



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

## FACULTAD DE INGENIERÍA

*“ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA  
GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN  
GUSTAVO A. MADERO”*

*TRABAJO ESCRITO*

*Para obtener el título de*

*INGENIERO CIVIL*

*presenta*

*MÁRQUEZ GARCÍA JULIO RODRIGO*

*Director de Trabajo Escrito:*

*M. en I. Gabriel Moreno Pecero*



México, D. F.

2005

m 341967



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

*V.B.O.*  
*Carlos M. P. Navarri M.*  
*9 febrero 2005*

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/011/04

Señor  
JULIO RODRIGO MÁRQUEZ GARCÍA  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. GABRIEL MORENO PECERO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como trabajo escrito de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

**"ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO"**

- INTRODUCCIÓN
- I. ACCIONES DE INGENIERÍA CIVIL EN LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO RELACIONADAS CON LA GEOTECNIA DENTRO DEL ÁREA DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO
  - II. CUANTIFICACIÓN DE LOS DAÑOS OCASIONADOS EN ZONAS DE RIESGO INGENIERIL EN LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO
  - III. CASO PARTICULAR DE LA COLONIA SALVADOR DÍAZ MIRÓN EN CUANTO A SUS RIESGOS INGENIERILES
  - IV. TIPIFICACIÓN, DELIMITACIÓN Y MAPEO DE LOS RIESGOS INGENIERILES EN LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO
  - V. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de su trabajo escrito el Título de éste.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 30 de noviembre de 2004  
EL DIRECTOR

*[Signature]*  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GEB/AJP/erc

*V.O.B.O.*  
*Carlos M. P. Navarri M.*  
*9 febrero 2005*

*[Signature]*  
14/02/05

*V.O.B.O.*  
*Octavio Miranda*  
*9/feb/05*

## Índice

### Introducción

I. Acciones de ingeniería civil en la identificación y cuantificación de zonas de riesgo relacionado con la geotecnia, dentro del área de la Delegación Gustavo A. Madero.

I.1 Características estratigráficas de la zona.

I.2 Propiedades mecánicas de las formaciones naturales de la zona.

I.3 Hundimiento regional del suelo en la zona.

I.4 Consecuencias y análisis de la existencia de hundimiento regional: grietas.

I.5 Localización de las grietas en la zona y su geometría.

II. Cuantificación de los daños ocasionados en zonas de riesgo ingenieril en la Delegación Gustavo A. Madero.

II.1 Características urbanas de la zona.

V: B  
G. Herme Ponce  
24/Nov/04  
1

Julio Rodrigo Márquez García

Trabajo Escrito: ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA  
GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO

II.2 Cuantificación de daños  
ingenieriles en la zona.

III. Caso particular de la Colonia  
Salvador Díaz Mirón en cuanto a sus  
riesgos ingenieriles.

III.1 Características urbanas de la  
Colonia Salvador Díaz Mirón.

III.2 Cuantificación de daños  
ingenieriles en la Colonia Salvador  
Díaz Mirón.

IV. Tipificación, delimitación y mapeo de  
los riesgos ingenieriles en la  
Delegación Gustavo A. Madero.

IV.1 Factores de la Tipificación.

IV.2 Tipificación, delimitación y  
mapeo.

Recomendaciones y Conclusiones.

Bibliografía

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Márquez García

Julio Rodrigo

FECHA: 14 - Enero - 2015

FIRMA: [Firma]

## INTRODUCCIÓN

El presente estudio tiene como base la investigación de Zonas de Riesgo que se realizó dentro del taller **Habitar Construyendo**, promovido por el Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México, con la colaboración de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por medio de la Unidad de Vivienda de la División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica.

La investigación en cuestión comprendió la realización de las siguientes acciones de ingeniería civil:

- Indagación de las características estratigráficas de la zona. Lo que implica conocer las propiedades índice y mecánicas de las diversas formaciones naturales.
- Análisis de las causas.
- Determinación de las características.

Se consideró la colonia Salvador Díaz Mirón como caso particular en la investigación, ya que en ésta se dieron las facilidades para realizar visitas y observar estructuras dañadas; además, en dichas visitas se contó con la colaboración directa de personas involucradas en las actividades del taller **Habitar Construyendo**, el cual se aplicó en la Delegación Gustavo A. Madero del Distrito Federal, hecho que facilitó el trabajo sobre el conocimiento de las características urbanas y los daños que se presentan en la zona sobre las obras de ingeniería.

Las recomendaciones que se dan, toman en cuenta la visión de ingeniería civil y de la problemática encontrada a lo largo de la investigación realizada.

Dichas recomendaciones, tienen como objetivo ejemplificar la experiencia adquirida por parte del autor del presente estudio, en la solución de problemas de ingeniería relacionados con los riesgos detectados a lo largo de la investigación. La investigación fue realizada por un grupo de estudiantes de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México con la asesoría de ingenieros civiles y académicos de la misma institución, como parte de las actividades del Servicio Social.

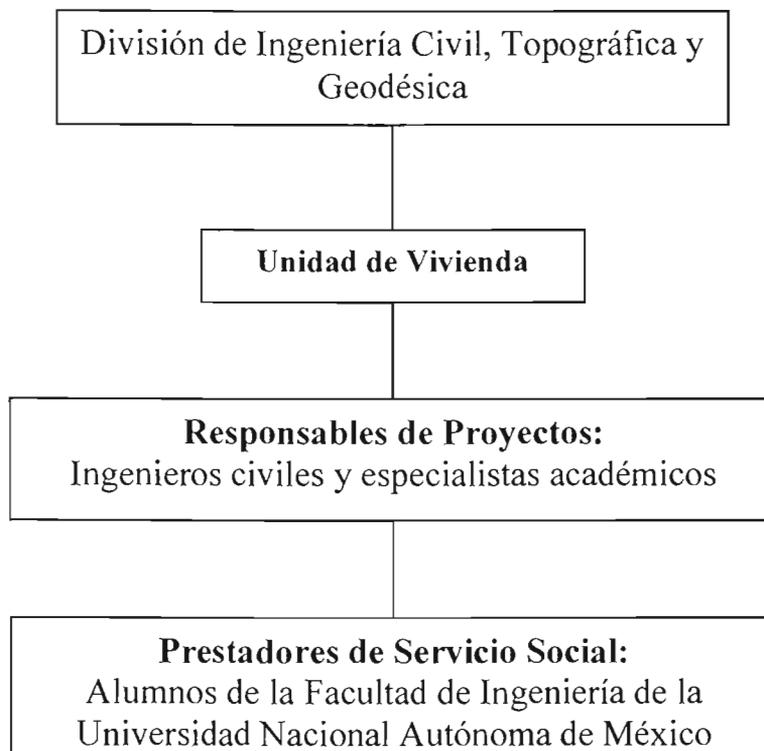
Cabe mencionar que el **Programa de Servicio Social** de la **Unidad de Vivienda**, del que se deriva este estudio, tiene como objetivo principal vincular al estudiante con el sector laboral en el área de la vivienda, con el propósito de contribuir a que los conocimientos aprendidos en las aulas sean aplicados en proyectos reales, que a su vez permitan desarrollar las habilidades que fortalezcan su formación profesional integral a través de la experiencia, amén de fortalecer la actitud de servicio a la comunidad.

La acción que da origen al estudio, responde a la necesidad de satisfacer los objetivos generales de la Unidad de Vivienda al ser un grupo de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, los cuales son:

- Contribuir a la formación de ingenieros civiles en temas relacionados con la vivienda y su entorno.
- Vincular al estudiante con el sector profesional relacionado con la construcción de vivienda.

- Generar y difundir propuestas técnicas para incrementar la seguridad de las viviendas.
- Proponer acciones para que la auto-construcción de vivienda sea económica, funcional, segura y armónica con el medio ambiente.
- Realizar investigaciones en temas relacionados con la vivienda.

La Unidad de Vivienda tiene el organigrama siguiente:



Como se anotó, cumpliendo con los objetivos y considerando los apoyos del Programa de Servicio Social de la Unidad de Vivienda de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, ha sido posible la elaboración del presente estudio.

# I. ACCIONES DE INGENIERÍA CIVIL EN LA IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA GEOTECNIA DENTRO DEL ÁREA DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO.

## I.1 CARACTERÍSTICAS ESTRATIGRÁFICAS DE LA ZONA.

Como es bien sabido el valle que corresponde al de la Ciudad de México se encuentra ubicada dentro de una gran cuenca de más de 10,000 kilómetros cuadrados de área.

Antes de que la cuenca del Valle de México se convirtiera en cerrada, en el pleistoceno, drenaba al sur por dos profundas cañadas que pasaban por Cuautla y por Cuernavaca. Posteriormente el Valle de México quedó delimitado por las sierras de Pachuca, Tepetzotlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán hacia el norte, formadas a fines del Mioceno; al oeste por la sierras de las Cruces y al este por la Sierra Nevada, formadas estas dos últimas en el plioceno inferior y caracterizadas ambas por la gran actividad volcánica, que originó la formación llamada Tarango.

A fines del plioceno se produjeron fracturas orientadas predominantemente en dirección oeste-este, en la zona de Puebla y al Sur de Toluca, por las que se dio gran acceso a efusiones de basalto que construyeron la Sierra de Chichinautzin en el periodo cuaternario; estos eventos se deben al Popocatépetl y a la Sierra de Zempoala, las erupciones de referencia ocurrieron en los últimos 700,000 años.

Esta fue la forma en la que la cuenca del Valle de México se cerró, tal como se conoce en la actualidad.

Debido a los acontecimientos antes mencionados, se produjo el almacenamiento de agua en el valle dando lugar a la generación de varios lagos y de ríos constituidos por las aguas que descendían de las sierras circundantes, depositando materiales muy diversos en los lagos, constituyendo potentes conos de deyección.

Con las emisiones de cenizas provenientes de los volcanes pertenecientes a los conos cineríticos del sur y con los acarreos limos-arenosos se fue construyendo la parte central del valle.

Finalmente, en la época glacial correspondiente a los últimos 100,000 años, con alta pluviosidad, la masa de agua se extendió a las partes bajas llegándose a formar un solo lago.

Debido a los acontecimientos ocurridos a lo largo de los periodos geológicos, se produjeron las siguientes formaciones: depósitos aluviales y depósitos lacustres, correspondientes al cuaternario-reciente; vulcanitas no diferenciadas y lavas (andesitas, dacitas y latitas) correspondientes al terciario-mioceno; suelos tobáceos y pumíticos derivados de lluvias de cenizas, correspondientes al terciario-pleoceno; depósitos de la formación Tarango, perteneciente al pleoceno inferior; en las partes altas, es decir en las sierras, se encuentran, domos de composición andesítica, dacíticos y lavas pórfirio-andesíticas.

Los eventos ocurridos durante los periodos terciario y cuaternario en el Valle de México, explican la diversidad de formaciones que se encuentran en la parte superior de la corteza correspondiente al mencionado valle.

<b>Eras Geológicas</b>					
<b>Mesozoico</b>		<b>Cenozoico</b>			
Cretácico		Terciario			Cuaternario
Cretácico Inferior	Cretácico Superior	Eoceno Superior Oligoceno	Mioceno	Plioceno	Pleistoceno y Reciente

Con base en la descripción geológica y sondeos realizados en diversos lugares del Valle de México, se clasifican las formaciones en tres zonas importantes que toman los nombres: Lacustre, Aluvial y Pétrea; además, existen transiciones entre cada una de estas tres zonas que se denominan, en cada caso, como **transición progresiva** (Fig. 1), en donde la formación rocosa aparece cubierta por depósitos de origen aluvial, que subyacen a las capas más recientes de arcilla lacustre; existe la **transición interestratificada** (Fig. 2), que es característica de fases aluviales y lacustres y que se sucede en forma alternada, dando lugar a la intercalación de mantos blandos arcillosos con otros de forma granular, contaminados por finos, generalmente duros y más resistentes; y también se tiene la **transición abrupta** (Fig.3), que se caracteriza por los depósitos lacustres en contacto con la formación rocosa, tapizada por derrubios o suelo residual, esta última podría entrar en la clasificación como transición interestratificada en caso de existir derrames de lava sobre arcillas o suelos aluviales, cubiertos por otras capas más recientes de formación lacustre o acarreos fluviales.

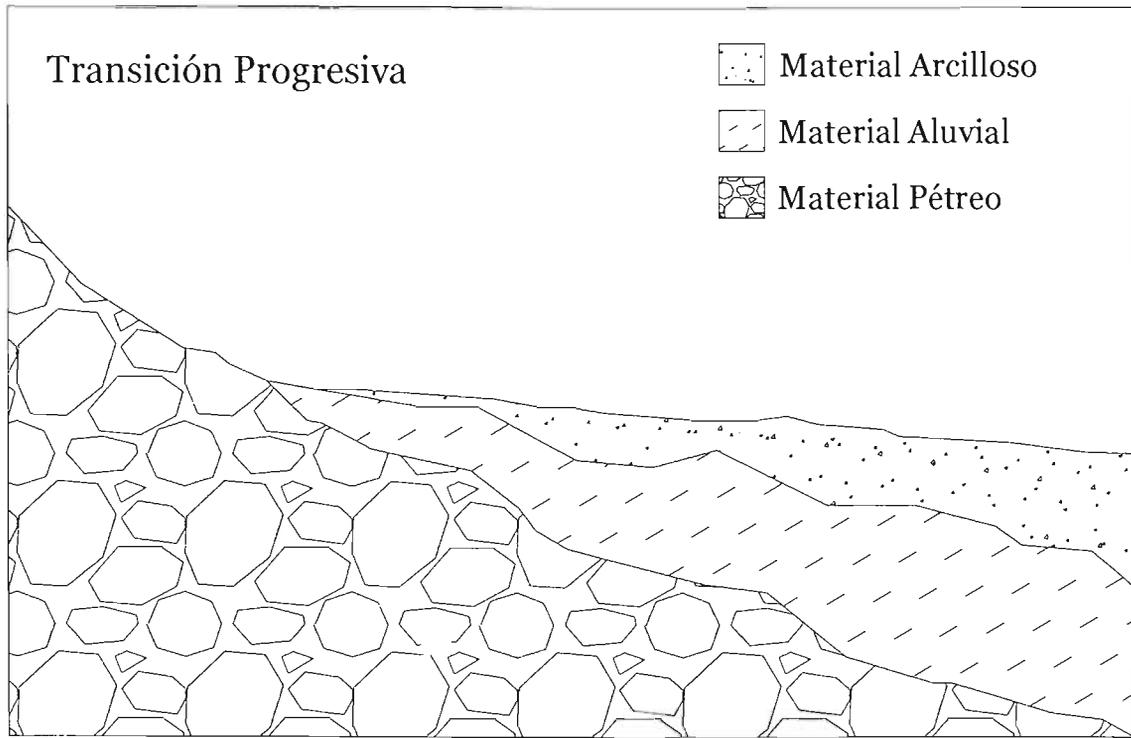


Figura 1. Transición Progresiva.

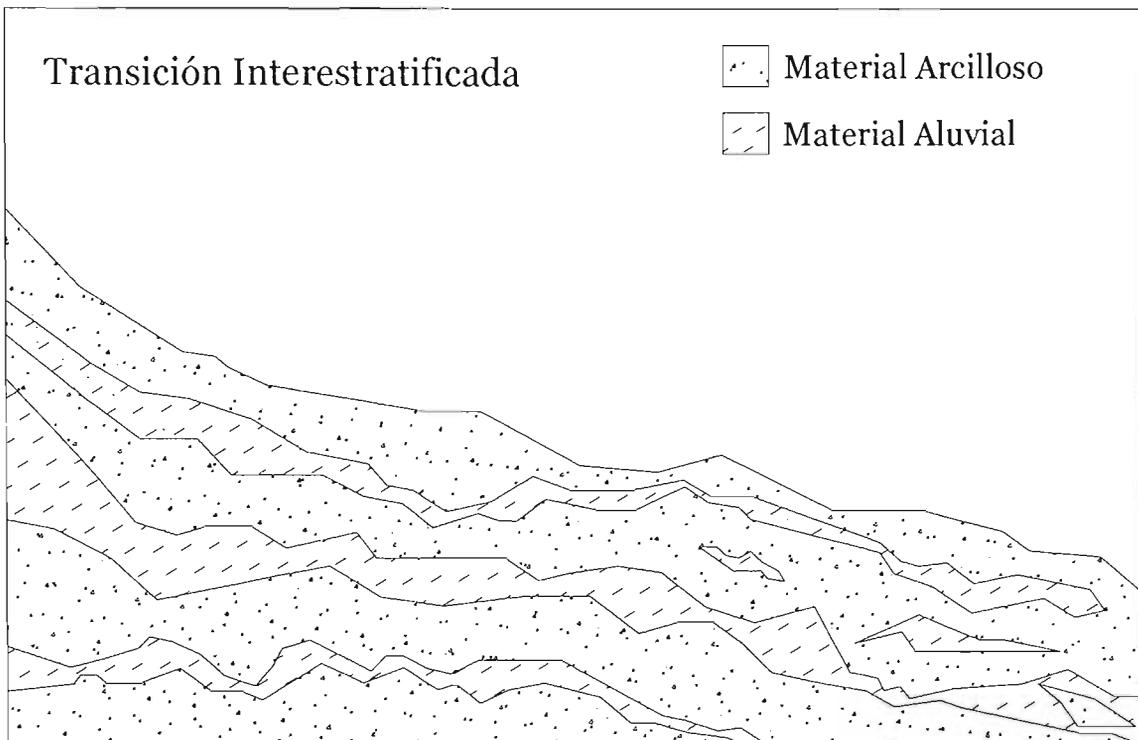


Figura 2. Transición Interestratificada.

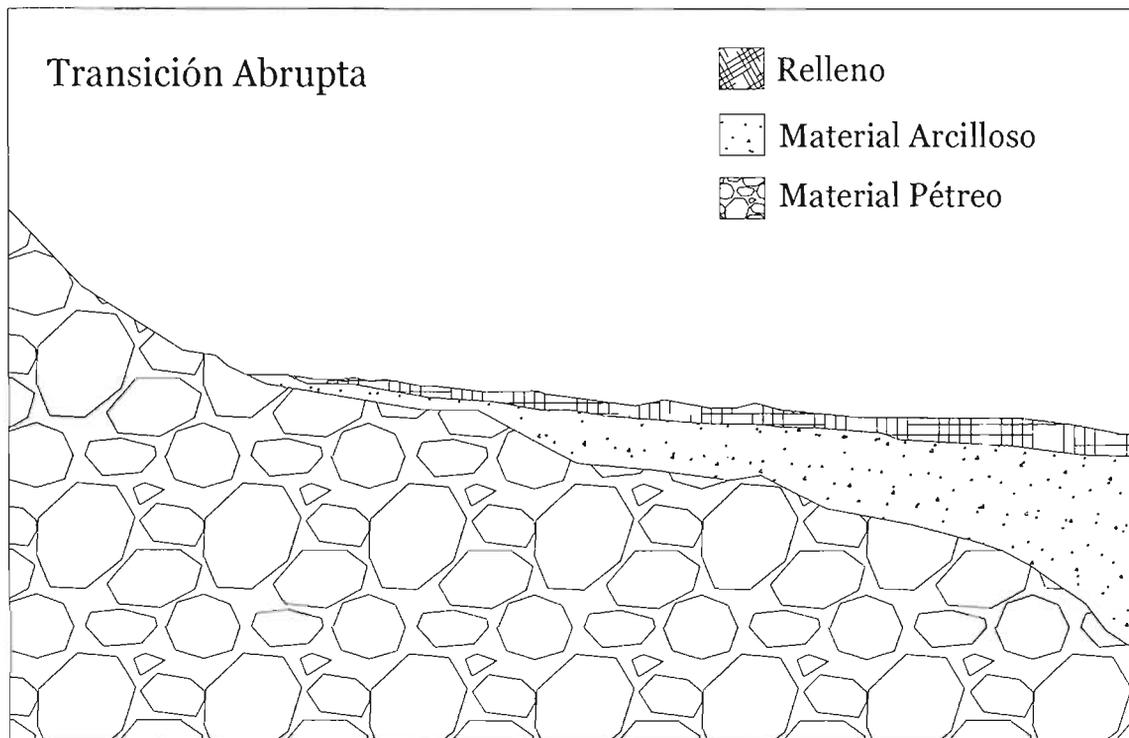


Figura 3. Transición Abrupta.

Dentro del territorio de la Delegación Gustavo A. Madero se encuentran representadas, las tres principales zonas: lacustre, aluvial y pétreo.

Las zonas lacustres (*Fig.4*), como ya se anotó, se deben a la sedimentación de las cenizas volcánicas que fueron transportadas por corrientes de aire o por corrientes de agua hacia los lagos. Dentro de la cuenca y observando las formaciones de abajo hacia arriba, se localiza la Formación Tarango, en cuya parte inferior se tienen depósitos de arena con grava separados por estratos de limo o arcilla arenosa; en la parte media de esta misma formación, se encuentra ceniza volcánica blanca del tamaño de arena fina, estos estratos tienen alto contenido de agua; finalmente en su parte más superficial aparece arena cementada con carbonato de calcio, con algo de limo en las capas superiores y grava en las capas inferiores y

una de estas costras pertenece a la llamada primera capa dura. Sobre estos suelos se deposita la Formación Tacubaya constituida principalmente por arcilla de alta deformabilidad, de varios colores, con lentes delgados de arena, posteriormente se encuentran las formaciones Becerra, Barrilaco y Totolsingo, estas últimas formadas por depósitos areno-arcillosos.

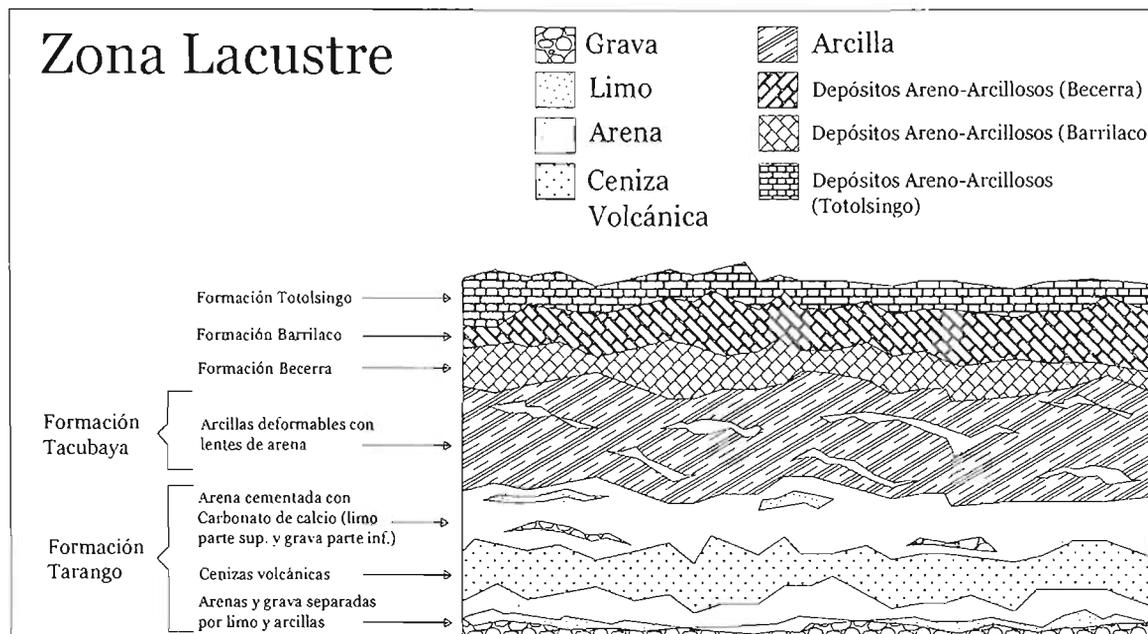


Figura 4. Zona Lacustre.

Así la llamada Zona Lacustre está constituida por:

- Manto superficial, el cual consta de las formaciones Becerra, Barrilaco y Totolsingo, y que en algunas zonas contiene rellenos artificiales.
- Formación Arcillosa Superior, compuesto por la formación Tacubaya, con espesores que van desde los 15 a los 32 metros.
- Capa Dura, conformada por la parte superior de la formación Tarango teniendo en las partes de mayor espesor hasta 3 metros, misma

que disminuye en dirección del Lago de Texcoco.

- Formación Arcillosa Inferior, constituida por la sección media de la Formación Tarango, descrita anteriormente, con espesores variables de 4 a 14 metros.
- Depósitos Profundos, al cual pertenece la parte inferior de la Formación Tarango.

La zona aluvial que se observa al pié de la Sierra de Guadalupe, se debe a la pendiente pronunciada de sus formaciones, a los ríos de Los Remedios, Tlalnepantla y San Javier que, al generar erosión, van dejando bolsas de arena a diversas elevaciones; así como a los periodos de lluvia intensa alternados con otros periodos muy secos; esta dinámica erosiva prominente contribuye a la localización muy variable y estratificación cruzada o lenticular de materiales, incrementando de esta forma la erraticidad en los suelos.

Finalmente la zona pétrea, formada por suelos areno-limosos compactos, llamados Tobas. En estas zonas se detectan varios tipos de suelos, los cuales se clasifican en seis grupos según su estabilidad:

- Tobas Estables, que mantienen su estabilidad aún bajo la acción erosiva del agua; están compuestas por mezclas de arena y grava en proporciones variables, cementadas con suelos finos con alta capacidad de carga.
- Tobas inestables, debido a la erosión del agua, ya que están compuestas en gran

proporción por arcillas de plasticidad media a alta con cementación pobre.

- Suelos Pumíticos, formados por arena pumítica limpia, con espesores que van de 1 a 3 metros, estos materiales sufren rotura de partículas si se someten a presiones de contacto de más de 25 kilogramos por centímetro cuadrado.
- Rellenos, debidos al crecimiento de las zonas urbanas y que presentan hundimientos críticos al presentarse su primera saturación.
- Suelos de Origen Eólico, conformados principalmente en el Valle por polvo volcánico transportado por las corrientes de aire.
- Roca Basáltica, originados por derrames de lava con diferentes grados de fracturas y oquedad.

La estratigrafía de la Delegación Gustavo A. Madero, presenta Zonas Aluviales conteniendo suelos pumíticos y suelos eólicos en las faldas de la sierra, mismos que se encuentra entre las zonas lacustre y pétrea; la zona lacustre se caracteriza por la presencia de estratos arcillosos o lentes arcillosos deformables, alternados con capas o depósitos lenticulares de materiales arenosos o areno-limosos de deformabilidad variable, pero menor a la de las arcillas; finalmente, la zona pétrea perteneciente a la Sierra de Guadalupe (*Fig.5*), formada en el transcurrir del mioceno superior al plioceno superior y que está integrada por lava andesítica en los cerros Gachupines, Santa Isabel y Guerrero; por lava dacítica que forman los domos de los cerros El Tenayo, Ticomán,

Cuatepec y Chiquihuite y por lava riolito-dacítica en el Cerro del Tepeyac.

