



2  
29  
Universidad Nacional Autónoma  
de México

Escuela Nacional de Estudios Profesionales  
"Acatlán"

ANALISIS Y ESTUDIO DE DEFORMACIONES  
EN EL Km 261 DE LA VIA FERREA  
COATZACOALCOS - MERIDA

T E S I S

Que para obtener el título de

INGENIERO CIVIL

presentan



ENEP - ACATLÁN  
Depto. de Admón. Escolar

Salvador Ignacio Camacho Alcazar  
Ricardo Torres Velázquez

Asesor: M. en I. Rubén Benjamín Reyes Reyes

Acatlán, Edo. de Méx.

1989

TESIS CON  
FALSA 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.
- INTRODUCCION	1
I. ANTECEDENTES	4
I.1 Generalidades	4
I.2 Identificación del problema	6
I.3 Características regionales	7
II. ESTUDIOS PRELIMINARES	9
II.1 Trabajos de gabinete	9
II.2 Trabajos de campo	12
III. EXPLORACION Y MUESTREO	15
III.1 Estudio Geofísico	15
III.2 Exploraciones Directas	18

	PAG.
III.3 Estratigrafía	20
IV. PRUEBAS DE LABORATORIO	21
IV.1 Pruebas índice	21
IV.2 Pruebas mecánicas	22
IV.3 Características y propiedades de los materiales	23
V. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION	26
V.1 Síntesis descriptiva de la información	26
V.2 Análisis de la información	28
V.3 Interpretación de resultados	30
VI. IDENTIFICACION DE ALTERNATIVAS	32
VI.1 Revisión del problema	32
VI.2 Identificación de alternativas	34

	PAG.
VII. EVALUACION DE ALTERNATIVAS Y SELECCION DE LA MAS CONVENIENTE	35
VII.1 Analisis de alternativas	35
VII.2 Descripción de la alternativa de solución propuesta	39
- ANEXO FOTOGRAFICO	
- CONCLUSIONES	44
- BIBLIOGRAFIA	48

## INDICE DE FIGURAS

1. Localización de la vía Coatzacoalcos - Mérida.
2. Localización de la Zona del Problema.
3. Plano topográfico.
4. Curvas de isorresistividad.
5. Localización de sondeos.
6. a 8. Cortes estratigráficos de sondeos mixtos y continuos.
9. a 14. Cortes estratigráficos de pozos a cielo abierto.
15. a 16. Curvas de compresibilidad del material ensayado.
17. Secciones transversales.
18. Perfil de vía.
19. a 20. Distribución granulométrica del material del Banco Tacotalpa.
21. Segunda Alternativa.
22. Alternativa de Solución.

23. Planta de Drenaje.

## INDICE DE CUADROS

- IV.1 Resultados en ensayos de compresión simple.
- IV.2 Resultados en pruebas de expansión, libre y bajo carga ( de 0.5 y 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>).
- IV.3 Cuadro comparativo de propiedades para diferentes grados de alteración.
- VII.1 Requerimientos de calidad para capa Sub-balasto.



## INTRODUCCION

El constante desarrollo de la ingeniería, nos ha llevado a conocer y descubrir variadas y novedosas técnicas para resolver problemas de suelos; tal es el caso de las membranas geotextiles, que en la práctica tienen numerosas aplicaciones.

El presente trabajo, originalmente pretendía abarcar lo referente a estos materiales, sus propiedades y aplicaciones; sin embargo, nos dimos cuenta que dicho tema involucraba una serie de conceptos, que de una u otra forma, ya habían sido tratados en otros trabajos; afortunadamente, en el momento apropiado, encontramos el tema que

es motivo de este trabajo, -El Análisis y Estudio de Deformaciones en el Km 261 de la Vía Férrea Coatzacoalcos - Mérida-.

A medida que nos adentramos en el problema, nos dimos cuenta que éste cubría una serie de inquietudes, como el manejo de ensayos de laboratorio y otros problemas de vías terrestres, por lo que decidimos abordarlo.

El problema es interesante y novedoso. plantea como principal objetivo, el conocimiento de las causas que han generado deformaciones en el Km 261 de la vía férrea Coatzacoalcos-Mérida; la información existente que se obtuvo del lugar, se analizó y se revisó, de tal forma que se identificaron varias alternativas factibles de resolver el problema, y se determinó aquella que de acuerdo a la evaluación, resultara la más conveniente.

El análisis del problema fué dividido en siete partes fundamentales: primeramente, se analizaron las condiciones existentes en el lugar, su magnitud y variación con el tiempo. El segundo capítulo comprendió los estudios preliminares que se llevaron a cabo, para conocer las características del fenómeno. El capítulo tres contempló el programa de exploración y muestreo que se realizó para

obtener la estratigrafía del lugar, y así poder conocer el mecanismo de las deformaciones. Como parte fundamental de el trabajo, en el capítulo cuatro, se revisaron los ensa-yes de laboratorio efectuados, esto permitió conocer las características físicas y mecánicas de los materiales mueg-treados. El objetivo del capítulo cinco fué recapitular toda la información revisada, estableciendo los criterios necesarios de interpretación, que permitieron definir am-pliamente el problema. Una vez definido este, en el capi-tulo seis, se identificaron las soluciones factibles de resolverlo. Finalmente en el capítulo siete, se evaluaron las alternativas propuestas, determinando la más convenien-te desde los puntos de vista técnico y económico.

Planteados el trabajo de esta manera, creemos que se satisfacen plenamente los objetivos propuestos.

No sin antes terminar esta introducción, deseamos dejar plena constancia de nuestro agradecimiento al M. en I. Rubén Benjamín Reyes Reyes, por la especial ayuda que nos brindó, en sus comentarios y consejos, que nos permiti-eron concluir satisfactoriamente este trabajo.

## I. ANTECEDENTES

### I.1 Generalidades

En 1952 se terminó la construcción de la vía Coatzacoalcos - Mérida, la cual está constituida, en general por durmientes de madera y rieles de 100 lb/yd.

Este medio de comunicación ha permitido el desarrollo económico y social de ambas ciudades, así como de las poblaciones que atraviesa en su recorrido.

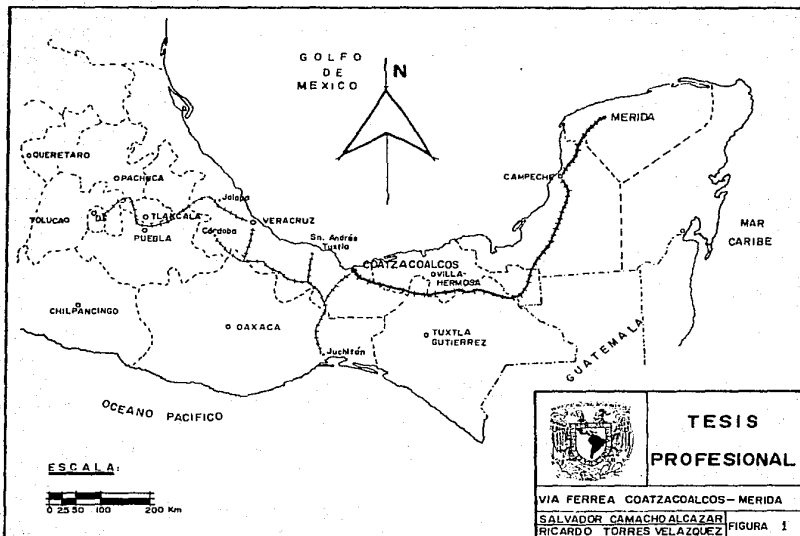
Esta vía une el centro con el sureste del país, a-

travesando los estados de Tabasco, Chiapas y Campeche. El trazo de la vía es en general este-oeste, hasta la población de Tenosique, Tab., donde cambia a dirección norte-sur, hasta la Cd. de Mérida, Yuc., en la figura 1 se muestra la localización de la vía.

Para facilitar la operación y mantenimiento de sus vías, Ferrocarriles Nacionales de México, las ha dividido en distritos; al respecto, la vía Coatzacoalcos - Mérida, atraviesa los siguientes (9):

CADENAMIENTOS	DISTRITO
0+000 - 220+000	MEZCALAPA
220+000 - 400+000	USUMACINTA
400+000 - 720+000	ESCARCERA
720+000 - 895+000	CAMPECHE

La vía en su totalidad, recorre 895 km, presentando grados máximos de curvatura de 8°, y pendientes menores de 1.15 %.



## I.2 Identificación del Problema

En general la vía enfrenta fallas frecuentes que se reflejan en el deterioro de sus terracerías y superestructura, debido principalmente a las condiciones naturales y climatológicas que dominan en la región, así como el incremento del tráfico de trenes como consecuencia del desarrollo económico de ésta.

Esta situación ha provocado problemas de estabilidad en las terracerías y en la superestructura, que se agravan en temporada de lluvias, afectando la operación y seguridad de los trenes.

Con el propósito de solucionar estos problemas, Ferrocarriles Nacionales de México, en su "Programa de Modernización del Sistema Ferroviario Nacional", contempló la rehabilitación de esta vía, desde los puntos de vista geotécnico y de drenaje.

Particularmente en el Km 261, se presentan irregularidades que se manifiestan en cambios volumétricos en el

terreno de apoyo y contaminación del balasto, ocasionando que la vía se tenga que renivelar periódicamente. Desde un punto de vista general, se puede decir que la vía está afectada localmente, ya que las deformaciones que se presentan, no exceden los 100 m de longitud; sin embargo, provocan que en esta zona, el tren circule a velocidades menores a las de operación, aumentando los tiempos en los recorridos, ocasionando retraso e inseguridad.

### I.3 Características regionales

#### a) Localización

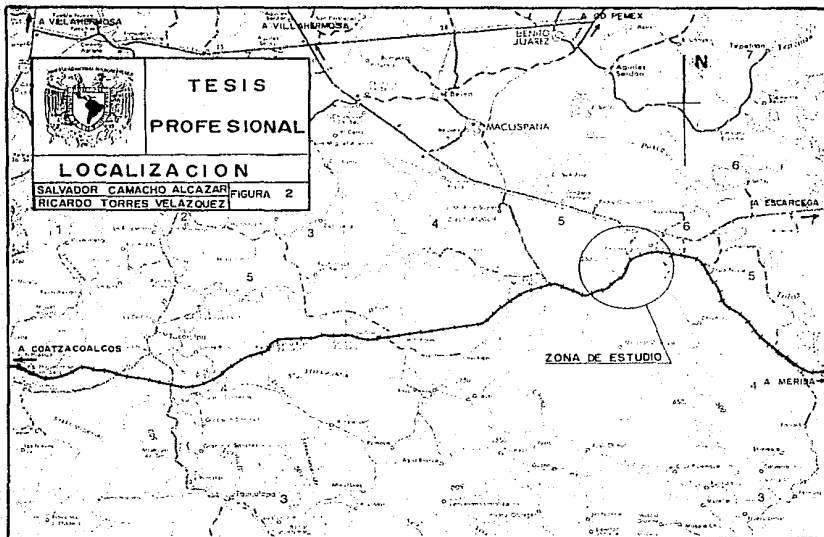
Geográficamente la zona del problema se ubica entre los meridianos 17°30' y 17°40' latitud norte, y los paralelos 93°15' y 92°30' de longitud oeste, aproximadamente a 66 km al sureste de Villahermosa, Tab., ver figura 2.

