

18  
203

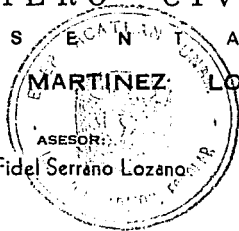


# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ACATLAN

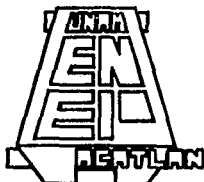
"ESTUDIO Y SOLUCION A LA GRIETA  
PRESENTADA EN EL PREDIO DE LA  
UNIDAD HABITACIONAL SOLIDARIDAD;  
EN PANTITLAN ESTADO DE MEXICO"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL  
P R E S E N T A :  
BULMARO MARTINEZ LOPEZ



ASESOR:  
Ing. Fidel Serrano Lozano

1993



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

**OBJETIVO:**

SE ESTUDIARAN LOS PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA APARICION DE GRIETAS DURANTE Y DESPUES DE LA CONSTRUCCION DE EDIFICIOS EN LA UNIDAD HABITACIONAL, ASI COMO; IDENTIFICAR LAS CAUSAS QUE ORIGINARON SU DESARROLLO Y EVALUAR LOS DAÑOS PRESENTES Y ADICIONALES QUE ESTAS PUDIERAN PROPICIAR; LO CUAL SE REALIZARA, MEDIANTE LA RECOPIACION DE INFORMACION E HISTORIA GEOLOGICA DEL LUGAR, LA REVISION DE LOS ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS Y DEL TRATAMIENTO ADOPTADO Y SUS RESULTADOS OBTENIDOS.

## INDICE

	Pag.
INTRODUCCION.....	4
CAPITULO 1    GENERALIDADES SOBRE GRIETAS.....	8
1.1    CARACTERISTICAS DE LAS FALLAS.....	8
1.2    AGRIETAMIENTO.....	10
1.2.1 AGRIETAMIENTO POR VARIACION DE CONTENIDO DE AGUA.....	12
1.2.2 AGRIETAMIENTO ASOCIADO AL HUNDIMIENTO RE- GIONAL.....	14
1.2.3 AGRIETAMIENTO POR VARIACION DE ESFUERZOS HORIZONTALES.....	15
CAPITULO 2    INFORMACION E HISTORIA GEOLOGICA DEL LU- GAR.....	16
2.1    GEOLOGIA DEL VALLE DE MEXICO.....	16
2.2    ORIGEN Y TIPO DE SUELOS EN EL VALLE DE MEXICO.....	19
2.3    EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN EL VALLE DE MEXICO.....	21
2.4    INFORMACION Y CARACTERISTICAS DEL EX-VASO DE TEXCOCO.....	23

<b>CAPITULO 3</b>	<b>PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA APARICION DE GRIETAS EN EL PREDIO.....</b>	<b>26</b>
3.1	UBICACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA AFECTADA.....	26
3.2	CARACTERISTICAS DEL AGRIETAMIENTO.....	28
3.3	PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA APARICION DE GRIETAS EN EL PREDIO.....	31
<b>CAPITULO 4</b>	<b>ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS.....</b>	<b>34</b>
4.1	ESTUDIOS GEOTECNICOS.....	34
4.2	ESTUDIO GEOTECNICO INICIAL.....	35
4.3	ESTUDIO GEOTECNICO REALIZADO PARA FISURAMIENTO.....	39
<b>CAPITULO 5</b>	<b>CAUSAS QUE ORIGINARON EL DESARROLLO DE GRIETAS Y TRATAMIENTO ADOPTADO.....</b>	<b>42</b>
5.1	CAUSAS QUE ORIGINARON EL DESARROLLO DE GRIETAS.....	42
5.2	TRATAMIENTO ADOPTADO.....	45
5.3	PROCEDIMIENTO DE RELLENO.....	49
5.4	RESULTADOS OBTENIDOS.....	51
	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>55</b>

ANEXO 1	PRUEBA DE CONO ELECTRICO.....	60
ANEXO 2	MEZCLAS PLASTICAS DE BENTONITA, CEMENTO Y AGUA.....	65
ANEXO 3	CARACTERISTICAS DE LOS SONDEOS Y PCAS, ESTRATIGRAFIA DE CALCULO, PERFIL ESTRATIGRAFICO CURVA GRANULOMETRICA, ENSAYE DE COMPRESION TRIAXIAL, ENSAYE DE CONSOLIDACION Y CARTA DE PLASTICIDAD.....	69
BIBLIOGRAFIA .....		79

## INTRODUCCION

Actualmente uno de los problemas geotécnicos que afectan a las estructuras de la Ciudad de México es el agrietamiento de suelos. Que ocasiona dificultades durante y después de la construcción de edificios en zonas con este problema.

Este fenómeno de agrietamiento se ha venido presentando en forma creciente y desarrollándose principalmente en zonas cuyo subsuelo predominan estratos arcillosos de origen lacustre; como es al oriente de la Ciudad de México.

En estas zonas se han construido grandes unidades habitacionales, para responder a la falta de vivienda en la ciudad, así como bodegas, edificios y la urbanización necesaria para estas edificaciones. Esta importante aportación de cargas aunadas al hundimiento regional y a las características del terreno, ha acentuado el problema de agrietamiento repercutiendo sobre las estructuras.

Este problema seguirá presentandose ya que la Ciudad carece de vivienda, motivo por el que se continuará construyendo las edificaciones necesarias; lo cual sólo es posible realizar en la periferia de la Ciudad, en grandes extensiones de terreno plano,

como es el ex-lago de Texcoco, Chalco y Zumpango. De igual forma para dotar de agua potable a la creciente población, se continúa con la explotación de acuíferos, lo cual es factor predominante del hundimiento regional.

Por estas razones ha sido necesario estudiar el problema para identificar sus causas, de igual forma se han venido desarrollando diversas teorías o mecanismos de agrietamiento.

La información que se presenta en esta tesis y el tratamiento adoptado para resolver el problema de agrietamiento de suelos en la Unidad Habitacional "Solidaridad", sirve de referencia en particular para solucionar los problemas que se presenten en la zona, los cuales afectarán a las estructuras proyectadas en ésta.

Las causas del agrietamiento en el subsuelo pueden ser diversas: la presencia de fallas geológicas en el subsuelo, asentamientos diferenciales, debidos a estratos compresibles de distinto espesor, el hundimiento regional propiciado por la sobre explotación de acuíferos.

Las consecuencias de estos problemas sobre las estructuras pueden ser: fisuramientos o fallamientos en ella, pudiendo originar el colapso total de las mismas. Problemas en tuberías como son roturas, que propiciarán fugas. fisuramientos en pavimentos y banquetas, etc.



Para poder reconocer el origen del agrietamiento en la Unidad Habitacional "Solidaridad" y tener una referencia de los diferentes mecanismos de fisuramiento que pueden afectar al subsuelo, se exponen estos en el capítulo 1; pero mencionando sólo aquellos que son más característicos de la zona donde se localiza el predio en estudio, la cual es al Oriente de la Ciudad.

Es indispensable conocer la geología y morfología del lugar, en el capítulo 2, se recopila la información geológica y morfológica necesaria para tener previo conocimiento de tales características que conforman y afectan al terreno de estudio.

En el capítulo 3 se evalúan los problemas ocasionados en las estructuras o en el terreno que afectan o pudieran afectar el correcto funcionamiento de éstas; originados por el agrietamiento del suelo.

Por medio de la revisión de los estudios geotécnicos realizados se conoció la estratigrafía y características geotécnicas del terreno, estos estudios se exponen en el capítulo 4.

En el capítulo 5 se exponen las posibles causas o mecanismos que originaron la formación de grietas en el terreno.

Contándose con la información necesaria proporcionada por los

estudios geotécnicos y características geológicas del predio, se procedio a diseñar el tratamiento que aquí se describe. Finalmente, después de haber sido aplicado el tratamiento, se comentan los resultados obtenidos.

Es importante señalar que en el agrietamiento de suelos, su origen no es geotécnico solamente, intervienen conjuntamente y de manera muy importante la sobrepoblación y la falta o mala planeación que existe. Debemos entender que es imposible que siga creciendo la Ciudad de México, ya que genera una demanda de servicios como son, principalmente: urbanización y agua potable, los cuales son ya imposibles de proporcionar.

Por mantenerse esta situación, se han generado problemas muy serios y éstos a su vez han generado otros; el agrietamiento de suelos es uno de ellos el cual no será posible detener, si no se eliminan primero la sobrepoblación y la sobreexplotación de acuíferos, lo cual sólo podrá realizarse, si cada uno de nosotros comprende y se concientiza en esta situación.

## CAPITULO 1

### GENERALIDADES SOBRE GRIETAS

#### 1.1 CARACTERISTICAS DE LAS FALLAS

Las fallas son fracturas que resultan de la incapacidad de las rocas para resistir las grandes presiones que se ejercen sobre ellas; los terremotos son la expresión de la liberación de esas presiones. También pueden causar el movimiento de las fallas que existen en la vecindad de su zona de acción.

Hasta ahora no hay una relación invariable entre los movimientos sísmicos y la existencia de las fallas. De hecho se puede afirmar que los terremotos algunas veces son resultado de movimientos súbitos a lo largo de las fallas, lo que demuestra de nuevo que los materiales de la corteza terrestre están sujetos a esfuerzos, deformaciones y rupturas exactamente del mismo modo como todos los otros materiales sólidos.

Las fallas adoptan distintas formas geométricas. El movimiento en el plano de falla se llama " dislocación " si se produce en dirección de la inclinación de la roca, se llama dislocación inclinada, si se presenta en angulo recto, será

dislocación recta.

Las dislocaciones inclinadas pueden subdividirse en fallas normales, si el movimiento es hacia abajo; y en fallas transpuestas o de empuje, si el movimiento ocurre hacia arriba; en las dislocaciones rectas, el desplazamiento que se observa en la superficie del terreno definirá si se trata de una falla lateral derecha (diestra) o de una falla lateral izquierda (siniestra). A veces se encuentra que las dislocaciones rectas se les llama fallas de torsión o rasgadas.

Algunos términos adicionales necesarios para describir las fallas e indicar con claridad como ocurrió el movimiento mas importante en la falla, serán los que se aplican en la descripción de las dos caras de una falla: la pared superior es la que sobresale de la pared inferior; las fallas son verticales muy rara vez, de modo que es casi general una inclinación del plano de falla respecto a la vertical. Con frecuencia se encuentra que las superficies del plano de falla están muy pulimentadas a causa del movimiento en este caso se les llama espejo de falla.

En las fallas más grandes, la ruptura no ocurre en una sola superficie, sino en una zona del material que se distorsiona por completo; por ello a veces se les da el nombre de zona de falla ( Ref. 1 ).

-1- S.O.P Dirección general de proyectos y laboratorios.-Compendio geológico para uso de ingenieros civiles, México 1962.

## 1.2 AGRIETAMIENTO

Se mencionó anteriormente, que frecuentemente se presentan distorsiones o fracturamientos que acompañan al movimiento del fallamiento, pero puede suceder que estos fenómenos sean debidos a otras circunstancias y no con origen por un fallamiento si no que se pueden combinar ciertos procesos y características del suelo. Estos procesos y características del suelo pueden dar como resultado en la superficie del mismo un agrietamiento que puede ser superficial o llegar a ser importante y profundo generando serios problemas geotécnicos; que afectarán a las estructuras que ahí se desplanten.

El problema de agrietamiento en los suelos lacustres del Valle de México, se ha presentado durante mucho tiempo atrás consecuencia de lo cual se ha tenido que estudiar este problema; para conocer sus causas; al respecto se han identificado de acuerdo a sus características los diferentes tipos de mecanismos generadores de agrietamiento.

- Grietas por fuerzas de filtración.
  
- Grietas por explotación de acuíferos.

- Agrietamiento por hundimiento regional.

- Agrietamiento por tensión capilar.

Las teorías desarrolladas a través del estudio de estos fenómenos y los modelos teóricos al respecto desarrollados demuestran que en el suelo se pueden generar esfuerzos de tensión, capaces de provocar agrietamiento a través de diversos mecanismos ( Ref. 2 ).

El tipo de mecanismos generadores de grietas preponderantes a la subcuenca Texcoco y zonas del exlago de Chalco y Xochimilco, a continuación se presentan:

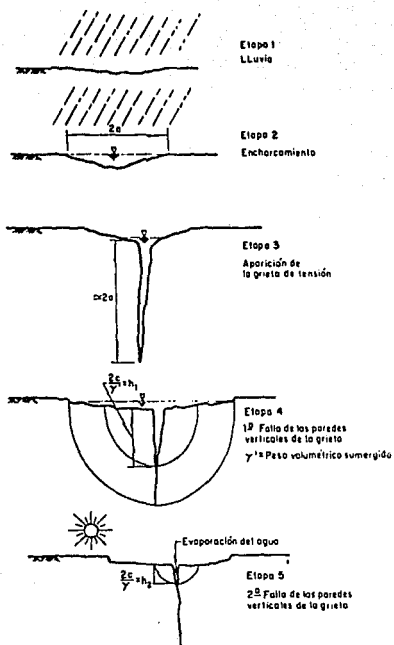
La manifestación de este fenómeno en la capa superficial de la formación arcillosa superior ocurre preferentemente al inicio de la temporada de lluvias, mayo o junio, sin estar exenta la época de estiaje, noviembre a abril, de la formación de grietas. La ocurrencia de sismos favorece también su aparición, sin ser la causa principal de su génesis.

Con el fin de dar un orden a los diferentes casos de agrietamiento que se reportan se podrán agrupar de acuerdo con sus causas externas, las cuales en general se reducen a:

- Variación del contenido de agua.
  
- Asentamiento diferencial por hundimiento regional.
  