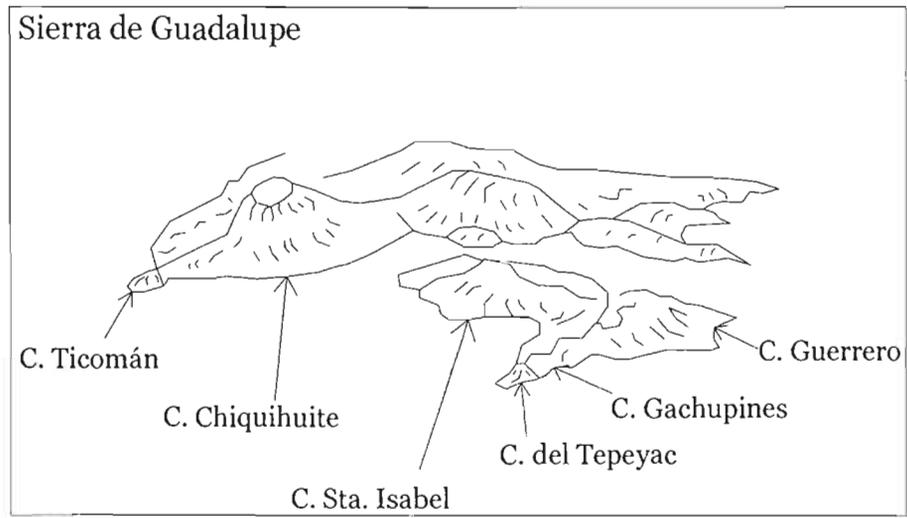


Figura 5. Sierra de Guadalupe.

En las faldas de esta misma sierra, en particular en la llamada Zona del Tepeyac (Fig.6), que comprende 1 kilómetro a partir del pié de la sierra, se observa que parte de esta formación penetra en los estratos altamente deformables de la zona lacustre, por lo que se presenta una transición abrupta, con las características ya mencionadas.

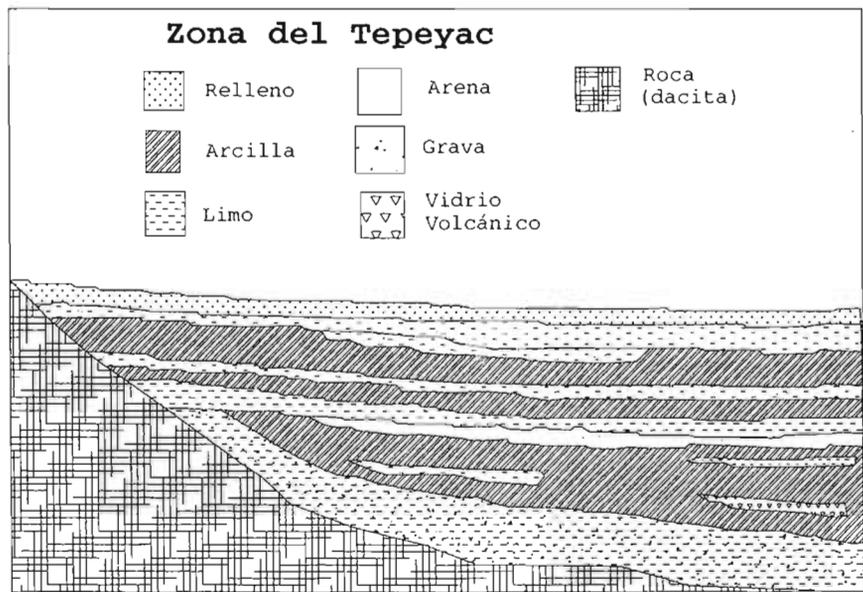


Figura 6. Zona del Tepeyac.

## **I.2 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LAS FORMACIONES NATURALES DE LA ZONA.**

Es importante conocer las propiedades mecánicas de las formaciones naturales de la zona, ya que de esta manera se conocerá a fondo el origen de los riesgos y de los problemas de ingeniería que se presentan en el lugar. Para ello resulta significativo conocer los sondeos que se han efectuado y sus resultados, de igual modo es valioso tener nociones de los procedimientos realizados en la obtención de muestras y en las pruebas realizadas en laboratorios.

Con el propósito antes anotado, se averiguó que la mayoría de los sondeos realizados se llevaron a cabo con perforadora de percusión, a profundidades de entre 50 y 100 metros como máximo, respecto al nivel de la superficie exterior. Se extrajeron muestras alteradas e inalteradas de las formaciones naturales; la extracción de las muestras inalteradas se hizo por medio de tubos Shelby<sup>1</sup>. Se realizaron investigaciones para valorar la influencia de las operaciones de muestreo y de las pruebas de laboratorio efectuadas en las formaciones naturales existentes, lo cual llevó a realizar modificaciones en los mecanismos empleados, de manera que se garantizara que los resultados fueran representativos del comportamiento mecánico de las formaciones naturales existentes en la zona.

El número de sondeos, cuyos resultados se consultaron, fue del orden de 300. (Bib. 2)

---

<sup>1</sup> Los tubos Shelby utilizados en la extracción de muestras tenían un espesor de 1.5 milímetros y diámetros entre 6.2 y 12.5 centímetros, una longitud de 60 centímetros y fueron tratados interiormente con pintura asfáltica.

La extracción de las muestras obtenidas de las formaciones naturales de la zona, por medio de los tubos Shelby, se hizo a partir de una profundidad de dos metros. Los pozos a cielo abierto se realizaron posteriormente con el propósito de conocer las características de los suelos en los dos primeros metros de profundidad, debido a que podría tratarse de suelos finos y en los que seguramente existiría efecto de capilaridad en las formaciones localizadas sobre el nivel freático, lo que cambiaría el comportamiento de dichas formaciones, por lo tanto no se puede hacer una similitud entre lo que ocurre por debajo de esa profundidad y lo que ocurriría en el comportamiento y las características reales del suelo arriba de los dos metros de profundidad.

Existió la necesidad de investigar las características físico-químicas de las formaciones naturales, ya que de esta forma se conoció la naturaleza de sus minerales, teniendo así un apoyo para entender los resultados arrojados por otras pruebas realizadas en el laboratorio.

Para contar con el conocimiento de las propiedades anotadas anteriormente, se procedió a secar algunas de las muestras en hornos a una temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , evidenciando así dentro de sus características físicas, la presencia en algunos casos, de lentes de arenas e incluso materia orgánica y fósiles. Por otro lado, haciendo uso del mismo procedimiento de secado, los análisis químicos revelaron contenidos, en las formaciones naturales de la zona de: 61% de  $\text{SiO}_2$ , 11% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 4.5% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 5.5% de  $\text{CaO}$  y 6% de  $\text{MgO}$  (Bib. 2).

Dentro del análisis químico<sup>1</sup> se cuantificó la cantidad de carbono total (CT), carbono inorgánico (CI) y, mediante la diferencia de las cantidades encontradas de éstos, se conoció el contenido de carbono orgánico (CO) (Tabla.1); este último al ser multiplicado por un factor de 1.7 permitió conocer la cantidad de materia orgánica contenida en la muestra.

De las características físico-químicas obtenidas con los procedimientos antes anotados, se pueden deducir los arreglos electromagnéticos y las fuerzas desarrolladas por éstos en los compuestos minerales, permitiendo así tener una idea de la estructura y composición del suelo, lo cual reveló que se trataba, en su gran mayoría, de suelos finos con una organización estructural del tipo de las ilitas<sup>2</sup>.

Los resultados de los estudios anotados anteriormente muestran que una característica particular de las formaciones naturales es la cantidad de materia orgánica, que en sus estratos superiores tiene un valor máximo de 18.4%; las cantidades de carbono total y carbono inorgánico presentan variaciones a diferentes profundidades dentro de las mismas formaciones, teniendo el carbono inorgánico valores que van de 3% a 21% antes de los 50 metros de profundidad; a mayores profundidades la presencia de CT y CI es prácticamente nula (Fig.1) (Bib. 2).

---

<sup>1</sup> Aunque el análisis químico es importante por las razones ya mencionadas, no informa sobre la distribución de sus componentes, por lo que su interpretación en muchas ocasiones es dudosa, además, en el proceso de secado en el horno se perdió un 10% del peso del material por calcinación.

<sup>2</sup> Se refiere a la estructura análoga de las arcillas iliticas que es similar a las arcillas montmorilonita (en presencia de agua presentan tendencia a la inestabilidad), que por su constitución interna, manifiestan tendencia a formar grumos de materia que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansión es menor que la de las montmorilonitas y, en general, se comporta mecánicamente en forma más favorable.

Fue necesario realizar algunas pruebas que mostraran características más específicas de las formaciones naturales. Una de esas características fue el contenido de agua ( $w_i$ ), dato que es importante por la relación que tiene en la deformación real de los suelos mediante el cambio de volumen y la posible distorsión en la estructura de las partículas al existir pérdida del  $w_i$ . Para conocer esta propiedad, nuevamente se procedió a secar las muestras en un horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ , durante un periodo aproximado de 12 horas; se realizaron comparaciones de las mediciones del peso de la muestra antes y después de este proceso de secado, lo que permitió conocer el contenido de agua natural en la muestra.

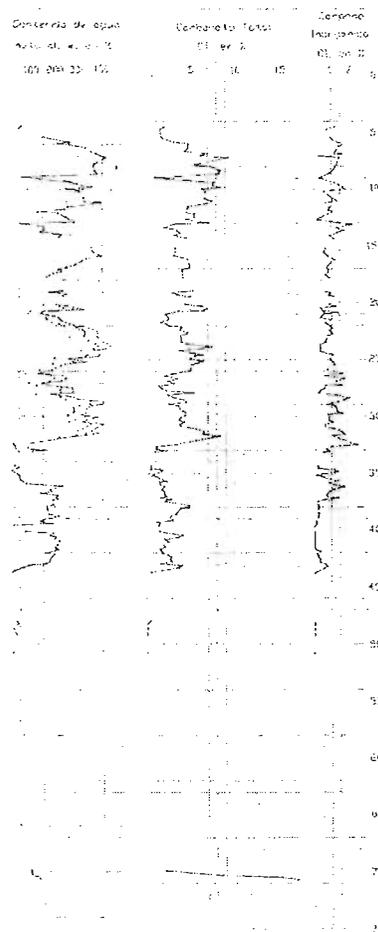


Figura 1. Contenido de carbono total y carbono inorgánico en una de las muestras.\*Figura tomadas de la bibliografía 2

Las mediciones del contenido natural de agua arrojaron valores del orden de 600%. El contenido de agua natural del suelo permitió, a través de correlaciones existentes, averiguar características tales como la saturación del suelo.

Otra de las características importantes de las formaciones de la zona es su densidad de sólidos ( $s_s$ ), la cual relaciona el peso específico de los sólidos de las formaciones naturales con el peso específico del agua. Para el caso de las arcillas existentes en la zona la relación está comprendida entre 2.00 y 2.70.

Por medio de las características anteriores, se pudo investigar la relación de vacíos ( $e_i$ ) mediante una de las relaciones fundamentales de los suelos saturados  $e = w_s$ . En algunas muestras, para conocer  $e$ , se optó por utilizar la relación del volumen ocupado por los sólidos y del volumen de los vacíos. Los valores obtenidos en laboratorio son 0.5 como mínimo y 16 como máximo (Bib.2), siendo este último extraordinariamente alto comparado con algunos valores que se han encontrado en formaciones naturales de origen marino y glacial, los cuales están por debajo del valor máximo obtenido en este caso.

Otra característica de las formaciones naturales que se investigó fue el grado de saturación ( $G_i$ ), el cual se calculó mediante la igualdad  $G_i e_i = s_s w_i$ , previo conocimiento de las características antes mencionadas. Los valores obtenidos del grado de saturación en las formaciones naturales localizadas por debajo del nivel freático fueron del 100%.

Se investigó el comportamiento de las formaciones naturales al soportar deformaciones rápidas sin

presentar un rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable, sin desmoronarse y sin agrietarse, es decir, se averiguó sobre la plasticidad de las formaciones naturales, para ello se tuvo en cuenta que ésta es una propiedad dependiente del contenido de agua, en consecuencia resultó necesario conocer los valores de los límites de plasticidad, tales como el límite líquido ( $LL$ ) y el límite plástico ( $LP$ ), con los que posteriormente se obtuvo el índice de plasticidad ( $Ip$ ) obteniendo la diferencia entre los dos últimos límites ( $Ip=LL-LP$ ) (Tabla.1).

Para obtener los valores del  $LL$  y del  $LP$  se realizaron las pruebas convencionales, utilizando la copa de Casagrande y haciendo rollos de aproximadamente 3 milímetros de diámetro respectivamente para cada uno de límites anteriores.

Del límite líquido se obtuvieron valores hasta de 600%, los cuales disminuían considerablemente en los estratos cercanos a la primera capa dura hasta valores de 60%. A niveles de mayor profundidad, correspondientes a la formación deformable inferior, se obtuvieron valores de 200% como mínimo y de 300% como máximo. En cuanto al límite plástico en las zonas ya mencionadas se presentaron variaciones con valores entre 64% y 79% (Bib. 2).

En algunos casos ocurrió que las muestras se secaron a temperatura ambiente y en otros casos el secado fue inducido en hornos para ver su influencia en el valor de los límites. La deshidratación no afectó los valores de los límites líquido y plástico cuando el contenido de agua antes de realizar las pruebas fue mayor o igual a 150%. En los casos en que el contenido de agua fue menor a 150% el límite líquido disminuyó hasta el 80% cuando se recurrió al secado en horno, mientras que al presentarse secado a

temperatura ambiente los valores fueron del orden de 450%.

Al reducirse el contenido de agua natural en los suelos, en algunos casos se provocó un incremento importante de su consistencia. Por otra parte los valores de la consistencia relativa resultaron muy cercanos a cero tanto positivos como negativos. Al presentarse reducción de agua natural en las muestras se generó un cambio de volumen y una distorsión en la forma de la estructura de las partículas casi despreciable.

Elevación	Índice Plástico IP	Carbono Total CT	Carbono Inorgánico CI	Carbono Orgánico CO
m	%	%	%	%
-5.25	31	5.55	0.01	5.54
-5.55	122	5.90	1.44	4.46
-6.70	389	9.10	1.69	7.41
-8.35	20	4.71	0.01	4.70
-9.15	202	5.77	1.28	4.49
-9.45	286	6.53	0.83	5.70
-9.55	68	0.39	0.00	0.39
-9.90	18	2.48	0.01	2.47
-10.20	305	5.16	1.21	3.95
-10.30	244	4.34	0.46	3.88
-10.60	43	1.48	0.10	1.38
-10.80	318	7.32	1.14	6.18
-11.10	94	4.46	0.01	4.45
-12.90	101	2.93	0.67	2.26
-13.50	125	5.55	2.28	3.27
-13.55	138	3.75	0.01	3.74

Tabla.1 Índice de plasticidad, Carbonato total, Carbono orgánico y Carbono inorgánico, en muestras obtenidas a diferentes profundidades.

Elevación	Índice Plástico IP	Carbono Total CT	Carbono Inorgánico CI	Carbono Orgánico CO
m	%	%	%	%
-13.60	252	5.14	1.90	3.24
-14.00	131	4.32	1.82	2.50
-14.80	208	6.60	1.34	5.26
-15.15	177	4.80	1.50	3.30
-15.40	243	6.25	1.41	4.84
-16.20	306	5.53	0.03	5.50
-16.70	301	5.84	0.02	5.82
-16.80	183	4.28	0.70	3.58
-17.90	281	4.59	0.98	3.61
-18.20	175	5.25	0.32	4.93
-18.80	314	6.45	1.13	5.32
-19.36	27	1.64	0.00	1.64
-20.80	178	4.79	1.02	3.77
-20.95	35	3.70	1.39	2.31
-21.13	167	2.75	0.01	2.74
-22.00	96	4.72	2.22	2.50
-24.20	247	4.81	1.36	3.45
-24.75	190	5.23	1.27	3.96
-24.95	261	4.25	0.46	3.79
-25.09	301	5.47	1.48	3.99
-25.90	268	4.85	1.36	3.49
-26.55		0.34	0.04	0.30
-26.90	382	5.08	0.15	4.93
-28.60	31	4.27	1.99	2.28
-28.90	175	4.16	1.70	2.46
-29.40	239	4.52	1.51	3.01
-29.67	205	4.22	1.16	3.06
-32.10	110	6.60	1.87	4.73
-33.20	201	2.84	0.81	2.03

Tabla 1 (continuación)

Elevación	Índice Plástico IP	Carbono Total CT	Carbono Inorgánico CI	Carbono Orgánico CO
m	%	%	%	%
-33.85	327	4.75	1.19	3.56
-34.05	215	6.61	1.58	5.03
-34.75	176	6.85	3.13	3.72
-36.72	239	2.15	0.75	1.40
-36.75	53	8.05	0.08	7.97
-37.30	190	5.00	2.28	2.72
-37.38	197	3.13	0.54	2.59
-38.07	151	2.93	0.96	1.97
-38.60	46	4.57	0.00	4.57
-39.75	218	3.83	0.68	3.15
-40.00	148	3.96	1.01	2.95
-50.12	15	0.73	0.33	0.40

Tabla 1 (continuación)

Para poder tener un conocimiento de las propiedades mecánicas de las formaciones naturales de la zona, fue necesario realizar diversas pruebas a las muestras inalteradas extraídas. Dichas pruebas permitieron investigar la resistencia al esfuerzo cortante.

Una prueba sencilla, ya que prácticamente en ella sólo se somete a una muestra inalterada cilíndrica del suelo a carga axial vertical, es la de compresión simple. Esta prueba podría dividirse en dos etapas: la primera cuando los esfuerzos totales son nulos y el agua dentro de los poros adquiere una tensión de magnitud igual a la presión de preconsolidación<sup>1</sup> que

<sup>1</sup> La "carga" de preconsolidación representa la presión máxima que el suelo ha soportado en su historia geológica y la recuerda todavía. En general, en las pruebas realizadas para el caso en que se analizan las cargas de preconsolidación

el suelo tiene en forma natural; en la segunda se incrementa rápidamente la carga axial vertical, hasta presentarse la falla de la muestra, lo que ocurre con el esfuerzo desviador máximo, el cual representa la resistencia del suelo a la compresión simple.

También se optó por remoldear algunas muestras con la finalidad de observar si existía el fenómeno de tixotropía<sup>1</sup> en las formaciones naturales correspondientes a suelos finos; en las gráficas de esfuerzo-deformación (Fig.2), dibujadas después de ser probadas ambos tipos de muestras, se observó un comportamiento plástico, el cual dista mucho del comportamiento de las muestras sin remoldeo.

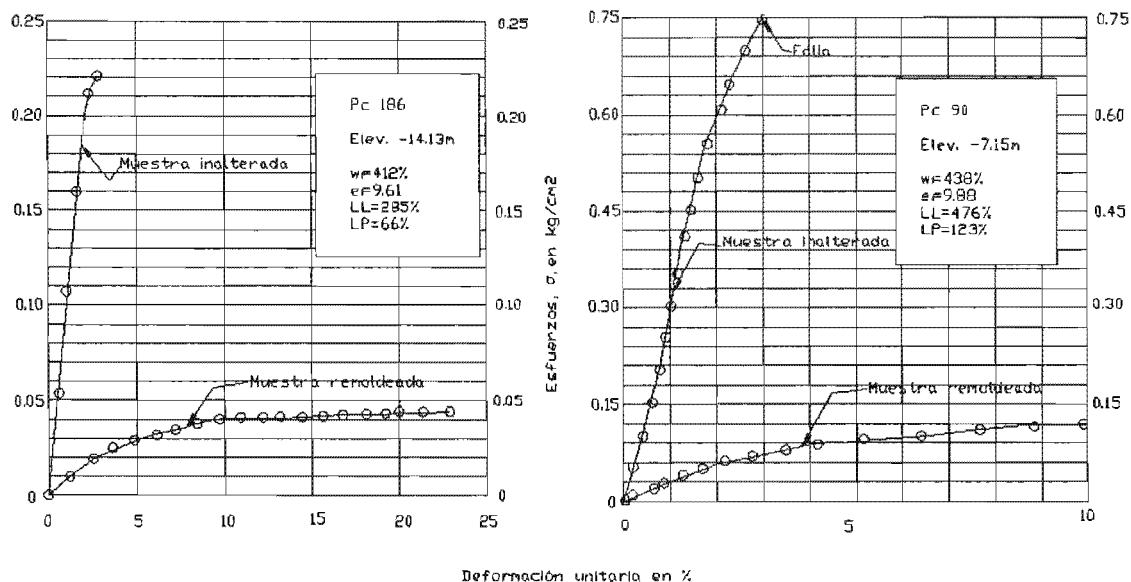


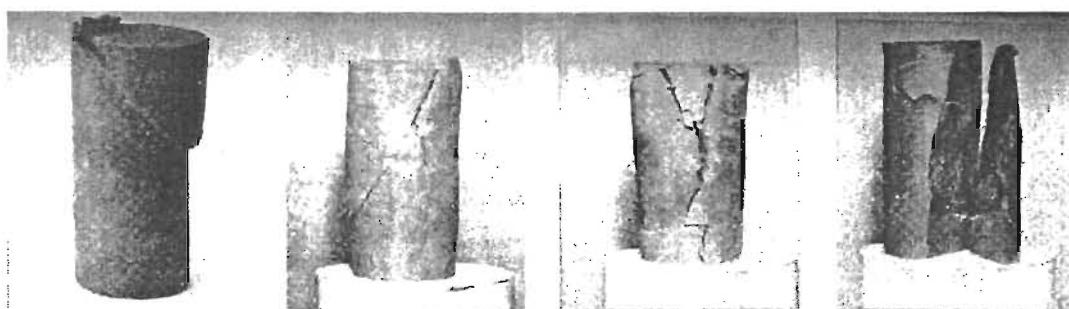
Figura 2. Esfuerzo-deformación de muestras inalteradas y alteradas por remoldeo. \*Figura tomadas de la bibliografía 2

Los planos de falla en las muestras se caracterizaron por presentar inclinaciones de  $0^{\circ}$  a  $60^{\circ}$  con respecto a su eje longitudinal de simetría (Fig.3).

de las formaciones naturales resultan del mismo orden de magnitud que las presiones efectivas debido al peso propio.

<sup>1</sup> Fenómeno que hace que la mayoría de las arcillas hasta cierto punto vuelvan más o menos y lentamente a sus propiedades, lo cual se logra después de alterar las ligaduras entre sus partículas con un amasado, cabe recordar que la estructura que recupera no es la misma que tenía originalmente.

De los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras remoldeadas y las no remoldeadas se puede conocer la relación entre sus resistencias. Dicha relación es llamada "sensibilidad" ( $S$ ), que representa la pérdida de resistencia entre el estado sin remoldeo y el estado remoldeado. Los valores obtenidos en estos casos fueron como mínimo 2 y como máximo 20, con un valor promedio de 8 (Fig.4), lo que es indicativo de la importancia fundamental que tiene la estructura del suelo en su comportamiento mecánico.



Falla a 45°

Falla a 60° combinada  
con grieta vertical

Cuña en la parte superior,  
y grieta vertical

Falla según grieta natural

Figura 3. Probetas falladas en compresión simple. \*Figura tomadas de la bibliografía 2

La información obtenida de los sondeos y de las pruebas realizadas mostró variaciones importantes de resistencia. Entre los 2 metros y 8 metros de profundidad se obtuvo un promedio de  $0.2 \frac{kg}{cm^2}$ ; a partir de los 8 metros de profundidad y hasta los 25 metros  $q_u$ , que es la resistencia en compresión simple ofrecida por la probeta, oscila entre  $0.2 \frac{kg}{cm^2}$  y  $0.5 \frac{kg}{cm^2}$ ; de los 25 metros a los 37 metros de profundidad  $q_u$  aumenta siendo su promedio de  $0.5 \frac{kg}{cm^2}$ ; en la capa dura, los valores de  $q_u$  están dentro del rango de  $3 \frac{kg}{cm^2}$  y  $6 \frac{kg}{cm^2}$ ; por debajo de los 40 metros de profundidad, la resistencia fluctúa entre  $0.5 \frac{kg}{cm^2}$  y  $2 \frac{kg}{cm^2}$ , manteniéndose constante entre los 47 metros y 53 metros de profundidad; los valores de la resistencia obtenidos de muestras localizadas a la profundidad de 56 metros

son imprecisos, ya que los depósitos arenosos predominan<sup>1</sup>. Finalmente, en las profundidades de 70 a 76 metros, los valores de  $q_u$  fueron superiores a  $1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  (Bib. 2).

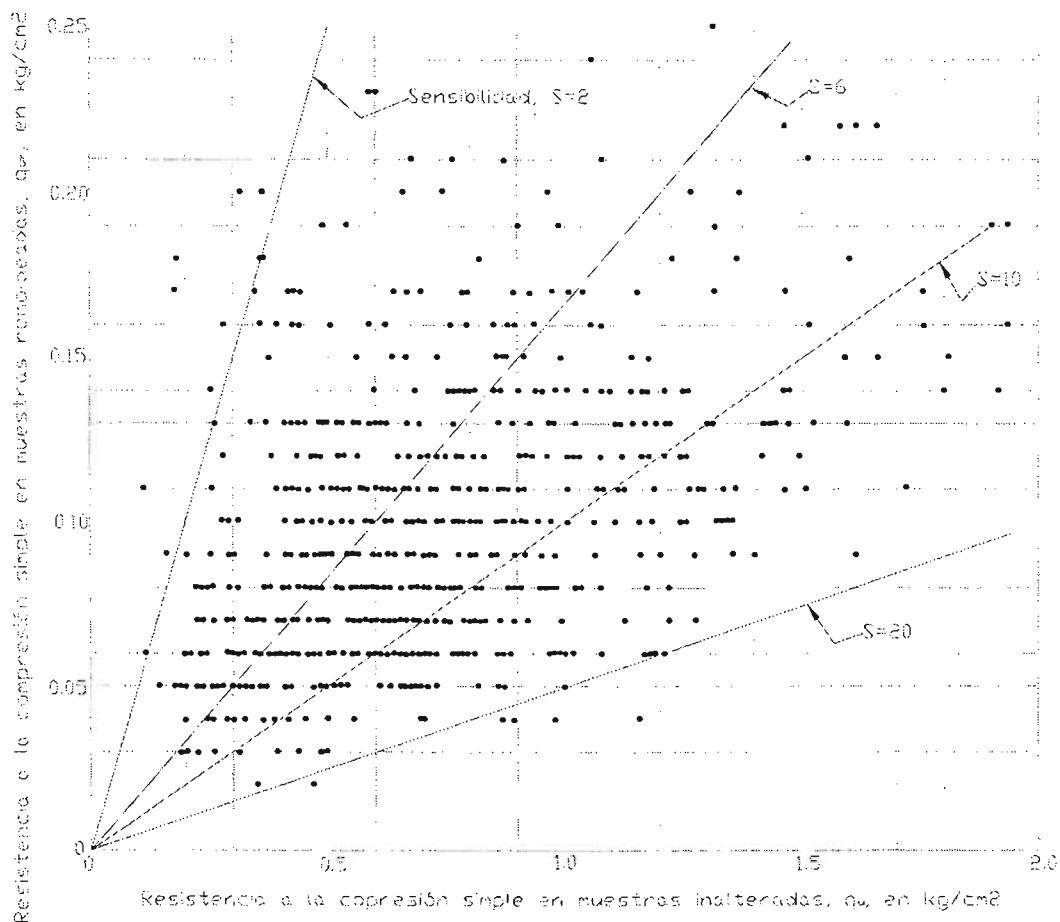


Figura 4. Sensibilidad. \*Figura tomadas de la bibliografía 2

Ya que en el laboratorio se labraron cilindros de diferentes alturas, los resultados se organizaron de acuerdo con la relación de la altura con el diámetro de su base, es decir, se realizaron dos series de pruebas, una con relación altura-diámetro de 1.0 y otra con relación de 2.5 (Tabla 5a y 5b).