#### b) Clima

La zona en estudio, presenta un clima húmedo a semicálido, su temperatura media anual es de



26°C con máximas de 31°C entre los meses de mayo a agosto; su precipitación media anual es de 3000 mm, con máximas mensuales de 574 mm, ocurridas entre los meses de julio a octubre; su humedad relativa es del 80 %, la cual se considera muy alta (8).



## II. ESTUDIOS PRELIMINARES

Con el propósito de conocer el estado actual de la zona en estudio, sus características y condiciones más importantes; en primer lugar se recopiló en gabinete la información sobre la región y posteriormente se llevó a cabo un recorrido de campo, para obtener mayor información y comprobar la existente.

### II.1 Trabajos de Gabinete

Los trabajos de gabinete consistieron, en primera instancia, en un estudio fotogeológico por medio de foto-

grafías aéreas de la zona, escala 1:30,000; revisión de planos geológicos, escala 1:250,000; al mismo tiempo se estudió la hidrología de la zona, tanto superficial como subterránea, en planos escala 1:250,000; al respecto, se obtuvo la siguiente información (8):

a) Fisiografía

La zona del problema se localiza en los límites de las provincias fisiográficas de la Planicie Costera del Golfo y las Tierras Altas de Chiapas y Guatemala.

b) Topografía

Morfológicamente el área del problema, se encuentra en una zona de lomeríos de suave pendiente donde predominan las tierras bajas, presentándose alturas máximas de 250 m.

c) Hidrografía

Su red hidrográfica es compleja en la planicie, desaloja el mayor volumen de precipitación pluvial del país. En las partes altas,

la red presenta patrones de drenaje paralelo, rectangular y radial, mientras que en la planicie son frecuentes los patrones mixto y lagunar. El área está drenada por numerosos arroyos que se conectan a los Ríos Tuliá y Puxcátán, estos confluyen al Río Tepetitlán que finalmente desemboca al Usumacinta. En la planicie, son características, numerosas lagunas y zonas sujetas a inundación.

#### d) Geología

En la zona en estudio, se presentan dos tipos de afloramientos; uno formado por una asociación de lutita y arenisca, y la otra formada por calizas.

Las lutitas, se pueden correlacionar con la Formación Misopa, que en la zona estudiada presenta un espesor aproximado de 840 m; la Formación subyace al Oligoceno y por su posición estratigráfica se le asignó una edad correspondiente al Terciario Inferior del Eoceno.

En la parte alta de los lomeríos se exhiben

calizas de ambiente marino, de tipo arrecifal que presentan cierto grado de carsticidad; la unidad forma un núcleo de anticlinales que contrastan notablemente con la topografía adyacente, además se puede correlacionar con la Formación Macuspana que tiene su origen en el Oligoceno Superior.

## II.2 Trabajos de Campo

Los trabajos de campo consistieron, en un recorrido por la zona afectada, donde se verificó lo siguiente:

La existencia de afloramientos de lutitas, con coloraciones rojizas que varían de un lugar a otro con tonalidades café y gris verdoso, presentando intercalaciones con capas delgadas de calcita. En la zona del problema se observaron encharcamientos de agua, provocando que las lutitas se intempericen dando lugar a una arcilla de alta plasticidad, susceptible a sufrir cambios volumétricos.

Así también, en las partes altas, afloran calizas de coloración gris claro con tonos de amarillo a gris oscuro

ro, dispuestas en estratos, que varían de medianos a gruesos. En la formación de calizas localizada al sur de la vía, aflora el manantial Agua Blanca.

El trabajo de campo además contempló el trazo de una poligonal cerrada de apoyo, tomando como referencia el punto donde las deformaciones de la vía son de mayores proporciones. El área del problema se configuró trazando y nivelando secciones transversales a cada 40 m; apoyados en el lado paralelo a la vía. Gracias a la información fotogramétrica y a las secciones trazadas, se definió la equidistancia entre curvas de nivel a cada metro, ver figura 3.

Complementando lo anterior, se realizó un reconocimiento geotécnico del lugar; al respecto el estado de la superestructura presentó la siguiente situación:

Los rieles están poco golpeados, mostrando deformaciones verticales y "chicoteo". Los durmientes son de madera y están muy dañados, presentan en algunos casos eg viajamientos importantes. El balasto está constituido por grava de roca caliza triturada, es necesario mencionar, que la falta de una capa de transición, favorece la

contaminación del balasto y la invasión de vegetación. Además de que en la zona del problema, no existen obras complementarias de drenaje, lo que propicia la saturación de la terracería, este problema se ve incrementado por la acumulación de material a los lados de la vía, producto de las nivelaciones periódicas, que impiden el escurrimiento natural. Ver anexo fotográfico.





### III. EXPLORACION Y MUESTREO

Esta etapa se programó en dos partes. Primeramente se llevó a cabo un estudio geofísico de resistividad, y posteriormente la exploración directa con recuperación de muestras.

#### III.1 Estudio Geofísico

Para conocer de manera preliminar, el tipo de materiales que subyacen al sitio de las deformaciones, se realizó un estudio geofísico de prospección eléctrica, el cual consiste en generar una imagen resistiva del subsuelo mediante lecturas igualmente espaciadas de resistividad;

la separación máxima entre los electrodos emisores de corriente y los medidores de potencial, nos indicarán la profundidad máxima de exploración, así como su grado de detalle.

a) Trabajos de Campo

El trabajo de campo se realizó con un sistema IPC-7 de 2.5 Kwatts, con un sistema de recepción marca Fluke. Para la obtención de datos, se realizaron seis (6) tendidos con una configuración de operación y un arreglo Semi-Schlumberger en la modalidad Dipolo-Dipolo, efectuando cuatro (4) tendidos lineales paralelos a la vía, cubriendo un total de 600 m lineales con una profundidad de prospección de aproximadamente 80 m; complementariamente, se hicieron dos (2) tendidos transversales con un cubrimiento de 300 m, ver figura 4.

Cada dipolo consta de seis (6) dipolos de potencial, con una separación máxima de 140 m entre el dipolo de potencial y la máxima separación del electrodo de corriente; en cada esta-

ción se tomaron seis (6) lecturas de voltaje por cada dipolo de potencial, además se efectuaron seis (6) lecturas de potencial espontáneo por estación (12).

b) Metodología de Interpretación

Primariamente se procedió a la determinación de la resistividad aparente y del potencial espontáneo, para conocer en la forma más correcta posible el perfil de isorresistividades.

En ambas secciones se registraron valores de resistividad bajos, que oscilan entre 1 y 6 ohm-m, lo cual es característico del comportamiento normal de las arcillas conductoras, por tal motivo se consideró que el material que subyace al sitio, es muy homogéneo, ver figura 4.

Por lo que toca a las variaciones en el potencial espontáneo, se consideró que éstas no son inducidas por cambios litológicos, sino por la probable presencia de agua.

Originalmente, a través del estudio geofísico

se pretendia detectar ciertas anomalias que tuvieran relación con las deformaciones que se presentan en la via, sin embargo, después de analizados los resultados, se llegó a lo siguiente:

- Los valores bajos de resistividad corresponden a un material arcilloso.
- Las variaciones que presenta el potencial espontáneo, se asocian a la probable existencia de agua.
- La poca variación registrada en la resistividad corresponde a un material homogéneo.

### III.2 Exploraciones Directas

Con el apoyo del estudio geológico, la topografía de la zona y el recorrido de campo, se realizaron los siguientes sondeos:

- Tres sondeos de muestreo continuo con barril y broca de diamante, a 20 m de profundidad cada uno.
- Cuatro sondeos de muestreo mixto alternando el

muestreo con barril y broca de diamante, con penetración estándar y avance sin recuperación de material (tres a 12.5 m y uno de 7.50 m de profundidad).

- Trece pozos a cielo abierto excavados con pico y pala hasta donde el agua y la dureza del material lo permitieron, en los mismos fueron labradas muestras cúbicas inalteradas, las que se protegieron con manta y parafina para evitar su intemperización y pérdida de humedad.

Con el fin de manejar la información desde un punto de vista objetivo, de la totalidad de los cortes estratigráficos de los sondeos realizados, fueron seleccionados aquellos que reportaban los datos más representativos, de tal manera que se consideraron los siguientes:

- Seis pozos a cielo abierto
- Un sondeo mixto
- Dos sondeos continuos

En la figura 5 se muestra la localización de cada

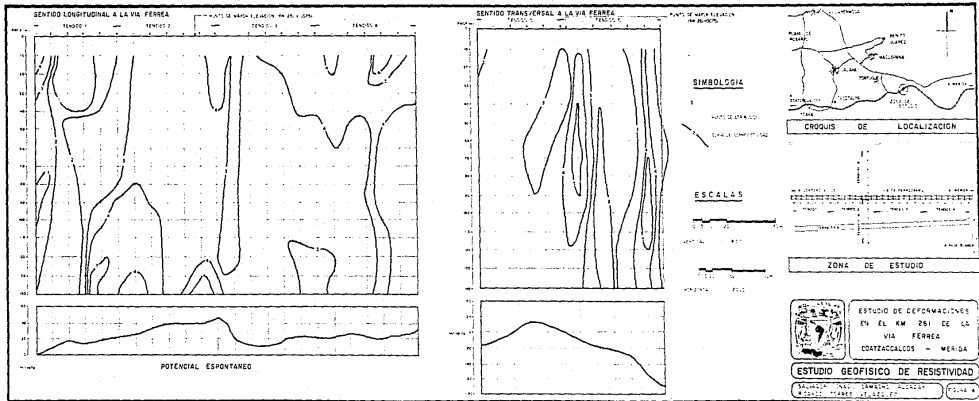
sondeo; la estratigrafía de los sondeos, se presenta en las figuras 6 a 14.

### III.3 Estratigrafía

Tenemos una secuencia de estratos de lutita calcárea de color gris oscuro, de estratificación delgada e intercalaciones de calcita fibrosa; a mayor profundidad, a partir de 0.60 m. la lutita está más compacta y presenta color gris oscuro a café oscuro.

Debido a los planos de interestratificación y a la alteración del material por el agua utilizada en la perforación, el RQD (Índice de Calidad de la Roca) y el porcentaje de recuperación, no se consideraron representativos.

