



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
A C A T L A N

25
20

" ANALISIS DE UN DESLIZAMIENTO EN EL TALUD DEL
KM 10+700 EN LA AUTOPISTA MEXICO - TOLUCA
TRAMO CHAMAPA - LA VENTA "

TESIS QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A

ALEJANDRO OROZCO PEÑA

A S E S O R

ING. JORGE FLORES NUÑEZ

MEXICO 1992



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



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.

I N D I C E

	PAG.
INDICE.....	1
LISTA DE FIGURAS.....	3
INTRODUCCION.....	5
CAPITULO 1 GENERALIDADES.....	7
1.1 LOCALIZACION.....	8
1.2 GEOMORFOLOGIA.....	10
1.2.1 DATOS GENERALES.....	10
1.2.2. CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS... 14	
CAPITULO 2 PROBLEMAS DE ESTABILIDAD EN EL TALUD DEL KM 10+700.....	17
2.1 ANTECEDENTES.....	17
2.2 TIPOS Y CAUSAS DE FALLAS MAS COMUNES EN TALUDES CON MATERIAL COHESIVO-FRICCIONANTE.....	22
2.2.1 FALLA ROTACIONAL.....	24
2.2.2 FALLA TRASLACIONAL.....	26
2.2.3 FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA.....	27
2.2.4 FALLA MULTIPLE.....	28
2.2.5 OTROS TIPOS DE FALLAS.....	30
2.3 IDENTIFICACION DE LA FALLA EN EL TALUD DEL KM 10+700.....	32

CAPITULO 3	ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS EN EL TALUD DEL	
	KM 101700.....	35
3.1	PROGRAMA DE EXPLORACION.....	36
3.2	ESTRATIGRAFIA.....	52
3.3	PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE....	55
3.4	PRUEBAS DE PERMEABILIDAD.....	60
3.5	NIVELES PIEZOMETRICOS.....	64
CAPITULO 4	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL KM 101700...	67
4.1	METODO SUECO APLICADO A TALUDES CON COHESION Y	
	FRICCION.....	67
4.2	ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL KM 101700	
	POR EL METODO SUECO PREVIO A SU REPARACION.....	72
CAPITULO 5	METODOS CORRECTIVOS EMPLEADOS EN LA ESTABILIDAD	
	DEL TALUD DEL KM 101700.....	82
5.1	DRENES DE PENETRACION TRANSVERSAL.....	84
5.2	PEDRAPLEN.....	89
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	96
ANEXO:	CURVA GRANULOMETRICA, RESULTADOS DE ENSAYES EN	
	COMPRESION TRIAXIAL Y COMPRESION SIMPLE.....	99
	BIBLIOGRAFIA.....	105

LISTA DE FIGURAS

- Fig. 1 Localización del talud del km 10+700 en la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta.
- Fig. 2 Topografía del km 10+400 al km 11+000 en la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta.
- Fig. 3 Hidrología de la zona.
- Fig. 4 Estratigrafía de la zona de lomas.
- Fig. 5 Planta del talud del km 10+700 con sus obras de drenaje.
- Fig. 5A Perfil topográfico del talud del km 10+700.
- Fig. 6 Falla por rotación.
- Fig. 7 Falla traslacional.
- Fig. 8 Falla con superficie compuesta.
- Fig. 9 Fallas múltiples.
- Fig. 10 Zona afectada del terraplén.
- Fig. 11 Superficie de falla descrita por el deslizamiento.
- Fig. 12 Croquis de localización de sondeos.
- Fig. 13 a 15 Pozos a cielo abierto.
- Fig. 16 a 21 Perfiles estratigráficos.
- Fig. 22 a 24 Piezómetros.
- Fig. 25 Perfil estratigráfico del talud.

- Fig. 26 a 28 Envolventes de pruebas triaxiales.
- Fig. 29 Esquema de la prueba Lefranc.
- Fig. 30 y 31 Pruebas Lefranc.
- Fig. 32 Análisis de estabilidad del talud del
km 10+700 con especímenes con contenido
natural de agua.
- Fig 33 Análisis de estabilidad del talud del
km 10+700 con especímenes saturados.
- Fig. 34 División de la masa deslizante en dovelas.
- Fig. 35 Diagramas de fuerzas normales y tangenciales.
- Fig. 36 Sistema de drenes horizontales.
- Fig. 37 Corte del talud mostrando la dirección de
flujo.
- Fig. 38 Análisis de estabilidad del talud del
km 10+700 con el pedraplén.
- Fig. 39 Diagramas de fuerzas normales y tangenciales.

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

Actualmente en nuestro país las autopistas existentes, así como las de nueva construcción, se modifican o se construyen bajo un programa de modernidad; dotando a estas de la infraestructura necesaria para su buen funcionamiento.

La construcción de la autopista México-Toluca, en su tramo Chamapa-La Venta se hizo necesaria en virtud del gran desarrollo industrial que en los últimos años ha tenido la ciudad de Toluca y la importante conexión con los municipios de Naucalpan y Atizapan.

Las características generales del tramo son las siguientes:

- Longitud del tramo: 15 km
- Velocidad de proyecto: 90-110 km/h.
- Pendiente máxima: 5%
- Grado máximo de curvatura: 4%
- Pendiente gobernadora: 4%

El presente trabajo centra su estudio en la estabilidad del talud del km 10+700 de esta autopista que sufrió un deslizamiento.

Para su tratamiento se presentan cinco aspectos generales:

- 1.- Se ubicó el problema en un marco geográfico y geomorfológico.
- 2.- Se identificaron las causas de inestabilidad que presentó la estructura de tierra.
- 3.- Se recopiló la información geotécnica necesaria para conocer el comportamiento del talud.
- 4.- Se presenta un análisis de estabilidad para definir su condición.
- 5.- Se presentan los métodos correctivos que se emplearon para estabilizar el talud.

El capítulo 1 proporciona la información geográfica y geomorfológica de la zona.

Se procedió a la identificación de las causas que provocaron la falla en el talud. Como apoyo se presenta el capítulo 2.

En el capítulo 3 se presenta el programa de exploración geotécnico, elaborado a fin de conocer el comportamiento del talud fallado. Estos estudios proporcionaron datos importantes, tales como identificación de los suelos que constituyen el talud, parámetros de resistencia y propiedades hidráulicas, básicos para efectuar el análisis de estabilidad presentado en el capítulo 4.

Por último, en el capítulo 5 se presentan los métodos correctivos usados para estabilizar el talud, haciendo un análisis justificativo de su empleo.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

Por talud se comprende cualquier superficie inclinada respecto a la horizontal que deban de adoptar permanentemente las estructuras de tierra. Cuando el talud se produce en forma natural, se denomina ladera natural, cuando el talud es hecho por el hombre se le llama talud artificial.

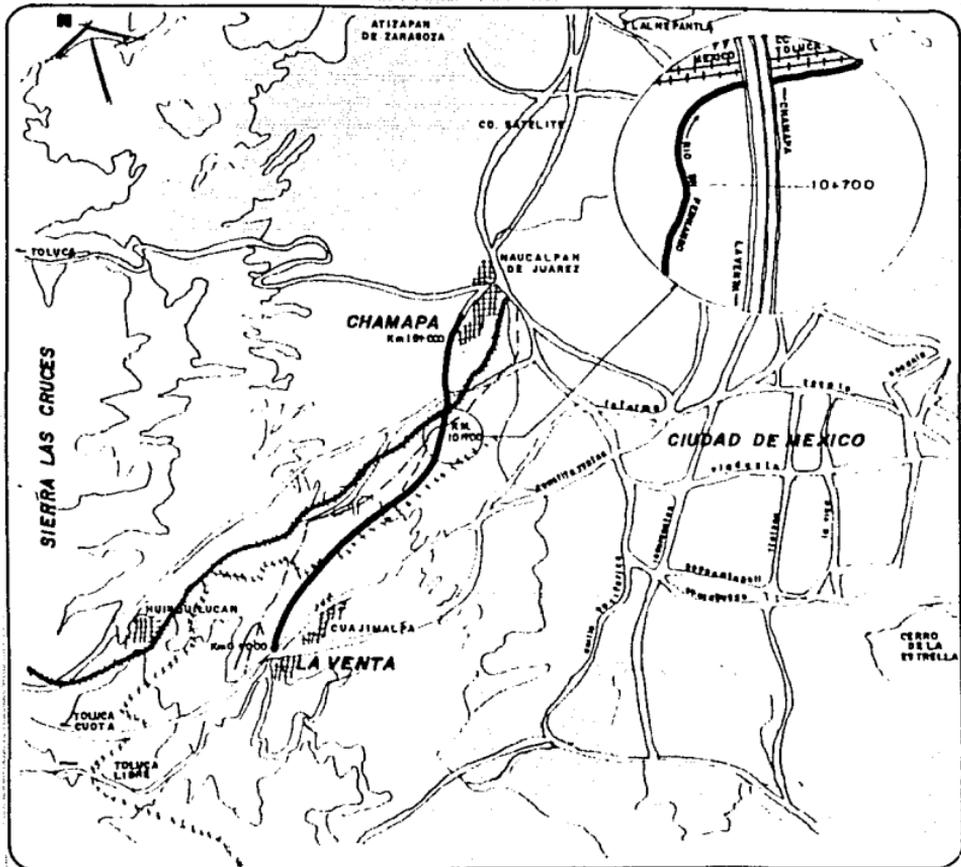
El talud constituye una de las estructuras más complejas de las Vías Terrestres; ligado a su estabilidad aparecen los problemas de la mecánica de suelos y de rocas. Los estudios presentados en este trabajo están enfocados a un problema de estabilidad del talud de un terraplén efectuado en la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta km 10+700 en el Estado de México.

A continuación se presenta un marco general de las condiciones geomorfológicas de la zona, así como datos particulares del problema en estudio.

1.1 LOCALIZACION

La autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta se encuentra ubicada al NW de la Cd. de México en el Estado de México, su trazo cruza los municipios de Naucalpan y Huixquilucan.

El tramo consta de 15km, el talud en estudio se localiza en el km. 10+700 siguiendo el cadenamiento del entronque con la autopista México-Toluca a Naucalpan. (Ver fig. 1)



TESIS PROFESIONAL.

Alejandro Orozco Peña.

FIG. 1. LOCALIZACION DEL TALUD DEL Km
10+700 EN LA AUTOPISTA MEXICO-TOLUCA,
TRAMO CHAMAPA-LA VENTA

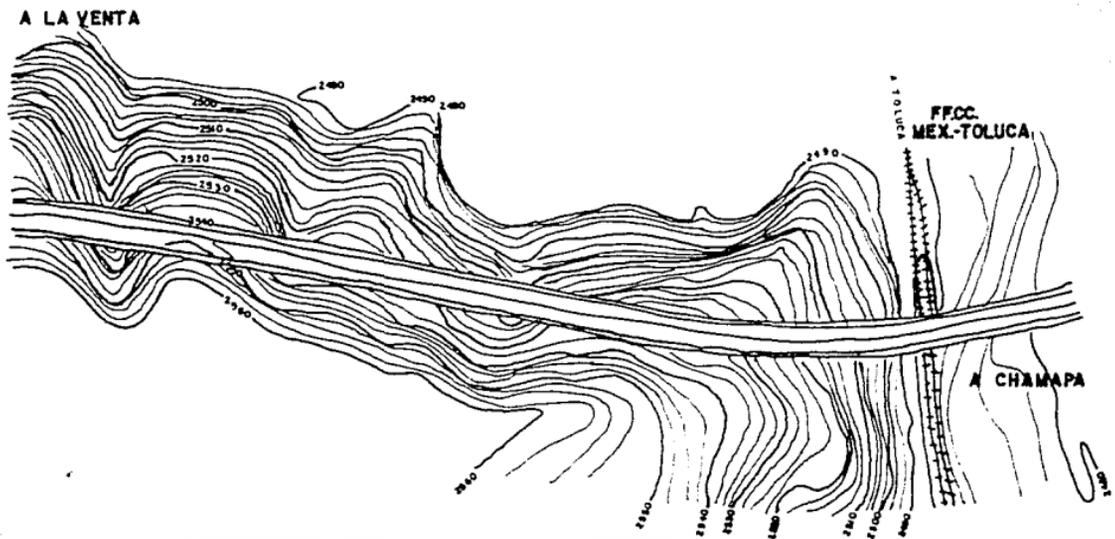
1.2 GEOMORFOLOGIA

1.2.1 DATOS GENERALES

Una gran parte del trazo de la autopista México-Toluca en su tramo Chamapa-La Venta corre a lo largo de una de las laderas de la barranca denominada ' El Borracho ', al poniente de la Sierra de las Cruces. La altitud media de la región es de 2500 metros y la topografía del terreno en las faldas de la sierra varía de lomerío a sensiblemente plana. La corona del talud del km 10+700 tiene una altura sobre el nivel del mar de 2540m, morfológicamente el área del problema se encuentra en una zona de lomeríos de pendientes pronunciadas. En la figura 2 se presenta el trazo de la autopista entre el km 10+400 y el km 11+000, con la topografía de dicha zona.

El clima en la región es templado regular con lluvias en verano y parte del otoño. La vegetación está constituida por algunos manchones de árboles de encino y oyamel. La precipitación media anual varía de 300 a 1000 mm y la temperatura media anual es de 15.5' C.

0+400 10+700 11+000



TESIS PROFESIONAL.

Alejandro Orozco Peña.

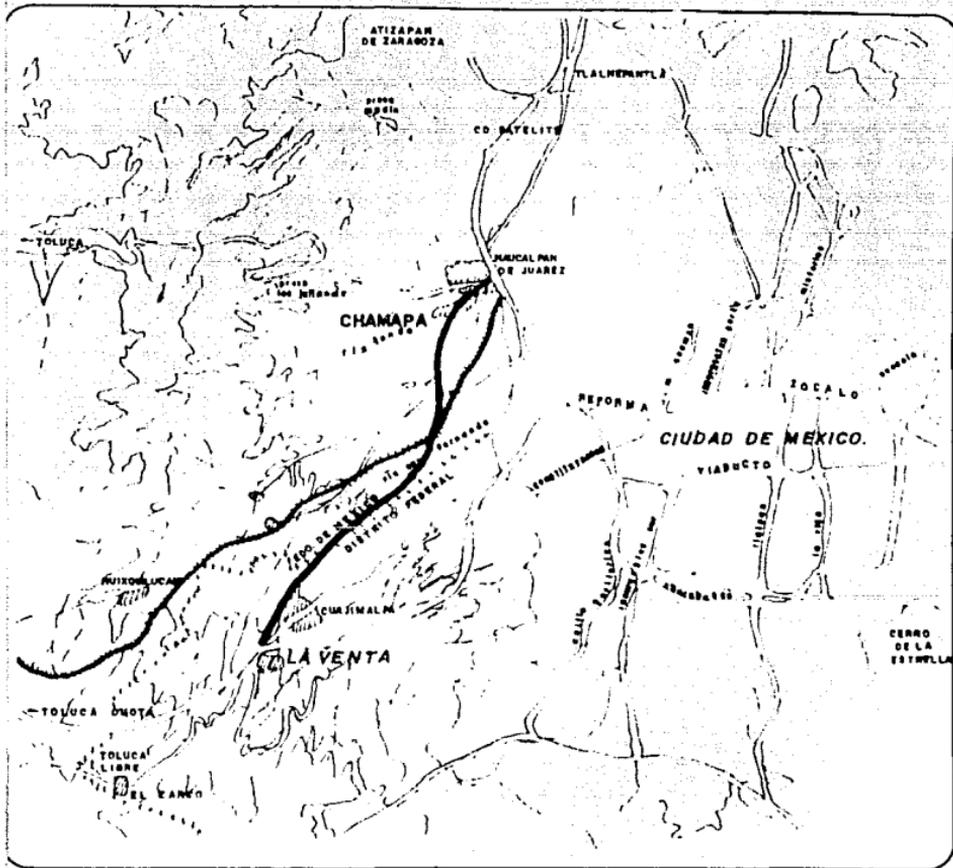
FIG. 2. TOPOGRAFIA DEL Km 10+400 AL Km 11+000 EN LA AUTOPISTA MEXICO-TOLUCA, TRAMO CHAMAPA LA VENTA.

El área drena por numerosos arroyos, en su mayoría de carácter torrencial que convergen en ríos de importancia, tales como Río Hondo y Río San Fernando que contribuyen a la cuenca del Valle de México. En la figura 3 se muestra la hidrología de la zona donde se localiza la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta.

Es importante hacer mención del avanzado proceso de erosión de la zona debido a la deforestación ocasionada por el creciente aumento de la población y por la explotación a cielo abierto de minas de grava y arena.

La sismicidad de la zona se caracteriza por temblores locales frecuentes y por los efectos de sismos originados cerca de las costas de Michoacán y Guerrero, que son poco considerables en la zona de lomas debido al terreno firme que predomina.

Para efectos de diseño sísmico se considera un coeficiente de 0.16 según la carta sísmica presentada en el artículo "Características geológicas y geotécnicas del Valle de México". (Referencia bibliográfica 4)



TESIS PROFESIONAL.

Alejandro Orozco Peña

FIG. 3. HIDROLOGIA DE LA ZONA.

1.2.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS Y GEOTECNICAS

Las formaciones geológicas que se localizan en la zona son de origen aluvial y volcánico. En términos generales se puede decir que los suelos superficiales contienen restos de material vegetal en poco espesor, posteriormente se encuentran los suelos correspondientes a las Series Clásticas Fluvial y Aluvial que están constituidas por materiales granulares y por depósitos superficiales de formación lacustre, arcillas con intercalaciones de pómez, arena y vidrio volcánico.

La autopista México-Toluca se localiza en la parte oeste de la Sierra de las Cruces, predominando tobas compactas con cementación variable, depósitos de origen glacial y aluviales.

En la secuencia estratigráfica de la zona de lomas se identifican cuatro fenómenos geológicos:

- 1.- La acumulación de potentes depósitos de erupciones volcánicas explosivas.
- 2.- La erosión subsecuente de estos depósitos formandose profundas barrancas.
- 3.- El depósito en las barrancas de gravas y boleas.
- 4.- El relleno parcial de esas barrancas con los productos clásticos de nuevas erupciones.

Las anteriores unidades quedan separadas por el color que presentan; suelos rojos, amarillos o cafés según el

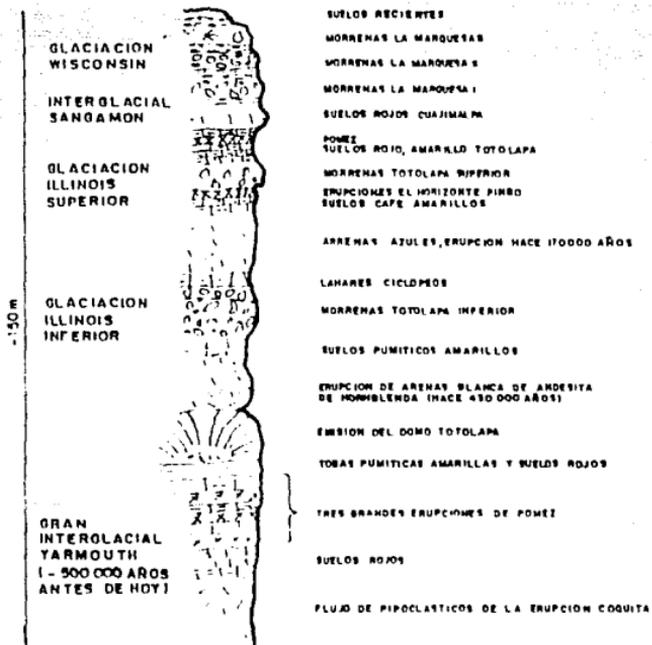
clima que rigió después de su emplazamiento. En la figura 4 se muestra la estratigrafía de la zona de lomas descrita anteriormente.

En la formación de las lomas se observan los siguientes elementos litológicos, producto de erupciones de los grandes volcanes andesíticos estratificados de la Sierra de las Cruces:

- Horizontes de cenizas volcánicas.
- Capas de erupciones pumíticas.
- Lahares.
- Avalanchas ardientes.
- Depósitos glaciales.
- Depósitos fluvioglaciales.
- Depósitos fluviales.
- Suelos.

Eventualmente se encuentran rellenos no compactados, utilizados para nivelar terrenos cerca de las barrancas y tapar galerías de minas antiguas.

Todos estos materiales presentan condiciones irregulares de compacidad y cementación, que determinan la estabilidad de las excavaciones en esta zona; por ello, exceptuando a los cortes en lahares compactos en los demás depósitos pueden desarrollarse mecanismos de falla. -1-



TESIS PROFESIONAL.

