

8-A  
24



# Universidad Nacional Autónoma de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
"ACATLAN"

"Substitución de Suelos altamente Comprensibles  
para la Construcción de una Carretera".

T E S I S

Que para obtener el Título de:

INGENIERO CIVIL

Presenta:

ROMULO CORONA FLORES

Acatlán, Edo. de México

1988.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# C O N T E N I D O

PAG.

## INTRODUCCION

CAPITULO I - - - - - 1

### GENERALIDADES

- 1.1. Origen de las arcillas
- 1.2. Estructura interna de las arcillas
- 1.3. Comportamiento de las arcillas en presencia de agua.
- 1.4. Factores que gobiernan la resistencia mecánica de las arcillas.

CAPITULO II - - - - - 15

### FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS

#### GENERALIDADES

- 2.1. Función de las distintas capas de un pavimento.
- 2.2. Características de los materiales que constituyen las terracerías.
- 2.3. Cargas de diseño
- 2.4. El intemperismo

CAPITULO III - - - - - 52

### METODO DE SUSTITUCION FACTIBLE DEL TRAMO EN ESTUDIO.

#### GENERALIDADES

- 3.1. Exploración, muestreo y pruebas de laboratorio.
- 3.2. Método utilizado

CAPITULO IV	-----	86
CONSTRUCCION DE LA CARRETERA		
GENERALIDADES		
4.1. Proceso constructivo		
4.2. Análisis de costos		
CONCLUSIONES	-----	120
BIBLIOGRAFIA	-----	122

## I N T R O D U C C I O N

Las carreteras es una modalidad de nuestras vías de comunicación. Dentro de esta denominación entrán tanto la más moderna autopista como el más modesto camino rural.

El presente trabajo trata de que el lector tenga una idea más clara de los problemas que representa la construcción de una obra vial en condiciones desfavorables, lo cual constituye esta obra, cuyo tema es "Substitución de suelos altamente compresible para la construcción de una carretera" dándole un enfoque dirigido al tramo "Acceso al puente Coatzacoalcos II, margen izquierda".

El crecimiento industrial de la cuenca petrolera de la planicie costera del sureste de México, ha obligado a ampliar el proyecto y construcción de una infraestructura vial en el área Minatitlán-Coatzacoalcos-Pajaritos, con el fin de salvar el Río Coatzacoalcos se construye un nuevo puente denominado Coatzacoalcos II situado a unos 20 km aguas arriba del puente Coatzacoalcos I. La ubicación de este puente condiciona el trazo del camino que cruza la parte más estrecha del pantano situado entre las ciudades de Minatitlán y Coatzacoalcos, una zona muy plana y baja que corresponde a la extensa llanura de inundación del Río Coatzacoalcos, las formaciones geológicas más antiguas son las del Terciario (Mioceno medio) sedimentarias constituidas por arcillas, lutitas y areniscas.

Por lo tanto debido a las características del terreno y a que - -

cualquier obra vial transmite esfuerzos, y a su vez, puede producir deformaciones que se reflejen en el comportamiento estructural de los Terrecerías y Pavimentos; nos conduce a la necesidad de estudiar el terreno de apoyo o cimentación, tomando como tal no sólo el suelo, sino a todo el conjunto estructural que lo forma, lo cual comprende su constitución mineralógica, cantidad y estado del agua contenida y su modo de fluir, e inclusive factores climáticos; todo esto para obtener el funcionamiento deseado; por lo anterior, se entiende que la construcción de carreteras implica el uso del suelo, pero un uso selectivo, juicioso y con un razonamiento técnico favorable; para conseguir el objetivo que se persigue al proyectar una obra vial, que es asegurar una viabilidad permanente, segura y confortable.

Las carreteras traen consigo el tratamiento de grandes superficies por lo tanto los procedimientos de construcción deben tratar de ser económicos, pero con la suficiente capacidad para recibir los elevados y frecuentes esfuerzos a que va a estar sujeta debido al tránsito.

Esta estructura estará constituida por capas sucesivas con sus respectivas funciones de trabajo, con la naturaleza y espesor según las normas indicadas en el proyecto.

Siempre es posible concebir varios tipos de carreteras, teóricamente equivalentes que proporcionan el mismo servicio al usuario y son igualmente factibles, pero todos estos tipos de solución no tendrán el mismo procedimiento de construcción y por consiguiente

diferente costo de ejecución, de lo anterior vemos otro de los puntos importantes a considerar que es el conocer el costo de cada una de las posibles alternativas, esto logrado en el mismo estudio del proyecto. Otro de los aspectos bien importantes para la ejecución de la obra vial, es la selección del personal, materiales y equipo aptos para tal obra, esto también incluye soluciones múltiples las cuales estarán sujetas tanto a la economía, seguridad y rapidez, según proyecto.

En la construcción del tramo que nos ocupa se empleó el sistema de subtitución del terreno natural por un material de mejores características mecánicas y que éste se encuentre dentro de distancias relativamente cortas, logrando con esto un acarreo económico adecuado, ya que el terreno de apoyo que se tiene en la zona de proyecto se trata de un suelo pantanoso, por tal motivo también se propuso el empleo de una membrana sintética (geotextil), buscando con esta relación un mejoramiento en cuanto al comportamiento del terreno de cimentación tratado; para lograr lo anteriormente descrito se hace necesario el empleo de equipo y personal adecuado para su ejecución.

En general lo mencionado brevemente en los párrafos anteriores son las partes primordiales a tratar en este trabajo.

## C A P I T U L O I

### GENERALIDADES

Los suelos son conjuntos de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas.

Los suelos presentan dos propiedades esenciales que son:

- a) Poseen una organización definida y propiedades variables vectorialmente.
- b) La composición de las partículas minerales es tal que el agua, puede tener continuidad en el sentido de distribución de presiones, dado que el agua llena todos los huecos y se intercomunica através de las partículas del suelo.

Los suelos pueden ser residuales o transportados, según su origen y depositación en que se encuentren. También se subdividen en suelos de partículas finas o "finos" y suelos de partículas gruesas o "gruesos". Los finos son aquellos cuyas partículas son menores que la malla No.200 y los gruesos son los que se retienen en la malla No. 200 y pasan la malla de 7.6 cm (3"); los finos comprenden los grupos: suelos orgánicos, limos y arcillas. Los suelos orgánicos, son los que contienen una cantidad apreciable de materia orgánica, en tanto un material fino inorgánico es el limo o arcilla dependiendo de sus características de plasticidad.

Los suelos gruesos comprenden los grupos denominados arenas y gravas siendo la frontera entre ellos, la malla No. 4



Ahora bien, la forma de las partículas minerales de un suelo es de primordial importancia en su comportamiento mecánico, por ejemplo, en los suelos gruesos la forma característica es la equidimensional, o sea que sus tres dimensiones son comparables, también las fuerzas de gravitación predominan sobre cualquier otra, por lo tanto todas las partículas gruesas se consideran que tienen un comportamiento casi igual.

En los suelos finos que son el producto del ataque químico de las aguas sobre las rocas o a otros suelos, la forma de sus componentes es plana, esto comprueba el por qué los minerales de arcillas adoptan la forma laminar, en las que dos dimensiones son incomparables.

Debido a su forma, en los suelos finos, ejercen acción importantes fuerzas de tipo diferente a las gravitacionales, esto debido a la relación entre las áreas de su superficie y su peso, por lo que cobran mucha significación las fuerzas electromagnéticas desarrolladas en la superficie de los compuestos minerales.

## 1.1 ORIGEN DE LAS ARCILLAS

Los minerales que se encuentran en las rocas ígneas y metamórficas son los componentes principales que conforman las arcillas, los cuales mediante los agentes de descomposición química llegan a un producto final, el cual es la arcilla.

Su composición química es conocida de hace tiempo, se sabe que las arcillas son componentes de sílice, aluminio y agua con hierro y partes amorfas poco activas, en partículas muy pequeñas.

Los estudios realizados de las propiedades mineralógicas de los sedimentos los cuales constituyen las arcillas, comenzó en épocas recientes, los resultados obtenidos precisaron que los minerales de las arcillas se encasillan en tres grandes grupos.

Las Montmorillonitas, este grupo están formadas por una lámina aluminica entre dos silícicas.

Cuando la pluviometría es superior a 350 mm por año y la topografía medianamente accidentada, el agua fluye hacia la capa freática, por lo tanto hay un lavado de las rocas con su arrastre de elementos (alcalinos, alcalino-térreos).

En el caso de los silicatos desaparecen las estructuras iniciales, hay desunión de laminillas y las partículas se rompen; por tal proceso mencionado las micas pasan a formar las llamadas Montmorillonitas.

Las Caolinitas, el segundo grupo, están formadas por una lámina silícica y otra aluminica; debido a la rotura de feldes

patos por la acción del agua y el dióxido de carbono se podría mencionar una semejanza a las Montmorillonitas, debido a lo mencionado anteriormente; a las Caolinitas se les podría entonces decir que es un producto intermedio entre una mica degradada y el producto final.

Las Illitas, el tercer grupo, las cuales están estructuradas análogamente a las Montmorillonitas, pero su constitución interna manifiesta tendencia a formar grumos, su expansividad es menor que las Montmorillonitas.

Por lo tanto cuando la pluviometría es inferior a 350 mm - por año no hay lixiviación de elementos alcalinos ni alcali no-térreos que tienden a concentrarse en la superficie como consecuencia de la evaporación, lo que conforman las Illitas.

La alteración de las cenizas volcánicas conducen también a la formación de Montmorillonitas.

La mayor parte de las partículas de minerales de arcillas - son en forma de placas, con una gran superficie específica, con el resultado de que sus propiedades son significativa-mente influenciadas por las fuerzas superficiales; tales - placas se muestran gráficamente en la figura 1.

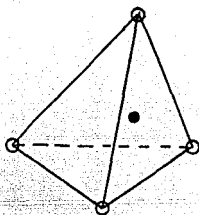
## 1.2 ESTRUCTURA INTERNA DE LAS ARCILLAS

La estructura de las partículas de arcilla es con frecuencia laminar y a veces fibrosa; por lo tanto se admite que la estructura atómica de las arcillas se edifica a partir de los dos bloques fundamentales, el primero es un tetraedro con un átomo de silicio rodeado de cuatro átomos de oxígeno; el segundo es un octaedro cuyos vértices son átomos de oxígeno o agrupamientos hidróxidos y que encierran un átomo ya sea de magnesio, de hierro o de aluminio, tal como se puede observar en la figura 1.

Apartir de estos dos bloques fundamentales se constituyen diferentes grupos de arcillas, como lo pueden ser las Halloisitas, Cloritas, Atapulgitas, Bentonitas, Esquistos; to dos grupos derivados en forma, aunque pequeña, de los tres grandes grupos ya mencionados que son las Caolinitas, Montmorillonitas e Illitas.

Ahora bien la superficie de cada partícula de suelo posee carga eléctrica negativa, como resultado de la sustitución isomorfa; también se producen cargas insatisfechas, debidas a "roturas de enlaces" en los bordes de las partículas.

Generalmente en las partes planas la intensidad de la carga negativa depende de la estructuración de la arcilla, así la partícula atrae a los iones positivos del agua que la rodea y a cationes de diferentes elementos químicos existentes en la misma, como lo son Na, K, Ca, Mg, Al, etc.; de lo anterior se deduce, que cada partícula individual de arcilla se ve rodeada de una capa de partículas de agua orienta



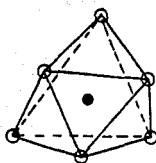
● SILICIO

○ OXIGENO

TETRAEDRO DE  
SILICIO



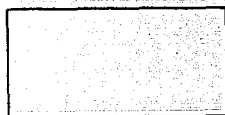
LAMINA DE SILICIO



● ALUMINIO

○ HIDROXILO

OCTAEDRO DE  
ALUMINIA



LAMINA DE ALUMINA

**FIG. I. MINERALES DE ARCILLAS : Unidades básicas**

das en forma definida y ligada a la estructura. El término doble capa describe la superficie de la partícula cargada - negativamente y a la capa dispersa de cationes (elementos\_ químicos), el espesor de esta última depende de la valencia y concentración de los cationes respectivamente, lo cual - produciría una disminución en el espesor de la capa.

La temperatura también influye en el espesor, al aumentar - la temperatura disminuye el espesor de la capa, por lo que las relaciones entre los cristales que componen las arcillas (cargas negativas) y el agua que los rodea, han adquirido significativa importancia, por ejemplo, para explicar\_ los comportamientos macrofísicos de las arcillas en las - - obras ingenieriles, entre otras.

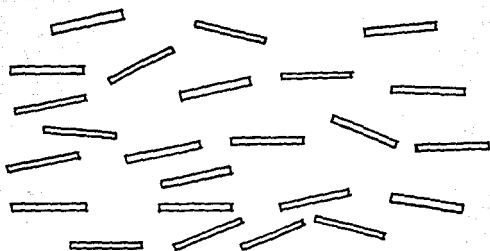
### 1.3 COMPORTAMIENTO DE LAS ARCILLAS EN PRESENCIA DE AGUA

Cuando las arcillas se dispersan en agua, estos cationes se difunden alrededor de las partículas y éstas en presencia de aniones de fase acuosa; existen alrededor de las partículas un campo electrostático llamado de doble capa, la atracción entre partículas es debida a las fuerzas de Van der Waals, estas fuerzas son independientes de las características de la capa doble.

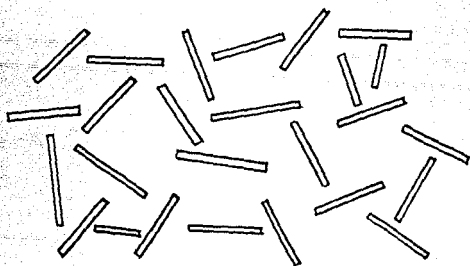
Las fuerzas de atracción son responsables de el origen de la cohesión de las arcillas y de su capacidad para absorber agua; o sea que las fuerzas netas entre partículas gobiernan la forma estructural que asumen las partículas de minerales de arcilla en un suelo, por lo que, si en el momento de un acercamiento de partículas ocurre que la energía potencial total disminuye, por lo tanto se tiene una estructura floculada, ahora si por el contrario, esta energía aumenta la tendencia natural tiende a la dispersión, tal como se puede observar en la figura 2.

Mediante investigaciones realizadas por "LAMBE" sobre cuales pueden ser las variaciones de altura del floculado en una dispersión arcillosa cuando varían algunos factores precipitados, de los cuales depende la energía y son:

- la concentración electrolítica de la fase acuosa
- la valencia de los iones
- la temperatura
- el tamaño de los iones



(a)



(b)

**FIG. 2.** a) Estructura Dispersa  
b) Estructura Flocuante



El agua es atraída por las partículas arcillosas, por dos razones esenciales, las cuales son:

- a) La atracción de los dipolos de agua por los cationes de la doble capa, atraídas a su vez por las cargas negativas de las partículas sólidas.
- b) La atracción de los dipolos que constituyen las moléculas de agua por las partículas sólidas cargadas eléctricamente.

A consecuencia de la variación de estas fuerzas de atracción con la distancia, el agua puede encontrarse en tres situaciones diferentes.

- 1) agua absorbida, fijamente unida a las partículas
- 2) agua de la doble capa
- 3) agua intersticial libre

Por todos los datos anteriormente analizados se concluye que una estructura floculada es más compresible, y más sensible a perturbaciones, que una estructura dispersa, como las fuerzas de repulsión son altas cuando la contracción iónica del agua es baja, un suelo de arcilla en un medio de agua fresca tendrá un grado de floculación menor que un suelo de similar composición en un medio de agua salada, por lo tanto un cambio en la naturaleza del agua, puede producir una modificación en la estructura del suelo, así pues cuando se tratan arcillas con ciertas soluciones electrolíticas se desploma su resistencia.

Otro de los efectos que las arcillas experimentan en presencia de agua, es el descrito por Atterberg, el cual concluye

que la plasticidad ó no de las arcillas depende directamente del contenido de agua que presenten éstas.

Este contenido de agua en forma decreciente, puede presentarse en distintos estados de consistencia (como se muestra en la tabla 1.), de los cuales se deducen dos fronteras llamadas límites de consistencia, que son el Límite Líquido y el Límite Plástico; el primero es la frontera que existe entre los estados semilíquido y plástico, y el segundo será la frontera entre los estados plástico y semisólido; estos límites obtenidos mediante pruebas de laboratorio que han ido evolucionando desde las descritas por Atterberg, hasta los modificados por Terzaghi y Casagrande.

1) Estado Líquido	con las propiedades y apariencia de una suspensión.
2) Estado Semilíquido	con propiedades de un fluido viscoso.
3) Estado Plástico	en el que el suelo se comporta plásticamente.
4) Estado Semisólido	en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
5) Estado Sólido	en que el volumen del suelo no varía con el secado.

**TABLA. I. ESTADOS DE CONSISTENCIA**

Por otro lado, uno de los aspectos más importantes en la actualidad, que toma en cuenta la presencia de agua en un suelo (arcilla en nuestro caso), es el proceso de consolidación, ya que consiste en la disminución del volumen, que tenga lugar en un lapso de tiempo, probado por un aumento de las cargas sobre el suelo; o sea que mediante la aplicación de una serie de cargas axiales, se produce un efecto de salida de agua del espécimen (disminución de volumen).

#### 1.4 FACTORES QUE GOBIERNAN LA RESISTENCIA MECANICA DE LAS ARCILLAS.

Los factores a tomar en cuenta para la determinación de la resistencia del suelo (finos) primordialmente se deberá tener en cuenta la relación, esfuerzo-deformación.

En primer lugar, la resistencia del material a los esfuerzos a los que se someta, problemas que lleva aparejo el concepto de falla del material; en segundo lugar preocupa la deformabilidad del material expresado en relación a los esfuerzos que se le apliquen tanto en lo referente a la intensidad o nivel de los esfuerzos, como a la manera en que se ejerzan, incluyendo su velocidad de aplicación.

La resistencia de los suelos salvo algunas excepciones es muy baja cuando estos se encuentran húmedos; otro de los aspectos a vigilar para el buen comportamiento es el distinguir a los suelos (arcillas) depositados "in situ" y los remoldeados o amasados, ya que las pruebas de laboratorio -- efectuadas deberán tener similitud entre lo que se hará en el campo y lo hecho en gabinete para estimar así los parámetros de resistencia. Ya que como se ha dicho que entre las partículas arcillosas se ejercen fuerzas debidas a las ligaduras físico-químicas las cuales se manifiestan entre sus respectivas películas envolventes de agua y cationes absorbidos, por lo que un amasado enérgico de las arcillas, puede romper esas ligaduras momentaneamente, lo cual se refleja macrofísicamente por una pérdida sensible de las propiedades de resistencia del material.

Existe una enorme variedad de maneras de aplicar esfuerzos y de producir por consiguiente deformaciones al suelo, del mismo modo, hay gran variedad de pruebas de laboratorio para determinar esfuerzo-deformación de los suelos, entre las que podemos mencionar:

- 1.- Prueba de compresión hidrostática o isotropa, es útil para el estudio de deformaciones volumétricas.
- 2.- Pruebas de consolidación.
- 3.- Prueba triaxial, es la más común de las pruebas que se realizan para conocer la relación esfuerzo-deformación de los suelos.
- 4.- Prueba directa de esfuerzo cortante, constituyen la característica fundamental a la que se liga la capacidad de los suelos para adaptarse a las cargas que actúan sobre ellos sin fallar.

Concluyendo y según lo descrito anteriormente, la resistencia de un suelo arcilloso dependerá entonces de su composición, su relación de vacíos, de su historia anterior de esfuerzos aplicados al suelo y de la manera como se le apliquen los nuevos esfuerzos.

## C A P Í T U L O    I I

### FACTORES QUE AFECTAN EL DISEÑO DE LOS PAVIMENTOS

#### GENERALIDADES

Para efectos del presente capítulo se entenderá como pavimento la capa o conjunto de capas entre el nivel superior de las terracerías (capa subrasante), y la superficie de rodamiento de una obra vial, cuya finalidad es proporcionar una superficie de color y textura apropiada, resistente al tránsito de vehículos.

La estructura y disposición de los elementos que constituyen la obra vial, así como las características de los materiales empleados, ofrecen una gran variedad de posibilidades, ya que las capas pueden ser de materiales naturales seleccionados, del lugar o acarreados de sitios cercanos, o bien pueden estos materiales ser sometidos a muy diversos tratamientos.

Existen actualmente dos tipos básicos de pavimentos los cuales son, rígidos y flexibles; sin embargo, la rigidez o flexibilidad que un pavimento exhibe no es fácil de precisar, que tan rígido puede ser un pavimento flexible o viceversa.