<sup>1</sup> El labrado de probetas en arena resulta muy complicado, por lo que se requiere realizar algunas modificaciones en la prueba, para poder realizarla.

Relación de esbeltez	Formación Arcillosa Superior					
	Elevación	$w_i$	$q_u$	$q_{u,1}/q_{u,2.5}$	<b>M</b>	$M_1/M_{2.5}$
	m	%	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	
1.0	-7.31	337.7	0.53	0.91	14.5	0.60
2.5	-34.93	33.9	0.58		24.1	
1.0	-4.02	370.0	0.54	1.20	15.1	0.83
2.5	-31.73	351.1	0.45		18.2	
1.0	-6.12	294.0	0.91	1.20	27.9	0.88
2.5	-32.80	272.8	0.76		31.9	
1.0	-10.69	284.7	0.91	1.25	35.2	0.94
2.5	-32.37	275.6	0.73		37.4	
1.0	-4.52	364.3	0.78	1.24	33.3	0.92
2.5	-34.99	340.8	0.63		36.3	
1.0	-4.15	335.9	0.57	1.21	20.2	0.81
2.5	-33.34	304.4	0.47		25.1	
1.0	-12.50	262.2	0.84	0.94	22.8	0.71
2.5	-38.44	256.0	0.89		32.3	
1.0	-5.53	317.7	0.72	1.29	23.7	1.03
2.5	-31.03	317.2	0.56		23.0	

Tabla 5a

Relación de esbeltez	Formación Arcillosa Inferior					
	Elevación	$w_i$	$q_u$	$q_{u,1}/q_{u,2.5}$	<b>M</b>	$M_1/M_{2.5}$
	m	%	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	
1.0	-34.93	138.8	0.90	1.04	24.4	1.36
2.5	-39.90	136.5	0.86		17.9	
1.0	-35.57	186.5	1.20	1.10	40.2	0.88
2.5	-45.70	84.4	1.09		45.6	

Tabla 5b

Relación de esbeltez	Formación Arcillosa Inferior					
	Elevación	$w_i$	$q_u$	$q_{u,1}/q_{u,2.5}$	<b>M</b>	$M_1/M_{2.5}$
	m	%	kg/cm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>	
1.0	-37.92	172.9	2.02	1.04	62.1	0.66
2.5	-46.50	173.2	1.95		94.2	
1.0	-34.99	320.0	1.10	1.06	67.5	0.68
2.5	-40.61	328.5	1.04		98.3	

Tabla 5b (Continuación)

Se decidió dibujar polígonos de frecuencia de todos los resultados de las muestras originales y las remoldeadas, con lo cual se facilitó la interpretación de los resultados.

Los polígonos de frecuencia arrojaron los siguientes resultados: en muestras inalteradas el promedio a la resistencia en compresión simple fue de  $0.911 \text{ kg/cm}^2 \pm 0.009 \text{ kg/cm}^2$  y el promedio de los módulos de deformación de  $41.80 \text{ kg/cm}^2 \pm 0.62 \text{ kg/cm}^2$ . Para las muestras alteradas por remoldeo la resistencia a compresión simple tiene un promedio de  $0.107 \text{ kg/cm}^2 \pm 0.002 \text{ kg/cm}^2$  (Fig. 5) (Bib. 2).

Polígonos de Frecuencias

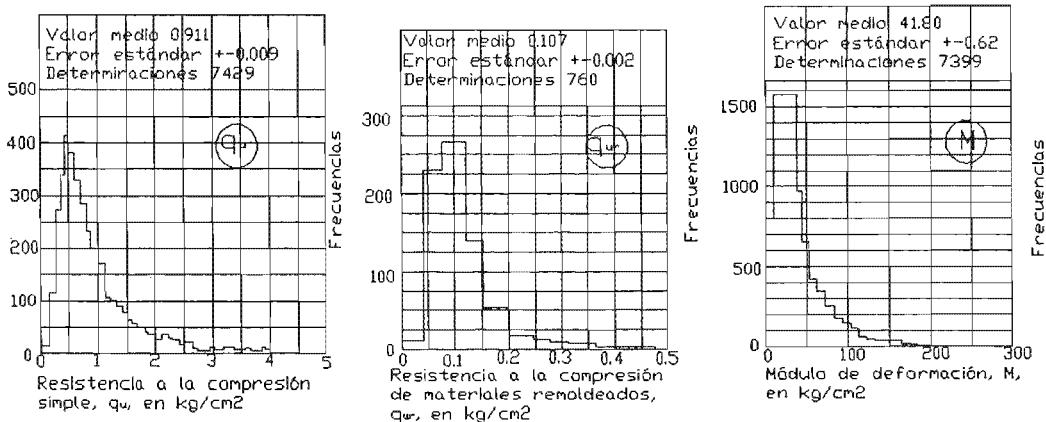


Figura 5 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

Otra prueba importante para conocer la resistencia del suelo a esfuerzo cortante es la prueba de compresión triaxial, en la cual teóricamente se podrían variar a voluntad las presiones actuantes sobre el espécimen de suelo en sus tres direcciones ortogonales, esto, mediante la presión ejercida por el líquido que confina a la muestras, a dicha presión se suma la presión de carga que dará el esfuerzo axial vertical, lo que permite hacer mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa.

Existen varias modalidades de la prueba triaxial variando la presión de confinamiento y la axial. En este caso se utilizó la prueba consolidada-rápida, caracterizada por permitir la consolidación bajo la presión ejercida por confinamiento, en seguida la muestra se lleva a la falla por un rápido incremento de carga axial vertical, el cual es tomado por el agua, de manera que no se permite el cambio de volumen, evitando la consolidación adicional durante el periodo de falla.

Los cilindros ensayados tenían 3.6 centímetros de diámetro y 8.5 centímetros de altura, a las cuales se les cubrió con dos membranas de hule de un espesor de 0.01 milímetros. Las características en las formaciones naturales de las que se obtuvieron las muestras para estos ensayos de la prueba triaxial, fueron:  $w_i = 419\%$ ,  $e_i = 9.40$ ,  $LL = 521\%$ ,  $I_p = 371$ ,  $s_s = 2.28$  y  $q_u = 0.60 \frac{kg}{cm^2}$ , estos valores son los promedios obtenidos de todas las muestras utilizadas a lo largo de dicha prueba. Nuevamente se realizó remoldeo de las muestras.

En los dibujos de los círculos de Mohr de esfuerzos efectivos de falla, que a continuación se presentan, se observa el comportamiento de las

muestras obtenidas de las formaciones naturales de la zona, al realizarse la prueba consolidada-rápida en los cilindros de dichas muestras. Los ángulos de fricción que se obtuvieron en estos casos, fueron del orden de  $17.55^\circ$  y  $22.20^\circ$  para las muestras alteradas por remoldeo y no alteradas, respectivamente (Fig.6), estos valores son los mayores para cada uno de los tipos de muestras, es decir, para las probetas con estructura y las probetas sin estructura. El promedio del ángulo de fricción, en la misma prueba (consolidada-rápida), en muestras inalteradas (las cuales se caracterizan por tener mayor resistencia al aplicarles carga), fue del orden de  $20.40^\circ$  (Fig.7) (Bib. 2).

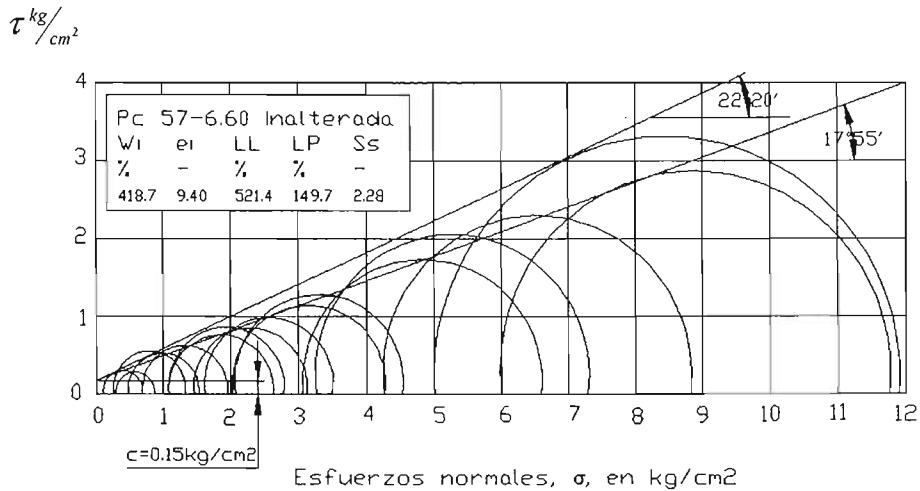


Figura 6 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

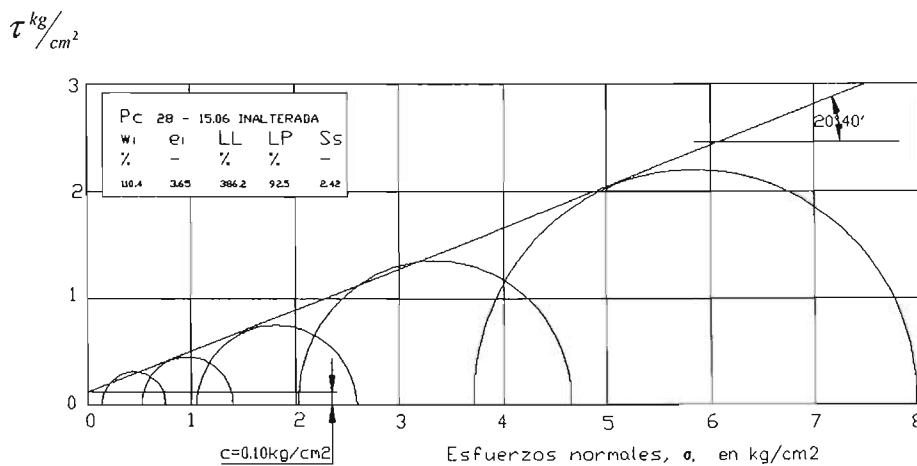


Figura 7 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

Una vez que el suelo alcanzó la condición de falla, en la mayoría de las muestras se comportó como un material plástico (Fig.8), sin mostrar pérdida de resistencia en esta etapa, hasta que se presentó una deformación axial de más del 10%.

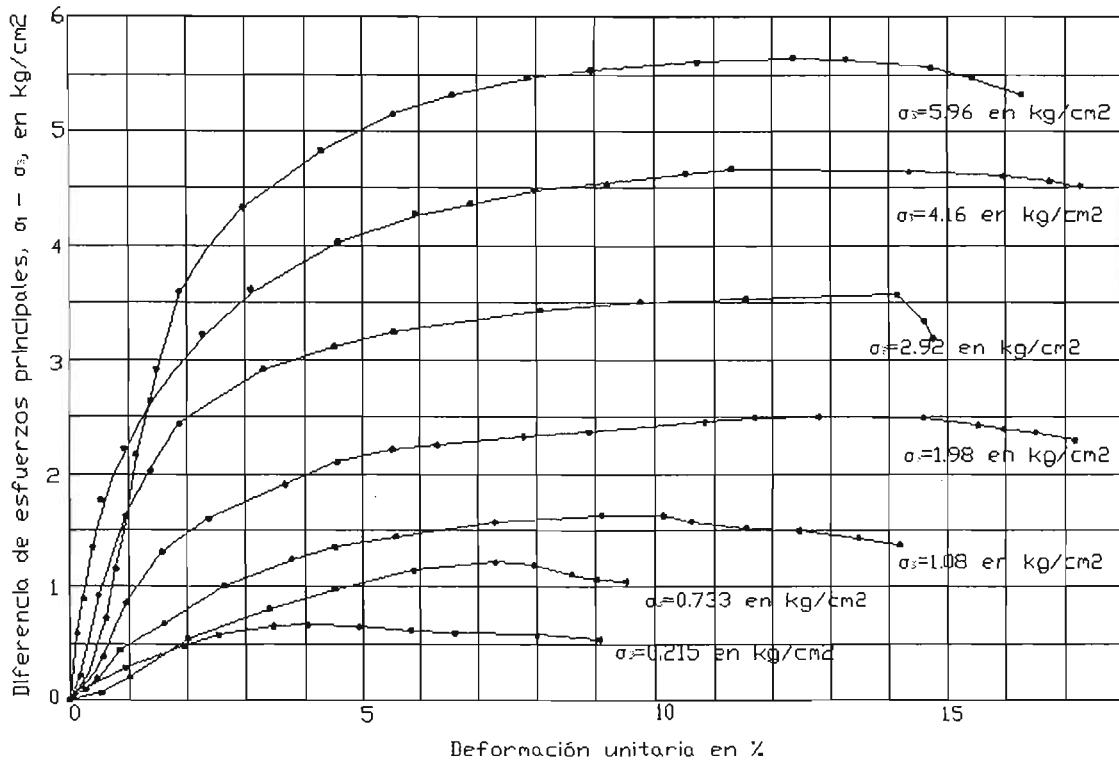
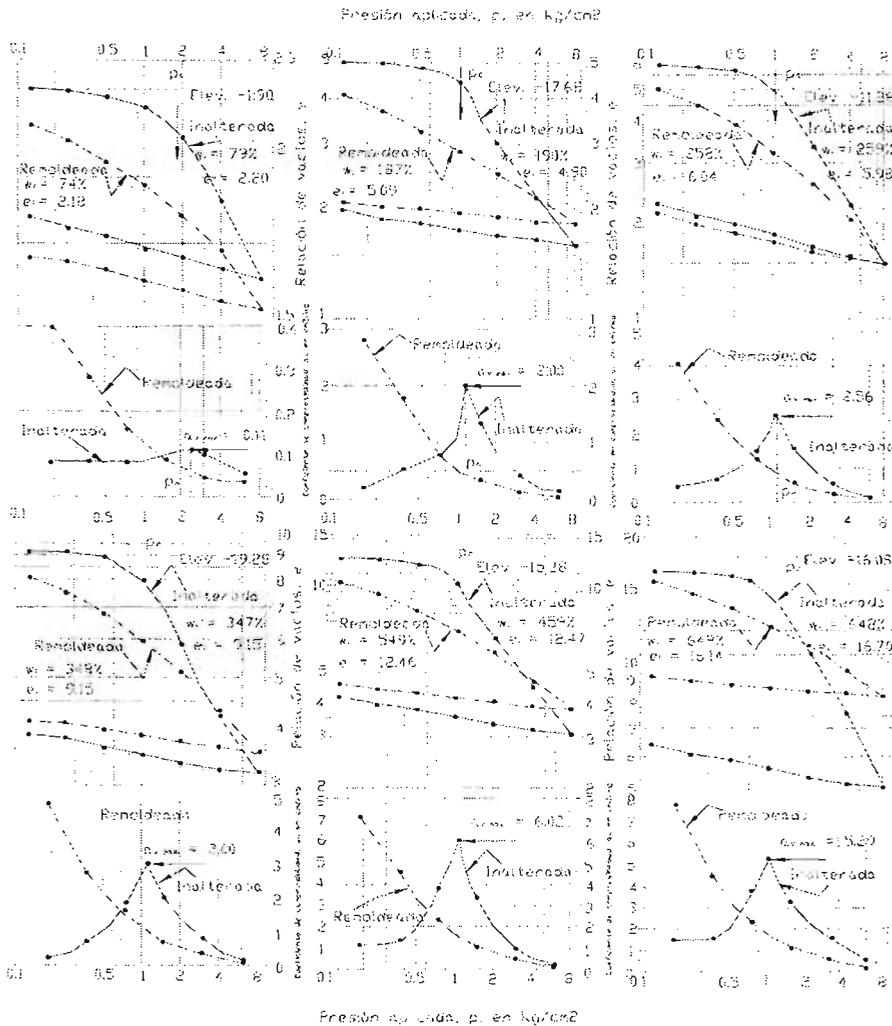


Figura 8 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

Otra prueba importante fue la de consolidación, caracterizada por la disminución del volumen mediante el incremento de cargas aplicadas a muestras inalteradas del suelo en un periodo de tiempo determinado. La importancia de esta prueba radica en la observación de la variación de la relación de vacíos conforme se incrementa la carga, esto se representa con las curvas de compresibilidad<sup>1</sup> (Fig.9). Además de los resultados obtenidos y plasmados en las

<sup>1</sup> En la curva de compresibilidad se describen los procesos de carga y descarga consecutivos; en las abscisas se colocan las presiones actuantes, en escala logarítmica o natural y en las ordenadas los valores de  $e$  en escala natural; la gráfica se divide en: tramo de compresión, tramo virgen (fin de aplicación de las cargas mayores valores para  $e$  y  $P$ ) y finalmente la etapa de descarga.

gráficas de consolidación<sup>2</sup> se puede conocer el coeficiente de permeabilidad.



w = Contenido de agua natural  
 e = Relación de vacíos inicial  
 P = Cargas de preconsolidación  
 c<sub>v</sub> = Coeficiente máximo de compresibilidad  
 p<sub>c</sub> = Presión correspondiente al coeficiente de compresibilidad máximo

Figura 9 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

La secuela de incrementos de carga utilizados en la prueba de consolidación fue la siguiente:  $0.125 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $0.25 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $0.50 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $1.0 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $2.0 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $4.0 \frac{kg}{cm^2}$ ,  $8.0 \frac{kg}{cm^2}$ . Los intervalos de carga fueron de 24 horas; la descarga se realizó cada dos horas con las mismas cargas, excepto

<sup>2</sup> En la curva de consolidación en las abscisas se coloca el tiempo de aplicación de la carga y en las ordenadas las lecturas del micrómetro que mide la deformación de la probeta.

la última, que se realizó hasta completar las 24 horas.

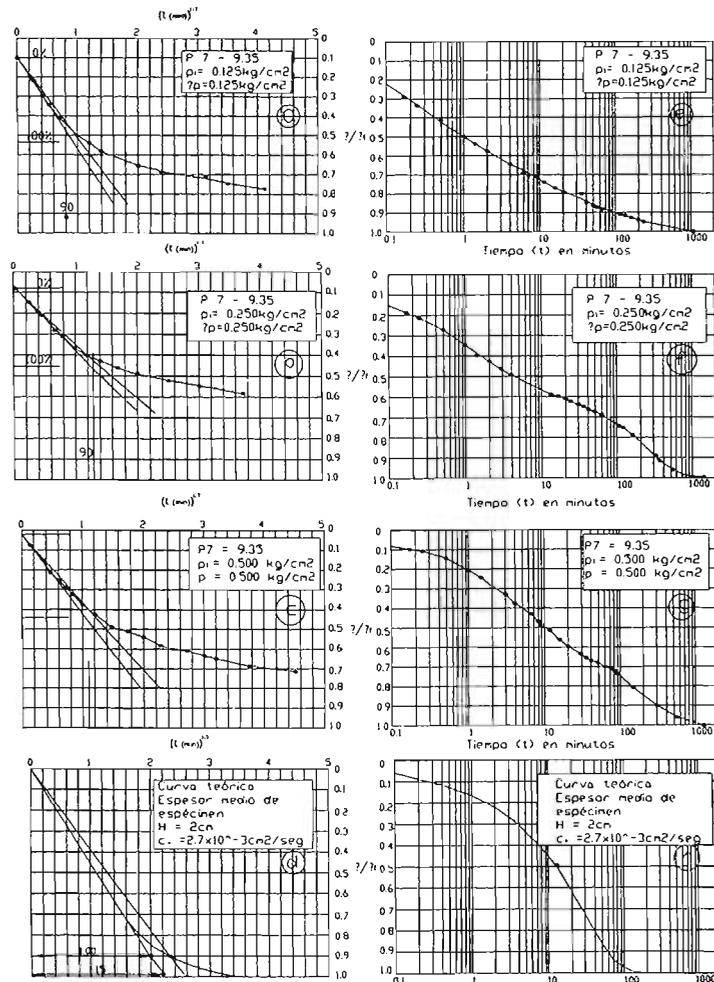
El coeficiente de compresibilidad ( $a_v$ ), que es el cociente del decremento de la relación de vacíos ( $e$ ) y de su respectivo incremento de la presión efectiva aplicada ( $\bar{p}$ ), varía en sus valores máximos entre  $0.11 \text{ cm}^2/\text{kg}$  y  $6.0 \text{ cm}^2/\text{kg}$ . Estos valores son realmente altos si nuevamente se comparan con valores generalmente encontrados en formaciones naturales marinas o glaciares.

Para la obtención del coeficiente de consolidación ( $C_v$ ) se requiere del previo trazado de las gráficas de consolidación, del cual se obtiene el valor del instante  $t_{50}$ , que se refiere al momento transcurrido al presentarse el 50% de la consolidación real, dato que es ingresado en la ecuación  $C_v = \frac{T_{50}}{t_{50}} H^2$ , representando  $T_{50}$  el mismo valor que  $t_{50}$ , pero en la curva teórica y siendo  $H$  el semi-espesor de la muestra del suelo probada. El valor teórico de  $C_v$ , resultó ser de  $2.7 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{seg}$ , para un estrato de 2 metros de espesor (Fig. 10).

Como se observó, los resultados de todas las pruebas realizadas en las muestras obtenidas de las formaciones naturales de la zona son de gran importancia, ya que revelan que éstas se caracterizan por ser altamente deformables, lo cual origina que en la práctica se presenten hundimientos en las obras de ingeniería que se construyen sobre o en ellos.

Un factor importante que con el tiempo modifica las características y comportamiento mecánico de las

formaciones naturales de la zona, descrito éste a lo largo del presente capítulo y que a su vez contribuye a mayor hundimiento del suelo del Valle de la Ciudad de México, es la extracción del agua subterránea que ha provocado la disminución del nivel de aguas freáticas, incrementando así la presión en los sólidos de las formaciones naturales. Además, en algunos casos, el peso de construcciones existentes o planeadas a futuro podría contribuir a la magnitud y velocidad de la deformación del suelo debido a los cambios que estas construcciones provoquen en el volumen y en la forma de la estructura original del suelo.



NOTA:  $\lambda$  = deformación final

Figura 10 \*Figura tomadas de la bibliografía 2

### I.3 Hundimiento regional del suelo en la zona.

Como se ha comentado a lo largo del capítulo anterior, la alta deformación de las formaciones naturales es un factor sumamente importante, por lo cual se debe tomar en cuenta para poder entender los diversos fenómenos que en dichas formaciones pueden ocurrir, tal como es el caso del hundimiento regional que se presenta en el Valle de la Ciudad de México.

A su vez es necesario considerar la siguiente explicación de lo ocurrido en el suelo al presentarse extracción de agua del manto freático, que provocando así el fenómeno de hundimiento.

El suelo del valle de México se encuentra constituido por sólidos y líquidos, en este caso agua, misma que está localizada entre las partículas de sólidos y tiene para cada profundidad una presión constante ( $\mu, =cte$ ), esto debido a que no existe en ella movimiento alguno, por lo tanto, la velocidad que experimentan las partículas de agua es nula ( $v=0$ ). Si al estado hidrostático en el que se encuentra el suelo, se le altera por medio de la extracción de agua, se generará movimiento en las partículas de la misma, hacia los estratos permeables, por los cuales es extraída ésta, así dichas partículas experimentarán velocidad, lo cual provoca una reducción de presión en el agua ( $-\Delta\mu$ ) y un incremento de presión en los sólidos  $(\Delta\sigma)^1$  (Fig.1), es decir, la presión que era absorbida en gran parte por el agua contenida entre las partículas sólidas de los estratos, es cedida a éstas últimas, lo que a su vez produce una reducción de los "vacíos" y consecuentemente se genera una

---

<sup>1</sup> Como ya se comentó, la disminución de presión en el agua genera un incremento de presión entre los sólidos  $\sigma = \mu + \bar{\sigma}$

disminución importante de volumen del suelo y el hundimiento regional.

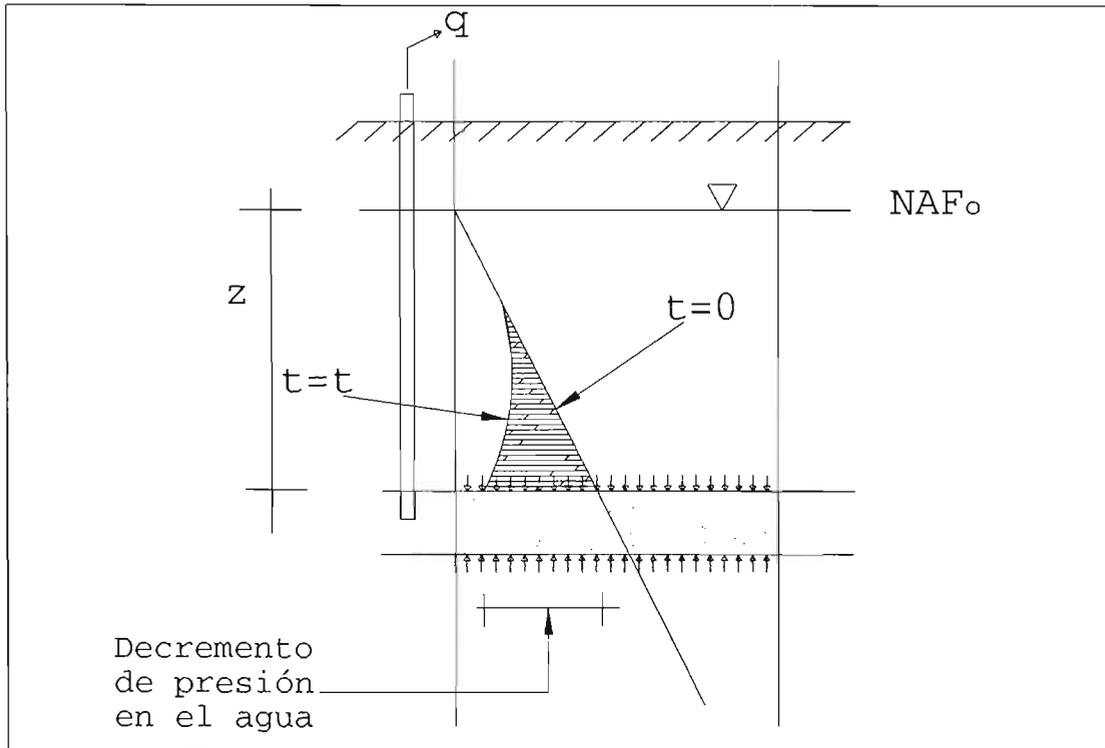


Figura 1. Esquema del abatimiento de la presión en el agua por efecto de la velocidad que ésta adquiere al ser extraída.