Alejandro Orozco Peña.

FIG. 4. ESTRATIGRAFIA DE LA ZONA DE LOMA.

CAPITULO 2

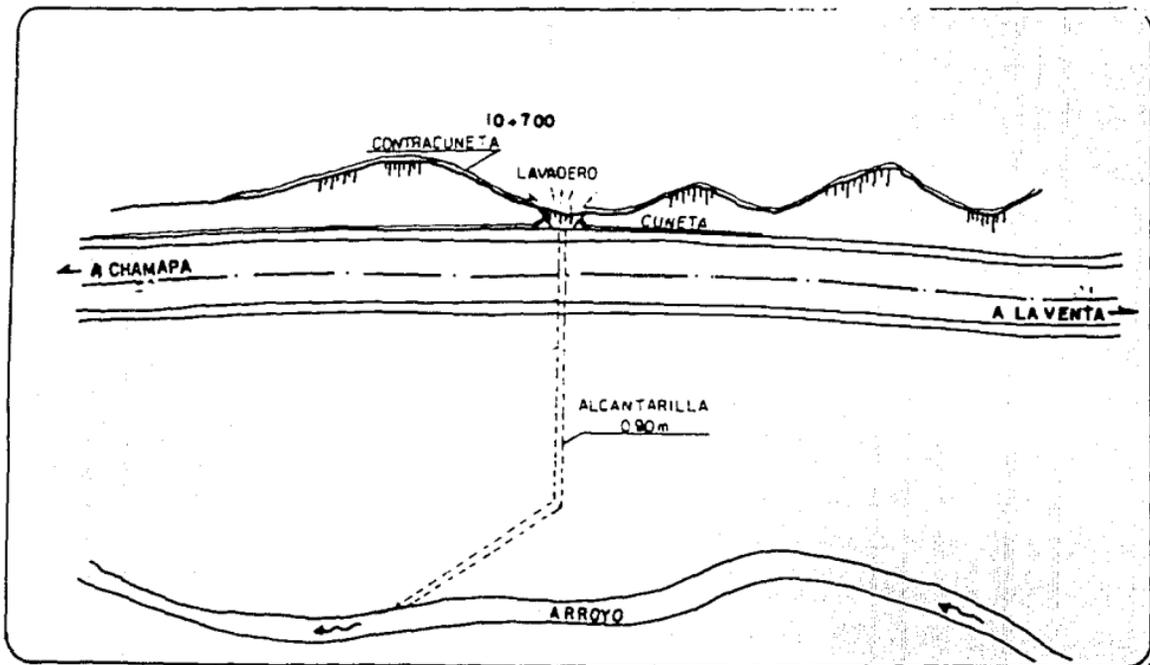
PROBLEMAS DE ESTABILIDAD EN EL TALUD DEL Km. 10+700

2.1 ANTECEDENTES

La mayoría de los casos de inestabilidad de los cortes y terraplenes se deben a la influencia sobresaliente del flujo interno del agua y de presiones que esta pueda desarrollar en las masas del suelo involucradas, además se conoce que muchas de estas fallas ocurren en el periodo que sigue al comienzo de la temporada de lluvias y tiene lugar en estrecha conexión con el régimen de las filtraciones y con el establecimiento de los escurrimientos subterráneos.

También durante la construcción de estas estructuras se presentan algunos problemas que ponen de manifiesto la estabilidad del talud, ya sea por exposición al aire y al agua, remoción de algún estrato delgado de material permeable que funcionaba como un manto natural drenante o el incremento de cargas hidrostáticas al cubrirse con una capa impermeable (carpeta asfáltica).

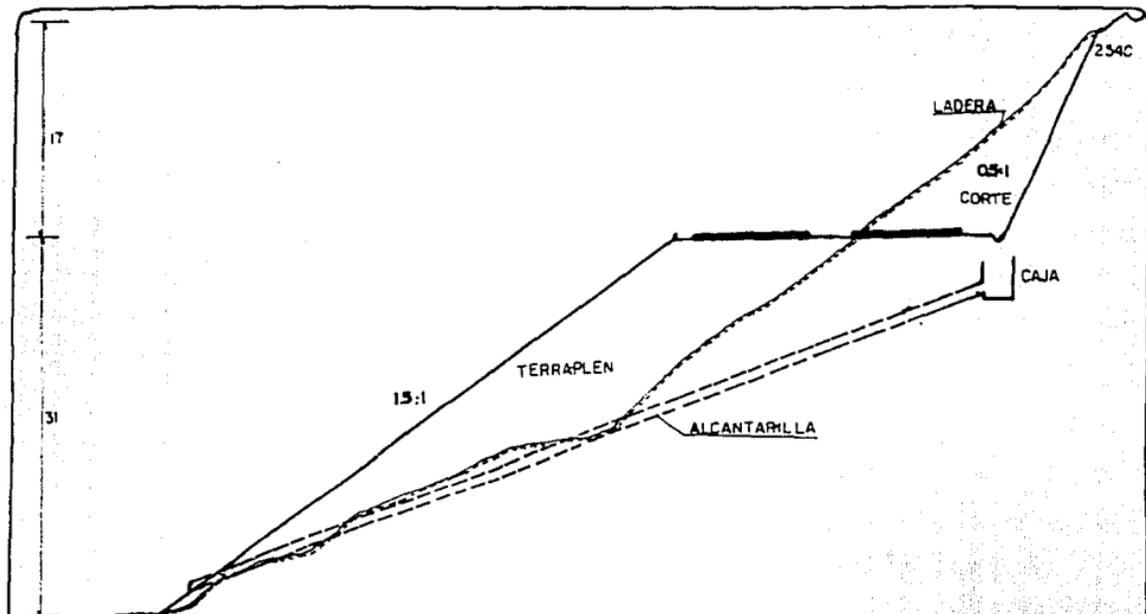
En las figuras 5 y 5A se presenta la planta y perfil topográfico del km 10+700 con sus respectivas obras de drenaje.



TESIS PROFESIONAL

Alejandra Orozco Peña.

FIG. 5. PLANTA DEL TALUD DEL KM. 10+700
CON SUS OBRAS DE DRENAJE .



TESIS PROFESIONAL

Alejandro Grozco Peña.

FIG. 5A. PERFIL TOPOGRAFICO DEL
TALUD DEL KM. 10+700.

Las obras de drenaje consistieron en la construcción de cunetas, lavaderos y contracunetas revestidas a lo largo de la corona del corte, que cumplen la función de captar los escurrimientos superficiales de la ladera y conducirlos a una alcantarilla de 0.90 metros de diámetro y un espesor de pared de 10 cm fabricada con concreto y malla electrosoldada.

La alcantarilla se instaló transversalmente al eje de la vía con una pendiente del 10%, desembocando las aportaciones de las cunetas y contracunetas en un arroyo localizado al pie de la ladera.

Cuando la autopista entró en operación se presentaron casos de inestabilidad en sus estructuras de tierra en la temporada de lluvias, en el caso específico del talud del km 10+700 se presentó una falla que se manifestó con la aparición de grietas hasta de 10cm de espesor y asentamientos considerables en el cuerpo del terraplén que ponían en riesgo a la estructura.

La falla fué ocasionada por la presencia de filtraciones de agua en el cuerpo del terraplén, también se encontró la alcantarilla tapada con material de arrastre; lo que aumentó el problema ya que el agua buscó salida arrastrando el material de contacto con el ducto lo que produjo canalizaciones en el cuerpo del terraplén. La tubificación se presentó por insuficiencia de compactación en el terraplén

Por otro lado, la pendiente transversal considerable de la ladera sobre la cual se colocó el terraplén no tuvo un tratamiento previo lo que acrecentó los movimientos del terraplén ladera abajo.

2.2 TIPOS Y CAUSAS DE FALLA MAS COMUNES EN TALUDES CON MATERIAL COHESIVO-FRICCIONANTE.

Falla del talud se refiere a que sucedio algo en el cuerpo del talud que pone en riesgo su función estructural. Las causas que originan dichos problemas pueden ser externas o internas.

Las causas externas producen aumento en los esfuerzos cortantes actuantes sin modificar la resistencia al esfuerzo cortante del material, por ejemplo el aumento en la altura del talud, la colocación de cualquier tipo de sobrecarga en la corona del talud o la ocurrencia de un sismo.

Las causas internas son las que ocurren sin cambio en las condiciones exteriores del talud. Deben ligarse siempre a una disminución de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo constitutivo. El aumento de presión de poro o la disminución de la cohesión son causas de este tipo.-2-

La estabilidad de los taludes en suelos depende de los siguientes factores:

- 1.- Topografía y geometría del talud.
- 2.- Discontinuidades y estratificación
- 3.- Propiedades mecánicas del suelo.
- 4.- Estado de esfuerzos actuantes.
- 5.- Factores climáticos.

Cuando se alteran dichos factores con la construcción de alguna estructura, como la de un corte o un terraplén se puede incurrir en algun problema de inestabilidad.

Dependiendo de la superficie de deslizamiento a lo largo de la cual se produce la falla, estas pueden ser:

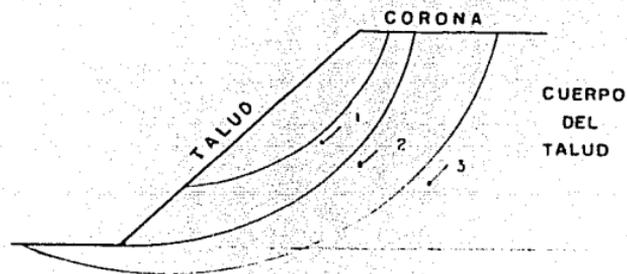
- Falla rotacional
- Falla traslacional
- Falla con superficie compuesta
- Falla múltiple

En los párrafos siguientes se describe cada una de estas fallas tomada la información de la referencia bibliográfica 2.

2.2.1 FALLA ROTACIONAL

Se presenta con movimientos rápidos o prácticamente instantáneos que ocurren en los taludes y que afectan a masas profundas de los mismos, con deslizamiento a lo largo de una superficie de falla curva que se desarrolla en el interior del cuerpo del talud, interesando o no al terreno de cimentación. Se considera que la superficie de falla se forma cuando en la zona de su futuro desarrollo actúan esfuerzos cortantes que sobrepasan la resistencia del material. Así pues, en el interior del talud existe un estado de esfuerzos cortantes que vence en forma más o menos rápida la resistencia al esfuerzo cortante del suelo, a consecuencia de ello sobreviene la ruptura del mismo, con la formación de una superficie de deslizamiento a lo largo de la cual se produce la falla. Estos movimientos son típicos de los cortes y terraplenes de una vía terrestre.

Las fallas por rotación pueden presentarse pasando la superficie de falla por el pie del talud, sin interesar el terreno de cimentación o pasando abajo del pie, afectando el terreno en el que se apoya el talud (falla de base) y la que se presenta en el cuerpo del talud, como falla local. En la figura 6 se presentan las zonas que cruzan al talud las fallas de este tipo.



FALLAS POR ROTACION

1. LOCAL

2. POR EL PIE DEL TALUD

3. DE BASE

TESIS PROFESIONAL



Alejandro Orozco Pena.

Fig.6.

FALLAS POR ROTACION

2.2.2 FALLA TRASLACIONAL

Estas fallas consisten en movimientos traslacionales importantes del cuerpo del talud sobre la superficie de falla básicamente planas, asociadas a la presencia de estratos poco resistentes localizados a poca profundidad bajo el talud. La superficie de falla se desarrolla en forma paralela al estrato débil y se remata en sus extremos por dos cantiles*, por lo general formados por agrietamiento.

Los estratos débiles que originan estas fallas son por lo común de arcillas blandas o de arenas finas o limos sueltos. Con mucha frecuencia, la debilidad del estrato está ligada a elevadas presiones de poro en el agua contenida en las arcillas o a fenómenos de elevación de presión de agua en estratos de arena. Con esto, las fallas en muchos de los casos están ligadas a la temporada de lluvias en la región. (figura 7)

2.2.3 FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA

Aquí los movimientos se combinan tanto de rotación como de traslación, dando lugar a superficies de falla compuestas en que se desarrollan zonas planas a la vez que tramos curvos. Estas superficies de falla están determinadas por la presencia de heterogeneidades dentro del talud, refiriéndose a fallas, juntas, un estrato débil, etc.. En la figura 8 se muestra una falla típica de esta naturaleza.

* Cantil.- corte escarpado.

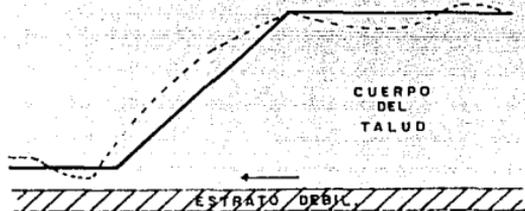


FIG. 7. FALLA TRASLACIONAL.



FIG. 8. FALLA CON SUPERFICIE COMPUESTA.

2.2.4 FALLA MULTIPLE

Es importante mencionar este tipo de falla tan común en las laderas naturales donde se efectúan cortes para las vías terrestres, en donde se presentan varias superficies de deslizamiento simultáneamente o en rápida sucesión. Conviene distinguir como es una falla regresiva de una sucesiva.

La falla regresiva se forma a partir de una que ya sucedió, por lo general en la ladera situada más abajo, debida a una inestabilidad en que sucesivamente van quedando las zonas de cabeza de cada falla que se forma. Todas las superficies de falla suelen concurrir a una superficie fundamental, a la vez la superficie de falla puede ser rotacional o traslacional.

Las fallas rotacionales regresivas ocurren con frecuencia en regiones de topografía movida o escalonada, en que existen importantes fenómenos de erosión, especialmente si existen estratos gruesos de arcillas sobreconsolidadas, fisuradas o de lutitas, sobreyacidos por espesores grandes de roca o suelos firmes.

Las fallas traslacionales regresivas ocurren en capas superficiales de arcillas fisuradas y lutitas.

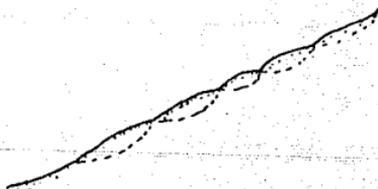
Las fallas sucesivas suelen consistir en un conjunto de deslizamientos rotacionales superficiales. Son características de las últimas etapas de degradación en laderas de arcillas sobreconsolidadas o fisuradas. A veces las fallas forman un escalonamiento sensiblemente regular, como se muestra en la figura 9.



FALLA REGRESIVA ROTACIONAL



FALLA REGRESIVA TRASLACIONAL



FALLAS SUCESIVAS

TESIS PROFESIONAL



Alejandro Orozco Peña,

FIG. 9.

" FALLAS

MULTIPLES "

2.2.5 OTROS TIPOS DE FALLAS

Se desea tratar en este capítulo tres tipos de fallas, cuyo mecanismo no depende, por lo menos directa y casi exclusivamente, de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Esto no quiere decir que tan importante propiedad no influya en mayor o menor grado en la generación y desarrollo de estas fallas.

Se mencionará en primer lugar a las fallas por erosión, tan frecuentes y dañinas en los terraplenes y cortes en las vías terrestres. Se trata del resultado del ataque superficial de los agentes erosivos sobre los materiales que componen el talud. El viento y el agua son los agentes cuyos malos efectos el ingeniero ha de intentar contrarrestar con mayor frecuencia. La falla se manifiesta en irregularidades, socavones y canalizaciones en el plano del talud, originalmente regular.

En segundo lugar conviene mencionar las fallas por tubificación. Este fenómeno comienza cuando hay arrastre de partículas de suelo en el interior de la masa por efecto de las fuerzas erosivas generadas por el flujo de agua. Una vez que las partículas empiecen a ser movidas van quedando en el suelo pequeños canales, por los que el agua circula a mayor velocidad, aumentando siempre el diámetro de los canales que se van formando en el interior del terraplén.

Un factor que contribuye mucho a la tubificación es la insuficiencia de compactación en el terraplén. Esta insuficiencia es común, sobre todo, en la vecindad de muros o superficies rígidas, tales como ductos o alcantarillas.

En tercer lugar se debe hacer referencia a las fallas por agrietamiento que tienen importancia especial en el caso de terraplenes.

Es seguro que en los terraplenes de las vías terrestres se puedan presentar agrietamientos tanto en el sentido transversal como en el longitudinal. Los primeros ocurrirán por asentamiento diferencial a lo largo del eje del camino y sólo serán de consideración en el caso de terraplenes construidos sobre suelos blandos. Sin embargo es difícil concebir que un caso de este tipo sea peligroso.

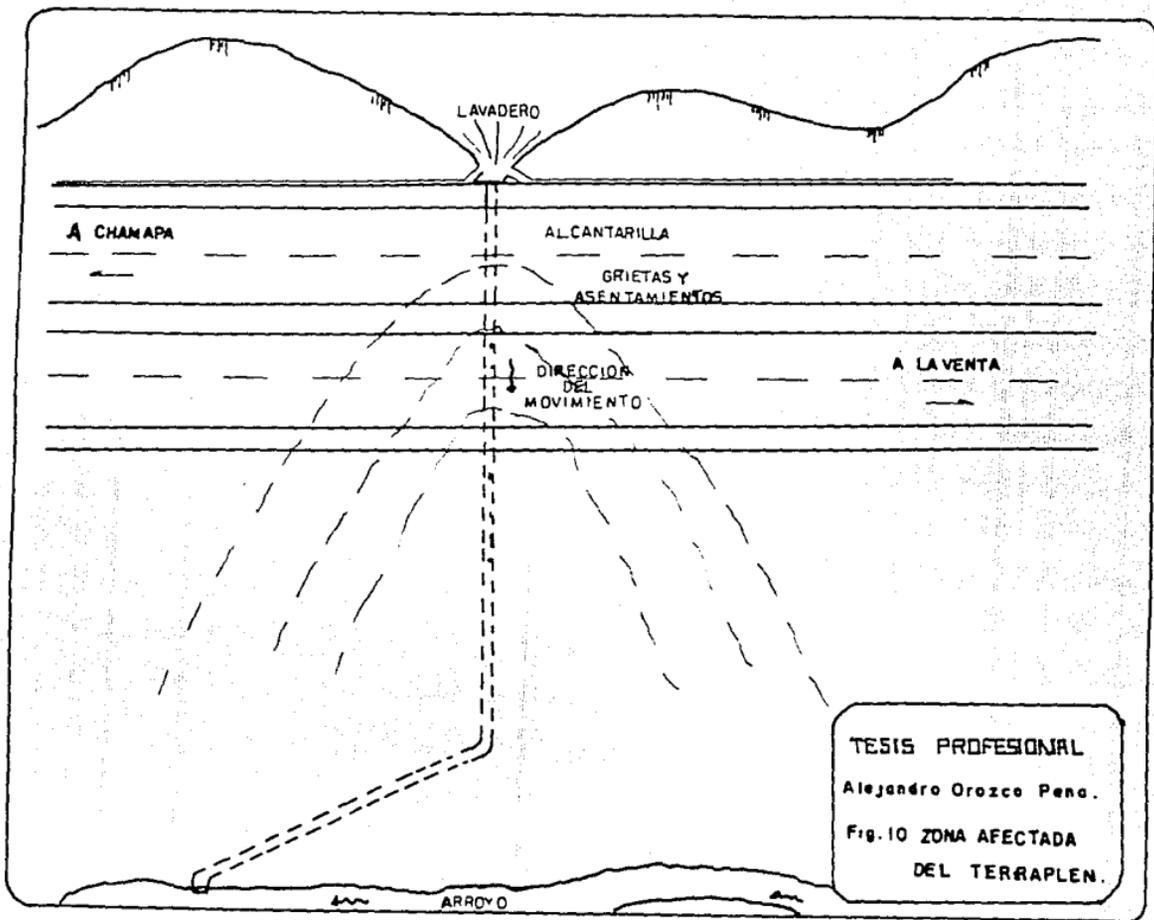
El agrietamiento longitudinal respecto al eje de la obra vial es mucho más frecuente, ocurre sobre todo por movimientos diferenciales de los hombros del terraplén y su parte central. Se manifiesta por la aparición de dos familias de grietas simétricas respecto al eje del camino como consecuencia de distinto grado de secado entre los materiales cercanos a los hombros y taludes del terraplén y los de la zona central del mismo, mucho menos expuestos a la evaporación solar.