- Variación rápida de esfuerzos horizontales.  
( Fig. 1,2 )

#### 1.2.1 AGRIETAMIENTO POR VARIACION DEL CONTENIDO DE AGUA

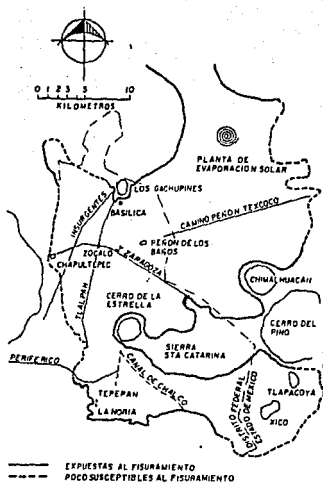
De acuerdo a los mecanismos que explican los agrietamientos, éstos se producen al cambiar en forma rápida el estado de esfuerzos en las formaciones arcillosas superficiales, debido a la variación del contenido de agua, que ocasiona fuerzas de tensión producidas por la evaporación. La mayor parte pueden



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. I ETAPAS DE LA FORMACION Y DESAPARICION DE UNA GRIETA



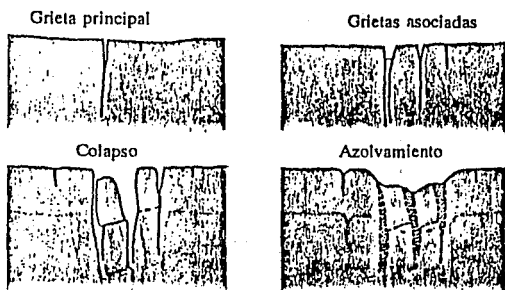


**UNAM**  
 TESIS PROFESIONAL

FIG 2 LOCALIZACION DE LAS ZONAS DE FISURAMIENTO

tener este origen, sin embargo, existen otros factores capaces de generar fisuras en los suelos arcillosos. ( Fig. 3 )

En superficies expuestas a la evaporación, se desarrollan esfuerzos por capilaridad que causan el conocido agrietamiento de los suelos arcillosos del Valle. Se considera que existen principalmente dos tipos de fracturas: las originadas por el primer ciclo de secado del suelo, que provoca grietas muy cercanas entre sí, con un patrón mas o menos equidistante y otro con separaciones mayores e irregulares ocasionado por ciclos posteriores de secado, que es favorecido por el humedecimiento heterogéneo de la superficie por lluvias, además se presenta un agrietamiento secundario normal a las grietas principales.



### 1.2.2 AGRIETAMIENTO ASOCIADO AL HUNDIMIENTO REGIONAL

Al producirse el hundimiento regional, hacia las fronteras de la zona lacustre se manifiestan este tipo de grietas por tensión, las que por lo común siguen trayectorias semejantes a curvas de nivel topográfico o bien a los contornos de formaciones subterráneas de mayor rigidez que las formaciones arcillosas. Presentan también una longitud superior a 100 m. Por lo general con un desnivel entre sus labios y queda el más alto hacia la zona en que aumenta la elevación del terreno. Las lluvias favorecen su aparición, pero pueden presentarse sin su participación. En ocasiones se manifiestan periódicamente en la misma zona con cambios de posición subsecuentes hacia el centro de la zona lacustre.

Los agrietamientos de este tipo son los que se presentan en la ciudad de Aguascalientes, ocasionados por abatimientos piezométricos de hasta 40 m. en algunos sitios, con trayectorias preferenciales que siguen a las curvas de nivel del terreno. Las grietas de Ciudad Satélite son de este tipo también.

### 1.2.3 AGRIETAMIENTO POR VARIACION DE ESFUERZOS HORIZONTALES

Una variación rápida en los esfuerzos horizontales por excavación o por aplicación de cargas horizontales, produce el agrietamiento superficial de los suelos lacustres superficiales del Valle de México ( Ref. 2 ).

-2- Sociedad mexicana de mecánica de suelos.- Agrietamiento de suelos. Reunión sobre agrietamiento de suelos, 13 agosto, 1991.

## CAPITULO 2

### INFORMACION E HISTORIA GEOLOGICA DEL LUGAR

#### 2.1 GEOLOGIA DEL VALLE DE MEXICO

La cuenca del Valle de México desde el punto de vista geológico esta formada en su zona centro por una serie de estratos de arcillas lacustres a los que subyacen depósitos de productos clásticos, que son derivados de la acción de ríos, arroyos, glaciares y volcánes. los rellenos existentes, están conformados también por estratos de pómez y capas de ceniza producto de las erupciones volcánicas menores y mayores ocurridas durante el último medio millón de años, que corresponde al pleistoceno superior.

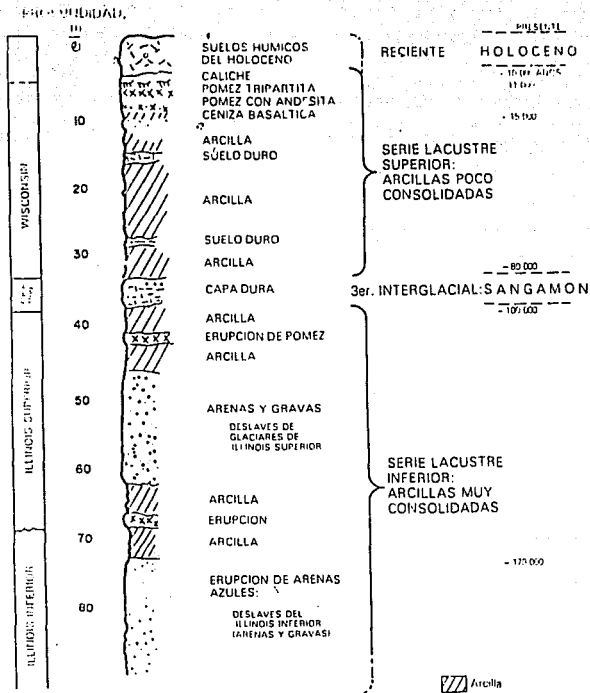
En el relleno mencionado, también se presentan numerosos suelos, producto de la meteorización de los depósitos volcánicos, fluviales, aluviales y glaciales, transformados en

suelos, hoy en día, paleosuelos; reconociéndose el clima en el cual se formaron, algunas veces amarillos resultado de ambientes fríos, y otros café variando hasta rojizos, que son resultado de ambientes moderados a subtropicales.

Analizando la cuenca de México desde el marco paleoclimático; se han llevado a cabo investigaciones las cuales han podido demostrar que la cuenca de México, desde su cierre en el sur, por los basaltos de la sierra de Chichinautzin, ha pasado por dos periodos de glaciación, el Illinois ( un clima relativamente cálido a lo largo de 80,000 a 100,000 años ) y el Winsconsin ( 15,000 a 80,000 años ) y dos interglaciares, el Yarmouth (fue un lapso de clima caliente de unos 200,000 años ) y el Sangamon (tercer interglacial ) ( fig. 1 ).

Se señala que todas las manifestaciones glaciales descritas sobreyacen a secuencias de suelos rojos del tipo interglacial o sea el Yarmouth. Este horizonte indicador paleoclimático define los fenómenos de origen glacial como pertenecientes a la tercera glaciación.

Los suelos éolicos son uno de los productos típicos, que señalan la existencia de glaciares.



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG.1 ESTRATIGRAFIA DE LA PLANICIE LACUSTRE, CIUDAD DE MEXICO



Se interpreta hoy en día que las llamadas " arcillas lacustres " del valle de México, son producto principal de la alteración de loess glacial ( Ref. 1 ).

-1- Comisión de vialidad y transporte urbano.- Características geológicas y geotécnicas del Valle de México.- Mooser F. y Tamer E. México, Sep. 1986.

## 2.2 ORIGEN Y TIPOS DE SUELO EN EL VALLE DE MEXICO

Todo material contenido en los depósitos de la cuenca del Valle de México, es directa o indirectamente de origen volcánico y pueden ser de dos tipos, de origen volcánico directo o indirecto.

De origen volcánico directo, son los productos de los derrames volcánicos, como es el caso de las lavas de los domos pliocénicos del cerro de Chapultepec y del Cerro de Tepeyac, las coladas recientes del Pedregal de San Angel originadas en el Xitle, etc.

En el caso de los depósitos volcánicos indirectos, se tienen las acumulaciones de polvo eólico; el viento levanta este polvo y lo transporta, a veces a grandes distancias; si el viento lo deposita en laderas, durante periodos de clima frio, se transforma en suelos inmaduros, que en el transcurso del tiempo se convierten en tobas amarillas, que tanto se presentan en las lomas. Sin embargo, si se depositan en un lago, como en el antiguo vaso de Texcoco, sus partículas se hidratan, transformandose en arcillas.

En las zonas altas del Valle de México, se encuentran domos dacíticos ( Plioceno superior ), lavas porfidoandesíticas

y los depósitos de la formación Tarango ( Plioceno inferior ) y grandes emisiones basálticas, como las del Sur ( Cuaternario ); todas ellas competentes por su resistencia y baja compresibilidad, salvo la cubierta meteorizada, o bien por la presencia de cavernas naturales en los basaltos del Xitle, conformados por la emisión efusiva de gases.

Al pie de las sierras y por el cambio brusco de la pendiente en los ríos, se localizan grandes depósitos aluviales de composición muy variable y estratificación cruzada o lenticular, manifestación de una dinámica erosiva muy prominente, en los diferentes periodos de lluvia intensa alternados con otros muy secos.

En las partes bajas, entre las sierras y particularmente en la región central de la cuenca, predominan las formaciones lacustres constituidas por cenizas volcánicas, intercaladas con pómez, arenas finas y limos.

Estos depósitos cubren o aparecen intercalados con estratos de origen aluvial, en la proximidad de los conos de eyección, o bien se encuentran en contacto de las formaciones pétreas típicas de las zonas altas. En general estas formaciones lacustres son altamente compresibles y de baja resistencia al esfuerzo cortante.

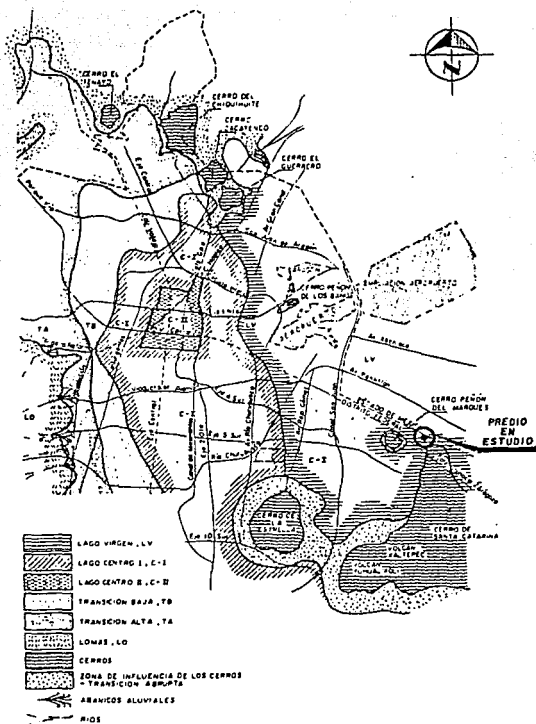
### 2.3 EVOLUCION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS EN EL VALLE DE MEXICO

La consolidación natural y el proceso de formación de los suelos, implicó que se consolidaran bajo su propio peso, excepto en las costras duras, donde su consolidación fue originada por deshidratación. Considerando que la masa de suelo predominante era muy blanda y normalmente consolidada, la variación de su resistencia al corte con la profundidad debía ser lineal y seguramente muy similar en cualquier punto del lago ( fig. 2 ).

Es factible que en el lago Texcoco, el cual prácticamente no sufrió etapas de sequía, y donde el contenido salino de sus aguas era muy alto, las arcillas fueron algo más blandas y compresibles que en el resto de la cuenca.

El desarrollo urbano, en la zona lacustre de la cuenca del Valle de México, ha ocasionado un complejo proceso de consolidación, en el que se distinguen los siguientes factores de influencia:

a) La colocación de rellenos desde la época precortesiana, necesarios para la construcción de pirámides y viviendas, así como para el desarrollo de zonas agrícolas.





**UNAM**  
 TESIS PROFESIONAL

FIG 2 UBICACION GEOTECNICA DEL SITIO

b) La apertura de tajos y tuneles para el drenaje de aguas pluviales y negras, que provocó el abatimiento del nivel freático, lo que a su vez incremento el espesor de la costra superficial y consolidó la parte superior de la masa de arcilla.

c) La extracción de agua del subsuelo, que ha venido consolidando progresivamente a las arcillas, desde los estratos más profundos a los superficiales.

d) Finalmente, la construcción de innumerables estructuras, con diferentes usos y destinos.

#### 2.4 INFORMACION Y CARACTERISTICAS DEL EX-VASO DE TEXCOCO

El exlago de Texcoco se encuentra situado al Noreste de la ciudad de México, en el antiguo lago de Texcoco y zonas aledañas donde la topografía de la región es prácticamente plana, con algunos promontorios aislados, como los cerros del Peñón, Peñón del Marqués y de Chimalhuacan, hacia el Este se levantan las Sierras de Calpulalpan y Río Frío y hacia el Oeste la de Guadalupe.

La transición entre estas zonas es gradual hacia el Oriente y abrupta hacia la sierra de Guadalupe y el Cerro de Chimalhuacan.

La vegetación se encuentra compuesta en el ex-vaso por pastizales halófitos inducidos y naturales ( *Distichlis Spicata* y *Suaedanigra* ), observándose también, grandes arenas sin cobertura vegetal, con algunas zonas de inundación permanente y otras de régimen estacional, de mayor magnitud, completan el paisaje. Las zonas cubiertas con agua son altamente salinas.

Desde el punto de vista agrícola, los suelos del Ex-vaso se clasifican como salino-sódicos y en ellos casi únicamente se desarrollan las especies antes mencionadas.

En la parte oriental existe la zona agropecuaria de Texcoco en la que se cultivan forrajes y hortalizas y se explota el ganado vacuno, porcino y avícola principalmente.

