea]. Available: <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-cono-electrico-cptu.php#:~:text=El%20ensayo%20CPTU%20es%20un,de%20un%20perfil%20de%20suelo..> [Último acceso: 2020].
- [6] «mzingenieros,» [En línea]. Available: <https://www.mzingenieros.com.mx/estudios-de-mec%C3%A1nica-de-suelos/estudios-de-mec%C3%A1nica-de-suelos/exploraci%C3%B3n-y-muestreo-de-suelos/#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20del%20Pozo%20a,suelo%20en%20su%20estado%20natural..>
- [7] wordreference, «wordreference.com,» [En línea]. Available: <https://www.wordreference.com/definicion/cala>.
- [8] D. Y. C. S. d. C.V., «mecanicadesuelosmx.com,» [En línea]. Available: <https://www.mecanicadesuelosmx.com.mx/>.
- [9] SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, «N·PRY·CAR·1·01·002/07,» de *002 TRAZO Y NIVELACION DE EJES PÀRA EL ESTUDIO TOPOGRAFICOS*, MEXICO, 2007.
- [10] SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, «N·CTR·CAR·1·01·003/11,» de *003 CORTES*, MEXICO, 2011.
- [11] S. D. T. Y. COMUNICACIONES, *N.CMT.1.02*, MEXICO, 2002.

- [12] S. D. C. Y. TRANSPORTES, «N.CTM.4.05.001,» de *MATERIALES ASFALTICOS, ADITIVOS Y MEZCLAS*, MEXICO, 2006, p. 7 Y 9.
- [13] SCT, «N.CTR.CAR.4.05.004,» de *PAVIMENTOS; RIEGO DE IMPREGNACION*, MEXICO, 2015, pp. SECCION: E,F,G.
- [14] SCT, «N.CTR.CAR.1.04.005,» de *PAVIMENTOS; RIEGO DE LIGA*, 2015, pp. SECCIONES: E,F,G.
- [15] SCT, «N.CTM.4.02.003,» de *MATERIALES PARA BASES Y SUBBASES; MATERIALES PARA BASES TRATADAS*, MEXICO, 2004.
- [16] I. d. V. d. D. Federal, «Introduccion,» de *Manual de ingenierias para el Proyectista*, CDMX, INVI.
- [17] CONAGUA, «gob.mx,» Abril 2016. [En línea]. Available: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS\\_CAPTACION\\_PLUVIAL.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/152776/LINEAMIENTOS_CAPTACION_PLUVIAL.pdf).
- [18] «SOLiCLIMA,» [En línea]. Available: <http://www.soliclimal.es/aguas-pluviales>.
- [19] I. D. O. Becerril, manual del Instalador de Gas L.P., México, 2013.
- [20] S. d. Energía, NOM-004-SEDG-2004, México: Diario Oficial, 2004.
- [21] Barcelona, «gasNatural,» 29 junio 2009. [En línea]. Available: [https://www.apabcn.cat/ca\\_es/agenda/Documents/2009-INSTALACIONES-COLEGIOS%20TECNICOSV02.pdf](https://www.apabcn.cat/ca_es/agenda/Documents/2009-INSTALACIONES-COLEGIOS%20TECNICOSV02.pdf).
- [22] I. G. E. Harper, El ABC de las instalaciones eléctricas residenciales, México: Limusa, 2011.
- [23] N. O. Mexicana, NOM-001-SEDE-2012, ciudad de México, 2012.
- [24] I. B. L. D. Onesimo, Instalaciones Electricas Practicas, 2005.
- [25] SIAPA, «CRITERIOS Y LINEAMIENTOS TÉCNICOS PARA FACTIBILIDADES. Alcantarillado Sanitario.,» Febrero 2014. [En línea]. Available: [http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo\\_3.\\_alcantarillado\\_sanitario.pdf](http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/capitulo_3._alcantarillado_sanitario.pdf).
- [26] A. B. R. y. C. E. G. Soto, «PROFECO,» Secretaria de Economía, 14 MARZO 2016. [En línea]. Available: [https://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj\\_2016/bol325\\_calentadores\\_solares.asp](https://www.profeco.gob.mx/encuesta/brujula/bruj_2016/bol325_calentadores_solares.asp).
- [27] A. L. d. D. Federal, Ley de Aguas del Distrito Federal, México, 2003.
- [28] S. d. A. d. I. C. d. México, «Sistema de Aguas de la Ciudad de México,» 2016. [En línea]. Available: [www.tramites.cdmx.gob.mx/tramites\\_servicios/muestraInfo/164](http://www.tramites.cdmx.gob.mx/tramites_servicios/muestraInfo/164).
- [29] I. B. L. Onesimo, Datos Practicos de Instalaciones Hidraulicas y Sanitarias, 2009.

- 
- [30] G. O. d. D. Federal, Normas Tecnicas Complementarias para Instalaciones de Abastecimiento de Agua Potable y Drenaje., Distrito Federal, 1995.
- [31] G. d. D. Federal, Normas Tecnicas Complementarias para el Diseño y Ejecucion de Obras, Distrito Federal, 2004.
- [32] M. Sanz, «Blog de Normativa,» 18 07 2012. [En línea]. Available: <https://normativainfo.wordpress.com/2012/07/18/conceptos-de-normativa-parte-4-normas-tecnicas-definiciones/#more-739>.
- [33] CDMX, «Secretaria del Medio Ambiente,» [En línea]. Available: <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/cambio-climatico>.
- [34] Florencia, «Definición ABC,» 2009. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/general/actualizar.php>.
- [35] INVI, «Instituto de Vivienda del Distrito Federal,» [En línea]. Available: <http://www.invi.df.gob.mx/portal/invi.aspx>.
- [36] «significados.com,» 22 03 2016. [En línea]. Available: <http://www.significados.com/manual>.

Ref. No.1: Perfil Longitudinal y Secciones Trasversales. Abril 2016.

Ref. No.2: El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México. S.M. M. S., 1978.

Ref. No.3: Reglamento de Construcciones para el Gobierno del Distrito Federal y sus Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Octubre 2004.

Ref. No.4: Estudios para la integración de los resultados de las nivelaciones de los bancos de nivel implantados por la D. G. C. O. H., y elaboración de sus configuraciones. Hundimiento Medio Anual Periodo 1992 – 2002.

Ref. No.5: Reporte: Estudio de Nivel Alto de tráfico en el NAICM. Área de Apoyo Norte-Campo Central Oeste. Naco. 09 noviembre de 2015.

Ref. No.6: Instructivo para diseño estructural de pavimentos flexibles para carreteras., Series del Instituto de Ingeniería N° 444, Corro S., Magallanes R. y Prado G. Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II UNAM), 1981.