El hecho es que los pavimentos se diferencian y definen en términos de los materiales de que están constituidos y de como distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidos por los vehículos a las capas inferiores.

Un pavimento rígido es aquel cuyo elemento fundamental resistente sea una losa de concreto hidráulico, éste puede -

ser con recubrimiento bituminoso o sin él, generalmente es sin él; ésta losa puede ser apoyada sobre la capa subrasante, siempre y cuando presente buenas condiciones, o en su defecto sería indispensable una capa de material seleccionado, que es la subbase. En cualquier otro caso, el pavimento se considerará flexible, formados estos por una carpeta de concreto asfáltico apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, las cuales se denominan base y subbase. Es evidente que la superficie terrestre (natural), no ofrece jamás las condiciones de rodamiento que exigen los modernos medios de transporte, pero en general cualquier suelo natural es anrovechable para terracerías, exceptuando los suelos orgánicos o aquellos cuyo rebote elástico sea importante, y por lo tanto, produzcan deformaciones excesivas a las capas suprayacentes. Cuando suceda este caso, de mala calidad del suelo será necesario el empleo de una substitución o mejoramiento del mismo de ser posible, para que tal material por uno de mejor calidad, haga por lo tanto una mejor transición entre él y el pavimento. En el caso de emplear substitución ésta se puede realizar por medio de varios métodos entre los que podemos mencionar, se encuentran:

I Remoción por:

a) Excavación

1. completa
2. parcial

b) Desplazamiento

1. por el peso del terraplén, con o sin sobrecargas
2. con explosivos

## II Tratamiento del terreno

- a) Fundamentalmente por requerimientos de estabilidad
  1. construcción anticipada o por etapas
  2. uso de materiales ligeros
  3. bermas estabilizadoras
  4. drenaje interceptor
- b) Fundamentalmente por requerimientos de asentamiento
  1. construcción por etapas
  2. sobrecargas
  3. compactación con equipos pesados
- c) Por requerimientos de estabilidad y asentamiento
  1. construcción por etapas o con sobrecargas
  2. drenes verticales de arena
  3. combinación de cualquiera de los métodos anteriores

Las superficies de rodamiento obtenidas directamente como remate de las terracerías, sólo resuelven algunos problemas en cuanto al tránsito se refiere, pero cuando el nivel de tránsito empieza a tener importancia, se hace imperativo recubrir la superficie de las terracerías con una capa que cumpla los siguientes requisitos:

1. Ser estable ante los agentes del intemperismo
2. Ser resistente a la acción de las cargas impuestas por el tránsito
3. Tener textura apropiada al rodamiento
4. Ser durable
5. Tener condiciones adecuadas en lo referente a la permeabilidad
6. Ser económica



**Esto define una capa de material granular de muy buena calidad.**

## 2.1 FUNCION DE LAS DISTINTAS CAPAS DE UN PAVIMENTO

Como ya mencionamos, existen dos tipos de pavimentos que son rígidos y flexibles. La mayoría de los pavimentos flexibles que se construyen en la actualidad se estructuran de la siguiente manera:

Bajo una carpeta de concreto asfáltico, formada típicamente por una mezcla de agregado pétreo y un aglutinante asfáltico, que constituye la superficie de rodamiento; se dispone casi siempre dos capas de bajo bien diferenciadas, que son una base hidráulica de material granular y una subbase, formada preferentemente también por un suelo granular aunque de menor calidad que el primero.

Bajo la subbase se dispone casi universalmente otra capa, denominada subrasante, todavía con menos requisitos de calidad mínima que la subbase, bajo esta capa aparece una capa de transición y sucediendo a ésta el cuerpo del terraplén, éstas tres últimas capas forman las terracerías, tratadas éstas mecánicamente sin excepción; tal estructuración anteriormente descrita es típica de un pavimento flexible, figura No. 3

El papel que se le asigna a cada una de las diversas capas que forman la estructura de un pavimento, es el siguiente:

### SUBBASE

La subbase hidráulica, tiene menor calidad que la base hidráulica, con mayor contenido de finos y menor exigencia en

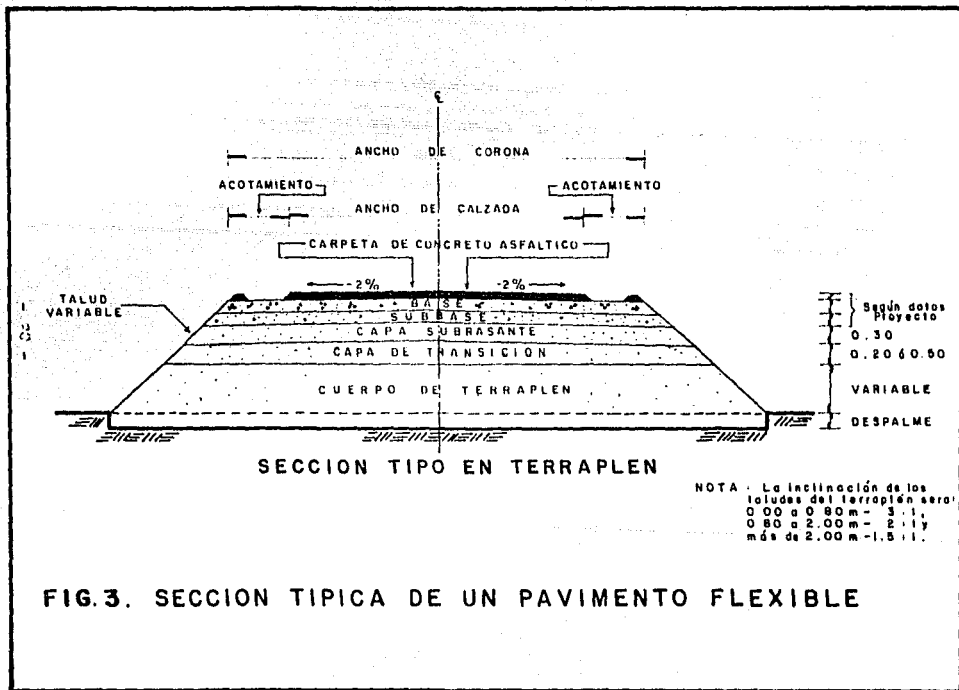


FIG.3. SECCION TIPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

lo referente a granulometría, una de sus funciones tradicionales es la de carácter económico, ya que para lograr el espesor requerido de base, se usará el material más barato, el cual se encontrará en la subbase, pero con esto se logra como consecuencia un aumento en el espesor total del pavimento, puesto que cuanto menor sea la calidad del material colocado, será mayor el espesor necesario para soportar los esfuerzos transmitidos.

Otra de las funciones de esta capa, es el actuar como un elemento de transición entre la base y la capa subrasante, actuando esta capa como filtro de la base e impidiendo la incrustación de agua a la subrasante, absorbiendo así deformaciones perjudiciales, tales como cambios volumétricos debidos a cambio de humedad. Esta función es recíproca, ya que impide también la ascensión capilar hacia la base, de agua procedente de las terracerías.

#### BASE

La base, hasta cierto punto existe en ella una función análoga a la subbase, puesto que esta capa permite reducir el espesor de la carpeta, más costoso, pero en sí la función fundamental de esta capa es la de un elemento resistente que transmite a la subbase y a las terracerías los esfuerzos producidos por el tránsito, en una intensidad apropiada. Esta capa al igual que la subbase tiene funciones de dren en forma descendente y ascensión capilar.

Ahora bien, en lo que se refiere a las cualidades requeridas por los materiales seleccionados que se emplean en la cons-

trucción de subbases y bases hidráulicas, deberán ser de los tipos que se indican a continuación:

- Materiales que no requieren tratamiento
- Materiales que requieren ser disgregados
- Materiales que requieren ser cribados
- Materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados.
- Materiales que requieren ser triturados totalmente y cribados.

Los materiales que no requieren tratamiento son los pocos o nada cohesivos, como limos no plásticos, arenas y gravas que al extraerlos quedan sueltos y que no contengan más del 5% de partículas mayores de 51 mm (2").

Los materiales que requieren ser disgregados son los Tezon-  
tles y los cohesivos como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas muy alteradas, que al extraerlos resultan con terrones y que una vez sometidos a la acción del equipo de disgregación no contengan más del 5% de partículas mayores de 51 mm (2").

Los materiales que requieren ser cribados son los pocos o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y con un contenido entre 5% y 25% de material mayor de 51 mm (2"). Estos materiales deberán ser cribados por la malla de 51 mm (2") para eliminar este material.

Los materiales que requieren ser triturados parcialmente y cribados son los siguientes:

- a) Materiales poco o nada cohesivos; como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos y contienen más del 25% de partículas mayores a 51 mm (2") estos materiales deberán ser triturados y cribados por la malla de 38.1 mm ( 1 1/2").
- b) Tezontle y materiales cohesivos, como tepetates, caliches, conglomerados, aglomerados y rocas alteradas, que al extraerlos resulten con terrones que pueden disgregarse por la acción del equipo mecánico y que posteriormente a dicho tratamiento contienen más del 5% de partículas de tamaño mayor de 51 mm (2"). Estos materiales\_ deberán ser triturados y cribados por la malla de - - - 38.1 mm (1 1/2") sin que previamente deban disgregarse\_ por la acción del equipo mecánico.

Los materiales que requieren trituración total y cribados - a través de la malla 38.1 mm (1 1/2") son los que provienen de:

- a) Piedra extraída de cantos de roca
- b) Piedra de pepena
- c) Piedra suelta de depósitos naturales o desperdicios

#### CARPETA

En cuanto a la carpeta, ésta debe proporcionar una superficie de rodamiento adecuada, con textura y color convenientes teniendo en cuenta la curvatura, pendiente, visibilidad, sección transversal y uniformidad apropiadas a una de manda de operación y su función primordial es la de resistir los efectos abrasivos del tránsito.

Estas carpetas pueden ser por el Sistema de Riegos, por el Sistema de Mezcla en el lugar y carpetas de concreto asfáltico.

Las carpetas asfálticas por el Sistema de Riegos, son las que se construyen mediante uno, dos o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños, triturados y/o cribados.

Los materiales pétreos que se empleen en la construcción de carpetas asfálticas por el sistema de riegos, deberán -- cumplir lo indicado en la tabla 2.

Ahora bien, las cantidades de los distintos tamaños de material pétreo que se empleen, así como las de cemento asfáltico, serán fijadas por el proyecto en cada caso; en términos generales esas cantidades dadas en l/m<sup>2</sup> estarán comprendidas dentro de los límites que se indican en la tabla 3.

Las carpetas asfálticas por el Sistema de Mezcla en el lugar, son las que se construyen en la carretera, aeropista o plataforma de trabajo mediante el mezclado, tendido y -- compactación de materiales pétreos y un material asfáltico.

Los materiales asfálticos que deberán emplearse en la construcción, serán rebajados de fraguado rápido o medio, o -- emulsiones de rompimiento medio o lento.

Los materiales asfálticos que deberán emplearse en los riegos de liga, serán cementos asfálticos, rebajados o emulsiones de rompimiento rápido, del tipo fijado en el proyecto.

Cuando se requiera un aditivo para los materiales asfálti--

MALLAS	CONDICIONES	DENOMINACION DE MATERIAL PETREO				
		No. 1	No. 2	3-A	3-B	3-E
DE 31.8 mm (1 1/4")	DEBE PASAR	100 %				
DE 25.4 mm (1")	DEBE PASAR	95 % mín.				
DE 19.1 mm (3/4")	DEBE PASAR		100 %			
DE 12.7 mm (1/2")	DEBE PASAR		95 % mín	100%		100 %
	DEBE RETENERSE	95 % mín				
DE 9.5 mm (3/8")	DEBE PASAR			95 % mín	100 %	95 % mín
DE 6.3 mm (1/4")	DEBE PASAR				95 % mín	
	DEBE RETENERSE		95 % mín			
No. 4	DEBE RETENERSE					95 % mín
No. 6	DEBE RETENERSE		100 %	95 % mín	95 % mín	100 %
No. 40	DEBE RETENERSE			100 %	100 %	

TABLA No. 2



MATERIALES	TIPO DE CARPETA		
	TRES Riegos	DOS Riegos	UN Riego
CEMENTO ASFALTICO MATERIAL PETREO No.1	0.6 - 1.1 20 - 25		
CEMENTO ASFALTICO MATERIAL PETREO No.2	1.0 - 1.4 8 - 12	0.6 - 1.1 8 - 12	
CEMENTO ASFALTICO MATERIAL PETREO 3-A			0.7 - 1.0 8 - 10
CEMENTO ASFALTICO MATERIAL PETREO 3-B	0.7 - 1.0 6 - 8	0.8 - 1.1 6 - 8	
CEMENTO ASFALTICO MATERIAL PETREO 3-E			0.8 - 1.0 9 - 11

- 1) El cemento asfáltico considerado en esta tabla se refiere al que existe en los materiales asfálticos que se empleen
- 2) Para calcular la cantidad de material asfáltico por aplicar, y deberá dividirse el valor anotado en esta tabla, entre el contenido de cemento que presente el material asfáltico utilizado, ambos expresados en litros.

**TABLA 3.**

cos, también será fijado en el proyecto.

Las Carpetas de Concreto Asfáltico, son las que se construyen mediante tendido y compactación de mezclas elaboradas - en caliente, en una planta estacionaria, utilizando cementos asfálticos.

Los materiales asfálticos que deberán emplearse en el riego de liga, serán cementos asfálticos, asfaltos rebajados o - emulsiones de rompimiento rápido del tipo fijado en el proyecto.

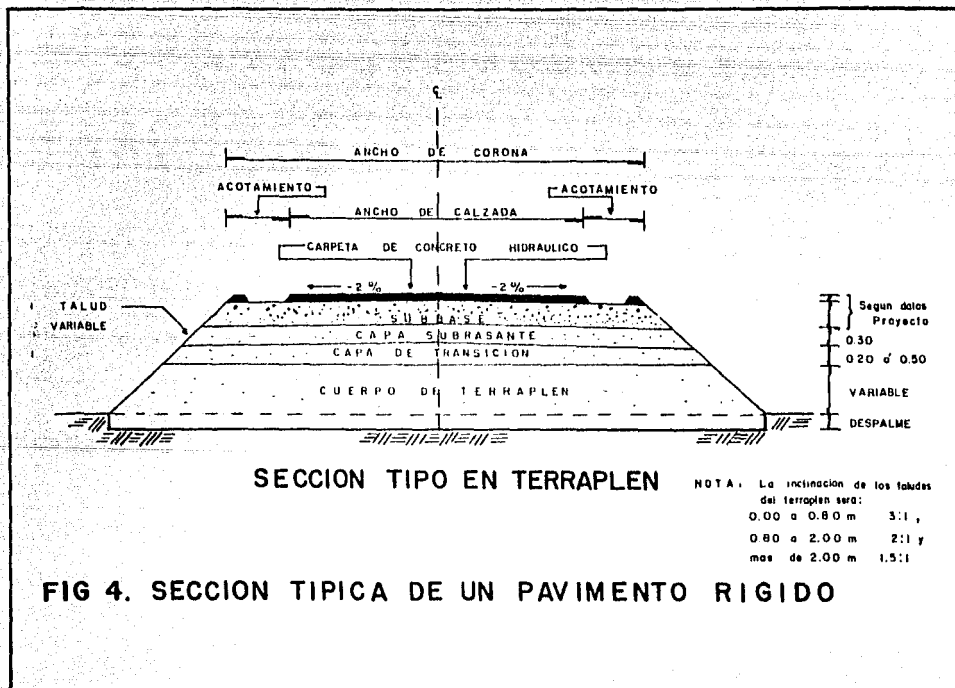
En lo que se refiere a los pavimentos rígidos, como ya se - dijo tiene como elemento estructural fundamental una losa - de concreto hidráulico. Esta se apoya sobre una capa de ma- terial seleccionado, a la que se le da el nombre de subbase. En el caso de cuando la capa subrasante del pavimento tenga una calidad suficientemente buena, la losa de concreto puede colocarse directamente sobre ella, prescindiendo así de la subbase, una forma ilustrativa de este tipo de pavimento es la mostrada en la Fig. 4.

Ahora bien la función de estas capas es:

La capa subrasante; su función es análoga a la de un pavi- mento flexible y cumple los mismos requisitos ya menciona- dos.

#### SUBBASE

Esta capa proporciona una superficie uniforme que sirva de apoyo a la losa de cambios volumétricos que existen en la - subrasante. En este caso la subbase no tiene una exigencia estructural igual a la de un pavimento flexible, puesto que



La losa absorbe gran parte de las cargas ha soportar del pavimento, ya que ésta lo distribuye sobre áreas relativamente extensas; -por consiguiente la subbase casi no influirá - en el espesor de la losa, el material utilizado en su construcción es igual al utilizado en pavimentos flexibles.

#### LOSA DE CONCRETO HIDRAULICO

Las funciones de la losa en un pavimento rígido son las mismas de la carpeta asfáltica en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que se le apliquen, pero distribuidos en el área de cada losa.

Los materiales que se empleen en la construcción de dichas losas pueden ser: Cemento Portland, Cemento Portland Puzolánico, Cemento Portland de Escorias y Cemento de Escorias; - con su correspondiente agregado fino, agregado grueso, agua, aditivos, acero, accesorios para juntas.

Los concretos que se utilizan en la losa suelen ser de resistencia relativamente alta, generalmente comprendida entre 200 y 400 kg/cm<sup>2</sup>, el tamaño de las losas es similar, - tendiendo generalmente a ser cuadradas con 3 a 5 m. de lado.

En lo que se refiere a las juntas, estas se usan para mantener la tensión dentro de los límites de seguridad y evitar la formación de grietas irregulares; estas juntas son:

Juntas Longitudinales.- Hechas con varilla corrugada, se colocan para controlar agrietamientos longitudinales, generalmente se espacian para hacerlas coincidir con las mar--

cas de los carriles, a intervalos de 2.44 a 3.66 m. no debiendo ser mayor de 3.96 m. la profundidad de las juntas deberá ser por lo menos igual a la cuarta parte del espesor del pavimento más 1.25 cm.; deberán usarse también juntas fijadoras longitudinales hechas con varilla o tornillos de tensión.

Juntas Transversales de Concreto.- Hechas con varilla lisa, se usan para controlar el agrietamiento transversal, las juntas de contracción liberan esfuerzos de tensión, el espaciamiento que se les debe ajustarse en base a la vibración de los vehículos, también se recomienda que estas juntas no se coloquen perpendiculares al eje del camino, con el fin de que las ruedas del vehículo no pasen simultáneamente por la junta; la profundidad de la junta deberá ser igual a la cuarta parte del espesor del pavimento.

Juntas de Expansión.- Hechas con varilla lisa con casquillos, el cual garantiza una holgura para que la varilla entre y salga; estas juntas se utilizan en el caso de materiales de características expansivas anormales, el espaciamiento de estas juntas varía en intervalos de 183 a 244 m. Los factores que afectan el espesor de las losas son principalmente el nivel de carga que han de soportar, la presión del inflado de las llantas de los vehículos, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto que en ellas se utilice.

## 2.2 CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES QUE CONSTITUYEN LAS TERRACERIAS.

Uno de los factores que afectan en forma predominante el di se ño de un pavimento, es el material que constituyen las te rr ac er ias, dado que influyen fundamentalmente en el comportamiento y en el espesor requerido en un pavimento. El material que se utilice en estas capas proviene de la corteza terrestre ya sea que se extraigan de los suelos alojados en la misma línea de trazo, para lo cual, serán necesarios métodos de exploración y muestreo, para conocer las características de los materiales, ver si cumplen los requisitos - deseados o en su defecto obtener los materiales de préstamo ya sea lateral o de banco, con sus respectivos estudios, pa ra contar con datos firmes, seguros y abundantes respecto - al suelo con el que está tratando, para tener una concepción razonablemente exacta de las propiedades físicas del - suelo.

Pero para llegar en el laboratorio a unos resultados dignos de crédito es preciso cubrir en forma adecuada, la obtención de las muestras del suelo apropiadas para la realización de las correspondientes pruebas. Los tipos principales de sondeos que se usan para fines de muestreo y conocimiento del suelo en general son:

Método de exploración de carácter preliminar

- a) Pozos a cielo abierto, con muestreo alterado o inalterado.

- b) Perforaciones con muestreadora, barrenos helicoidales o similares.
- c) Métodos de lavado.
- d) Método de penetración estándar.
- e) Método de penetración cónica.
- f) Perforaciones en boleas y gravas.