Los suelos de mayor calidad, para la agricultura, se localizan entre los Reyes y Texcoco, a ambos lados de la carretera que los une.

Las partes bajas de las sierras de Calpulalpan y Río Frío, se encuentran en avanzado proceso de erosión ( la cual se está combatiendo actualmente mediante programas de reforestación, construcción de terrazas y control de avenidas ). En esta zona se explotan a cielo abierto minas de tezontle, grava, arena, tepetate y cantera, existen además basaltos en el área.

Descargan en el Lago de Texcoco ( que funciona como vaso regulador ), nueve ríos torrenciales por el este y los ríos de aguas negras de los Remedios y la Compañía y Churubusco, de régimen permanente, por el Oeste y Sur.

En la parte occidental se ha desarrollado una zona industrial que esta limitada al norte por Ecatepec de Morelos, al Sur por la Ciudad de México, al Oeste por la Sierra de Guadalupe y al Oeste por el gran canal ( Ref. 2 ).



En las zonas lacustres del Oriente de la Ciudad de México, se presentan problemas de agrietamiento de suelos y es donde se localiza la Unidad Habitacional " Solidaridad ". En el siguiente capítulo se exponen los problemas que éste ha ocasionado en la Unidad Habitacional.

-2- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.- Subsuelo y la ingeniería de cimentación en el área del Valle de México. Simposio 10 marzo, 1978.

## CAPITULO 3

### PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA APARICION DE GRIETAS EN EL PREDIO

#### 3.1 UBICACION Y DESCRIPCION DE LA ZONA AFECTADA

La zona donde se construyó la Unidad Habitacional "Solidaridad", se encuentra al Sureste del ex-lago de Texcoco, ubicándose el terreno, en proximidad a los cerros de la sierra de Santa Catarina.

El predio de la Unidad se ubica, en Av. Texcoco 1268 colonia Santa Martha Acatitla Deleg Iztapalapa , CD. de México ( fig.1 )

En esta Unidad Habitacional, se construyeron edificios de dos tipos denominados S1 y S2, con dimensiones en planta de 7x10 m. distribuidos en arreglos longitudinales de 3 a 6 inmuebles.

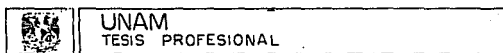
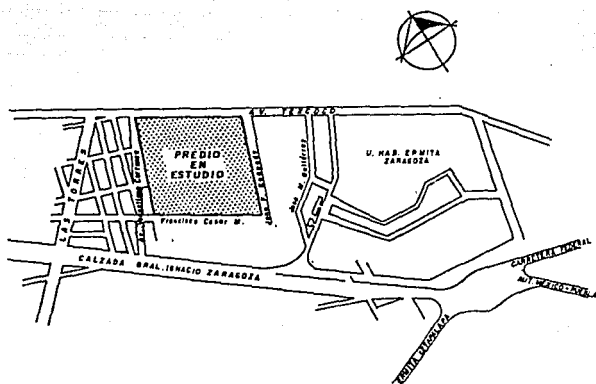
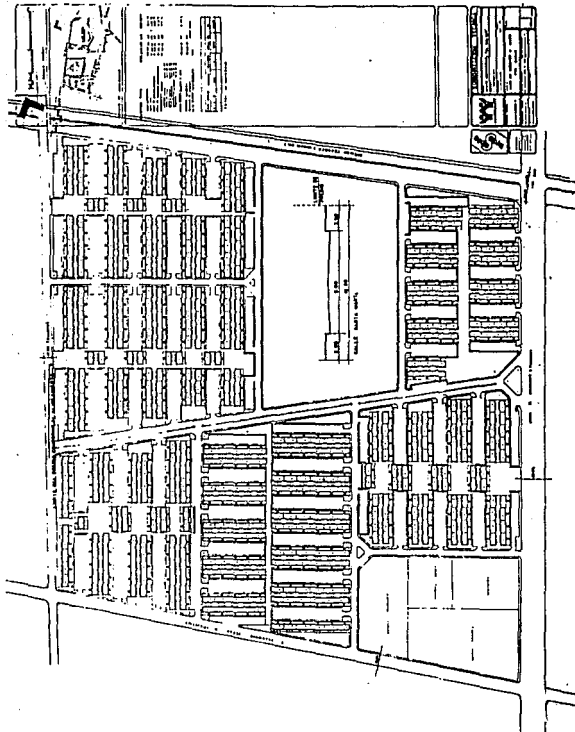


FIG. I CROQUIS DE LOCALIZACION

Estos edificios son de tres niveles, alojando seis casas habitación, construyéndose un total de 577 edificios; dividiéndose el conjunto en 5 manzanas, que cuentan con estacionamientos, andadores y áreas verdes, en la parte Central Oriente y Surponiente de la Unidad Habitacional, se tienen áreas de donación, correspondientes a dos jardines de niños, dos escuelas primarias, una escuela secundaria y comercios cubriendo toda la Unidad Habitacional una superficie de 36.5 hta. ( fig.2 )





**UNAM**  
 TESIS PROFESIONAL

FIG. 2 UNIDAD HABITACIONAL "SOLIDARIDAD"

### 3.2 CARACTERISTICAS DEL AGRIETAMIENTO

Las grietas que se desarrollaron y que se han seguido presentando, febrero de 1989, en la Unidad Habitacional "Solidaridad". mantienen una dirección s-w, entre la calle Francisco Cesar M. y la avenida John F. Kennedy de esta Unidad. ( fig.3 )

Con el propósito de verificar su desarrollo y profundidad se efectuaron tres pozos a cielo abierto, teniéndose como resultados los datos que a continuación se comentan:

Los tres pozos se excavaron manualmente hasta el nivel del agua freática; que en esta zona se localiza aproximadamente a dos metros de profundidad, a partir del nivel de terreno natural. En los tres casos las grietas se encontraron rellenas con un lodo espeso, producto del material arcilloso que ha penetrado en ellas mezclandose con el agua freática.

En general hasta el nivel excavado, las grietas tuvieron un ancho de entre 0.3 a 0.7 m. con una profundidad que podría estimarse en 20 m. en promedio, esto se pudo constatar mediante métodos indirectos, ya que a la profundidad excavada se observó que continuaba el agrietamiento; teniendo éste un desarrollo aproximado de 150 m.

Los pozos arriba mencionados se efectuaron también para ubicar la trayectoria de las grietas en el terreno en virtud de que algunas zonas de las grietas fueron cubiertas superficialmente y alteradas sus dimensiones de ancho en otras zonas, esto debido al movimiento de tierra y al tránsito de maquinaria.

De acuerdo con lo observado en los pozos, se reconoció que en el predio existe superficialmente una capa arcillosa, preconsolidada por secado, de espesor variable, entre 1.2 y 3.2 m. , mezclada con materia orgánica; subyace a esta capa, una secuencia de arcillas de consistencia blanda y alta compresibilidad, la cual presenta pequeñas intercalaciones de arena fina y ocasionalmente ceniza volcánica.

Una característica que se observó de este agrietamiento fué que durante el periodo de lluvias sufrió un ensanchamiento considerable, del orden de 0.3 m. observandose también que se propagó a mayor profundidad, la cual no se pudo determinar con exactitud ya que éste se encontró relleno de un lodo espeso, como antes ya se mencionó; este lodo es producto del deslave originado por la infiltración del agua de lluvia en la grieta.

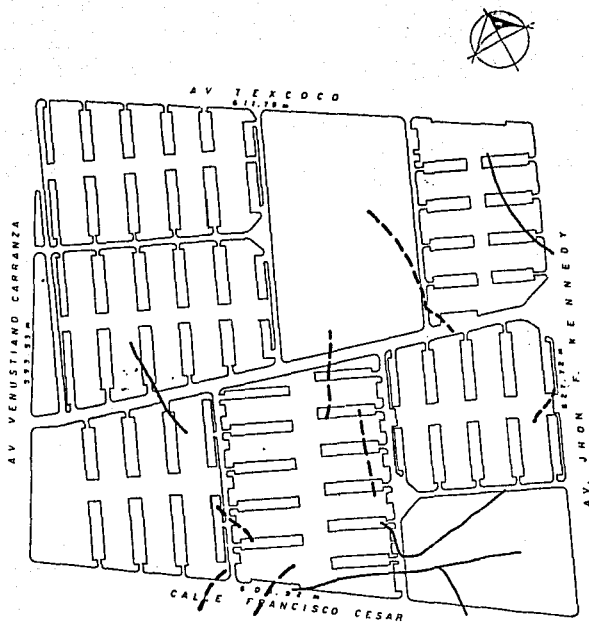
Otras características observadas también en estas grietas fueron las siguientes:

- 1) No presentaron un desnivel relativo entre sus bordes, los cuales se mantuvieron a una altura constante respecto al plano de la grieta.
- 2) Tampoco se denotaron hundimientos en la zona de terreno natural aledaña a las zonas donde se formaron las grietas.
- 3) Las grietas no tienen un desarrollo ordenado.
- 4) Se denota también que en las grietas su desarrollo no es paralelo, entre ellas y se han originado en una forma dispersa.

Unicamente se podría señalar que para las grietas desarrolladas, en la zona entre la calle Francisco Cesar M. y la Av. John F. Kenedy, de la unidad habitacional "Solidaridad", se aprecia un desarrollo sensiblemente paralelo entre ellas.

( fig.3 )





**N O T A**

— GRIETAS DETECTADAS AL INICIO DE LA CONSTRUCCION DE LA UNIDAD, PRINCIPALES DE 1989

- - - GRIETAS QUE HAN APARECIDO DURANTE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION

ESCALA APROX 1:4000



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 3 LOCALIZACION DE GRIETAS

### 3.3 PROBLEMAS OCASIONADOS POR LA APARICION DE GRIETAS EN EL PREDIO

El agrietamiento ha producido problemas sobre las estructuras de la Unidad Habitacional "Solidaridad", que se encuentran más cercanas al fenómeno; estos problemas y daños son de diversos tipos y a continuación se presentan:

- 1) Fisuramientos en edificios tanto en superestructura, como en cimentación.
- 2) Desplomo en algunos edificios.
- 3) Ruptura de instalaciones; agua potable y sanitario.
- 4) Fisuramiento de pavimentos y banquetas.

Estos tipos de problemas y daños se pueden apreciar en específico en ciertas zonas y edificios de la Unidad Habitacional, como son:

En el edificio 10 del condominio 22B manzana F, se presentó fisuramiento en su cimentación, junto con rupturas en su instalación sanitaria. En los edificios 15 y 19 del condominio 13D manzana D, se produjeron desplomes, fisuramientos en cimentación y en muros exteriores de primer nivel, ruptura de instalaciones sanitarias y ruptura de banquetas; además un asentamiento mayor que el aceptado en el bloque de edificios adyacentes a él.

Sobre la calle de Jacarandas, se observó un fisuramiento de pavimento y banquetas, también se observaron fugas de agua, debidos a fisuramientos en tubería de agua potable; estos mismos fenómenos se han venido presentando también en la calle de Francisco Cesar M. con fisuramientos en pavimento, con una longitud promedio de 15.0 m. al igual que en la avenida John F. Kennedy.

El desarrollo de las grietas, también abarca la zona donde se construyó el jardín de niños 1 y la escuela secundaria de esta

Unidad, aunque en estas dos edificaciones no se detectaron problemas debidos al agrietamiento, es importante señalarlo ya que en el futuro pueden presentarse problemas en estas estructuras afectando la seguridad de los usuarios.

## CAPITULO 4

### ESTUDIOS GEOTECNICOS REALIZADOS

#### 4.1 ESTUDIOS GEOTECNICOS

Como se mencionó en el capítulo anterior, el conjunto Habitacional "Solidaridad" se desarrolla sobre un predio de 36.5 hta. La estructuración de estos edificios se resolvió por medio de muros de carga y losas planas de concreto reforzado; su cimentación consiste en un cajón reforzado con contratraves, desplantado a 1.5 m. de profundidad, respecto al nivel de terreno natural.

Para el estudio de las características del subsuelo en el predio y el diseño de la cimentación se llevo a cabo un primer estudio geotécnico; éste realizado en octubre de 1988. Se realizó un segundo estudio geotécnico, pero éste fue diseñado para conocer las características del subsuelo en la zona afectada por el agrietamiento que se desarrolló, este estudio fue realizado en agosto de 1990.

A continuación se presentan las propiedades geotécnicas del terreno; resultado de estos estudios geotécnicos realizados.

#### 4.2 ESTUDIO GEOTECNICO INICIAL

Este estudio se realizó; como se mencionó anteriormente, para conocer las características y propiedades del subsuelo y de acuerdo con éstas identificar las alternativas de solución para el diseño de cimentación y pavimentos correspondientes para la Unidad.

La campaña de exploración comprendió: sondeos mixtos, mediante penetración estandar, muestreo inalterado utilizando tubo shelby, así como pozos a cielo abierto con recuperación de muestras inalteradas y representativas de los diferentes estratos.

Para el propósito de este trabajo en que se estudia el fenómeno de agrietamiento que durante y posteriormente a la etapa de construcción se presentó en la Unidad Habitacional, de este primer estudio geotécnico sólo se considera los resultados y la información obtenida de los sondeos, cuya localización es cercana a la ubicación de los agrietamientos. A continuación se resumen las características estratigráficas y propiedades resultado, de este estudio:

a) En el sitio del proyecto se tiene superficialmente una capa preconsolidada por secado, cuyo espesor resultó variable entre 1.8 y 3.6 mts. Esta capa está constituida en general, por una arcilla de color café grisáceo a café verdoso y ocasionalmente gris oscuro, plástica y resultando, con una consistencia inicial blanda, hasta media, con frecuencia contaminada con materia orgánica y en la cual se determinó una resistencia a la penetración estándar, variable entre 2 y 6 golpes; en este estrato superficial el contenido inicial de agua w, se determinó de 43.00 % hasta 190 % , mientras que en los ensayos sobre plasticidad se determinó un límite líquido LW, en el rango de 80 a 134 % y un límite plástico, LP variable de 31 hasta 56 % de acuerdo al SUCS ( sistema unificado de clasificación de suelos ) este material se clasifica como ( CH, arcilla de alta plasticidad ).