Por otra parte, se sabe de la gran necesidad de abastecimiento de agua en el Valle de México por el aumento de la mancha urbana y de la necesidad de abastecimiento de este líquido para las industrias. En muchas ocasiones el sector privado, en el caso de dichas industrias, cuenta con pozos de extracción de agua de los que no se tiene oficialmente información, por lo tanto, no se cuenta con control alguno por parte de las autoridades, sobre los gastos del líquido extraídos en estos casos.

Para poder tener noción de los efectos ocurridos, a través de los años en el suelo de la Delegación Gustavo A. Madero, debido a lo ya mencionado en cuanto a la extracción de agua, es necesario conocer los

estudios que se han realizado acerca de la velocidad del hundimiento regional que se tiene dentro del área de dicha Delegación. Los estudios realizados a través de los años a consecuencia de los problemas ocasionados por el hundimiento que se presenta, datan de principios del siglo pasado y se mencionan a continuación.

En 1954 se realizaron diversos estudios que arrojan valores de la velocidad de los hundimientos en el valle. El análisis de los valores obtenidos en los estudios, los cuales fueron considerados como valores muy altos y que fueron, como velocidad mínima de hundimiento 6cm/año y como velocidad máxima 30cm/año, originaron que se decretara una veda en los pozos controlados, dentro de la Ciudad de México (Bib. 1).

Se continuó con la realización de estudios sobre las velocidades de hundimiento y algunos de los valores de las cargas piezométricas. En la Delegación Gustavo A. Madero las velocidades de hundimiento obtenidas en los estudios realizados en 1983, para el Valle de México, se encontraban dentro de un rango de 34cm/año a 38cm/año (Fig.2), estos valores quizá se debieron a la cercanía de los límites de la delegación con una de las zonas industriales más importantes dentro de la Ciudad de México<sup>1</sup>. En el transcurso de esa década, muy probablemente en dicha zona industrial, se realizó una extracción excesiva de agua por medio de pozos privados, lo cual aceleró el hundimiento que se presentó en la Delegación en estudio (Bib. 1).

Entre 1986 y 1987 se realizó una nueva nivelación del suelo, la cual mostró un valor promedio en la

---

<sup>1</sup> Se refiere a la zona industrial localizada en la colindancia de la Delegación Gustavo A. Madero y la Delegación Azcapotzalco (lado poniente de la avenida Vallejo)

velocidad de hundimiento del orden de 20cm/año. Para 1989 otra nivelación indicó que la velocidad alcanzó el nivel máximo que provocó la veda de pozos de extracción en 1954; es decir, se llegó a tener, en el Valle de México, una velocidad de hundimiento de 30cm/año, nuevamente una de las zonas con mayor velocidad de hundimiento era la de la Delegación Gustavo A. Madero<sup>1</sup>, con una velocidad del orden de 29cm/año.

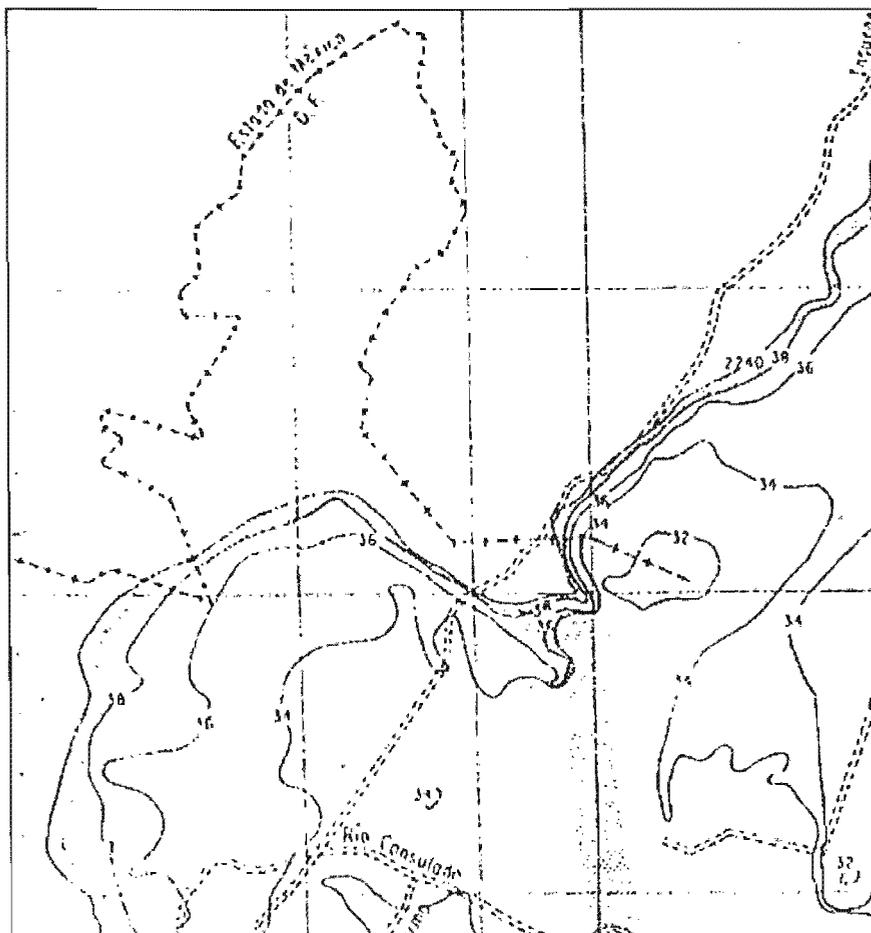


Figura 2

Los niveles piezométricos medidos en algunos pozos revelaron que la presión estática medida en ese último estudio de 1989, dentro de la zona de la Delegación

<sup>1</sup> Datos consultados en la obra de Raúl J. Marsal.

Gustavo A. Madero, corresponde a una elevación de 2190msnm (Bib. 1).

Según información reciente obtenida mediante datos recabados en la Delegación Gustavo A. Madero por parte de Protección Civil, el hundimiento acumulado en la zona del lago, perteneciente a la zona Sur - Este de la delegación, resulta ser del orden de 6 metros, respecto a la superficie del lago en su formación original cuyo nivel era de 2240msnm, presentando disminución de la magnitud del hundimiento en dirección de la sierra de Guadalupe, localizada en la zona norte de la Delegación (Fig. 3).

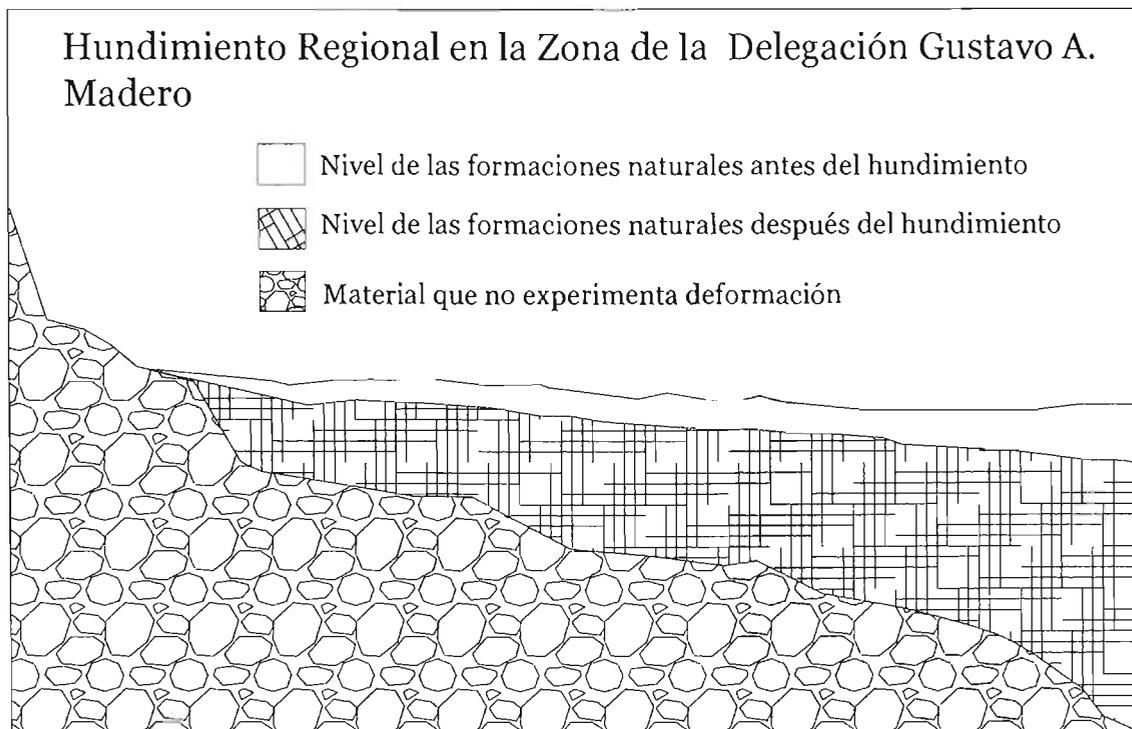


Figura 3

#### **I.4 Consecuencias y análisis de la existencia de hundimiento regional: grietas.**

Las formaciones naturales están sujetas a esfuerzos que, si bien no están aplicados de forma homogénea, sí actúan en todas direcciones sobre la masa del suelo.

Existen diversas problemáticas que se pueden presentar en las formaciones naturales con las características que éstas tienen en el Valle de México, tal es el caso del hundimiento regional. Este fenómeno genera en algunas ocasiones, por ciertas circunstancias, rupturas en la superficie exterior del suelo, que se evidencia mediante la aparición de grietas.

Las grietas que generalmente se tienen en suelos como las existentes en el Valle de México, exhiben ciertas particularidades que permiten dividirlos en:

- grietas en suelo de material de una sola naturaleza,
- grietas de un suelo constituido por dos materiales de diferente naturaleza y
- grietas en formaciones donde se presentan transiciones abruptas.

La aparición de grietas que se presentan en un suelo de una misma naturaleza, se debe a la generación en él, de hundimientos regionales y específicamente al hecho de que sean diferenciales. El hundimiento regional es provocado por la extracción de agua del subsuelo o por la acción de construcciones que generan esfuerzos en el suelo de apoyo y en el circundante, lo que a su vez produce deformaciones, principalmente volumétricas (Fig. 1).

Grietas debidas a hundimiento diferencial por distinto espesor efectivo en suelos constituidos por un solo material

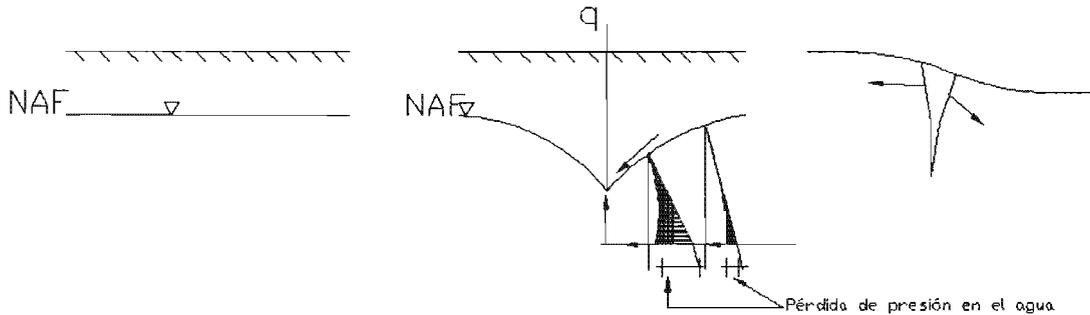


Figura 1

En el segundo caso, en el que el suelo está constituido por dos materiales de diferente naturaleza, la extracción del agua se hará en el que tenga mayor permeabilidad, pero el material que sea más propenso a sufrir variaciones de volumen presentara mayor hundimiento<sup>1</sup>, lo cual, finalmente podría ocasionar la presencia de una grieta en el límite de separación de ambos materiales (Fig. 2).

Grietas debidas a hundimiento diferencial al tener materiales naturales o suelos, distintos.

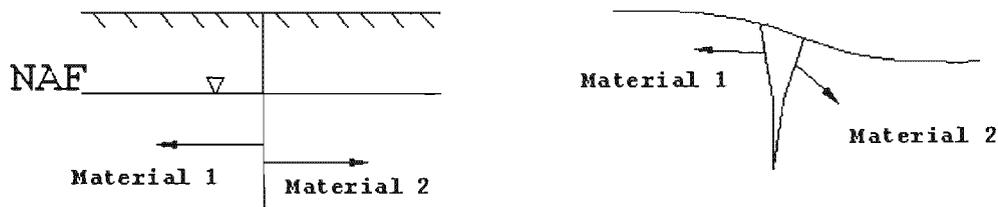


Figura 2

<sup>1</sup> En caso de que se tratase de arcilla y arena, esta última por permitir el flujo del agua con mayor rapidez, tiende a deformarse o "perder" los vacíos entre sus partículas sólidas en forma más rápida que la arcilla, lo que propicia primero, el hundimiento diferencial en este material, lo cual no quiere decir que éste sea mayor que el hundimiento que seguramente experimentará el suelo fino, en este caso la arcilla.

Por último, en los lugares en donde existe una transición abrupta de las formaciones naturales, es decir, en donde la formaciones pétreas y los suelos finos (arcillas) están en contacto directo, se tendrá que los espesores de suelos finos resultan variables, siendo menores en la cercanía de la zona pétrea y mayores al estar en sitios alejados del contacto entre suelos finos y dicha zona pétrea. Este hecho propicia que la rapidez del hundimiento sea mayor en la proximidad del contacto mencionado y en consecuencia puedan aparecer hundimientos diferenciales que generan las grietas en el suelo fino precisamente en esa zonal (Fig.3).

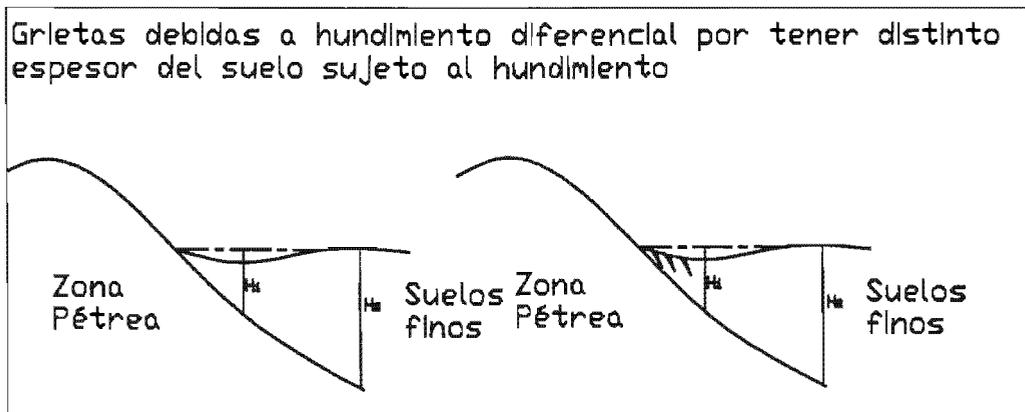


Figura 3

En los fenómenos ya mencionados que ocurren como consecuencia de la extracción de agua del manto freático, se presenta una disminución de volumen en las formaciones naturales; al extraer el agua, su presión disminuye, tanto porque el agua adquiere velocidad<sup>2</sup>, como por el hecho del abatimiento a nivel

<sup>1</sup> Al igual que en el caso de dos estratos de materiales diferentes (arenas y arcillas), el hundimiento en los espesores menores de suelo fino puede presentarse con mayor rapidez, ocasionando así la aparición de grietas, pero que el hundimiento en estas zonas ocurra primero no quiere decir que sea el de mayor hundimiento que se presente en dichos suelos finos.

<sup>2</sup> Tomando en cuenta la ecuación de la energía utilizada en hidráulica, y para que se cumpla ésta, al disminuir la carga de presión, forzosamente la carga de velocidad debe incrementarse (+ $\Delta v$ ), este incremento será directamente proporcional al decremento (- $\Delta p$ ) de la carga de presión, ya que si dicha ecuación se aplica en un determinado punto y no modificamos la ubicación del mismo,  $z$  se mantendrá constante  $z + \frac{\Delta p}{2g} + \frac{\Delta v}{2g} = cte$ .

freático; esta disminución se traduce en un incremento igual en los esfuerzos en sólidos del suelo (ecuación fundamental de los suelos saturados<sup>1</sup>), que a su vez se evidencia con la deformación que experimenta el suelo. El hecho de que la deformación sea diferencial permite afirmar que aparecerán en el suelo esfuerzos cortantes que pueden igualar a los esfuerzos resistentes del suelo (Fig. 4); esto provoca la falla del suelo mediante la aparición de grietas.

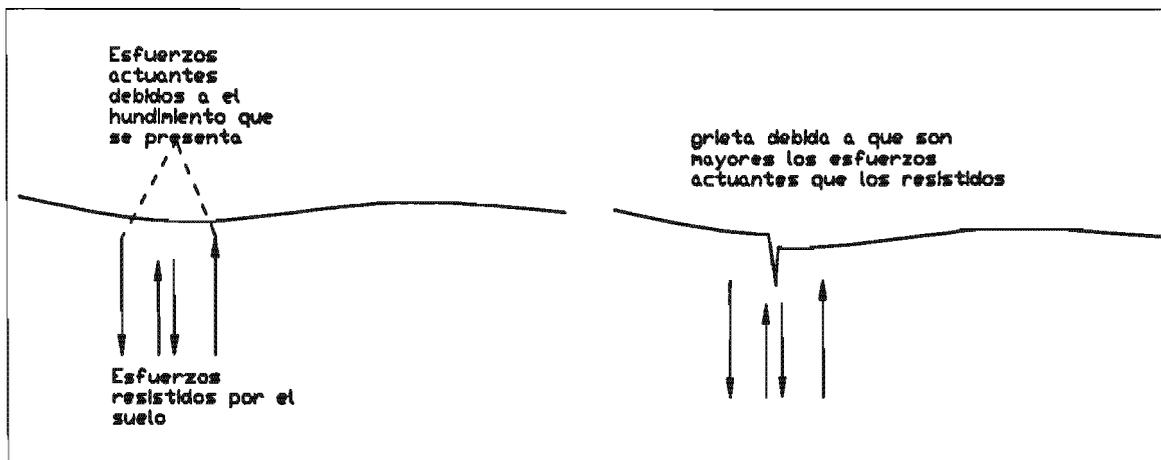


Figura 4

Lo anotado anteriormente se puede representar mediante los círculos de Mohr, para lo cual hay que considerar lo siguiente:

Si tomamos una porción de suelo a una profundidad  $z$  y a dicha porción la aislamos en el plano junto con los esfuerzos que actúan sobre la misma, se podrá analizar a dicha porción en un estado de acciones y reacciones (Fig.5).

Idealizando, en la porción tomada para el análisis (en dos dimensiones) existen dos planos principales,

---


$$\sigma = \bar{\sigma} + \mu$$

$$\Delta p = \Delta \bar{p} + \mu$$

en donde los esfuerzos tangenciales son nulos mientras que los esfuerzos perpendiculares a esos planos son los llamados principales y se indican como:  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ .

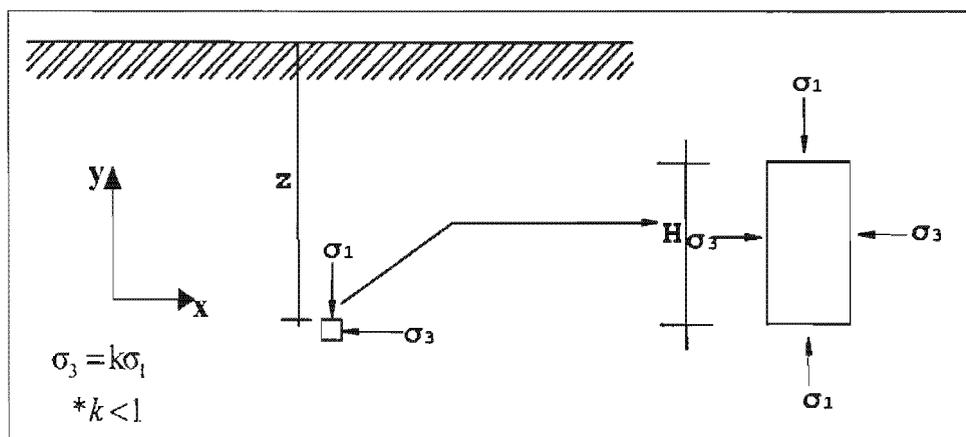


Figura 5

Ahora con lo antes anotado y suponiendo que los ejes  $y$  y  $x$  definen los planos principales y además  $\sigma_1 = \sigma_y$ ,  $\sigma_3 = \sigma_2 = \sigma_x$  y  $\tau_{xy} = \tau_{yx} = 0^1$ , se podrá hacer uso de los círculos de Mohr, ya que estos son la representación gráfica del estado de esfuerzos antes mencionados ( $\sigma, \tau$ ) (Fig. 6).

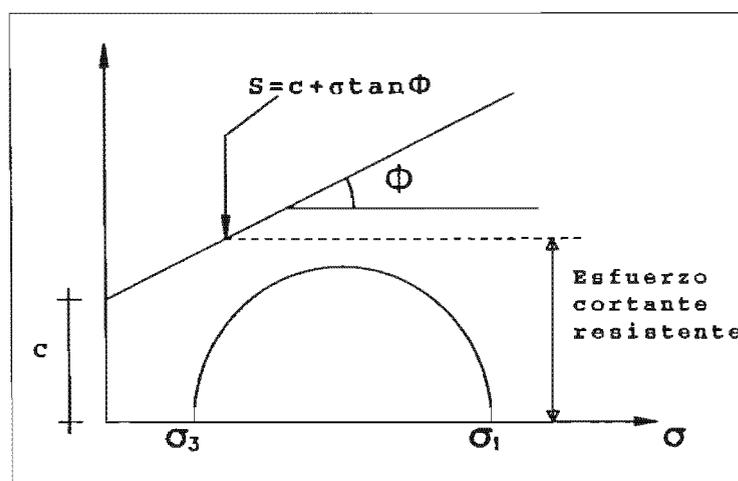


Figura 6

<sup>1</sup>  $\sigma \rightarrow$  esfuerzo normal y  $\tau_{xy} \rightarrow$  esfuerzo tangencial.

\*El suelo se deforma:  $k_a < 1 \rightarrow k_a = \frac{1 - \text{sen}\phi}{1 + \text{sen}\phi}$ ;  $k_p > 1 \rightarrow k_p = \frac{1 + \text{sen}\phi}{1 - \text{sen}\phi}$  el

suelo no experimenta deformación en  $k_0$  ( $k_p > k_0 > k_a$ ).

Ahora bien si para el caso de interés,  $\sigma_1 = \sigma_v$  y  $\sigma_3 = \sigma_h$ , mismos que  $\sigma_v = \gamma z$  y  $\sigma_h = k_0 \gamma z$  actuantes en el suelo, a una profundidad  $z$  y que dichos esfuerzos corresponden al estado de esfuerzos original del suelo a la misma profundidad y de no presentarse alteración alguna en dicha masa de suelo, se tiene que los esfuerzos cortantes actuantes serán menores que los esfuerzos cortantes resistentes del suelo (Fig.7).

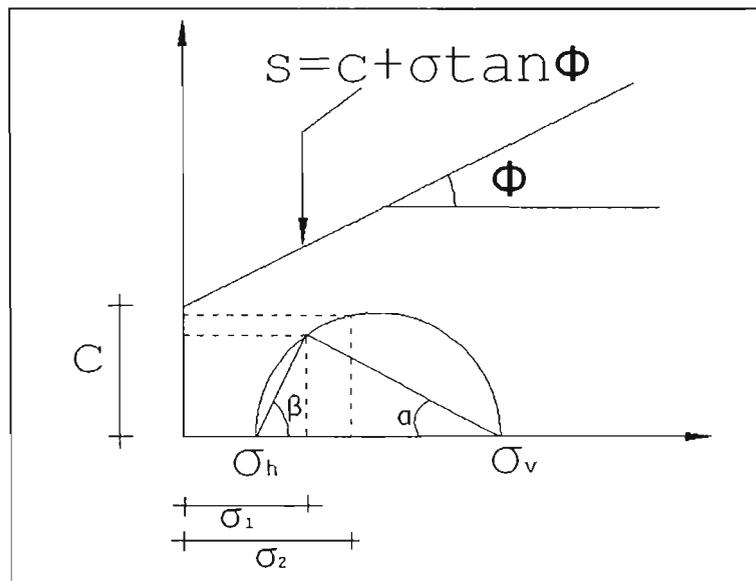


Figura 7

En la figura 7, mediante la semicircunferencia correspondiente al plano de Mohr, se representa el estado original de esfuerzos<sup>1</sup>, a que está sujeto el elemento de suelo que se analiza, tanto esfuerzo normal como esfuerzo cortante; se puede observar que los esfuerzos cortantes que experimenta el elemento, son menores a los esfuerzos cortantes resistentes, determinados por las ordenadas de los puntos que definen la envolvente de falla (línea recta de ecuación  $s = c + \sigma \tan \phi$ ). Al variar la diferencia de magnitudes de los esfuerzos normales principales:  $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ , por ejemplo, incrementando tal diferencia, los

---


$$^1 \sigma = \frac{P}{A} \quad \text{y} \quad \tau = \frac{T}{A}$$

esfuerzos cortantes que aparecen en el nuevo estado de esfuerzos son mayores y al seguir este proceso, se tendrá el caso de que la semicircunferencia que representa tal estado de esfuerzos resulta tangente, en uno de sus puntos, a la envolvente de falla, en ese momento la magnitud de los esfuerzos cortantes resistentes es igual a la magnitud del esfuerzo cortante actuante o generado y, se produce la falla.

La variación de los esfuerzos principales ( $\sigma_1$  y  $\sigma_3$ ), puede generarse al apoyar sobre el suelo la cimentación de una estructura o bien extrayendo el agua del suelo (Fig.8), tal como se ha explicado anteriormente, como consecuencia variaran los esfuerzos cortantes.