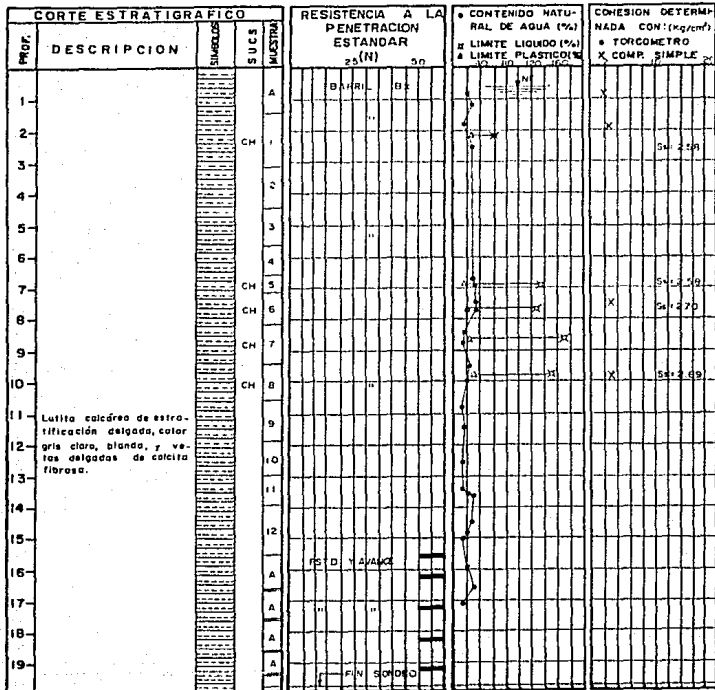
En lo referente a la terracería de la vía, ésta está constituida por una capa de balasto de grava angulosa, de roca caliza triturada con un espesor variable de 0.20 a 0.40 m a partir del lecho inferior del durmiente y desplantado directamente sobre el terreno natural (lutitas).







SONDEO: SC - 1



SIMBOLOGIA :



S<sub>s</sub> - DENSIDAD DE SOLIDOS

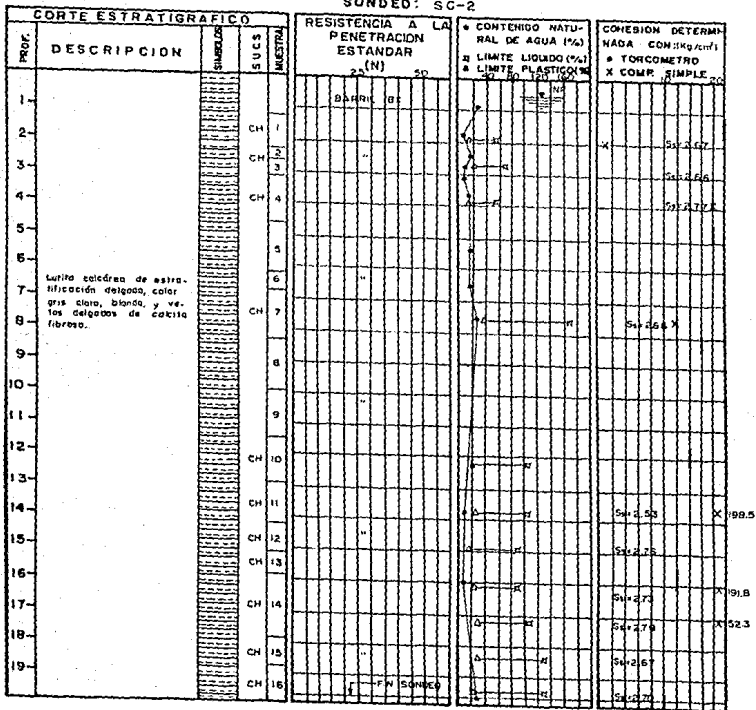
RELENO  
LUTITA  
VETAS DE CALCITA  
PENETRACION ESTANDAR  
AVANCE



TESIS PROFESIONAL

CORTE ESTRATIGRAFICO FIGURA 6  
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

SONDEO: SC-2



SIMBOLOGIA:

- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA

- RELLEÑO
- LUTITA
- VETAS DE CALCITA
- PENETRACION ESTANDAR
- AVANCE



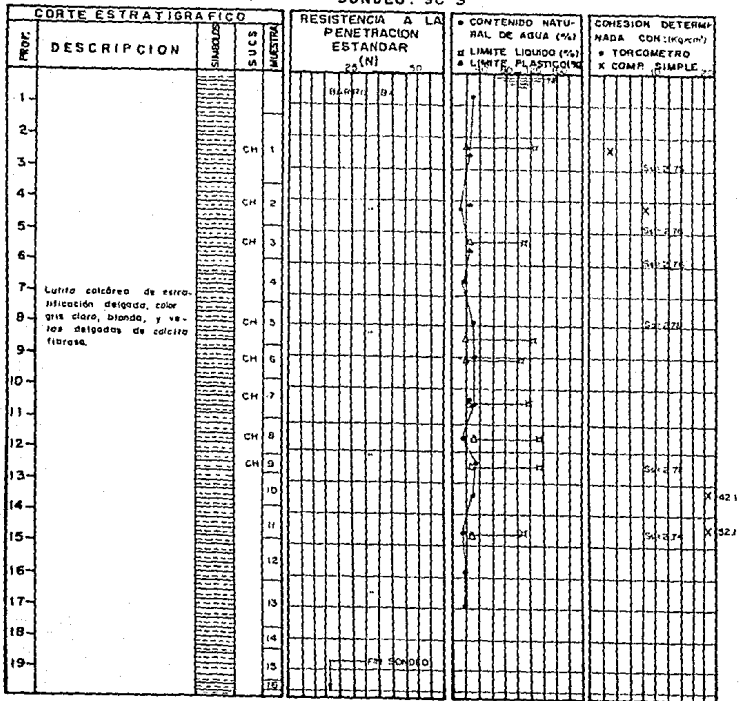
**TESIS PROFESIONAL**

CORTE ESTRATIGRAFICO FIGURA 7

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR

RICARDO TORRES VELAZQUEZ

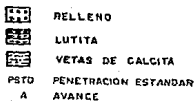
SONDEO: SC 3



SIMBOLOGIA :

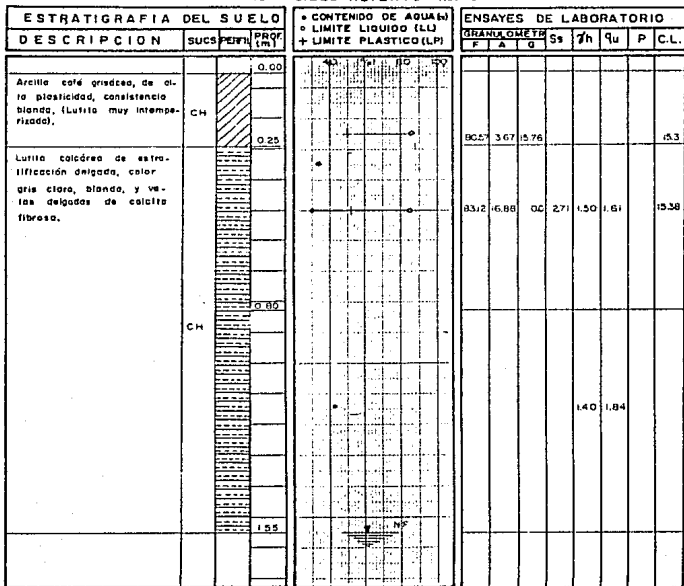


53ª DENSIDAD DE SOLIDOS



**TESIS PROFESIONAL**  
 CORTE ESTRATIGRAFICO FIGURA 8  
 SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
 RICARDO TORRES VELAZQUEZ

POZO A CIELO ABIERTO No. 1



**SIMBOLOGIA :**

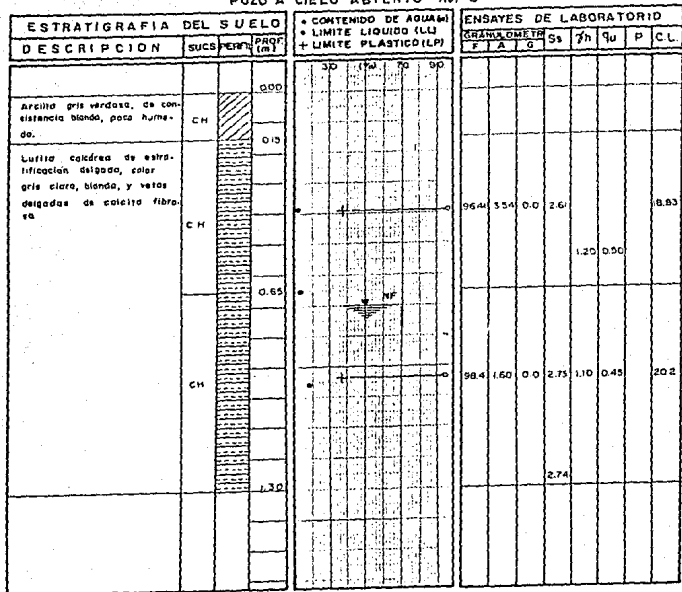
-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA
-  FOSILES
-  RELLENO
-  LUTITA

**NOMENCLATURA :**

- F FINOS (%)
- A ARENA (%)
- G GRAVA (%)
- Ss DENSIDAD DE SOLIDOS
- Th PESO VOLUMETRICO (T/m<sup>3</sup>)
- Qu COMPRESION SIMPLE
- P PENETROMETRO
- C.L. CONTRACCION LINEAL (%)

	<p><b>TESIS</b></p> <p><b>PROFESIONAL</b></p>	
	<p><b>CORTE ESTRATIGRAFICO</b></p>	<p>PCA I</p>
<p>SALVADOR CAMACHO ALCAZAR</p>		<p>FIGURA 9</p>
<p>RICARDO TORRES VELAZQUEZ</p>		

POZO A CIELO ABIERTO No. 3



SIMBOLOGIA:

- ARCILLA
- LIMO
- ARENA
- GRAVA
- FOSILES
- RELLENO
- LUTITA

NOMENCLATURA:

- F FINOS (%)
- A ARENA (%)
- G GRAVA (%)
- S<sub>s</sub> DENSIDAD DE SOLIDOS
- γ<sub>h</sub> PESO VOLUMETRICO (γ<sub>sat</sub>)
- q<sub>s</sub> COMPRESION SIMPLE (%)
- P PENETROMETRO
- C.L. CONTRACCION LINEAL (%)

	<b>TESIS</b>	
	<b>PROFESIONAL</b>	
<b>CORTE ESTRATIGRAFICO</b>		PCA 3
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR		FIGURA 10
RICARDO TORRES VELAZQUEZ		

POZO A CIELO ABIERTO No. 4

ESTRATIGRAFIA DEL SUELO			CONTENIDO DE AGUA (%) + LIMITE LIQUIDO (LL) + LIMITE PLASTICO (LP)	ENSAYES DE LABORATORIO							
DESCRIPCION	SUCS	PROF. (m)		GRANULOMETRIA			S <sub>s</sub>	γ <sub>h</sub>	q <sub>u</sub>	P	C.L.
				F	A	G					
Arcilla gris verdosa, de consistencia blanda, húmeda.	CH	0.00 0.10	+ C								
Lutita calcárea de estratificación delgada, color gris claro, blanda, y vetas delgadas de calcite fibrosa.	CH	0.60	+ C							4.53	
	CH	1.60	+ C NP								

SIMBOLOGIA :