2.3 IDENTIFICACION DE LA FALLA EN EL TALUD DEL Km 10+700

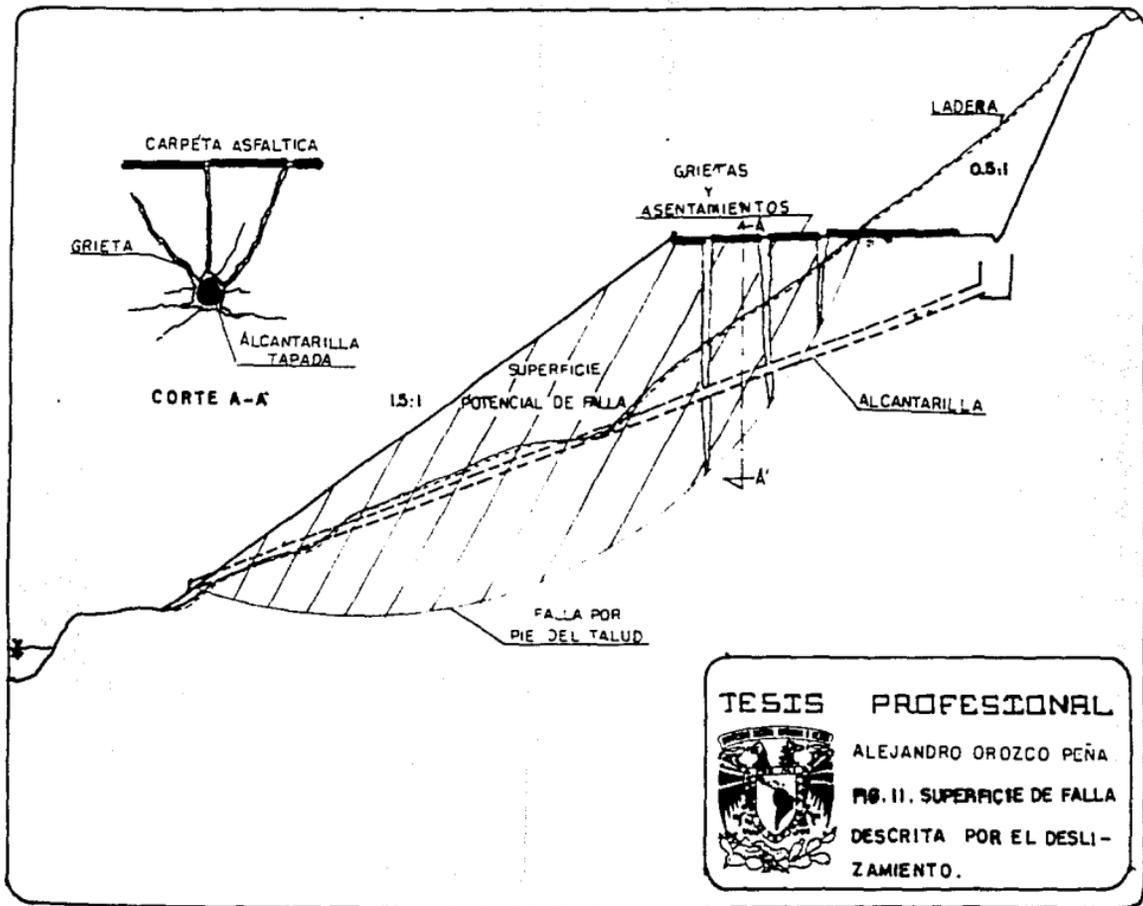
La masa de tierra que constituye el terraplén del talud en el km 10+700 de la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta, presentó un deslizamiento que describió una superficie circular de aproximadamente 50m de diámetro. En la figura 10 se presenta la zona afectada del terraplén visto en planta, en ella se puede observar la dirección del movimiento así como la influencia de la alcantarilla que sirvió de eje del deslizamiento.

La falla se clasificó del tipo rotacional, pasando la superficie de falla por el pie del talud del terraplén. En la figura 11 se muestra un corte del talud con la superficie de falla descrita por el deslizamiento.

El movimiento fué causado por la acumulación excesiva de presiones hidrostáticas al quedar tapada la alcantarilla de 0.90m de diámetro con material sólido arrastrado por los escurrimientos durante la temporada de lluvias, esto ocasionó tubificación en el cuerpo del terraplén, sobre todo alrededor de la alcantarilla, donde en muchos de los casos la compactación resulta difícil.



TESIS PROFESIONAL
Alejandro Orozco Pena.
Fig.10 ZONA AFECTADA
DEL TERRAPLEN.



TESIS PROFESIONAL



ALEJANDRO OROZCO PEÑA

FIG. II. SUPERFICIE DE FALLA

DESCRITA POR EL DESLI-
ZAMIENTO.

CAPITULO 3

ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS EN EL TALUD DEL KM 10+700

El talud del km 10+700 de la autopista México-Toluca, tramo Camapa-La Venta presentó signos de deslizamiento que ponían en peligro su estabilidad. La falla se manifestó con la aparición de grietas y asentamientos considerables en el cuerpo del terraplén.

Se realizaron los estudios geotécnicos correspondientes para analizar la estabilidad del talud, éstos consistieron en trabajos de campo y laboratorio tendientes a determinar las características mecánicas del material que forma el terraplén, así como sus condiciones de permeabilidad y grado de compactación.

A continuación se presenta una reseña de cada uno de los estudios realizados en el talud del km 10+700.

3.1 PROGRAMA DE EXPLORACION

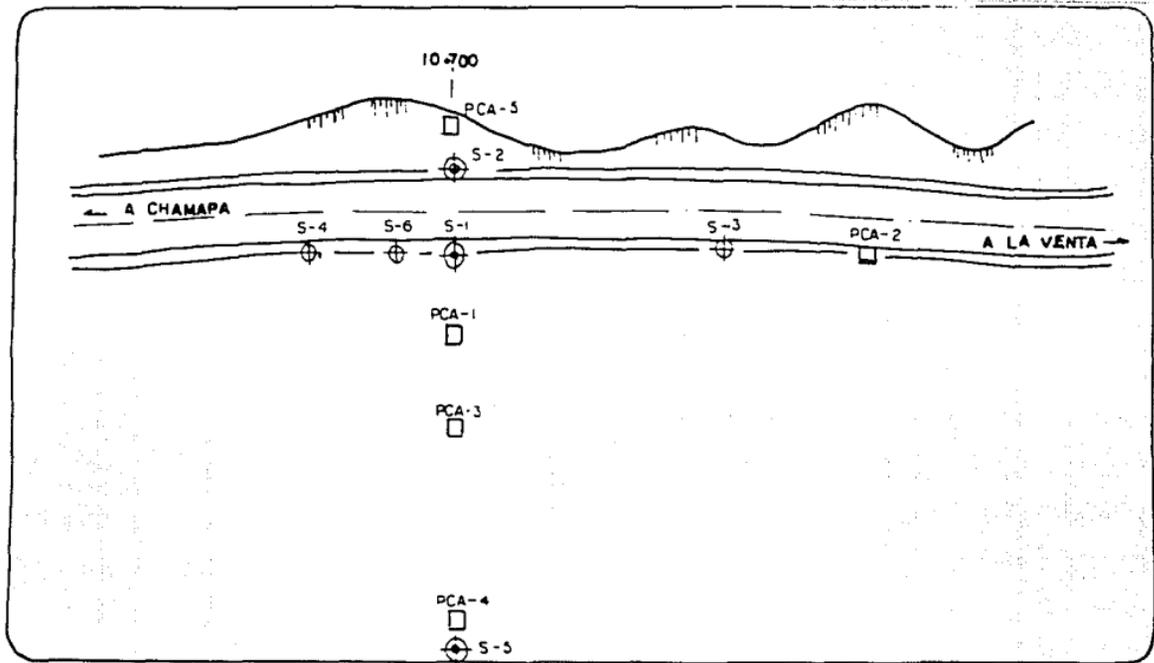
El programa de exploración consistió en la ejecución de pozos a cielo abierto, sondeos profundos y la colocación de algunos piezómetros. La profundidad, ubicación y el número de sondeos fué fijado por la compañía encargada del estudio de mecánica de suelos, con la finalidad de abarcar la zona de falla y detectar el contacto del terraplén con el terreno natural.

En la figura 12 se muestra la localización y número de sondeos.

A continuación se presenta el programa de los trabajos de campo realizados:

- Pozos a cielo abierto. Se realizaron cinco pozos a cielo abierto (PCA) de los cuales, dos se ejecutaron en el cuerpo del terraplén (PCA 1 y 3), dos en la frontera del material de relleno con el terreno natural (PCA 2 y 4) y uno en la corona del corte (PCA 5), con una profundidad menor de 3 metros.

Se obtuvieron muestras inalteradas con el fin de realizar pruebas de laboratorio para determinar las características mecánicas del material de relleno y del terreno natural. En las figuras 13 a 15 se indican las propiedades de los materiales encontrados.



SIMBOLOGIA

- POZO A CIELO ABIERTO
- ⊕ SONDEO
- ⊕ PIEZOMETRO



TESIS PROFESIONAL
Alejandro Orozco Peña.

FIG. 12. CROQUIS DE LOCALIZACION
DE SONDEOS.

OBRA CARRETERA CHAMAPA - LA VENTA Km 10+700 PCA - 1

SERIES DE DEPOSITOS	PERFIL	PROF m	MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)						RESULTADOS
				0	10	20	30	40	50	
ARENA LIMOSA 1.00-1.50 CON GRAVA	[Diagram of soil profile with layers and depth markers]	0.00								
ARENAS LIMOSA CON FINOS ARCILLOSOS DE BAJA PLASTICIDAD		0.90	M-1							
		0.00	M-2							

LIMO
 ARENA
 * NATURAL
 Δ LIMITE LIQUIDO.
 ○ LIMITE PLASTICO

OBRA CARRETERA CHAMAPA - LA VENTA Km 10+700 PCA - 2

SERIE DE DEPOSITOS	PERFIL	PROF m	MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)						RESULTADOS
				0	10	20	30	40	50	
ARENA CON GRAVAS GRIS	[Diagram of soil profile with layers and depth markers]	0.00								
ARENA CON GRAVAS CAFE Y POLVO LIMOSO		1.00	M-1						δ: 24.5 % C: 1.51n/m γ: 17.7n/m ³	
ARENA FINA Y MEDIA CON GRAVAS		1.70	M-2							
ARENAS CON GRAVAS Y FINOS LIMOSOS		0.00								

ARENA
 GRAVA
 * NATURAL
 Ø - ANGULO DE FRICCION
 C - COHESION
 γ - PESO ESPECIFICO

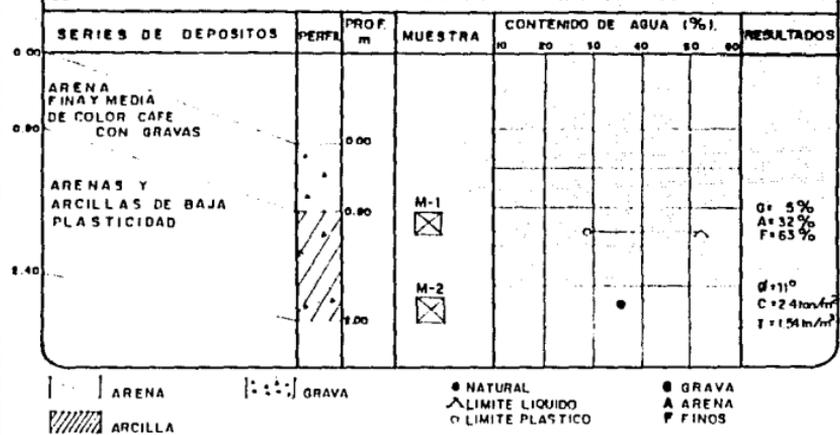


TESIS PROFESIONAL.

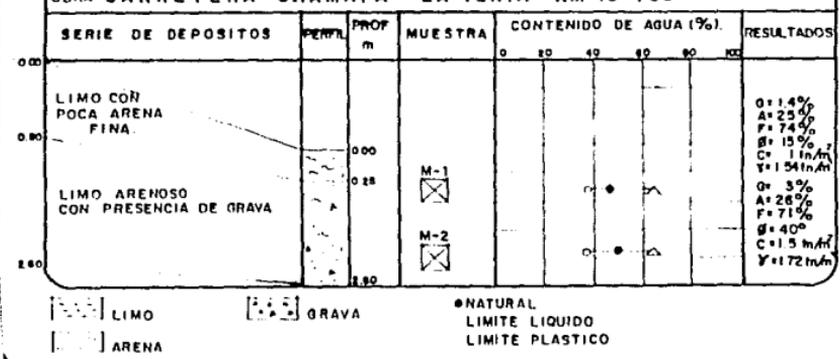
Alejandro Orozco Peña.

FIG. 13 POZOS A CIELO ABIERTO.

OBRA CARRETERA CHAMAPA - LA VENTA Km 10+700 PCA - 3



OBRA CARRETERA CHAMAPA - LA VENTA Km 10+700 PCA - 4



TESIS PROFESIONAL.
 Alejandro Orozco Peña.
 FIG. 14. POZOS A CIELO ABIERTO.

OBRA: CARRETERA CHAMAPA - LA VENTA Km 10+700

PCA - 5

SERIES DE DEPOSITOS	PERFIL	PROF. m	MUESTRA	CONTENIDO DE AGUA (%)					RESULTADOS
				0	50	50	50	100	
LIMO DE ALTA PLASTICIDAD CON PRESENCIA DE ARENAS Y GRAVAS DE COLOR CAFE		0.00							G=2.85 A=7.94 F=89.21
		0.40	M-1 <input checked="" type="checkbox"/>						G=48° C=1.37m/m I=1.65m/m

LIMO

ARENA

• NATURAL

GRAVAS



TESIS PROFESIONAL.

Alejandro Orozco Peña.

FIG. 15. POZOS A CIELO ABIERTO.

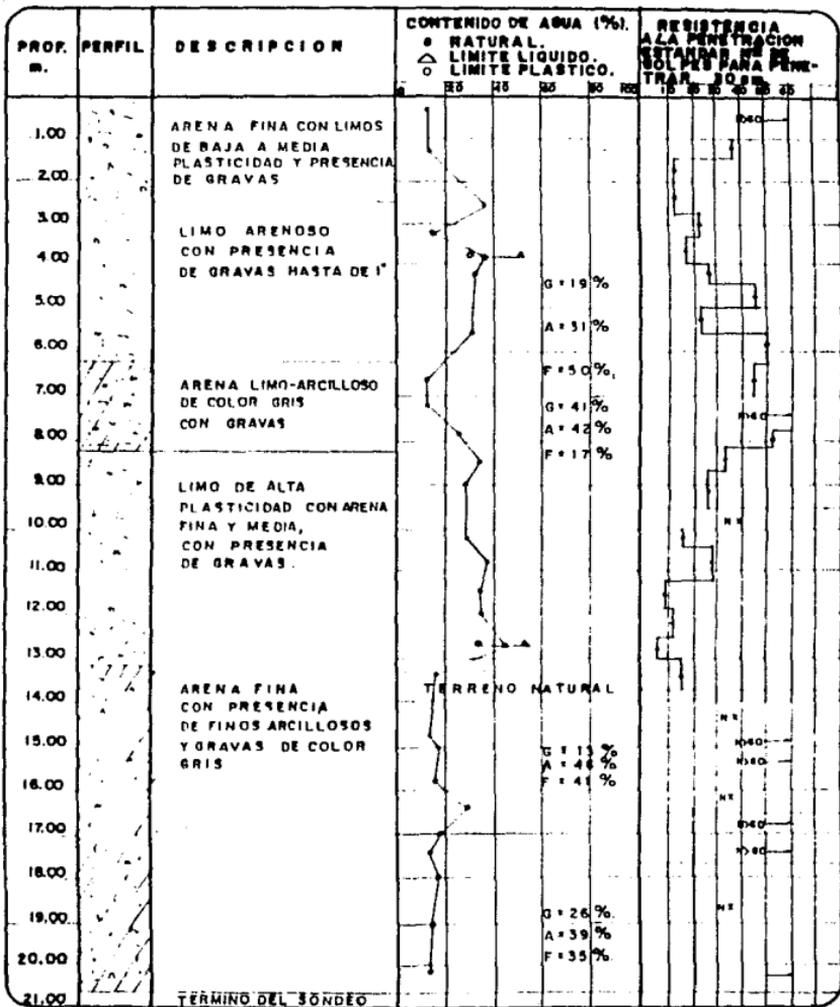
- Sondeos profundos. Se realizaron seis sondeos de reconocimiento a diferentes profundidades, siendo las siguientes:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)
1	20.00
2	12.00
3	21.70
4	20.00
5	15.00
6	12.40

Los sondeos se hicieron con equipo neumático. Se adaptó a la tubería de perforación un penetrómetro estándar que fué hincado a golpes por el equipo de perforación, salvo en el caso del sondeo 6 donde se colocó un tubo de pared delgada para recuperar suelo inalterado a la profundidad de 4 a 4.50m. La presencia de bolecos en los sondeos 1, 2 y 4 obligó a utilizar una máquina perforadora a rotación, con broca tipo Nx * de 75.5mm de diámetro exterior, para continuar el avance con el equipo neumático.

En las figuras 15 a 21, se muestra la clasificación de los suelos encontrados. La información fué complementada con los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a las muestras obtenidas de los pozos a cielo abierto.

* Broca Nx.- Se utiliza en rocas medianamente duras y tiene las siguientes características: diámetro ext. 75.5mm, diámetro int. 55mm con inserciones de carburo de tungsteno en la corona.



[Dotted pattern] ARENA

[Horizontal lines] LIMO

[Diagonal lines] ARCILLA

[Dotted pattern] GRAVAS

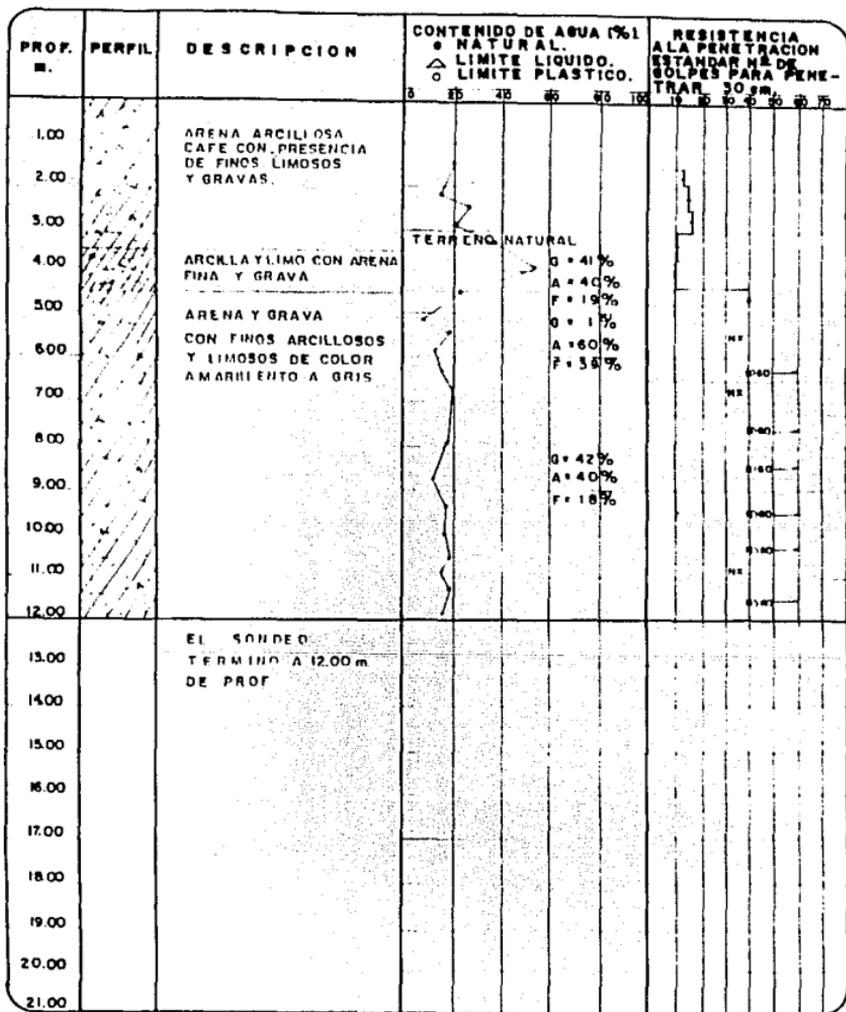
BROCA NX — MAS DE 60 CM PES.

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No.1

TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM. 10+700

FIG. 16.