El nivel de aguas freáticas se detectó dentro del estrato superficial a profundidades variables, en el rango de 0.9 a 1.90 m.

b) Subyace al estrato arcilloso superficial un limo arcilloso de color café claro, con tonos verdosos; abundantemente fisurado, de consistencia inicial media y de plasticidad media a baja, cuyo espesor resultó variable entre 0.35 y 0.45 m. en este material, su  $w$  resultó en el rango de 49 a 61 %, con LL de entre 65 y 88 % un LP de 35 a 41, y una clasificación de MH de acuerdo al SUCS. También en este material se determinó una contracción lineal bastante alta, en el rango de 20 a 22 %. En ensayos de compactación tipo próctor estándar se determinó un peso volumétrico seco máximo, para este material, variable entre 1310 y 1335 kg/m<sup>3</sup>.

Es importante mencionar que en ciertas zonas este material cambia a una arcilla limosa, por lo que aparentemente en algunos pozos no se detectó.

c) Subyaciendo al estrato limo arcilloso anterior o bien a la arcilla superficial descrita en el inciso b, apareció una arcilla plástica, de coloración gris oscuro con tonos cafés, también fisurada y de consistencia inicial blanda a



media; en la cual el contenido de humedad  $w$ , sufre un brusco incremento ya que se determinó entre 97 y 173 %, por su parte LL se determinó en el rango de 115 a 228 % y LP de 29 a a 56 %, correspondiendo a una CH según el SUCS. La contracción lineal resultó en el rango de 19 a 33 %.

El material anterior se detectó hasta la máxima profundidad explorada de 30.00 m. y presenta una preconsolidación mucho menor que la de los estratos superficiales, lo cual indica que ha sufrido un secado menos intenso.

También resulta importante hacer notar, que en ninguno de los 10 PCA'S excavados, el NAF se detectó, hasta los 1.50 m. de profundidad, por lo que puede concluirse que un cajón de cimentación podría desplantarse a esta profundidad, sin ser afectado este por el nivel de aguas freáticas.

En el anexo 3, se presentan las principales características de los sondeos y PCAS, así como: curva granulométrica, ensayos de compresión triaxial, ensaye de consolidación, carta de plasticidad, estratigrafía de calculo y perfil estratigráfico.

#### 4.3 ESTUDIO GEOTECNICO REALIZADO PARA FISURAMIENTO

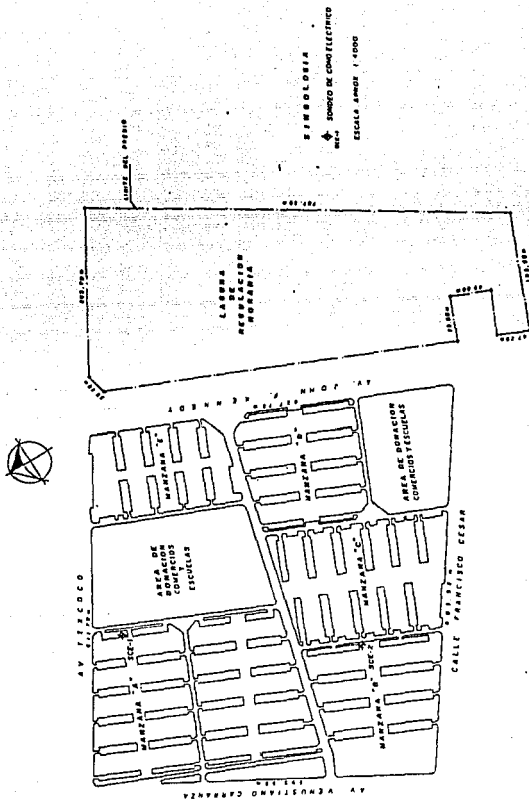
Como fue mencionado al principio de este capítulo. Se realizó un segundo estudio geotécnico en el predio de la Unidad Habitacional "Solidaridad", en agosto de 1990.

Este estudio fue diseñado para conocer las características del subsuelo en la zona afectada por el agrietamiento que se desarrolló. A partir de la información obtenida se reconocieron los parámetros con los cuales se propuso y realizó el sellado de las grietas que afectan al predio en estudio.

El estudio geotécnico comprendió: dos sondeos de cono eléctrico SCE-1 Y SCE-2; profundizados a 55.00 m. la localización de los sondeos y los perfiles de resistencia obtenidos se muestran en las ( figs. 1-3 ).

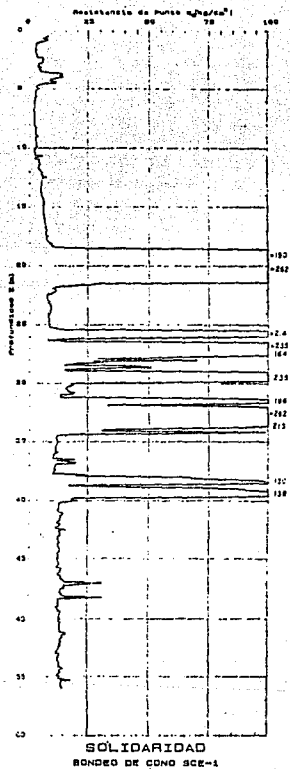
##### 4.3.1 ESTRATIGRAFIA

Las resistencias registradas en los sondeos de cono eléctrico, demuestran que en el predio existen condiciones



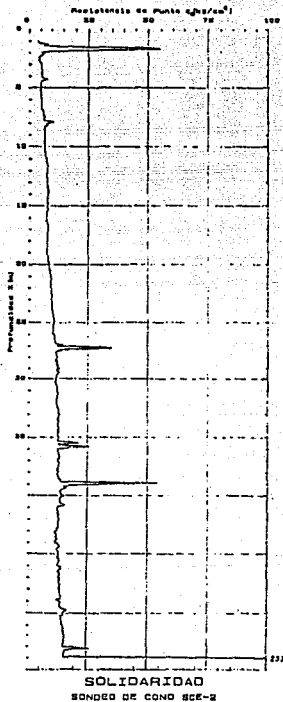
UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 1 LOCALIZACION DE SONDEOS DE EXPLORACION



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 2    SOLIDARIDAD    SONDEO DE CONO SCE-1



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 3 SOLIDARIDAD, SONDEO DE CONO SCE-2

estratigráficas contrastantes y complejas, generadas por la proximidad de la Sierra de Sta Catarina. Una descripción de las estratigrafías correspondientes a cada uno de los sondeos se cita a continuación.

- a) Sondeo de cono eléctrico SCE-1: de 0.00 a 5.00 m. costra superficial formada por arcillas y limos, con una resistencia media, medida con el cono de 8 kg/cm<sup>2</sup>.
- De 5.00 a 18.00 m. formación arcillosa compuesta por arcillas plásticas de consistencia blanda; con una resistencia media a la penetración del cono de 4 kg/cm<sup>2</sup>.
- De 18.00 a 21.50 m. se registró una capa dura, donde la resistencia máxima fue de 260 kg/cm<sup>2</sup>.
- De 21.50 a 25.00 m. siguió una secuencia de arcillas plásticas de consistencia semirígida, con una resistencia medida con el cono de 8 kg/cm<sup>2</sup>.
- De 25.00 a 34.50 m. se registró una segunda capa dura con varias intercalaciones de arcilla; la resistencia media registrada con el cono fue de 200.00 kg/cm<sup>2</sup>.
- De 34.50 a 38.00 m. sigue , arcillas plásticas de consistencia semirígida, cuya resistencia media fue de 12.00 kg/cm<sup>2</sup>.

De 38.00 a 40.50 m. se registró una tercer capa dura, con una resistencia de 135.00 kg/cm<sup>2</sup>.

De 40.50 a 56.50 m. siguieron, arcillas plásticas de consistencia semirígida, con intercalaciones de lentes duras; la resistencia media registrada fue de 13 kg/cm<sup>2</sup>.

b) Sondeo de cono eléctrico SCE-2. de 0.00 a 3.00 m. se tiene una costra superficial formada por arcillas y limos, con una resistencia media de 6.00 kg/cm<sup>2</sup>.

De 3.00 a 54.00 m. continúa una secuencia de arcillas plásticas de consistencia semirígida; resistencia promedio de 11.00 kg/cm<sup>2</sup>. Existen intercalaciones de lentes duras a las profundidades de 8.00, 27.00, 38.50, 53.00 y 54.00 m. con resistencias registradas con el cono que fluctúan para las cinco primeras entre 21.00 y 54.00 kg/cm<sup>2</sup>. alcanzando para la última un valor de 253.00 kg/cm<sup>2</sup>.; el sondeo se suspendió a esta profundidad.

La descripción anterior revela que existe en el predio una complejidad estratigráfica importante, denotada por la presencia y espesores diferentes de las diversas capas existentes, encontradas en los dos sondeos realizados. Situación generada por la cercanía de la Sierra.

## CAPITULO 5

### CAUSAS QUE ORIGINARON EL DESARROLLO DE GRIETAS Y TRATAMIENTO ADOPTADO

#### 5.1 CAUSAS QUE ORIGINARON EL DESARROLLO DE GRIETAS

Los agrietamientos que afectan al predio de la Unidad Habitacional "Solidaridad" son característicos de los agrietamientos que se presentan en la zona del ex-lago de Texcoco.

Estas en general presentan un trazo irregular con separación y dirección variables de algunos a cientos de metros; iniciando su desarrollo con la temporada de lluvias, teniendo por lo regular una dirección preferencial con abertura inicial de unos centímetros a medio metro, la que disminuye hacia los extremos, no presentando desnivel relativo entre sus labios; la profundidad registrada es de pocos metros ( dos a seis ) aunque en algunas ocasiones alcanzan profundidades mayores de diez metros hasta una cota no definida.

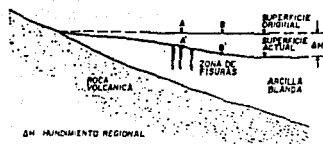


Las grietas que se han presentado en el terreno de la Unidad Habitacional, tienen trazas paralelas a los cerros de la Sierra de Santa Catarina y al Peñon del Marqués, que rodean estas zonas; correspondiendo con el mecanismo de fisuras producidas por hundimiento regional.

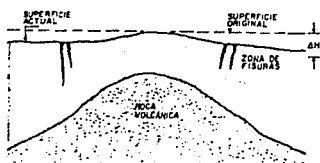
El hundimiento regional producido por el bombeo profundo, asociado a la variación del espesor de arcilla ocasionado por la presencia de la sierra, siendo más reducido en la cercanía con ésta, propicia hundimientos diferenciales y un estado de tensiones en la masa de suelo, que se manifiestan en la superficie con la aparición de grietas ( fig. 1 ).

Estas grietas siguen aproximadamente trazas paralelas a las curvas de nivel de las faldas del cerro, que se encuentran cubiertas por los estratos lacustres depositados en épocas recientes. La extracción de agua de los acuíferos que subyacen a las arcillas ha originado y acelerado el hundimiento regional de la superficie del terreno por la consolidación de los mantos de arcilla altamente compresibles.

Como consecuencia del hundimiento regional, resulta evidente que si el suelo circundante a un cerro se hunde con respecto a él, se creará en la zona de transición entre el cerro y el



Mecanismo de fisuración a la orilla del lago



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 1 MECANISMO DE FISURACION SOBRE UN DOMO CUBIERTO

depósito lacustre un efecto de cuña ( ref. 1 ), en el que el suelo lacustre blando tiende a deslizar sobre la ladera rocosa del cerro que le sirve de apoyo, dando la impresión de que el cerro emerge como una cuña. El deslizamiento genera un alargamiento horizontal ( distensión ) de la masa de suelo, que se traduce en una disminución del esfuerzo horizontal, normal a planos perpendiculares a la pendiente máxima de la ladera sepultada; cuando la disminución de este esfuerzo excede al esfuerzo natural del suelo, se generan tensiones que desencadenan el agrietamiento de la superficie.

-1- Sociedad mexicana de Mecánica de Suelos -Reunión sobre "Agrietamientos de Suelos".

Agosto 13, 1991.

## 5.2 TRATAMIENTO ADOPTADO

Al presentarse problemas de agrietamiento en el subsuelo, fue necesario restablecer la continuidad entre el material arcilloso, a fin de evitar desplazamientos horizontales excesivos de los bloques de suelo que se forman a cada lado de éste.

Para el caso de la Unidad Habitacional " Solidaridad ", se realizó un tratamiento a base de inyecciones de mezclas plásticas de: bentonita, cemento y agua.

Esta mezcla tuvo una consistencia similar a la que presentan las arcillas del lugar; a fin de mantener la plasticidad necesaria para que este material se comporte de manera similar a las deformaciones futuras del terreno y conserve en lo posible la continuidad del suelo.

Para conocer la estratigrafía del sitio de fisuramiento, los espesores de suelos compresibles y su variación en el área en estudio; se realizó una exploración complementaria con cono eléctrico ( además del estudio inicial de mecánica de suelos, esto presentado en capítulo 4 )

Con los sondeos de cono eléctrico, una vez interpretados los

perfiles obtenidos ( presentados en capítulo 4 ); se definieron cortes estratigráficos, que precisaron sondeos de tipo inalterado; su objetivo fue obtener las muestras inalteradas que se ensayaron en laboratorio, con los especímenes se realizaron pruebas para determinar propiedades índice y mecánicas de compresibilidad y resistencia al corte no drenado.

Tomando como referencia los datos obtenidos de los sondeos antes mencionados, se determinaron las características de viscosidad de las mezclas frescas utilizadas para la inyección del agrietamiento, así como de su resistencia después de fraguar. Para lograr esto se prepararon nueve mezclas con los contenidos de bentonita y cemento que se indican a continuación ( tabla 1 ).