Ref. No.7: Ingeniería de Cimentaciones. E. Tamez G. TGC. 2001.

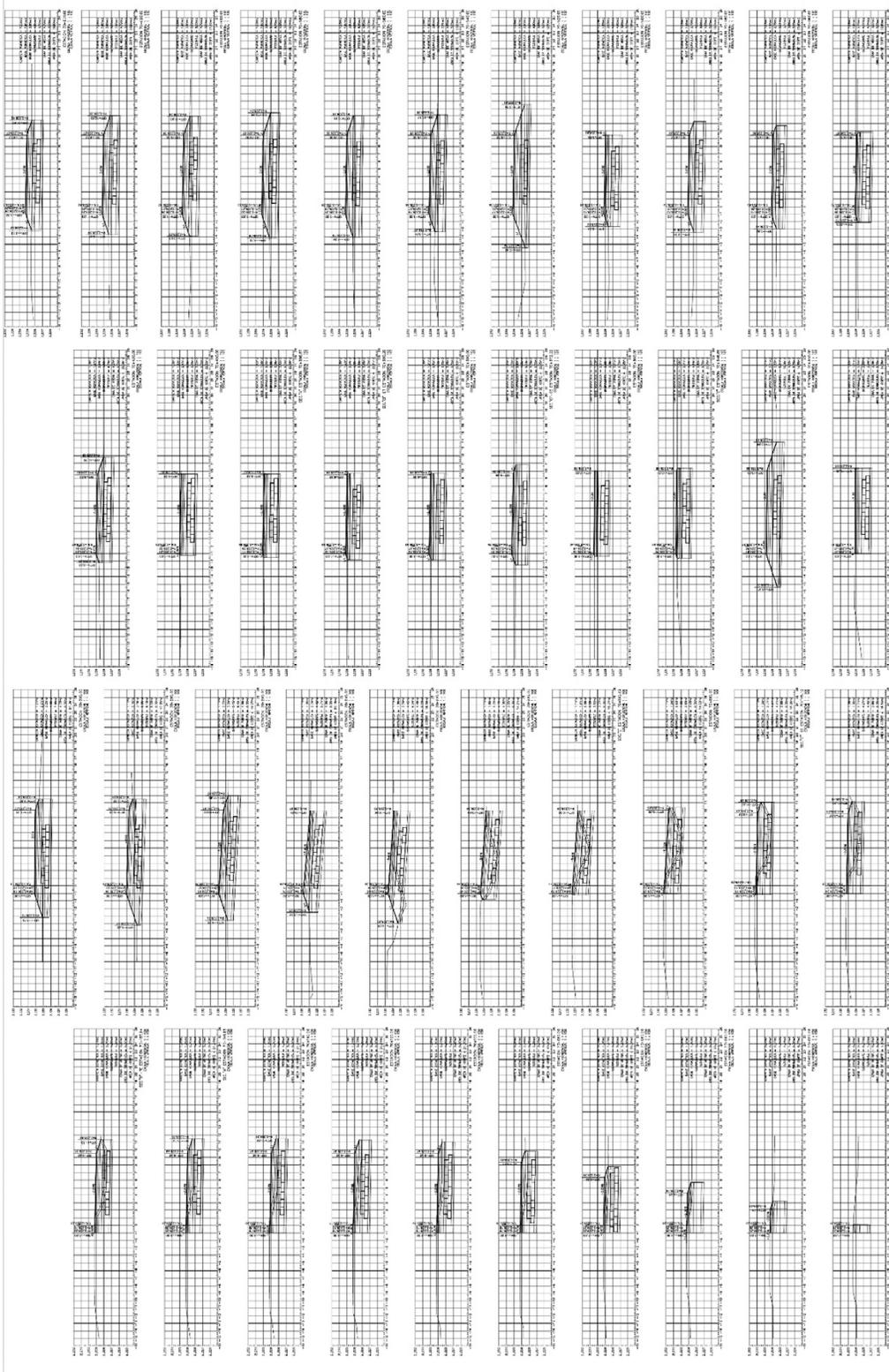
Ref. No.8: Foundation Analysis and Design. J. Bowles. McGraw- Hill. Second Edition.

---

Ref. No.9: La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Carreteras, Ferrocarriles y Aeropistas.  
Rico y Hermilo Del Castillo. Vol. 2. Editorial Limusa.

# ANEXOS





**EP.01 GEOTEXTIL DE POLIPROPILENO DE CALIDAD DRENANTE DE 200 g/m<sup>2</sup>****1. Definición**

Es la aplicación de la membrana sintética que se colocará entre la superficie del terreno natural y la plantilla de las terracerías. Dicha membrana fungirá como interfaz separadora, impidiendo la incrustación individual de las partículas de grava y arena que constituirán la plantilla de las terracerías, en el subsuelo blando.

**2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·01·010, Terraplenes Reforzados

N·CMT·CAR·6·01·001, Geotextiles para Terracerías

**3. Materiales**

El geotextil al que se refiere esta especificación deberá ser sintético, no tejido, fabricado integralmente con fibras cortas de polipropileno termosoldadas, de calidad drenante, resistente a la acción de agentes químicos o biológicos. El geotextil deberá tener un peso mínimo de doscientos (200) gramos por metro cuadrado, debiendo cumplir con los requisitos indicados en la siguiente tabla y en la Norma N·CMT·CAR·6·01·001, Geotextiles para Terracerías:

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR	NORMA
Espesor	mm	> 1.2	ASTM D 3199
Resistencia a la tensión GRAB	kg	> 46	ASTM D 4632

Elongación	%	< 105	ASTM D 4632
Rasgado Trapezoidal	kg	> 25	ASTM D 4533
Resistencia a la perforación	kg	> 23	ASTM D 4833
Permisividad ( i = 50 mm)	seg-1	1.5	ASTM D 4491
Flujo	l / min / m2	> 6000	ASTM D 4491
Abertura aparente AOS	mm	0.149	ASTM D 4751
Resistencia retenida, después de 500 hr de exposición a los rayos ultravioleta.	%	> 60	ASTM D 4355

#### 4. Ejecución

Además de cumplir con los procedimientos de ejecución señalados en la Norma N·CTR·CAR·1·01·010, Terraplenes Reforzados, de la Normatividad SCT, el Geotextil no tejido deberá aplicarse sobre superficies libres de materias extrañas que puedan dañarlo. Previamente deberán retirarse todos los materiales (piedras, raíces u otros objetos) que puedan rasgar los lienzos.

La colocación del Geotextil se hará manualmente y al desenrollarse se evitará que se rasgue y, en lo posible, que se arrugue. Su extendido se hará en la dirección paralela al eje de la carretera fijando un extremo de la tela, para poder desenrollarla con más facilidad.