ARENA
 LIMO
 ARCILLA
 GRAVA

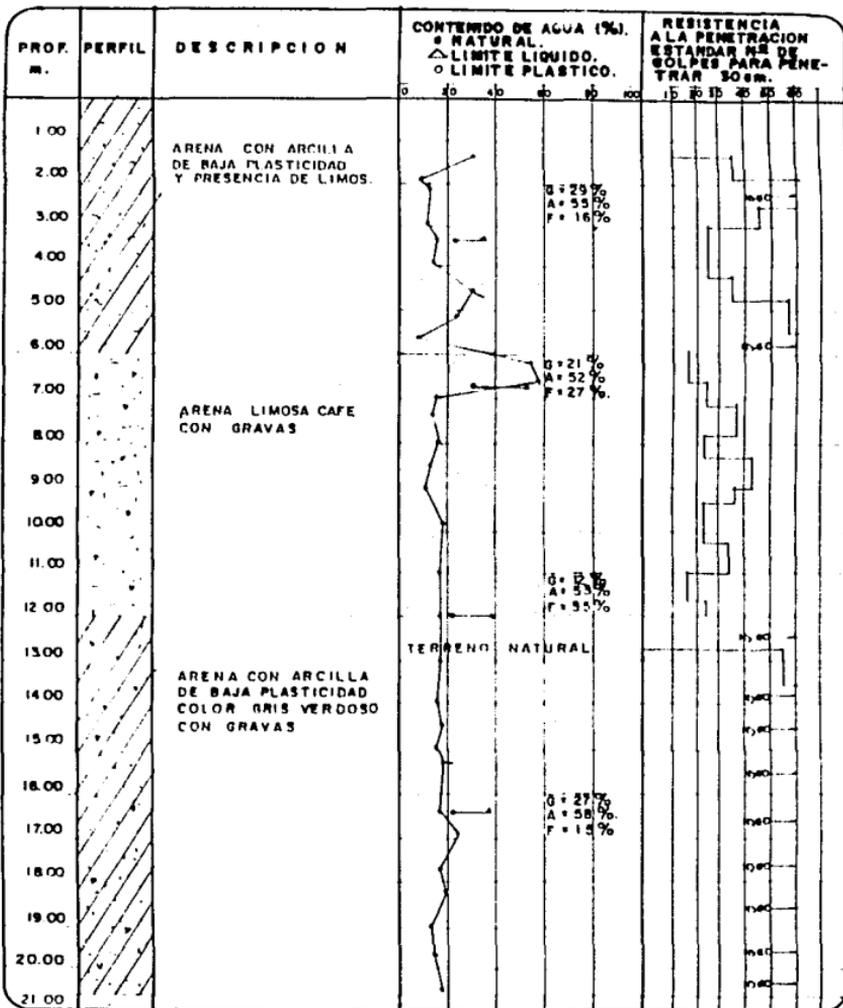
MAS DE 60 GOLPES—

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No. 2

TALUD CHAMPA - LA VENTA KM 10+700

FIG. 17.



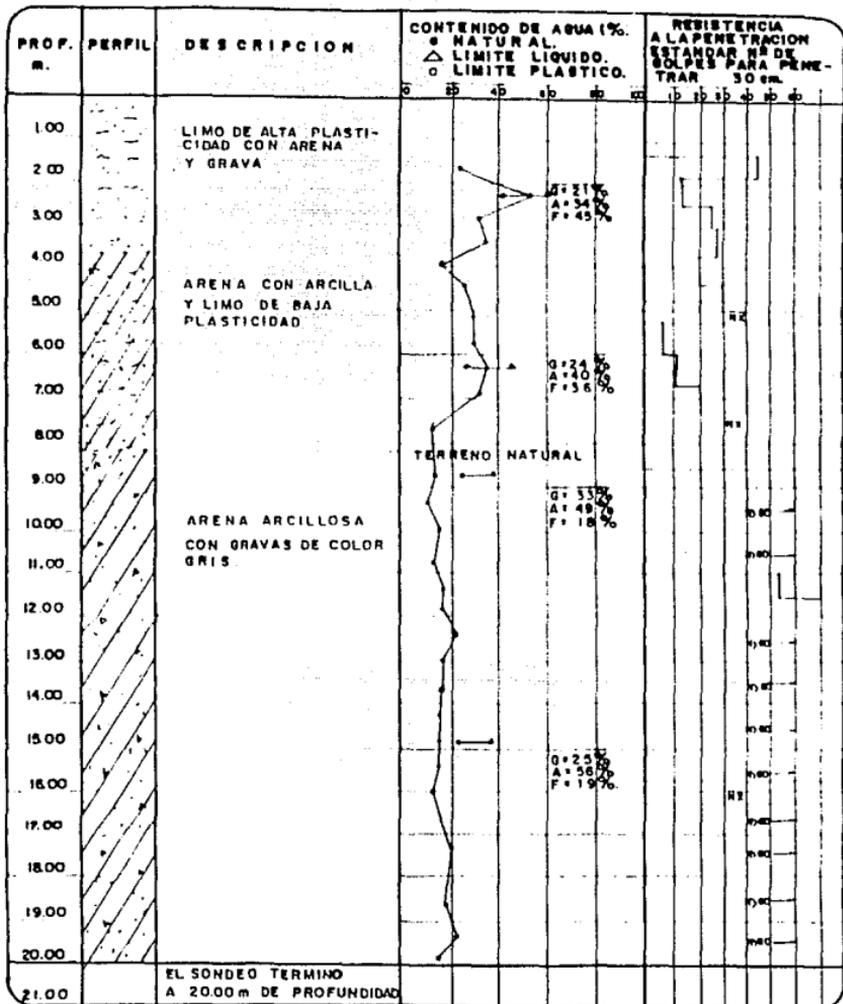
ARENA
 LIMO
 ARCILLA
 GRAVAS
 MAS DE 60 GOLPES —

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No.3

TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM. 10+650

FIG. 18.



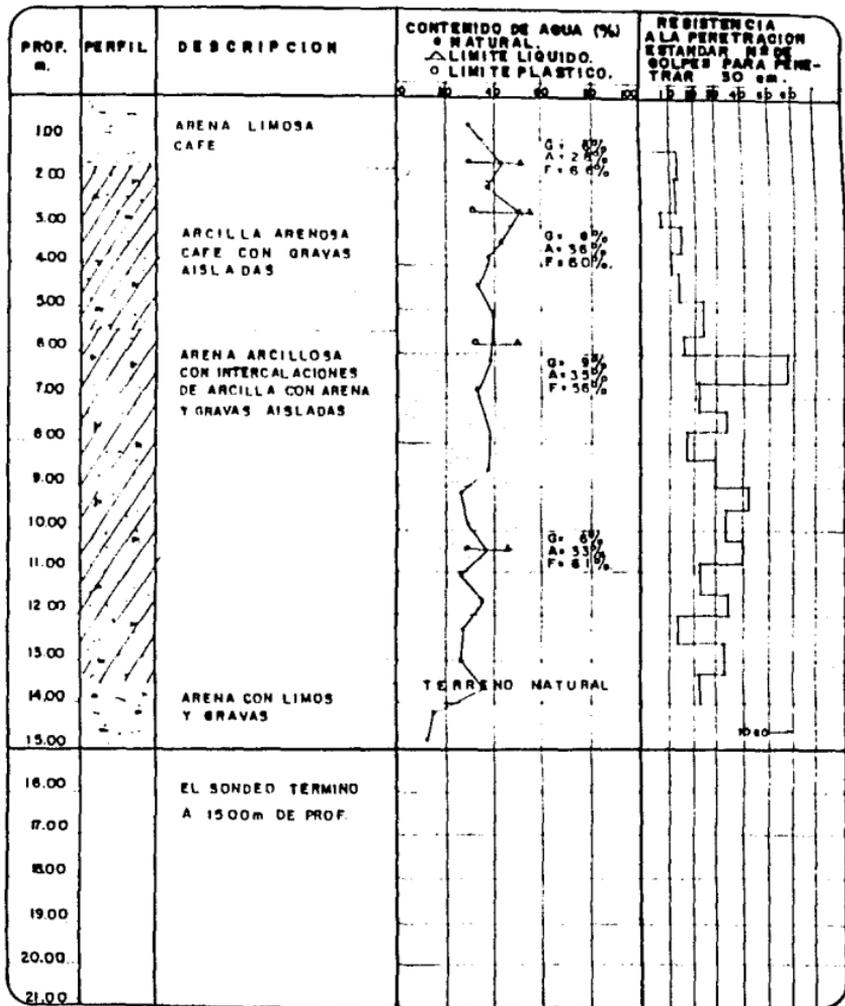
ARENA
 LIMO
 ARCILLA
 GRAVA
 BROCA NK — MAS DE 60 GOLPES

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No.4

TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM 10+725

FIG. 19.



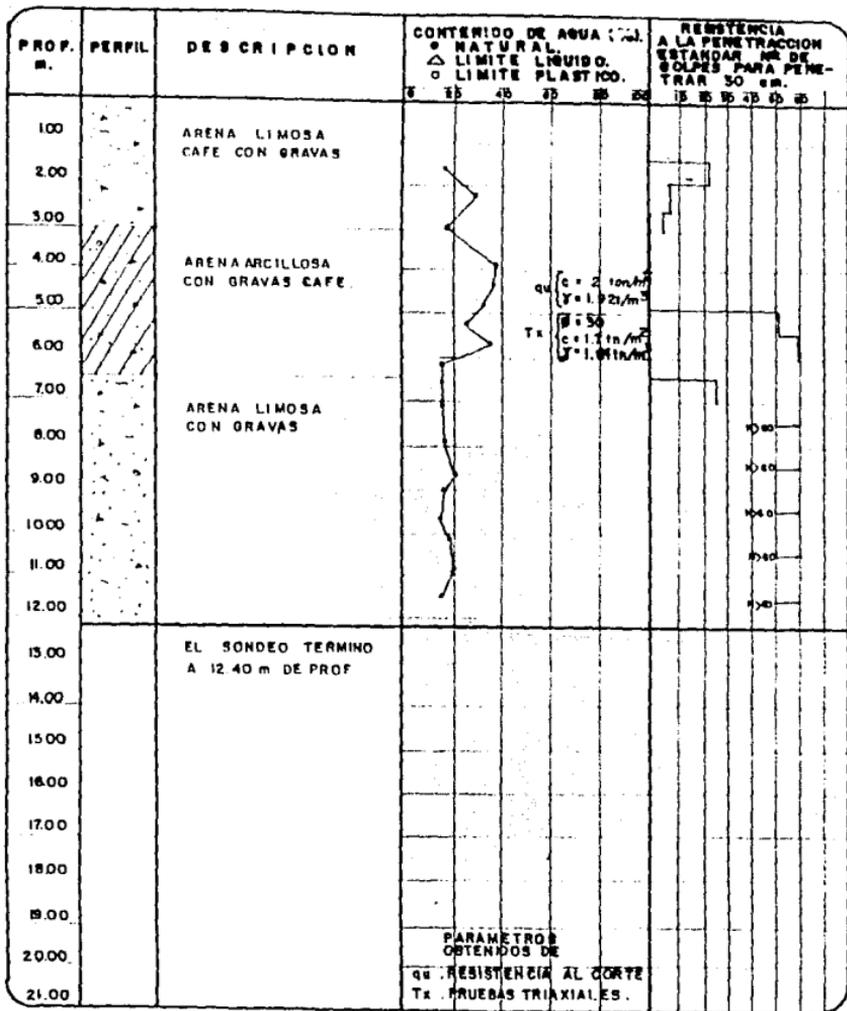
ARENA
 LIMO
 ARCILLA
 GRAVAS
 MAS DE 60 GOLPES —

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No.5

TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM. 10+700

FIG. 20.



ARENA
 LIMO
 ARCILLA
 GRAVA
 MAS DE 60 GOLPES—

PERFIL ESTRATIGRAFICO

SONDEO No. 6

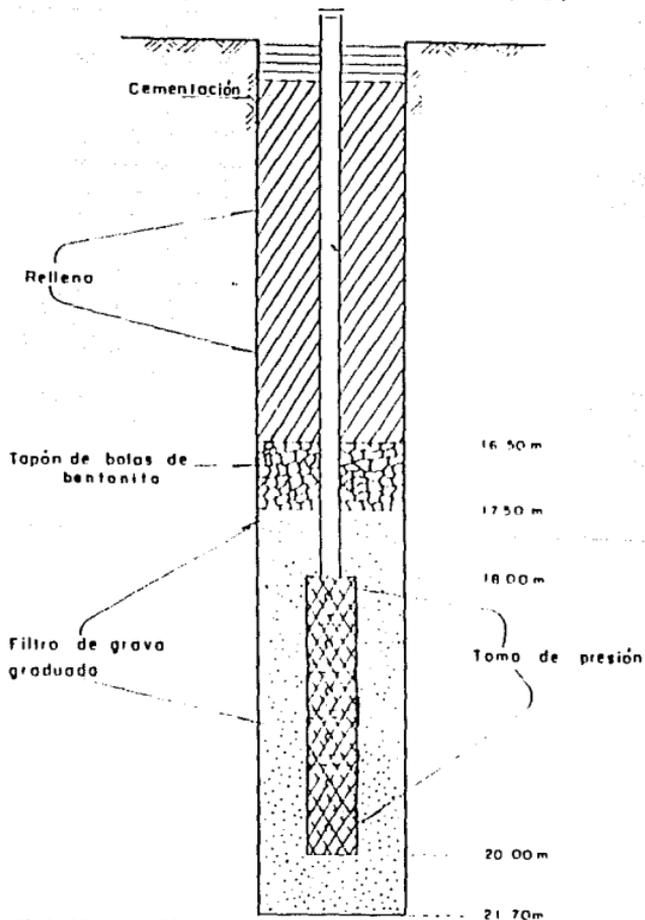
TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM 10+700

FIG. 21.

- Piezometría. Se instalaron tres piezómetros Tipo Casagrande, en los sondeos 1, 2 y 5. Dos de estos al centro de la carretera y el otro al pie del terraplén. Con la finalidad de detectar presiones hidrostáticas. Los detalles y niveles se muestran en las figuras 21 a 24.

Los piezómetros instalados son tubos de PVC con un diámetro de 1.3cm . La parte inferior del tubo esta perforada para permitir la entrada del agua que cruza los filtros de grava graduado colocada en la perforación del sondeo. El extremo inferior del tubo tiene un tapón del mismo material y por el superior se introduce una sonda piezométrica para la toma de lecturas.

KM 10 + 700 PIEZOMETRO N° 3 (Corona de la Autopista)

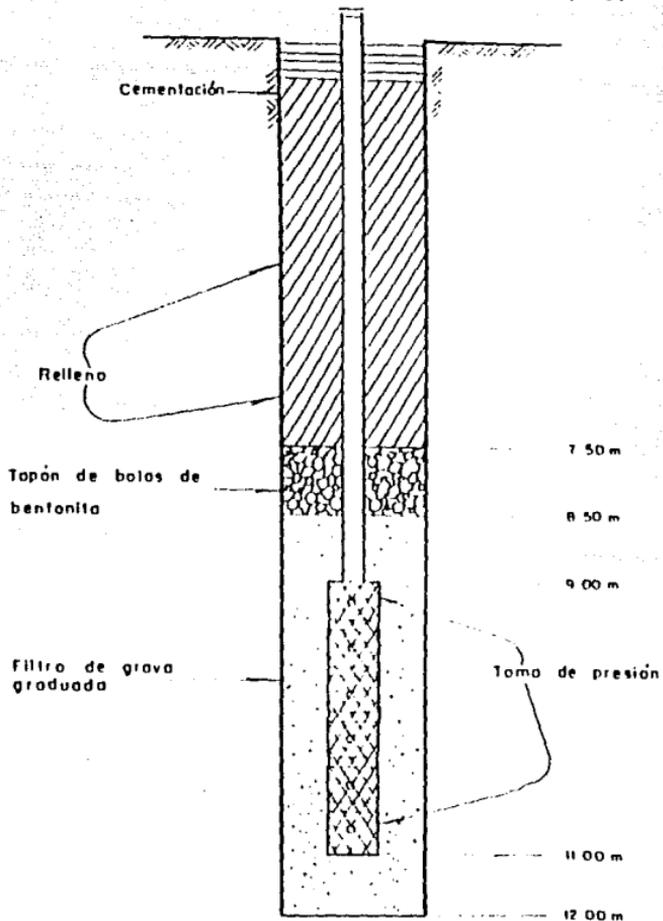


NOTA CROQUIS FUERA DE ESCALA.

PIEZOMETRO N.º 3

FIG. 22.

KM 10 + 700 PIEZOMETRO Nº 4 (Corona de la Autopista)

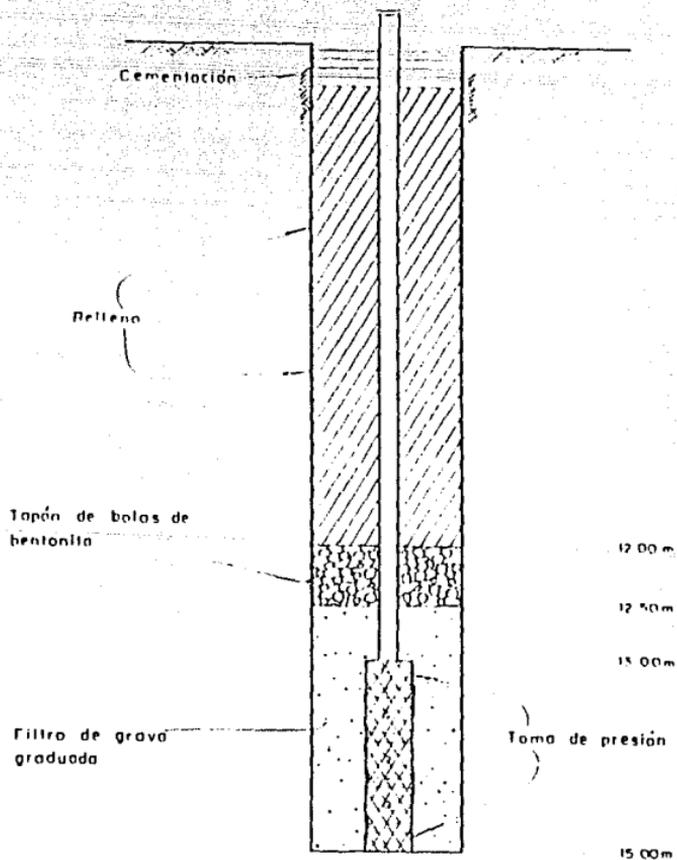


NOTA CROQUIS FUERA DE ESCALA

PIEZOMETRO No. 4

FIG. 23.

KM 10 + 700 - PIEZOMETRO N° 5 (Pie del Terrapien)



NOTA: CROQUIS FUERA DE ESCALA

PIEZOMETRO No. 5

FIG. 24.

3.2 ESTRATIGRAFIA

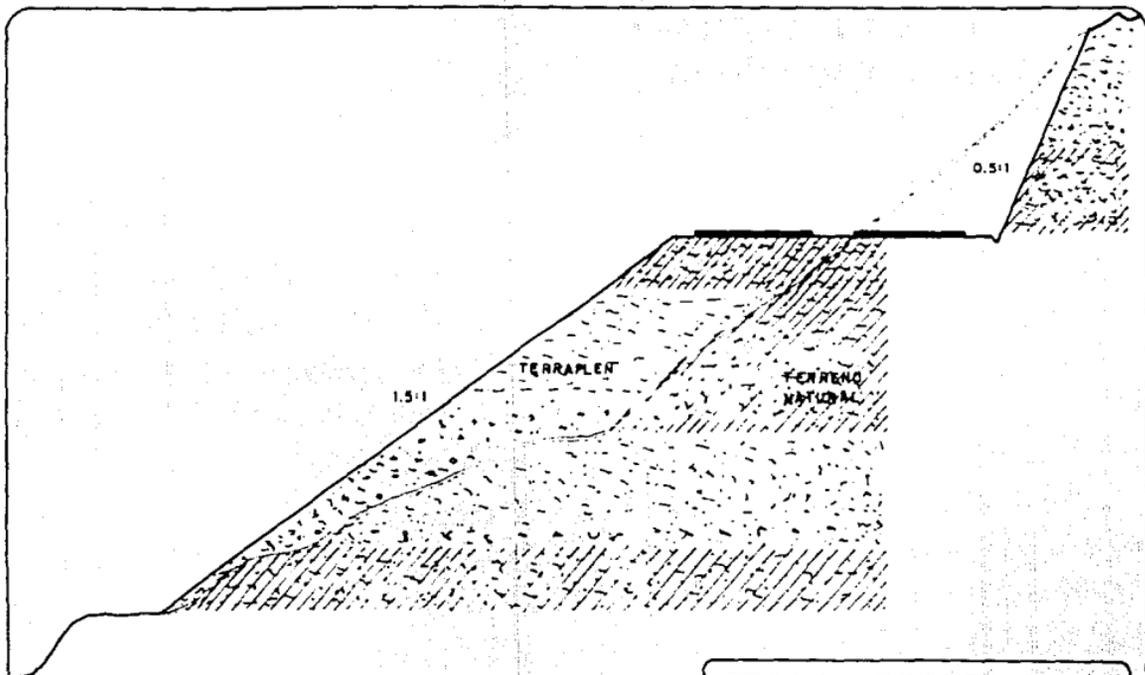
La naturaleza y el tipo de materiales encontrados, en general corresponden a arenas limo-arcillosas con presencia de gravas. En la figura 25 se obtiene el perfil estratigráfico representativo del talud del km 10+700, dibujado con base en los sondeos 1, 2 y 5 presentados en las figuras 16, 18 y 20, respectivamente.