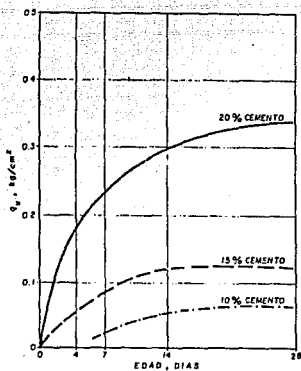
De cada mezcla se fabricaron doce especímenes que se ensayaron en compresión simple a las edades de 4,7,14 y 28 días, tres especímenes por cada edad. ( fig. 2,3,4 ) En las figuras se muestra el resultado de los ensayos, las cuales indican la variación de la resistencia con la edad, la viscosidad de la mezcla lodo bentonítico-cemento y el peso volumétrico de la mezcla fresca.

MEZCLA	BENTONITA, %	CEMENTO %
1	6	10
2	6	15
3	6	20
4	8	10
5	8	15
6	8	20
7	10	10
8	10	15
9	10	20



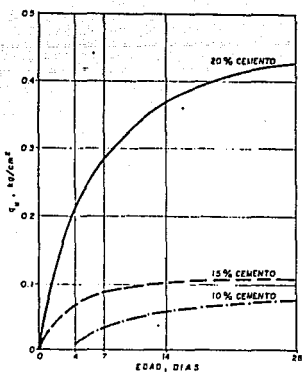
UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG.1 MEZCLAS PARA INYECCION



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

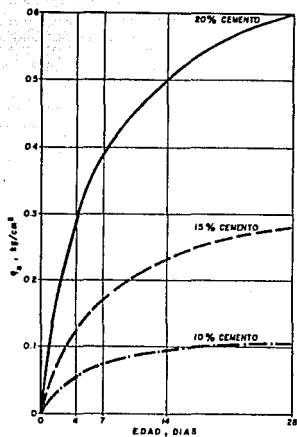
FIG 2 MEZCLAS AL 6% DE BENTONITA CON AGUA Y CEMENTO PARA RELLENO DE GREITAS



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 3 MEZCLAS AL 8% DE BENTONITA CON AGUA Y CEMENTO PARA RELLENQ.(GRETAS)





UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 4 MEZCLAS A 10% DE BENTONITA CON AGUA Y CEMENTO PARA RELLENO DE GRIETAS

La mezcla constituida con 100 kg. de bentonita en polvo y 150 kg. de cemento normal, obtuvo una resistencia de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; ( fig. 4 ) resistencia que debe de tener la mezcla para poder ser utilizada en la inyección.

Con base en los datos anteriores se determinó que para rellenar las grietas principales de la zona estudiada, que tienen un desarrollo aproximado de 150 m. se requería un volumen de 100 a 150 m<sup>3</sup>.

La dosificación de las mezclas para el mortero se elaboraron como sigue:

- 1) Fabricación de lodo bentonítico con 1 m<sup>3</sup>. de agua y 100 kg. de bentonita en polvo.
- 2) A un metro cúbico de este lodo se agregaron 150 kg. de cemento normal, mezclándolo hasta lograr un material homogéneo.

Los materiales utilizados fueron:

- Bentonita marca perfobent, proporción 100 kg/m<sup>3</sup> de mezcla

- Cemento gris marca tolteca, 150 kg/m<sup>3</sup> de mezcla
- Agua potable, 1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de mezcla

El equipo utilizado fué:

- Tanque almacenamiento de agua, con capacidad de 3.66 m<sup>3</sup> y un tanque más con capacidad de 1.5 m. (hecho de lámina de 3/16")
- Agitadora o mezcladora con capacidad de 1 m. (hecho de lámina en forma cilíndrica de 3/16" y con un bastidor formado con varilla de 1 1/4 soldado con varilla de 1/2")
- Bomba extractora e inyectora (moyno con motor kohler de 12 caballos de potencia )
- Tubo de fierro galvanizado de 2 1/2" de 6.00 m. de largo

### 5.3 PROCEDIMIENTO DE RELLENO

El procedimiento de relleno se realizó mediante la excavación de pozos a cielo abierto a cada 7.5 m. desde estos pozos se instaló una tubería através de las grietas por la cual se ejecutó la inyección de la mezcla de relleno. ( fig. 5 )

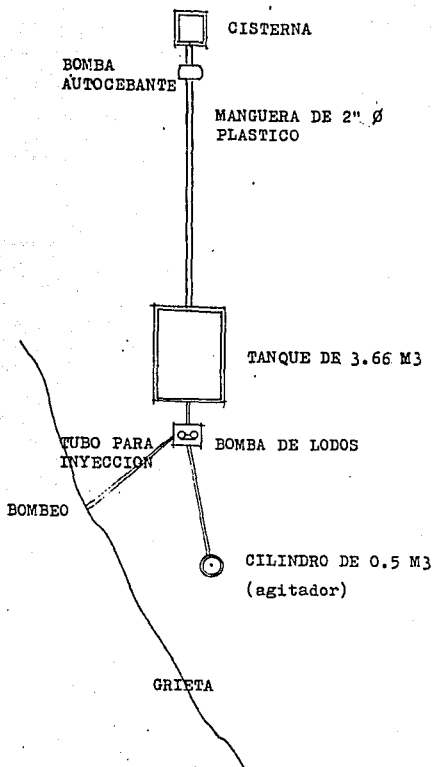
Se tomo un tramo de la grieta con una longitud de aproximadamente 71.00 m.

Las operaciones fueron las siguientes:

a) Se hicieron 11 pozos sobre la grieta a cada 6.00 m. aproximadamente con las siguientes dimensiones: 1.00 m. x 1.00 m. x 1.50 m. de profundidad.

b) Se procede a llenar con agua potable el tanque de almacenamiento en su totalidad o sea 3.66 m<sup>3</sup>. por medio del suministro de una pipa.

c) Con ayuda de la bomba, se toma agua del tanque de



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG. 5 CROQUIS DE TRATAMIENTO DE GRIETAS

almacenamiento y se inyecta en el agitador hasta llenarlo a la mitad de su capacidad o sea 1/2 m. allí mismo se comienza a hacer la mezcla, en la siguiente proporción:

1/2 m. de agua + 75 kg cemento + bentonita.

La mezcla se debe agitar con un bastidor constantemente para evitar que se formen grumos.

d) Una vez hecha la mezcla, se procede a inyectar con ayuda de la misma bomba en cada uno de los pozos, hasta saturarlos e ir al mismo tiempo saturando la grieta poco a poco, introduciendo en el fondo del pozo un tubo de 6.00 m. de largo.

e) Se abren nuevos pozos con las mismas dimensiones entre pozo y pozo, para asegurar que se vaya llenando la grieta sino sucede lo anterior, se vuelve a proceder de la misma forma inyectando la misma mezcla hasta llenar la grieta.

f) Se espera a que la mezcla tome la consistencia necesaria, lo que sucede en aproximadamente una semana.

g) Se cubren los pozos con material producto de excavación.

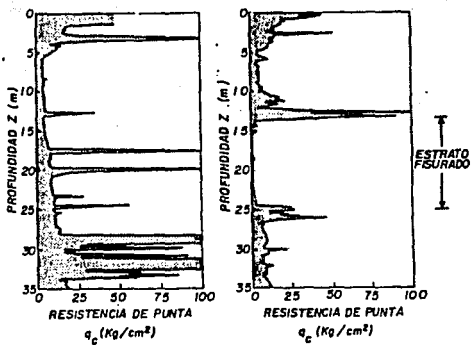
#### 5.4 RESULTADOS OBTENIDOS

El tratamiento aplicado al agrietamiento desarrollado en el predio de la Unidad Habitacional "Solidaridad", es el más adecuado para este tipo de problemas; ya que permite restablecer la continuidad en la masa de suelo afectada por el agrietamiento.

Para poder efectuar este tipo de tratamiento a base de inyecciones de mezclas de bentonita, cemento y agua, es necesario conocer los parametros con los cuales se podran definir las características adecuadas que deberá presentar la mezcla citada.

Es primordial realizar sondeos con cono eléctrico, ya que han demostrado ser la técnica de exploración mas confiable para responder a los objetivos que se persiguen ( fig. 6 ); además la principal ventaja de estos sondeos sobre los tradicionales de penetración estandar, es su sensibilidad para captar la influencia del fisuramiento en los estratos de la zona afectada por estos.

Esta técnica determina las variaciones con la profundidad de las resistencias a la penetración de punta y fricción del cono. La interpretación de estos parametros permite definir con



a) EN UNA ZONA SIN FISURAS LA RESISTENCIA SE INCREMENTA CON LA PROFUNDIDAD

b) EN UNA ZONA FISURADA LA RESISTENCIA APARENTE MEDIDA CON EL CONO RESULTA ERRÁTICA



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 6. COMPARACION DE SONDEOS EN LA DETECCION DE ESTRATOS FISURADOS, RINCONADA SUR



precisión cambios en las condiciones estratigráficas del subsuelo y estimar la resistencia al corte de los suelos mediante correlaciones empíricas. [ ver anexo 1 ]

A partir de la interpretación de los perfiles de los sondeos se definen los cortes estratigráficos que precisan los objetivos de la campaña de exploración en su siguiente etapa:

Estos consisten en sondeos de tipo inalterado, las muestras inalteradas se ensayan en laboratorio y se determina su compresibilidad y resistencia al corte no drenada. Es a partir de esta información que se podrán determinar las características viscosidad de las mezclas frescas y de su resistencia después de fraguar, [ ver anexo 2 ] ya que la mezcla plástica de bentonita, agua y cemento, deberá adquirir una consistencia semejante a la de las arcillas del subsuelo, con objeto de que este material pueda seguir las deformaciones futuras del terreno y conserve la continuidad horizontal de la masa de suelo, el mayor tiempo posible.

El procedimiento de inyección fue el adecuado, ya que al excavar pozos a cielo abierto sobre la traza de la grieta, permiten un relleno más uniforme, así como para descubrir físicamente su rumbo; al abrir pozos intermedios, se verifica el relleno uniforme, pudiéndose constatar, cuándo la mezcla

aparezca por ellos. En caso de que este efecto no se presente se debe cambiar a estos pozos la tubería y manguera que conduce la mezcla de relleno, para proceder a su inyección. Esto no fue necesario en los trabajos que aquí se presentan, lo cual indica que la inyección de mezcla en la grieta fue homogénea.

Para llevar a cabo los trabajos de relleno de grietas, es recomendable no generar presiones dentro de ellas que puedan ocasionar el incremento de sus dimensiones o la aparición de nuevas. Este fenómeno tampoco se presentó durante los trabajos de inyección de mezcla, constatándose de esta manera que la presión de inyección utilizada fue adecuada.

Durante el tiempo posterior al tratamiento efectuado al agrietamiento desarrollado en el predio de la Unidad Habitacional, no se ha detectado aumento de desplome en edificios que sufrían de este a causa del agrietamiento; ya que se colocaron plomos en su estructura y se han realizado verificaciones de su nivelación.

Continúan presentándose los problemas de fisuramiento de pavimentos, para lo cuál es conveniente realizar un sellado de éstas con una mezcla asfáltica flexible, que permita adaptarse a las deformaciones futuras del terreno, reduciendo de esta manera la filtración de agua en las fisuras existentes, evitando de

esta forma, el reblandecimiento del suelo y por consiguiente la formación de grandes baches y posibles asentamientos que perjudiquen tuberías de agua potable, drenaje y pluvial que se encuentren colocadas sobre vialidad.

Como se ha mencionado anteriormente, el hundimiento regional y la cercanía del predio de la Unidad con zonas de transición abrupta, ocasionara que se siga presentando el agrietamiento. Por lo cual se deberá continuar con el tratamiento de inyecciones, periódicamente a medida que el agrietamiento vuelva a manifestarse durante la vida útil del conjunto.

Es conveniente aplicar a estas grietas una instrumentación que permita conocer su comportamiento, esto para tener mayor documentación acerca de este fenómeno y también para poder prever cualquier situación que ponga en peligro la seguridad de las estructuras de la Unidad Habitacional "Solidaridad".

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El fisuramiento del terreno está asociado al desarrollo de hundimientos diferenciales de la superficie, originados por el abatimiento de presión en el agua de los estratos profundos del subsuelo, éstos, producidos por la extracción de agua mediante pozos de bombeo. Este fenómeno generalizado en todo el Valle de México es el factor principal que ocasiona el hundimiento regional.

Al presentarse el fenómeno de fisuramiento debe de restituirse la continuidad de la masa de suelo, con objeto de evitar la existencia de bloques independientes cuya respuesta sísmica pudiera ser inadecuada.

El tratamiento que se siguió en la Unidad Habitacional "Solidaridad" es el más adecuado y recomendable para los problemas de agrietamientos en suelos. Debido a que al inyectarse mezclas plásticas de bentonita, cemento y agua, de consistencia similar a la arcilla del lugar, se restituye la continuidad entre los bloques de arcilla, además de que este material sigue las posibles deformaciones futuras del terreno.

Los desplazamientos de los bloques de arcilla continuarán

presentandose debido a la activación de la grieta a causa del hundimiento regional, por tal motivo el tratamiento de las grietas deberá realizarse periódicamente a medida que las mismas vuelvan a manifestarse en la vida útil del conjunto.

Respecto a los edificios que han sufrido inclinación a causa del fisuramiento del terreno y su desplome supere el 3 % deberán ser renivelados con las técnicas de subexcavación parcial o lastrado, siendo conveniente exceder la corrección en el sentido contrario al desplome que mantiene el edificio; esto con el propósito de anticiparse al desplome que se seguirá presentando. Se recomienda continuar con el programa de mediciones tanto de hundimientos como de desplomes de los edificios.

Será necesario mantener una constante vigilancia de la aparición de fugas en tuberías, causadas por roturas debidas a desplazamientos horizontales del suelo, es recomendable que las reparaciones se efectúen instalando juntas flexibles en los puntos de falla, capaces de tomar desplazamientos longitudinales importantes.