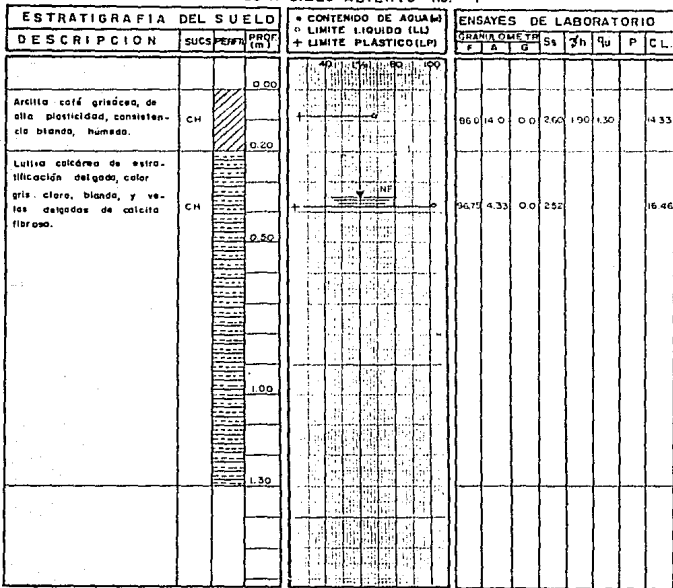
	ARCILLA
	LIMO
	ARENA
	GRAVA
	FOSILES
	RELLEÑO
	LUTITA

NOMENCLATURA :

F	FINOS (%)
A	ARENA (%)
G	GRAVA (%)
S <sub>s</sub>	DENSIDAD DE SOLIDOS
γ <sub>h</sub>	PESO VOLUMETRICO (t/m <sup>3</sup> )
q <sub>u</sub>	COMPRESION SIMPLE $\frac{kg}{cm^2}$
P	PENETROMETRO
C.L.	CONTRACCION LINEAL (%)

	<p>TESIS PROFESIONAL</p>
	<p>CORTE ESTRATIGRAFICO PCA 4</p>
<p>SALVADOR CAMACHO ALCAZAR RICARDO TORRES VELAZQUEZ</p>	
<p>FIGURA 11</p>	

POZO A CIELO ABIERTO No. 7



SIMBOLOGIA :

-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA
-  FOSILES
-  RELLENO
-  LUTITA

NOMENCLATURA :

- F FINOS (%)
- A ARENA (%)
- G GRAVA (%)
- S<sub>u</sub> DENSIDAD DE SOLIDOS
- T<sub>h</sub> PESO VOLUMETRICO (t/m<sup>3</sup>)
- Q<sub>u</sub> COMPRESION SIMPLE  $\frac{kg}{cm^2}$
- P PENETROMETRO
- C.L. CONTRACCION LINEAL (%)

	<p><b>TESIS</b></p> <p><b>PROFESIONAL</b></p>	
	<p>CORTE ESTRATIGRAFICO</p>	
<p>SALVADOR CAMACHO ALCAZAR</p>		<p>FIGURA 12</p>
<p>RICARDO TORRES VELAZQUEZ</p>		<p>PCA 7</p>



POZO A CIELO ABIERTO No. 8

ESTRATIGRAFIA DEL SUELO			CONTENIDO DE AGUA (w)		ENSAYES DE LABORATORIO										
DESCRIPCION	SUCS	PROF (m)	+ LIMITE LIQUIDO (LL)		GRAMAOMETR										
			+ LIMITE PLASTICO (LP)		F	A	G	Ss	7h	Qu	P	C.L.			
Arcilla gris verdosa, de consistencia blanda, húmeda.	CH	0.00	20	15	60	80									
		0.30	65.7	14.29	0.0	2.62	1.00	1.30						14.71	
Lutita calcárea de estratificación delgada, color gris claro, blanda, y vetas delgadas de calcita fibrosa.	CH	0.50							1.80	1.40					
		1.00													
		1.45													

SIMBOLOGIA :

-  ARCILLA
-  LIMO
-  ARENA
-  GRAVA
-  FOSILES
-  RELLENO
-  LUTITA

NOMENCLATURA :

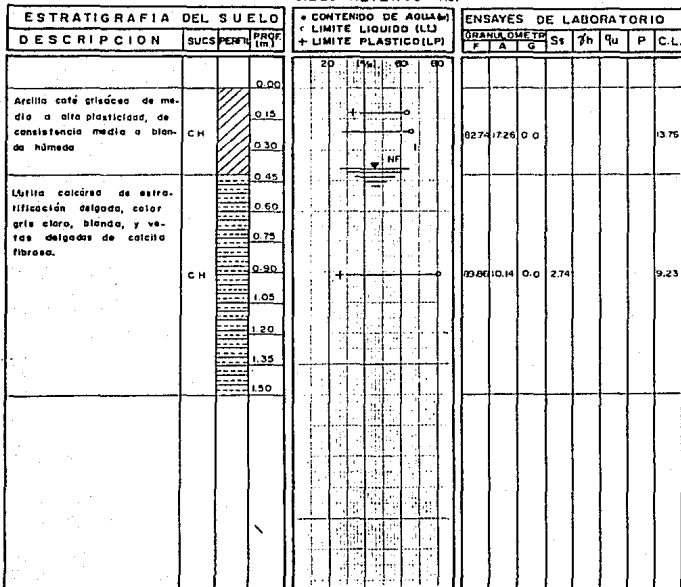
- F FINOS (%)
- A ARENA (%)
- G GRAVA (%)
- Ss DENSIDAD DE SOLIDOS
- 7h PESO VOLUMETRICO (T/m<sup>3</sup>)
- Qu COMPRESION SIMPLE (kg/cm<sup>2</sup>)
- P PENETROMETRO
- C.L. CONTRACCION LINEAL (%)



TESIS  
PROFESIONAL

CORTE ESTRATIGRAFICO PCA 8  
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR FIGURA 13  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

POZO A CIELO ABIERTO No. 12



**SIMBOLOGIA :**

	ARCILLA
	LIMO
	ARENA
	GRAVA
	FOSILES
	RELLENO
	LUTITA

**NOMENCLATURA :**

F	FINOS (%)
A	ARENA (%)
G	GRAVA (%)
S <sub>v</sub>	DENSIDAD DE SOLIDOS
γ <sub>h</sub>	PESO VOLUMETRICO (hum.)
γ <sub>u</sub>	COMPRESION SIMPLE (cm)
P	PENETROMETRO
C.L.	CONTRACCION LINEAL (%)

	<b>TESIS</b>	
	<b>PROFESIONAL</b>	
<b>CORTE ESTRATIGRAFICO</b>		PCA12
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR		FIGURA 14
RICARDO TORRES VELAZQUEZ		

#### IV. PRUEBAS DE LABORATORIO

Con el objeto de conocer las propiedades del material que subyace la zona del problema, se programaron una serie de ensayos de laboratorio, que permitieron clasificar el material, así como conocer sus características de resistencia.

##### IV.1 Pruebas índice

Para clasificar a los materiales muestreados de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), se realizaron las siguientes pruebas:

- Contenido natural de agua
- Límite líquido
- Límite plástico
- Contracción lineal
- Granulometría
- Porcentaje de finos por lavado
- Densidad de sólidos

Los resultados de las pruebas índice, los encontramos registrados en las figuras de los cortes estratigráficos 6 a 14, obtenidos de los sondeos.

#### IV.2 Pruebas mecánicas

A fin de tener mejor conocimiento de las características del material y de las causas que originan el problema, se programaron las siguientes pruebas:

- Compresión simple
- Consolidación unidimensional

- Expansión  
Libre,  
Bajo carga de 0.5 y 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>

Por lo que respecta a la prueba de compresión simple, sus resultados se aprecian en el cuadro IV.1. Mientras que en las figuras 15 y 16, se presentan los resultados correspondientes a la prueba de consolidación.

Para el caso de las pruebas de expansión, en el cuadro IV.2 se resumen los resultados obtenidos.

#### IV.3 Características y propiedades de los materiales

Con los valores obtenidos de los límites de consistencia, se clasificó el material en el grupo CH (arcilla de alta plasticidad), de acuerdo con la carta de plasticidad (SUCS).

En la pruebas de laboratorio, se observa, que los materiales superficiales, presentan contenidos de agua sensiblemente mayores a los detectados a mayor profundidad. De igual forma la resistencia a la compresión simple se ve

disminuida en las capas superficiales, ya que los valores obtenidos en capas más profundas alcanzan dimensiones de hasta 198.45 Kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente.

La distribución granulométrica, muestra la presencia de gravas aisladas formadas por calcita fibrosa, contenidos de arena que varían de 0.0 a 46.3 %, y porcentajes de finos entre 53.7 y 100.0 %.

Se presume que las propiedades y características de resistencia tienen una relación directa con el grado de alteración del material, para ilustrar lo anterior se realizó el cuadro IV.3. Como se puede observar el material se ve afectado por una reducción considerable en las propiedades y características de resistencia, al estar sujeto a los agentes que provocan su intemperización.

Según el cuadro IV.2, los resultados obtenidos en las pruebas de saturación libre, corresponden a un promedio de expansiones menores del 10 %, sin embargo se puede observar que en las muestras del sondeo SC-3 se obtuvieron expansiones de 38.4 y 45.3 %; estos resultados no se tomaron en cuenta ya que las muestras se secaron previamente para cong

cer el máximo potencial de expansión del suelo. En cambio en las pruebas de saturación bajo carga, los porcentajes de expansión en general son menores al 1.2 % para cargas de 0.5 y 1.0 Kg/cm<sup>2</sup>.