Durante su instalación la tela se sujetará al suelo por medio de anclas o broches, o piedras lisas, de tal manera que se eviten movimientos no deseados a causa del viento u otros factores.

Los lienzos tendrán un traslape mínimo de sesenta (60) centímetros, tanto en el sentido longitudinal como transversal, los cuales deberán estar firmemente cosidos, para lo cual se empleará una maquina cerradora de sacos, cuidando usar hilo del mismo tipo de fibra que el geotextil, para garantizar la continuidad de las propiedades del material en las uniones.

Las costuras más comunes y que se utilizan con mayor frecuencia son: la “J” y la “T”;

en estos tipos de costura existen subdivisiones como son “J-1”; “J-2” y “J-3”, además de los siguientes tipos de costuras. “I-1”; “I-2”; “I-3”. El uso de la cerradora de sacos junto con un hilo tipo 12/4 garantiza que la unión entre los geotextiles sea de igual o mayor resistencia que el geotextil.

Debe evitarse el paso del equipo de construcción sobre el geotextil, protegiéndolo con una capa de relleno, preferentemente del material que vaya a colocarse a continuación y proporcionar un confinamiento que impida su dislocación (EP. 02).

## **5. Medición**

Cuando la instalación del geotextil se contrate sobre la base de precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme lo indica el proyecto y lo establece esta Especificación Particular, se medirá directamente en el área cubierta entre los cadenamientos a cada 20 m, siguiendo el método del promedio de los perímetros extremos, con los ajustes aprobados. La medición se hará tomando como unidad el metro cuadrado de geotextil instalado y terminado, con aproximación a la unidad.

## **6. Base de pago.**

El precio por unidad de obra terminada del geotextil instalado y terminado, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado e incluirá lo que corresponda por:

El valor de los materiales complementarios necesarios para su adecuada instalación, así como para evitar la dislocación de los lienzos del geotextil por viento o cualquier otra causa.

La carga, transporte y descarga de los rollos de geotextil y de todos sus elementos para su instalación, desde el sitio o almacén hasta el lugar de su colocación, así como el cargo por su almacenamiento temporal.

La preparación, limpieza y nivelación local de la superficie de desplante, incluyendo el relleno de huecos la eliminación de la vegetación superficial, así como el acarreo y desperdicio de los materiales extraídos durante esta actividad.

La habilitación, extendido y colocación de los lienzos, incluyendo el cosido de los mismos con el equipo adecuado, de acuerdo a lo indicado en esta Especificación Particular.

La conservación de la superficie terminada hasta su recepción.

Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

## **EP.02 PLANTILLA DE DESPLANTE DE LAS TERRACERÍAS**

### **1. Definición**

Es la capa de arena de tezontle que se colocará encima del geotextil que se haya extendido en el terreno natural, con la finalidad de nivelar el terreno donde se desplantará el cuerpo del terraplén, así como contar con una superficie adecuada donde pueda circular sin dificultad el equipo de construcción.

### **2. Materiales**

El espesor de esta capa no podrá ser inferior a diez (10) centímetros y para su construcción se utilizarán arenas de tezontle, con tamaño máximo de seis puntos cuatro (6.4) milímetros.

Para su acomodo deberá bandearse con dos a tres pasadas de equipo ligero, en capas no mayores de veinte (20) centímetros. Una vez bandeada la plantilla y colocado el geotextil superior, deberá restringirse el tránsito innecesario de equipo y personal sobre la superficie terminada, para proceder a la construcción del cuerpo de terraplén.

### **3. Ejecución**

Descarga y distribución del relleno de agregados pétreos.

Los camiones provistos de neumáticos estándar que cumplen con las normas de carreteras (de descarga por el extremo y descarga inferior) pueden circular a baja velocidad

(menos de 8 km por hora) y descargar relleno a medida que avanzan en reversa, en tanto que este tránsito no produzca ahuellamiento significativo en la subrasante despejada. Deben evitarse los giros, arranques y paradas súbitas.

Sobre el terreno más suave, deberá descargarse el material sobre el geotextil previamente colocado. En suelos blandos el procedimiento debe realizarse con extrema precaución para evitar sobrecargar el suelo durante y después de la colocación del relleno.

No deberá permitirse el tránsito de equipo con orugas directamente sobre el geotextil. Sólo se permitirá la operación de vehículos con neumáticos directamente sobre el geotextil, si el subsuelo no es propenso a la producción de ahuellamiento con el tránsito limitado durante la construcción de la autopista.

Sobre los terrenos más blandos se recomienda el uso de niveladoras livianas con neumáticos en baja presión sobre el suelo, para distribuir la primera capa de forma uniforme sobre el geotextil expuesto.

Durante el extendido del material es necesario proceder con cuidado, para evitar que la hoja de las niveladoras u otros equipos se enganchen en el geotextil. La hoja de la niveladora debe levantarse gradualmente a medida que se coloca cada capa. El efecto deseado es que el relleno se vuelque en forma de cascada sobre el geotextil sin ejercer presión.

Cuando se construye sobre las zonas más blandas es recomendable trabajar desde las más resistentes hacia las más débiles.

#### **4. Bandeado**

Debido a la existencia de suelos blandos, es prudente recurrir al bandeado con equipo no vibratorio, especialmente sobre suelos de grano fino o sin cohesión. Si se mantiene un nivel óptimo de humedad del material del relleno, el bandeado se realizará con mayor eficacia. Para incorporar la humedad adecuada a los materiales se empleará un rociador, sobretodo en rellenos

---

granulares. Durante la construcción sobre suelos muy blandos, por lo general, los requisitos de bandeado suelen ser menores para la capa inicial, ya que el principal propósito de esta capa es lograr una superficie de trabajo adecuada.

Si se produce ahuellamiento o asentamientos severos debido al tránsito de camiones o niveladoras, debe agregarse relleno de inmediato para fortalecer la sección.

En algunos casos, es prudente detener las operaciones durante un plazo corto, para permitir que la presión de poro se disipe y la plantilla se estabilice. De lo contrario, debe analizarse la posibilidad de implementar medidas tales como zanjas de drenaje (sangrías) para reducir el nivel de humedad de la capa más alta de la plantilla.

Se bandeará la plantilla de agregado de tezontle según especificaciones del proyecto, después de nivelarlo y antes de someterlo al tránsito del equipo de construcción. Los métodos y equipos de compactación deberán ser adecuados para el tipo de relleno utilizado, su espesor y las condiciones del terreno natural.