Los suelos que predominan en el terraplén del talud en estudio, son mezclas de arenas y limos en proporciones variables de compactidad media a muy compacta con número de golpes en pruebas de penetración estándar entre 10 y más de 50. El contenido de agua medio es del orden de 25%. No se reportó nivel freático en los sondeos efectuados.

El objetivo fundamental de los sondeos fué determinar las características del material que forman el terraplén, con el propósito de determinar el contacto probable con el terreno natural, al respecto; según los resultados obtenidos en campo, en la siguiente tabla se muestran las profundidades donde se ubicó el contacto con el terreno natural:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)
1	14.00
2	5.00
3	13.10
4	8.10
5	7.50
6	14.00

En el anexo del presente trabajo se presenta la curva granulométrica general del material ensayado.



SIMBOLOGIA.

-  LIMO ARENOSO.
-  ARENA FINA
-  ARENA LIMO-ARCILLOSO
-  BOLEOS Y GRÁVAS

TESIS PROFESIONAL.



Alejandro Orozco Peña.

FIG. 25

PERFIL ESTRATIGRAFICO
DEL TALUD.

3.3 PARAMETROS DE RESISTENCIA AL ESFUERZO CORTANTE

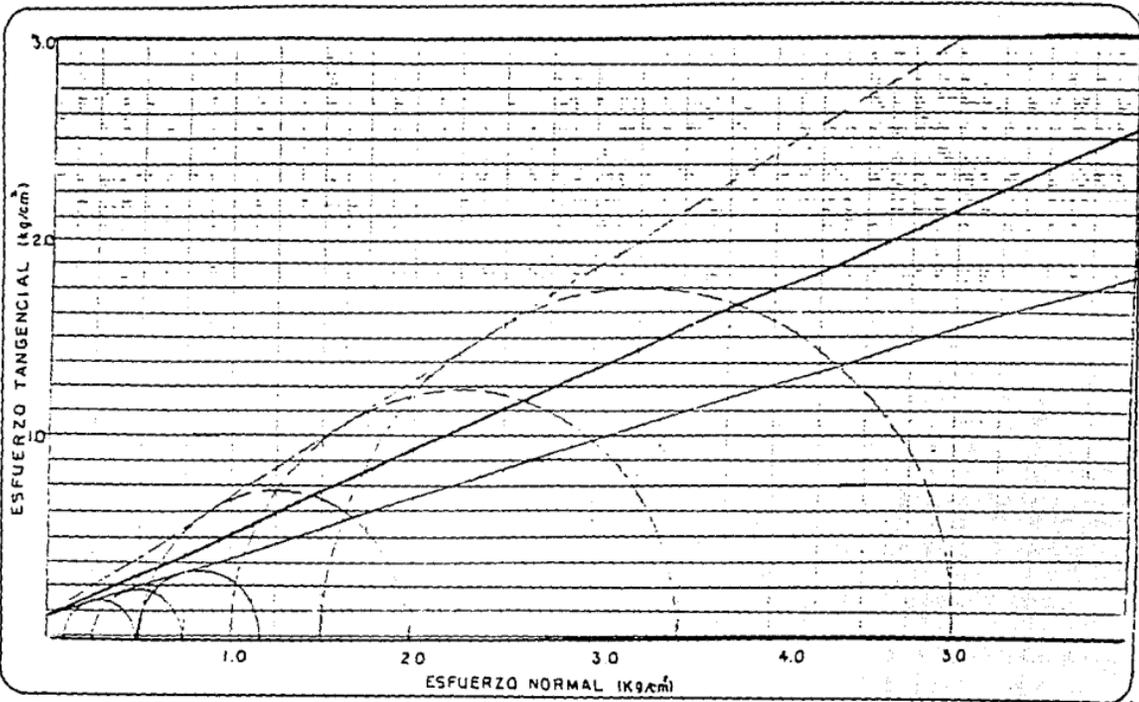
Los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo que forma el cuerpo del terraplén; cohesión y ángulo de fricción interna, fueron obtenidos de pruebas de compresión triaxial; efectuadas a las muestras obtenidas de los PCA y del sondeo 6. Los detalles de estas pruebas se presentan en el anexo. Como resumen se presenta la siguiente tabla, cuyas envolventes se tienen en las figuras 26 y 28.

CONDICION	ANGULO (ϕ)	COHESION (ton/m ²)	TIPO DE ENSAYE
MATERIAL SATURADO	22.5°	1.5	NO CONSOLIDADA NO DRENADO CON SATURACION (U.U)
MATERIAL DRENADO	45°	0.5	CONSOLIDADO NO DRENADO (C.U)
MATERIAL EN ESTADO NAT.	19.5°	2.0	NO CONSOLIDADO NO DRENADO (U.U)

También se ensayaron muestras en compresión simple, donde se encontró el esfuerzo máximo del suelo a la falla, que fuè de :

$$\sigma_{max} = 0.5 \text{kg/cm}^2$$

Los resultados de ensayos en compresión simple y compresión triaxial se incluyen en el anexo, al final del presente trabajo.



CONDICIONES SATURADAS

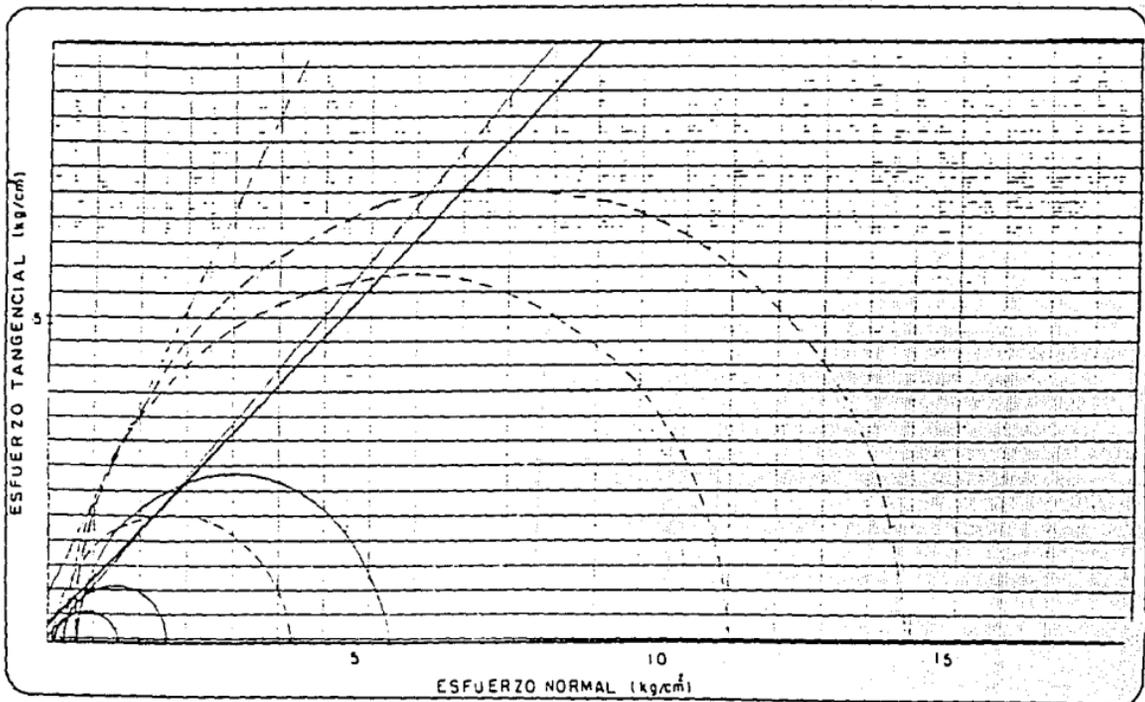
$$c = 1.510 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi = 22.5^\circ$$

fig. 26.

◀ ENVOLVENTES DE PRUEBAS

TRIAXIALES ▶



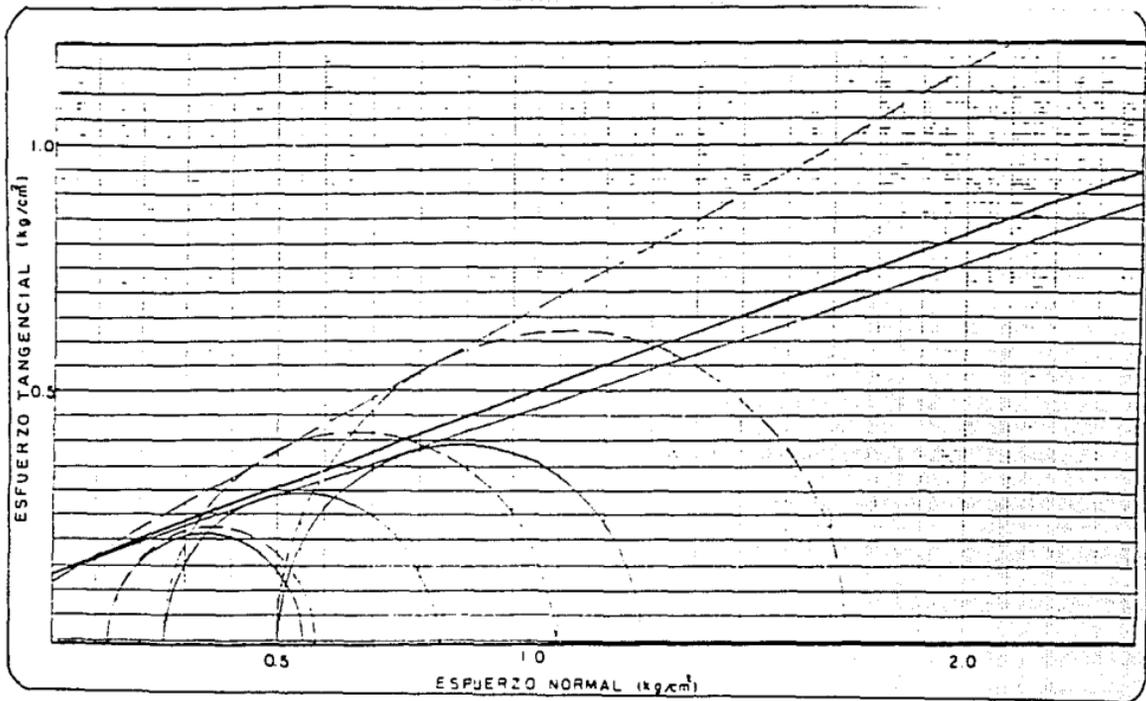
CONDICIONES DRENADAS

$$C = 1.5 \text{ ton/m}^2$$

$$\theta = 45^\circ$$

fig. 27.

ENVOLVENTES DE PRUEBAS TRIAXIALES.



CONDICIONES NATURALES

$$C = 2 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi = 19.5^\circ$$

fig. 28.

ENVOLVENTES DE PRUEBAS TRIAXIALES.

3.4 PRUEBAS DE PERMEABILIDAD

En la ejecución de los sondeos se observó que el material es permeable ya que durante su perforación se reportaron pérdidas totales de agua de enjuague, así mismo, lo comprueban las pruebas de permeabilidad tipo Lefranc hechas expresamente, que resultaron del orden de $K = 6.7 \times 10^{-4} \text{ cm/seg}$ (ver figuras 29 y 30).

La prueba tipo Lefranc es un procedimiento para obtener el coeficiente de permeabilidad en campo en suelos con arena y grava. La prueba consiste en un permeámetro de carga constante, hecho en campo. En una perforación de los sondeos efectuados, se instala un ademe, se inyecta agua al pozo buscando que el nivel del agua dentro de la perforación se mantenga constante durante todo el periodo de prueba, si h es la diferencia de altura de agua en el pozo y Q es el gasto que se inyecta; entonces el coeficiente de permeabilidad K puede estimarse con la expresión:

$$K = c.Q/h$$

donde la constante c , cuyas unidades son el recíproco de una longitud, puede expresarse como:

$$c = \frac{4\sqrt{L}}{1/2L \times \log L/r}$$

en donde:

L = Longitud de la perforación.

r = Radio de la perforación.

En la figura 31 se presenta el esquema de la prueba.

OBRA AUTOPISTA MEXICO-TOLUCA SONDED 5 KM 1.00 TRAMO DE 10.00-12.00 M
 FECHA 10 MAYO 1983 PRUEBA A PARTIR DE 0.25 M

H	$\Delta H/\Delta T$	Q	H	$\Delta H/\Delta T$	Q	H	$\Delta H/\Delta T$	Q
(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)
0.685	39.44×10^{-1}		0.70	2.33×10^{-1}				
1.275	28.33×10^{-1}		0.325	1.08×10^{-1}				
3.29	27.41×10^{-1}		0.21	1.7×10^{-1}				
2.915	12.14×10^{-1}		0.125	0.41×10^{-1}				

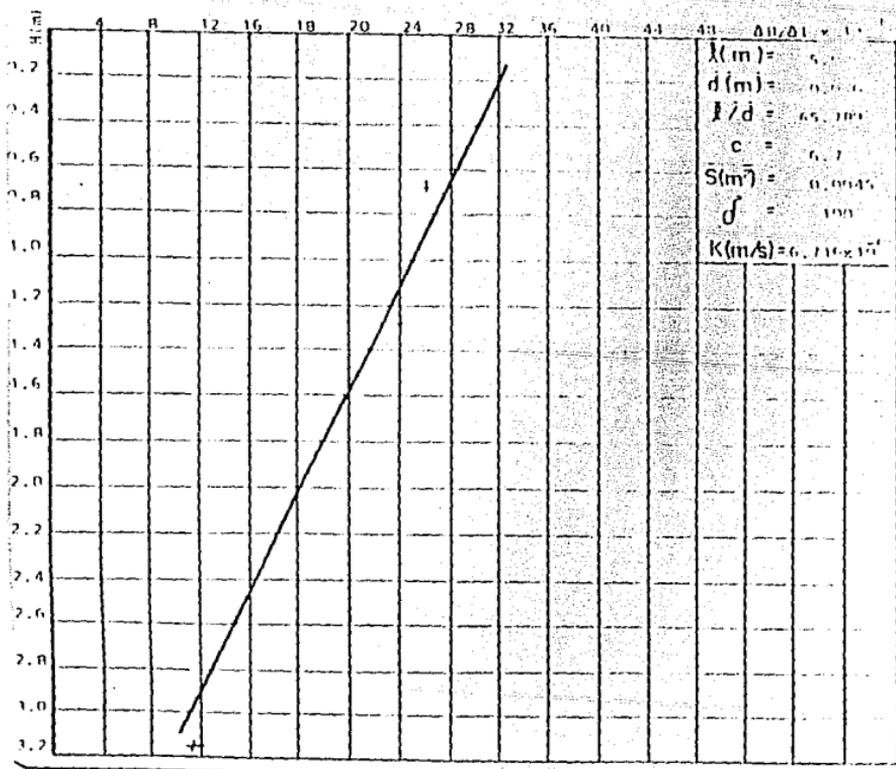


Fig.29. PRUEBAS "LEFRANC"

ORRA AEROPUESTA HAITICO TOLUCA
 MAYO DE 1983

SONDIO 2 EN 100000
 PRUEBA 1

TIEMPO DE 10.00 A 12.00 H
 A PARTIR DE 0.00 HORAS

H	$\Delta H/\Delta T$	Q	H	$\Delta H/\Delta T$	Q	H	$\Delta H/\Delta T$	Q
(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)
0.065	2.88×10^{-1}		0.92	1.33×10^{-1}				
0.470	1.48×10^{-1}							
0.91	4.42×10^{-2}							
1.045	1.48×10^{-2}							

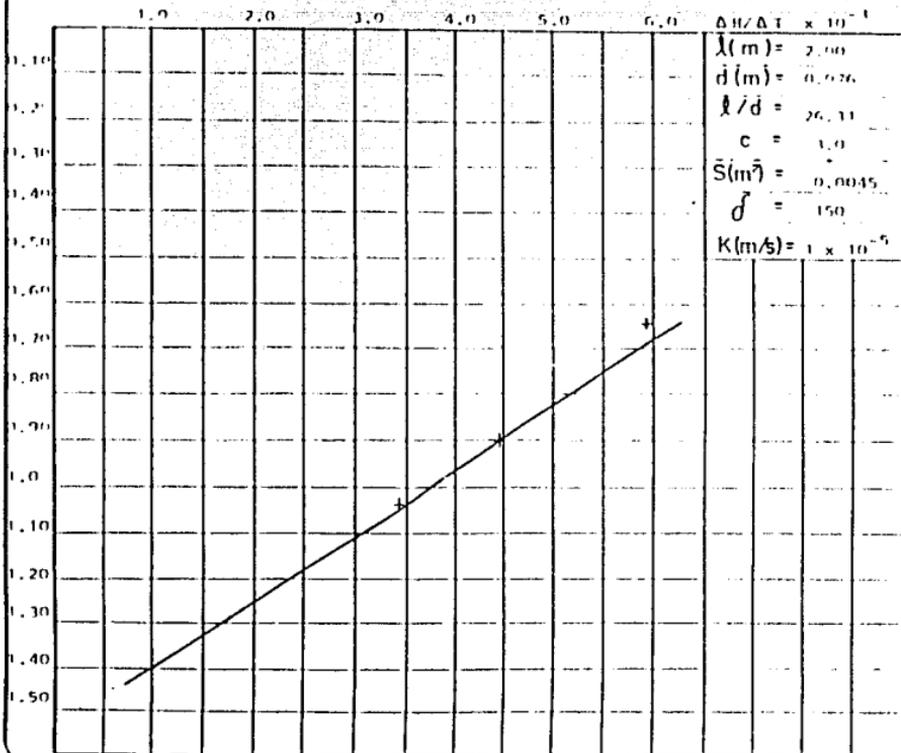
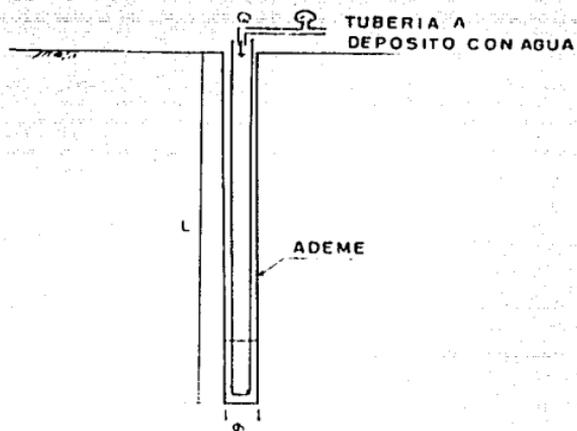


fig.30. PRUEBAS "LEFRANC"



- Q = GASTO QUE SE INYECTA
 L = LONGITUD DEL ADEME
 Ø = DIAMETRO DEL ADEME

TESIS PROFESIONAL



Alejandro Orozco Peño

FIG 31 ESQUEMA DE LA
 PRUEBA TIPO LEFRANC

3.5 NIVELES PIEZOMETRICOS

Se tomaron nueve lecturas durante un mes en cada piezómetro instalado en los sondeos 1, 2 y 3. Las lecturas se presentan en las tablas 1 y 2. No obstante que la toma de presión más profunda se encuentra al nivel 2525.0m (18 metros abajo del nivel de la subrasante), no se detectaron niveles de agua. Se recomendó continuar las lecturas, principalmente durante la temporada de lluvias para detectar primero y medir después las variaciones.

La instalación de los piezómetros se realizó en los pozos efectuados para los sondeos profundos los cuales se encontrarán ademados con bentonita causando problemas en el buen funcionamiento de los piezómetros. Para este caso se recomienda hacer nuevos pozos para la instalación de estos dispositivos.