C U A D R O E V I  
 RESULTADOS EN PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE

SONDAS No.	PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA m	CONTENIDO NA- TURAL DE AGUA w (%)	GRADO DE SATU- RACION INICIAL Gs (%)	RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE kg/cm <sup>2</sup>	PESO VOLUMETRICO	
					NUMERO kg/m <sup>3</sup>	SECO kg/m <sup>3</sup>
PCA-1	0.35	33.0	85.4	1.07	1762	1324
PCA-1	0.80	33.0	93.8	1.24	1662	1400
PCA-3	0.25	61.0	97.4	0.99	1563	972
PCA-3	1.05	47.7	100.0	3.50	1772	1200
PCA-4	0.125	22.1	85.9	3.72	1894	1542
PCA-4	1.625	26.3	98.0	2.15	1502	1190
PCA-7	0.125	33.4	96.1	1.48	1822	1366
PCA-7	0.45	18.2	97.1	12.90	1915	1620
PCA-8	0.35	34.7	99.1	1.40	1641	1367
PCA-8	0.60	30.4	85.2	0.43	1620	1140
PCA-12	0.35	25.2	99.7	0.65	2026	1617
SC-1	6.97	29.5	100.0	4.80	1907	1473
SC-1	7.85	31.0	100.0	2.84	1964	1459
SC-1	10.10	20.6	100.0	2.94	2110	1750
SC-2	3.95	16.4	81.2	18.06	2083	1789
SC-2	13.00	12.5	100.0	198.45	2270	2017



C U A D R O IV.2  
RESULTADOS EN PRUEBAS DE EXPANSION

SONDEO No.	PROFUNDIDAD DE LA MUESTRA m	EXPANSION LIBRE (%)	EXPANSION BAJO CARGA (%)	
			0.50 Kg/cm <sup>2</sup>	1.0 Kg/cm <sup>2</sup>
PCA-3	0.25	-	0.20	0.60
PCA-3	1.05	-	1.10	1.00
SC-2	1.80	8.55	-	-
SC-2	2.95	6.35	-	-
SC-2	7.65	4.60	-	-
*SC-3	2.42	38.4	-	4.30
*SC-3	4.62	45.3	-	14.1

\* En este sondeo las muestras se secaron previamente

C U A D R O    I V . 3  
 COMPARACION DE PROPIEDADES PARA DIFERENTES GRADOS DE ALTERACION

P R O P I E D A D E S	L U I T A P O C O A L T E R A D A	L U I T A M U Y A L - T E R A D A ( A R C I L L A )
Relación de vacíos e	0.25	1.69
Humedad natural w(%)	12.50	61.00
Grado de saturación Gs(%)	58.00	100.00
Peso volumétrico natural (Kg/m <sup>3</sup> )	2270.00	1502.00
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm <sup>2</sup> )	198.50	0.36

SONDEO: PCA-3

$\gamma_m$ : 1612 Kg/m<sup>3</sup>

LL: 97.6

PROFUNDIDAD: 0.25 m

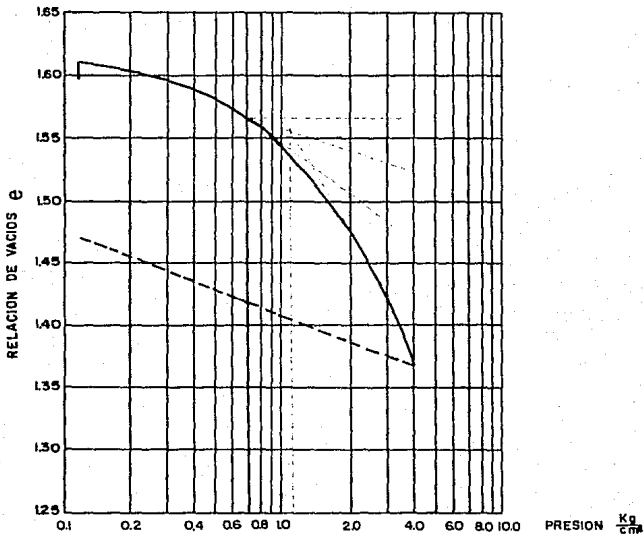
CONTENIDO DE AGUA INICIAL: 61.1 (%)

LP: 35.2

S.U.C.S.: CH

CONTENIDO DE AGUA FINAL: 59.8 (%)

IP: 62.4



- CARGA  
- - - - - DESCARGA  
- · - · - CARGA DE PRECONSOLIDACION



TESIS  
PROFESIONAL

CONSOLIDACION

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

FIGURA 15

SONDEO: PCA-3

PROFUNDIDAD: 1.05 m

S.U.C.S.: CH

$\gamma_m$ : 1622 Kg/m<sup>3</sup>

CONTENIDO DE AGUA INICIAL: 55.7 (%)

CONTENIDO DE AGUA FINAL: 57.6 (%)

LL: 95.1

LP: 35.5

IP: 59.9



- CARGA
- - - - - DESCARGA
- ..... CARGA DE PRECONSOLIDACION



TESIS  
PROFESIONAL

CONSOLIDACION

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

FIGURA 16

## V. ANALISIS E INTERPRETACION DE LA INFORMACION

### V.1 Sintesis descriptiva de la información

El escaso relieve de la zona, el elevado régimen pluviométrico al que se ve sujeta entre los meses de mayo a diciembre, y la baja permeabilidad del subsuelo, ocasionan que en la región, se presenten llanuras de inundación y zonas lagunares; es evidente que en la zona del problema la presencia del agua de lluvias juega un papel determinante en los cambios volumétricos del material superficial.

Para conocer el mecanismo de las deformaciones, se

concentró toda la información obtenida en cada sondeo. El análisis, se dividió en dos partes; estudiándose en primer término la zona de máximas deformaciones, por otra parte, se estudió la zona de menores deformaciones, comparándose las características de ambas; en el cuadro IV.3 del capítulo anterior se muestran sus características más representativas.

De las curvas de compresibilidad se determinaron las cargas de preconsolidación correspondientes, que nos proporcionan la historia de esfuerzos aplicados en la zona; la cual corresponde a un terreno fuertemente preconsolidado.

Por otra parte se elaboró la gráfica V.1, la cual nos muestra los % de expansión contra profundidad.

Complementariamente a el análisis realizado, se reunió la información obtenida en cada sondeo, para este caso, en particular, se consideró representativo analizar el material susceptible a sufrir deformaciones, al respecto, el espesor corresponde al material entre 0.0 y 0.60 m. De este análisis y la revisión de la información correspon-

diente, se pudo concluir lo siguiente:

- Las características de plasticidad nos indican que el suelo está seco, ya que su contenido natural de agua está muy próximo al límite plástico; es importante mencionar que el límite líquido del material, en general presenta valores elevados.
- En general el contenido de humedad (W) es bajo; a mayor profundidad el material está prácticamente seco, su relación de vacíos es baja, y por lo tanto está compacto. En cambio el material superficial, presenta valores de contenido de humedad sensiblemente mayores, grados de saturación elevados y aumento en la relación de vacíos.
- La presencia de agua se detectó entre 0.20 m y 1.50 m; siendo ésta determinante en el cambio volumétrico del material superficial.

## V.2 Análisis de la información

Los resultados del laboratorio comprobaron el grado de alteración del material superficial así como su alta plasticidad e inestabilidad volumétrica en presencia de

agua.

En la gráfica V.1. la curva nos muestra una clara tendencia al aumento del porcentaje de expansión con la profundidad, esto se debe a que los materiales más profundos (0.60 m en adelante), dadas sus características de plasticidad y contenido de agua (LL= 180, LP= 42, W= 30), son susceptibles a sufrir gran inestabilidad volumétrica; sin embargo, en el campo ésta no se presenta ya que los materiales superficiales, con baja permeabilidad, evitan que el agua se infiltre a dichas profundidades. De tal forma que es en los materiales superficiales donde se presentan cambios volumétricos debidos a las variaciones en el grado de saturación y en el contenido de agua, para verificar lo anterior se realizó la gráfica V.2, donde se muestra que al disminuir el grado de saturación se incrementa el potencial de expansión.

Teniendo conocimiento de que el manantial de Agua Blanca, situado aproximadamente a 2000 m al sureste de la vía, brota a 100 m de desnivel entre éste y la misma, se pensó que provocaba un gradiente hidráulico, que ocasionaba la presencia de agua a los lados de la vía. Sin embar



go con el apoyo de un estudio detallado de la topografía, geología, escurrimientos superficiales y subterráneos, se consideró que la presencia del manantial no afecta a la vía, debido a que los escurrimientos producto de éste drenan hacia otras formaciones más permeables (3).

Hay que hacer notar que las condiciones topográficas y de permeabilidad, en las inmediaciones de la zona del problema, son desfavorables para que se lleve a cabo un buen drenaje, ocasionando encharcamientos a los lados de la vía, ver figuras 17 y 18.

### V.3 Interpretación de Resultados

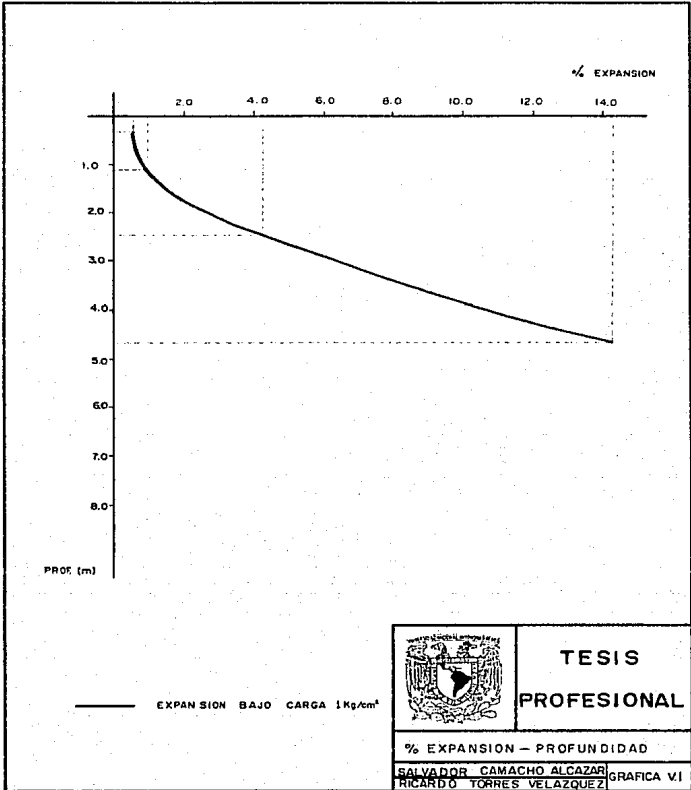
Analizada toda la información, se interpretaron los resultados y se llegó a lo siguiente:

En el problema estudiado, es notable que la presencia de agua juega un papel muy importante; además resulta evidente que las deformaciones se presentan año con año en época de lluvias.

Se puede comprobar que el agua de lluvias infiltra, intemperiza el material provocando su alteración, con-

secuentemente el balasto sufre una incrustación en el material, contaminándose. Es importante mencionar que el material sufre inestabilidad volumétrica (expansión), al estar sujeto a cambios en su contenido de agua. La falta de una capa de transición (sub-balasto), ha provocado que el balasto se contamine con finos y vegetación y que no cumpla con su función drenante.

Las causas antes mencionadas han provocado irregularidades que provocan un golpeteo característico entre el conjunto de la vía y el balasto al circular el tren por la zona afectada, haciendo peligrosa la circulación a altas y medias velocidades y trayendo como consecuencia pérdidas económicas y de tiempo.



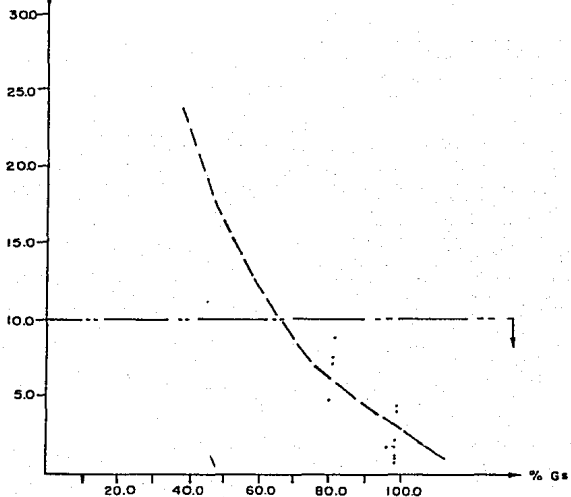
**TESIS  
PROFESIONAL**

% EXPANSION - PROFUNDIDAD

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

GRAFICA V.I

% EXP.