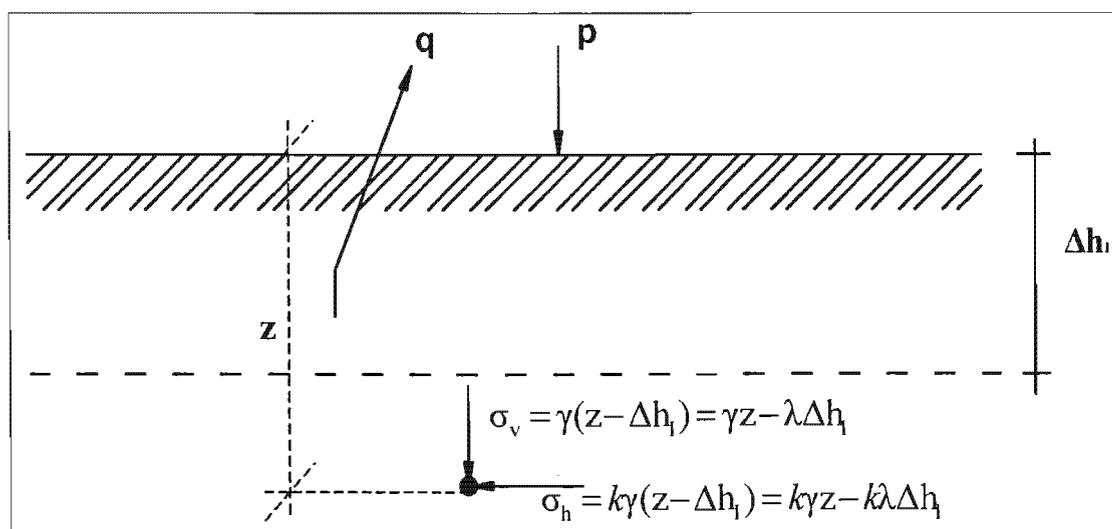


Figura 8

Se reitera que cuando se presenta la extracción de agua, en las cercanías de donde ocurre ésta, se provocará el incremento de los esfuerzos actuantes sobre las partículas sólidas, lo cual dará origen a un decremento en el nivel de la superficie exterior del

suelo<sup>1</sup>, variando éste de acuerdo a la cercanía al lugar en donde se realiza la extracción, es decir a mayor cercanía de la zona de extracción de agua, mayor será el hundimiento que experimenta el suelo.

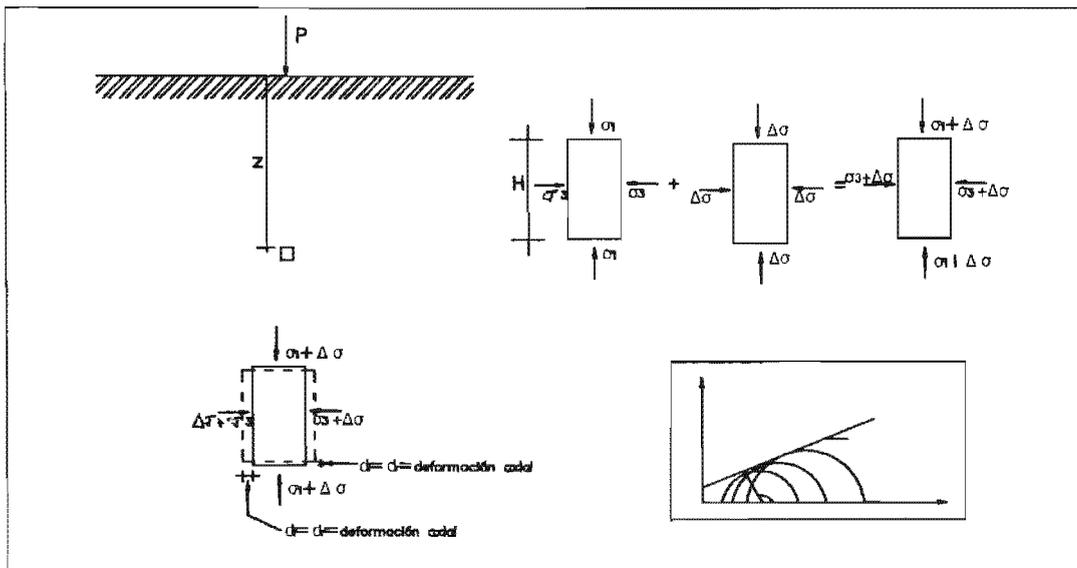


Figura 9

En la figura 9 se representan la variación de los esfuerzos cortantes actuantes ( $\Delta\sigma$ ), mismos que ya se han comentado.

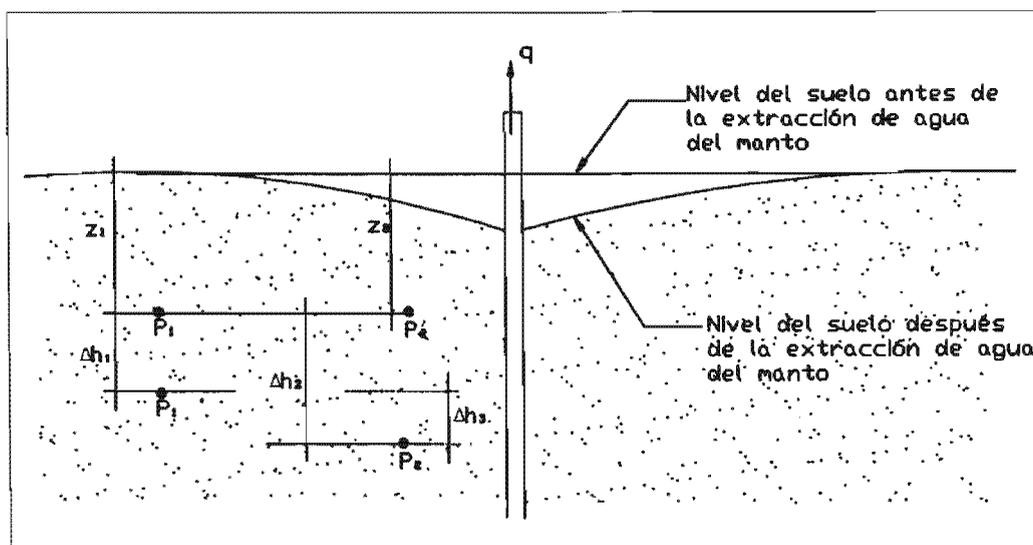


Figura 10

<sup>1</sup> El hundimiento que se presenta en este caso es directamente proporcional al incremento de presión en la superficie del suelo, lo cual se representa por medio de la expresión  $\Delta H = m_v \cdot \Delta p \cdot H = m_v \cdot \Delta\sigma \cdot H$

De esta forma en los esfuerzos cortantes actuantes en dos puntos a diferente distancia horizontal de donde se realice la extracción de agua del manto, como ya se mostró en la figura 10, se observa una modificación de suma importancia en su magnitud, ya que  $\Delta h_2$  en el punto  $P_2$  será mayor que  $\Delta h_1$  en el punto  $P_1$ , no importando que la profundidad original a la que se encuentren ambos puntos sea igual ( $z_1 = z_2$ ), una situación similar ocurre en la variación de presión en el agua ( $\Delta\mu$ ), teniendo en cuenta que al aumentar la presión en el agua disminuye la presión en los sólidos del suelo, esta variación de presión que ocurre al extraer agua del suelo (Fig. 11), dicha variación de presión del agua influye en la magnitud del hundimiento.

$$\sigma_{h_1} = k_t \gamma (z_1 - \Delta h_1); \quad \sigma_{v_1} = \gamma (z_1 - \Delta h_1)$$

$$\sigma_{h_2} = k_t \gamma (z_2 - \Delta h_2); \quad \sigma_{v_2} = \gamma (z_2 - \Delta h_2)$$

$$\text{en donde: } \Delta h_2 = \Delta h_1 + \Delta h_3$$

por lo tanto:

$$\sigma_{h_2} - \sigma_{h_1} = k_t \gamma (z_2 - \Delta h_2 - z_1 + \Delta h_1) = k_t \gamma (z_2 - z_1 + \Delta h_1 - \Delta h_2)$$

además:

$$\Delta p_1 = \Delta \bar{p} + \mu \quad \Delta p_1 = (\Delta \bar{p} + \Delta \mu_1) + (\mu + \Delta \mu_1)$$

$$\Delta p_2 = \Delta \bar{p} + \mu \quad \Delta p_2 = (\Delta \bar{p} + \Delta \mu_2) + (\mu + \Delta \mu_2)$$

$$\text{así: } \Delta \mu_1 < \Delta \mu_2 \quad \text{y} \quad \Delta \bar{p}_1 > \Delta \bar{p}_2$$

Con lo que el hundimiento ( $\Delta H = m_v \cdot \Delta \bar{p} \cdot H$ ) en los puntos 1 y 2 :

$$\Delta H_1 = m_v \cdot \Delta \bar{p}_1 \cdot H \quad \Delta H_2 = m_v \cdot \Delta \bar{p}_2 \cdot H$$

y como  $\Delta\bar{p}_1 > \Delta\bar{p}_2$ , por lo tanto:

$$\Delta H_1 > \Delta H_2$$

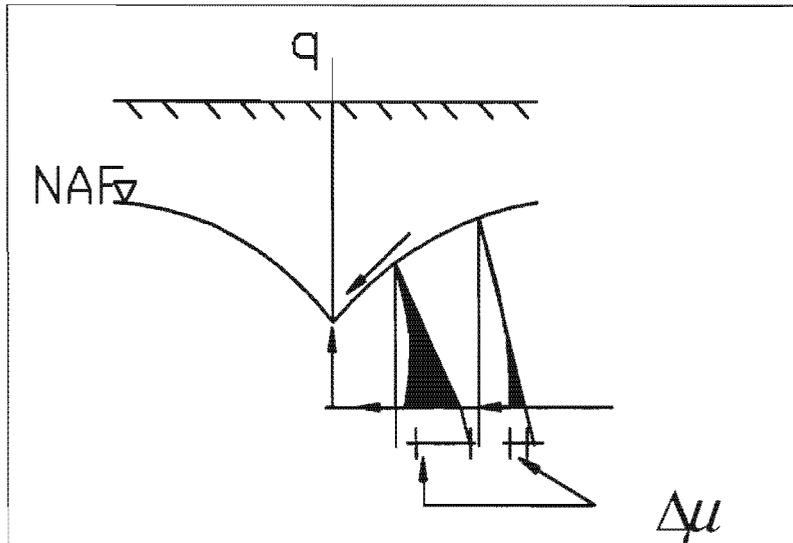


Figura 11

Así, al suponer que se tiene una masa homogénea, isotrópica, continua y que la presencia de esfuerzos cortantes actuantes afectan a ésta en su totalidad, la falla ocurrirá simultáneamente en un número infinito de planos (Fig. 11).

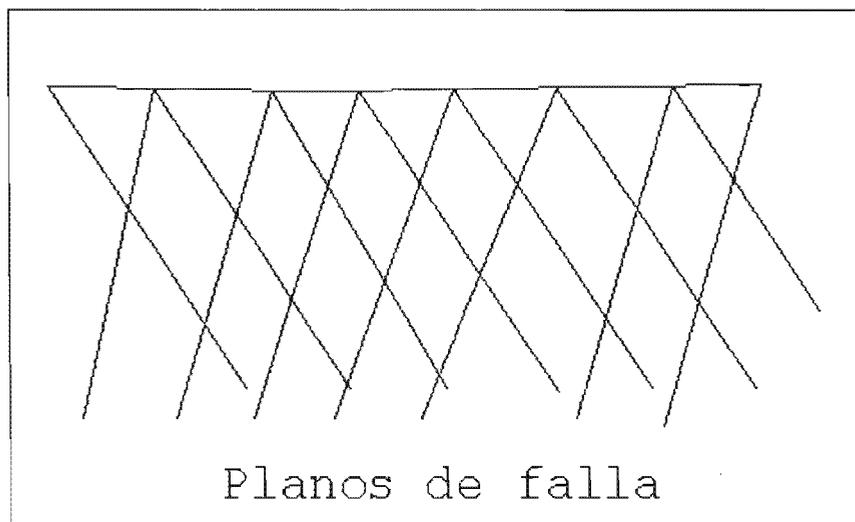


Figura 11

De esta forma al presentarse las situaciones antes mencionadas que alteran los esfuerzos actuante, la

inclinación de la superficie de falla con respecto a la horizontal, se calcula mediante el ángulo  $2\alpha = 90 + \phi$  (Fig.12).

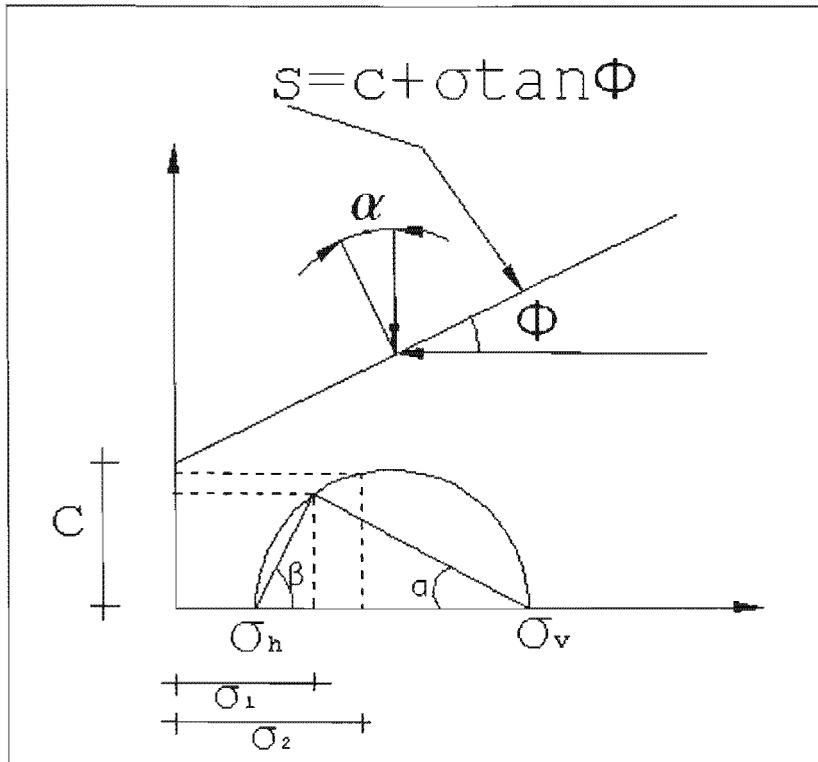


Figura 12

En la realidad, dentro del suelo existirá un plano en particular que resulte crítico, mismo que dará lugar a una superficie de falla.

Aún después de la generación de la superficie de falla en el plano que resultó crítico, existirán diversos planos de falla en el suelo (Fig.13), muy posiblemente algunos de estos planos que falla resultarán críticos, en ellos ocurrirán nuevas rupturas dando origen a nuevas grietas.

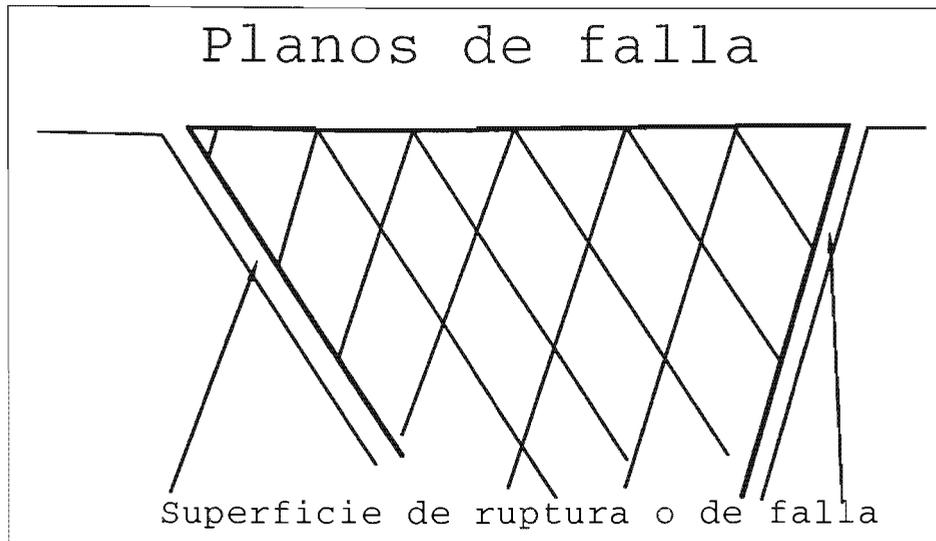


Figura 13

Generalmente la superficie de ruptura que se presenta en los planos de falla ocurre de tal forma que el suelo llega a formar una cuña, limitada por superficies de falla.

Debido a que continúa actuando la presión exterior ejercida por la construcción desplantada sobre la porción de suelo en cuestión, puede ocurrir que se incrementen una o ambas superficies de falla, provocando esto a su vez que parte del material contenido dentro de la cuña, al transcurrir el tiempo, obturarse alguna de las superficies de falla (Fig. 14), generando nuevamente alteraciones en la estructura en esa porción de suelo, con lo que se incrementa la deformabilidad en dicha porción de suelo; es decir, en la cercanía de las superficies de falla, una vez más se genera un incremento de esfuerzos actuantes que, sumados a los esfuerzos cortantes actuantes dentro de dicha porción de suelo, alterada por la falla ocurrida anteriormente, podrán resultar de igual magnitud que los esfuerzos resistentes del suelo existentes en ese momento, provocando nuevas fallas (Fig. 15).

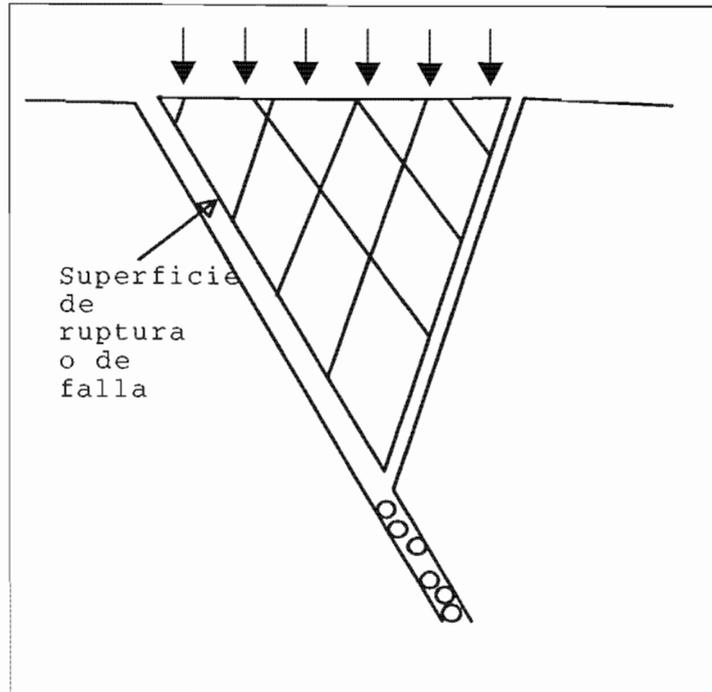


Figura 14

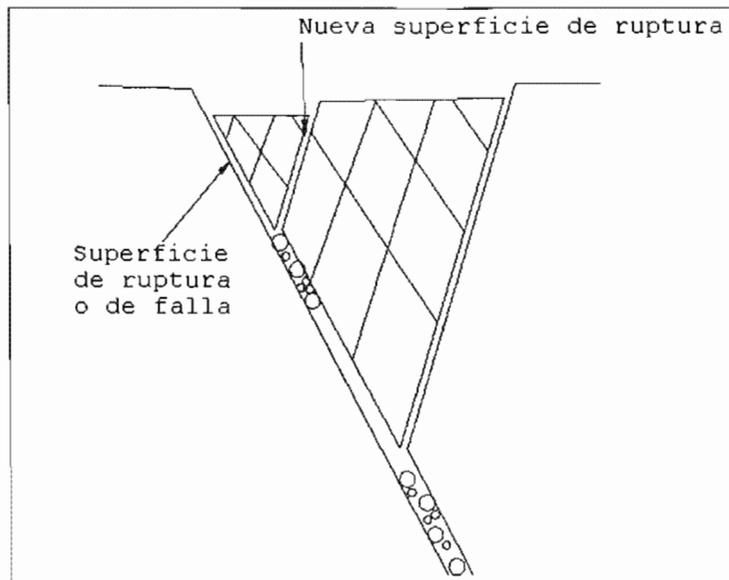
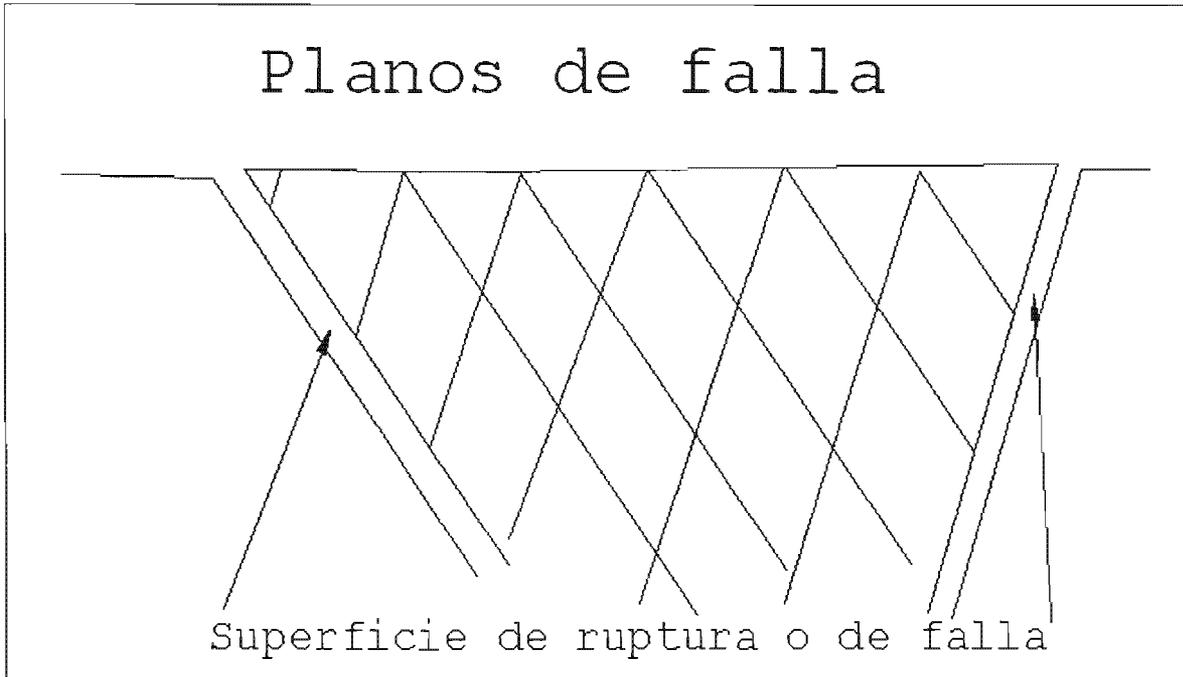


Figura 15

La forma triangular de cuña que se ha ilustrado en las figuras anteriores no es la única que se puede presentar; puede darse el caso en que las superficies de falla formen un trapecio que tendrá el comportamiento ya descrito (Fig. 16); debido a que en

ambos casos, tanto en la formación de la cuña triangular y rectangular, surgen incrementos de los esfuerzos cortantes actuantes.



*Figura 16*

## **I.5 Localización de las grietas en la zona y su geometría.**

Como ya se ha mencionado en los capítulos precedentes, las características de las formaciones naturales de la zona en estudio y los eventos externos a éstas han ocasionado situaciones que contribuyen al desarrollo y aparición de grietas en diversos sitios de la Delegación. Dichas grietas se han ubicado en los estratos más susceptibles a los efectos de la extracción del agua del subsuelo, tales como: abatimiento del manto freático, consolidación del suelo, hundimiento regional, hundimientos diferenciales y grietas.

Las grietas se presentan en las formaciones naturales más deformables pertenecientes a la zona del lago; como ya se comentó, en tales formaciones se tiene hundimiento diferencial que propicia la generación de grietas. Las características físicas principales en el caso de las grietas en la zona son: longitudes del orden de medio metro hasta aproximadamente veinte metros<sup>1</sup>, anchos variables que van de diez a veinte centímetros y con profundidades presumibles de hasta diez metros<sup>2</sup>, aberturas con los bordes que por lo general presentan desniveles de hasta 60cm.

La localización de las grietas, su descripción y geometría se realizó mediante visitas a la zona en estudio, además, se obtuvo información recopilada por protección civil en la Delegación Gustavo A. Madero, lo anterior se muestra en la siguiente tabla.

---

<sup>1</sup> Se ha tenido conocimiento que algunas grietas, en otras regiones de la ciudad de México, han tenido longitudes de más de un kilómetro.

<sup>2</sup> En cuanto a la profundidad no se tiene conocimiento real de esta característica física pero, presumiblemente, se puede decir que la máxima podría ser del orden 10 metros, como ya se ha mencionado.

Localización de grietas y algunas características de su geometría		
Ubicación	Descripción	Colonias
Av. De los 100 Metros, en el carril de alta velocidad frente a la Central Camionera del Norte.	Existen diferentes desniveles de entre 20 y 30cm.	Ampl. Panamericana/ Maximino Ávila Camacho*
Av. Congreso de la Unión y calle Talismán.	Se ubica una grieta del orden de 12m de longitud, originada por un escalón en la carpeta asfáltica de entre 5 y 20cm, afectando una área de aproximadamente 80m <sup>2</sup> .	Aragón
Av. Congreso de la Unión y calle Tesoro.	Se aprecia un levantamiento de la carpeta asfáltica de 4 a 9cm.	Aragón Inguarán
Av. Congreso de la Unión, esquina Oriente 95.	Existe un escalón de entre 10 a 14cm.	Belisario Domínguez
Av. Congreso de la Unión (Esq. Ángel Albino Corzo)	Se localiza un escalón de entre 15 a 18 cm.	Bondojito
Av. Insurgentes en el sentido de norte a sur, a la altura de la Av. Poniente 112.	Existe un escalón con un desnivel de 25cm.	Capultitlán/ Tlacamaca*
Av. De los 100 metros en sentido de sur a norte, en el tramo comprendido del Metro La Raza al cruce con la Av. Insurgentes.	Existe hundimiento diferencial de entre 20 a 25cm.	Guadalupe Victoria
Av. Insurgentes, frente al metro La Raza.	Se observa una grieta sobre el asfalto de forma longitudinal, con un área afectada del orden de 40m <sup>2</sup> .	Guadalupe Victoria/ Héroes de Nacozari*

Tabla 1

\* La problemática se encuentra en los límites de las dos colonias mencionadas.