Las cimentaciones por cajones de los edificios de la Unidad Habitacional, son las más adecuadas cuando se tienen problemas de agrietamiento en suelos, ya que su rigidez permite restar la

inclinación de los edificios debido a los asentamientos diferenciales del terreno; sin embargo las estructuras quedan expuestas a sufrir fisuramiento a través de los años.

Es fundamental que los habitantes de la Unidad conozcan la problemática geotécnica de este sitio y los efectos que tendrá en el comportamiento de los inmuebles, a fin de que la aparición y desarrollo de grietas así como la tendencia a que sufran desplome los edificios, no produzca angustia y desesperación en los colonos al considerar falsamente que las estructuras son inseguras para habitarse.

El problema de agrietamiento de suelos, seguirá presentandose en la Ciudad de México y muy probablemente acentuándose en magnitud y ocurrencia. Esto debido al proceso de consolidación de los suelos blandos e incrementado este proceso por la explotación de los mantos acuíferos.

Este fenómeno de agrietamiento se presenta ya en casi todas las zonas de la Ciudad, pero con mayor magnitud y ocurrencia en las zonas de transición abrupta, donde existen suelos arcillosos lacustres del Valle de México con domos volcánicos que los confinan.

En la zona Oriente y Noreste de la Ciudad se construyen grandes Unidades Habitacionales, para responder a la demanda de

vivienda en la Ciudad, creándose importantes incrementos de carga, esto aunado a la problemática geotécnica existente en estas zonas a generado serios problemas de agrietamientos de suelos en éstas, afectando a las estructuras que ahí se edifican

Es necesario aplicar un nuevo criterio al proyectar estructuras sobre suelos con tendencia al agrietamiento.

Algunas recomendaciones generales que deben considerarse al proyectar una estructura en zonas con esta problemática serán:

- Identificación de las características geológicas de la zona
  
- Localización de fisuramiento existente en el terreno y posibles daños ocasionados en los inmuebles vecinos
  
- Los estudios geotécnicos deberán abarcar sondeos de cono eléctrico con sondeos de tipo inalterado, en las muestras inalteradas se realizarán ensayos en laboratorio, para determinar su compresibilidad y resistencia al corte no drenada

- Se deberán diseñar las cimentaciones en función de minimizar los asentamientos diferenciales y previniendo posibles fisuramientos en éstas, manteniendo de esta forma la seguridad de la estructura
  
- También deberá restringirse la magnitud de la carga transmitida por las estructuras sobre el terreno en estas zonas
  
- Es recomendable en caso de que se presente o exista agrietamiento de suelos, el tratamiento a base de inyecciones de mezclas plásticas de bentonita, cemento y agua, como solución alternativa

Casos como el que se maneja en esta tesis sirven de ejemplo y referencia, para las futuras construcciones que se proyecten en estas zonas, debiéndose prever los futuros problemas que ocasionarán el agrietamiento de suelos.



## ANEXO 1

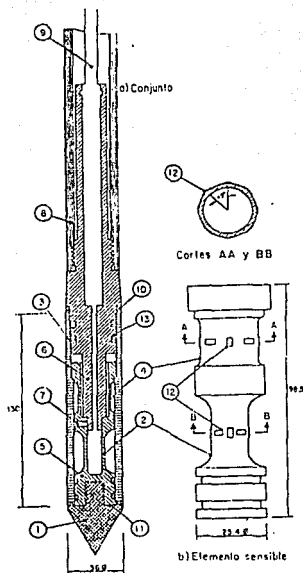
### PRUEBA DE CONO ELECTRICO

#### CONO ELECTRICO

"Es una celda de carga con dos unidades sencibles instrumentadas con deformómetros eléctricos (strain gages) usualmente tienen 2 ton. de capacidad de carga y resolución de más menos 1 kg. pero en el caso de suelos duros podrá alcanzar una capacidad de 5 ton. y resolución de más menos 2 kg. en la ( fig. 1 ) se muestra esquematicamente dicho instrumento; generalmente tienen 3.6 cm. de diámetro exterior, aunque para suelos blandos se han utilizado hasta de 7.00 cm.

Como se observa en la (fig. 1) la fuerza que se desarrolla en la punta cónica (1) se mide en la celda inferior (2), y la que se desarrolla en la funda de fricción (3) se mide en la celda superior (4).

La señal de salida del cono se transmite con cables a la superficie, la recibe un aparato receptor y la transforma en señal digital, impresión numérica o directamente en una gráfica.



- 1 Cono ( $60^\circ$ ,  $\varnothing 36\text{mm}$ ,  $0.16\text{cm}^2$ )
- 2 Celda de punta
- 3 Funda de fricción ( $\varnothing 36\text{mm}$ ,  $147.02\text{cm}$ )
- 4 Celda de fricción
- 5 Elemento sensible (bronce SAE-64)
- 6 Pieza de empuje
- 7 Perno de sujeción ( $3 \times \varnothing 120^\circ$ )
- 8 Copie conector a la tubería EW
- 9 Cable conductor blindado de 8 hilos
- 10 Sello de silicon blanda
- 11 Rondana de bronce
- 12 Deformómetros eléctricos
- 13 Ara-sello

Anotaciones, en mm.



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 1 CORTE TRANSVERSAL DEL PENETROMETRO ELECTRICO

## MECANISMO DE CARGA

El cono se hince en el suelo empujandolo con una columna de barras de acero, usualmente de 3.6 cm. de diametro exterior, por cuyo interior sale el cable que lleva la señal a la superficie. La fuerza necesaria para el hincado se genera con un sistema hidráulico con velocidad de penetración controlada.

## OPERACION DEL EQUIPO

La velocidad de hincado del cono es usualmente de 2 cm/seg; sin embargo, en la norma tentativa (ASTM D3441-75T para operación del cono eléctrico) se propone de 1 a 2 cm/seg más menos 25%. Para las arcillas de la Ciudad de México se ha adoptado 1 cm/seg porque así se controla mejor la prueba; sin embargo, es admisible operar con 2 cm/seg, sabiendo que se obtienen valores ligeramente más altos; cabe señalar que es muy importante que durante la prueba la velocidad de penetración se mantenga constante, ya que es inevitable que en las capas duras el cono pierda velocidad de penetración y que al pasarlas se acelere.

## RESULTADOS

La prueba de penetración de cono permite definir las

variaciones de las resistencias de punta y fricción con la profundidad; la ( figura 2 ) muestra un ejemplo de un sondeo en el centro de la Ciudad; no se presenta la gráfica de la fricción porque en los suelos blandos su medición es incierta.

#### INTERPRETACION DE RESULTADOS

El penetrometro eléctrico permite detectar con precisión los cambios estratigráficos, utilizando como indicador la variación de la resistencia de punta ( fig. 3 ).

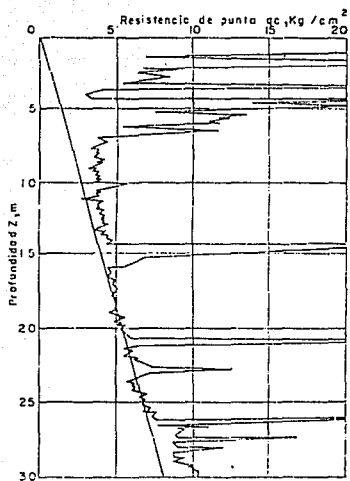
#### Identificación indirecta de los suelos

La identificación de los suelos se hace de manera indirecta mediante correlaciones empíricas como las de las figuras 4a y b, una elaborada por Sanglerat y la otra por Samertmann. En el caso del subsuelo de la Ciudad de México, particularmente en la zona del Lago, la identificación de los suelos se puede hacer comparando la variación de la resistencia de punta con la estratigrafía definida mediante sondeos con muestreo inalterado continuo.

#### PARAMETROS DE RESISTENCIA DE LOS SUELOS

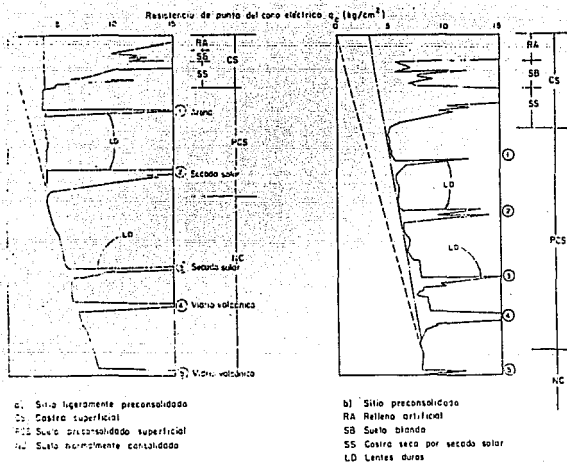
##### Suelos cohesivos

La resistencia al corte de suelos cohesivos en condiciones no



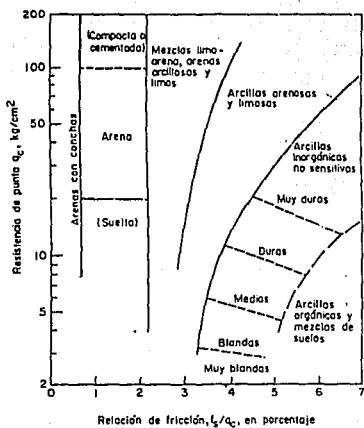
UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 2 VARIACION DE LA RESISTENCIA DE PUNTA CON LA PROFUNDIDAD



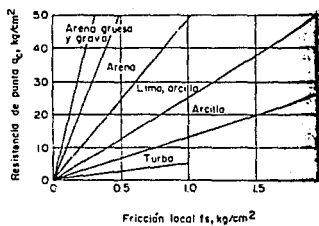
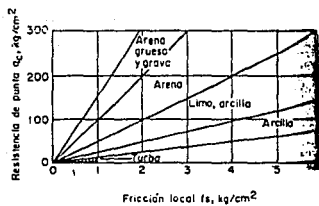
UNAM  
 TESIS PROFESIONAL

FIG 3 TIPOS DE VARIACION DE RESISTENCIA DE PUNTA



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 9a CLASIFICACIÓN DE SUELOS CON PENETROMETRO ESTÁTICO



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 4b CLASIFICACION DE SUELOS CON PENETROMETRO ESTATICO



drenadas se puede obtener aproximadamente con la expresión:

$$C_{uu} = \frac{q_c}{N_k}$$

donde

$C_{uu}$  resistencia al corte no drenada, en T/M<sup>2</sup>

$q_c$  resistencia de punta de cono, en kg/cm<sup>2</sup>

$N_k$  coeficiente de correlación

Los valores del coeficiente  $N_k$ , determinados para suelos de la Ciudad de México, aparecen en la ( tabla 1 ).

#### Suelos friccionantes

La correlación entre la resistencia de punta del cono y la capacidad relativa de arenas finas se muestra en la (figura 5).

Para determinar el valor del ángulo de fricción interna,  $\phi^*$ , usualmente se utilizan las fórmulas de capacidad de carga, empleando como datos la capacidad de carga última y la estimación del peso volumétrico; en la (fig. 6) se presenta una solución gráfica para determinar el valor de  $\phi^*$  en función de  $q_c$  y de  $\sigma_v^*$ , donde  $\sigma_v^*$  es el esfuerzo vertical efectivo.

Tipo de suelo	$q_c$	P r u e b a		Torcómetro		Penetrómetro de bolsillo
		Triaxial UU	Compresión simple	Lab	Campo	
Costra seca	$5 < q_c < 10$	$q_c/14$	$q_c/20$	-	-	-
Arcillas blandas	$q_c > 5$	$q_c/13$	$q_c/16$	$q_c/12$	$q_c/14$	-
Limos arcillosos duros	$q_c > 10$	$q_c/24$	$q_c/54$	-	-	$q_c/23$

$q_c$  resistencia de punta en  $kg/cm^2$



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

TABLA. I VALORES DEL COEFICIENTE DE CORRELACION NK PARA LA CD. DE MEXICO

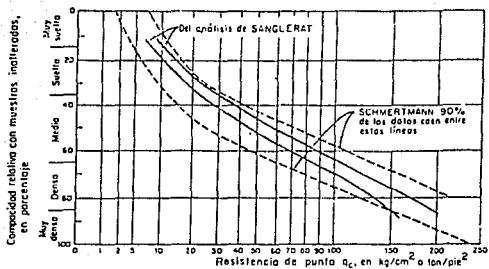
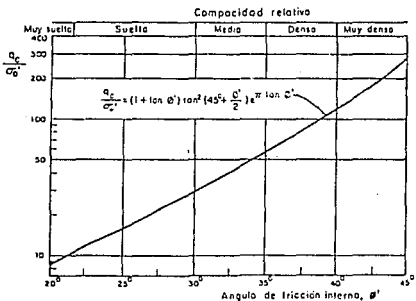


FIG 5 CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA DE PUNTA Y LA COMPACTACION RELATIVA DE ARENAS FINAS



UNAM  
TESIS PROFESIONAL

FIG 6 CORRELACION DE LA RESISTENCIA DE PUNTA Y EL ANGULO  $\phi'$  DE ARENAS

## COMENTARIOS

La prueba de penetración con cono es la técnica de exploración de suelos más eficiente y económica de que se dispone actualmente.

Cuando se trata de suelos blandos, el cono eléctrico tiene mayor precisión que el cono mecánico.

Los coeficientes de correlación  $N_q$  entre las mediciones con cono y la resistencia al corte no drenada de los suelos, están basados en un número reducido de sondeos inalterados; por ello deben utilizarse con reserva y de preferencia ratificarse con sondeos de correlación, para asegurarse de su validez.

El cono deberá calibrarse después de cada diez sondeos a fin de comprobar su confiabilidad " ( Ref. 1 ).