#### Métodos de sondeos definitivos

- a) Pozo a cielo abierto con muestreo inalterado.
- b) Métodos con tubo de pared delgada.
- c) Métodos rotatorios para roca.

#### Métodos geofísicos

- a) Sísmico
- b) de resistencia eléctrica
- c) Magnético y gravimétrico

Ahora bien la preparación de una muestra llevada al laboratorio comprenden las operaciones siguientes:

- a) Secado (Cuando la muestra llegue al laboratorio con una humedad que permita su disgregación no será necesario someterla al proceso de secado).
- b) Disgregado (La disgregación de la muestra deberá llevarse hasta un grado mínimo de disgregación - que deba exigirse durante la construcción - de la estructura de que se trate, para lograr un empleo correcto del material pro-puesto.
- c) Cuarteo

Ya preparada la muestra se procederá a la obtención de:

- Humedad de los suelos
- Determinación de la absorción del material
- Determinación de la densidad
- Determinación de los Pesos Volumétricos
- Determinación de la composición granulométrica
- Límites de Atterberg

Los materiales para terracerías se clasifican de acuerdo con lo indicado en la tabla No. 4

Para obtener mejores resultados, al usar los materiales de terracerías se recomienda de acuerdo con sus características, cumplir con lo indicado en la tabla No. 5

En el caso de que por condiciones de extrema necesidad tenga que emplearse en el cuerno de terraplón, materiales que en la tabla No. 5, se indica que no deban usarse, la Secretaría, con base en el proyecto y en pruebas de laboratorio podrá autorizar su empleo, fijando los porcentajes de compactación que juzgue adecuados, así como las pruebas para determinar los PVSM (Pesos Volumétricos Secos Máximos) a que deban referirse los citados porcentajes de compactación.

Las pruebas necesarias para determinar al PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo) que hayan de efectuarse en cada caso, de berán apegarse a los procedimientos descritos por la Secretaría.

Se recomienda adoptar las pruebas Proctor o AASHO (American Association Of State Highway Officials) estándar o modificada para el control rutinario de la compactación en el campo.







Los materiales constituidos por fragmentos de roca alterada o deleznable, grandes, medianos y chicos que aparecen en la tabla No. 5 serán susceptibles de compactarse con equipo especial para este tratamiento siempre y cuando después de - tendidos en la obra y sometidos a la prueba descrita por la Secretaría.

Los materiales que se utilicen en la capa subrasante deberán cumplir con las normas de calidad que se indican en la última columna de la tabla No. 5, en un espesor no menor de 30 cm. Cuando se trata de una terracería ya existente y su capa subrasante no reuna las características adecuadas, deberá darselo el tratamiento que la Secretaría indique.

Para que cumpla con las Normas, o bien si esto no es posible, se construirá una nueva capa subrasante, ya sea sobre lo anterior, o bien, después de rebajar ésta en el espesor necesario.

## 2.3 CARGA DE DISEÑO

El tránsito produce las cargas a que el pavimento va a estar sujeto, la carga del tránsito; distingue cuatro factores de influencia principal y tres de efectos más secundarios, estos factores serán:

### FACTORES PRINCIPALES

- 1.- Carga transmitida por la rueda.
- 2.- Area de influencia de la carga.
- 3.- Número de repeticiones de la carga.
- 4.- Velocidad de aplicación.

### FACTORES SECUNDARIOS

- 1.- Area de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto.
- 2.- Número de llantas en el arreglo.
- 3.- Espaciamento entre ejes.

Algunos de estos factores pueden tener su representación física mediante la utilización de la pista circular de pruebas del Instituto de Ingeniería en la cual podremos verificar tendencias en condiciones controladas a fin de poder establecer modelos de prueba; dichos modelos se construirán a escala natural y se ensayarán bajo la acción de las sollicitaciones reales en cuanto a la forma de aplicación e intensidad de las cargas. Pero debido a que estos ensayos son pruebas rápidas, no será posible conservar a escala natural el tiempo de prueba, así como tampoco se podrán reproducir las variaciones estacionales de clima, ya que para obtener

resultados significativos las condiciones de estudio deben mantenerse constantes, además también será imposible reproducir fenómenos como lo es el intemperismo o cambios en las propiedades geológicas de los materiales en el campo. Por otra parte para llegar a la carga de diseño, que represente el efecto global, será preciso establecer una equivalencia entre la carga transmitida, según el arreglo tenido y la carga ideal. Para el fin de encontrar la carga equivalente se han seguido en general dos criterios, uno en el que se busca la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo, otro de los criterios es el encontrar la rueda simple que produzca las mismas deformaciones (deflexiones).

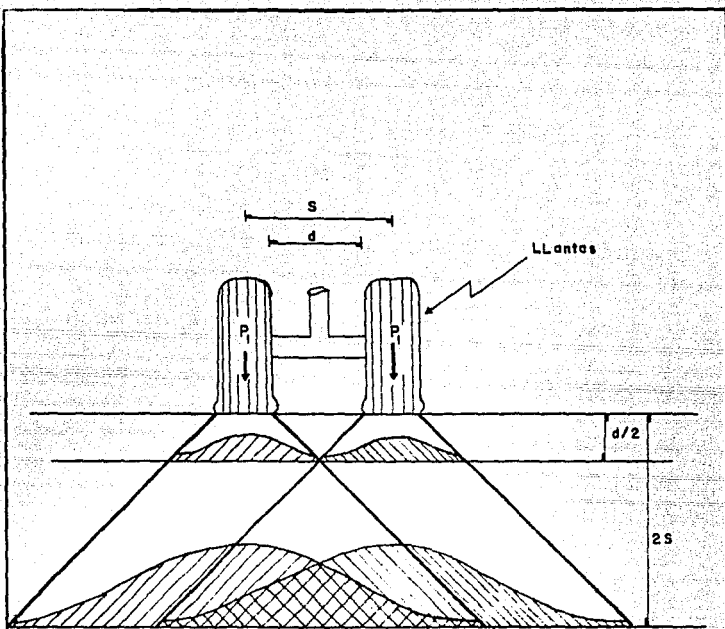
En lo referente al primer criterio en la Fig. 5 vemos una idealización de la transmisión de esfuerzos de un sistema dual.

Para fines de análisis se considera la presión de contacto igual a la presión de inflado aunque teórica y prácticamente son diferentes.

Como se observa en la Fig. 5, tanto la teoría como las mediciones experimentales muestran que el efecto de las dos llantas empiezan a superponerse apreciablemente a la profundidad " $d/2$ " bajo la superficie de rodamiento, donde " $d$ " es la distancia que hay de la separación entre llantas (diferentes a la separación entre ejes " $S$ ").

Esta distancia entre llantas " $d$ " se obtendrá en base a:

En primer lugar se tomará en cuenta como ya se menciona en párrafos anteriores, el considerar la presión de inflado -



**FIG. 5.** INFLUENCIA DE UN SISTEMA DUAL EN LO QUE SE REFIERE A ESFUERZOS.

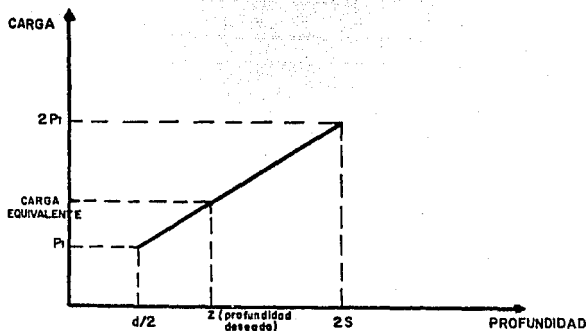
igual a la presión de contacto por lo tanto si presión es -  
igual a la relación de carga entre área:  $P = \frac{P}{A}$  (carga / área) esto  
implica que despejando el área  $A = \frac{P}{P}$  (carga / presión) podremos obte-  
ner entonces el radio del área de contacto "a" por lo que -  
se deduce así que  $d = S - 2a$ .

También nos muestra la Fig. 5 que la superposición de los -  
esfuerzos de las dos llantas es practicamente total a la -  
profundidad "2s" es decir que en un punto colocado bajo ese  
nivel actuaría un esfuerzo igual al que se tendría si en la  
superficie y en el centro del espacio de carga, actuara una  
fuerza única con el valor de " $2P_1$ "

Con las bases anteriores puede adaptarse un criterio senci-  
llo para obtener la carga simple equivalente a un sistema -  
dual dado a una profundidad entre " $d/2$ " y "2s", tal crite-  
rio es gráfico y se muestra en la Fig. 6

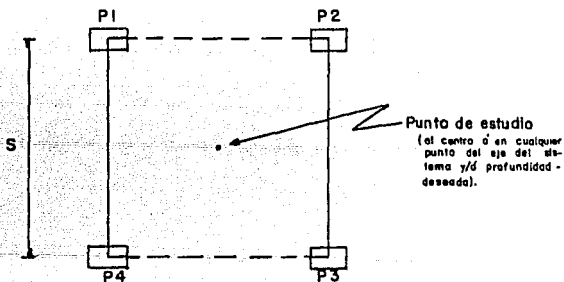
En lo que se refiere al criterio de igualdad de deflexio-  
nes para encontrar la carga equivalente, este es más aplica-  
ble a un sistema Tandem como se muestra en la Fig. 7

En este caso se tomarían en cuenta más parámetros para su -  
análisis tales como; el punto donde se requiere conocer tal  
carga equivalente y por supuesto su profundidad (z) desea-  
da, esto implica una distancia (r) diferente de cada llanta  
al punto (si este no se encontrará en el centro del siste-  
ma); como al igual que el otro criterio se considera que la  
presión de inflado es igual a la de contacto, otro de los -  
puntos a considerar será un factor de deflexión ( $F_i$ ) obteni-  
do de gráfica, así como también un factor de profundidad - -



Eac ver = Log.  
Eac hor = Log.

**FIG. 6.** METODO GRAFICO PARA ENCONTRAR LA CARGA DE LA RUEDA DE DISEÑO EQUIVALENTE DE UN SISTEMA DUAL.



**FIG. 7.** SISTEMA TANDEM (Planta)



(Fe) obtenido en fórmula.

Para tener una idea más clara del sistema a seguir para la obtención de la carga equivalente se puede proceder de la siguiente manera:

1. Se obtendrán los factores de deflexión utilizando para esto la gráfica de la Fig. 8 basándose en los datos ya conocidos como lo son; z, r, a, z/a, r/a, en donde:

z= Profundidad deseada para conocer su carga equivalente.

r= Distancia de cada llanta al punto de estudio deseado.

a= Radio de área de contacto de la llanta.

2. Conocidos los factores de deflexión se sumarán estos obteniendo un único factor conocido como (Fi).
3. Ya conocido el valor de z/a se procederá a obtener un factor de profundidad denominado (Fe) utilizando la fórmula siguiente:

$$Fe = 1.5 / (1 + (z/a)^2)^{1/2}$$

4. Finalmente con todos los datos anteriormente obtenidos se procederá a obtener la carga equivalente (Pe) utilizando la fórmula siguiente:

$$Pe = P \cdot Fi / Fe$$

Donde:

P= Carga total del sistema Tandem en estudio.

Fi= Factor de deflexión =  $F_1 + F_2 + F_3 + F_4$

Fe= Factor de profundidad.

Por lo anteriormente mencionado en los dos criterios descri

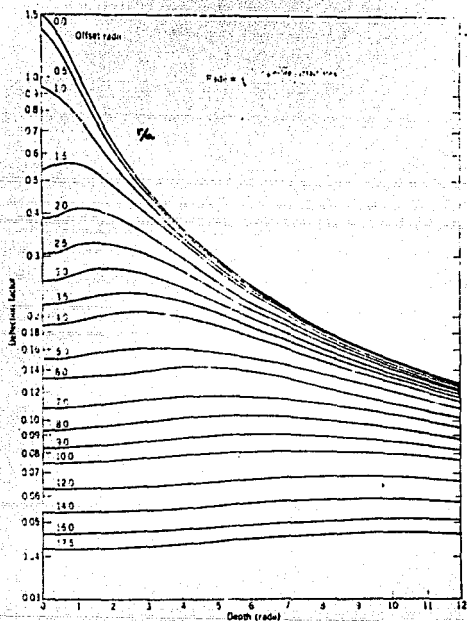


FIG. 8. FACTOR DE DEFLEXION

tos se llega a la conclusión de que el factor principal para la falla por fatiga de un pavimento es la continua repetición de las cargas de tránsito, las cuales se considera - que en un camino, han tenido lugar, cuando han pasado dos - vehículos de un mismo tipo por el mismo punto para que se - produzca una repetición de carga en el pavimento, produciendo así una degradación estructural por consiguiente pérdidas de resistencia y deformaciones.

## 2.4 EL INTEMPERISMO

Uno de los principales factores climáticos que afectan a los pavimentos es la precipitación pluvial, ésta debido a su acción directa, por lo que el proyectista deberá diseñar y ubicar adecuadamente las obras de drenaje necesarias para la captación de los escurrideros formados en la zona de proyecto, así como también las obras complementarias (bordillos, lavaderos, cunetas, contracunetas, etc.), para lograr el encauzamiento a dichas obras, o sea el debido control de las aguas que llegan a la corona del camino y la afectan por escurrimiento superficial, independientemente de que dichas aguas hayan caído sobre o fuera de la vía terrestre propiamente dicha.

Las llamadas obras complementarias de drenaje están sobre todo ligadas a la protección de cortes y terraplenes, para el adecuado control de erosión y prevención de problemas de estabilidad, evitando así la desintegración y el arrastre de los terrenos.

Para lograr dar un marco teórico a los fenómenos de la erosión por agua se han realizado varios estudios referentes a la erosión causada por la lluvia al caer y por el agua que escurre superficialmente proveniente de la misma fuente, en la tabla 6, se presentan el conjunto de acciones por las que las lluvias pueden producir erosión.

En general la erosión por lluvia se debe a dos causas principales que son: el impacto de las gotas y ha el arrastre -

Acciones directas o indirectamente erosivas de la lluvia.	Mecanismo de acción	Efectos erosivos directos o indirectos.
Impacto de las gotas.	Disgregación.	Erosión por escurrimiento laminar. Erosión por escurrimiento concentrado.
Escorrimento superficial.	Disgregación y transporte.	Erosión diferencial por diferentes resistencias al fenómeno de las distintas capas del terreno.
Infiltraciones	Nivel freático subterráneo. Elevación del nivel freático.	Deslizamientos de tierras. Erosión interna, tubificación, etc
Humedecimiento y secado.	Expansión y contracción	Fisuramiento Pérdida de cohesión Flujos estacionales.

EFFECTOS DE LA LLUVIA EN LA  
**TABLA. 6. EROSION DE TERRENOS.**

del agua que escurre por la superficie del terreno.

En el primer caso se tiene que debido a la energía cinética de las gotas de lluvia que cae aumenta con la intensidad de la precipitación, ahora bien, cuando el viento interviene en la precipitación hace que la lluvia no caiga en forma vertical sino oblicua, aumentando la energía cinética puesto que la velocidad de llegada del viento es mayor que la componente original de caída vertical; lo anterior hace que se tenga cierta consideración a la orientación de los taludes en relación al viento según la zona de proyecto.

En cuanto al arrastre del agua sobre la superficie y taludes sobre todo, ésta debe de evitarse debido a que el escurrimiento aplica a la superficie del terreno (talud) un esfuerzo de tipo tangencial debido al escurrimiento laminar y por lo tanto la erosión del talud.

Por lo anteriormente descrito se hace necesario un revestimiento; en el caso de taludes, empleando vegetación, los revestimientos vegetales pueden disponerse, para defensa y protección de los suelos naturales o los taludes, en lo que respecta al objetivo deseado, las principales funciones serían:

- a) Proteger al suelo del impacto de las gotas de lluvia.
- b) Disminuir la velocidad del escurrimiento del agua por aumento de rugosidad.
- c) Aumentar la infiltración por huecos de raíces.

Para cumplir estos objetivos la cobertura debe ser tupida.

Otro factor climático que se debe tomar en cuenta según la

zona de proyecto, y en base a las variaciones abruptas de temperatura, son las heladas, las cuales son fuente de un gran número de problemas en pavimentos. Obviamente, estas estructuras son de las que más recientes los efectos de una acción climática severa de baja temperatura, muy especialmente los fenómenos de deshielo, los cuales producen descenso drástico de la resistencia de las capas de los pavimentos y un abatimiento en la capacidad portante de la capa subrasante durante el deshielo y prolongándose varios meses más, durante el deshielo de primavera, la zona congelada se funde, proceso que ocurre en varias semanas y va acompañado de asentamientos del subsuelo, provocando así agrietamientos longitudinales en la superficie de la corona, debidos a movimientos de las capas de pavimento que tienen lugar predominantemente en dirección horizontal, éste fenómeno puede ocurrir en la base o en la subbase.

Las recomendaciones a seguir para evitar este tipo de falla será tender una capa de espesor suficiente de material no susceptible a congelación después de la capa subrasante para lograr que la penetración en los materiales susceptibles subyacentes sea ya de poca importancia, o bien diseñar los pavimentos tomando en cuenta la capacidad portante de la capa subrasante disminuida debido al deshielo.

En lo que se refiere a la susceptibilidad o no de un material, según los estudios hechos por A. Casagrande, un suelo puede considerarse como no susceptible a la helada si posee menos de 3% de partículas menores de 0.02 mm, ahora bien con base en estudios clásicos de Terzaghi y Casagrande, los

suelos susceptibles a la acción de la congelación pueden clasificarse como se muestra en la tabla 7.

El intervalo crítico en el cual el material comienza a mostrarse susceptible oscila entre 3 y 10% del contenido de partículas menores a 0.02 mm., dependiendo esto de su granulometría.

Lo anteriormente descrito acerca de los efectos que causan los factores climáticos, nos ejemplifican algunos de los casos más comunes en los que un pavimento puede llegar a la falla, debido al intemperismo que está expuesta cualquier obra vial. Existen otros tipos de fallas que llegan a presentar en este tipo de estructuras viales las cuales ya no dependen en su totalidad de su exposición a efectos climáticos (intemperie) sino que estas se pueden presentar por otros factores, entre los que podemos mencionar fallas por insuficiencia estructural, por defectos constructivos y uno de los más comunes que sería por fatiga; en el primer caso se presentaría debido a el uso de materiales inapropiados y/o espesores insuficientes por lo que la resistencia al esfuerzo cortante sería inadecuado para que se establezca un mecanismo de resistencia apropiado, este tipo de fallas se presentarían a corto plazo, antes de concluir su vida de proyecto.

En cuanto a los defectos constructivos, éstas serían fallas en el comportamiento de conjunto de la estructura por errores en las distintas etapas de construcción; ahora bien, las fallas más comunes como ya se mencionó son por fatiga, éstas son debidas a la continua repetición de las cargas de -



GRUPO	TIPO DE SUELO
F <sub>1</sub>	Gravas con 3 a 20% de partículas menores que 0.02 mm.
F <sub>2</sub>	Arenas con 3 a 15% de partículas menores que 0.02 mm.
F <sub>3</sub> - a	Gravas con más del 20% de partículas menores que 0.02 mm.
F <sub>3</sub> - b	Arenas con más del 15% de partículas menores que 0.02 mm. (excepto las finas limosas).
F <sub>3</sub> - c	Arcillas con I <sub>p</sub> mayor de 12
F <sub>4</sub> - a	Todos los limos inorgánicos, incluyendo los arenosos.
F <sub>4</sub> - b	Arcillas finas limosas, con más del 15% de partículas menores que 0.02 mm.
F <sub>4</sub> - c	Arcillas con I <sub>p</sub> menor de 12
F <sub>4</sub> - d	Arcillas finamente estratificadas.

**TABLA. 7.** CLASIFICACION DE SUELOS, SEGUN SU SUSCEPTIBILIDAD A LOS EFECTOS DE LA CONGELACION

tránsito, provocando así degradación estructural y en general, pérdida de resistencia y deformación acumulada, lo anterior es típico de pavimentos que durante mucho tiempo traj  
bajó sin problemas (vida útil).

Se podría mencionar otro tipo de falla la cual se debería a la consolidación del terreno de cimentación principalmente en terrenos blandos produciendo distorsión del pavimento in  
dependientemente de los espesores o condiciones estructurales de las distintas capas, provocando deformaciones de la sección transversal manifestadas en agrietamientos longitudinales, también con este tipo de falla se puede llegar a comprometer la estabilidad de los terraplenes, produciendo ag  
rietamientos de características circulares.