Si el espesor del relleno de agregado no es suficiente para soportar las cargas impuestas al construir sobre suelos blandos, se producirá un ahuellamiento excesivo en la plantilla. Deben tomarse medidas para garantizar que se coloque un espesor indicado de relleno granular sobre el geotextil para maximizar la capacidad de soporte y minimizar el movimiento en la superficie.

## **5. Medición**

Cuando la construcción de la plantilla se contrate sobre la base de precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme lo indica el proyecto y lo establece esta Especificación Particular, se medirá directamente en el área cubierta entre los cadenamientos a cada 20 m, siguiendo el método del promedio de los perímetros extremos, con los ajustes aprobados. La medición se hará tomando como unidad el metro cúbico de plantilla terminada, con aproximación a la unidad.

**6. Base de pago**

El precio por unidad de obra terminada de la plantilla terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico e incluirá lo que corresponda por:

Disgregado y marreo del material.

Pepena y eliminación de las partículas de tamaños mayores al máximo establecido en el proyecto.

Cargas del material en los cortes al equipo de transporte, acarreo al lugar de tendido y descarga.

Permisos de explotación de bancos de agua; extracción, carga, acarreo al lugar de utilización, aplicación e incorporación del agua.

Preparación de la superficie de desplante.

Operaciones de tendido, conformación y bandeado al grado fijado en el proyecto.

Afinamiento para dar el acabado superficial.

Los tiempos de los vehículos empleados en los transportes de los materiales, durante las cargas y las descargas.

La conservación de la plantilla hasta que sea recibida.

Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

### EP.03 GEOMEMBRANA DE POLIETILENO EN TERRAPLENES DE POLIESTIRENO

#### 1. Definición

Es la envoltura que cubrirá los bloques de poliestireno de los terraplenes, con el objeto de impedir su saturación y consecuentemente, evitar el incremento del peso que gravitará sobre el terreno natural compresible.

#### 2. Materiales

La geomembrana será de polietileno, con espesor mínimo de 1.5 mm, la cual deberá cumplir con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla:

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR	FRECUENCIA	NORMA
Espesor promedio	mm	1.5	Por rollo	ASTM D 5199
Espesor mínimo (-10%)	mm	0.9	Por rollo	ASTM D 5199
Densidad		0.94	18 kg	ASTM D 792
Propiedades a la tensión				
Tensión de fluencia	KN/m	15	9.0 kg	ASTM D 6693
Tensión de rotura	KN/m	28	9.0 kg	ASTM D 6693
Elongación de fluencia	%	12	9.0 kg	ASTM D 6693
Elongación de rotura	%	700	9.0 kg	ASTM D 6693
Resistencia al rasgado	N	125	18 kg	ASTM D 1004
Resistencia al punzonamiento	N	370	18 kg	ASTM D 4833
Resistencia al agrietamiento	hr	300	Por formulación	ASTM D 5397
Contenido de carbón	%	2.0 – 3.0	9.0 kg	ASTM D 4218
Dispersión de carbón	Categoría	1.0 – 2.0	18 kg	ASTM D 5596

Tiempo de inducción oxidativa (OIT)	minutos	100	18 kg	ASTM D 3895
Envejecimiento en horno a 85°C				ASTM D 5721
OIT estándar (90 días)	%	55	Por formulación	ASTM D 3895
Resistencia retenida, después de 1920 hr de exposición a los rayos ultravioleta.	%	50	Por formulación	GM 11

La junta entre los lienzos de la geomembrana deberá tener un traslape mínimo de veinte (20) centímetros, debiendo termosoldarse, para asegurar su impermeabilidad.

### 3. Ejecución

#### a) Traslado y almacenamiento al pie de la obra

Antes de proceder a cargar los rollos de geomembrana se debe inspeccionar la plataforma del camión grúa para verificar que no existan objetos punzocortantes que dañen los geosintéticos. Previamente a la recepción de los rollos de polietileno para su traslado al pie de obra deberá inspeccionarse la integridad de los geosintéticos.

Se deberá preparar el área adecuada para el almacenamiento de los materiales al pie de la obra. La superficie deberá ser plana y libre de objetos punzocortantes que podrían cortar o perforar el material de revestimiento.

#### b) Previo a la instalación

Antes de iniciar el tendido de los paneles de geomembrana se debe realizar la inspección visual de la capa con los bloques de poliestireno debidamente colocados. El técnico de Control de Calidad debe identificar cada panel anotando, con marcador, la siguiente información:

- N° de Panel
- N° de Rollo, asignado por el fabricante
- Fecha y Hora de despliegue

---

- Dimensión del panel

Cuando estén desplegados los paneles se verificará que no presenten daños físicos, de fábrica o producidos durante la manipulación de transporte. Se deberá reportar cualquier daño en la capa externa de los rollos que podrían afectar la calidad de la instalación.

**c) Pruebas de pre soldado con cuña**

Los ensayos consisten, en probar la adherencia y el esfuerzo cortante de las muestras cortadas de soldadura que serán ensayadas en el tensiómetro de campo. La velocidad de separación de la mordaza del tensiómetro deberá ser de 2 pulgadas por minuto en geomembrana de alta densidad (HDPE) y 20 pulgadas por minuto en geomembrana de baja densidad (LLDPE). Los criterios de las pruebas deberán ser según los procedimientos del proveedor.

**d) Muestras para ensayo**

Las muestras para los ensayos son cortadas con una cuponera. Para el caso de la puesta en marcha de los equipos se deberán ensayar 3 cupones en la prueba de adherencia y 2 cupones en prueba de esfuerzo cortante.

Para el ensayo de muestras destructivas se deberán ensayar 5 cupones en la prueba de adherencia y 5 cupones en prueba de esfuerzo cortante.

Los cupones son de 15 cm (6") por 2.54 cm (1") de ancho, de la muestra de soldadura, de modo que cada muestra para ensayo tenga un ángulo de 90° hacia la soldadura y que quede en el centro de la muestra para ensayo en el tensiómetro.

Se deberá tener especial cuidado en que el cupón de muestra sea de 15 cm (6") por 2,54 cm (1") de ancho, medido en forma perpendicular a la costura. Esto es porque el esfuerzo a que será sometida la muestra se expresa en Libras/pulgada lineal, por lo que cualquier variación en el ancho de cupón alterará la resistencia al esfuerzo que será sometido.

### e) Costura de montaje por cuña

#### Prueba Inicial

Se debe efectuar una tira de prueba por máquina de soldar al comenzar cada día de trabajo. La tira de prueba se debe hacer al pie de la obra y bajo las mismas condiciones en que se hacen las costuras de los revestimientos. La tira de prueba deberá tener 1.2 m de largo por 0.30 m de ancho, con la costura centrada longitudinalmente. La misma que deberá realizarse cada 5 horas o cuando se desconecte el equipo.