-1- Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.- Exploración  
Geotécnica. México D.F. 1986

## ANEXO 2

### MEZCLAS PLASTICAS DE BENTONITA, CEMENTO Y AGUA

#### CARACTERISTICAS DE LOS LODOS FRAGUANTES

"La adición de cemento a una suspensión de arcilla tixotrópica (bentonita) produce un nuevo material de características muy complejas, cuyo aspecto en el momento de su elaboración es el de una lechada viscosa de color gris; esta mezcla no inicia su fraguado mientras se mantenga en movimiento, pero una vez que se deja de mover y permanece en reposo, fragua rápidamente.

Dentro de sus principales aplicaciones se incluyen:

- a) Inyecciones
- b) Pantallas impermeables
- c) Pantallas prefabricadas
- d) Cimientos de resistencia media
- e) Empaques de aparatos de instrumentación dentro del subsuelo

## TIPOS DE MEZCLAS DE BENTONITA, CEMENTO Y AGUA

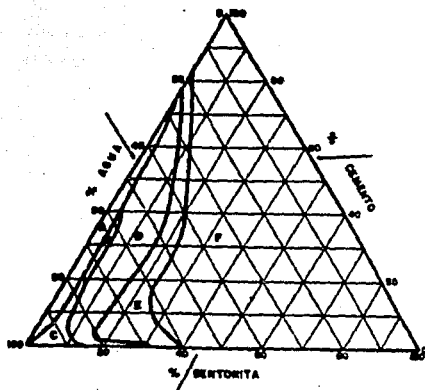
Según Jones, los diversos porcentajes de combinación posibles entre el agua, la bentonita y el cemento, forman seis diferentes grupos de mezclas en atención a su comportamiento, según se observa en la ( fig. 1 ).

Tales mezclas pueden catalogarse como :

- A.- Suspensión inestable que sedimenta
- B.- Suspensión estable temporalmente que sedimenta antes de fraguar
- C.- Gel arcilla-cemento, poco resistente
- D.- Suspensión estable y bombeable
- E.- Suspensión estable, viscosa y espesa
- F.- Mezclas no trabajables, sólidas, generalmente en forma de polvo

## PROPIEDADES REQUERIDAS DEL LODO

Para obtener una mezcla adecuada de lodo fraguante es necesario definir la proporción exacta tanto del lodo



- A • SUSPENSION ESTABLE DE BENTONITA.
- B • SUSPENSION ESTABLE TEMPORALMENTE QUE SEDIMENTA ANTES DE FRAGUAR.
- C • SOL. ACUOSA BENTONITA POCO RESISTENTE.
- D • SUSPENSION ESTABLE Y SEDIMENTABLE.
- E • SUSPENSION ESTABLE VISCOSA Y ESPESA.
- F • UN CLASIS DE YERROZCABLES SOLIDAS GENERALMENTE EN FORMA DE POLVO.


	<p style="margin: 0;"><b>UNAM</b> TESIS PROFESIONAL</p>
---	---

FIG. 1 TRIANGULO DE PROPORCIONAMIENTO

bentonítico como del cemento en la composición del mismo. Este proporcionamiento base inicial se define mediante un estudio de laboratorio y posteriormente su verificación en campo. Las principales propiedades de los lodos que deben determinarse son: las propiedades de fluidez, y las propiedades físicas. Tales propiedades tienen por objeto caracterizar su comportamiento tanto en su estado líquido como en su estado sólido.

Dentro de las propiedades de fluidez se encuentran la viscosidad, tixotropía, tiempo de fraguado y la resistencia del gel formado; las propiedades físicas involucran la densidad y el peso específico de la mezcla.

El otro aspecto se refiere a la resistencia que alcance el lodo una vez que éste haya fraguado.

Desde un punto de vista más analista, la resistencia está definida por los siguientes factores:

- La cantidad de cemento, de un modo primordial
- El tipo de cemento, de bentonita y su interacción
- El grado de desecación
- La cantidad y el tipo de suelo incorporado (contaminante)
- El tiempo



## PROGRAMA DE ENSAYES

El programa de ensayos tiene por objeto conocer las propiedades físicas de la bentonita y de fluidez de los lodos bentoníticos que con ella se fabrican; en los lodos fraguantes se realizaron ensayos de fraguado después de remoldeo y de resistencia a la compresión.

## FABRICACION Y COLOCACION DEL LODO

La fabricación del lodo fraguante inicia en primer lugar elaborando el lodo bentonítico y dejando reposar este último por un periodo mínimo de 24 hrs, con el objeto de garantizar la hidratación del mismo; después de ese tiempo se le adiciona a la mezcla bentonítica el cemento en función de los porcentajes establecidos. El depósito donde se elaborará el lodo fraguante deberá contar con agitadores con la potencia necesaria para mezclar el lodo con el cemento, entrando en funcionamiento en el momento de agregar el cemento y durante un tiempo mínimo necesario para lograr una mezcla homogénea. Cuando concluye el agitado del lodo fraguante, éste se transporta ya sea en camiones revolvedores o a través de una tubería desde el depósito hasta la zona de trabajo" ( Ref. 1 ).

-1- Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería.

Algunos aspectos de la inyección en los suelos.

Revista Ingeniería, Número Abril 1961.

### ANEXO 3

Características de los sondeos y PCAS. Estratigrafía de calculo, perfil estratigráfico, curva granulométrica, ensayo de compresión triaxial, ensayo de consolidación y carta de plasticidad.

Principales Características de los Sondeos y PCA's Ejecutados en el Sitio  
Donde se Proyecta la Unidad Habitacional

SONDEO PCA Nº	PROFUNDIDAD en ** ALCANTARADA "	COORDENADAS		FECHAS		MUESTREO		PROFUNDIDAD DEL RAF ** "
		X "	Y "	INICIO -	TERMINO -	SPI *** "	TS nuestra	
1AC-UHSAL	26.80	1422.00	1473.00	22 JUL 88	25 JUL 88	25.20	2	0.90
2AC-UHSAL	30.00	1514.00	1100.00	25 JUL 88	27 JUL 88	26.00	3	1.80
3AC-UHSAL	32.30	1323.00	1281.00	29 AGO 88	31 AGO 88	25.10	9	1.72
4AC-UHSAL	35.00	1607.00	1423.00	31 AGO 88	02 SEP 88	27.80	9	1.07
3AA-PCA3-UHSAL	1.50	1580.00	962.00	01 SEP 88	01 SEP 88	3	-	ND
4AA-PCA4-UHSAL	1.50	1642.00	1404.00	01 SEP 88	01 SEP 88	3	-	ND
5AA-PCA5-UHSAL	1.50	1511.00	1180.00	31 AGO 88	31 AGO 88	4	1	ND
6AA-PCA6-UHSAL	1.50	1563.00	1488.00	01 SEP 88	01 SEP 88	3	1	ND
7AA-PCA7-UHSAL	1.50	1459.00	1355.00	31 AGO 88	31 AGO 88	3	1	ND
8AA-PCA8-UHSAL	1.50	1336.00	1137.00	30 AGO 88	30 AGO 88	4	-	ND
9AA-PCA9-UHSAL	1.50	1430.00	1560.00	31 AGO 88	31 AGO 88	3	1	ND
10AA-PCA10-UHSAL	1.50	1298.00	1374.00	29 AGO 88	29 AGO 88	5	1	ND
12AA-PCA12-UHSAL	1.50	1255.00	1495.00	31 AGO 88	31 AGO 88	4	-	ND
13AA-PCA13-UHSAL	1.50	1151.00	1252.00	30 AGO 88	30 AGO 88	3	-	ND

NOTAS:

- \* Sistema Coordenado local (rectangular).
- \*\* En relación con la superficie actual del terreno.
- \*\*\* En los PCA's bajo esta columna se pone el número de muestras representativas (alteradas).
- TS Tubo Shelby (en el caso de los PCA's se indican las muestras cúbicas).
- ND No detectado.

RESULTADOS DE LOS ENSAYES DE LABORATORIO EN LAS MUESTRAS DE LOS POZOS A CIELO ABIERTO.

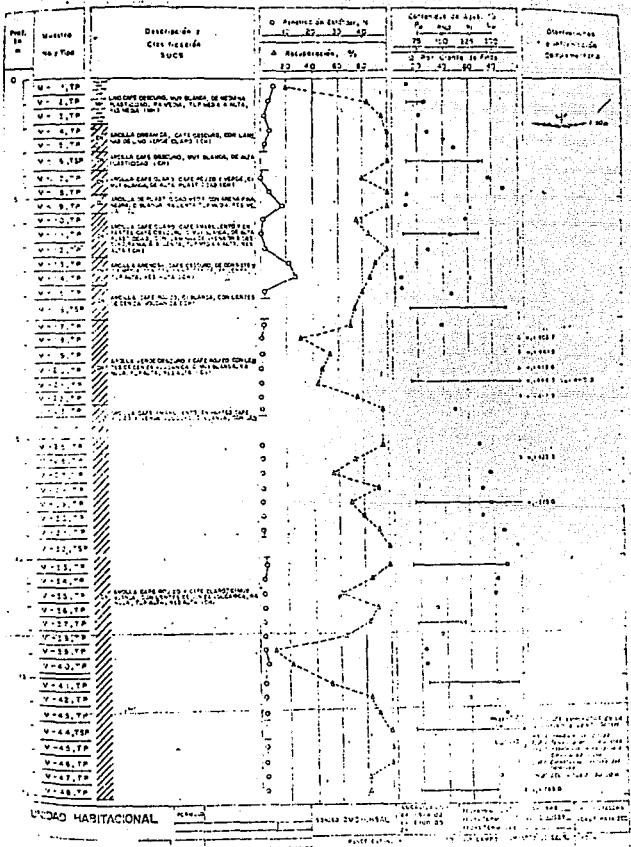
PZD	METS	PROPORCION	SOL	n	t	a	f <sub>1</sub>	f <sub>2</sub>	f <sub>3</sub>	f <sub>4</sub>	C.S.	E <sub>1</sub>	Prueba		Valor relativo de		m	B <sub>1</sub>	
													1	2	1	2			kg/cm <sup>2</sup>
No.	Lab.	%		%	%	%	%	%	%	%	%	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
204-PZ11	1	0.8-0.4	CO	86.31			702.43	22.48	748.99										
	2	0.6-0.35	CO	85.09			39.90	36.52	36.10			18.82	871.5	1210	37.0	2.66	1.11		
	3	0.55-1.30	CO	179.95			331.94	36.36	319.44										
204-PZ14	1	0.8-0.30	CO	73.57															
	2	0.20-0.20	CO	86.51			84.28	41.26	41.65			22.74	623.4						
	3	0.70-1.30	CO	138.00			132.50	44.43	136.13										
204-PZ11	1	0.8-0.30	CO	81.33															
	2	0.30-0.41	CO	55.00			34.00	20.13	55.87	27.51		875.1	1215	34.0	2.34	0.94			
	3	0.55-1.2	CO	172.77															
	4	0.30-0.30	CO	104.67															
204-PZ11	1	0.8-0.30	CO	143.38	1.94	52.4	144.00	34.63	157.87	27.04							1.26	0.97	0.97500
	2	0.8-0.30	CO	84.34															
	3	0.30-0.75	CO	71.34			99.00	34.74	43.29	24.78		342.4							
	4	0.75-1.37	CO	36.94	1.407	58.6	171.92	34.00	171.09									0.74	0.37
204-PZ17	1	0.8-0.75	CO	74.76															
	2	0.15-0.15	CO	52.99			71.00	30.57	32.33	26.94		837.0	1210	25.0	11.51	0.74			
	3	0.55-1.30	CO	195.34			117.15	44.18	71.85										
	4	0.70-1.10	CO	172.14	2.930	51.5	164.00	34.43	157.17	23.13								1.14	0.53
204-PZ13	1	0.8-0.20	CO	51.81															
	2	0.75-0.50	CO	58.67	07.31		70.00	37.14	41.60	27.40		823.0							
	3	0.50-0.50	CO	121.00			221.43	44.44	193.37										
	4	0.30-1.30	CO	111.17			141.00	29.70	106.14										
204-PZ15	1	0.8-0.45	CO	71.23															
	2	0.45-0.60	CO	84.70	63.34		74.10	35.06	24.04	28.87		876.8	1210	24.0	1.90	1.87			
	3	0.30-1.30	CO	121.00			160.00	41.19	71.47										
	4	0.30-1.20	CO	130.31	2.995	12.0	180.00	30.00	193.48	31.25								0.96	0.51
204-PZ10	1	0.8-0.30	CO	81.71															
	2	0.30-0.45	CO	84.77			70.10	31.47	47.70	14.55		1-2.00							
	3	0.50-0.75	CO	178.45			134.10	43.55	131.45										
	4	0.15-1.20	CO	121.40			179.00	37.00	91.00										
	5	0.30-1.30	CO	89.79			141.00	29.23	94.45										
204-PZ10	1	0.8-0.30	CO	108.05															
	2	0.30-1.20	CO	110.05	1.842	31.0	114.00	44.50	83.70	15.17								1.13	0.31

DESCRIPCION	PERMISACION	PRE	CONSUMO	UNIDAD DE	NORMA DE	RELACION DE	SECTOR DE	DETERMINA	RELACION DE		NORMA DE
	ESTADIA A	CONSUMO C	ESTADIA C	PAISAJE D	ESTADIA E	PAISAJE D	SECTOR B	ESTADIA C	A	B	ESTADIA C
café oscuro de el blanco (ca)	1	2.5	2.1	0	24.20	1.10	0.0137	0.9127	0.3160	7.350	11.40
café café, muy blanco, de alta plasticidad (ca)	0	1.45	2.1	0	29.82	0.45	0.0115	0.0707	1.0210	0.93	336.0
café café, muy blanco, de alta plasticidad (ca)	0	1.38	1.6	0	31.01	0.40	0.0130	0.3170	5.2700	1.247	26.5100
café café, muy blanco, de alta plasticidad (ca)	0	1.10	2.1	0	26.46	0.45	0.0245	0.0910	0.1701	7.072	562.0
café café, muy blanco, de alta plasticidad (ca)	0	1.74	1.8	0	22.37	0.40	0.0217	0.0075	0.2571	1.720	27.5000
café café, muy blanco y café, de el blanco (ca)	0	1.47	2.2	0	27.62	0.45	0.0245	1.0021	0.0701	0.83	999.2
café café, muy blanco, con leche de café (ca)	0	1.30	2.6	0	16.82	0.40	0.0217	0.0075	0.2571	0.334	200.0
café café, muy blanco, de alta plasticidad (ca)	0	1.22	2.1	0	18.00	0.45	0.0150	1.0340	0.4067	0.925	1116.1
café café claro (ca)	0	1.23	2.1	0	18.00	0.45	0.0251	1.0170	0.3030	0.770	400