Localización de grietas y algunas características de su geometría		
Ubicación	Descripción	Colonias
Av. Insurgentes, a la altura del metro La Raza.	Se presenta un escalón con desniveles de entre 15 a 20cm provocando una grieta la cual afecta un área de $50m^2$ .	Guadalupe Victoria/ Héroes de Nacozari*
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte, después del metro Potrero.	Se localizan escalones, generando grietas de entre 20 a 25cm de desnivel, con un área afectada de $80m^2$	Industrial
Av. De los 100 metro, a la altura del metro Politécnico, en el carril de alta velocidad.	Se percibe un escalón el cual tiene un desnivel de 25cm y una grieta con	Instituto Politécnico Nacional
Av. Insurgentes / Sentido Norte-Sur (Pasando el metro Deportivo 18 de marzo)	Existen varios desniveles del orden de 10cm.	Lindavista
Eje central Lazaro Cardenas y Av. 100 Metros.	Existen desniveles de aproximadamente 1m, afectando un área de aproximadamente $20m^2$ .	Magdalena de las Salinas/Nueva Vallejo*
Av. Congreso de la Unión, esquina con Oriente 85.	Se presenta un escalón de entre 5 y 7cm, generando una grieta con longitud de 10m.	Mártires de Río Blanco
Av. Congreso de la Unión, en la esquina de Oriente 85.	Se presenta un escalón con desnivel de 7 a 10cm.	Mártires de Río Blanco
Av. Congreso de la Unión, casi frente al metro Consulado.	Se presenta un escalón de 8 a 14 cm.	Mártires de Río Blanco
Av. De los 100 metros en sentido de sur a norte, de lado oriente, frente al metro La Raza.	Se aprecia un desnivel con un valor máximo de 20cm.	Maximino Ávila Camacho

Tabla 1 (continuación)

<b>Localización de grietas y algunas características de su geometría</b>		
<b>Ubicación</b>	<b>Descripción</b>	<b>Colonias</b>
Av. De los 100 metros, de norte a sur, en el tramo comprendido entre del cruce de la Av. Insurgentes hasta la Av. Fortuna, frente a la Central Camionera y CCH Vallejo.	Se aprecia una grieta de 25 a 30cm de ancho y una longitud aproximada de 2m.	Maximino Ávila Camacho
Av. De los 100 metros en sentido de sur a norte, a la altura del CCH Vallejo.	Existe un escalón con desnivel de 20cm.	Maximino Ávila Camacho
Av. De los 100 metros en sentido norte a sur, sobre carriles de alta velocidad a la altura de Poniente 128.	Existe un desnivel máximo de 15cm y varios agrietamientos.	Nueva Vallejo
Calle Pte. 116, entre Eje 1 Poniente y Eje Central Lazaro Cardenas	Existen agrietamientos que se pueden percibir en la carpeta asfáltica a lo largo de la calle Pte. 116, afectando también algunas construcciones.	Panamericana
Oriente 157, entre Gral. M. Arista F. C. Hidalgo y Av. Eduardo Molina.	Se observan desniveles de 10cm y agrietamientos en carpetas asfálticas, además del hundimiento en algunas calles de hasta 2m.	Salvador Díaz Mirón
Av. De los 100 metros, en sentido de sur a norte, en el tramo comprendido con el cruce con la Av. Wilfrido Massieu.	Existe una grieta y un hundimiento de 30 a 50cm.	San Bartolo Atepehuacán

Tabla 1 (continuación)

Localización de grietas y algunas características de su geometría		
<i>Ubicación</i>	<i>Descripción</i>	<i>Colonias</i>
Av. De los 100 metros en dirección sur a norte, frente a la calle Diana, afectación a carriles de baja velocidad y laterales.	Se localiza un escalón con un desnivel de 15cm.	San Bartolo Atepehuacán
Av. Congreso de la Unión, casi esquina Talismán.	Existe un escalón de 10 a 13cm, aun con las renivelaciones efectuadas con anterioridad.	Santa Coleta
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte, antes del metro Indios Verdes.	Existe hundimiento y agrietamiento en la carpeta asfáltica en los carriles de alta y baja velocidad, además de un escalón del orden de 10cm.	Tepeyac Insurgentes
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte, antes del metro Indios Verdes.	Se observa un agrietamiento en sentido longitudinal.	Tepeyac Insurgentes
Av. Insurgentes, frente al acceso a las instalaciones del metro Indios Verdes en andén C.	Hay afectación en arroyo vehicular y en las estructuras de esta zona debidos a la aparición de hundimiento diferencial del orden de 60cm.	Tepeyac Insurgentes
Av. Congreso de la Unión, frente al No. 6041.	Existe un escalón de 15 a 25 cm, donde se ha optado por utilizarlo temporalmente como un tope.	Tres Estrellas
Av. Congreso de la Unión (Frente al No. 6039)	Se observa hundimiento y una grieta en carpeta asfáltica del orden 12 a 17cm de abertura.	Tres Estrellas

Tabla 1 (continuación)

Localización de grietas y algunas características de su geometría		
Ubicación	Descripción	Colonias
Av. De los 100 metros en dirección norte a sur, a la altura de Av. de las Torres por el metro Instituto Politécnico Nacional (Av. Pte. 152 frente a la U.H. Lindavista Vallejo II)	Se reporto un hundimiento diferencial del orden de 10 a 20cm.	U. H. Lindavista Vallejo
Av. De los 100 metros en dirección de norte a sur, frente al Colegio de Bachilleres No. 2.	Se ha presentando algunos hundimientos a lo ancho del arroyo vehicular, con desniveles del orden de 20cm y una serie de agrietamientos en la carpeta asfáltica.	U. H. Lindavista Vallejo
Av. De los 100 metros en sentido de norte a sur, a la altura de Av. Margarita Maza de Juárez la Calle Mercurio.	Se encuentra una grieta en la carpeta asfáltica provocada por un escalón con desnivel de 5 a 10cm.	U. H. Vallejo S.C.T.
Av. De los 100 metros en sentido de norte a sur, 1,500 m. después del cruce con la Av. Margarita Maza de Juárez.	Existe una grieta y un desnivel de 40cm, con una superficie de aproximada de $90m^2$	U. Vallejo La Patera
Av. De los 100 metros, casi esquina con Av. Othón de Mendizábal.	Se encuentra hundimiento diferencial del orden de 20cm.	U. Vallejo La Patera
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte, frente al metro La Raza.	Se observa un escalón con un desnivel de 7 a 10cm y grieta en la carpeta asfáltica.	Vallejo

Tabla 1 (continuación)

Localización de grietas y algunas características de su geometría		
Ubicación	Descripción	Colonias
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte frente al metro La Raza.	Existe una fisura en sentido de la avenida, aproximadamente de 15m de longitud.	Vallejo
Av. Insurgentes en sentido de sur a norte, frente al metro La Raza.	Pasando el puente peatonal, sobre los carriles de alta velocidad, se observa la existencia de una grieta en el asfalto afectando un área de $20m^2$ .	Vallejo
Av. De los 100 metros (Esq. Paysandú)	Se observa un escalón con un desnivel máximo de 25cm.	Valle del Tepeyac
Av. De los 100 metros, a la altura de la calle Artículo 27 Cosntitucionalista.	Existe un agrietamiento y un escalón con desnivel máximo de hasta 30cm.	Valle del Tepeyac
Av. De los 100 metros en sentido de sur a norte, en el tramo comprendido de la Av. Fortuna, hasta la estación del metro Instituto del Petróleo.	Se muestra una fisura y un escalón de entre 15 y 30cm.	Valle del Tepeyac

Tabla 1 (continuación)

## II Cuantificación de los daños ocasionados en zonas de riesgo ingenieril en la Delegación Gustavo A. Madero.

### II.1 Características urbanas de la zona.

La Delegación Gustavo A. Madero<sup>1</sup> se encuentra localizada en el extremo norte del Distrito Federal; colinda al norte con los municipios de Coacalco, Tultitlán y Ecatepec; al oriente con los municipios de Nezahualcóyotl y Tlalnepantla (todos del Estado de México); al sur, con las Delegaciones Venustiano Carranza y Cuahutémoc; al poniente con la delegación Azcapotzalco y los municipios de Tlalnepantla y Tultitlán (también pertenecientes al Estado de México)

(Fig. 1).

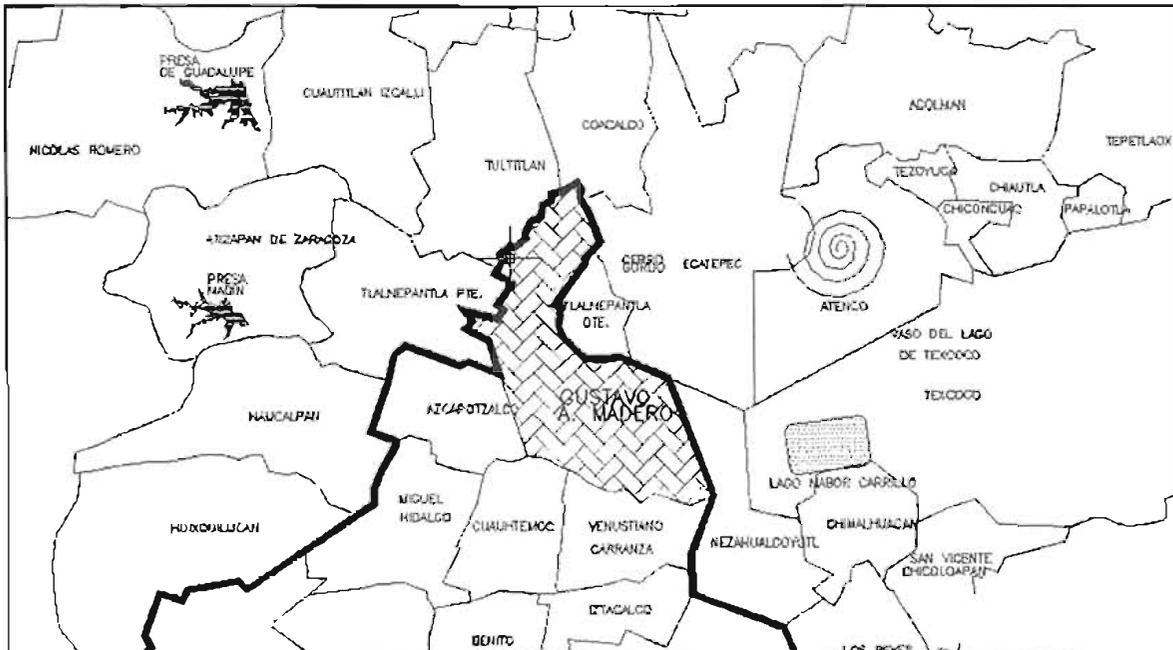


Figura 1

<sup>1</sup> Toma su nombre en homenaje a uno de los iniciadores de la lucha política contra la dictadura de Porfirio Díaz. Gustavo Antonio, hermano de Francisco I. Madero, nació en 1875, en la hacienda El Rosario en Parras de la Fuente, Coahuila. Promovió la campaña de Francisco a la presidencia y la organización del partido de oposición al gobierno de Díaz, fundador del Partido Constitucional Progresista, nombrado embajador de México en Japón en enero de 1913; a su regreso el 17 de febrero del mismo año fue tomado prisionero y el día 18 fue asesinado.

El territorio que hoy ocupa la delegación fue tempranamente poblado, según evidencias, desde el año 1000 a.C.

En el siglo XV los Mexicas construyeron la Calzada del Tepeyac, que además cumplió con la función de ser un dique para retener el agua dulce de los ríos que desembocaban en la parte occidental del lago de Texcoco.

La urbanización de esta zona se llevó a cabo durante la dominación española. La primer edificación importante de esta época fue la de la Ermita del Tepeyac, que se amplió en 1557; en 1622 se edificó un nuevo templo y para 1976 se concluyó la edificación de la actual Basílica de Guadalupe. Ésta última se edificó ya que el antiguo templo existente presentaba problemas irreparables en su estructura.

En 1533 se fundó el pueblo de Guadalupe, a orillas del lago de Texcoco y al pie del cerro del Tepeyac. Guadalupe era la cabecera de los pueblos de Santiago Atzacualco, San Pedro Zacatenco, Santa Isabel Tola y San Juan Ixhuatepec (conocido como San Juanico).

En 1743 se inició la construcción de un acueducto, concluyendo su construcción en 1751. Éste acueducto constaba de 2310 arcos y tenía una extensión de 12 kilómetros, desde el nacimiento del río Tlalnepantla en Monte Alto, hasta la fuente localizada frente al Santuario de Guadalupe, este acueducto contaba con varias tomas intermedias<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> En 1938, el acueducto fue cortado en su cruce con la avenida de los Insurgentes Norte; exactamente en el sitio conocido como los Indios Verdes. Actualmente el acueducto está destruido en su mayor parte.

Una de las calzadas de tránsito importante fue la de los Misterios, que se construyó a finales del siglo XVI para comunicar esta zona con la Ciudad de México. En 1604 se deterioró como resultado de una inundación, por lo que se levantaron dos paredes de piedra que funcionaban como diques.

En 1828 se declaró como ciudad a la Villa de Guadalupe, con el nombre de Guadalupe-Hidalgo, para 1855 había ya dos Calzadas: la antigua empedrada por donde corría la vía del Ferrocarril Mexicano y una nueva construida únicamente con terracería, llamada Calzada de Guadalupe.

En la época de la Revolución Mexicana, se le otorga el título de Villa a la localidad con el nombre de Gustavo A. Madero.

A partir de los años cuarenta empezaron a instalarse grandes fábricas en la Delegación. El desarrollo industrial trajo consigo el crecimiento de las colonias populares, entre ellas la Bondonjito, Defensores de la República, Gertrudis Sánchez, La Joya, Nueva Tenochtitlán, Mártires de Río Blanco, Lindavista, Industrial, Insurgentes Tepeyac, Martín Carrera y San Juan de Aragón.

Actualmente el territorio de la Delegación tiene una extensión de 86.6 kilómetros cuadrados, lo que representa el 5.8% del territorio del Distrito Federal.

Las avenidas principales son: Insurgentes Norte, Río Consulado, Montevideo, Instituto Politécnico Nacional, de las Torres, Río de los Remedios, Vía Tapo, la calzada Ticomán, Calzada de los Misterios y

Calzada de Guadalupe; los Ejes Central, 3 Norte, 4 Norte, 5 Norte, 1 Poniente y 3 Oriente.

La Delegación cuenta con una población de 1'268,068 habitantes, de los cuales el 51.7% son mujeres y el 48.3% hombres. La densidad de población es de 14,643 habitantes por kilómetro cuadrado, en promedio<sup>1</sup> (Fig. 2).

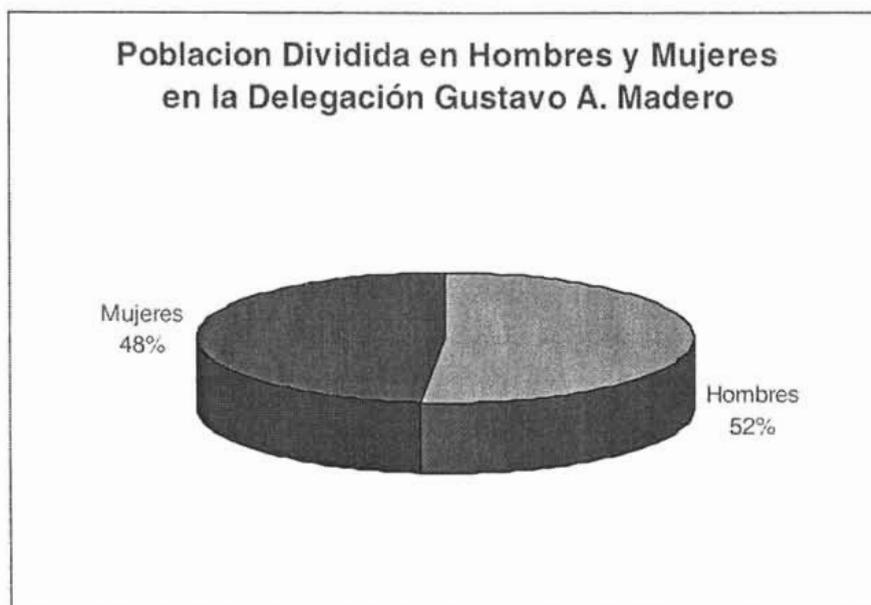


Figura 2

Existen aproximadamente 263,118 viviendas particulares habitadas, con un promedio de 4.8 habitantes en cada una, el 96.2% tiene paredes construidas con tabique, ladrillo block o piedra; un 80.6% tiene techos de losa de concreto, tabique o ladrillo, el 13.2% de los techos es de lámina de asbesto o lámina y el 6.2% de lámina de cartón; el 56.7% tiene pisos de cemento o firme, el 40.4% los tiene cubiertos con madera, mosaico u otro material y, el 2.9% tiene piso de tierra. El 97.8% de las viviendas cuenta con servicio de agua entubada, el

<sup>1</sup> Datos tomados del último censo de población realizado en el año 2000 (INEGI).

97.2% tiene drenaje y el 99.6% cuenta con energía eléctrica<sup>1</sup> (Fig. 3).

Existen 73.1 kilómetros de vialidad primaria, 10'780,633 metros cuadrados de carpeta asfáltica y 19 estaciones de las líneas 3, 4 y 5 del Metro. El 58% está ocupado por viviendas, el 12.5% por instalaciones para servicios, el 5% por industrias, el 12% por otros usos y el 12.5% no está urbanizado.

<i>Características</i>	Número de Viviendas
Viviendas	263,118
Paredes Construidas	156,919.516
Paredes de Cartón	9,998.484
Techos de Concreto	212,073.108
Techos de Lamina o Asbesto	34,731.576
Techos de Cartón	16,313.316
Pisos de Concreto	149,187.906
Pisos de Madera	106,299.672
Pisos de Tierra	7,630.422
Agua Potable	257,329.404
Drenaje	255,750.696
Electricidad	262,065.528

Tabla 1

<sup>1</sup> Datos consultados en publicaciones dentro de la delegación Gustavo A. Madero.

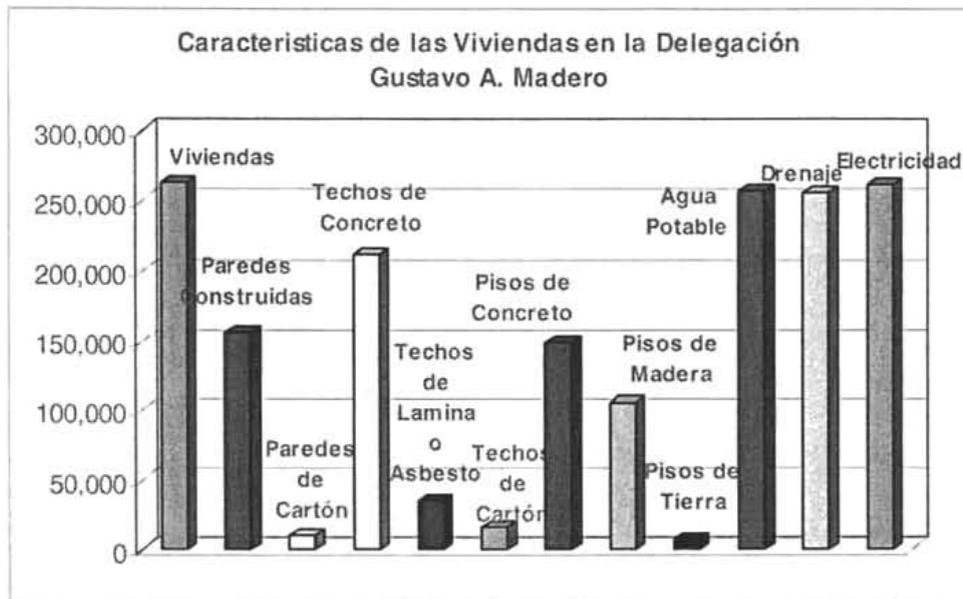


Figura 3

Las zonas habitacionales se concentran al centro y oriente de la delegación; el mayor número de casas tiene uno o dos cuartos; las fábricas se localizan en el centro y poniente y las instalaciones para servicios así como las áreas libres, en el centro-sur.

Las colonias más pobladas son Campestre Aragón, La Pastora, Ampliación Providencia, Cuchilla del Tesoro y Santa Isabel. Un 82% de las colonias tiene alumbrado público. El sistema de drenaje conduce aguas residuales por los ríos entubados Tlalnepantla, San Javier y de los Remedios, los cuales, en época de lluvia, desaguan en el Gran Canal.

## II.2 Cuantificación de daños ingenieriles en la zona.

Las consecuencias que traen consigo los diversos fenómenos que ocurren en el suelo del Valle de México, en este caso en particular en la zona de la Delegación Gustavo A. Madero, afectan físicamente las formaciones naturales existentes, lo cual repercute en las características físicas de las obras de ingeniería, tales como: pavimentos, casas habitación, obras civiles de transporte público, obras hidráulicas, alumbrado público, espacios recreativos, entre otros; dichos fenómenos no permiten que estas obras brinden adecuadamente el servicio para el que fueron diseñadas y construidas.

Las grietas como ya se ha comentado en algunos de los capítulos anteriores, pueden observarse claramente en las carpetas asfálticas (Fig.1).

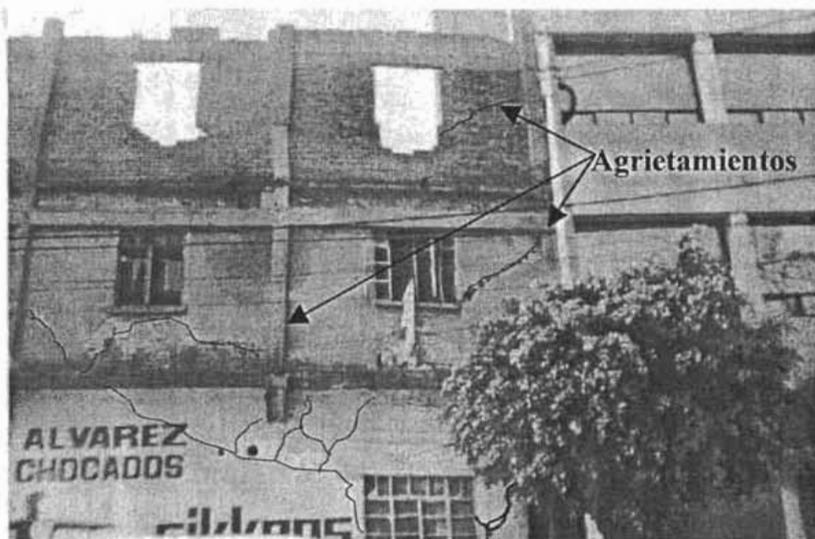


Se observa agrietamiento en a carpeta asfáltica además de gran inclinación de las construcciones, lo cual da la impresión de que existe hundimiento de "cuadras" completas con respecto al nivel de las cales.

Figura 1

Dichas grietas han sido provocadas por escalones que en la zona en estudio tienen desniveles de hasta 60 centímetros, lo cual rompe con la estructura de la obra que esté localizada sobre el terreno afectado,

tratándose de grietas que aparecen en terrenos en donde ha sido desplantada alguna construcción, tal es el caso de casas habitacionales, sus consecuencias se observan principalmente en muros, mismos que generalmente presentan agrietamientos que siguen la dirección de la falla existente en el suelo y que posteriormente dan origen a la presencia de otras grietas en trabes, columnas, castillos, mampostería, cimentaciones y losas, pudiendo llegar a dañar así la estructura irreparablemente (Fig.2).

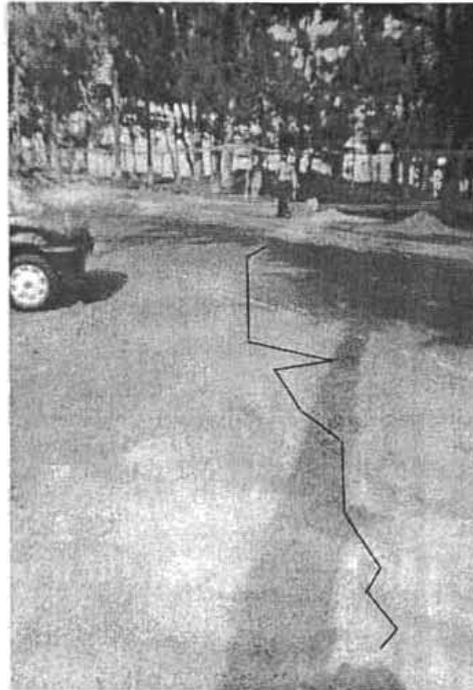


Esta construcción se ha visto afectada por desniveles que se observan en las calles que rodean a la misma, además, de que frente al predio se observa un agrietamiento y un desnivel de aproximadamente 5 centímetros con un incremento del mismo en las cercanías de la construcción

Figura 2

En vialidades u obras públicas, se usan materiales de dudosa calidad o se utilizan malos procedimientos constructivos por la rapidez con la que se desea terminar la obra, aunque por esto en muchos casos se lleven a cabo reparaciones constantes; en el caso de las viviendas, es en donde son más notorios los daños. Por cuestiones económicas o por costumbre generalmente no se cuenta, en este tipo de construcciones, antes mencionado, con un diseño realizado por algún profesional calificado, ya sea un ingeniero o algún arquitecto, lo cual tiene como consecuencia que no se tomen en cuenta las sollicitaciones reales que dicha construcción tendrá que soportar a lo largo de su vida útil, además de las características y efectos en el suelo sobre el cual se desplantan las construcciones.

En la Delegación también se ven afectados espacios públicos como jardines (Fig.3), obras de transporte o instalaciones gubernamentales, en estas construcciones se tiene mayor cuidado, debido a que existe un mayor control del diseño y de la construcción, así como de su uso y sobre todo de las medidas preventivas y correctivas que sean necesarias.



Sobre la calle 100 metros y su cruce con el Eje central Lázaro Cárdenas existen desniveles y agrietamientos que han dañado principalmente la carpeta asfáltica así como un jardín público que frecuentemente tiene mantenimiento. Los desniveles se observaron en la superficie del jardín

Figura 3

Las colonias afectadas y el número de grietas que se presentan en ellas son las siguientes:

En los límites de las colonias Ampliación Panamericana y Maximino Ávila Camacho, existe una grieta que daña los carriles de alta velocidad de el eje central Lázaro Cárdenas en sentido noreste-suroeste, a la altura de la central camionera del norte (Fig.4).

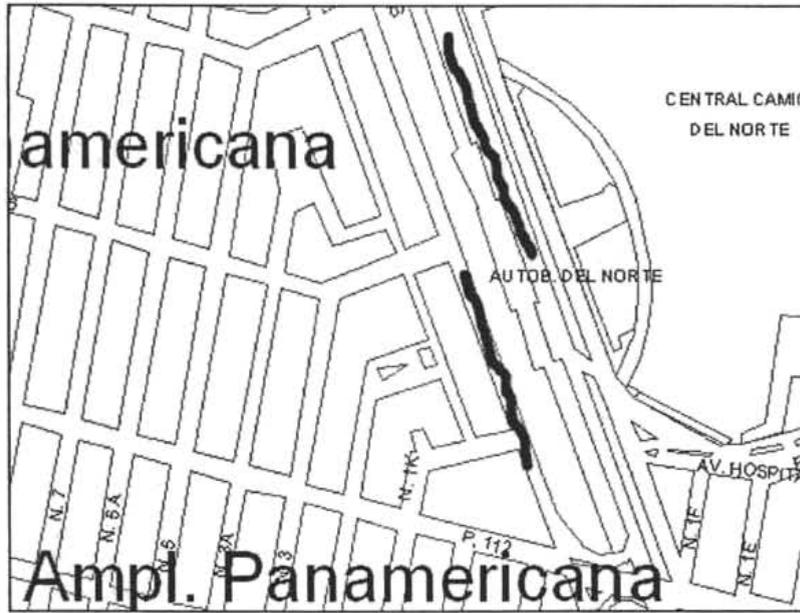


Figura 4

Colonia Aragón la Villa en donde se presentan agrietamientos sobre la avenida Congreso de la Unión, en la que se ve dañada la carpeta asfáltica y algunos elementos de la construcción de la línea B del metro (Fig.5) .