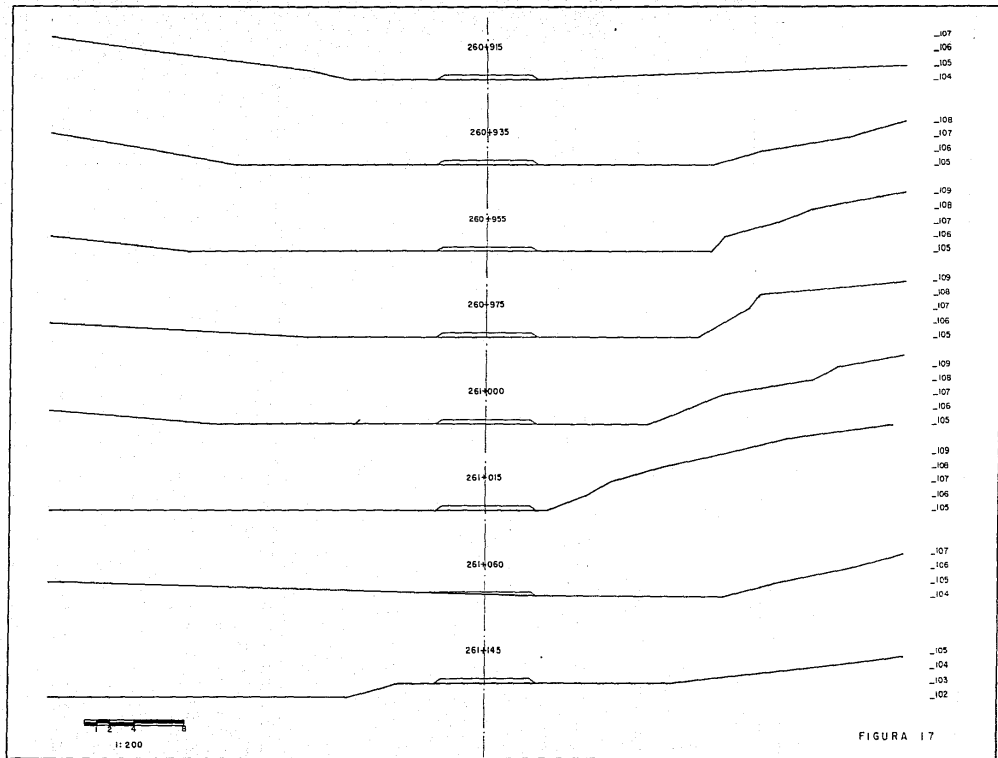


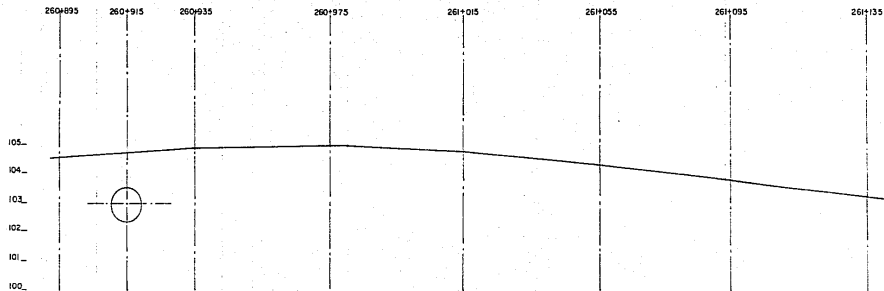
TESIS  
PROFESSIONAL

% EXPANSION - SATURACION

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

GRAFICA V.2





**E S C A L A S**

HORIZONTAL



1: 750

VERTICAL



1: 100

	<p>TESIS PROFESIONAL</p>
<p>PERFIL LONGITUDINAL</p>	
<p>SALVADOR CAMACHO ALCAZAR RICARDO TORRES VELAZQUEZ</p>	
<p>FIGURA 18</p>	

## VI. IDENTIFICACION DE ALTERNATIVAS

### VI.1 Revisión del problema

En el lugar del problema, año con año, en temporada de lluvias, se han presentado las condiciones que provocan las deformaciones en la vía; este fenómeno, a la fecha, se ha corregido mediante la renivelación de la vía, reconstruyendo la superestructura, sin embargo, en coincidencia con la siguiente temporada de lluvias, el problema se vuelve a presentar.

La vía se ve afectada localmente, ya que las de-

formaciones se presentan en una longitud de aproximadamente 100 m, lo que es suficiente, para obligar a que el tren circule a velocidades menores a las de operación normal.

De acuerdo a lo expuesto hasta este capítulo, se llegó a la conclusión de que las probables causas del problema, pueden ser las siguientes:

- Las condiciones topográficas y la baja permeabilidad de la zona en estudio, originan encharcamientos a los lados de la vía que modifican el contenido de agua del material en la zona, ocasionando cambios volumétricos importantes, lo que se verificó con los ensayos de laboratorio.
- En los trabajos de renovación de la vía, se ha removido el material producto de la roca intertemperizada, acamellonándose a los lados de ésta; lo que impide el drenaje de las aguas de lluvia y favorece el estancamiento del agua pluvial en la zona problema.
- Al no existir capas de transición (sub-balasto



y subrasante), se ha propiciado la contaminación del balasto con arcilla, y consecuentemente la pérdida de su calidad.

## VI.2 Identificación de alternativas

Con base en los resultados obtenidos a raíz de la investigación sobre el problema, se identificaron las siguientes alternativas de solución:

- Cambio de trazo de la vía.
- Sustitución parcial del terreno de apoyo por un material inerte que funcione como capa subrasante y sub-balasto.
- Sustitución parcial del terreno de apoyo por el material no intemperizado, existente en el lugar del problema, y protegido por una membrana geotextil impermeable.

En todos los casos se deberá garantizar el drenaje eficiente, mediante la construcción de obras complementarias.

## VII. EVALUACION DE ALTERNATIVAS Y SELECCION DE LA MAS CONVENIENTE

En el capítulo anterior, se propusieron una serie de alternativas de solución al problema; como parte fundamental de la solución, es importante describir los alcances de cada alternativa. Para que así, puedan ser evaluadas en la forma más correcta posible, eligiendo la que se considere más conveniente.

### VII.1 Análisis de alternativas

El cambio de trazo, se consideró como primera al-

ternativa: para analizarla hay que considerar que las formaciones de lutita de la zona, se presentan en por lo menos 4 Km en el sentido este-oeste y 9 Km en el sentido norte-sur, por lo que, al realizar el cambio de trazo las condiciones de apoyo de la vía no se verían mejoradas, es necesario mencionar que el costo aproximado del kilómetro terminado de vía férrea es de 500 millones de pesos: por tal motivo se considera que esta alternativa es difícil de adoptar, ya que resultaría antieconómica si consideramos la magnitud del problema.

Como segunda alternativa se propone la sustitución de la lutita intemperizada, básicamente consiste en eliminar la capa de suelo susceptible a sufrir cambios volumétricos; excavando por etapas (calzando la vía), para no interrumpir la operación; llevadas a cabo éstas actividades se habilitarán capas de subrasante y sub-balasto, con un material que cumpla con los requerimientos de calidad para sub-balasto, mostrados en el cuadro VII.1; así mismo, se propuso se utilice material del Banco Tacotalpa, localizado en el Km 220+000 a 2300 m desviación derecha de la propia vía, y cuyas características se muestran en las figuras 19 y 20; por otro lado, en la figura 21 se muestran

las características geométricas de esta alternativa.

Después de un análisis de costos, se determinó que esta alternativa tendría un costo aproximado de 90 millones, llevándose a cabo en un tiempo estimado de 31 días.

Al respecto, la tercera alternativa consiste en sustituir la capa de suelo intemperizada por el material producto de la excavación que se llevará a cabo durante la construcción de obras complementarias de drenaje. Para evitar la rápida intemperización en los límites de la excavación, y proteger el material sustituto, se colocará una membrana geotextil, dispuesta a manera de envoltura. Esta alternativa contempla la construcción de un ladero provisional que permita la circulación de los trenes durante los trabajos.

Se estimó que esta alternativa tiene un costo aproximado de 80 millones de pesos y una duración de 20 días.

A continuación se mencionarán las características que presentan cada una de las alternativas propuestas, con

el fin de seleccionar la más conveniente.

En primer lugar el cambio de trazo, como ya se mencionó, es inconveniente, por no mejorar las condiciones de apoyo en la vía, ya que la topografía y las condiciones geológicas ocasionan que se requiera más de un kilómetro de desarrollo, con su consecuente costo.

La segunda alternativa, comparada con la última, presenta las siguientes características:

- Se requiere la explotación en Banco, así como el cribado del material, con su consecuente acarreo de 41 Km; mientras que en la tercera alternativa se propone el uso de material de préstamo lateral.
- En la segunda alternativa se utilizará un volumen mayor de material sustituto; y en la última, el balasto será desplantado directamente sobre el geotextil, con el respectivo ahorro de material de subrasante y de sub-balasto.

Como consecuencia de lo expuesto anteriormente, se

llegó a la conclusión de que la tercera alternativa es la más conveniente, ya que además de llevarse a cabo en un menor tiempo, el procedimiento constructivo en la segunda alternativa, resulta más complicado que en la última.

#### VII.2 Descripción de la alternativa de solución propuesta

La alternativa de solución, como se ha mencionado anteriormente, se consideró, deberá llevarse a cabo de la siguiente manera:

Primeramente la solución implica sustituir la capa superficial del suelo de apoyo, por el material arcilloso existente en la zona. El agua superficial se conducirá por medio de obras complementarias de drenaje, favoreciendo el escurrimiento hacia las alcantarillas existentes. Complementariamente se deberán implementar programas de mantenimiento, llevados a cabo, por lo menos dos veces al año, antes y después de la temporada de lluvias.

La solución al respecto descrita, deberá cumplir con las siguientes características:

- a) Se eliminará la capa de material intemperizado bajo la vía, para lo cual se excavará una sección rectangular con profundidad variable entre 0.40 y 0.60 m, medida a partir del lecho inferior de la capa de balasto y un ancho mínimo de 6.00 m.
- b) La excavación se llevará a cabo en época de estiaje, para evitar la rápida alteración del material.
- c) Con el fin de no interrumpir la operación de la vía, durante los trabajos de sustitución de material, se construirá un ladero provisional aguas abajo de la vía.
- d) La excavación se llevará a cabo del cadenamiento 261+060 al 260+935; con el fin de evitar la alteración del material sustituto.
- e) Para evitar la alteración del material, se deberá excavar y colocar inmediatamente la membrana geotextil. Esta membrana geotextil se seleccionó por estar fabricada con materiales laminados de polietileno; lo cual la hace impermeable y muy resistente a la tensión y al punzonamiento.