Fecha	Piezometro No.	Elevacion Boquilla	Tomo de Presion		Espejo de Agua		Observaciones.
			Prof.	Elev.	Prof.	Elev.	
15/7/89	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2502	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2502	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
19/IV/89	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2502	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
22/IV/89	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
26/IV/89	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
29/IV/89	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3

TABLA I
CONTROL PIEZOMETRICO

Fecha	Piezometro No.	Elevacion Boquilla	Toma de Presion		Espejo de Agua		Observaciones.
			Prof.	Elev.	Prof.	Elev.	
2/VI/83	2	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
5/VI/83	3	2525	18.0 a 20.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 a 11.0	2507a2505	SECO	-	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 a 15.0	2492a2490	SECO	-	SONDEO No. 3
9/VI/83	3	2525	18.0 a 20.0	2507-2505	SECO	----	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0 - 11.0	2507-2505	SECO	----	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0 - 15	2492-2490	SECO	----	SONDEO No. 3
13/VI/83	3	2525	18.0 - 20.0	2507-2505	SECO	-----	SONDEO No. 1
	4	2525	9.0-11.0	2507-2505	SECO	-----	SONDEO No. 2
	5	2505	13.0-15.0	2492-2490	SECO	-----	SONDEO No. 3

TABLA 2
 CONTROL PIEZOMETRICO

CAPITULO 4

ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL KM 10+700

El presente análisis de estabilidad del talud del km 10+700 de la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta pretende revisar la condición del talud construido en base a la superficie de falla que presentó su deslizamiento y a los resultados obtenidos por el estudio de Mecánica de Suelos efectuados en el talud y así conocer el comportamiento de la estructura de tierra.

4.1 METODO SUECO APLICADO A TALUDES CON COHESION Y FRICCION

El Método Sueco fué sugerido por K.E. Petterson como resultado de sus observaciones sobre una falla impresionante del muro de un muelle de Goteborg, Suecia, en 1916. La escuela sueca encabezada por W. Fellenius propuso asimilar la superficie de falla real a una cilíndrica cuya traza con el plano del papel sea un arco de circunferencia; con esto se busca sobre todo facilidad en los cálculos. Actualmente recibe el nombre genérico de Método Sueco aquel procedimiento de cálculo de estabilidad de taludes en que se utiliza la hipótesis de falla circular.-3-

Así pues, el Método Sueco se utiliza para analizar la estabilidad de taludes de tierra, basándose en la hipótesis de una superficie cilíndrica de falla. Consiste en suponer superficies esféricas de deslizamiento, las cuales se contrarrestan con la fricción propia del material y su cohesión.

Las principales hipótesis que utiliza el Método Sueco son las siguientes:

- a) Falla circular
- b) El análisis es bidimensional, respondiendo a un estado de deformación plana.
- c) Es válida la ley de resistencia de Mohr-Coulomb*
- d) Se acepta que la resistencia al esfuerzo cortante se moviliza por completo y al mismo tiempo en todos los puntos de la superficie de deslizamiento.
- e) El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia promedio al esfuerzo cortante a lo largo de la superficie de falla y los esfuerzos cortantes actuantes.

El procedimiento que sigue el Método Sueco para analizar la estabilidad de un talud es la siguiente:

- 1.- Se establece una hipótesis sobre el mecanismo de falla, tanto en la forma en que se desarrolla, como el análisis de las fuerzas que producen dicho movimiento.

* Ley de resistencia Mohr-Coulomb: $s = c + \sigma \tan \phi$

- 2.- Se adopta una ley de resistencia para el suelo, de ésta se podrán analizar las fuerzas resistentes disponibles.
- 3.- Se establece algún procedimiento matemático, para definir si el mecanismo de falla propuesto podrá ocurrir o nó bajo la acción de las fuerzas motoras, venciendo el efecto de las fuerzas resistentes.

La superficie de deslizamiento propuesta alcanzará los límites de seguridad dependiendo del resultado de ese estudio, así se considera estable dicha superficie si su factor de seguridad alcanza valores mayores o iguales a 1.50.

El Método es aplicable a fallas del tipo rotacional, anteriormente descritas, en taludes cuya ley de resistencia al esfuerzo cortante se exprese como sigue:

$s = c$	Taludes con suelos cohesivos
$s = c + \sigma \tan \phi$	Taludes con suelos cohesivo-friccionantes.

en donde: s es la resistencia al corte, σ es el esfuerzo normal que actúa en el plano de falla, c cohesión y ϕ ángulo de fricción interna del material.

Otro aspecto importante es el estudio de estabilidad de taludes, es la influencia de un flujo de agua en la masa de suelo, así se hace un estudio con esfuerzos totales para suelos situados sobre el nivel de agua freática, o en el caso de un análisis que haya de hacerse con esfuerzos efectivos, para taludes situados total o parcialmente bajo el nivel freático o sometidos a una condición de flujo, para ello la ley de resistencia al esfuerzo cortante se expresa:

$$\text{Análisis con esfuerzos totales} \quad s = c + \sigma \tan \phi$$

$$\text{Análisis con esfuerzos efectivos} \quad s = c + \bar{\sigma} \tan \phi$$

en la que σ es el esfuerzo normal que actúa en el plano de falla y $\bar{\sigma}$ es el esfuerzo efectivo.

Los parámetros de resistencia se obtienen de pruebas triaxiales. Los valores de ϕ y ϕ deben obtenerse de pruebas presentando condiciones no consolidadas no drenadas para el primer tipo de análisis y consolidada con o sin drenaje para el análisis de esfuerzos efectivos.

El método de cálculo que se utiliza en este caso, es el de las dovelas para analizar la estabilidad de un talud, siendo una aplicación gráfica del Método Sueco, que a continuación se describe:

- 1.- Se propone un círculo de deslizamiento.
- 2.- Se divide en dovelas la superficie, a mayor número de dovelas los resultados del análisis se hacen más confiables.
- 3.- Se hace un análisis de las fuerzas que actúan en cada dovela, al igual que las fuerzas actuantes en todo el conjunto del círculo de falla en donde deben estar en equilibrio.

La seguridad del talud se expresa en términos del valor del factor de seguridad, siendo evidente que la condición de falla incipiente es cuando $F.S. = 1$.

Desde luego, no existe ninguna garantía de que el círculo escogido para efectuar el análisis sea el que conduce al factor de seguridad mínimo, por lo que se tendrán que analizar otros círculos hasta obtener una garantía razonable de haber encontrado el que produce el factor de seguridad mínimo susceptible de presentarse (círculo crítico).

No es fácil decir en general cuál deberá ser el valor de $F.S.$ que resulte más conveniente considerar en un cálculo dado, dependerá de la importancia que tenga la falla, la del propio talud, las características del suelo, lo detallado y confiable que sea el análisis de cargas y la evolución de la resistencia con el tiempo. En párrafos anteriores se mencionó un $F.S. = 1.50$ como un valor inicial razonable fijado por la experiencia en taludes permanentes.

En la siguiente parte de este capítulo se presenta el Método Sueco aplicado a la superficie de falla que se presentó en el deslizamiento del talud del km 10+700.

4.2 ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL KM 10+700 POR EL METODO SUECO PREVIO A SU REPARACION.

En las siguientes páginas se presenta un ejemplo representativo del talud en cuestión, haciendo uso para su análisis del Método Sueco, tomando como base la condición más desfavorable (material saturado y acción de fuerza sísmica). La superficie de falla que se propone es la descrita por el movimiento considerada como rotacional al pie del talud.

En la figura 32 se presenta el procedimiento gráfico de las dovelas, en la tabla 3 se dan los resultados obtenidos del análisis.

El procedimiento se describe a continuación:

1.- Se divide la masa de suelo considerada en el círculo de falla en dovelas.

2.- Se calcula el peso W_i de cada dovela de acuerdo al volumen de suelo contenido, de la siguiente manera: peso volumétrico por profundidad y un espesor unitario normal al plano analizado. Así $W_i = Vh$

3.- La longitud de arco de cada dovela se obtiene con la expresión: $L = 2Rr(/360')$.

4.- Se obtiene la sumatoria de la operación; cohesión por longitud de arco (cL).

5.- Se afectan los pesos W_i de cada dovela por el coeficiente sísmico ($a*W_i$), donde $a = 0.16$ obtenido su valor de la referencia 4 tomando en cuenta que la ubicación del problema es en zona de lomas. La acción sísmica se toma perpendicular a la peso. Su valor se representa gráficamente en la figura 32.

6.- La reacción al peso W_i se descompone en la dirección normal y tangencial a la superficie de deslizamiento en cada una de las dovelas afectado por la acción sísmica. En las columnas 10 y 11 de la tabla 3, se presentan los valores de las áreas obtenidas de los diagramas de fuerzas normales y tangenciales (figura 33).

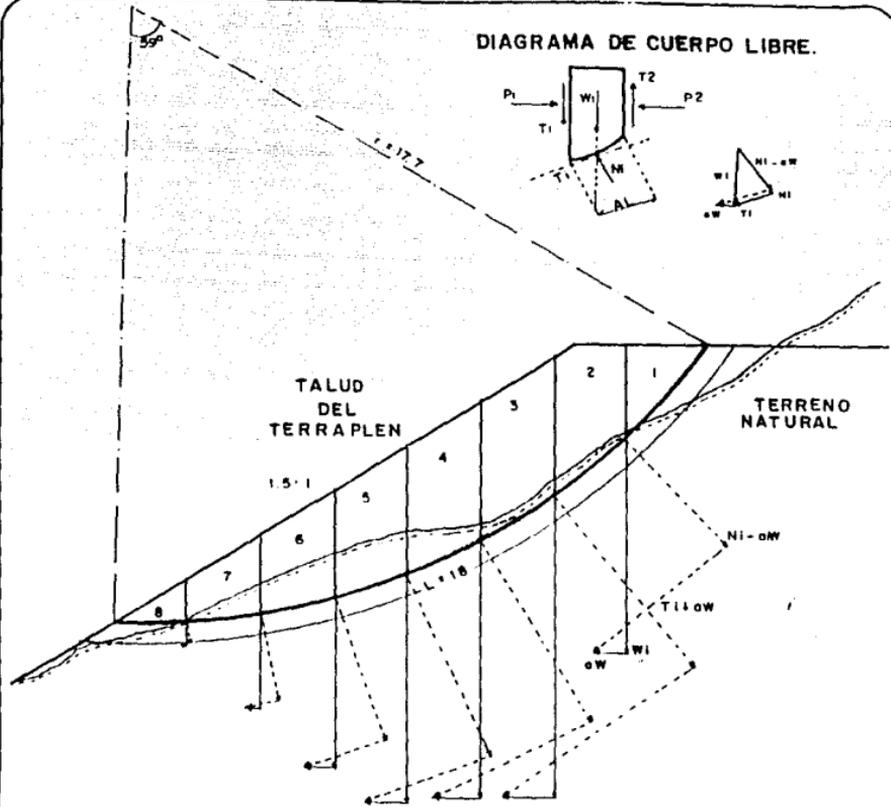
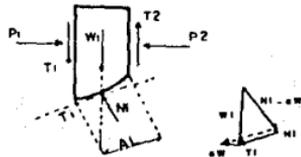
7.- Por último se considera estable o inestable el talud dependiendo del valor de F.S. obtenido y que se muestra al final de la tabla 3.

El equilibrio de cada dovela puede analizarse como se muestra en el diadrama de cuerpo libre. W_i es el peso de la dovela de espesor unitario. Las fuerzas N_i y T_i son las reacciones normales y tangenciales del suelo a lo largo de la superficie de deslizamiento AL_i ; las dovelas adyacentes, ejercen ciertas acciones sobre estas, que pueden representarse por las fuerzas normales P_1 y P_2 y por las tangenciales T_1 y T_2 .

En el procedimiento de dovelas se hace la hipótesis de que el efecto de las fuerzas P_1 y P_2 se contrarrestan; es decir, se considera que esas dos fuerzas son iguales, colineales y contrarias. También se acepta que el momento producido por las fuerzas T_1 y T_2 , que se consideran de igual magnitud, es despreciable.

Estas hipótesis equivalen a considerar que cada dovela actúa en forma independiente de las demás y que N_i y T_i equilibran a W_i .

DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE.



PROP. MECANICAS DE LOS MAT.		
	TERRAPLEN	TERRENO NATUR.
c	2 ton/m ²	8 ton/m ²
φ	10°	15°
γ	1.95 ton/m ³	1.90 ton/m ³

COEF. SISMICO. $\mu = 0.16$

TESIS
PROFESIONAL.
Alejandro Orozco Peña.

FIG. 32.

DIVISION DE LA MASA
DESGLIZANTE EN DOVELAS.

DIAGRAMA DE FUERZAS NORMALES

$$\Sigma (N \cdot \omega) \text{long} = 12.43$$

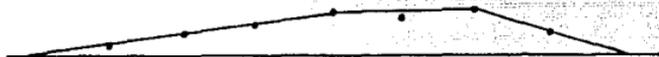
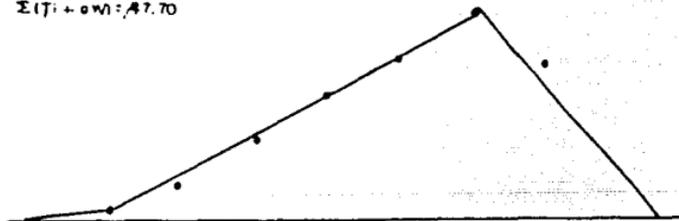


DIAGRAMA DE FUERZAS TANGENCIALES

$$\Sigma (T \cdot \omega) = 47.70$$



TESIS PROFESIONAL

Alejandro Orozco Peña.



FIG. 35.

DIAGRAMAS DE FUERZAS
NORMALES Y TANGENCIALES.

TABLA 3. METODO DE LAS DOUELAS

DOUELA	ALTURA h	P.U	PESO	ANGULO	TAN	LONG	CL	aW1	F. NORMALES	F. TANGENCIALES
1	3.00	1.95	5.05	10	0.176	3.71	7.42	.94	1.47	4.95
2	3.50	1.95	6.03	10	0.176					
	0.86	1.90	<u>1.52</u> 8.35	15	<u>0.268</u> 0.222	2.47	5.94	1.34	1.80	10.90
3	4.2	1.95	8.19	10	0.176	2.16	5.19	1.31	2.19	9.90
4	3.1	1.95	6.05	10	0.176					
	0.60	1.90	<u>1.14</u> 7.19	15	<u>0.268</u> 0.222	2.01	4.02	1.15	2.00	0.60
5	2.2	1.95	4.29	10	0.176					
	1.10	1.90	<u>2.09</u> 6.38	15	<u>0.268</u> 0.222	1.05	3.70	1.02	2.05	6.42
6	1.70	1.95	3.32	10	0.176					
	0.70	1.90	<u>1.33</u> 4.65	15	<u>0.268</u> 0.222	1.05	3.70	0.74	1.55	4.04
	1.30	1.95	2.54	10	0.176	1.39	2.70	0.41	0.74	2.19
	0.30	1.95	0.59	10	0.170	1.05	<u>3.70</u> 36.45	0.09	<u>0.22</u> Σ 12.43	<u>0.54</u> Σ 47.70

$$F.S = \frac{\sum(N_i - aW_i) \text{ TAN } \theta + \sum cL}{\sum(T_i + aW_i)} = \frac{12.43 + 36.45}{43.70} = 1.02$$

$$\frac{\sum(T_i + aW_i)}{43.70}$$

EN ESTAS CONDICIONES EL TALUD ES INESTABLE.

Debido a las condiciones a las que estuvo sometido el material que componen el terraplén y el terreno natural de la ladera antes de su reparación, el análisis toma en cuenta dos condiciones: primera; se analizaron las condiciones iniciales a las que estuvo sometido el talud antes de la temporada de lluvias, para ello; el espécimen ensayado con material en estado natural, se ensayó en pruebas de compresión triaxial no consolidada no drenada, presentadas en el anexo, cuyos parámetros fueron:

TERRAPLEN

$$c = 2\text{ton/m}^2$$

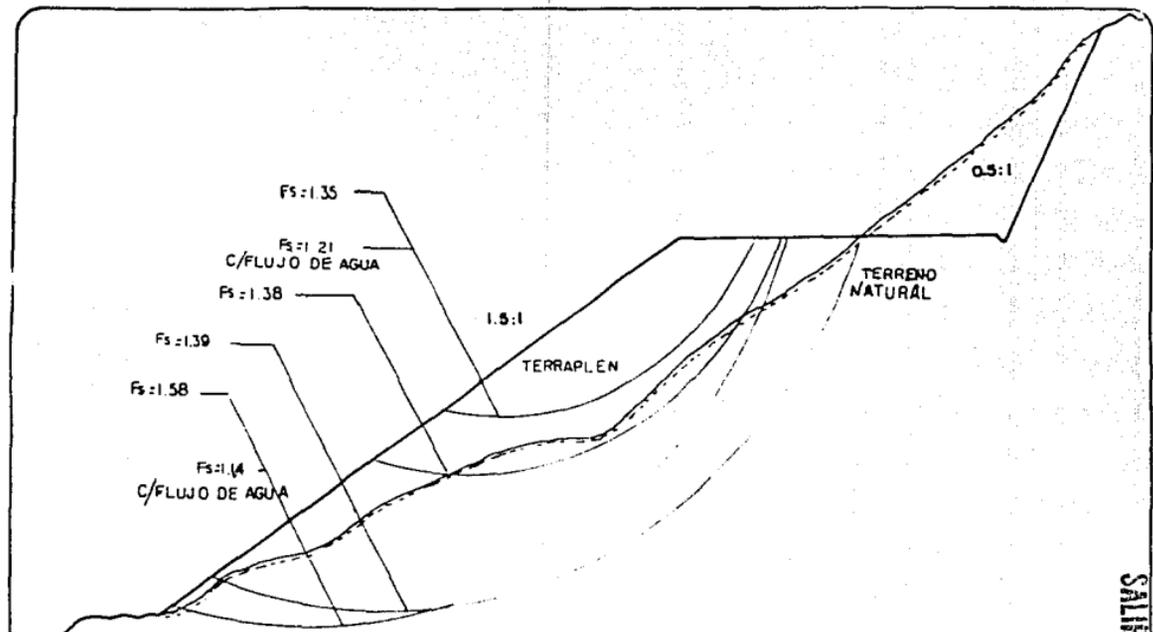
$$\phi = 20'$$

TERRENO NATURAL.

$$c = 10\text{ton/m}^2$$

$$\phi = 22.5'$$

En la figura 34 se dan los factores de seguridad obtenidos en los círculos de falla propuestos en el talud original, como puede observarse el talud se comporta estable, aún considerando un coeficiente sísmico de 0.16, valor asignado a la zona de lomas. El factor de seguridad se ve disminuido considerando flujo de agua en dos de los círculos propuestos.



	PV Ton/m ³	COHESION Ton/m ²	FRICCIÓN %
TERRAPLEN	180	2	20
TERRENO NAT.	180	10	22.5

COEF SISMICO = 0.16

TESIS PROFESIONAL



ALEJANDRO ORDÓZCO PENA.

FIG. 34. ANALISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD DEL KM. 10 + 700 CON ESPECIMENES CON CONTENIDO NAT. DE AGUA.