#### Procedimiento de soldadura de fusión con cuña

La calibración de la cuña depende del espesor de la lámina a soldar; siendo este uno de los factores más importantes para obtener una soldadura de buena calidad; una mala calibración puede producir una soldadura deficiente.

Al finalizar las pruebas de pre-soldadura se procederá con los trabajos de soldadura por fusión siguiendo las indicaciones de Control de Calidad del proveedor.

La inspección visual de las costuras de soldadura y de los paneles se realiza de manera permanente.

La fase de inspección final deberá consistir en una inspección visual de la soldadura para verificar que no haya defectos y que esté alineada correctamente.

Todos los defectos y orificios que se encuentran deberán ser reparados y probados nuevamente. Por último, se deberán inspeccionar visualmente los paneles, las penetraciones, el perforado, el traslape y cualquier otro detalle según las especificaciones del proyecto.

Se deberán reparar todas las fallas de la soldadura y todo tipo de daño encontrado en los paneles de revestimiento aplicando soldadura por extrusión.

**f) Inspección final**

Se debe inspeccionar cuidadosamente cada una de las geomembranas que se encuentran colocadas, en particular las uniones, que es el lugar donde se podrían detectar mayores problemas debido a una mala puesta en servicio de los equipos o a la excesiva presencia de polvo que hubiere durante su instalación.

Al detectar alguna falla (rotura, ralladura o fisura) en la geomembrana se marcará con la finalidad de proceder a su reparación:

- Rotura: Una rotura debe ser marcada como parche debido a que se detectó perforación de la geomembrana.
- Ralladura: Se denomina ralladura o un daño superficial de la membrana, no habiendo perforación en la lámina. Se deberá reparar con un gusano de soldadura.
- Roca: Corresponde a una piedra que haya quedado debajo de la geomembrana desplegada, en sectores que han sido fusionados y que requiere necesariamente cortar la lámina para su retiro; esta área deberá ser marcada como parche.
- Fisura: La fisura es un quiebre en la geomembrana, producido por una mala disposición de la misma o por el excesivo viento que la levanta y deja caer en forma brusca, cuando no ha sido debidamente asegurada con sacos o con lastre.
  
- Fallas de material: Corresponde a fallas de fabricación que presentan los rollos de geomembranas y que son advertidos al momento de la instalación. Cada una de estas fallas deberá ser motivo de investigación para determinar los pasos a considerar en la reparación de tales fallas.
  
- Trampolín: Corresponde a la contracción excesiva de la geomembrana en sectores específicos del área de instalación (bordes inferiores de taludes), lo que no permite que adopte la disposición final y adecuada sobre la superficie. Para evitar esta situación se colocarán lastres uno tras otro al pie del talud fijando la geomembrana al pie del talud y

en la zanja de anclaje. Si no se llegara a controlar este trampolín se deberá cortar al centro del “trampolín” y se le sustituirá con una porción adicional de geomembrana.

Todas las fallas descritas deberán ser reparadas de acuerdo a los procedimientos y revisadas nuevamente con las pruebas de calidad correspondientes.

#### **4. Medición**

Cuando la instalación de la geomembrana se contrate sobre la base de precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme lo indica el proyecto y lo establece esta Especificación Particular, se medirá directamente en el área cubierta entre los cadenamientos a cada 20 m, siguiendo el método del promedio de los perímetros extremos, con los ajustes aprobados. La medición se hará tomando como unidad el metro cuadrado de geomembrana instalada y terminada, con aproximación a la unidad.

#### **5. Base de pago**

El precio por unidad de obra terminada de la geomembrana instalada y terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado e incluirá lo que corresponda por:

- El valor de los materiales complementarios necesarios para su adecuada instalación.
- La carga, transporte y descarga de los rollos de geomembrana y de todos sus elementos para su instalación, desde el sitio o almacén hasta el lugar de su colocación, así como el cargo por su almacenamiento temporal.
- La preparación, limpieza y nivelación local de la superficie de desplante, así como el acarreo y desperdicio de los materiales extraídos durante esta actividad.
- La habilitación, extendido y colocación de los lienzos, incluyendo la soldadura de los mismos con el equipo adecuado, de acuerdo a lo indicado en esta Especificación Particular.
- La conservación de la superficie terminada hasta su recepción por parte.
- Los trabajos de inspección y pruebas de calidad para la correcta ejecución de la

geomembrana.

- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

## **EP.04 CUERPO DE TERRAPLÉN, ESTRUCTURADO CON BLOQUES DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD**

### **1. Definición**

Debido a la baja resistencia al esfuerzo cortante y alta compresibilidad de las capas superiores del terreno natural, donde se construirán las terracerías de la autopista, se hace necesario emplear materiales ligeros para estructurar el cuerpo de los terraplenes. Para tal objeto se utilizarán, donde lo indica el proyecto, bloques de poliestireno expandido de alta densidad para configurar el corazón de dichos terraplenes, debidamente confinados con materiales convencionales para terracerías, como se indica en el proyecto.

### **2. Materiales**

Los bloques de poliestireno de alta densidad seleccionados en el proyecto serán del tipo EPS-29, elaborados en fábrica para garantizar que sean química y biológicamente inertes y ser resistentes a los procesos degenerativos de los suelos, al desgaste a rasgaduras o punzonamientos, así como soportar el nivel de deformaciones y esfuerzos dinámicos a los que se verán sometidos, sea por el peso de la superestructura, por el equipo de construcción y por el tránsito vehicular, en cualquier dirección.

Para evitar el dislocamiento de los bloques de poliestireno durante y después de la construcción, se emplearán dos (2) garras metálicas, encajadas y encoladas en dos (2) puntos aislados de los bordes de cada bloque, con pegamento de poliuretano.

El espesor de los bloques de poliestireno por colocar estarán en función de los niveles de la rasante, de acuerdo al proyecto, dejando el espacio necesario para alojar la plantilla inferior, la capa subrasante y el pavimento. Los bloques de poliestireno expandido de alta densidad deberán cumplir con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla.

PROPIEDADES	UNIDAD	VALOR EPS-29	NORMA
Densidad aparente mínima	kg/m <sup>3</sup>	29	EN ISO 845
Resistencia a la tensión por presión, para deformación unitaria de 10%	kg/cm <sup>2</sup>	> 2.0	EN 826
Resistencia a la presión permanente, para una deformación unitaria de 2%, después de 50 años	kg/cm <sup>2</sup>	> 0.75	ISO 785
Resistencia a la flexión	kg/cm <sup>2</sup>	>4.5	EN 12089
Resistencia al cizallamiento	kg/cm <sup>2</sup>	>2.5	DIN 53 427
Resistencia a la tensión	kg/cm <sup>2</sup>	>4.0	DIN 53 430
Módulo elástico (E)	kg/cm <sup>2</sup>	>100	EN 826
Absorción de agua por inmersión a los 28 días	%	3.0	DIN 53 434

Además, los bloques de poliestireno deberán garantizar su resistencia a productos químicos tales como soluciones salinas, jabones, líquidos con hipocloritos, ácidos no anhidros diluidos, entre otros, así como al ataque de microorganismos y roedores.