- f) El material sustituto, se colocará en el lecho de la excavación previamente cubierta por la membrana geotextil; dicho material se obtendrá de préstamos laterales y aprovechando el producto de la excavación de las obras complementarias de drenaje.
- g) El material se colocará en capas de 0.30 m como máximo, compactándose al 100 % de su PVSM.
- h) Para facilitar el procedimiento constructivo y evitar la alteración del material, se recomienda que las actividades mencionadas, se lleven a cabo en tramos, a cada 25 m, hasta completar la obra.
- i) Llevado a cabo un tramo de excavación y estando colocado y compactado el material sustituto, se cubrirá con la membrana geotextil impermeable a manera de envoltura.

Simultáneamente a estas actividades, se llevarán a cabo las siguientes:

- j) Dadas las condiciones topográficas en las inmedia



ciones de la vía, se construirá una cuneta del lado sur de la misma, que capte los escurrimientos aguas arriba. ésta descargará en la alcantarilla del cadenamamiento 260+915, así mismo en el lado norte de la vía, se construirá una cuneta que recibirá los escurrimientos del pequeño corte que se presenta, ver figura 23.

- k) Las obras deberán tener una profundidad que garantice que la lámina de agua quede bajo el lecho inferior del balasto.
- l) Para garantizar el drenaje transversal, en ambos lados de la vía, se dará una pendiente del 1.50 %, a partir del lecho inferior del balasto y hasta la obra complementaria más cercana.
- m) La cuneta de aguas abajo tendrá una sección triangular, con taludes 3:1 y el del corte y una profundidad de 0.40 m; así mismo se recubrirá con concreto  $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$  y se le dará una pendiente longitudinal igual a la del terreno natural, pero nunca inferior a 0.5 %; ver figura 22.
- n) Aguas arriba de la vía la cuneta tendrá una sec-

ción trapezoidal con taludes 1:1 y ancho de plantilla de 0.60 m. teniendo un desarrollo de 80 m. entre los cadenamientos 260+935 (lavadero) y 261+015; se le dará una pendiente longitudinal constante del 1 %, por lo que su profundidad será variable; para evitar la rápida erosión y la invasión de vegetación, ésta cuneta se revestirá con concreto simple  $f'c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ .

- o) Para complementar la solución descrita, se propone se lleven a cabo campañas de mantenimiento y rehabilitación de obras complementarias y de drenaje; éstas se llevarán a cabo dos veces al año, antes y después de la temporada de lluvias.

Al respecto, en las figuras 22 y 23, se muestran las características geométricas de la solución adoptada, y los procedimientos que deberán seguirse durante su ejecución.

C U A D R O VII.I

REQUERIMIENTOS DE CALIDAD PARA SUB-BALASTO

CARACTERISTICAS	CALIDAD RECOMENDABLE
Granulometría	Según figura
Límite líquido	40% máximo
Índice de plasticidad	20% máximo
Contracción lineal	6% máximo
Valor relativo de soporte estándar	30% mínimo
Equivalente de arena	30% mínimo
Compactación	100% P.V.S.M.

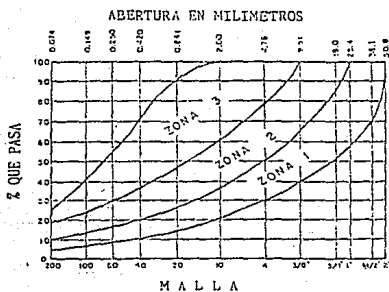
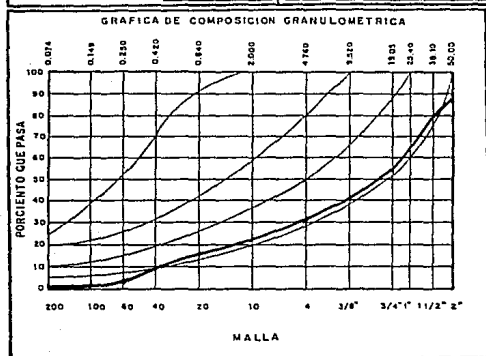


FIGURA CURVAS GRANULOMETRICAS PARA  
SUB-BALASTO

BANCO:	RIO TACOTALPA
LOCALIZACION:	KM FA 220+000 A 2.3 KM DESVIACION DERECHA
UTILIZACION:	PARA SUB-BALSTO
DESCRIPCION:	CONGLOMERADO GRAVA-ARENA DE RIO

PRUEBAS EN MAT. MAYOR 3/8"		PRUEBAS SOBRE MATERIAL CRIBAGO POR MALLA NUM. 40	
ABSORCION _____	LIMITE LIQUIDO _____	EQUIV. DE ARENA _____	
DENSIDAD _____	LIMITE PLASTICO _____	CONTRACCION LINEAL _____	
	INDICE PLASTICO _____		
PESO VOL. EN EL LUGAR _____	CLASIFIC. _____		
HUMEDAD EN EL LUGAR _____	TRAT. RECOMENDADO _____		
GRADO DE COMPACTACION _____			CRIBADO.



V. R. S. (STD. 11%)	_____
% EXPANSION	_____
V. R. S. (MDD. %)	_____
P.V. SUELTOS (1g/m <sup>3</sup> )	_____
P.V. MAX. (1g/m <sup>3</sup> )	_____
HUMEDAD OPTIMA (%)	_____
% QUE PASA MALLA 1"	87.12
1 1/2"	80.04
1"	64.14
3/4"	55.5
3/8"	40.37
No. 4	31.33
" 10	23.28
" 20	16.39
" 40	8.95
" 60	3.07
" 100	1.05
" 200	0.88
% DESPERDICIO EN LA MUESTRA	_____

RECOMENDACIONES:

	<p>TESIS</p> <p>PROFESIONAL</p>
	<p>GRANULOMETRIA</p> <p>SALVADOR CAMACHO ALCAZAR FIGURA 19</p> <p>RICARDO TORRES VELAZQUEZ</p>

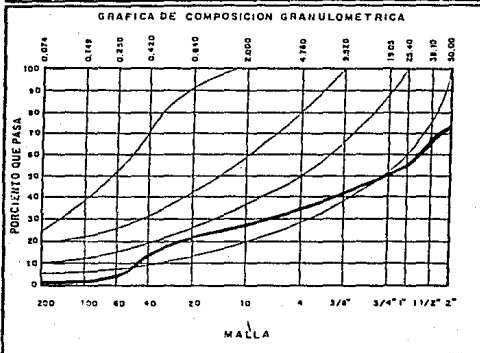
**BANCO:** RIO TACOTALPA

**LOCALIZACION:** KM FA-220+000 A 2.3 KM DESVIACION DERECHA

**UTILIZACION:** PARA SUB-BALASTO

**DESCRIPCION:** CONGOMERADO GRAVA-ARENA DE RIO

<b>PRUEBAS EN MAT MAYOR 3/8"</b>		<b>PRUEBAS SOBRE MATERIAL CRIBADO POR MALLA NUM. 40</b>	
ABSORCION _____	LIMITE LIQUIDO _____	EQUIV. DE ARENA _____	
DENSIDAD _____	LIMITE PLASTICO _____	CONTRACCION LINEAL _____	
	INDICE PLASTICO _____		
PESO VOL. EN EL LUGAR _____	CLASIFIC. _____		
HUMEDAD EN EL LUGAR 3.1%	TRAT. RECIBIENDO _____		
GRADO DE COMPACTACION _____		<b>CRIBADO</b>	



V. R. S. (STG. I) (%) \_\_\_\_\_

% EXPANSION \_\_\_\_\_

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

R. V. SUELTO (kg/m<sup>3</sup>) 139

R. V. MAX. (kg/m<sup>3</sup>) \_\_\_\_\_

HUMEDAD OPTIMA (%) \_\_\_\_\_

% QUE PARA MALLA \_\_\_\_\_

X" 72.82

1 1/2" 68.34

1" 54.94

3/4" 50.64

3/8" 41.03

No. 4 35.60

" 10 30.15

" 20 22.64

" 40 13.33

" 60 3.56

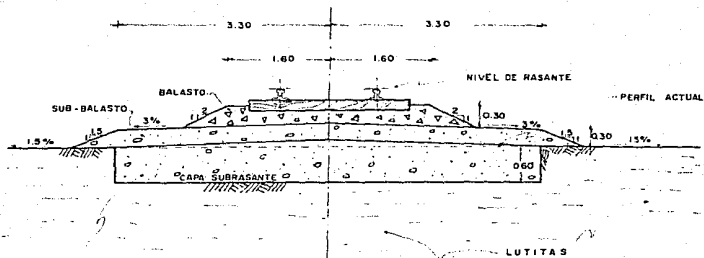
" 100 1.21

" 200 0.93

% DESPERDICIO EN LA MUESTRA \_\_\_\_\_

**RECOMENDACIONES:**

	<b>TESIS</b>
	<b>PROFESIONAL</b>
<b>GRANULOMETRIA</b>	
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR FIGURA 20	
RICARDO TORRES VELAZQUEZ	



RELLENO DE MATERIAL  
DEL BANCO TACOTALPA  
Km. 220+000 a 23 Km  
DESV. DERECHA

SECCION TRANSVERSAL TIPO KM 260+935

ESCALA 1:50

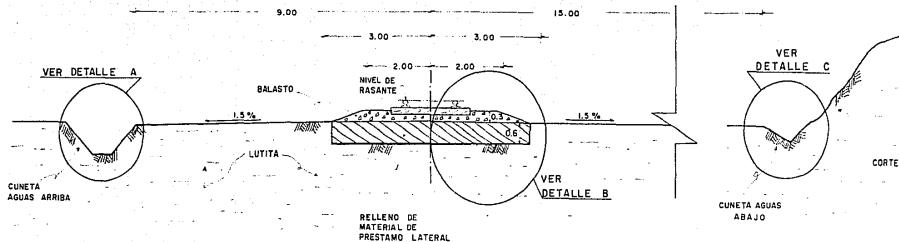
ACOTACIONES mts.