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

La segunda parte del análisis consistió en tomar como base los parámetros obtenidos de pruebas triaxiales efectuadas a especímenes saturados, ya que el cuerpo del terraplén se saturó con las filtraciones de agua presentadas en la temporada de lluvias. Los resultados de la prueba no consolidada no drenada con saturación previa fueron los siguientes:

TERRAPLEN

$$c = 1.5 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi = 15^\circ$$

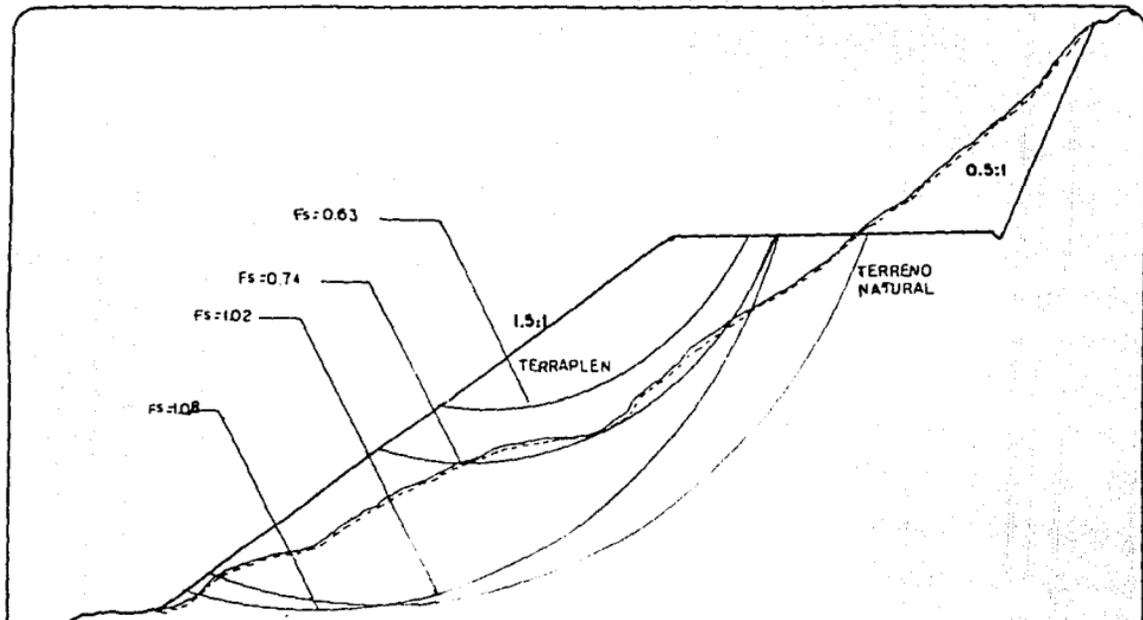
TERRENO NATURAL

$$c = 8 \text{ ton/m}^2$$

$$\phi = 20^\circ$$

Del mismo modo que en el caso anterior, en la figura 35 se muestran los factores de seguridad obtenidos para los círculos de falla propuestos. En el análisis se observó que el talud del terraplén con estas condiciones se comporta inestable, ya que los factores de seguridad están por debajo de la unidad o en la unidad, lo cual representa superficies potenciales de falla.

En el capítulo 5 se presenta el análisis de estabilidad del talud del km 10+700 con sus reparaciones.



	P V Ton/m ³	COHESION Ton/m ²	FRICCIÓN %
TERRAPLEN	195	150	15
TERRENO NAT.	100	8	20

COEF SISMICO = 0.16

TESIS PROFESIONAL



ALEJANDRO OROZCO PENA
 FIG. 35. ANALISIS DE
 ESTABILIDAD DEL TALUD
 DEL KM. 10 + 700 CON
 ESPECIMENES SATURADOS.

CAPITULO 5

METODOS CORRECTIVOS EMPLEADOS EN LA ESTABILIDAD DEL TALUD DEL Km 10+700

Los métodos correctivos para entabilar el talud del km 10+700 consistió en lo siguiente:

Primero se atacó el problema de la alcantarilla; el trabajo consistió en retirar el material que la había tapado, después se inyectó una lechada alrededor de ésta y en el cuerpo del terraplén, con la finalidad de sellar las canalizaciones presentadas por la tubificación.

En el análisis expuesto en el capítulo anterior se observó que el talud en condiciones de saturación, ocasionada por las filtraciones que se presentaron en la temporada de lluvias, contribuyeron a la inestabilidad del talud. Para contrarrestar el efecto, se construyeron obras de drenaje subterráneo; éstas consistieron en la colocación de drenes de penetración transversal ubicados estratégicamente en el talud del corte y terraplén, con sus respectivas canalizaciones para dar salida al agua dentro del terraplén.

Otro método correctivo empleado en la estabilidad del talud, fué la colocación de un pedraplén que funciona como un contrapeso al pie de la falla y como protección contra la erosión que pudiera ocasionar la corriente del arroyo localizado al pie de la ladera.

En las siguientes páginas se explican y justifican los métodos correctivos empleados en la estabilidad del talud del km. 10+700.

5.1 DRENES DE PENETRACION TRANSVERSAL

Antes de entrar en detalle en la instalación y justificación de los drenes de penetración transversal efectuados en el talud del km 10+700, se comentan aspectos referentes a este método.

Los drenes de penetración transversal denominados también drenes horizontales son instalaciones de subdrenaje que responden específicamente a la necesidad de abatir del interior del talud, las presiones generadas por el agua.

Consisten en tubos perforados en toda su periferia que penetran en el terreno natural en dirección transversal al eje de la vía, con la finalidad de captar las aguas internas y abatir sus presiones neutrales. Su instalación consiste en efectuar una perforación de 7.5 a 10cm de diámetro con una máquina automática provista del movimiento propio de avance y retroceso. Dentro de la perforación se coloca el tubo perforado de 5cm de diámetro, el cual suele ser galvanizado o de PVC. El tubo se coloca con una inclinación hacia la vía comprendida entre, 5 y 20%. La longitud de los drenes depende mucho de la geometría de la zona donde se instalan. El número de drenes depende del gasto de infiltración que se tenga que desalojar.

La descarga puede ser libre a la cuneta o a canalizaciones, que encaminen el agua a donde sea inofensiva. La parte del tubo perforado que queda próxima a la salida debe dejarse sin perforar en uno o dos metros, para evitar la invasión de vegetación a través de las perforaciones.

Los drenes de penetración transversal deben instalarse de manera que puedan ser objeto de un mantenimiento durante la conservación normal de la vía terrestre. Este mantenimiento consiste en su limpieza interior, incluyendo el destapar sus perforaciones. Para ello existe la maquinaria apropiada, generalmente a base de cepillos con cerda metálica, integrados a maquinarias de acción mecánica.

Para el caso del talud del km 10+700 fué necesario estabilizar con drenes de penetración transversal el corte y terraplén, debido a que se presentaron signos de inestabilidad antes descritos; ocasionados por las filtraciones en la temporada de lluvias.

Para su distribución, longitud y número se tomó como base la superficie descrita por la falla; actualmente los drenes cubren con amplitud las masas de suelo susceptibles de deslizarse. En las figuras 36 y 37 se presenta la red de distribución de los drenes horizontales, en planta y en corte.

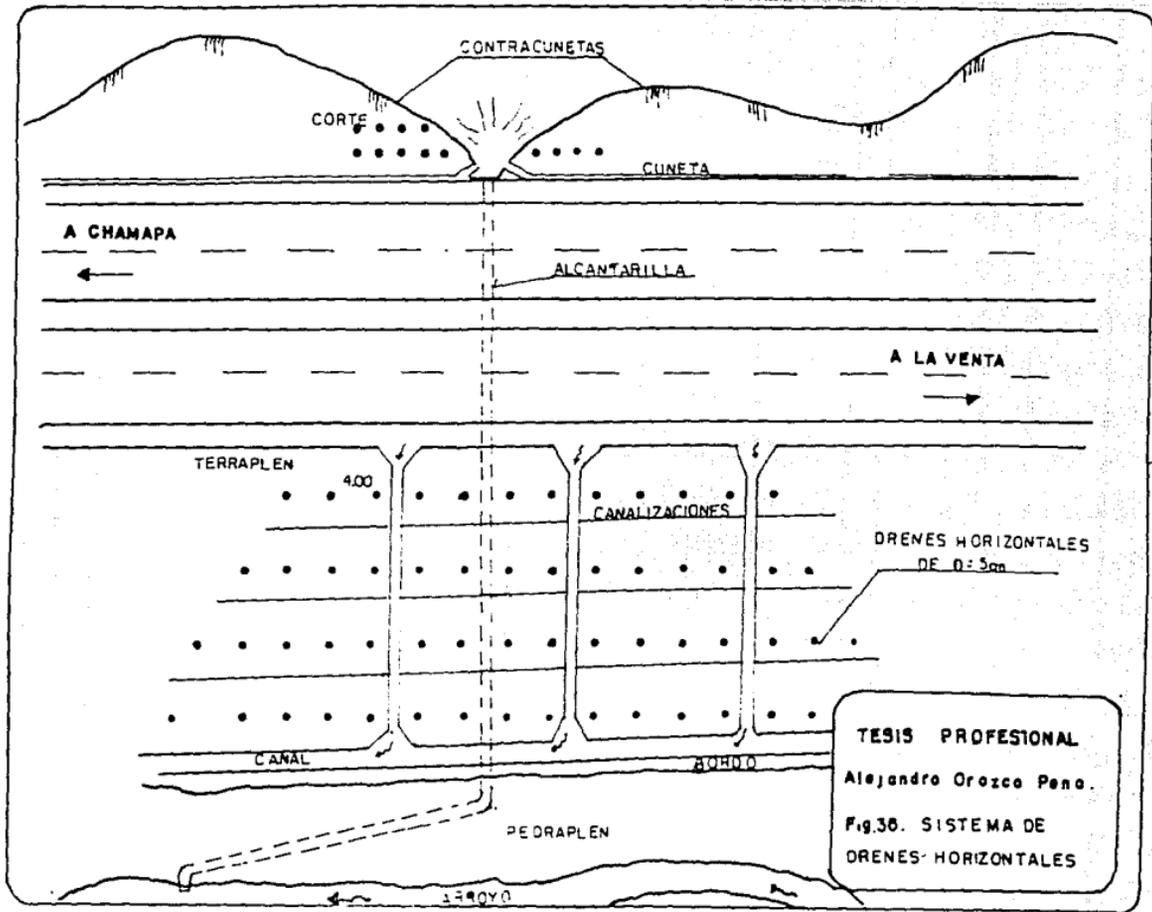
El sistema de drenes consistió en colocar 14 piezas en la parte baja del corte, separados entre sí 6 metros y dispuestos en dos filas a una altura de 3 y 6m respectivamente. En el talud del terraplén se instalaron 57 piezas separadas entre sí 4m aproximadamente y dispuestos en cuatro hileras abarcando todo el cuerpo del terraplén.

Los drenes de penetración transversal instalados son tubos de PVC perforados con una longitud de 25m cada uno y un diámetro de 5cm. La pendiente de cada tubo respecto a la vía es del 5%.

Para su instalación se construyeron plataformas de trabajo en el sentido longitudinal del talud, que a su vez sirven como canalizaciones para desalojar el agua captada por los drenes y los escurrimientos superficiales; esto con el fin de evitar erosión en el talud. También se construyeron tres canales revestidos sobre la sección del talud con la misma finalidad.

La respuesta del talud con el uso de los drenes horizontales fué favorable, ya que se abatieron las presiones neutrales de la masa de suelo cuya estabilidad interesaba.

En un análisis de estabilidad el factor de seguridad aumenta gracias al subdrenaje, ya que se reducen las fuerzas que provocan el movimiento.



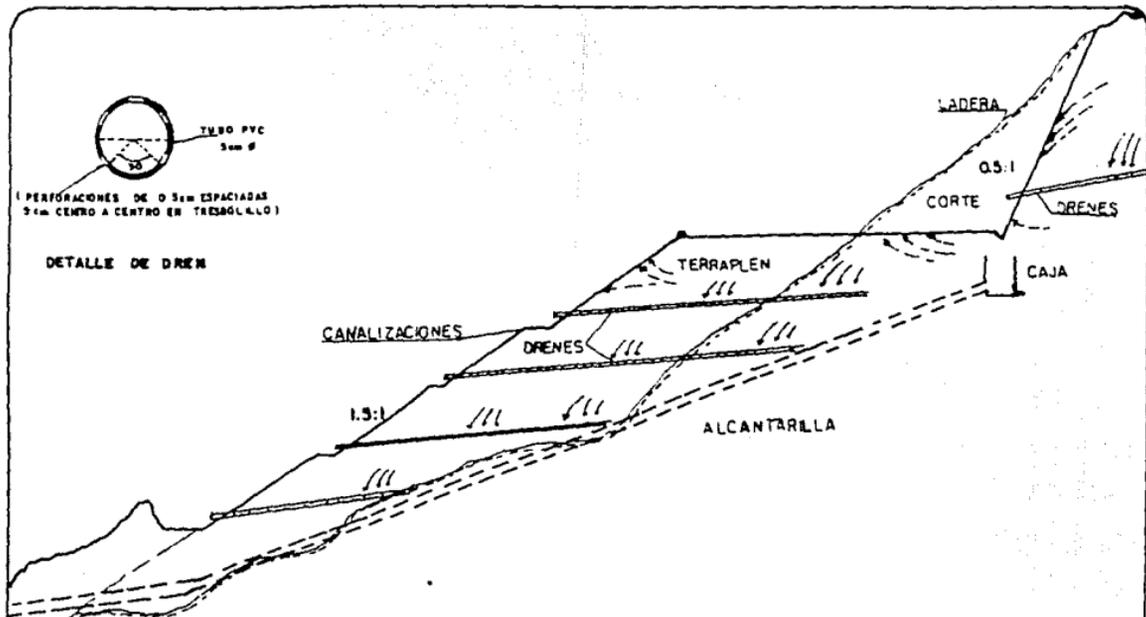
TESIS PROFESIONAL
 Alejandro Orozco Peno.
 Fig.36. SISTEMA DE
 DRENES HORIZONTALES



TUBO PVC
3 cm Ø

(PERFORACIONES DE Ø 3mm ESPACIADAS
2cm CENTRO A CENTRO EN TRESQUILLO)

DETALLE DE DREN



--- DIRECCION DEL FLUJO S/DREN
--- DIRECCION DEL FLUJO C/DREN

TESIS PROFESIONAL



ALEJANDRO OROZCO PEÑA

FIG. 37. CORTE DEL TALUD
MOSTRANDO LA DIRECCION
DEL FLUJO.

5.2 PEDRAPLEN

Con el propósito de estabilizar y prevenir de la erosión ocasionada por la corriente de agua localizada al pie del talud del terraplén, se construyó un pedraplén cumpliendo la función de contrapeso al pie de la falla.

La sección del pedraplén es de 20m de ancho por 100m de largo y 8m de altura, dispuesto longitudinalmente al eje de la vía; constituido con boleas, gravas y un contenido de finos menor del 12% con los siguientes parámetros de resistencia: $c = 0.25\text{ton/m}^2$ y $\phi = 25'$.

La selección del material que formaría el pedraplén se determino por pruebas índice efectuadas a boleas y gravas de las minas cercanas que explotan estos materiales, así como un estudio del tipo de roca, forma de fragmentos y características de la meteorización.

Previo a su colocación se determinó la resistencia del terreno de cimentación, para tener la seguridad de que soportaría el peso impuesto. El pedraplén esta constituido con fragmentos de rocas y suelos gruesos dispuestos en capas de mayor a menor espesor.

Primero se colocaron fragmentos de roca a volteo, hasta que se obtuvo una superficie de trabajo para que pudieran operar los equipos de construcción, en una capa de 2 m, después se tendieron los fragmentos de menos de 30 cm dispuestos en capas de 50 cm de espesor, hasta terminar en la fracción gruesa de 6mm en la capa superior.

"El empleo de contrapeso al pie de la falla busca dos efectos; en primer lugar, balancear el efecto de las fuerzas motoras en la cabeza de la falla, en forma similar a como lo hace una berma, a la que equivalen en algunos aspectos; en segundo lugar, incrementar la resistencia al esfuerzo cortante del material subyacente, cuando éste es de naturaleza friccionante. Consiste en colocar un peso suficiente de suelo o roca en la zona apropiada al pie de la falla." (vease referencia bibliográfica 1, pag.361)

En las figuras 38 y 39 se presenta el análisis gráfico de estabilidad del talud del km 10+700 con el pedraplén, ocasionando el aumento de las fuerzas resistentes y la disminución del momento motor debido al propio peso del pedraplén. En estas condiciones la superficie de falla por pie del talud propuesta resultó estable.

En la figura 40 se presentan los factores de seguridad obtenidos para superficies de falla propuestas, analizando el talud del kilómetro 10+700 con sus reparaciones. La influencia de los drenes de penetración colocados en el cuerpo del terraplén así como la construcción del pedraplén al pie de la falla dan como resultado factores de seguridad permisibles.

No se instrumentó el pedraplén, siendo necesario este aspecto para conocer su comportamiento y adquirir experiencia para futuras obras.

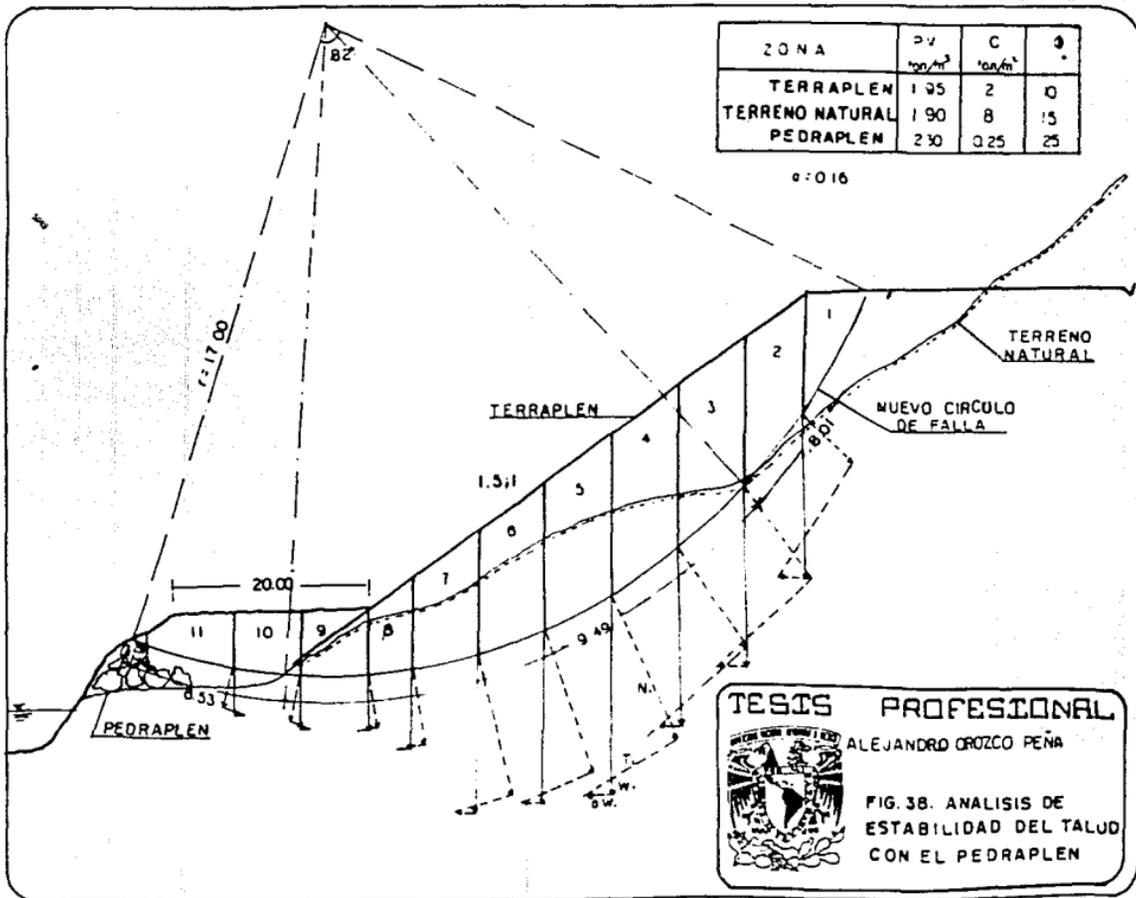


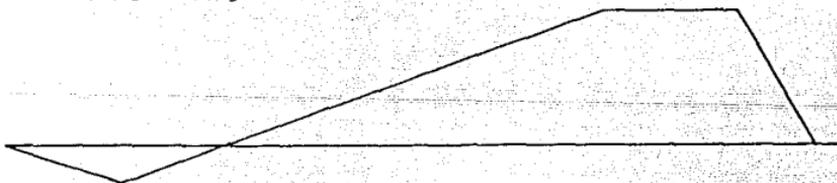
DIAGRAMA DE FUERZAS NORMALES

$\sum (N_i \cdot \Delta w_i \cdot l_{\text{total}}) = 14.55$



DIAGRAMA DE FUERZAS TANGENCIALES

$\sum (T_i \cdot \Delta w_i) = 74.10$



TESIS PROFESIONAL

Alejandro Orozco Peña



FIG. 39. DIAGRAMAS DE FUERZAS NORMALES Y TANGENCIALES.