### 3. Ejecución

En todo momento el proveedor deberá situarse en donde se ejecutan los trabajos para aportar sus recomendaciones y adecuaciones al proyecto donde y cuando se requiera.

Es recomendable que el corazón de los terraplenes constituido con bloques de poliestireno expandido (EPS), se formen en por lo menos dos capas.

Previo a su colocación, la plantilla de arena de tezontle deberá estar debidamente colocada, nivelada y compactada (ver EP 02), con un espesor promedio de 30 cm con la finalidad de nivelar el terreno y que los bloques descansen uniformemente sobre una de sus caras.

---

Los bloques deberán asentarse uniformemente sobre una de sus caras. Los bloques se colocarán a juntas traslapadas para rigidizar el conjunto. Al ir colocando cada cama se recomienda confinar lateral y simultáneamente con el respaldo de tezontle indicado en el proyecto, con el objeto de que los bloques no corran el riesgo de ser movidos accidentalmente; adicionalmente se recomienda utilizar grapas de sujeción para evitar posibles deslizamientos entre bloque y bloque.

Los bloques de poliestireno podrán colocarse manualmente, ya que su peso es muy bajo y pueden ser fácilmente manipulables. Se colocarán de manera longitudinal según el eje de trazo.

Los bloques de poliestireno serán cortados de dimensiones tales que se evitará tener desperdicios mayores al 1%.

El agua puede ser drenada por medio de aberturas hechas en la estructura de los bloques en caso de ser necesario. Los canales pueden ser cortados dentro de los bloques con una sierra. Las pequeñas perforaciones y huecos no dañan la estructura de los bloques.

Con la finalidad de proteger los bloques de poliestireno, una vez colocadas las camas de acuerdo al proyecto, éstos deberán envolverse en su totalidad con una geomembrana (ver EP.03). Las juntas de la geomembrana deberán ser electrosoldadas con traslapes de 12 cm.

Una vez colocada la última cama se comienza a tender sobre ella el material granular que servirá como capa subrasante. A medida que se va tendiendo el material granular la maquinaria puede comenzar a circular sobre el mismo; no es recomendable que la maquinaria circule directamente sobre los bloques, la compactación del material granular se ejecuta en la forma tradicional al igual que la capa asfáltica de rodamiento.

#### **4. Medición**

Cuando la instalación de los bloques de poliestireno se contraten sobre la base de precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme lo indica el proyecto y lo

establece esta Especificación Particular, se medirá directamente en el área cubierta entre los cadenamientos a cada 20 m, siguiendo el método del promedio de los perímetros extremos, con los ajustes aprobados. La medición se hará tomando como unidad el metro cúbico de EPS instalado y terminado, con aproximación a la unidad.

## **5. Base de pago.**

El precio por unidad de obra terminada de los bloques de poliestireno instalados y terminados, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cúbico e incluirá lo que corresponda por:

- El valor de los materiales complementarios necesarios para su adecuada instalación, así como para evitar la dislocación de los bloques por viento o cualquier otra causa.
- La carga, transporte y descarga de los bloques de poliestireno y de todos sus elementos para su instalación, desde el sitio o almacén hasta el lugar de su colocación, así como el cargo por su almacenamiento temporal.
- La preparación, limpieza y nivelación local de la superficie de desplante, incluyendo el relleno de huecos, así como el acarreo y desperdicio de los materiales extraídos durante esta actividad.
- La habilitación y colocación de los bloques, incluyendo la unión de los mismos con el equipo adecuado, de acuerdo a lo indicado en esta Especificación Particular.
- La conservación de la superficie terminada hasta su recepción.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

## **EP.05 CUERPO DE TERRAPLÉN, ESTRUCTURADO CON UNA MEZCLA DE TEZONTLE Y TEPETATE**

### **1. Definición**

En los sitios donde indica el proyecto, específicamente como elementos de confinamiento de los bloques de poliestireno, se estructurará el cuerpo de terraplén con una mezcla de grava de tezontle con arenas limosas (tepetate), con el propósito de balancear el peso de las terracerías

que gravitarán sobre el terreno natural y uniformizar los posibles asentamientos de las secciones transversales.

## **2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·01·009, Terraplenes

N·CMT·1·02, Materiales para subyacente

## **3. Materiales**

La mezcla estará formada por materiales como los obtenidos en los bancos de préstamo, con partículas con tamaño máximo de siete punto seis (7.6) centímetros.

La mezcla se elaborará en una proporción volumétrica de ochenta (80) por ciento de tezontle y veinte (20) por ciento de tepetate. Dicha mezcla deberá cumplir con lo indicado en la Tabla 1 de la Norma N.CMT.1.02, editada en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes SCT, compactando los materiales por capas en un espesor no mayor de veinticinco (25) centímetros sueltos, a un grado mínimo de noventa y cinco (95) por ciento, respecto a la masa volumétrica seca máxima de la prueba de control AASHTO estándar.

## **4. Ejecución, medición y base de pago**

El procedimiento de ejecución, control de calidad de los materiales, medición y base de pago se sujetarán a lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.01.009 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

## **EP.06 CAPA SUBRASANTE**

### **1. Definición**

La capa subrasante se estructurará con una mezcla de grava de tezontle con arenas limosas (tepetate), con el propósito de confinar los materiales aligerados que le subyacen, con espesor de cuarenta (40) centímetros, y contará con una geomallatriaxial colocada 15 cm por encima de su nivel de desplante, de acuerdo a las recomendaciones hechas en la EP 07.

### **2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·01·010, Terraplenes

N·CMT·1·03, Materiales para subrasante

### **3. Materiales**

La mezcla estará formada por materiales como los obtenidos en los bancos de préstamo, con partículas con tamaño máximo de siete punto seis (7.6) centímetros.

La mezcla se elaborará en una proporción volumétrica de ochenta (80) por ciento de tezontle y veinte (20) por ciento de tepetate. Dicha mezcla deberá cumplir con lo indicado en la Tabla 1 de la Norma N.CMT.1.02, editada en la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT, compactando los materiales por capas en un espesor no mayor de veinte (20) centímetros sueltos, hasta alcanzar un grado mínimo de cien (100) por ciento, respecto a la masa volumétrica seca máxima de la prueba de control AASHTO estándar.