En general las características en que se manifiestan los distintos tipos de fallas serían: Agrietamientos longitudinales (del orden de 0.5 cm. de abertura), debidas a cambios volumétricos por variación del contenido de agua sobre todo en la capa subrasante, o como ya se indicó debido a la acción del deshielo; formación de surcos, debidos al aumento de compacidad en las capas granulares (por vibración de car  
gas excesivas y repetidas), rotura de granos o también a la consolidación en la capa subrasante, el ancho del surco ex  
cede al de la llanta y tiende a ser mayor cuando más profunda sea la acendencia que provoca el fenómeno, con elevaciones de la carpeta a ambos lados del surco. Agrietamientos en piel  
de cocodrilo (forma) éstas se podrían adjudicar a las capas de pavimentos debiles o de insuficiencia en su grado de compactación, provocando así excesivos rompimien-  
tos de una o más capas (por fatiga).

## C A P I T U L O    I I I

### METODO DE SUBSTITUCION FACTIBLE EN EL TRAMO "ACCESO AL PUEBLO TE COATZACOALCOS II" (MARGEN IZQUIERDA)

#### GENERALIDADES

La región pertenece a la provincia fisiográfica de la planicie costera del Golfo de México, la línea de trazo atraviesa una zona muy plana y baja, sobre la extensa llanura de inundación que se define en la margen izquierda del Río Coatzacoalcos, a unos 20 km., de su desembocadura y al noroeste de la ciudad de Minatitlán, Ver.

Las formaciones geológicas que caracterizan el área datan del Terciario (Mioceno medio), al reciente, todas de origen sedimentario, están constituidas por depósitos de mezclas de arenas y arcillas compactas que forman la base de los lomeríos de la región, la llanura de inundación contiene depósitos recientes de origen fluvio-lacustre de compresible a poco compresible con un espesor que varía de 3.50 m a 31 m y depósitos de suelos orgánicos muy compresible con espesores que varían de 1.50 m a 3.50 m.

La llanura de inundación sobre la que se desarrolla el trazo del camino en estudio ha sido generada por las antiguas divagaciones del curso del Río Coatzacoalcos y sus afluentes, encontrándose cauces temporales, meandros abandonados y grandes extensiones de aguas someras y de pantano. El río en esta zona se encuentra en su parte angosta, habiendo alcanzado su nivel de erosión base.

El clima regional se clasifica como ecuatorial, tipo amazónico caluroso regular, con una precipitación pluvial cercana a los 2,500 mm; anuales, con lluvias todos los meses - - temperatura media anual de 26°C y variaciones térmicas - - comprendidas entre 12 y 40°C.

La cobertura vegetal esta constituida por plantas de tipo tropical existiendo algunos potreros con pastizales en los lomeríos. En la zona de pantano predominan los tules, pastos y lirios acuáticos.

En cuanto a la sismicidad, el sitio se ubica en la zona 2 - conforme a la regionalización sísmica de México, tercera en orden creciente entre las cuatro en las que se divide el País; con aceleraciones máximas probables del terreno del orden de 110, 140 y 260 cm/seg<sup>2</sup>, con periodos de recurrencia de 50, 100 y 500 años, respectivamente.

Conforme a las experiencias del pasado, se ha comprobado, - que es mayor el efecto sísmico en las zonas de terrenos - - blandos y pantanosos, así como en los lugares colindantes - donde las avenidas de los ríos han depositado materiales de acarreo. Los movimientos telúricos más frecuentes que se han sentido en la región durante el presente siglo han tenido intensidades comprendidas entre II y IV grados de acuerdo con la escala de Mercalli. El movimiento sísmico que ha provocado mayores estragos en la región se produjo en el mes de agosto de 1959 (VII grados de intensidad escala de Mercalli).

La localización de la zona y del camino en estudio se pueden observar en la figura 9.

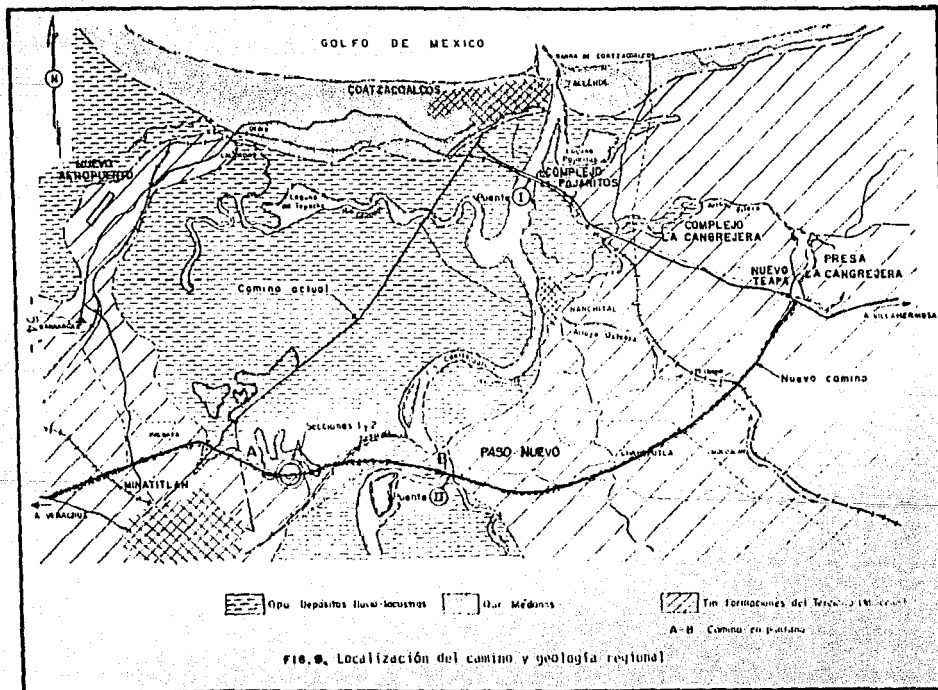


FIG. 9. Localización del camino y geología regional

### 3.1 EXPLORACION, MUESTREO Y PRUEBAS DE LABORATORIO

La exploración del subsuelo consistió en 11 sondeos; en cinco se emuleo el procedimiento de penetración (ASTM D-1586) con obtención de muestras representativas; en los seis restantes se alternó este procedimiento con el muestreo inalterado hincando a presión tubos de pared delgada tipo "Shelby" de 10 cm de diámetro en los suelos blandos, y eventualmente rotación con muestreados tipo "Denison" del mismo diámetro en los suelos duros; también hubo necesidad de utilizar en algunos sondeos ademe y lodos bentoníticos, las muestras extraídas se ensayaron en el laboratorio para la determinación de las características del suelo, estos ensayos de terminaron:

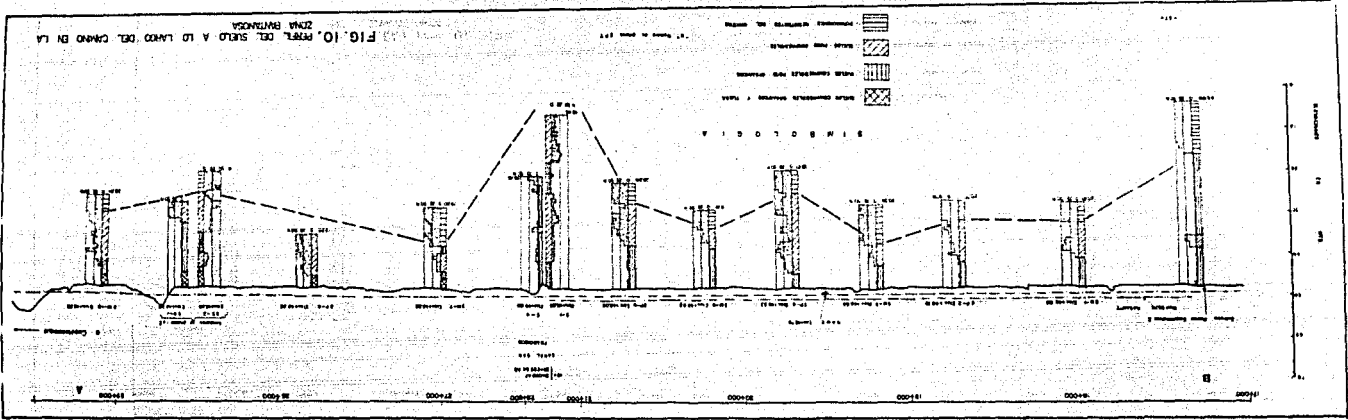
- a) Identificación de grupo respecto al SUGS
- b) Contenido natural de agua
- c) Límites de consistencia LL, LP
- d) Porcentaje de partículas finas (para malla 200)
- e) Contenido de materia orgánica
- f) Resistencia al corte en compresión simple
- g) Resistencia al corte en pruebas de compresión triaxial (probetas no consolidadas-no drenadas).
- h) Resistencia al corte en pruebas de compresión triaxial (probetas consolidadas-no drenadas)
- i) Resistencia al corte en pruebas de compresión triaxial (probetas consolidadas-drenadas)
- j) Características de compresibilidad, en pruebas de consolidación unidimensional.

k) Peso específico relativo "Ss", relación de vacíos "e", peso volumétrico y grado de saturación "G".

Apartir de los datos de exploración de campo y de los ensayos de laboratorio, se puede resumir un perfil estratigráfico a lo largo de la zona de pantano (zona de estudio), tal como se muestra en la figura 10.

Por otra parte las formaciones obtenidas de dichos estudios resultarán los siguientes:

- a) Sedimentos fluvio-lacustres compresibles con poca materia orgánica, probablemente son los suelos de más reciente depositación en la llanura de inundación del río y se extienden superficialmente desde la ribera del río, su espesor fluctúa entre 4.00 m y 15.00 m; estos depósitos están constituidos en su parte superior por arcillas limosas (CH-MH y CL) de consistencia muy blanda, de baja resistencia al corte y de alta compresibilidad; en la parte inferior existen arenas arcillosas o limosas y arcillas arenosas (SC, SM y CL) sueltas o muy blandas.
- b) En algunos lugares se distinguen sedimentos fluvio-lacustres compresibles pero con abundante materia orgánica, el espesor de estos sedimentos varían de 1.50 a 3.50 m., aproximadamente, y están constituidos por turbas (Pt) de consistencia muy blanda, con resistencia al corte prácticamente nula, en ocasiones superficialmente se encuentran suelos aluviales provenientes de los lomeríos cercanos. Inmediatamente abajo de estos depósitos se encontraron arenas limosas o arcillosas, cuya compa-





cidad aumenta con la profundidad partiendo de muy suelta.

- c) También existen sedimentos fluvio-lacustre poco compresibles, se agrupan dentro de esta formación a todos los estratos heterogéneos de arcillas arenosas (CL), arenas arcillosas (SC), arcillas de alta plasticidad (CH), arenas limosas (SM), y limos de baja y mediana plasticidad (ML y MH) cuya consistencia o compacidad es mediana o mayor. Sus características de compresibilidad y de resistencia al corte no presentan problema alguno para las condiciones impuestas por los terraplenes en estudio. Su espesor es muy variable y alcanza valores desde 1.30 m., hasta 19.80 m.
- d) Otro tipo de formaciones que se presenta es la sedimentarias del Mioceno, resistentes. Como base de los sedimentos fluvio-lacustres se encuentran los depósitos resistentes y poco compresibles que datan del Mioceno, los cuales están constituidos por arenas arcillosas y limosas con cantidades muy variables de grava (SC, SM y CH) esta formación fue detectada en todos los sondeos fluctuando entre las profundidades de 8.50 m hasta 31.00 m.
- e) Sedimentos inferiores fluvio-lacustres, compresibles, estas se encuentran entre las dos formaciones descritas c) y d) y entre los sondeos 6 y 7 mostrados en la figura 10, se encontro una formación de arcilla de mediana a alta plasticidad (CL y CH) de consistencia blanda y compresibles, cuyo espesor oscila entre 1.00 m y 10.50m.

Es de suponer que estos depósitos profundos se hayan -  
originado en antiguos cauces del propio Río Coatzacoal-  
cos, durante la evolución de sus meandros.

Por lo anteriormente descrito de las condiciones estratigrá-  
ficas y las propiedades del subsuelo el terreno de cimenta-  
ción puede zonificarse como sigue.

Zona A- de suelos blandos de gran espesor entre 18 y 31 m.

Zona B- de suelos blandos de espesor hasta 12 m.

Zona C- pantanosa, con suelos altamente orgánicos con espe-  
sores hasta de 3 m.

#### ESTABILIDAD DE TERRAPLENES

En base a los resultados de exploración obtenidos los análi-  
sis de estabilidad de los terraplenes, fueron considerados\_  
bajo los siguientes criterios.

- a) Falla por rotación. Método sueco
- b) Falla por traslación. Terzaghi-Peck
- c) Falla por flujo plástico. Método de Jürgenson
- d) Susceptibilidad a la licuación. Método de Seed e Idris

Para el análisis de falla por rotación de terraplenes se to-  
maron en cuenta los resultados de laboratorio correspondien-  
tes al sondeo 5, tanto para sección tradicional con talud -  
de 2:1 (terreno firme) como para sección con bermas de 10 m  
de ancho, la altura total conforme al comportamiento por -  
consolidación, fue de 3.80 m., con un peso volumétrico glo-  
bal del terraplén de 2.1 ton/m<sup>3</sup>. La resistencia al esfuer-  
zo cortante de la formación arcillosa superior, representa-  
da por las condiciones de prueba no consolidada-no drenada,

resultó ser del orden de 1.2 ton/m<sup>2</sup> los factores de seguridad calculados son: sin bermas 1.15 y con bermas 1.52

En el mecanismo de falla por traslación se obtuvo un factor de seguridad de 2.3 para terraplén sin bermas.

El análisis por flujo plástico propuesto nos arroja alturas máximas admisibles del terraplén de 1.90 m. con un factor de seguridad aproximado de 1.5 de lo que se desprende la necesidad de utilizar bermas cuyos hombros no rebasen este nivel. De la misma manera para provocar una incrustación efectiva en los estratos superiores de arcilla blanda serán necesario recargues con alturas del orden de 3.00 m., en las formaciones de turba aunque probablemente este efecto se logrará con alturas menores dada su consistencia natural.

Por último tomando en cuenta por una parte la experiencia regional y por otra los análisis de susceptibilidad según método de Seed e Idris, se considera que hay susceptibilidad al fenómeno de licuación parcial en los suelos arenolimosos. Es muy probable que este fenómeno se manifieste en hundimientos de la sección con magnitudes hasta de un metro aproximadamente. Esto no invalida la posibilidad de que también se presente este fenómeno en otras formaciones.

### 3.2 METODO (FACTIBLE)

El proyecto geométrico de estas estructuras y las características del terreno de cimentación implican la necesidad de un análisis cuidadoso de su estabilidad y deformabilidad, los principales métodos que se han seguido para tratar de solucionar los efectos de los asentamientos producidos en suelos blandos debidos a la construcción de una obra vial son los siguientes:

- a) El uso de materiales ligeros. Se trata de conseguir, dentro de las distancias de acarreo tolerables, bancos de materiales de bajo peso específico, tales como tezontle o arenas pumíticas, para lograr así disminuir al máximo tanto las presiones comunicadas al suelo de cimentación como la geometría de sección que se construye - pues no debe olvidarse que al problema de cimentación está ligado el de la falta de resistencia, de modo que si el terraplén se hace con materiales pesados requeriría taludes muy tendidos, bermas, etc., que podrán reducirse y quizá eliminarse con el uso de materiales ligeros. Siendo el hundimiento menor a menor ancho del terraplén, esta última ganancia repercutirá también favorablemente en el asentamiento final a que se llegue.
- b) La compensación parcial o total de la carga del terraplén. Si se logra por algún procedimiento de construcción adecuado que al penetrar el material del terraplén desplace lateralmente al suelo de cimentación blando, se producirá una compensación del peso de aquel, actuando

do únicamente con una presión correspondiente a la diferencia entre el peso del material colocado y el del desplazado. El método es más factible cuando más desplazable lateralmente sea el suelo, por lo que rinden sus mejores resultados en suelos arcillosos altamente orgánicos o turbas.

En ocasiones el desplazamiento del terreno natural se ayuda con sobrecargas, explosivos, etc.

En general el inconveniente de este procedimiento estriba en la gran cantidad de material que puede llegar a "tragarse" el terreno natural antes de lograr una compensación efectiva.

- c) La colocación de bermas o el uso de taludes muy tendidos. Con esto se logra uniformizar las presiones transmitidas al terreno en la zona subyacente a la corona del terraplén, con lo que se uniformizan también los asentamientos bajo esa zona, y por lo tanto, se reducen los asentamientos diferenciales que muy frecuentemente son los verdaderos enemigos de la carretera. Por otra parte conviene no olvidar que el asentamiento total será mayor cuando mayor sea el ancho del área cargada.
- d) Consolidación previa del terrero de cimentación. En este caso se construye el terraplén con suficiente anticipación a las obras de pavimentación, permitiendo que ocurra el asentamiento durante ese lapso disponible; la construcción previa suele complementarse con algo de sobreelevación; cuando la mayor parte del asentamiento se haya producido, podrá efectuarse un recargue que prefe-

rentemente debe buscarse sea definitivo. Si con una -  
previsión inteligente sea logrado que ese recargue sea  
mínimo, los asentamientos producidos por él, serán de -  
escasa significación y la estructura será ya práctica-  
mente estable en el momento de la pavimentación. Esta  
solución es muy ventajosa sobre todo en los accesos a -  
puentes y pasos a desnivel. El requisito que habrá de  
cumplirse para que la solución sea viable es la disponi-  
bilidad de tiempo.

Tomando en cuenta las soluciones descritas anteriormente se  
considera factible utilizar una combinación de los incisos  
b, c y d, ya que los estudios realizados en cuanto a la es-  
tratigrafía y propiedades del subsuelo, la magnitud y dis-  
tribución de los esfuerzos en su masa, el comportamiento -  
previsible más apropiado y primordialmente la disponibili-  
dad y características mecánicas de los materiales de la re-  
gión, nos dan como resultado estos tipos de solución.

Por lo tanto, en base a los estudios realizados los trabajos  
de construcción de dicho tramo, tendrán por objeto, en gene-  
ral los siguientes puntos:

- a) Terracerías
- b) Obras de drenaje y obras complementarias de drenaje.
- c) Pavimentación que incluye sub-base hidráulica, base hi-  
dráulica estabilizada con cemento portland, y carpeta -  
de concreto asfáltico.

En cuanto a las terracerías la técnica que se desarrolló pa-  
ra llevar a cabo su construcción fue la siguiente:

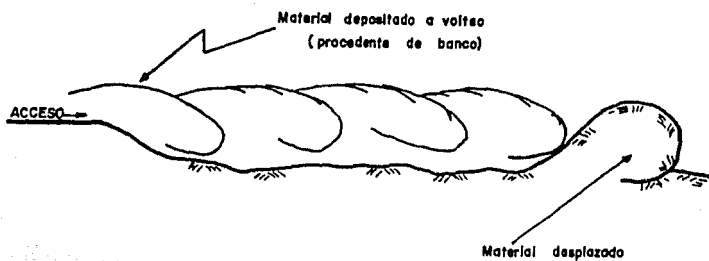
Las terracerías y las bermas en la zona de pantano y de -- compresibilidad alta fueron reforzadas en su base con una membrana de soporte de polipropileno (geotextil), la cual -- servirá como interfase entre el terraplén y el suelo natural para evitar incrustaciones irregulares y excesivas, así como para favorecer la construcción de una plantilla de trabajo.

El método utilizado para la construcción de la plantilla de trabajo fue a volteo siguiendo el procedimiento conocido como "punta de flecha", hasta abarcar todo el ancho de la sección incluyendo las bermas.

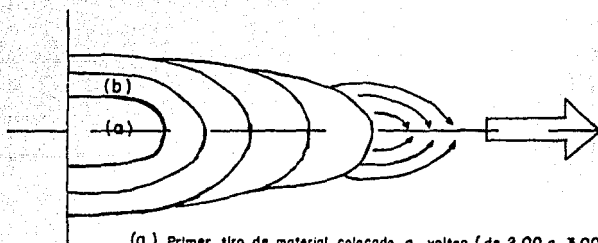
Por lo que concierne al procedimiento "punta de flecha" se explicará ampliamente más adelante, pero para tener una -- idea de en que consiste dicho método se puede observar la -- figura 11.

El material utilizado para la construcción de las terracerías será procedente de bancos previamente estudiados y localizados para este fin, los resultados de estos bancos se proporcionan en las tablas 8, 9, 10, 11, 12, y 13 así como -- también el propósito de su utilización.