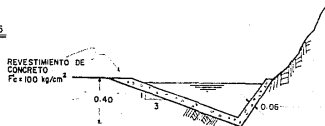
TESIS  
PROFESIONAL

SEGUNDA ALTERNATIVA

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR FIGURA 21  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ

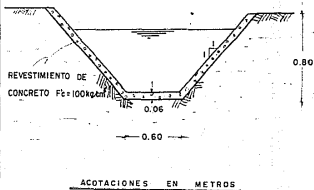


**SECCION TRANSVERSAL TIPO KM 260+935 Escala 1:75**

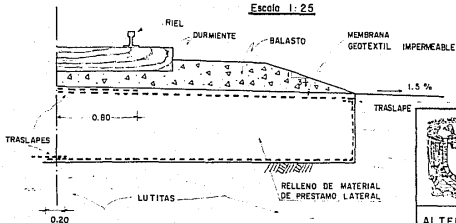


**"DETALLE C" CUNETA AGUAS ABAJO Escala 1:25**

**"DETALLE A" CUNETA AGUAS ARRIBA Escala 1:25**

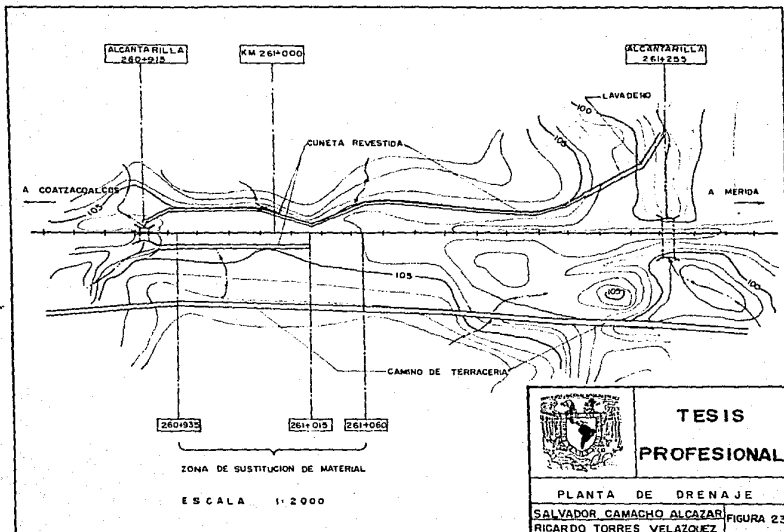


**"DETALLE B" COLOCACION DE GEOTEXTIL Escala 1:25**



**TESIS  
PROFESIONAL**

ALTERNATIVA DE SOLUCION  
SALVADOR CAMACHO ALCAZAR  
RICARDO TORRES VELAZQUEZ FIGURA 2.2



**TESIS  
PROFESIONAL**

PLANTA DE DRENAJE

SALVADOR CAMACHO ALCAZAR

RICARDO TORRES VELAZQUEZ

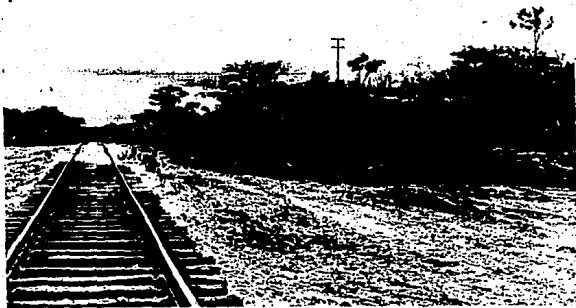
FIGURA 23



**ANEXO FOTOGRAFICO**

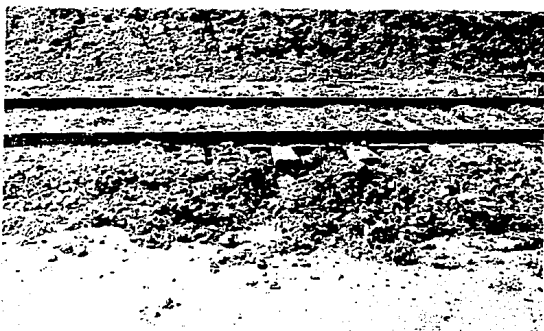


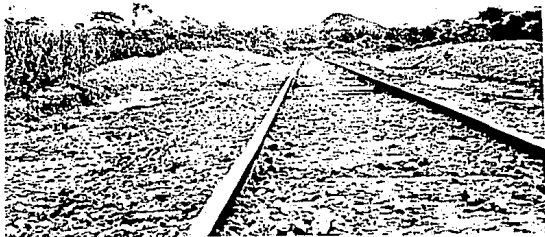
ASPECTO DE LA VIA Y LA EVIDENTE  
DEFORMACION EN EL Km. 261+007.5  
Enero de 1987.





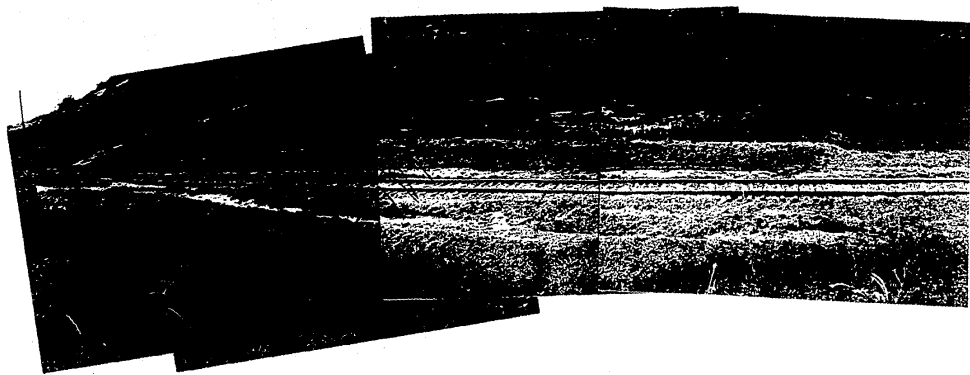
LAS FOTOGRAFIAS MUESTRAN  
LA CONTAMINACION EXCESIVA  
DEL BALASTO, ASI COMO LA  
PRESENCIA DE ENCHARCAMIEN  
TOS A LOS LADOS DE LA VIA .  
Agosto de 1988.





OTRO ASPECTO DE LA VIA  
DONDE SE APRECIAN LAS  
DEFORMACIONES DEL TE  
RRENO DE APOYO, Y EL  
MATERIAL ACAMELLONA  
DO A LOS LADOS DE LA  
VIA. Agosto de 1988.





VISTA PANORAMICA DE LA ZONA DEL PROBLEMA  
Agosto de 1988.

## CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este trabajo pudimos observar la importancia que tiene el realizar un recorrido de campo, aplicando un amplio criterio en la obtención y selección de la información, es de igual importancia, hacer una buena interpretación de lo observado en campo. Esto nos permitirá llevar a cabo un programa de exploración y muestreo que nos proporcione la información adecuada, sin descuidar los aspectos técnicos y económicos.

El desarrollo del trabajo, consistió en la revisión del problema en estudio, en la cual se siguieron las

recomendaciones arriba mencionadas.

Con referencia a las irregularidades que se manifiestan en cambios volumétricos en el terreno de apoyo del Km 261 de la vía férrea Coatzacoalcos-Mérida, podemos concluir lo siguiente:

1.- La estratigrafía de la zona consiste en una capa superficial de arcilla de alta plasticidad, subyacente por una formación de lutita calcárea, cuyas características son: De una alta expansividad (en promedio del 10 %) obtenida en pruebas de saturación; facilidad de alteración, producida al tener contacto con el agua.

2.- El mecanismo de deformación estudiado probablemente obedezca a la suma de las siguientes causas:

- a) Flujo de agua. En un principio al revisar el estudio se pensó que la presencia del manantial que nace cerca del lugar, provocaba un gradiente que daba origen a la presencia de agua a los lados de la vía. Posteriormente al estudiar la topografía local y los escurrimientos subterráneos de la zona del problema, se encontró que dichos enchar-

camientos pueden ser producto de las condiciones topográficas y la baja permeabilidad del material.

- b) Expansividad de las lutitas. La mayor expansión de la lutita, ocurre exactamente en aquella zona que sufre cambios en el grado de saturación. Ocasionando que en poco tiempo, el terreno de apoyo se expanda y el balasto se contamine.

3.- Con el fin de solucionar el problema, se pensó que la canalización adecuada de las aguas superficiales, es necesaria para garantizar el buen funcionamiento de la vía en este tramo, a tal efecto se propuso lo siguiente:

- a) Eliminar la capa intemperizada de suelo bajo la vía.
- b) Colocación de una membrana geotextil impermeable entre la capa subrasante y el balasto de manera que restrinja las filtraciones del agua que cae directamente sobre la vía.
- c) Construir obras complementarias de drenaje.
- d) Implementar campañas de mantenimiento y/o rehabilitación.



Complementariamente a estas actividades, se recomienda se lleve a cabo en este tramo de vía, una instrumentación, que consiste en nivelaciones periódicas, con el objeto de observar el comportamiento de la solución adoptada.

Consideramos conveniente mencionar, que durante la elaboración del presente trabajo, tuvimos la oportunidad de estar en contacto directo con el problema, esto permitió ampliar nuestro panorama respecto a la solución propuesta. Es además importante destacar, que durante nuestra visita, se recuperaron muestras alteradas del material, las cuales se analizaron en el laboratorio.

Lo expuesto con anterioridad nos permite dar término, satisfactoriamente, a esta tesis, ya que los objetivos planteados en un principio se vieron alcanzados durante el desarrollo de la misma.

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

1. Juárez Badillo, Eulalio. Rico Rodríguez, Alfonso., "Mecánica de Suelos", 3a. Ed., México, Ed. Limusa, 1985, Vol. I.
2. Juárez Badillo, Eulalio. Rico Rodríguez, Alfonso., "Mecánica de Suelos", 1a. Ed., México, Ed. Limusa, 1984, Vol. III.
3. Longwell R., Chester. Flint F., Richard. "Geología Física", 5a. Ed., México, Ed. Limusa, 1981.
4. M. Tognó, Francisco., "Ferrocarriles", Ed. Unica, México, Ed. Representaciones y Servicios de Ingeniería, 1980.
5. Rico Rodríguez, Alfonso. Del Castillo Mejía, Hermilo., "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", 1a. Ed., México, 1984, Vol. I.
6. Rico Rodríguez, Alfonso. Del Castillo Mejía, Hermilo., "La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres", 1a. Ed., México, 1984, Vol. II.
7. Apuntes del Curso "Geotecnia Aplicada a las Vías Te-

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

- restres", División de Educación Continua de la UNAM.
8. Coordinación General de Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía, (DETENAL), S.P.P.
    - 8.1 Carta topográfica E15D-22, Escala 1:50,000
    - 8.2 Carta geológica E15-8, Escala 1:250,000
    - 8.3 Carta hidrológica de aguas superficiales E15-8, Escala 1:250,000
    - 8.4 Carta hidrológica de aguas subterráneas E15-8, Escala 1:250,000
  9. Horario No. 3 de Ferrocarriles Nacionales de México, de la División de Mérida.
  10. "Manual de Mecánica de Suelos" de la Dirección de Proyectos y el Departamento de Ingeniería Experimental de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), 5a. Ed., México, 1970.
  11. Manual para el Proyecto Geométrico de Carreteras de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT)
  12. "Memoria del Estudio Geotécnico de la Vía Férrea

Coatzacoalcos-Mérida". LOMI Ingeniería, S.A. de C.V.

13. Normas de Construcción de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
14. Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas, Libro 6, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).
15. Publicación de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Manual de Diseño de Obras Civiles del Instituto de Investigaciones Eléctricas, "Datos Geológicos Requeridos", Ed. Unica, México, Ed. Federación Editorial Mexicana, 1979.
16. Publicación de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Manual de Diseño de Obras Civiles del Instituto de Investigaciones Eléctricas, "Información Geológica Existente", Ed. Unica, México, Ed. Federación Editorial Mexicana, 1979.
17. Publicación de Comisión Federal de Electricidad (CFE), Manual de Diseño de Obras Civiles del Instituto de Investigaciones Eléctricas, "Obtención de Datos Geológicos", Ed. Unica, México, Ed. Federación Editorial Mexicana, 1979.