#### **4. Ejecución, medición y base de pago**

El procedimiento de ejecución, control de calidad de los materiales, medición y base de pago se sujetarán a lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.01.009 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

### **EP.07 GEOMALLA TRIAXIAL DE ALTA RIGIDEZ A LA FLEXIÓN**

#### **1. Definición**

Es el elemento sintético que se colocará junto con el geotextil en el terreno natural, así como a 15 cm del nivel de desplante de la subrasante y en la interfaz entre la subrasante y la base hidráulica en el pavimento, con el propósito de distribuir y uniformizar los esfuerzos inducidos por los vehículos, además de provocar una trabazón del material para evitar su incrustación.

#### **2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N-CMT-6-01-005, Geomallas de polímeros para terracerías, sub-bases y bases

#### **3. Materiales**

La geomallatriaxial deberá ser fabricada a partir de láminas de resinas selectas de polipropileno, perforadas y estiradas uniformemente en dos direcciones, formando costillas con un alto grado de orientación molecular y uniones integrales de alta rigidez, dando lugar a aperturas de forma

triangular.

Las geomallas así elaboradas deberán garantizar ser química y biológicamente inertes y ser resistentes a los procesos degenerativos de los suelos, al desgaste a rasgaduras o punzonamientos, así como soportar las cargas dinámicas aplicadas por el equipo de construcción, en cualquier dirección dentro de su superficie expuesta.

La Geomallatriaxial que se colocará en la subrasante y en la interfaz de la subrasante y la base hidráulica deberán cumplir con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla.

Propiedades	Unidad	Sentido			General
		Longitudinal	Diagonal	Transversal	
Distancia entre costillas paralelas	mm	40	40		
Profundidad al centro de la costilla	mm		1.2	1.2	
Ancho al centro de la costilla	mm		1.1	1.1	
Forma de la costilla					Rectangular
Forma de la apertura					Triangular
Integridad estructural					
Eficiencia en las juntas	%				93
Estabilidad de aperturas, @5.0 kg-cm	Kg-cm/deg				3.0
Rigidez radial para 0.5% de def. unitaria	kN/m				225

La Geomallatriaxial que se colocará junto con el geotextil en contacto con el terreno natural deberá cumplir con los requisitos de calidad que se indican en la siguiente tabla.

Propiedades	Unidad	Sentido			General
		Longitudinal	Diagonal	Transversal	
Distancia entre costillas paralelas	mm	40	40		
Profundidad al centro de la costilla	mm		1.6	1.4	
Ancho al centro de la costilla	mm		1.0	1.2	
Espesor de nodos o juntas	mm				3.1
Forma de la costilla					Rectangular
Forma de la apertura					Triangular
Integridad estructural					
Eficiencia en las juntas	%				93
Estabilidad de aperturas, @5.0 kg-cm	Kg-cm/deg				3.6
Rigidez radial para 0.5% de def. unitaria	kN/m				300

Los valores estadísticos de las dimensiones indicadas en la tabla anterior se refieren al promedio de los valores obtenidos en un muestreo aleatorio, menos dos (2) veces la desviación estándar respectiva.

Además, las geomallas deben cumplir con los siguientes requisitos de durabilidad, de acuerdo a los métodos de prueba descritos en las Normas ASTM D 6637 y D-4355

Resistencia a la degradación química: 100%

Resistencia a la degradación por luz ultravioleta 100%

Resistencia a la degradación por condiciones ambientales 100%

#### 4. Ejecución

Preparación para su colocación

Previo a su colocación, la superficie deberá estar debidamente terminada.

Se cortarán las cintas del rollo y se desenrollarán manualmente sobre la superficie preparada.

#### Colocación y traslape de la geomalla

Se desenrollará la geomalla en dirección del tráfico de manera tal que el eje largo del rollo quede paralelo a los patrones de tráfico canalizado.

El traslape de las geomallas serán en la dirección en la que se aplicará el relleno para evitar que las geomallas se “pelen” en las capas de traslape debido al avance del relleno. Para acelerar el proceso de colocación del traslapado, deberá analizarse la posibilidad de primero colocar los rollos en el extremo más lejano del área de cobertura y trabajar en dirección hacia el extremo más cercano desde donde avanzará el relleno.

Los rollos de geomalla adyacentes por lo general no se conectan mecánicamente entre sí.

La geomalla se cortará y traslapará para adaptarla a las curvas. El corte puede realizarse con cizallas filosas, un implemento similar a un cuchillo o sierras eléctricas manuales. Deberá utilizarse el equipo de seguridad adecuado, como guantes y protección para los ojos. Se cortará la geomalla para adaptarla a las tapas de las cajas tapaderas de registro y otras protuberancias inmóviles.

#### Tensado y fijación

Las geomallas se pueden anclar en el lugar para ayudar a mantener los traslapes del producto y la alineación con el área cubierta.

Antes de desenrollar por completo la geomalla, deberá anclarse el comienzo del rollo, en el centro y en las esquinas, a la superficie subyacente. El anclaje se realizará con pequeños cúmulos

---

de relleno de agregado o una arandela y un pin. También se pueden usar grapas gruesas e insertarlas en el subsuelo a través de las aberturas de la geomalla.

Se desenrollará la geomalla, alineándola y tensándola para eliminar las arrugas y evitar que quede floja con la tensión de la mano, para luego asegurarla en el lugar. Deberán utilizarse guantes al manipular y cortar las geomallas.

Es posible que se requieran paladas adicionales de relleno de agregados para mantener la geomalla en su lugar antes de colocar el relleno propiamente dicho. Cuando el relleno de agregado se distribuya presionándolo sobre la geomalla con equipos pesados como niveladoras, la acción de empuje puede crear un efecto de “onda” en la geomalla por delante del relleno que avanza. El relleno colocado puede amontonarse y atrapar esta onda, y presionar la geomalla contra la capa de agregado donde lo puede dañar el equipo que distribuye el relleno. En este caso se deberá estirar y tensionar la geomalla para mitigar la holgura de colocación, eliminando así la formación de “ondas”. Si se produce ondulación significativa, los pines, las clavijas o material colocado debe removerse para permitir que las ondas se disipen en los extremos y bordes del rollo.

Para su colocación en terracerías, la geomalla deberá coserse al geotextil previamente colocado para que puedan trabajar en conjunto y así evitar deslizamientos de la geomalla sobre el geotextil.

## **5. Medición**

Cuando la instalación de la geomalla se contrate sobre la base de precios unitarios por unidad de obra terminada y sea ejecutada conforme lo indica el proyecto y lo establece esta Especificación Particular, se medirá directamente en el área cubierta entre los cadenamientos a cada 20 m, siguiendo el método del promedio de los perímetros extremos, con los ajustes aprobados. La medición se hará tomando como unidad el metro cuadrado de geomalla instalada y terminada, con aproximación a la unidad.