En la sección de proyecto propuesta (figura 12) se puede observar la incrustación de una membrana sintética, la cual -- como ya se menciona tiene como fin el soportar como refuerzo en la base del terraplén y las bermas los esfuerzos a -- que va hacer sometida dicha estructura. La fabricación de dicha membrana es mediante un proceso de integración del -- torcido y la unión de fibras, es una hoja flexible, muy --



VISTA EN PERFIL



- (a) Primer tiro de material colocado a volteo (de 2.00 a 3.00 m.)  
 (b) Se continuara ampliando el tiro avanzando sobre el eje hasta formar la plantilla (del ancho necesario)

VISTA EN PLANTA

FIG. II. PROCEDIMIENTO "PUNTA DE FLECHA"



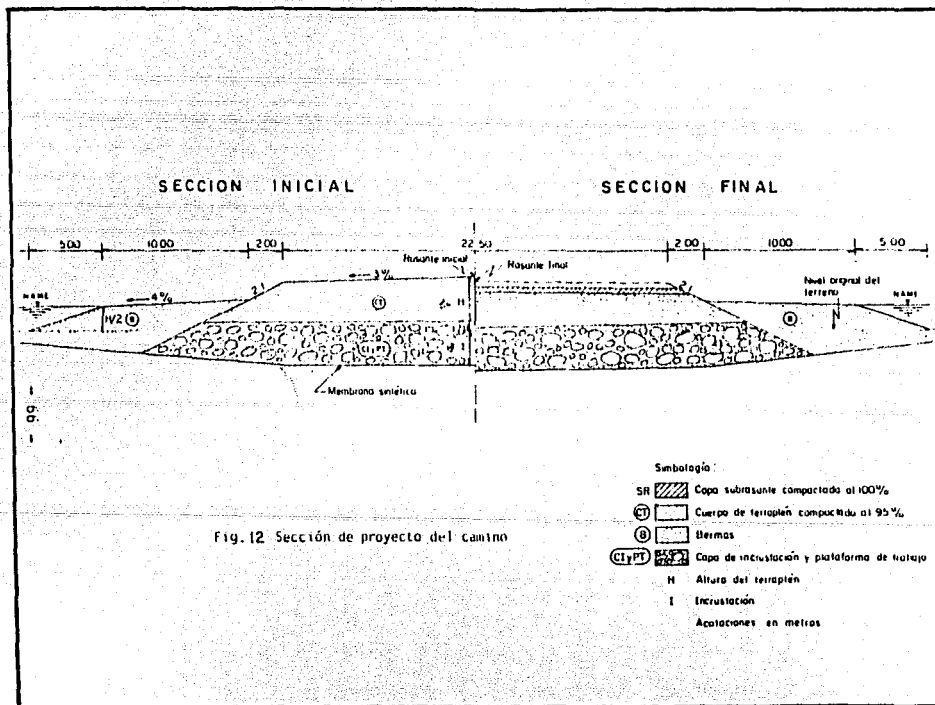


Fig. 12 Sección de proyecto del camino

fuerte, no tejida formada por filamentos continuos de polipropileno 100%, orientados en los sentidos longitudinal y transversal de la hoja y ligados integramente en sus uniones.

#### Propiedades y características

- Extraordinaria fuerza y resistencia.
- Muy resistente a la perforación.
- Dimensiones invariables.
- Alta resistencia química (ácidos, bases, fenoles).
- Resistencia a la descomposición, al enmohecimiento y a los insectos.
- Trabajable en bajas temperaturas.
- No se encoje ni se estira.
- No se deshiela.

#### Propiedades físicas

- |  |   |
|--|---|
| - Peso                                 | 134 grs/m <sup>2</sup>                                      |
| - Espesor                              | 4 milésimas   |
| - Resistencia a la tensión             | 59 kg.  |
| - Estiramiento hasta falla             | 62 %  |
| - Rotura trapezoidal                   | 32 kg.  |
| - Falla de mullen                      | 12 kg/cm <sup>2</sup>                                       |
| - Peso específico                      | 0.95  |
| - Flujo                                | 10,200 l/m <sup>2</sup> /min. con 25 cm de tirante de agua. |
| - Coeficiente de permeabilidad de agua | (k) $2 \times 10^{-2}$ cm/seg.                              |

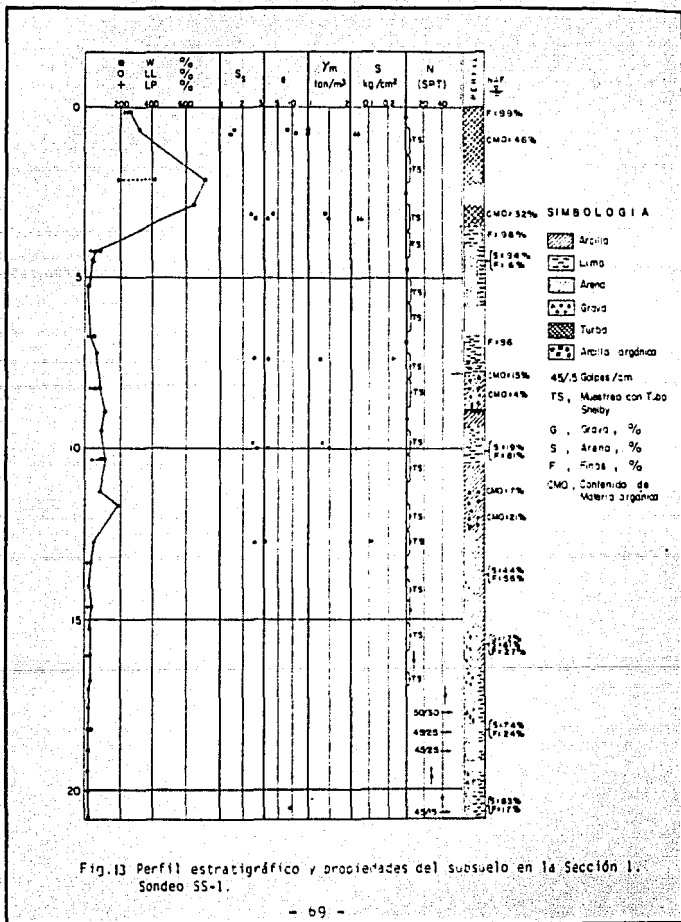
## VENTAJAS

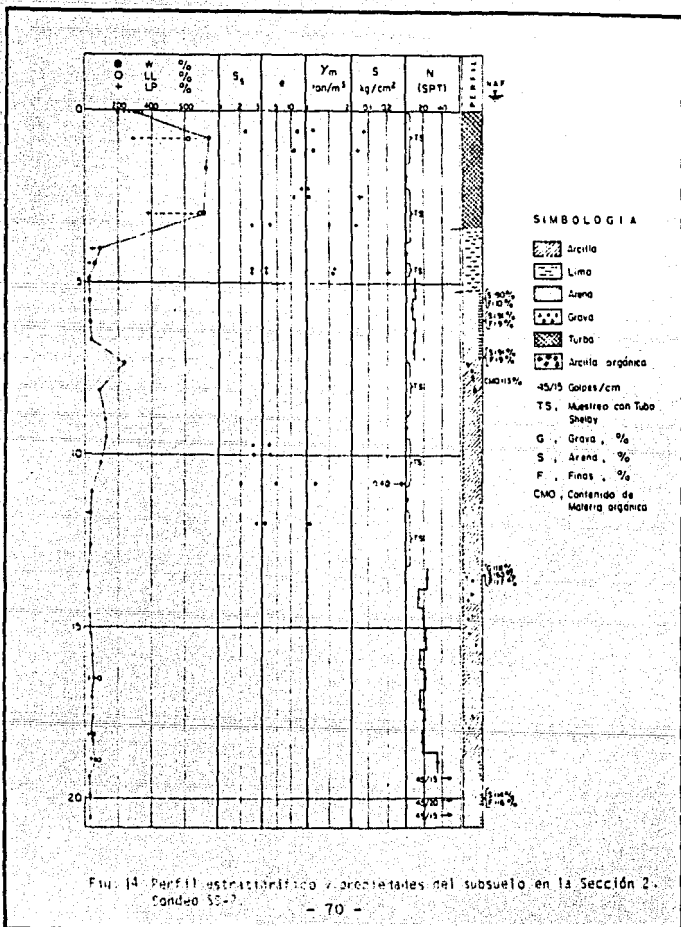
- Aumenta la capacidad de distribución de la carga en un 30% lo que equivale a un aumento del VRS del suelo en aproximadamente cuatro unidades de porcentaje.
- Evita el entremezclado del agregado con el suelo.
- Mejora la compactación.
- Permite el drenaje.
- Permite ahorro de material en el espesor de proyecto.

Con el propósito de conocer el comportamiento de tal membrana se instrumentaron y efectuaron mediciones en dos secciones homogéneas separadas a 100 m., para lo cual se realizó un sondeo por sección, obteniéndose los datos correspondientes, como se puede observar en la figura 13 y 14, en los cuales se manifiesta la turba superficialmente en un espesor aproximado de 3.50 m., un contenido de agua que alcanza valores hasta 230% el cual es mayor que el límite líquido, en cuanto al peso específico relativo tiene valores tan bajos como de 1.5 y el peso volumétrico natural como de 1 kg/m<sup>3</sup>, así como una resistencia al corte medida como un medio de resistencia en compresión no confinada va de 0.30 a 0.08 kg/cm<sup>2</sup>.

Para conocer el comportamiento de el uso de la membrana se colocaron los siguientes instrumentos, con cada sección se instalaron:

- 1) Cinco bancos de nivel superficiales en terreno natural, fuera de la base de terraplén y cuatro en la superficie del mismo.
- 2) Dos bancos de nivel con base de placa, desplantados a -





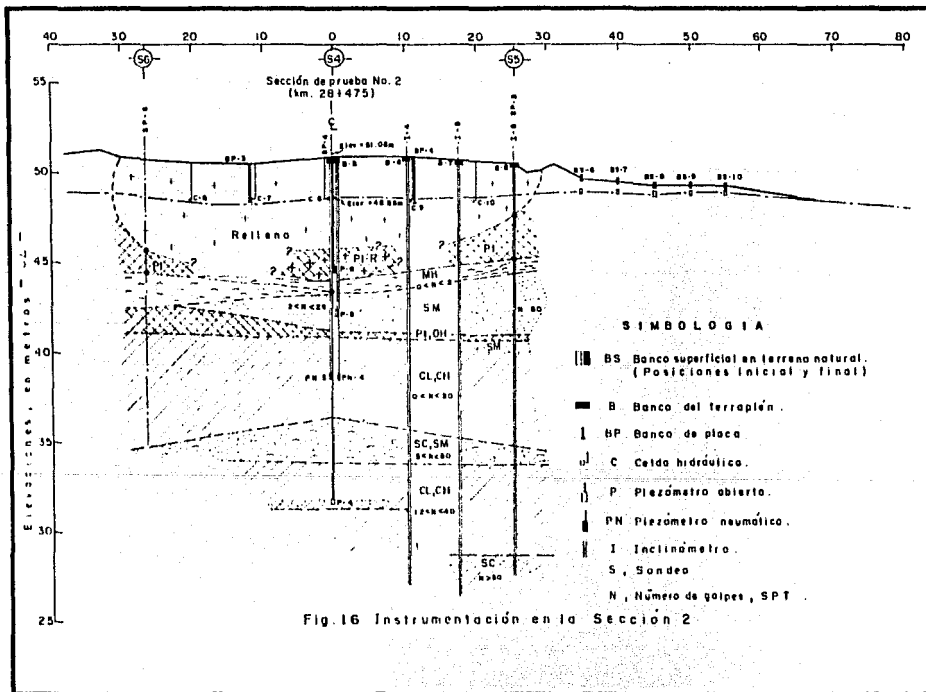
2 m de profundidad de la rasante.

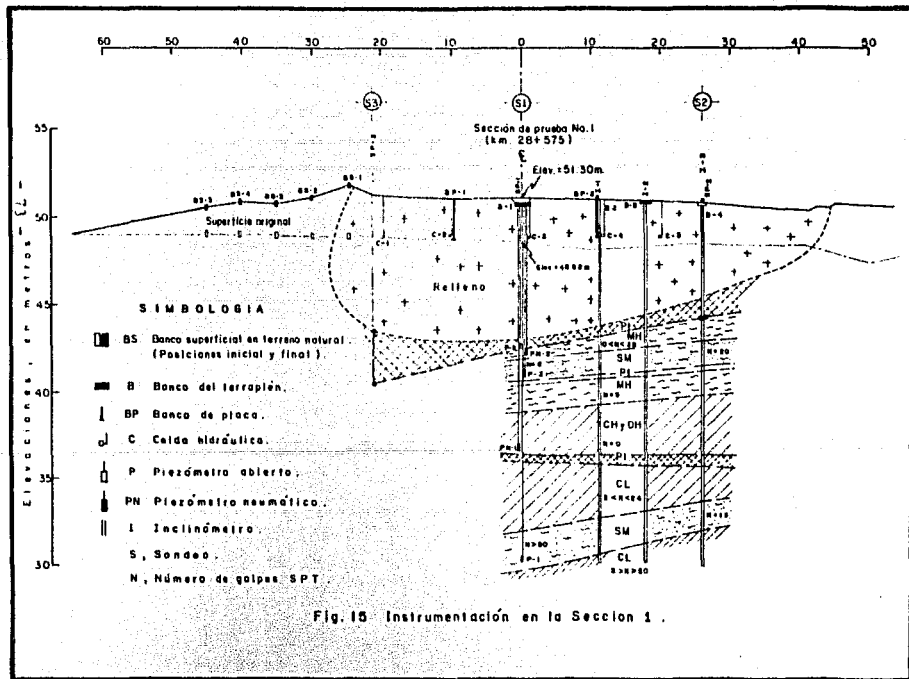
- 3) Un banco de nivel profundo como referencia fija para todas las nivelaciones.
- 4) Cinco cajas o celdas hidráulicas de PVS de 20x20x18 cm a 20 cm., bajo la rasante.
- 5) Tres piezómetros abiertos tipo Casagrande en suelos permeables y dos neumáticos en los impermeables.
- 6) Tres inclinómetros de tubería de aluminio. Las mediciones se realizarán con un medidor de péndulo eléctrico - digital.

Una forma de esquematizar la instrumentación antes mencionada se observa en las figuras 15, 16.

Por otra parte la colocación de la membrana polipropileno se realizó mediante bandas de 4.75 m de ancho por 91.4 m de largo, previa remoción de troncos y vegetación cuyo diámetro sea igual o mayor de 0.03 m; cosidas con hilo de polipropileno suministrado junto con la membrana. Dicha membrana abarcará todo el ancho de la plantilla del terraplén y bermas más un 10 ó 25% a cada lado dependiendo de la profundidad de incrustación. El material de relleno como ya se mencionó antes se coloca a volteo, siguiendo el procedimiento de "punta de flecha", simétricamente utilizando equipo pesado, camiones tipo góndola de 22 m<sup>3</sup> de capacidad y tractor D-8.

Terminada la plantilla de trabajo se procederá a la construcción de las capas sucesivas de las terracerías, bermas y recargues propuestos hasta nivel de proyecto respectivamente.







En cuanto a la pavimentación se realizará una vez concluidos los asentamientos previstos; esta construcción se apegará a las Normas para Construcción o Instalaciones, así como también a las Normas de Calidad de los Materiales, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Como ya se mencionó en párrafos pasados, que tanto el material de relleno como el utilizado en las terracerías y bermas será procedente de bancos, los cuales al ser estudiados arrojaron los resultados que a continuación se harán mención.

DENOMINACION B00. " CARRIZALES "

LOCALIZACION KM. 34+538,18 d/d con 6,300 m., sobre camino de acceso al nuevo aeropuerto de Miraflores.

PRESTAMO DE MATERIAL PARA Cana de cimentación.

CLASIFICACION Gravas y arenas arcillosas compactas, poco húmeda color café.

DIMENSIONES. Largo 150 m Ancho 70 m Espesor 10  
Volamen aprovechable 105,000 m<sup>3</sup>

## REPORTE DE ENSAYE DE MATERIAL

PESO VOLUMETRICO SUELTO 1970 kg/m<sup>3</sup>

% QUE PASA MALLA	
2 "	
1 1/2 "	
1 "	10
3/4 "	22
3/8 "	53
No. 4	17
No. 10	27
No. 20	20
No. 40	13
No. 60	11
No. 100	6
No. 200	-

V.R.S. (Estandar) % \_\_\_\_\_

Valor cementante kg/cm<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8 "

Absorción \_\_\_\_\_

Densidad \_\_\_\_\_

PRUEBAS SOBRE MAT. CRIBADO POR MALLA No. 40

Límite Líquido \_\_\_\_\_ Equivalente de arena

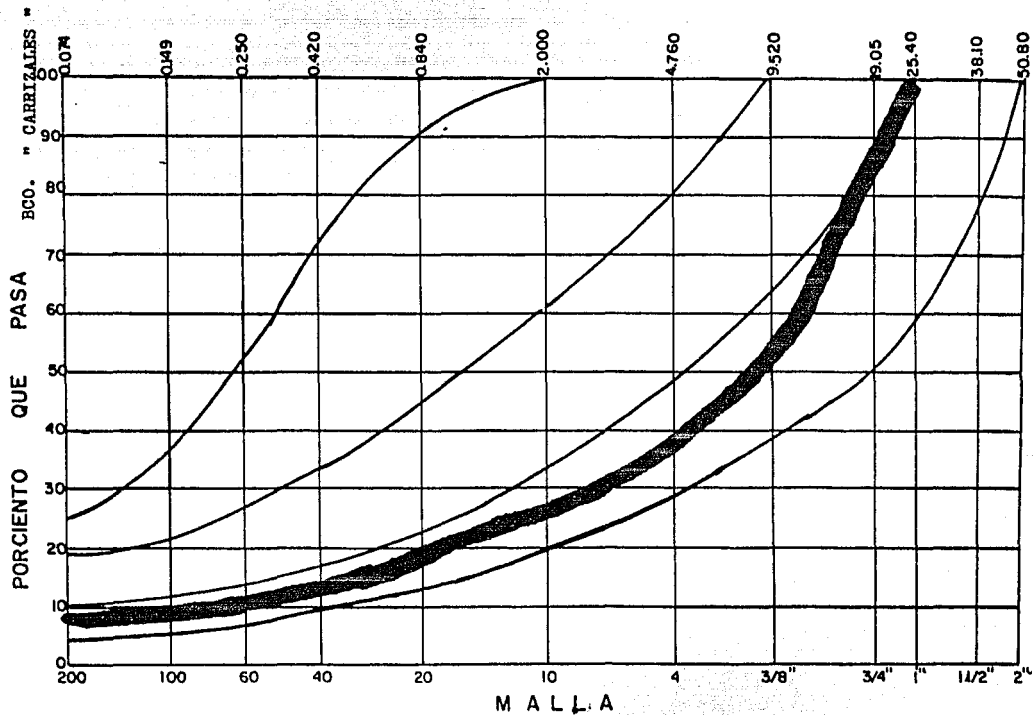
Límite plástico \_\_\_\_\_

Índice plástico \_\_\_\_\_ Contracción Línea \_\_\_\_\_

CLASIFICACION PETROGRAFICA \_\_\_\_\_

NOTA: GRAFICA COMPOSICION GRANULOMETRICA ANEXA

# GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



DENOMINACION BCO. " RANCHO DOMIGUEZ "

LOCALIZACION KM. 34+538 d/d con 12,000 m., sobre camino acceso al nuevo aeropuerto de Minatitlán.

PRESTAMO DE MATERIAL PARA Guerra de terraplén y/o obra subyacente.

CLASIFICACION arena y gravas arcillosas compactas, poco húmeda, color café.