Figura 5

Colonia Aragón Inguarán, se presenta una grieta sobre la avenida Congreso de la Unión a la altura de la calle Tesoro, dañando la carpeta asfáltica (Fig.6).



Figura 6

En la Colonia Belisario Domínguez se observa la presencia de un escalón, que afecta el pavimento en la avenida Congreso de la Unión y la esquina de la calle Tesoro los desperfectos frecuentemente se reparan (Fig.7).

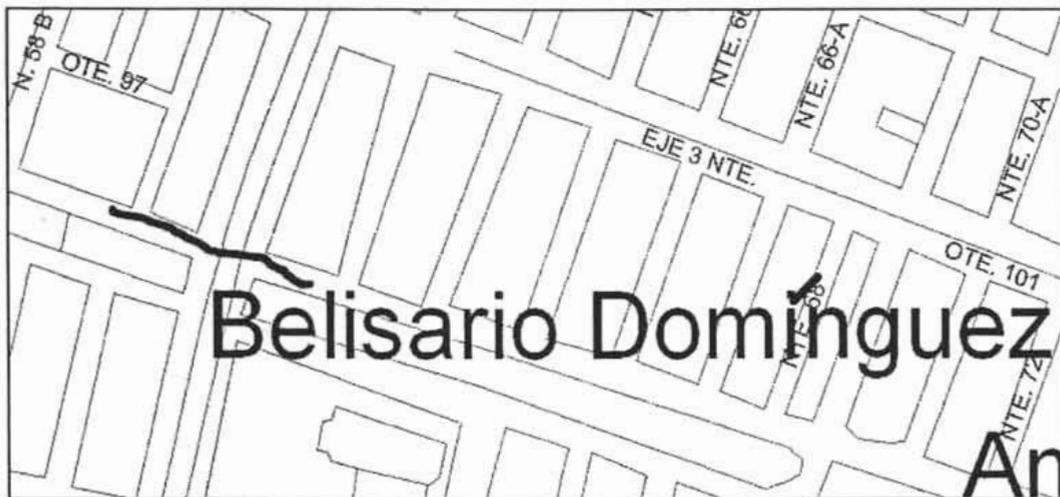


Figura 7

En la colonia Bondojoito, las avenidas afectadas por la presencia de un escalón son Avenida Congreso de la Unión esquina con Ángel Albino Corzo (Fig.8).

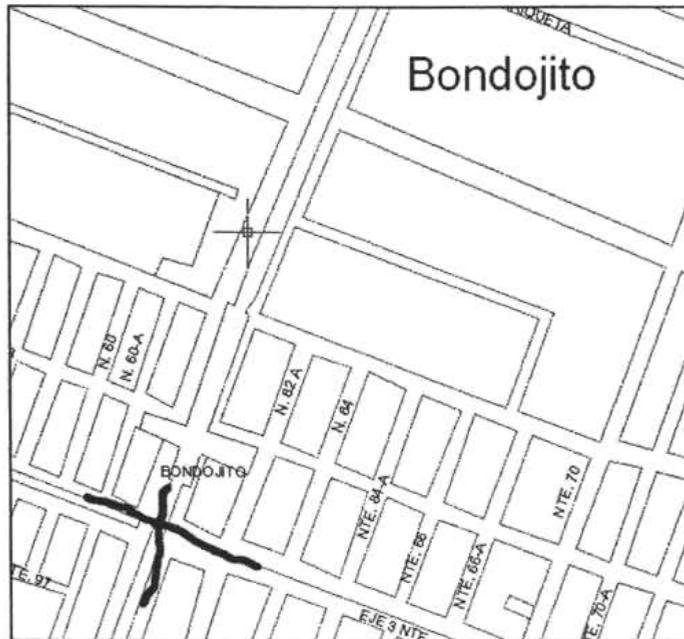


Figura 8

Colonia Guadalupe Victoria, en la cual se presenta un hundimiento diferencial que daña el eje central Lázaro Cárdenas en el sentido sur-norte en el cruce de la Avenida Insurgentes cerca de la estación del metro La Raza (Fig.9).

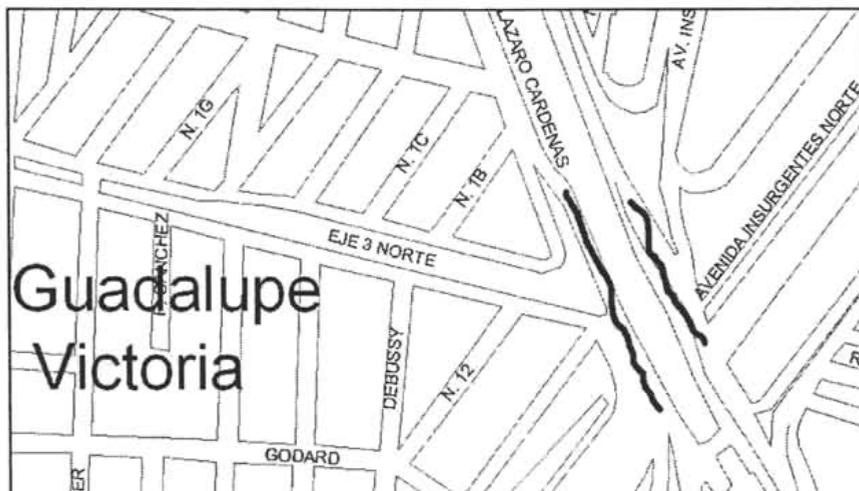


Figura 9

En los límites de las colonias Héroes de Nacozari, Guadalupe Victoria y Vallejo Poniente se observan dos agrietamiento importantes que afectan áreas de aproximadamente  $40m^2$  y  $50m^2$ , esto ocurre sobre la Avenida Insurgentes muy cerca de la estación del metro La Raza (Fig.10).



Figura 10

Colonia Industrial, con dos grietas en la avenida insurgentes en el sentido sur a norte después del metro Potrero. Únicamente se aprecia que dañan la carpeta asfáltica (Fig.11).

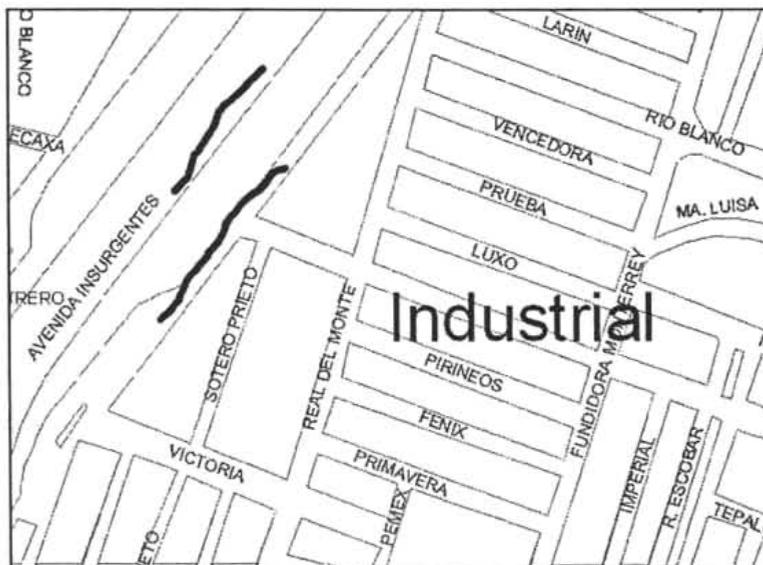


Figura 11

Colonia Lindavista sobre la avenida Insurgentes se tiene conocimiento de varios desniveles que han sido reparados y algunos han vuelto a presentarse, esto en sentido norte-sur a unos metros de la estación del metro Deportivo 18 de marzo (Fig.12).

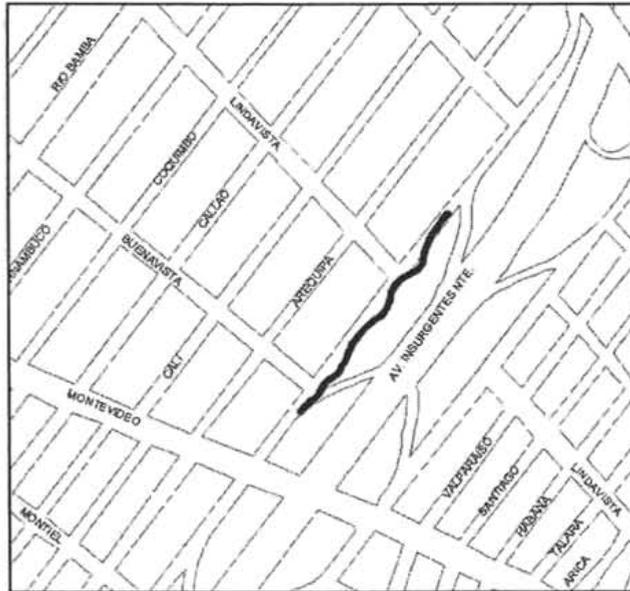


Figura 12

En la colonia Magdalena de las Salinas, sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas existe una zona de vados, además de la aparición de grietas y pliegues en las banquetas y carpetas asfálticas de calles aledañas (Fig.13).



Figura 13

Colonia Mártires de Río Blanco, en donde se aprecia dos agrietamientos en avenida Congreso de la Unión a la altura de la calle Oriente 85, dañando el pavimento y parte de la banqueta (Fig.14).



Figura 14

En la colonia Maximino Ávila Camacho, se observa la presencia de una grieta que provoca tres escalones dos de ellos en sentido longitudinal sobre la carpeta asfáltica del Eje Central Lázaro Cárdenas, a la altura de Avenida Insurgentes y Avenida Fortuna, en las inmediaciones de la central camionera y el CCH Vallejo y el desnivel restante también sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas, unos metros adelante de los ya mencionados en la misma dirección del tránsito vehicular (Fig.15).



Figura 15

Nueva Vallejo, se observan diversos agrietamientos con desniveles variados de hasta 15cm dañando la carpeta asfáltica de la Avenida de los 100 Metros y del muro de contención perteneciente a las instalaciones del Metro (Fig.16).



Figura 16

En la colonia Panamericana, existen diversos desniveles localizados sobre la calle Poniente 116, provocando asentamientos diferenciales, la localización de los desniveles es principalmente sobre dicha calle y los cruces de ésta con Norte 5a, Norte 7a, Norte 9a, Norte 11a, Norte 13a, Norte 15, Norte 15a, Norte 17 y Norte 17<sup>a</sup>, un aspecto importante es que se observa el hundimiento de cuadras completas ya que el nivel de las calles es mayor con respecto a éstas (Fig.17).

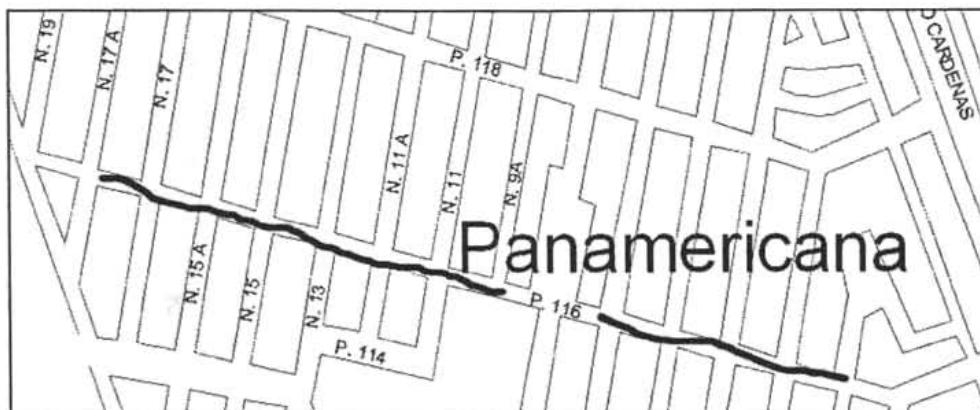


Figura 17

Colonia Salvador Díaz Mirón; en esta colonia sobre la calle Oriente 157 y las intersecciones con Norte 70, Norte 72, Norte 74, Norte 72a y Norte 72b, se observa el hundimiento en las construcciones localizadas sobre estas calles de forma similar a la colonia Panamericana, en este caso se presume la presencia de grietas bajo las construcciones, además en las carpetas asfálticas se observan daños, aunque no de gran consideración comparados con algunos problemas encontrados en las estructuras de las casas<sup>1</sup>

(Fig.18) .



Figura 18

Colonia San Bartolo Atepehuan, en el cruce de Avenida Wilfrido Massieu y Avenida de los 100 Metros existe una grieta y un escalón que daña ambas carpetas asfálticas de los carriles laterales (de baja velocidad) (Fig.19) .

<sup>1</sup> Estos casos se trataran en el capítulo III.2 correspondiente al caso especial de la colonia Salvador Díaz Mirón

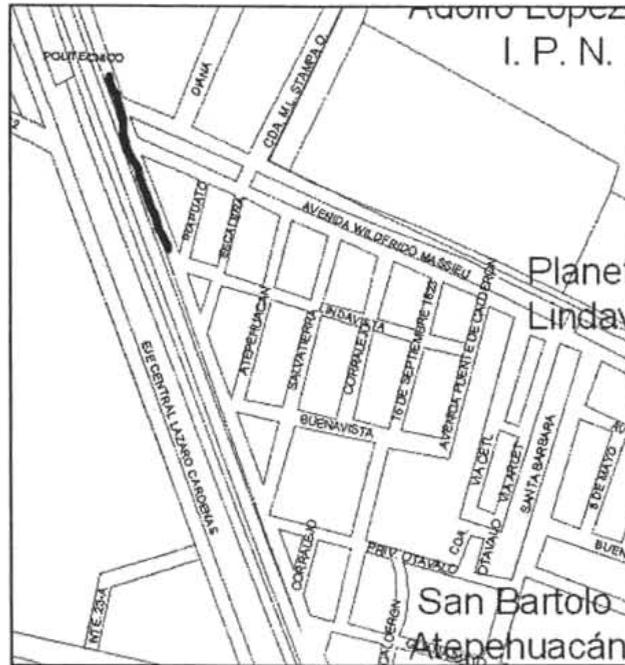


Figura 19

Colonia Santa Coleta en la cual existe una grieta que ha originado un escalón mismo que ha sido reparado varias veces desde su aparición, esto ocurre en avenida Congreso de la Unión, frente al metro Talismán (Fig.20) .



Figura 20

Colonia Tepeyac Insurgentes con tres grietas en avenida Insurgentes en el sentido de sur a norte antes de llegar al metro Indios Verdes y una de ellas en el

acceso a las instalaciones del metro, también dañan el pavimento (Fig.21).



Figura 21

Entre las colonias Tlacamaca y Capultitlán se encuentra un escalón que daña la carpeta asfáltica de la Avenida Insurgentes en sentido norte-sur, a la altura de la Avenida Oriente 112 (Fig.22).



Figura 22

ESTA TESIS NO SALI  
DE LA BIBLIOTECA

En la colonia Tres Estrellas se observa la presencia de tres grietas y escalones sobre la avenida Congreso de la Unión dañando el pavimento de la misma, la primera zona de afectación, ubicada frente al número 6041, la segunda frente al número 6039 y la última en el cruce de ésta avenida con la calle Talismán (Fig.23).



Figura 23

UH Linda Vista Vallejo, frente al metro Instituto Politécnico una grieta daña la carpeta asfáltica del eje central Lázaro Cárdenas, en sentido norte-sur, así como la banqueta que da acceso a la estación del metro, además dentro de la unidad se han reportado daños ocasionados por la grieta mencionada anteriormente que daña parte de las construcciones de la unidad habitacional (Fig.24).

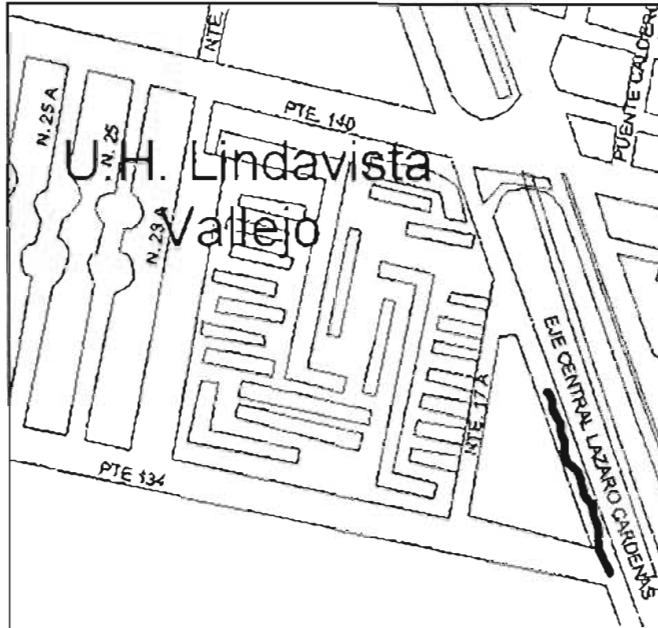


Figura 24

Frente a la U.H. Vallejo SCT, sobre el Eje Central Lázaro Cárdenas existe un escalón y que daña la carpeta asfáltica (Fig.25).

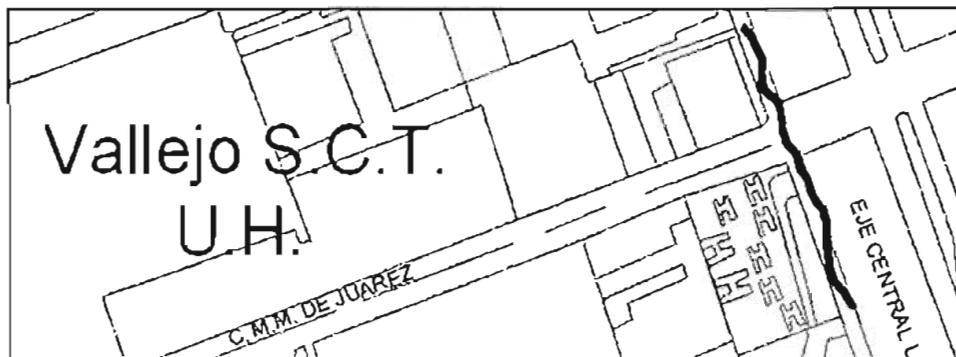


Figura 25

Unidad H. Vallejo la Patera, algunas banquetas de esta unidad, así como parte del pavimento del Eje Central Lázaro Cárdenas se ve dañada por una grieta que provoca un desnivel (Fig.26).



Figura 26

Colonia Vallejo, existen agrietamientos importantes en la Avenida Insurgentes en el sentido sur a norte frente al Metro La Raza, éstas afectan la carpeta asfáltica (Fig.27).



Figura 27

En la colonia Valle del Tepeyac existe una grieta provocando un escalón en el Eje Central Lázaro Cárdenas y la calle Paysandú, además de un desniveles más también sobre la Avenida de los 100 Metros y la calle Artículo 27 Constitucionalista (Fig.28).



Figura 28

Las colonias afectadas constituyen el 16.8% del total de las colonias pertenecientes a la Delegación Gustavo A. Madero (Fig. 29).



Figura 29

### III. Caso particular de la Colonia Salvador Díaz Mirón en cuanto a sus riesgos ingenieriles.

#### III.1 Características urbanas de la Colonia Salvador Díaz Mirón.

La colonia Salvador Díaz Mirón<sup>1</sup> se encuentra localizada en el Oriente de la Delegación Gustavo A. Madero. Ésta colinda con las colonias: Atzacualco, al Norte; La Dinamita, al Este; Constitución de la República al Sur y Unidad Habitacional el Coyol al Oeste (Fig.1).



Figura 1

<sup>1</sup> Salvador Díaz Mirón nacido en Veracruz (Veracruz), estudió la carrera de letras y ejerció como catedrático de Literatura. En 1876 se exilió en Estados Unidos por el polémico contenido de sus artículos. Fue diputado al Congreso de la Unión en 1884 y secretario del cabildo de Veracruz. Figura de carácter violento, estuvo cuatro años en la cárcel por matar a un individuo en un duelo. Su desacuerdo con el régimen de Venustiano Carranza le llevó a exiliarse en España y Cuba. Publicó dos libros de poemas: *Poesías* (1896) y *Lascas* (1901). El primero, del cual renegaría más tarde, es un libro cercano al romanticismo; el segundo, una aventura de formas que marcará el camino para el fundador del modernismo Rubén Darío. De tono abrupto y sombrío, *Lascas* fue un libro minoritario que cambió totalmente su poética y logró algunos de los versos más difíciles y bellos de la lengua española. La perfección formal, que a veces lo hiela, logra en otras ocasiones una delicadeza y una suavidad extremas en las que el artificio y la dificultad no se notan o, como en *El muerto*, una descripción que abre los ojos al horror sin dejar por eso de fluir, como un espasmo que se narra. Murió en su ciudad natal.

Dicha colonia, además se encuentra limitada por el Eje 3 Ote. (Eduardo Molina) y por la avenida Ferrocarril Hidalgo al Poniente.

Una de las calles principales que cruzan la colonia Salvador Díaz Mirón es Poniente 157, bajo la cual se encuentra parte del drenaje profundo de la Ciudad de México, y en la que se ubica la lumbrera 8c, que forma parte de dicha obra.

La zona en la que se encuentra localizada la colonia está constituida de suelos finos principalmente arcillas, en esta zona el espesor de los estratos ya mencionados es del orden de los 40 metros (Fig. 2).

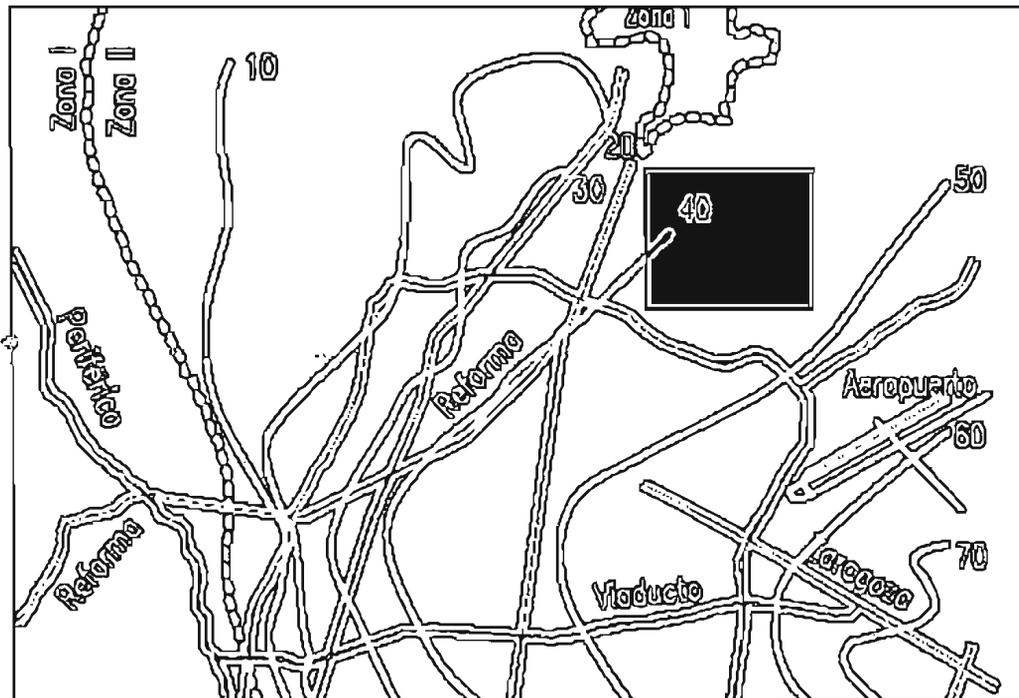


Figura 2

En la colonia Salvador Díaz Mirón las construcciones que principalmente existen son casas

habitacionales, las cuales no sobrepasan los cuatro niveles de construcción. Se observa además, que la clase media es la clase social que rige en la zona.

La población de la colonia es de 9,055 personas de las cuales 4,256 son hombres y 4,799 son mujeres del total de la población el 70% trabaja; el 85% son mayores de edad<sup>1</sup> (Fig. 3).



Figura 3

En la colonia Salvador Díaz Mirón se implementó el Taller "Habitar Construyendo" en el la Unidad de Vivienda de la División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM prestó ayuda para desarrollar la remodelación, ampliación, diseño y orientación en la construcciones de casas habitacionales.

<sup>1</sup> Información tomada del censo de población del año 2000 (INEGI).

### III.2 Cuantificación de daños ingenieriles en la Colonia Salvador Díaz Mirón.

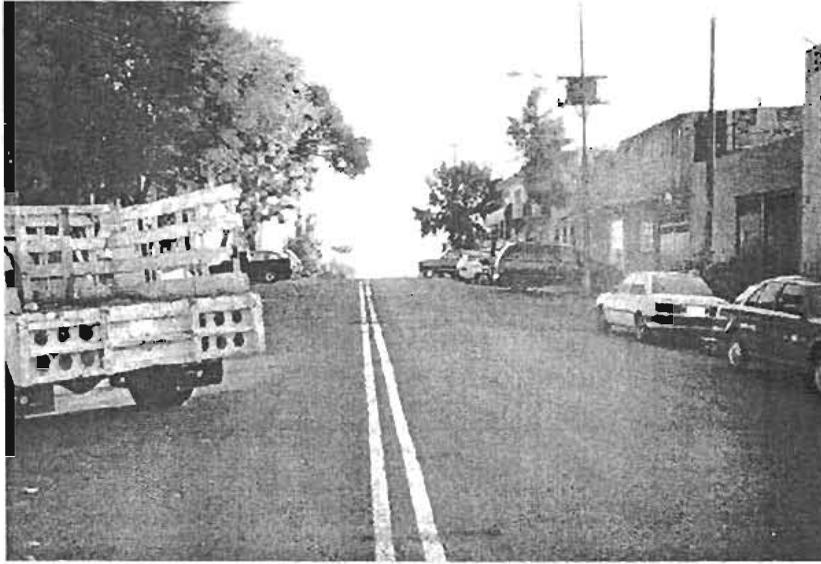
Dentro de la colonia Salvador Díaz Mirón, se observan daños que afectan obras diversas de ingeniería, tal es el caso de calles, avenidas, casas y obras de drenaje.

Una de las zonas más afectadas es la que corresponde a la avenida Oriente 157 y también la correspondiente a las calles: Norte 68, Norte 70, Norte 72, Norte 72A, Norte 72B y Norte 74 (Fig.1).



Figura 1

En estas zonas afectadas, que comprenden gran parte de la colonia, se observa un pronunciado desnivel en la intersección de las calles antes mencionadas y la calle Oriente 157. Este desnivel da la impresión de que la sección del drenaje profundo de la Ciudad de México, que cruza la Delegación Gustavo A. Madero, localizado en el sentido de la calle Oriente 157, está emergiendo. Este desnivel en algunos lugares llega a ser hasta de dos metros.



Puede observarse el desnivel de aproximadamente 2 metros de diferencia entre la parte más baja de la calle y la más alta, esta última corresponde a la calle Oriente 157

Imagen 1

En estas zonas de afectación se presentan agrietamientos que siguen el sentido del eje longitudinal del drenaje profundo, presentándose desniveles del orden de 20 centímetros en dichos agrietamientos.