## **6. Base de pago**

El precio por unidad de obra terminada de la geomalla instalada y terminada, se pagará al precio fijado en el contrato para el metro cuadrado e incluirá lo que corresponda por:

- El valor de los materiales complementarios necesarios para su adecuada instalación, así como para evitar la dislocación de los lienzos de la geomalla por viento o cualquier otra causa.
- La carga, transporte y descarga de los rollos de geomalla y de todos sus elementos para su instalación, desde el sitio o almacén hasta el lugar de su colocación, así como el cargo por su almacenamiento temporal.
- La preparación, limpieza y nivelación local de la superficie de desplante, así como el acarreo y desperdicio de los materiales extraídos durante esta actividad.
- La habilitación, extendido y colocación de los lienzos, incluyendo el cosido de los mismos con el equipo adecuado, de acuerdo a lo indicado en esta Especificación Particular.
- La conservación de la superficie terminada hasta su recepción.
- Y todo lo necesario para la correcta ejecución de este concepto.

## **EP.08 BASE HIDRÁULICA**

### **1. Definición**

Es la capa de materiales pétreos triturados y seleccionados que se construirá sobre una geomallatriaxial colocada sobre la capa subrasante de los pavimentos de la autopista, compactada en un espesor de veintitrés (23) centímetros.

### **2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad

---

para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·04·002, Bases y sub-bases

N·CMT·4·02·002, Materiales para bases hidráulicas

### **3. Materiales**

Para la construcción de la base hidráulica se emplearán agregados pétreos totalmente triturados, con calidad igual o superior a los obtenidos en los bancos sugeridos en el proyecto, con partículas de treinta y ocho (38) milímetros de tamaño máximo, que cumplan con los requisitos indicados en la Norma N.CMT.4.02.002, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

Dichos materiales serán compactados al cien (100) por ciento, respecto a la masa volumétrica seca máxima de la prueba de control AASHTO modificada. Sobre la superficie terminada de esta capa se aplicará un riego de impregnación con una emulsión asfáltica catiónica del tipo ECI-60, que cumpla con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 7 de la Norma N.CMT.4.05.001, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT. Este riego se aplicará en una proporción de un (1) litro por metro cuadrado de la superficie de la base.

### **4. Ejecución, medición y base de pago**

El procedimiento de ejecución, control de calidad de los materiales, medición y base de pago se sujetarán a lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.04.002 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

## **EP.09 BASE DE CONCRETO ASFÁLTICO**

### **1. Definición**

Es la capa constituida por una mezcla de materiales pétreos triturados y cemento asfáltico, elaborada en planta y en caliente, que se construirá sobre la base hidráulica de los pavimentos de la autopista, compactada en un espesor de diecisiete (17) centímetros.

## 2. Referencias

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·04·003, Capas estabilizadas

N·CMT·4·02·003, Materiales para bases tratadas

## 3. Materiales

Para la construcción de la base asfáltica se emplearán agregados pétreos totalmente triturados, con calidad igual o superior a los obtenidos en los bancos sugeridos en el proyecto, con partículas de treinta y ocho (38) milímetros de tamaño máximo, que cumplan con los requisitos indicados en la Tabla 3, para un tránsito  $\square L$  mayor de un millón (106) de ejes estándar equivalentes, que se establece en la Norma N.CMT.4.02.002, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

El cemento asfáltico a utilizar será del tipo AC-20, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 5, de la Norma N.CMT.4.05.001, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

La mezcla asfáltica será elaborada en planta y extendida y compactada en caliente, la cual deberá cumplir con la calidad establecida en la Tabla 1, para un tránsito mayor de un millón (106) de ejes estándar equivalentes, que se indica la Norma N.CMT.4.05.003, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

---

La mezcla asfáltica será compactada al noventa y cinco (95) por ciento, respecto a la masa volumétrica máxima de la prueba Marshall de control. Una vez compactada esta capa se aplicará, si es necesario un riego de liga con una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido del tipo ECR-65, que cumpla con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 7 de la Norma N.CMT.4.05.001, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT. Este riego se aplicará en una proporción de cero punto seis (0.61) litros por metro cuadrado de la superficie de la base asfáltica.

#### **4. Ejecución, medición y base de pago**

El procedimiento de ejecución, control de calidad de los materiales, medición y base de pago se sujetarán a lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.04.003 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la (SCT).

### **EP.10 CARPETA DE CONCRETO ASFÁLTICO**

#### **1. Definición**

Es la capa constitutiva del pavimento que proporciona al usuario comodidad y seguridad, formada por una mezcla de materiales pétreos triturados, de granulometría densa y cemento asfáltico, elaborada en planta y en caliente, que se construirá sobre la base asfáltica, compactada en un espesor de diez (10) centímetros.

#### **2. Referencias**

Esta Especificación se complementa con las siguientes Normas establecidas en la Normatividad para la Infraestructura del Transporte y editadas por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT):

N·CTR·CAR·1·04·006, Carpetas asfálticas con mezcla asfáltica en caliente

N·CMT·4·04, Materiales pétreos para carpetas asfálticas

---

N·CMT·4·05·001, Calidad de materiales asfálticos

### 3. Materiales

Para la construcción de la carpeta asfáltica se emplearán agregados pétreos totalmente triturados, con calidad igual o superior a los obtenidos en los bancos sugeridos en el proyecto, con partículas de diecinueve (19) milímetros de tamaño máximo, que cumplan con los requisitos indicados en la Tabla 3, para un tránsito  $\square$ L mayor de un millón (106) de ejes estándar equivalentes, con tamaño máximo de las partículas de treinta y ocho (38) milímetros, que se establece en la Norma N.CMT.4.02.002, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

El cemento asfáltico a utilizar para la mezcla será del tipo AC-20, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad indicados en la Tabla 5, de la Norma N.CMT.4.05.001, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

La mezcla asfáltica será elaborada en planta y extendida y compactada en caliente, la cual deberá cumplir con la calidad establecida en la Tabla 1, para un tránsito mayor de un millón (106) de ejes estándar equivalentes, que indica la Norma N.CMT.4.05.003, de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la (SCT)

Dichos materiales serán compactados al noventa y cinco (95) por ciento, respecto a la masa volumétrica máxima de la prueba Marshall de control.

### 4. Ejecución, medición y base de pago

El procedimiento de ejecución, control de calidad de los materiales, medición y base de pago se sujetarán a lo indicado en la Norma N.CTR.CAR.1.04.006 de la Normativa para la Infraestructura del Transporte de la SCT.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