DIMENSIONES. Largo 1800 m. Ancho 100 m. Espesor 10 m.  
 Volamen aprovechable 1'800,000 m<sup>3</sup>

### REPORTE DE ENSAYE DE MATERIAL

PESO VOLUMETRICO SUELTO kg/m<sup>3</sup> 1500

V.R.S. (Estandar) % 100

Valor cementante kg/cm<sup>2</sup> 5.0

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

Absorción 0.35

Densidad 2.70

PRUEBAS SOBRE MAT. CRIBADO POR MALLA No. 40

Límite Líquido 50 Equivalente de arena

Límite plástico 10

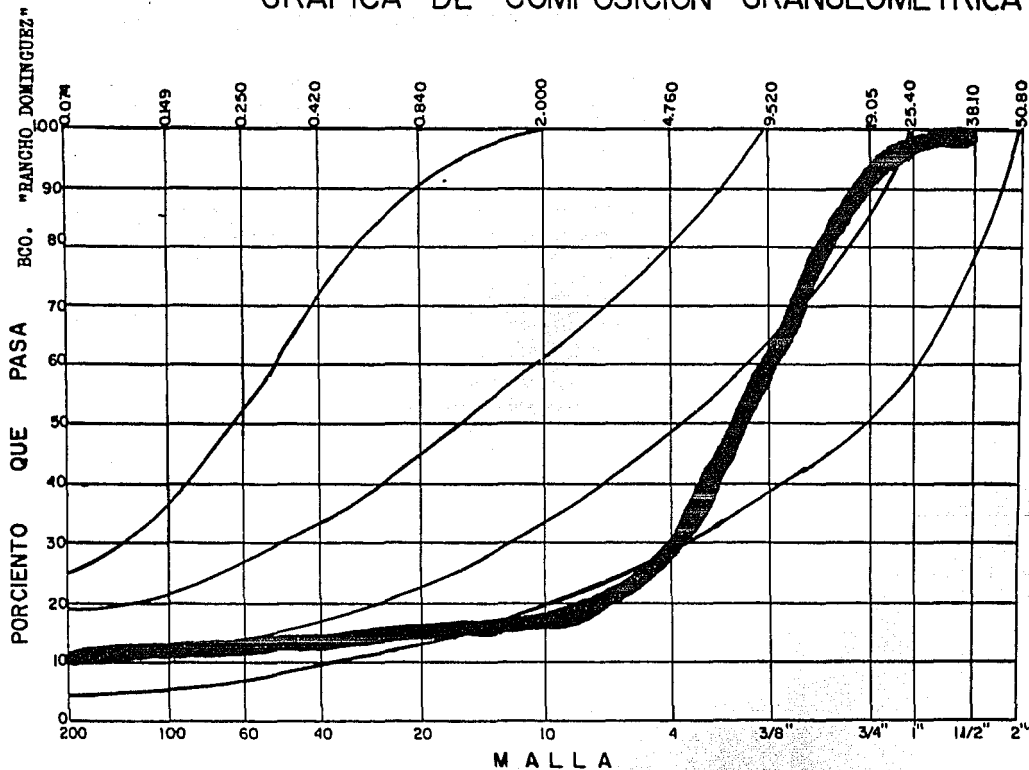
Índice plástico 40 Contracción Línea 10

CLASIFICACION PETROGRAFICA " 00 "

NOTA: GRAFICA COMPOSICION GRANULOMETRICA ANEXA

% QUE PASA MALLA	
2 "	
1 1/2 "	100
1 "	98
3/4 "	92
3/8 "	60
No. 4	29
No. 10	17
No. 20	15
No. 40	14
No. 60	13
No. 100	12
No. 200	11

# GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



DENOMINACION SGO. " RANCHO DOMIGERZ"

LOCALIZACION Km. 34+538 d/d con 12,000 m. sobre camino de acceso al nuevo aeropuerto de Minatitlán.

PRESTAMO DE MATERIAL PARA Cuadro de terraplén y/o para subrasante.

CLASIFICACION Arena y gravas azules compactas, con núcleo, color café.

DIMENSIONES. Largo 1800 m Ancho 100 m Espesor 15 m  
 Volumen aprovechable 2700000 m<sup>3</sup>

REPORTE DE ENSAYE DE MATERIAL

PESO VOLUMETRICÓ SUELTO kg/m<sup>3</sup> 1570

V.R.S. (Estandar) % 12

Valor cementante kg/cm<sup>2</sup> 4

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

Absorción 1.14

Densidad 2.45

PRUEBAS SOBRE MAT. CRIBADO POR MALLA No. 40

Límite Líquido 27.6 Equivalente de arena

Límite plástico 1.0

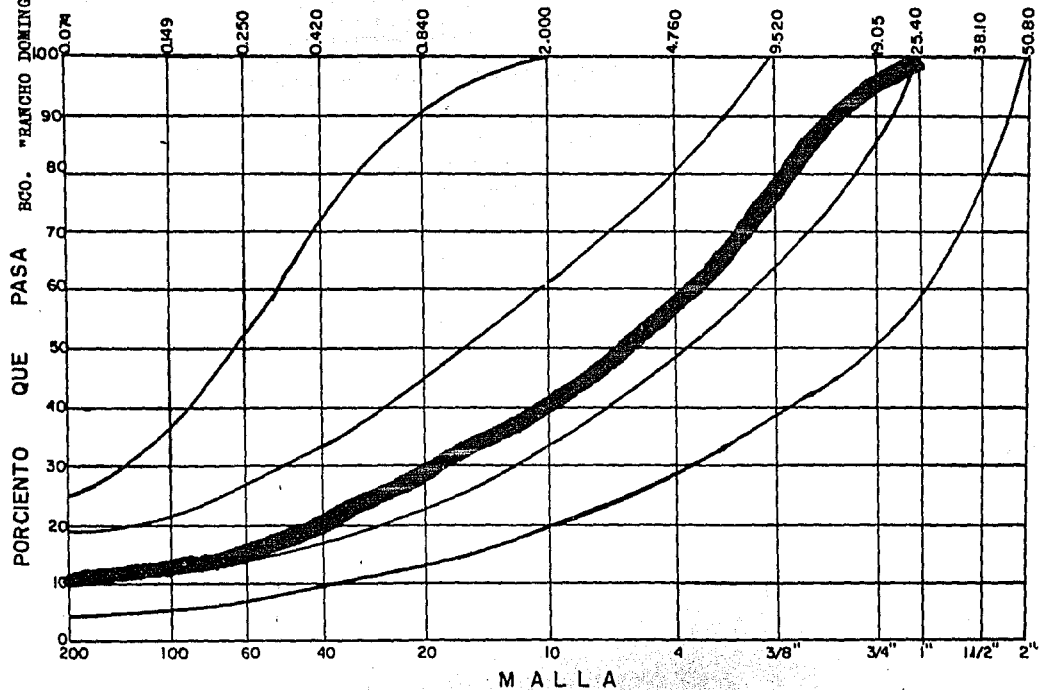
Índice plástico 26.6 Contracción Línea 1.3

CLASIFICACION PETROGRAFICA AG-1

NOTA: GRAFICA COMPOSICION GRANULOMETRICA ANEXA

% QUE PASA MALLA	
2"	
1 1/2"	
1"	100
3/4"	95
3/8"	77
No. 4	52
No. 10	41
No. 20	30
No. 40	21
No. 60	15
No. 100	11
No. 200	7

# GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



DENOMINACION BCO. "RANCHO DOMÍNGUEZ"

LOCALIZACIÓN KM. 34+539 d/d con 12,000 m. sobre camino acceso al  
nuevo aeropuerto de Minatitlán.

PRESTAMO DE MATERIAL PARA Cuerpo de terraplén y/o capa subra-  
sante.

CLASIFICACION Arena y gravas arcillosas compactas, poco húmeda,  
color café.

DIMENSIONES. Largo 1000 m Ancho 100 m Espesor 10 m  
Volamen aprovechable 1,000,000 m<sup>3</sup>

## REPORTE DE ENSAYE DE MATERIAL

PESO VOLUMETRICO SUELTO kg/m<sup>3</sup> 1575

V.R.S. (Estandar) % 100

Valor cementante kg/cm<sup>2</sup> 3.1

% QUE PASA MALLA	
2"	
1 1/2"	
1"	100
3/4"	97
3/8"	91
No. 4	81
No. 10	57
No. 20	37
No. 40	21
No. 60	13
No. 100	7
No. 200	3

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

Absorción 1.48

Densidad 2.70

PRUEBAS SOBRE MAT. CRIBADO POR MALLA No. 40

Límite Líquido 27.7 Equivalente de arena

Límite plástico 16.3 10.4

Índice plástico 11.3 Contracción Línea

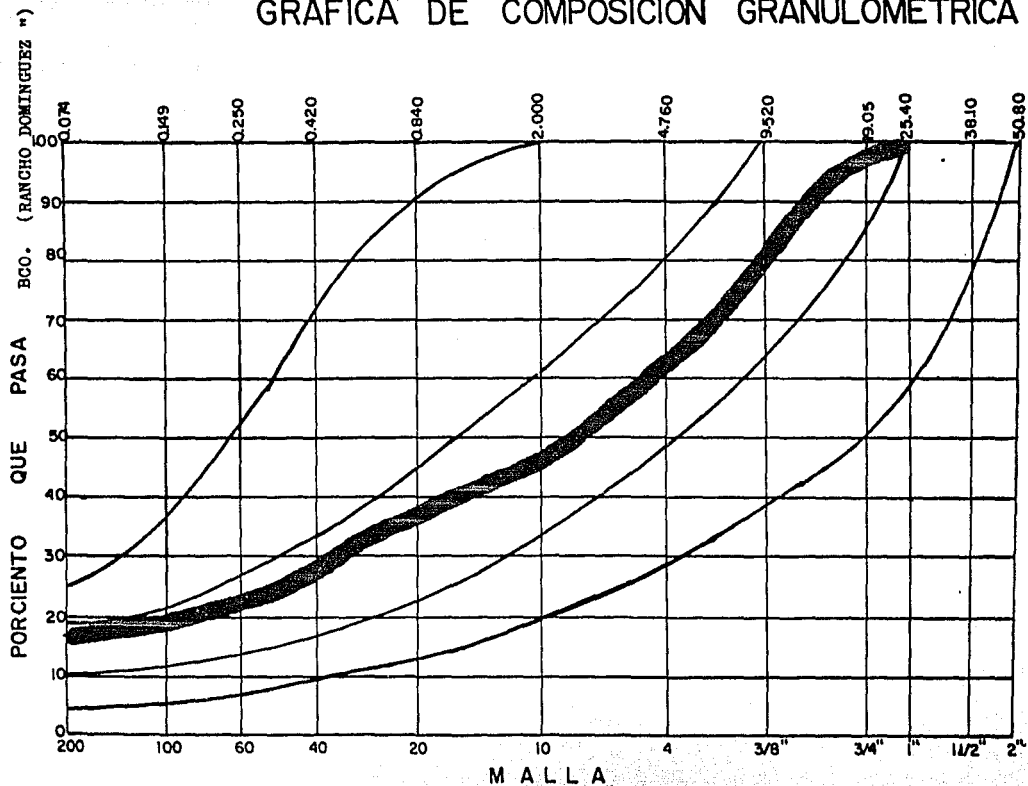
4.6

CLASIFICACION PETROGRAFICA "A-CG"

NOTA: GRAFICA COMPOSICION GRANULOMETRICA ANEXA



# GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



DENOMINACION BCO. " MAPACHAPA "

LOCALIZACION KV 34+538 18 d/d con 1,000 m. sobre camino acceso al nuevo aeropuerto de Minatitlán.

PRESTAMO DE MATERIAL PARA Guerra de terraplén y/o para subrasante.

CLASIFICACION Arena arcillosa, muy compacta, poco húmeda, color café (30).

DIMENSIONES. Largo 150 m Ancho 80 m Espesor 10 m  
Volamen aprovechable 120,000 m<sup>3</sup>

## REPORTE DE ENSAYE DE MATERIAL

PESO VOLUMETRICO SUELTO kg/m<sup>3</sup> 1326

V.R.S. (Estandar) % 2.1

Valor cementante kg/cm<sup>2</sup> 4.4

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"

Absorción 0.00

Densidad 2.70

PRUEBAS SOBRE MAT. CRIBADO POR MALLA No. 40

Límite Líquido 0.00 Equivalente de arena

Límite plástico 0.00

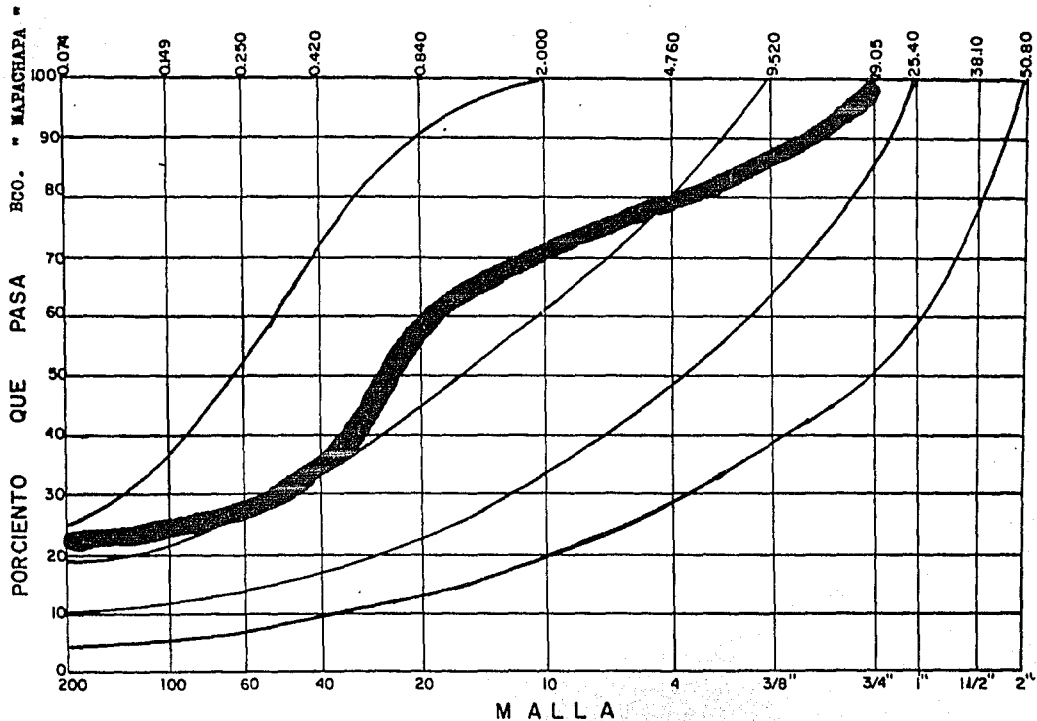
Índice plástico 0.00 Contracción Línea 0.00

CLASIFICACION PETROGRAFICA " "

NOTA: GRAFICA COMPOSICION GRANULOMETRICA ANEXA

% QUE PASA MALLA	
2 "	
1/2 "	
1 "	
3/4 "	100
3/8 "	91
No. 4	79
No. 10	71
No. 20	58
No. 40	35
No. 60	25
No. 100	15
No. 200	11

# GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA



DENOMINACION	<u>BCO. "BARRANCAS"</u>
PRESTAMO DE MATERIAL PARA	<u>Cuerpo de terraplén y/o capa - subrasante.</u>
CLASIFICACION	<u>Arena arcillosa compacta, poco húmeda color café.</u>
DIMENSIONES	Largo <u>200 m</u> Ancho <u>200 m</u> Espesor <u>10 m</u> Volumen aprovechable <u>400,000m<sup>3</sup></u>

CARACTERISTICAS DE MATERIAL

	E	N	S	A	Y	B	S
Tamaño máximo	#4	#4	#4	#4	#4	#4	#4
% retenido en malla 75mm							
% que pasa malla 4.75mm	100	100	100	100	100	100	100
% que pasa malla 0.425mm	68	73	65	65	76	76	76
% que pasa malla 0.075mm	39	42	28	28	50	50	50
Límite líquido %	23.8	34.1	20.2	20.2	38.1	38.1	38.1
Índice plástico %	8.1	13.2	4.6	4.6	18.9	18.9	18.9
Contracción lineal %	3.8	4.7	2.1	2.1	7.5	7.5	7.5
P.E.S. suelto kg/m <sup>3</sup>	1325	1250	1475	1475	1270	1270	1270
P.E.S. máximo kg/m <sup>3</sup>	2133	1805	2110	2110	1880	1880	1880
Humedad óptima %	9.5	15.4	7.7	7.7	13.2	13.2	13.2
Humedad natural %	1.2	2.4	1.4	1.4	1.6	1.6	1.6
V.R.S. (Estándar) %	38.4	11.0	27.2	27.2	13.2	13.2	13.2
Expansión %	0.25	1.46	0.33	0.33	0.0	0.0	0.0
Clasificación	SC	SC	SC	SC	SC	SC	SC

**TABLA 13**

## C A P I T U L O   I V

### CONSTRUCCION DE LA CARRETERA, ACCESO AL PUNTE COATZACOALCOS II MARGEN IZQUIERDA

#### ANTECEDENTES.

Las obras objeto de este tramo comprenden la construcción del camino antes mencionado, correspondiente a la margen izquierda del Río Coatzacoalcos de los entronques Minatitlán, Nuevo Aeropuerto y Cosoloacaque; dicho camino consta de una sección de cuatro carriles de circulación en ambos sentidos alojados en dos cuerpos con 10.50 m de semicorona contando cada uno con un ancho de 7.50 m de calzada y acotamientos laterales de 3.00 m separados ambos cuerpos por un camellón central con ancho de 1.20 m, lo que nos arroja un ancho, total de corona de 22.20 m en la sección final, la cual se arrojará en ambos lados por bermas de 10.00 m de ancho aproximadamente; para efectos de drenaje superficial tiene un bombeo mínimo a partir del eje del camino de 2% tal como se puede observar en la figura 17.

El nivel de aguas máximas extraordinarias condiciona la rasante mínima a 2.00 m sobre él, lo que implica alturas de terraplén, entre 0.75 m y 2.85 m sobre la superficie del terreno, con una media de 2.60 m en promedio.



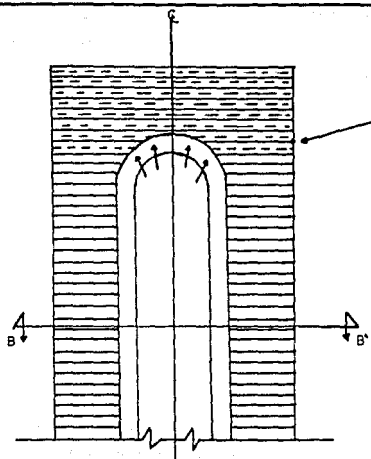
#### 4.1 PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCION DE LAS TERRACERIAS Y PAVIMENTACION.

##### A. TERRACERIAS

Los terraplenes y las bermas indicadas en el proyecto se - construirán sobre una membrana sintética de polipropileno - (geotextil) del tipo TYPAR 3041 de Du pont, o similar, la - cual deberá instalarse en el terreno, después de haber pre- parado éste, removiendo toda vegetación que tenga 3 cm., de diámetro o mayor con forme a lo indicado a continuación:

##### MEMBRANA

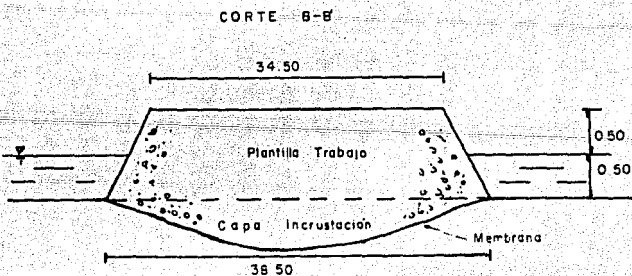
1. En un lugar sin tirante de agua se colocarán base con- tra base 4 rollos de la membrana, de 4.75 m, de ancho - 91.4 m., de longitud cada uno, desenrollándolos hasta una longitud de 76 m., correspondiente al ancho del te- rraplén y bermas más un 22% (en la base de las envoltu- ras de los rollos hay una flecha indicando el sentido - en que está embobinada la membrana).
2. Durante la: 4 membranas de los rollos a lo largo de los 76 m., con hilo de polipropileno suministrado junto con la membrana, empleando una cosedora de sacos neumática (del tipo 2100L Unión Especial, o similar).  
Para coser las membranas deberán voltearse los bordes - de los tramos a unir, empalmándolos 2 cm., como se mues- tra en el detalle de la figura 18, realizando la costu- ra a la mitad de los empalmes es decir a 1 cm, del bor- de (el remanente de la longitud total de rollo se corta



**DETALLE DE COSTURA**

Para la union de los rollos  
 voltear las orillas 2 cm.  
 empalmarlos y coserlos  
 a 1 cm.

**Fig. 18.**



**Fig. 19.**



rá y coserá al principio de la siguiente tira).