Estratificación de Cálculo. Unidad Habitacional

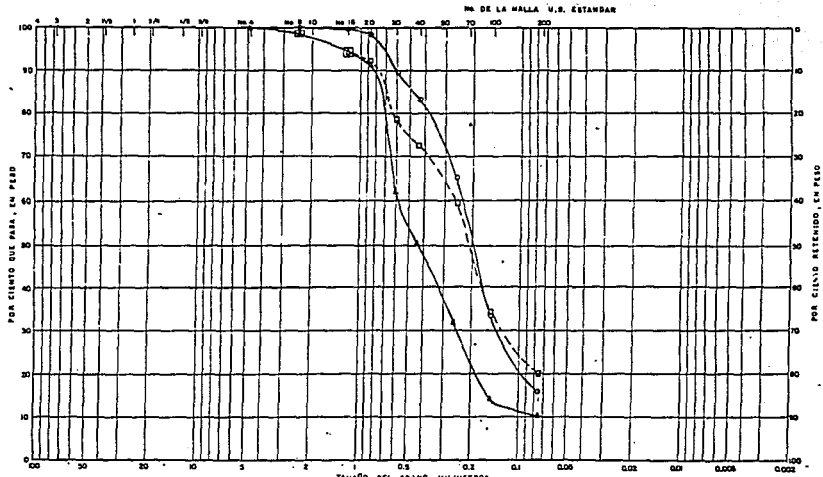
DESCRIPCION	PERCENTAJE	PESO	CANTIDAD	ANCHO DE	NUMERO DE	RELACION DE	NUMERO DE	COEFICIENTE	RELACION DE	NUMERO DE	
	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	ESTRUCO	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Lana virgo blanca de El Blando (Cm)	1	1.5	2.1	0	24.25	1.10	0.0127	0.1427	0.5150	2.150	11.48
Woolite café, muy blanda de alta elasticidad (Cm)	0	1.45	2.1	0	29.67	0.45	0.0110	0.1702	1.6210	0.95	936.8
Woolite café, blanda, de alta elasticidad (Cm)	2	1.30	1.4	0	31.45	0.45	0.0110	0.1470	1.2740	0.247	25.25
Woolite café, blanda, de alta elasticidad (Cm)	0	1.10	2.1	0	26.46	0.45	0.0110	0.0910	0.470	7.007	552.4
Woolite blanca, de El Blando (Cm)	1	1.70	1.8	0	37.82	0.62	0.0110	0.0910	0.2910	2.120	27.29
Woolite verde blanca y café, de El Blando (Cm)	0	1.17	2.2	0	27.67	0.45	0.0110	1.0070	0.610	0.824	995.2
Woolite café, blanda, de alta elasticidad (Cm)	0	1.30	1.4	0	30.23	0.40	0.0110	0.0910	0.2370	0.530	290.8
Woolite café, muy blanda, de alta elasticidad (Cm)	0	1.20	2.1	0	40.00	0.45	0.1150	1.0200	0.4007	0.870	1115.0
Woolite café clara (Cm)	0	1.20	2.1	0	40.00	0.45	0.0210	1.0170	0.3630	0.270	400.

Estratografía de Cerveza, Unidad Habitacional



UNIDAD HABITACIONAL

No. de Muestra: \_\_\_\_\_  
 Fecha: \_\_\_\_\_  
 Lugar: \_\_\_\_\_  
 Observador: \_\_\_\_\_  
 Escala: \_\_\_\_\_  
 Profundidad: \_\_\_\_\_  
 Temperatura: \_\_\_\_\_  
 Salinidad: \_\_\_\_\_  
 Densidad: \_\_\_\_\_  
 Presión: \_\_\_\_\_  
 Velocidad: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_  
 Estado del Cielo: \_\_\_\_\_  
 Estado del Mar: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Nube: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Tierra: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Vegetación: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Fauna: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Flora: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Atmósfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Hidrosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Litosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Biosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Geosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Pedosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Atmosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Hidrosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Litosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Biosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Geosfera: \_\_\_\_\_  
 Estado de la Pedosfera: \_\_\_\_\_



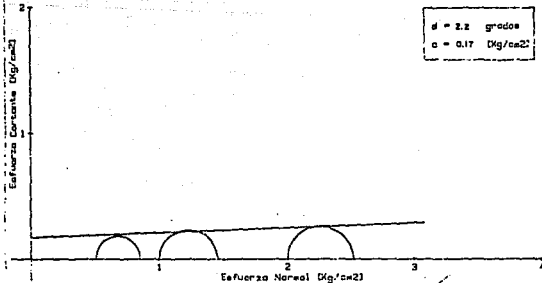
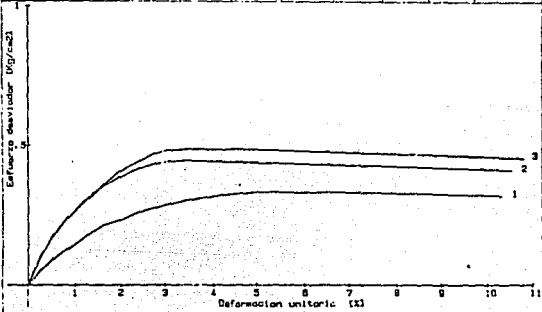
S RAYA		A RENA				LIMO O ARCILLA	
GRUESA	FINA	GRUESA	FINA				
MUESTRA No.	ELEV O PROF.	CLASIFICACION	w %	$L_u$	$P_u$	$P_l$	PROYECTO UNIDAD HABITACIONAL
32	19.00-19.80	SC	31.7				
36	21.40-22.00	SP-SC	26.7				AREA COL. STA MARTHA, IZTAPALAPA, DF
39	23.20-23.80	SM	23.4				SONDEO No. Y TIPO INC-USAL
CURVAS GRANULOMETRICAS							FECHA AGOSTO, 1988

Curvas Granulométricas. Muestras del Sondeo INC-USAL.



Proyecto N. 10877. Sonda 38C-D3AL. Muestra N. 14 Tipo de prueba No Consolidada No Drenada  
 Profundidad de 8.80 m. a 9.40 m. Cuestionario INALTERADO Estado: PEGU C. Fecha: 28/08/59  
 Descripción: ARCILLA CAFE ROJIZA, CON TONALIDAD VERDEAZA, CONTIENE MATERIA ORGANICA.

Prueba No.	$\sigma_1$	$\sigma_2$	$\sigma_3$	$\sigma_1 - \sigma_3$	$\sigma_1 - \sigma_2$	$\sigma_2 - \sigma_3$	$\sigma_1 - \sigma_3$ (kg/cm <sup>2</sup> )	Exp. Comp. (kg/cm <sup>2</sup> )	Exp. Dren. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	176.5	148	4.828	171.6	171.6	171.6	171.6	1	171.6
2	176.5	103.8	4.828	171.6	171.6	171.6	171.6	1	171.6
3	176.5	75.5	4.828	171.6	171.6	171.6	171.6	1	171.6

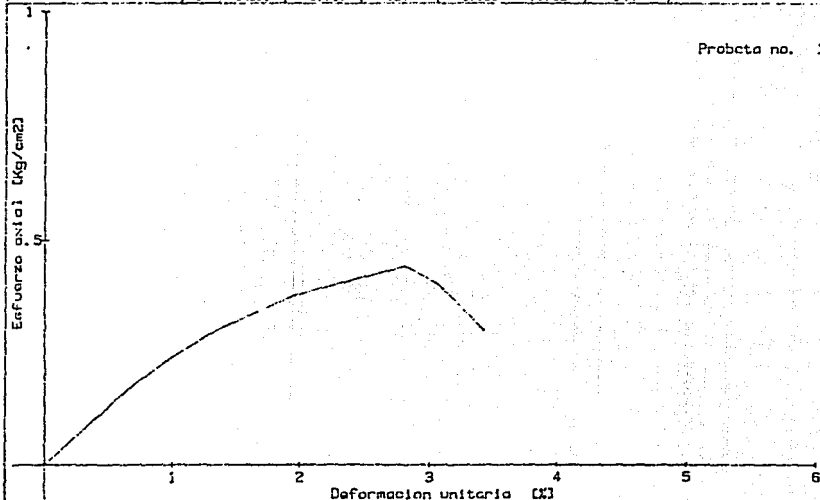


$\phi = 2.2$  grados  
 $c = 0.17$  (Kg/cm<sup>2</sup>)

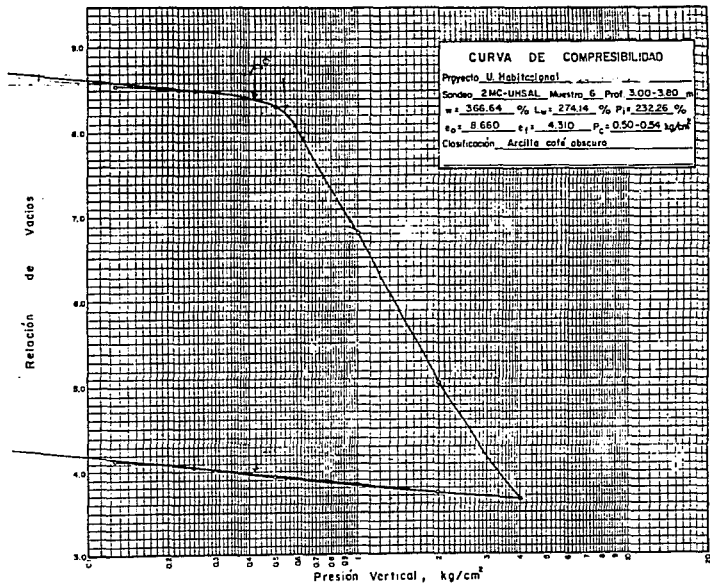
Gráfica de Compresión Triaxial No Consolidada No Drenada  
 Muestra 14 del Sonda 38C-D3AL.

Proyecto: U.HABT.      Sondeo: 2MC-UHSAL      Muestra: 16      Tipo de prueba: No Confinado  
 Profundidad de: 9.20 m. a 10.00m.      Espesura: INALTERADO      Efectos: FROD/LAN      Fecha: 10/06/88  
 Descripción:      ARCILLA CAFE VERDOSA

Prob. No.	$\gamma$ K	$\alpha$	$\eta$ %	P. vol. h In/m <sup>3</sup>	P. vol. s In/m <sup>3</sup>	Esf. Max. qu Kg/cm <sup>2</sup>
1	343.7	0.017	100.0	1.160	1.252	44



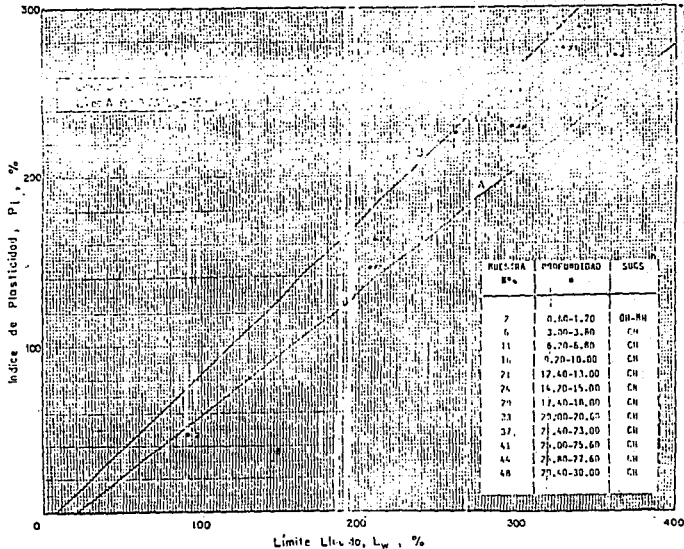
Ensayo de Compresion Axial No Confinado. Muestra 16 del Sondeo 2MC-UHSAL



Ensayo de Consolidación Unidimensional. Muestra 6 del Sondeo 2 MC-UHSAL

# CARTA DE PLASTICIDAD

$2\% L_w = 37.0$       $2\% L_w = 40.0$   
 $P_i = 311.0$       $P_i = 407.0$   
 $P_i = 407.0$   
 $P_i = 407.0$



Carta de Plasticidad de Muestras del Sotano /KIC-UISAL.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

BIBLIOGRAFIA

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Subsuelo y la ingeniería de cimentación en el área urbana del  
Valle de México

Simposio 10 de marzo, 1978.

COVITUR

Características geológicas y geotécnicas del Valle de México.

Serie 100 km. Metro No 1.

México, sep. 1986.

Juarez Badillo y Rico Rodríguez.

Mecánica de Suelos (Tomos II y III).

Ed. Limusa, México, 1989.

Marsal, R.J. y Mazari, M.

El subsuelo de la Ciudad de México.

Partes A, B y C.

Publicación del Instituto de Ingeniería de la Universidad  
Nacional Autónoma de México.

México D.F. 1959.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Agrietamiento de Suelos.

Reunión sobre agrietamiento de suelos, 13 de agosto, 1991.

Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería.

Algunos aspectos de la inyección en los suelos.

Revista Ingeniería, Numero abril, 1961.

Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.

Exploración Geotécnica.

México. D.F. 1986.