TABLA 4. ANALISIS DE ESTABILIDAD CON CONTRAPESO

BOBELA	ALTURA h	P.V	PESO	ANGULO	TAN	LONG	CL	AVI	F. NORVALES	F. TANGENCIALES
1	3.4	1.95	6.63	10	0.176			1.04		8.70
2	3.0	1.95	5.05	10	0.176					
	1.0	1.90	1.90 7.75	15	0.268 0.222	1.01	14.02		1.00	10.58
3	4.0	1.95	7.00	10	0.176			1.25		
4	2.7	1.95	5.27	10	0.176					
	1.6	1.90	3.94 0.34	15	0.268 0.222			1.33		
5	2.0	1.95	3.10	10	0.176					
	1.8	1.90	3.42 7.32	15	0.268 0.222	1.49	75.92	1.17	4.50	40.60
6	1.5	1.95	2.93	10	0.176					
	1.7	1.90	3.23 6.61	15	0.268 0.222			1.06		
7	0.6	1.95	1.17	10	0.176				7.05	
	1.3	1.90	2.47 3.68	15	0.268 0.222			0.58		
8	1.4	1.90	2.66	15	0.268			0.43		
9	1.4	1.90	2.66	25	0.466			0.43		
10	1.2	1.90	2.28	25	0.466	6.53	1.03	0.36	6.00	-10.00
11	0.4	1.90	0.74	25	0.466			0.12		
							73.57		Σ14.55	Σ74.18

DE LA EXPRESION A SE OBTIENE EL FACTOR DE SEGURIDAD.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones y recomendaciones son las siguientes:

Los taludes son estructuras muy complejas que presentan puntos de vista dignos de estudio y a través de los cuales la naturaleza se manifiesta de formas diversas. Se deberá hacer un estudio tan detallado como el del talud del km 10+700 de la autopista México-Toluca, tramo Chamapa-La Venta si su importancia lo amerita.

En el tratamiento de un problema de estabilidad de taludes no se deberá escatimar en la prevención y corrección de posibles fallas, ya que el factor seguridad se sobrepondrá al económico.

Teniendo en cuenta que alrededor de las alcantarillas son lugares críticos para efectuar una buena compactación, se deberá vigilar muy especialmente la superficie de los materiales que se coloquen a su alrededor, así como un mantenimiento periódico para garantizar su buen funcionamiento.

Deberá cuidarse el sellado de cualquier grieta, juntas de construcción, contacto entre materiales diversos, etc.; que pueda haber en los elementos estructurales de los que se haga uso en el drenaje general, ya que al descuidar este aspecto se pueden presentar arrastres de material producto de filtraciones, provocando superficies de falla en la estructura de tierra.

En el caso de la alcantarilla instalada en el km 10+700, se observó que su diámetro fué insuficiente. Se recomienda para futuras instalaciones de este tipo, alcantarillas de mayor diámetro, tomando en cuenta la precipitación y el arrastre de material sólido que se presente en la región.

La omisión de escalones de liga en terraplenes construidos sobre laderas inclinadas ha causado problemas en muchos casos. Se deberá cuidar este aspecto, no escatimando en los movimientos de tierra que se tengan que hacer para proporcionar a un terraplén apoyo horizontal. Esto se logra con escalones de liga eliminando la componente del peso del terraplén a lo largo de la superficie de contacto con el terreno natural, y por lo tanto la causa de la posible falla.

Realizar estudios geotécnicos de amplio alcance que permitan estimar la extensión total de los materiales potencialmente peligrosos, con base en esta información podría intentarse predecir no sólo la posición de nuevas superficies de falla sino además cuantificarlas.

El análisis de estabilidad con varias alternativas para tratar un problema de inestabilidad de un talud marca la pauta para escoger de entre ellas, la que mejor cumpla su función tomando en cuenta que la solución sea lo más posible de realizarse tanto constructiva como económicamente.

Dotar a las futuras estructuras de tierra de drenaje subterráneo en condiciones similares a las del problema estudiado trae consigo un aumento en la estabilidad, ya que modifica los pesos volumétricos, elimina la subpresión y las fuerzas de filtración, lo que produce un aumento en las fuerzas resistentes.

El uso de un pedraplén al pie del talud, además de proteger al talud contra la erosión cuando exista alguna corriente fluvial, funciona como contrapeso estabilizando el talud al pie de la falla.

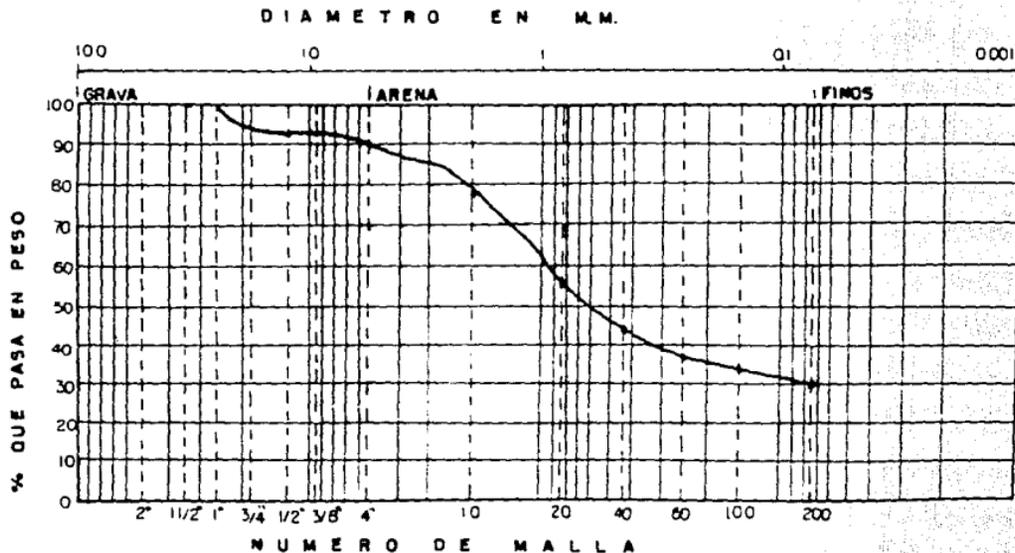
La instrumentación de estructuras de este tipo determina su comportamiento y así poder evaluar si la elección de los métodos correctivos cumplen su función estabilizadora. Para ello se recomienda cuidar este aspecto para futuras obras.

A N E X O

CURVA GRANULOMETRICA, RESULTADOS DE ENSAYES EN COMPRESION TRIAIXIAL, Y COMPRESION SIMPLE.

TALUD
CHAMAPA-LA VENTA
Km 10+700

RESUMEN:
CURVA GRANULOMETRICA



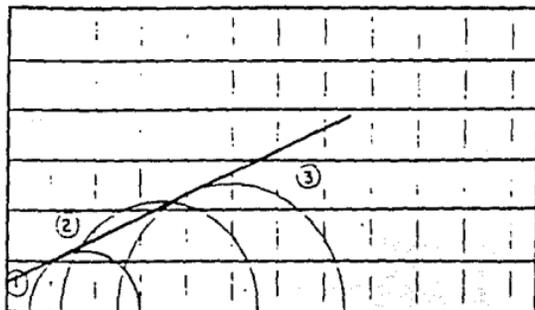
$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $> 5 =$ _____ %
 $D_{30} =$ _____ D_{10} _____ $G =$ 10 %
 $D_{60} =$ _____ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $A =$ 60 %
 $D_{10} \times D_{60}$ $P =$ 30 %

TALUD
CHAMAPA-LA VENTA
Km 104700

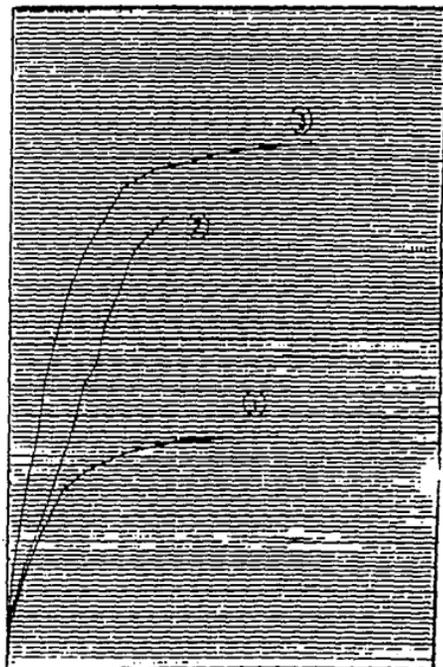
COMPRESION TRIAXIAL

PRUEBA	w_i %	w_f %	e_i	e_f	σ_1 %	σ_2 %	σ_3 kg/cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²
1	29.39	-	1.12	-	100.000	-	13.125	13.125
2	22.81	-	0.678	-	88.082	-	0.250	0.684
3	25.74	-	0.864	-	78.656	-	0.50	1.0316
PESOS VOLUMÉTRICOS					$\theta = 24.5^\circ$ $C = 1.5$ 1/m ²			
INICIALES			FINALES					
T_d			kg -		TIPO DE PRUEBA -			
T_h			kg -		NO CONSOLIDADA NO			
T_{sat}			kg -		DRENADA			
T_w			kg -					
T_c			SL = 2.64					

ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)



ESFUERZO DESVIADOR (kg/cm²)



ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)

TALUD CHAMAPA - LA VENTA KM 104700

ESFUERZO DESVIADOR (kg/cm²)

1.10 A 1.30

DEFORMACION UNITARIA (%)

PCB - 2

SONDEO

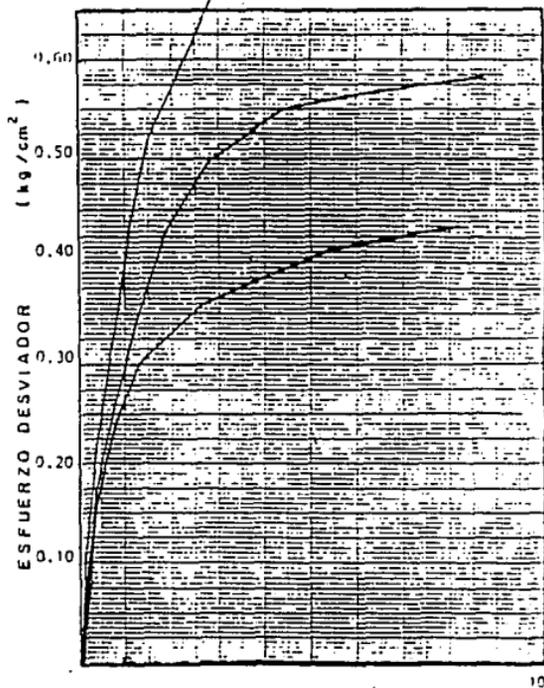
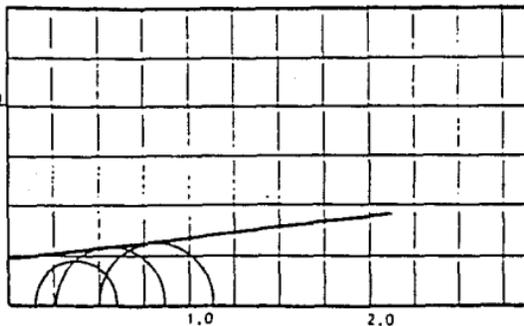
FECHA JUNIO 79

TALUD
CHAMAPA-LA VENTA
Km. 10 + 700

COMPRESION TRIAXIAL

PRUEBA	ω_1 σ_3	ω_2 σ_3	e_1	e_2	G_1 σ_3	G_2 σ_3	G_3 kg/cm^2	$G_4 - U_1$ kg/cm^2
1	36.226	--	1.404	--	9.168	--	0.125	0.440
2	35.230	--	1.406	--	7.171	--	0.250	0.586
3	37.054	--	1.293	--	6.792	--	0.500	0.787
PESOS VOLUMETRICOS				$\theta = 11^\circ$ $C = 2.41/\text{m}^2$				
INICIALES		FINALES						
T_s			kg/m^3	TIPO DE PRUEBA				
T_n	1.5427		kg/m^3	NO CONSOLIDADA NO DRENADA				
T_{10t}			kg/m^3					
ρ_w			kg/m^3	$S_r = 2.68$				

ESFUERZO TANGENCIAL (kg/cm^2)



ESFUERZO NORMAL (kg/cm^2)

DEFORMACION UNITARIA (%)

ESTUDIO CARRETEPA CHAMAPA-LA VENTA K1 10 + 700
MUESTRA N.º PROFUNDIDAD 5.00 m

SONDEO FCA-3
FECHA JUNIO 11

OBSERVACIONES

TALUD
 CHAMAPA - LA VENTA
 Km 10 + 700

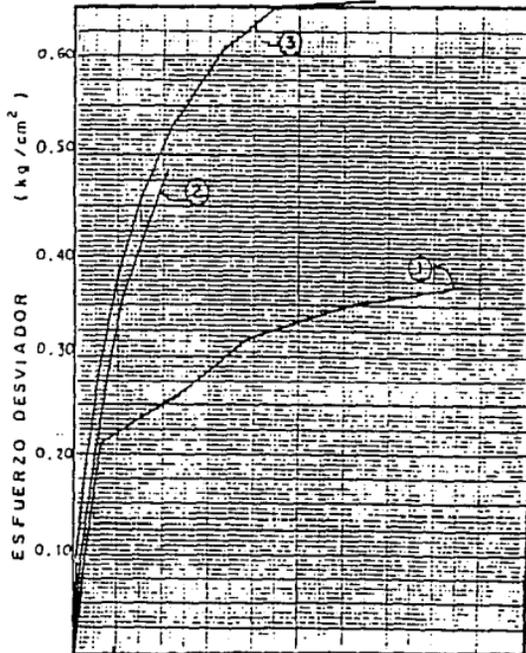
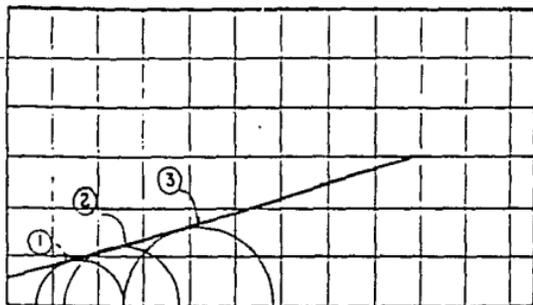
COMPRESION TRIAXIAL

PRUEBA	ω_i %	ω_f %	e_i	e_f	G_i %	G_f %	σ_3 kg/cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²
1	57.39	--	1.752	--	88.77	--	0.125	0.375
2	52.25	--	1.696	--	83.51	--	0.250	0.4814
3	54.08	--	1.737	--	84.37	--	0.500	0.6681

PESOS VOLUMETRICOS

INICIALES		FINALES		$\phi = 15^\circ$	$C = 1.51/m^2$
T_d			kg/m ³		
T_h	1.5357		kg/m ³	NO CONSOLIDADA NO	
T_{sat}			kg/m ³	DRENADA (C/SATURACION)	
w_p		$S_s = 2.71$			

ESFUERZO TANGENCIAL (kg/cm²)



ESFUERZO NORMAL (kg/cm²)

DEFORMACION UNITARIA (%)

ESTUDIO TALUD CHAMAPA - LA VENTA Km 10 + 700

SONDEO P-1-3

MUESTRA 1 PROFUNDIDAD 1.10 A 1.00 m

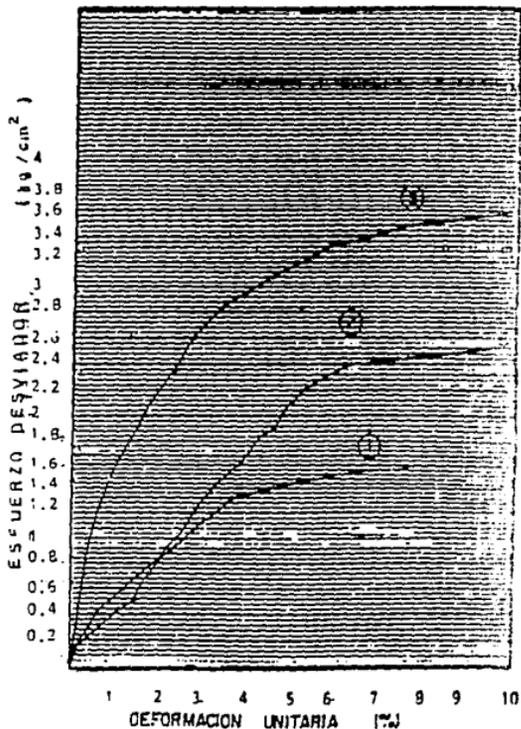
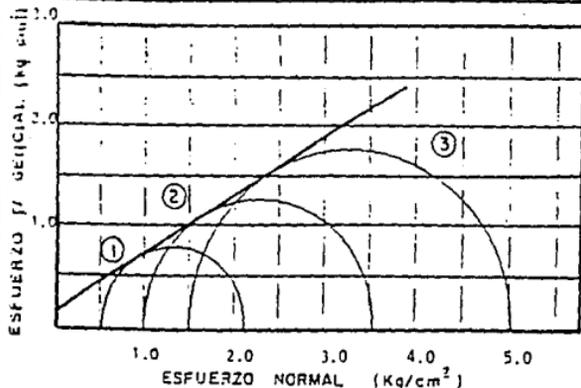
FECHA JUNIO DE 1987

OBSERVACIONES

TALUD
CHAMAPA - LA VENTA
Km 10+700

COMPRESION TRIAXIAL

PRUEBA	ω_i %	ω_f %	e_i	e_f	G_i %	G_f %	σ_3 kg/cm ²	$\sigma_1 - \sigma_3$ kg/cm ²
1	45.009	--	1.612	--	73.142	--	0.50	1.9501
2	36.269	--	1.234	--	77.019	--	1.00	2.4860
3	40.958	--	1.012	--	100	--	1.50	3.5519
PESOS VOLUMETRICOS								
INICIALES		FINALES		$\beta = 30^\circ$ $C = 1.75$ 1/m ²				
P_i	1.331			TIPO DE PRUEBA:				
P_f	1.638		kg/m ³					
P_{sub}			kg/m ³					
γ_c			2.62					



ESTUDIO: CARR. CHAMAPA - LA VENTA KM 10 + 700

SONDEO: SM - 6

MUESTRA: N - 7 PROFUNDIDAD: 6.66 - 5.82

FECHA: JUNIO 89

PREPARACIONES:

compresión simple

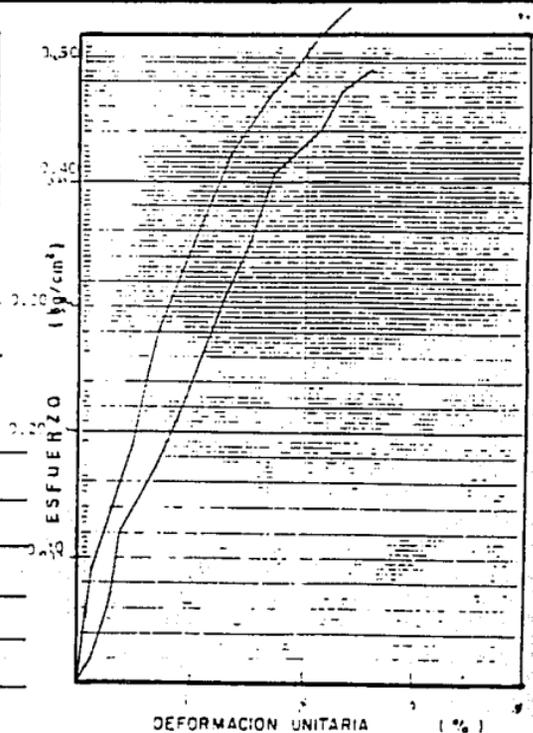
Sondeo	Muestra	Profundidad m	Nº	w %	e	S_u	σ'_c 'ton/m ²	σ'_{max} kg/cm ²
SM-6	-	5.56-5.12	01	73.4	1.726	2.62	11.847	13.4939
SM-6	-	5.56-5.12	02	63.8	2.224	2.62	12.20	13.3424

Estudio TALUD CHAMAPA - LA VENTA Km 10 - 700

Procedencia BARRETERA MEXICO-TOLUCA

Fecha JUNIO 89

Observaciones _____



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

- 1.- Alfonso Rico y Hermilo Del Castillo. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres, Volumen 1; México Limusa; 1974.
- 2.- Juárez Badillo y Rico Rodríguez. Mecánica de Suelos, Tomo 1, 2 y 3; México Limusa; 1974.
- 3.- Karl Terzaghi y Ralph B. Peck. Mecánica de Suelos en la Ingeniería Civil, El Ateneo.
- 4.- Características geológicas y geotécnicas del Valle de México. Comisión de Vialidad y Transporte Urbano. México 1986.
- 5.- El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos. México 1979.
- 6.- Manual de Diseño de Obras Civiles, Geotécnia; Tomo B.1.5; México C.F.E.; 1979.
- 7.- Nabor Castillo Flores. Investigación sobre Estabilidad de Taludes y Fundaciones. ENEP Acatlán; 1984.