En esta imagen se observa la separación entre construcciones ocasionada por el desnivel en la calle, misma que es perpendicular a Oriente 157

Imagen 2

Algunas casas localizadas en Oriente 157, presentan agrietamientos en sus elementos estructurales, lo cual es generado por desniveles localizados en patios o en

el interior de las habitaciones, dañando de esta forma la estructura. Además de las ya mencionadas existen otras construcciones afectadas en paredes exteriores, con grietas a 45° en sentido perpendicular al eje longitudinal de la calles oriente 157.



En esta imagen pueden observarse los daños que presentan las casas localizadas en Oriente 157

Imagen 3

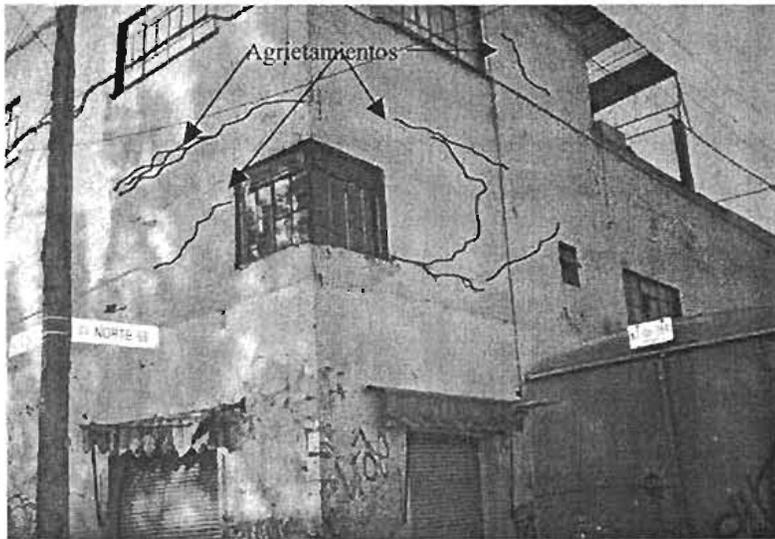
Se observan también desniveles y algunos agrietamientos en las carpetas asfálticas, en las calles aledañas a la zona siendo estos paralelos al desnivel principal antes mencionado.



En la imagen pueden observarse los agrietamientos en la carpeta asfáltica, las reparaciones que han realizado en el drenaje y el desnivel de la parte baja de la calle con respecto a la parte alta, que puede verse al fondo y que pertenece a la intersección de esta con Oriente 157

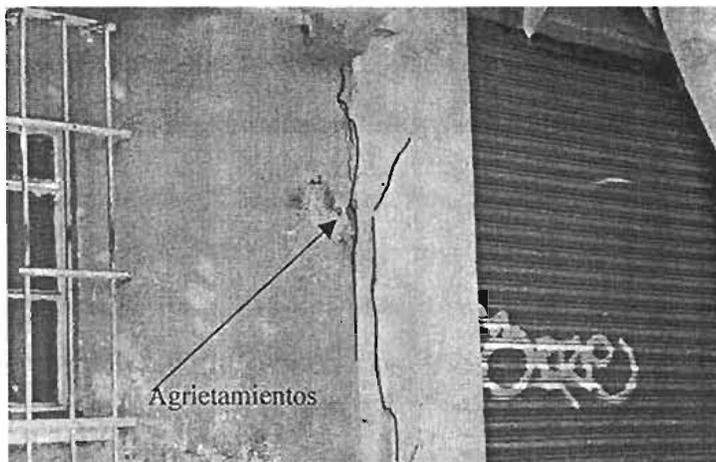
Imagen 4

La mayoría de las casas en la colonia fueron construidas sin el diseño y vigilancia profesional y en consecuencia presentan daños en su estructura, tal es el caso de: trabes, castillos y columnas que se reforzaron indebidamente o que se colaron desde un principio con deficiencias. En algunos casos se observó que las columnas o castillos fueron utilizados para alojar desagües o instalaciones eléctricas, además de que se observa el exceso de acero en estribos y la mala colocación y distribución de varillas.



Esta imagen es un ejemplo del mal mantenimiento que se les da a las construcciones, además de los efectos que tienen los desniveles ocurridos en las cercanías de la calle Oriente 157

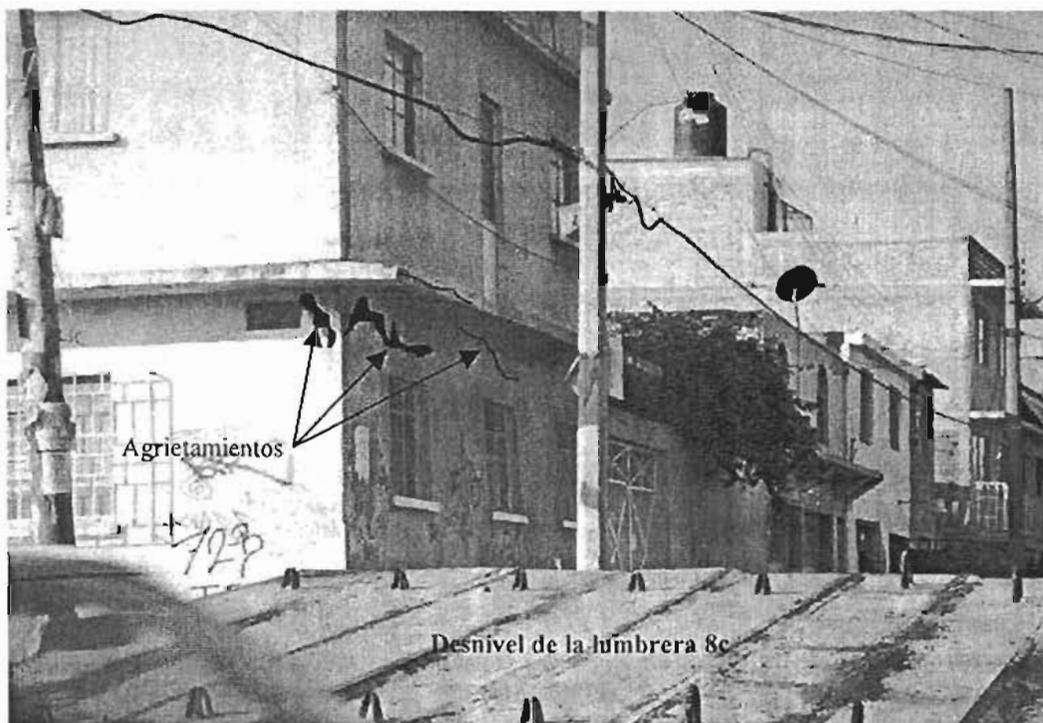
Imagen 5



Se observa además de las grietas en los muros y la separación de las construcciones ocasionado por el desnivel de la calle, la humedad debida a un mal mantenimiento de la construcción

Imagen 6

Otro problema importante es el poco, nulo o mal mantenimiento que se le da a las construcciones tanto en reparaciones como en prevención de daños, tal es el caso de la impermeabilización, lo cual contribuye a un deterioro rápido de los muros, losas castillos, columnas o traveses, lo que aunado a las grietas producto de los movimientos ocasionados por los desniveles dañan de forma irreparable algunas construcciones.



Se muestra en la imagen una de las casas afectadas en la cercanía de la lumbra 8c, ubicada en Oriente 157

Imagen 7

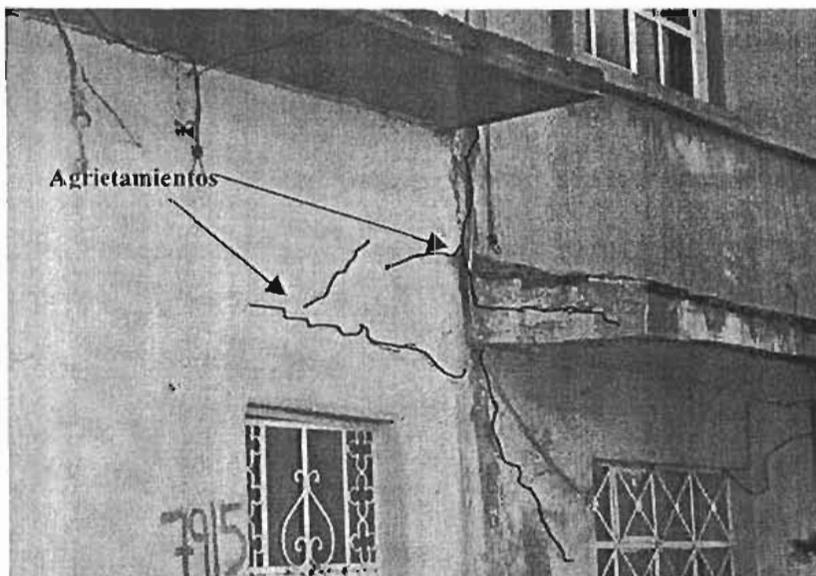
Se ha observado que al presentarse estos problemas en estructuras de las casas, se ha tenido la necesidad por parte de la Delegación a realizar expropiación de algunas construcciones particulares por representar estas un peligro para los habitantes de la misma y para las construcciones vecinas.



Esta es una casa que ha sido expropiado por el Gobierno del DF, debido a los daños que presenta en su interior, como: desniveles, daños irreparables en estructura y humedad

Imagen 8

Uno de los problemas recurrentes es que muchas de las cimentaciones dañadas de las casas han permanecido sin atención al momento de realizar alguna reparación; una de las medidas que en ocasiones se toman consiste únicamente en renivelar el firme en el interior de las habitaciones de las casas, dando lugar reparaciones temporales, que no terminará con el problema en la estructura.



Daños ocasionados en las estructuras por los desniveles que se presentan en las calles

Imagen 9

Algunas de las casa que han sido afectadas por desniveles y grietas han tenido que ser derrumbadas, dando la oportunidad de que algunos predios sean vendidos. En dichas circunstancias se han realizado construcciones nuevas.

En otros casos de "menor" afectación de estructuras dañadas por los desniveles y las grietas, únicamente se han eliminado las partes visiblemente afectadas de las construcciones, manteniendo los restos que aparentemente "no han sido dañados" por la situación que se presentó en dicha construcción, tal es el caso de cimentaciones y las partes bajas de muros, castillos y columnas.

En los últimos casos mencionados, al ser mantenidas las partes "no afectadas" de la construcción original, se han realizado reconstrucciones y ampliaciones sobre dichos restos de construcción.

Los casos comentados anteriormente no formaron parte del taller "Habitar Construyendo". En dichos casos se observa que han sido realizadas construcciones de más de dos niveles, y fueron llevadas a cabo únicamente por albañiles sin supervisión profesional, lo cual evitó que se realizara un estudio de factibilidad de la ingeniería para evitar que se presenten los problemas en las estructuras como los que ya se habían presentado.

La calles principales de la colonia en estudio, es decir, la calle Oriente 157 y Norte 70, han recibido constantemente reparaciones sobre la carpeta asfáltica, por lo que no es visible el daño ocasionado por el mayor desnivel ocurrido en la colonia, el cual como ya ha sido comentado, mismo que es del orden de 2 metros; mientras tanto en las calles aledañas a las

antes mencionadas, es visible el agrietamiento en la carpeta asfáltica.

Un daño visible ocasionado sobre la calle Oriente 157 es la inclinación de norte a sur de aproximadamente 30 centímetros con respecto al eje transversal de la misma, es el que se presenta en el camellón, afectando considerablemente la lumbrera 8c localizada entre las calles Norte 72B y Norte 74.



Desnivel que presenta la lumbrera 8c, en dirección Norte - Sur

Imagen 11

#### **IV. Tipificación, delimitación y mapeo de los riesgos ingenieriles en la Delegación Gustavo A. Madero.**

##### **IV.1 Factores de la Tipificación.**

Los factores utilizados para la tipificación de riesgos existentes, relacionados con la geotecnia en la Delegación Gustavo A. Madero, son los siguientes:

- Hundimiento Regional
- Desniveles
- Agrietamientos (abertura, desnivel de bordos y longitud)
- Construcciones Dañadas

**Hundimiento Regional:** aun cuando es obvio que en la zona lacustre de la Delegación Gustavo A. Madero y en general en el Valle de México existe hundimiento regional y, tomando en cuenta que dentro de la misma Delegación se han tenido registros históricos de velocidades de hundimiento del orden de 30cm/año, se han seleccionado las colonias que presentan considerable hundimiento, de las cuales se ha hecho mención en capítulos anteriores del presente trabajo.

**Desniveles:** en este caso, se seleccionaron las colonias que se han visto afectadas por dichos desniveles, mismos que han ocasionado considerables daños a diversas obras de ingeniería en varios aspectos, los cuales ya se han comentado en capítulos anteriores.

**Agrietamientos:** se consideraron las colonias que presentan daños en el suelo, mismos que han sido ocasionados por la aparición de agrietamientos visibles, principalmente en carpetas asfálticas, según sus aberturas, desniveles de bordos y longitudes.

**Construcciones Dañadas:** Se consideraron únicamente las colonias en donde se observaron construcciones de casas y de obras públicas dañadas, al momento de realizar visitas a la Delegación Gustavo A. Madero durante el periodo de duración de la ayuda de los prestadores de servicio social dentro del taller "Habitar Construyendo".

## IV.2 Tipificación, delimitación y mapeo.

En la siguiente tabla se enlistan las colonias que presentan hundimiento regional, mismas que se ubican en la zona de suelos finos perteneciente a la Delegación Gustavo A. Madero.

Colonias con hundimiento regional
15 de Agosto
25 de Julio
7 de Noviembre
Acueducto Guadalupe
Ampliación Casas Alemán
Ampliación Emiliano Zapata
Ampliación Mártires de Río Blanco
Ampliación Panamericana
Ampliación Providencia
Ampliación San Juan Aragón
Aragón Inguaran
Arcos Esmeralda
Atzacolco
Belisario Domínguez
Bondojoito
C. H. Arrollo Guadalupe
C. H. La Pradera 1a Sección
C. H. La Pradera 2a Sección
Campestre Aragón
Capullitlan
Cerro Prieto
Conjunto Aragón Indeco
Constitución de la República
Costas del Mediterráneo
Cuahutepec el Alto
Cuchilla del Tesoro
Churubusco Tepeyac
Defensores de la Republica
Del Obrero
Ejido de San Juan de Aragón
El Olivo
Emiliano Zapata
Estrella
Ex Escuela de Tiro
Faja de Oro
Fernando Casas Alemán

Tabla I

Colonias con hundimiento regional
Ferrocarrilera Insurgentes
Gertrudis Sánchez 1a Sección
Gertrudis Sánchez 2a Sección
Granjas Modernas
Guadalupe Insurgentes
Guadalupe Proletaria
Guadalupe Tepeyac
Héroes de Chapultepec
Héroes de Nacosari
Industrial
Juan Gonzales Romero
La Joya
La Joyita
La Providencia
Magdalena de las Salinas
Malinche
Mártires de Río Blanco
Máximino Ávila Camacho
Nueva Atzacolco
Nueva Tenochtitlan
Residencial Plaza Oriente
Salvador Dias Mirón
San Juan de Aragón
San Pedro Chico
Santa Coleta
Tablas de San Agustín
Tepeyac Insurgentes
Tlacamac
Tres Estrellas
U. Fovisste Río de Guadalupe
U. Infonavit Éxito, Triunfo y Esperanza
U. José Maria Morelos I
U. H. Antonia Alazate
U. H. C.T.M. San Juan de Aragón
U. H. Captralir Aragón I
U. H. Eduardo Molina I
U. H. Eduardo Molina II
U. H. Ejidos de San Juan Aragón Sección I
U. H. El Coyol
U. H. El Milagro
U. H. José Maria Morelos y Pavón
U. H. La Esmeralda
U. H. La Legislatura
U. H. Narciso Bassol
U. H. Revolución I.M.S.S.

Tabla 1 (continuación)

Colonias con hundimiento regional
U. H. San Juan de Aragón
U.H. San Juan de Aragón 1a y 2a Sección
U.H. San Juan de Aragón 3a Sección
U.H. San Juan de Aragón 4a y 5a Sección
U.H. San Juan de Aragón 7a Sección
U.H. Ticoman
U.H. Vallejo S.C.T.
U.H. P.I.P.S.A.
Unidad José Lorelo Fabela Infonavit
Unidad la Cuchilla
Valle de Madero
Valle del Tepeyac
Vallejo
Vallejo Poniente
Vasco de Quiroga
Villa de Aragón
Villa la Esmeralda
Zona Residencial Acueducto de Guadalupe
U. H. San Juan de Aragón 6ª Sección

Tabla 1 (continuación)

En la siguiente tabla se enlistan las colonias que presentan desniveles considerables que han afectado a alguna obra o construcción, dichas colonias se encuentran también ubicadas en la zona de suelos finos perteneciente a la Delegación Gustavo A. Madero.

Colonias con desniveles
Ampliación Panamericana/Maximino Ávila Camacho
Aragón
Aragón Inguaran
Belisario Domínguez
Bondojito
Capulitlán/Tlacamaca
Guadalupe Victoria/Héroes de Nacoziari
Industria
Instituto Politécnico Nacional
Lindavista
Magdalena de las Salinas/Nueva Vallejo
Mártires de Río Blanco
Maximino Ávila Camacho
Nueva Vallejo
Salvador Díaz Mirón

Tabla 2

<b>Colonias con desniveles</b>
San Bartolo Atepehuacán
Santa Coleta
Tepeyac Insurgentes
Tres Estrellas
U. H. Lindavista Vallejo
U. H. Vallejo S.C.T.
U. Vallejo la Patera
Vallejo
Vallejo Tepeyac

*Tabla 2 (continuación)*

Se enlistan a continuación las colonias que presentan agrietamientos, dichas colonias están ubicadas en la zona de suelos finos perteneciente a la Delegación Gustavo A. Madero.

<b>Colonias con agrietamientos</b>
Aragón
Guadalupe Victoria/Heroes de Nacozari
Industria
Instituto Politecnico Nacional
Mártires de Río Blanco
Maximino Ávila Camacho
Nueva Vallejo
Panamericana
Salvador Días Mirón
San Bartolo Atepehuacán
Tepeyac Insurgentes
Tres Estrellas
U. H. Lindavista Vallejo
U. Vallejo la Patera
Vallejo
Vallejo Tepeyac

*Tabla 3*

Se enlistan las colonias que presentan en donde se observaron durante el estudio construcciones dañadas debido a los diversos problemas que se han descrito a lo largo del presente trabajo con lugar en la Delegación Gustavo A. Madero.

Colonias con construcciones dañadas
Ampliación Panamericana/Maximono Ávila Camacho
Panamericana
Salvador Díaz Mirón

Tabla 4

La siguiente figura representa la cuantificación de daños ocasionados en la Delegación Gustavo A. Madero, hasta el momento en que se concluyo el trabajo por parte del grupo de la Unidad de Vivienda de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica de la de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

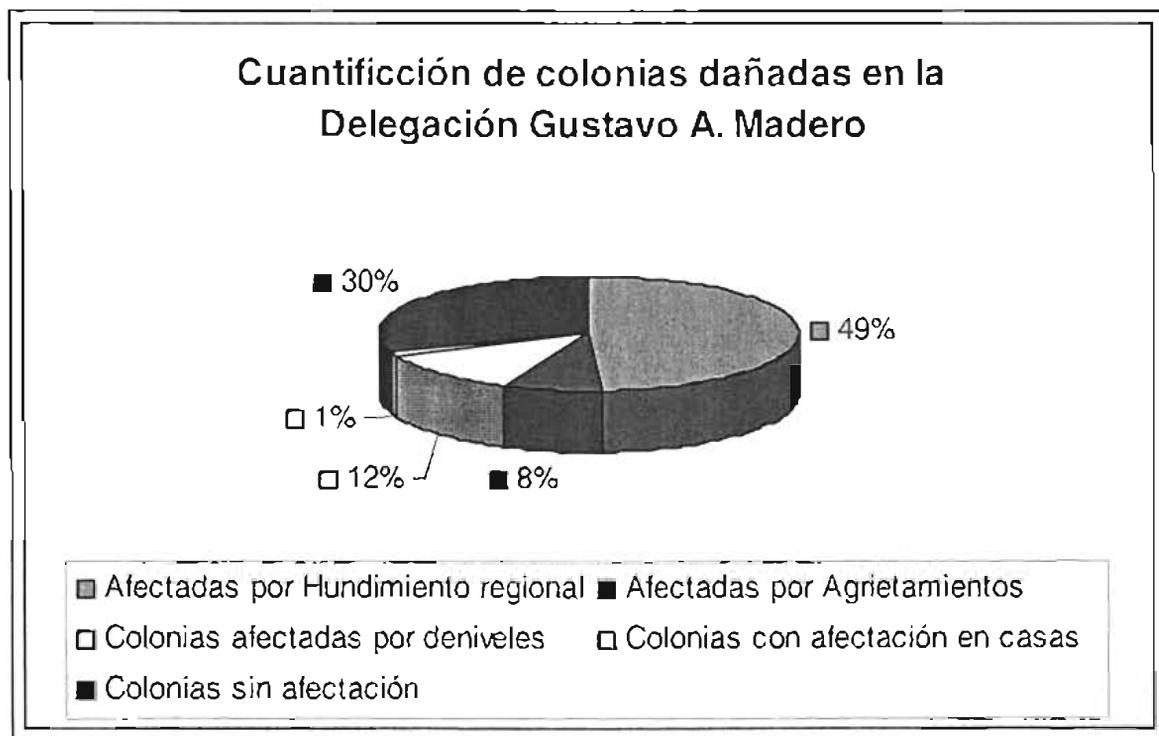


Figura 1

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO



## Recomendaciones y Conclusiones.

La participación de las instituciones educativas es de vital importancia en las actividades involucradas en el desarrollo de la infraestructura de un país como México, de igual manera la participación en programas de investigación que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad, debe ser preponderante dentro de los programas educativos, actividades extracurriculares, en programas de servicio social y en el desarrollo de trabajos para titulación.

Es importante tener en cuenta que la investigación y recolección de información previa a la solución de problemas de ingeniería es relevante, ya que es la base de la concepción de un panorama global, de los orígenes y consecuencias de dichos problemas; el análisis cuidadoso de los datos e información, debe considerarse como parte de la solución.

Por otra parte, el llamado hundimiento regional que experimentan los suelos blandos de la Ciudad de México, juega un papel importante dentro de los problemas que se presentan en algunas zonas de la mencionada Ciudad de México, por lo que los datos obtenidos de estudios a los que se tenga acceso deben ser analizados, corroborados y enriquecidos, ya que es la fuente de conocimientos de las características de los estratos que conforman el suelo de dicha ciudad; en particular en una parte del área de la Delegación Gustavo A. Madero, el suelo está constituido por formaciones altamente deformables, como se ha mencionado a lo largo del presente trabajo, además exhiben baja resistencia al esfuerzo cortante; ello ocasiona problemas a estructuras desplantadas sobre y en tales formaciones, debido a la compresión que se genera, ya sea por la extracción de agua del manto freático y/o por el incremento de esfuerzo provocado por obras de ingeniería.

Julio Rodrigo Márquez García

Trabajo Escrito: ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA  
GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO

Debe tenerse muy claro que el lugar en donde se lleve a cabo una obra civil y en particular la construcción de viviendas, debe ser suficientemente estudiado, tomando en cuenta las características, necesidades y recursos que se tengan para la elaboración de los proyectos y de los diseños.

Hay que hacer conciencia en la sociedad, de recurrir en medida de lo posible a la asesoría profesional en la construcción de viviendas, mediante la divulgación de estudios realizados y de las ventajas que en la práctica estos tienen.

Al realizar el análisis de cualquier proyecto de ingeniería involucrado en la construcción de viviendas y de estructuras en general, se debe tener en cuenta la importancia de todos los detalles tales como: los estudios de mecánica de suelos, para el diseño tanto de la cimentación como de la estructura y desde luego para los procesos constructivos y para los programas de trabajo, con el fin de brindar soluciones eficientes y eficaces, para así culminar en obras de ingeniería económicas, seguras, funcionales y armónicas con el medio ambiente.

Cabe recordar que el mercado profesional de la vivienda se ha subestimado y descuidado por gran parte de los ingenieros civiles, siendo este bastante amplio y recurrente en ciudades como la de México, en la que la demanda por una vivienda crece día con día, por lo que hay que tomar en cuenta que la generación de empleo depende en gran medida de ideas, conocimientos y visión que los practicantes de la Ingeniería Civil adquieran a lo largo de su formación dentro y fuera de las aulas.

Julio Rodrigo Márquez García

Trabajo Escrito: ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA  
GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO

## Bibliografía:

1. RAÚL J. MARSAL  
VOLUMEN  
SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS, A. C.  
MÉXICO 1992  
CAP. EFECTOS DE LA EXTRACCIÓN DE AGUA EN LA ZONA  
LACUSTRE DEL CALLE DE MÉXICO. pp. 37 - 48.  
Clasificación:  
TA710  
R3115  
G.-126706
  
2. RAÚL J. MARSAL Y MARCOS MAZARI  
EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
UNAM FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAPÍTULOS DEL I AL XIV  
Clasificación:  
TA710  
M45
  
3. RAÚL J. MARSAL Y MARCOS MAZARI  
EL SUBSUELO DE LA CIUDAD DE MÉXICO  
UNAM FACULTAD DE INGENIERÍA  
CAPÍTULOS DEL I AL XIV  
Clasificación:  
TA710  
M383
  
4. JUÁREZ BADILLO Y RICO RIDRIGUEZ  
MECÁNICA DE SUELOS TOMO 1 FUNDAMENTOS DE LA  
MECÁNICA DE SUELOS  
EDITORIAL LIMUSA  
CAP. I AL XIII

Julio Rodrigo Márquez García

Trabajo Escrito: ZONAS DE RIESGO RELACIONADO CON LA  
GEOTECNIA, DENTRO DE LA DELEGACIÓN GUSTAVO A. MADERO

5. EL SUBSUELO Y LA INGENIERÍA DE CIMENTACIONES EN EL  
ÁREA URBANA DEL VALLE DE MÉXICO  
SIMPOSIO 10 DE MARZO DE 1978  
SOCIEDAD MEXICANA DE MECÁNICA DE SUELOS.  
MÉXICO 1978  
SESIÓN I ESTRATIGRAFIA DEL VALE DE MÉXICO Y SUS  
IMPLICACIONES EN EL DESARROLLO URBANO.
    1. LA ESTRATIGRAFÍA Y SUS IMPLICACIONES
    2. GEOLOGÍA DEL RELLENO CUATERNARIO DE LA CUENCA  
DE MÉXICO
    3. CIUDAD DE MÉXICO  
SECIÓN II AGRIETAMIENTOS EN EL ÁREA DE  
NAUCALPAN
  13. TEORÍA SOBRE EL MECANISMO DE FALLA.
- 
5. CHARLES H. LEMAN  
GEOMETRÍA ANALÍTICA  
LIMUSA, NORIEGA EDITORES  
MÉXICO 1993