3. La tira formada con las 4 membranas se doblará a lo ancho, de modo semejante a un acordeón, con el objeto de que pueda manejarse con facilidad pudiendo sujetarse con pinzas de presión o cualquier otro dispositivo semejante.
  4. Doblada en la forma indicada, se llevará la tira hasta el lugar donde se iniciará la construcción del terraplén y se colocará centrada en ángulo recto con respecto al eje del trazo. Fijando el principio de la tira sobre terreno firme; se extenderá una cuarta parte de ella (hasta donde aparezca la primera costura) y se descargará sobre la misma el material que formará la plantilla de trabajo, cuidando de extender éste desde el centro hacia los lados. El resto de la tira que aún no ha sido desdoblada, en posición más o menos vertical quedará como punta de avance (la membrana soportará el peso de los hombres, aún en las zonas pantanosas, por lo que no se necesitaran lanchas).
  5. Continúese desdoblando la tira hasta que sólo quede al descubierto el último tramo de la membrana que se cosió.
  6. Repítase los puntos 1, 2 y 3 y llévase la nueva tira formada hasta el sitio de trabajo, donde se coserá al borde de la lámina que quedó al descubierto y continúese colocando la membrana conforme a lo indicado en los puntos 4 y 5.
- B. La parte inferior del terraplén (plantilla de trabajo)-

se construirá a volteo siguiendo el procedimiento conocido como "punta de flecha" hasta abarcar todo el ancho de la sección, con material procedente de los bancos Carrizales y Rancho Domínguez, ubicados en la zona cercana al Nuevo Aeropuerto. El material deberá bandearse con 8 pasadas de tractor D-6 o similar, extendiéndolo simétricamente desde el centro hacia los lados. El tránsito de camiones sobre la plantilla de construcción, se permitirá hasta que esta última haya sido bandeada.

Durante el proceso constructivo, en general se presentarán asentamientos y deformaciones, por lo que el material que se deposite en la plantilla de trabajo se deberá acomodar, redistribuir y renivelar constantemente hasta que la plantilla quede a la cota ordenada (aproximadamente 0.50 m, arriba del tirante de agua), figura 19.

C. A continuación se procederá a la construcción de las bermas indicadas en el proyecto (con un ancho de 10.0 m y talud de 4:1) hasta la altura de plantilla de trabajo con material de los bancos antes señalados las bermas deberán irse formando simétricamente a ambos lados de la plantilla de trabajo, aplicándoles un tratamiento de bandeo con 8 pasadas por punto de tractor D-6 o similar.

D. En este paso, se construirá el cuerpo del terraplén y simultáneamente se terminará la construcción de las bermas hasta su nivel de proyecto. Para la terminación de las bermas se seguirá empleando material de los bancos Carrizales y Rancho Domínguez. En la construcción del cuerpo del terraplén se utilizará material procedente de los bancos Mapacha

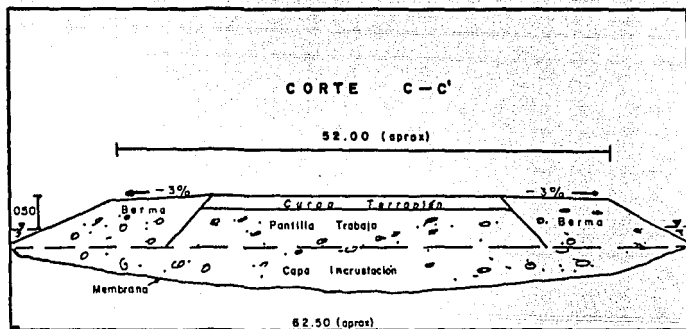
pa y Barrancas, compactándolo por capas de 0.30 m de espesor al 95% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco máximo) hasta alcanzar el nivel de proyecto de las bermas terminadas figura 20.

E. Una vez construidas las bermas y el cuerpo del terraplén hasta el nivel de proyecto, se continuará con la construcción de la capa subrasante de 0.30 m de espesor compactándola al 95% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco máximo); sobre la capa subrasante compactada se construirá una precarga con espesor de 1.00 m compactándola al 95% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco máximo) en capas de 0.30 m de espesor, el material empleado en ambas capas será procedente de los bancos Mapachapa y Barrancas.

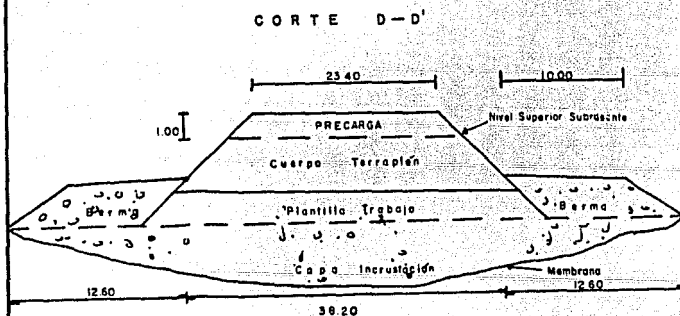
Los asentamientos y deformaciones que se observen en el terraplén, se corregirán de inmediato con material compactado al mismo grado, de acuerdo con las indicaciones respectivas, hasta que el terraplén quede a la cota señalada. Según se muestra en la figura 21.

F. Terminada la construcción del terraplén y corregidos los asentamientos y deformaciones observados, cuando la Secretaría estime conveniente, se procederá a escarificar y remover el material de la precarga hasta el nivel de la subrasante a la cota especificada en el proyecto. El material escarificado se volteará sobre las bermas, extendiéndose en éstos conforme a las instrucciones indicadas por el contratista o la Secretaría.

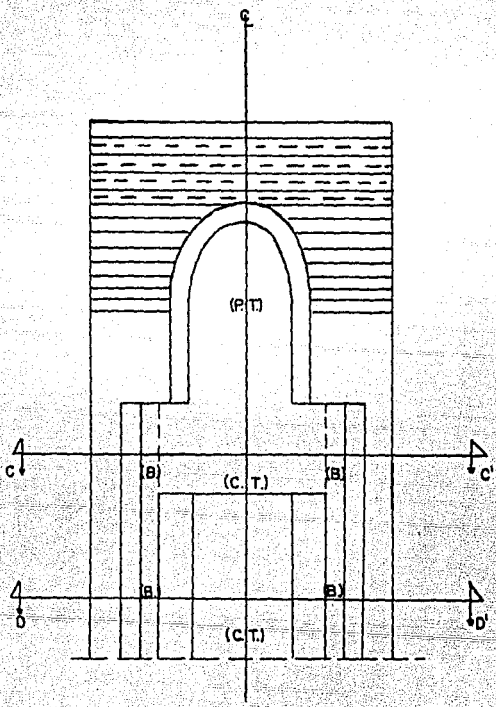
G. Posteriormente se recompactará la superficie descubier-



**Fig. 20.**



**Fig. 21.**



ETAPAS DE AVANCE

ta al 100% de su PVSM (Peso Volumétrico Seco Máximo) en una profundidad de 0.30 m de espesor con lo cual queda formada la capa subrasante.

H. Sobre la capa subrasante debidamente terminada se continuará con la construcción de las guarniciones para camellón central, los cuales se harán de concreto hidráulico de  $f'c=200 \text{ kg/cm}^2$  con agregado pétreo de tamaño máximo de 38.1 mm (1 1/2") y revenimiento de 6 a 8 cm; la guarnición deberá contar con juntas, de dilatación de cartón asfaltado de 0.003 m de espesor a cada 6 m.

Una vez concluida la construcción de las mismas se continuará con la formación de las capas que integrarán el pavimento.

#### I. PAVIMENTO

En cuanto al diseño realizado para la estructuración del pavimento, éste nos arrojó un arreglo estructural como a continuación se hará mención; los estudios del análisis no se contemplan en este trabajo debido a que no es el objetivo del mismo, no considerándose este de menor importancia.

Las cláusulas e incisos a que se hace mención en los párrafos siguientes corresponde a las Normas para Construcción e Instalaciones de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Edición 1983, Libro 3, Parte 01, Título 03 y además con el Libro 4, Parte 01, Título 03, Edición 1986 de las Normas de Calidad de los materiales también de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

a) SUBBASE HIDRAULICA

Sobre la subrasante debidamente terminada se construirá una capa de subbase de 0.15 m de espesor, utilizando material procedente de banco indicado para este fin en la figura 22 de este proyecto, el material que forme esta capa se deberá compactar al 100% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco máximo) de la Prueba Porter Estándar. Los materiales utilizados deberán ser de los tipos indicados en la cláusula 073-D del Libro 3, Parte 01, Título 03; además éstos tendrán que cumplir con las Normas de Calidad especificadas en el inciso 009-C.02 del Libro 4 Parte 01, Título 03 y para su ejecución se deberán seguir los lineamientos indicados en la cláusula 074-F del Libro 3, Parte 01, Título 03.

b) BASE HIDRAULICA

Sobre la subbase terminada, se construirá una capa de base hidráulica mejorada con cemento portland tipo I de 0.15 m de espesor, utilizando material procedente del banco indicado para este fin, en la figura 22 de este proyecto. El material que forme esta capa se deberá compactar al 100% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco máximo) de la Prueba Porter Estándar. Los materiales utilizados deberán de ser de los tipos indicados en la cláusula 073-D del Libro 3, Parte 01, Título 03; además éstos deberán cumplir con las Normas de Calidad establecidas en el inciso 009-C.06 del Libro 4, Parte 01, Título 03 y para su ejecución se deberán seguir los lineamientos indicados en la cláusula 074-F del Libro 3, Par

te 01, Título 03, debido a las características mecánicas del material este se deberá mejorar mediante la adición del 3% aproximadamente en peso de cemento portland tipo I para así obtener una resistencia mínima a la - - compresión axial simple de 52 kg/cm<sup>2</sup>.

c) RIEGO DE IMPREGNACION

Sobre la base terminada, superficialmente seca y barrida se aplicará en todo el ancho de la corona y en los - taludes del material que forme el pavimento, un riego - de impregnación con producto asfáltico tipo FM-1 a razón de 1.4 l/m<sup>2</sup> aproximadamente.

El producto asfáltico deberá ser el mencionado en la - cláusula 076-D del Libro 3, Parte 01, Título 03, mismo que deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas en el inciso 011-B.04.c del Libro 4, Parte 01, Título 03 y para su aplicación con la cláusula 076-F del Libro 3, Parte 01, Título 03.

d) RIEGO DE LIGA

Sobre la base impregnada, se aplicará en todo el ancho de la sección un riego de liga con producto asfáltico - FR-3 a razón de 0.5 l/m<sup>2</sup>, el producto será del tipo mencionado en la cláusula 076-D del Libro 3, Parte 01, Título 03 y deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas en el inciso 011-B.04b del Libro 4, Parte 01 Título 03 y para su aplicación con la cláusula 080-F - del Libro 3, Parte 01, Título 03.

e) CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO

Sobre la base hidráulica impregnada y después de la - -



aplicación de un riego de liga, se construirá una carpeta de concreto asfáltico de 7.5 cm elaborada en planta y en caliente con materiales procedentes de los bancos indicados en la figura 22 de este proyecto y Cemento asfáltico No.6 con una dosificación aproximada de 100 - 1/m<sup>3</sup> de material pétreo seco y suelto, debiendo compactar el material que forme dicha capa al 95% de su Peso Volumétrico determinado en la Prueba Marshall.

Los materiales pétreos y el cemento asfáltico que formen la carpeta deberán cumplir con las Normas especificadas en los incisos 010-C.01 y 011-B.04.a respectivamente, del Libro 4, Parte 01, Título 03.

La mezcla se proyectará por el Procedimiento Marshall para que cumpla con los requisitos de diseño que se indica en la columna de intensidad de tránsito de más de 2000 vehículos pesados diarios del cuadro del inciso 011-D.03 del Libro 4, Parte 01, Título 03.

La construcción de la carpeta se deberá apegar a los lineamientos indicados en la cláusula 081-F del Libro 3, Parte 01, Título 03.

f) RIEGO DE SELLO

En todo el ancho de la corona se aplicará un riego de sello empleando material pétreo tipo 3-E procedente del banco indicado para este fin en la figura 22 de este proyecto, a razón de 10 l/m<sup>2</sup> y producto asfáltico o tipo FR-3 a razón de 1.2 l/m<sup>2</sup> aproximadamente, el producto asfáltico deberá ser del tipo mencionado en la cláusula 082-D del Libro 3, Parte 01, Título 03.

El producto asfáltico y el material pétreo deberán - - cumplir con las Normas de Calidad estipuladas en los incisos 011-B.04.b y 010-C.02 respectivamente, del Libro\_ 4, Parte 01, Título 03.

Su ejecución se efectuará de acuerdo a los lineamientos de la cláusula 082-F del Libro 3, Parte 01, Título 03.

g) **ADITIVOS**

Con el objeto de mejorar la adherencia de los materia-- les pétreos con los productos asfálticos, se deberá pre ver el empleo de aditivos, cuyo tipo y dosificación se-- rán proporcionados por el Laboratorio de Control de la Secretaría, cuando el agregado pétreo haya sido debida-- mente tratado.

Los tipos de aditivos que se utilizan más frecuentemen-- te en general son los tipos Adiflex "GO", "GE" y "EN" - para incorporarlos en los asfaltos rebajados (riegos de impregnación y ligas) y para cemento asfáltico No. 6 en las mezclas en caliente, los tipos Adiflex RC-35 y RC-- 40 en una proporción aproximada del 1% en peso, que se\_ ajustará de acuerdo con las pruebas realizadas por el - Laboratorio de Control de la Secretaría.

**OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE**

**Bordillos**

Son estructuras que se colocan en el lado exterior del aco-- tamiento en las secciones en tangente; en el borde opuesto\_ al corte en las secciones en balcón. Son pequeños bordos - que forman una barrera para conducir el agua hacia los lava

deros o bajadas de agua, evitando erosiones en los taludes, en su construcción se utiliza preferentemente el concreto - asfáltico o el concreto hidráulico, su sección es trapecial debiendo tener un anclaje adecuado no continuo sino intermitente, la altura mayor será de 25 cm.

En el caso de bordillos de concreto asfáltico la temperatura con la que debe construirse oscila entre 80 y 130°C; en el caso de bordillos de concreto hidráulico estas requerirán juntas de expansión aproximadamente cada 10 m.

### Lavaderos

Son canales que se conectan con los bordillos y cunetas y bajan transversalmente por los taludes, son estructuras de una fuerte pendiente suelen disponerse a cada 50 ó 100 m de pendiente de la pendiente longitudinal de la vía y de la precipitación de la zona.

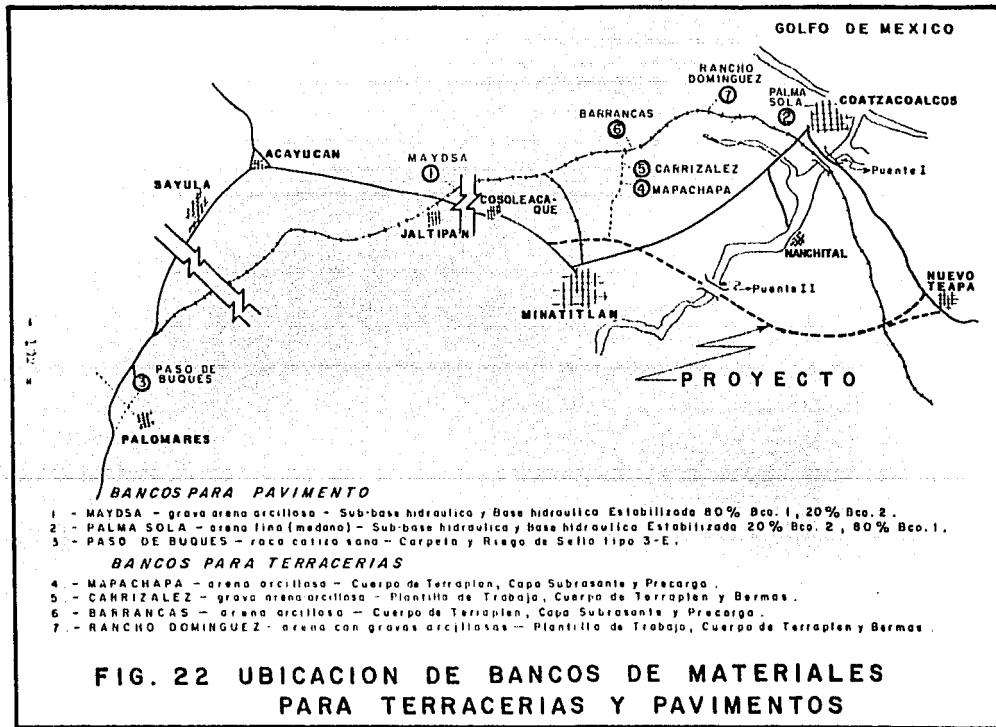
Los lavaderos se construyen frecuentemente con mampostería, con junteo de la lechada de cemento en proporción 1:4 de concreto hidráulico, o bien de media sección de tubo de lámina galvanizada con juntas atornilladas en este caso el tubo debe salir y rematar con una plantilla de mampostería o de concreto.

### Cunetas

Son canales que se adosan o construyen a los lados de la corona de la vía, en el lado del corte en secciones, tiene por objeto recibir los escurrimientos de origen pluvial propios del talud del corte, así como las que hayan caído sobre la corona de la vía, su pendiente longitudinal mínima -

será de 0.5%

En general su sección es triangular o trapezoidal, su construcción preferentemente se hace con mampostería o con concreto hidráulico.



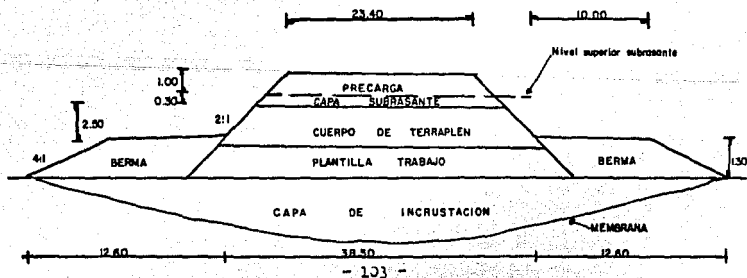
#### 4.2 ANALISIS DE COSTOS

El punto que a continuación nos ocupa se considera muy importante ya que los resultados que se obtengan de este proceso nos darán la pauta para la aceptación o no aceptación según los métodos de solución propuestos al problema tenido, pero no es objetivo de este trabajo realizar el desglose del precio unitario de cada concepto por lo cual el costo por concepto que a continuación se manejará será el obtenido de el abulador Enero/87 proporcionado por la Dirección General de Carreteras Federales según la zona de estudio.

En seguida se muestra el análisis de costos de la estructura (ferracerías y Pavimentación) según la sección de proyecto, para así tener una idea del monto de la construcción de una obra vial en condiciones desfavorables.

#### T E R R A C E R I A S

En el dibujo siguiente se esquetizan los conceptos a considerar, para obtener los volúmenes de obra requeridos por dicha estructura propuesta.



VOLUMENES REQUERIDOS DE MATERIALES PARA  
TERRAJERIAS OBTENIDOS POR KM.

Volumen aproximado que se incrusta durante el asentamiento -  
para:

Un ancho de 63.7 m; una profundidad de 0.50 m y una longitud  
de 1,000 m.

Volumen: 31,850 m3

Plantilla de trabajo.

$((38.5 + 34.5) / 2) 1.00 \times 1,000 = 36,500 \text{ m}^3$  volumen requeri-  
do.

Bermas

$((10 + 12.6) / 2) 1.30 \times 1,000 = 14,690 \text{ m}^3 \times 2 = 29,380 \text{ m}^3$  -  
volumen requerido.

Cuerpo de Terraplén

$((34.5 + 24.6) / 2) 2.5 \times 1,000 = 73,875 \text{ m}^3$  volumen requeri-  
do.

Capa subrasante

$((24.6 + 23.4) / 2) .30 \times 1,000 = 7,200 \text{ m}^3$  volumen requeri-  
do.

Precarga

$((23.4 + 19.4) / 2) 1.00 \times 1,000 = 21,400 \text{ m}^3$  volumen requeri-  
do.

PRECIOS UNITARIOS (P.U) POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA.

Membrana Sintética de Polipropileno (TYPAR Estilo 3401)

P.U. \$ 1,882.55 /m2

Costo total por unidad de obra terminada (colocación)

P.U. \$ 2,750 /m2

Para formación de plantilla de trabajo (incluyendo capa de -  
incrustación) y bermas se utilizarán:

BCO. CARRIZALES ubicado en el km. 34+538 d/d con 12,000 m.

P.U. \$ 1,015.49 /m3

BCO. RANCHO DOMINGUEZ ubicado en el km. 34+538 d/d con - -  
12,000 m.

P.U. \$ 1,015.49 /m3

Para la formación del cuerpo de terraplén, capa subrasante y  
recargues, compactadas al 95% de su P.V.M. (Peso Volumétrico -  
Seco Máximo) Fróctor se utilizarán:

BCO. MAPACHAPA ubicado en el km. 34+538 d/d con 4,000 m.

Concepto

P.U.

Cuerpo de terraplén

\$ 1,268.59 /m3

Capa subrasante

\$ 2,331.47 /m3

Recargues

\$ 1,268.59 /m3



BCO. BARRANCAS ubicado en el km. 34+538 d/d con 7,000 m.

Concepto	P.U.
Cuerpo de terraplén	\$ 1,268.59 /m3
Capa subrasante	\$ 2,331.47 /m3
Recargues	\$ 1,268.59 /m3

En lo que se refiere a la escarificación de la precarga.

P.U. \$ 375.59 /m3

En la recompactación de la capa subrasante al 100% de su PVS<sub>M</sub> (Peso Volumétrico Seco Máximo) Próctor.

P.U. \$ 572.02 /m3

En lo que se refiere al acarreo de materiales de los bancos para la formación de las capas de terracerías tenemos que:

P.U.

1er. Km	\$ 221.85 m3/km
Km subsecuente	\$ 175.91 m3/km

#### CALCULO DEL MONTO TOTAL DE TERRACERIAS

Membrana sintética se requiere por km:

Si se tiene un ancho aproximado de 63.70 m, más un 22% a ambos lados, tendremos un ancho de 91.72 m, por lo que tendremos un área total por km aproximadamente de 91.720 m2 por lo tanto:

$$91,720 \text{ m}^2 \times \$ 2,750 = \$ 252'230,000 /\text{km}$$

Plantilla de trabajo incluyendo capa de incrustación, volu--

men requerido por km 68,350 m3.

BCO. CARRIZALES 34,175 m3 x \$ 1,015.49 = \$ 34'704,371 /km

Acarreo del material

1er. km 34,175 m3 a 1 km x \$ 221.85 = \$7'581,724 /km

Km subsecuente 34,175 m3 a 22.22 km x \$ 175.91 =

\$ 133'580,000 /km.

BCO. R. DOMINGUEZ 34,175 m3 x \$ 1,015.49 = \$ 34'704,371 /km

Acarreo del material

1er. km 34,175 m3 a 1 km x \$ 221.85 = \$7'581,724 /km

Km subsecuente 34,175 m3 a 22.22 km x \$ 175.91 =

\$ 133'580,000 /km.

Bermas volumen requerido por km 29,380

BCO. CARRIZALES 14,690 m3 x 1,015.49 = \$ 14'917,548 /km

Acarreo del material

1er. km 14,690 m3 a 1 km x \$ 221.85 = \$ 3'258,976 /km

Km subsecuente 14,690 m3 a 22.22 km x \$ 175.91 =

\$ 57'419,100 /km

BCO. R. DOMINGUEZ 14,690 m3 x 1,015.49 = \$ 14'917,548 /km

Acarreo del material

1er. km 14,690 m3 a 1 km x \$ 221.85 = \$3'258,976 /km

Km subsecuente 14,690 m3 a 22.22 km x \$ 175.91 =

\$ 57'419,100 /km.

Cuerpo de terraplén volumen requerido por km 73,875 m3

BCO. MAPACHAPA 36,937.50 m3 x \$1,268.59 = \$46'858,543 /km.

**Acarreo del material**

ler. km 36,937.50 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$ 8'194,584/km  
Km subsecuente 36,937.50 m<sup>3</sup> a 8.25 km x \$ 175.91 =  
\$ 53'605,824 /km.

BGU. BARRANCAS 36,937.50 m<sup>3</sup> x \$1,268.59 = \$ 46'858,543 /km.

**Acarreo del material**

ler. km 36,937.50 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$ 8'194,584/km  
Km subsecuente 36,937.50 m<sup>3</sup> a 12.25 km x \$ 175.91 =  
\$ 79'596,526 /km.

Capa subrasante volumen requerido por km 7,200 m<sup>3</sup>.

BGU. MAPACHAPA 3,600 m<sup>3</sup> x \$ 2,331.47 = \$ 8'393,392 /km

**Acarreo del material**

ler. km 3,600 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$ 798,660 /km  
Km subsecuente 3,600 m<sup>3</sup> a 8.25 km x \$175.91 = \$ 5'224,527 /km

BGU. BARRANCAS 3,600 m<sup>3</sup> x \$ 2,331.47 = \$ 8'393,292 /km

**Acarreo del material**

ler. km 3,600 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$ 798,660 /km  
Km subsecuente 3,600 m<sup>3</sup> a 12.25 km x \$ 175.91 =  
\$ 7'757,631 /km.

Precarga volumen requerido por km 21,400 m<sup>3</sup>.

BGU. MAPACHAPA 10,700 m<sup>3</sup> x \$1,268.59 = \$ 13'573,913 /km.

**Acarreo del material**

ler. km 10,700 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$2'373,795 /km.  
km subsecuente 10,700 m<sup>3</sup> a 8.25 km x \$ 175.91 =  
\$ 15'528,455 /km.

BCO. BARRANCAS 10,700 m<sup>3</sup> x \$1,268.59 = \$ 13'573,913 /km

Acarreo del material

1er. km 10,700 m<sup>3</sup> a 1 km x \$221.85 = \$ 2'373,795 /km

Km subsecuente 10,700 m<sup>3</sup> a 12.25 km x \$ 175.91 =

\$ 23'057,403 /km.

En lo que se refiere a la escarificación y remoción a efectuarse en la precarga después de finalizado el asentamiento, este volumen a mover por km será 21,400 m<sup>3</sup> por lo tanto:

21,400 m<sup>3</sup> x \$ 375.59 = \$ 8'037,626 /km

Recompactación al 100% de su PVS<sub>m</sub> (Peso Volumétrico Seco Máximo) de la capa subrasante en un espesor de 0.30 m, así -- pues se tiene que el volumen a recompactar por km será de -- 7,200 m<sup>3</sup>, por lo tanto:

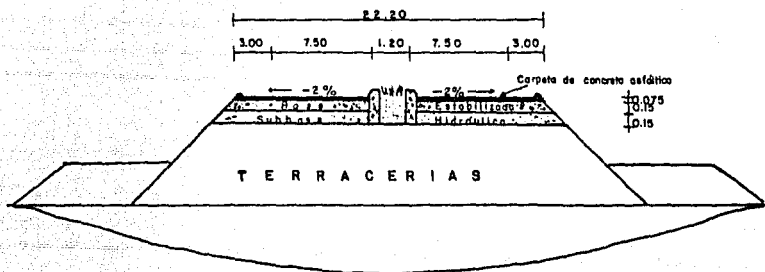
7,200 m<sup>3</sup> x \$ 572.02 = \$ 4'118,544 /km

Mediante el análisis efectuado anteriormente a los conceptos correspondientes a la formación de las terracerías, estos -- nos arrojan un monto total por km de:

Costo \$ 1,112'460,000 /km

## P A V I M E N T O

A continuación se esquematiza los conceptos a considerar para obtener los volúmenes de obra requeridos por dicha estructura propuesta.



GANTIDADES DE OBRA PARA PAVIMENTO POR KM

Subbase hidráulica

$$((11.1 + 10.8)/2) 0.15 \times 1,000 \times 2 = 3,285 \text{ m}^3$$

Base estabilizada

$$((10.8 + 10.5)/2) 0.15 \times 1,000 \times 2 = 3,195 \text{ m}^3$$

Cemento Portland I para estabilización

$$3,195 \times 0.03 = 96 \text{ kg.}$$

Barrido de base estabilizada

$$10.5 \times 1,000 \div 10,000 \times 2 = 2.10 \text{ Ha.}$$

Riego de impregnación FM-1

$$11.1 \times 1.4 \times 1,000 \times 2 = 31,080 \text{ Lt.}$$

Riego de liga para carpeta FR-3

$$10.5 \times 0.5 \times 1,000 \times 2 = 10,500 \text{ Lt.}$$

Carpeta de concreto asfáltico

$$10.5 \times 0.075 \times 1,000 \times 2 = 1,575 \text{ m}^3$$

Cemento asfáltico No. 6

$$1,575 \times 1.25 \times 100 = 196,875 \text{ kg.}$$

Riego de liga para sello FR-3

$$10.5 \times 1.2 \times 1,000 \times 2 = 25,200 \text{ Lt.}$$

Material pétreo tipo 3-E

$$10.5 \times 10 \times 1,000 \div 1,000 \times 2 = 210 \text{ m}^3$$

Aditivos para impregnación y liga para sello

$56,280 \times 0.01 = 563 \text{ Lt.}$

Aditivos para cemento asfáltico No. 6

$196,875 \times 0.01 = 1,969 \text{ Lt.}$

ACARREOS DE MATERIALES

Subbase hidráulica

	Vol. requerido (m3)		Acarreo medio (km)	
BCU. No. 1	2,628	x	16.86075	=
	Acarreo (m3/km)		44,310	
BCU. No. 2	657	x	25.7555	=
	Acarreo (m3/km)		16,921	

Base estabilizada

	Vol. requerido (m3)		Acarreo medio (km)	
BCU. No. 1	2,556	x	16.86075	=
	Acarreo (m3/km)		43,096	
BCU. No. 2	639	x	25.7555	=
	Acarreo (m3/km)		16,458	

Carpeta de concreto asfáltico

	Vol. requerido (m3)		Acarreo medio (km)	
BCU. No. 3	1,575	x	15.7	=
	Acarreo (m3/km)		24,727	

Riego de sello tipo 3-E

	Vol. requerido (m <sup>3</sup> )	Acarreo medio (km)	
BCO. No. 3	210	x 15.7	=
	Acarreo (m <sup>3</sup> /km)	3,297	

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

Bordillos de concreto asfáltico por km.

Como todo el tramo se encuentra en terraplén, por lo tanto - se requieren:

2,000 m (lineales)

Lavaderos de 1/2 tubo de lámina calibre 16 de 0.61 m., de diámetro ubicados a cada 80 m., de distancia y con una altura de terraplén promedio de 5.00 m, por lo que se define que serán necesarios:

125 m (lineales)

Guarnición para camellón central de concreto hidráulico de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que se requieren por km:

2,000 m (lineales)

Relleno en camellón central para una profundidad de 50.5 cm, un ancho de 80 cm, y una longitud de 1,000 m, por lo tanto - se requieren:

404 m<sup>3</sup>



PRECIOS UNITARIOS (P.U.) POR UNIDAD DE OBRA TERMINADA

Subbase hidráulica compactada al 100% de su PVS<sub>M</sub> Porter.

BCU. No. 1 ubicado a 12,000 m. d/d del km 27+960 del camino Acayucan-Minatitlán, con origen: Acayucan, - Ver.  
P.U. \$ 1,653.03/m<sup>3</sup>

BCU. No. 2 ubicado a 1,200 m. d/d del km 1+840 del camino Coatzacoalcos-Minatitlán, con origen: Coatzacoalcos, Ver.  
P.U. \$ 758.98 /m<sup>3</sup>

Operación de mezclado tendido y compactado al 100% de su - - PVS<sub>M</sub> Porter  
P.U. \$ 2,193.74 /m<sup>3</sup>

Base estabilizado con cemento Portlan compactado al 100% de su PVS<sub>M</sub> Porter.

BCU. No. 1 ubicado a 12,000 m. d/i del km 27+960 del camino Acayucan-Minatitlán, con origen: Acayucan, - Ver.  
P.U. \$ 1,653.03 /m<sup>3</sup>

BCU. No. 2 ubicado a 1,200 m. d/d del km 1+840 del camino Coatzacoalcos-Minatitlán, con origen: Coatzacoalcos, Ver.  
P.U. \$ 758.98 /m<sup>3</sup>

Operación de mezclado tendido y compactado al 100% de su - - PVS<sub>M</sub> Porter  
P.U. \$ 2,389.97 /m<sup>3</sup>

Barrido de la superficie tratada  
P.U. \$ 63,793.76 /Ha

Cemento portland I

P.U. \$ 50.00 kg

Asfalto FM-1 en riego de impregnación

P.U. \$ 20.53 /Lt

Asfalto FR-3 en riego de liga para carpeta

P.U. \$ 20.53 /Lt

Asfalto FR-3 en riego de liga para sello

P.U. \$ 20.53 /Lt

Cemento asfáltico No. 6

P.U. \$ 19.50 /kg

Aditivos para impregnación y liga para sello

P.U. \$ 547.69 /Lt

Aditivos para cemento asfáltico No. 6

P.U. \$ 823.29 /Lt

Carpeta de concreto asfáltico compactada al 95% Marshall

BCU. No. 3 ubicado a 2,700 m, d/i del km 98+300 del camino\_  
Acayucan-Matías Romero, con origen: Acayucan, Ver.

P.U. \$ 25,649.27 /m3

Riego de sello con material pétreo tipo 3-E

BCU. No. 3 ubicado a 2,700 m. d/i del km 98+300 del camino\_  
Acayucan-Matías Romero, con origen: Acayucan, Ver.

P.U. \$ 19,390.47 /m3

Acarreos de materiales pétreos de banco

P.U. \$ 146.33 m3/km

Bordillos de concreto asfáltico

P.U. \$ 529.36 /m (lineal)

Lavaderos de 1/2 tubo de lámina calibre 16 de 0.61 m. de diámetro.

P.U. \$ 21,320.13 /m (lineal)

Guarnición para camellón central de concreto hidráulico de  $f'c = 200 \text{ kg/cm}^2$

P.U. \$ 3,234.53 /m (lineal)

Relleno compactado al 90% de su PVS<sub>M</sub> Próctor, en camellón central.

P.U. \$ 2,540.46 /m<sup>3</sup>

CALCULO DEL MONTO TOTAL POR KM. PARA PAVIMENTACION

Subbase hidráulica

Por motivos de calidad del BCU. No. 1 se deberá de tener una mezcla con el BCU. No. 2 en una proporción 80% - 20% respectivamente:

BCU. No. 1 2,628 m<sup>3</sup> x \$ 1,653.03 = \$ 4,344,163 /km

acarreo del material

44,310 m<sup>3</sup>/km x \$ 146.33 = \$ 6,483,883 /km

BCU. No. 2 657 m<sup>3</sup> x \$ 758.98 = \$ 498,650 /km.

Acarreo del material

16,921 m<sup>3</sup>/km x \$ 146.33 = \$ 2,476,050 /km

Operación de mezcla de tendido y compactado al 100% de su PVS<sub>M</sub> Porter.

3,285 m<sup>3</sup> x \$ 2,193.74 = \$ 7,206,436/km

### Base hidráulica estabilizada

Por motivos de calidad del BCU. No. 1 se deberá de tener una mezcla con el BCU. No. 2 en una proporción 80% - 20% respectivamente más la adición de cemento asfáltico en un 3% en peso.

BCU. No. 1 2,556 m<sup>3</sup> x \$ 1,653.03 = \$ 4'225,145 /km

Acarreo del material

43,096 m<sup>3</sup>/km x \$ 146.33 = \$ 6'306,238 /km

BCU. No. 2 639 m<sup>3</sup> x \$ 758.98 = \$ 484,988 /km

Acarreo del material

16,458 m<sup>3</sup>/km x \$ 146.33 = \$ 2'408,299 /km

Cemento portland I 96 kg x \$ 50.00 = \$ 4,800 /km

Operación de mezclado tendido y compactado al 100% de su PVS<sub>m</sub> Forter

3,195 m<sup>3</sup> x \$ 2,389.97 = \$ 7'635,954 /km

Barrido de la superficie de la base estabilizada

2.10 Ha x \$ 63,793.76 = \$ 133,967 /km

Asfalto para riego de impregnación tipo FM-1

31,080 Lt x \$ 20.53 = \$ 638,072 /km

Asfalto para riego de liga para carpeta tipo FR-3

10,500 Lt x \$ 20.53 = \$ 215,565 /km

Asfalto para riego de liga para sello tipo FR-3

25,200 Lt x \$ 20.53 = \$ 517,357 /km

Cemento asfáltico No. 6

196,875 kg x \$ 19.50 = \$ 3'839,062 /km

aditivos para impregnación y liga para sello

563 Lt x \$ 547.69 = \$ 308,349 /km

aditivos para cemento asfáltico No. 6

1,969 Lt x \$ 823.29 = \$ 1'621,058 /km

Carpeta de Concreto asfáltico

BCU. No. 3 1,575 m<sup>3</sup> x \$ 25,649.27 = \$ 40'397,600 /km

Acarreo del material

24,727 m<sup>3</sup>/km x \$146.33 = \$ 3'618,302 /km

Riego de sello con material pétreo tipo 3-E

BCU. No. 3 210 m<sup>3</sup> x \$ 19,390.47 = \$ 4'071,999 /km

Acarreo del material

3,297 m<sup>3</sup>/km x \$ 146.33 = \$ 482,450 /km

OBRAS COMPLEMENTARIAS DE DRENAJE

Bordillos de concreto asfáltico

2,000 m x \$ 529.36 = \$ 1'058,720 /km

Lavaderos de 1/2 tubo de lámina calibre 16 o 0.61 m. de diámetro.

125 m x \$ 21,320.13 = \$ 2'665,016 /km

Guarniciones para camellón central con concreto hidráulico - f'c= 200 kg/cm<sup>2</sup>

2,000 m x \$ 3,234.53 = \$ 6'469,060 /km

Relleno en camellón central

404 m<sup>3</sup> x \$ 2,540.46 = \$ 1'026,346 /km

Por el análisis de costos realizado tenemos que el monto total por km. de las obras correspondientes a la pavimentación

del tramo en estudio arroja un costo de:

\$ 109'137,000 /km

Por lo tanto el monto total por km. del camino en estudio resulta de:

Costo Terracerías \$ 1,112'460,000 /km

Costo Pavimentación 109'137,000 /km

\$ 1,221'597,000 /km

Teniendo conocimiento de que el tramo en estudio comprende - la zona correspondiente únicamente a la margen izquierda del puente Coatzacoalcos II entre las estaciones km 17+350 al - km 29+280 por lo cual esto nos arroja una longitud total de 11.930 km, con lo que se define entonces que el costo total de dicho tramo será de:

\$1,221'597,000 x 11.930 km = \$ 14,573'600,000 Costo total

## C O N C L U S I O N E S

Lo anteriormente descrito y recordando el objetivo de este - trabajo concluimos que en el ejemplo tratado el método utili- zado fue el más idóneo debido a las características de la re- gión las cuales impiden por ejemplo, la utilización de los - materiales ligeros para la formación de la estructura, tales como tezontle o arenas pumíticas, ya que en dicha zona no - existe este tipo de material, y por lo tanto resultaría to-- talmente antieconómico el acarreo de dicho material hasta el lugar. Ahora bien en base a la poca experiencia con respec-- to a la utilización de sustancias físico-químicas para el - mejoramiento de la resistencia del suelo y disminución de la compresibilidad resulta también poco práctico su utilización, debido como ya se dijo a la poca información respecto a sus\_ antecedentes; de la misma manera se podrían considerar un - sin número de métodos sin la obtención de resultados acepta-- bles.

Por otra parte, puede decirse que el empleo de la membrana de polopropileno ayudó a la reducción de los asentamientos calculados en un 20% aproximadamente, además junto con las bermas, distribuyó la incrustación del cuerpo de terraplén de - una manera más uniforme y por consiguiente redujo el volumen de material a utilizarse. Esto comprueba las afirmaciones - tenidas por las evidencias de terraplenes construidos con re- fuerzo de membrana de polipropileno en Italia, Malasia, Alag ka, Texas, Mississippi y en otros estados de la Unión Ameri\_ cana en los cuales los resultados obtenidos con respecto a - las resistencias y los esfuerzos de los suelos tratados en -

aquellos lugares, han oscilado entre 50 y 400 Lb/ft<sup>2</sup>.

Es importante hacer notar que el uso de la membrana de polipropileno junto con el procedimiento "punta de flecha" no busca desplazar en su totalidad la turba ni mucho menos rellenar el pantano, sino que se espera que la membrana sirva como un medio de flotación sobre el remanente de turba o sea lo malo y no tener que remover grandes rellenos.



## B I B L I O G R A F I A

1. Mecánica de Suelos Tomo I, II  
Autor : Juárez Badillo y Rico Rodríguez  
Editorial: Limusa
2. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres Tomo I, II  
Autor : Alfonso Rico y Hermilio del Castillo  
Editorial: Limusa
3. Proyecto y Construcción de Terracerías Tomo I, II  
Autor : Jeuffroy
4. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Práctica  
Autor : Terzaghi
5. Información obtenida de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (Dirección General de Carreteras Federales).
6. Información de manuales sobre utilización de membranas.  
(Du Pont, S.A. de C.V.)