



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ACATLÁN**

**AGRIETAMIENTO EN LA ZONA DE
NAUCALPAN**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

HUMBERTO MIGUEL SANTANA PLATA

ASESOR: Dr. RICARDO ENRIQUE ORTIZ HERMOSILLO

DICIEMBRE, 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

AGRIETAMIENTO EN LA ZONA DE NAUCALPAN

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 3 |
| CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES | 10 |
| 1.1 Grietas “La Florida” y “Echegaray” | 10 |
| 1.2 Primeras hipótesis sobre la aparición de agrietamientos en el municipio de Naucalpan, Estado de México | 11 |
| 1.3 Situación geológica | 11 |
| 1.4 Desarrollo de los agrietamientos | 15 |
| 1.5 Estudios realizados | 16 |
| 1.6 Situación actual | 17 |
| CAPÍTULO 2. POSIBLES CAUSAS DEL AGRIETAMIENTO | 35 |
| 2.1 Introducción | 35 |
| 2.2 Fallas geológicas | 36 |
| 2.3 Antecedentes del agrietamiento en suelos | 37 |
| 2.4 Posibles explicaciones al fenómeno de agrietamiento en el área de Naucalpan, Estado de México | 42 |
| CAPÍTULO 3. DAÑOS ESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO | 44 |
| 3.1 Agrietamiento en el puente de Lomas Verdes | 44 |
| 3.2 Infiltración de aguas negras | 47 |
| 3.3 Daños a muros y calles | 48 |
| CAPÍTULO 4. SITUACIÓN A FUTURO | 51 |
| CONCLUSIONES | 54 |
| ANEXO I: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS | 56 |
| ANEXO II: MEDICIONES REALIZADAS | 60 |
| REFERENCIAS | 65 |

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ubica la zona de estudio en el contexto de la República Mexicana, primero localizando el Cinturón Volcánico Transversal (CVT) dentro de la geografía mexicana (Figura 1) en la Provincia Fisiográfica y Geológica del Eje Neo-volcánico. Posteriormente, se describen brevemente las características de la cuenca así como del subsuelo de la misma. También se identifica la zona de estudio dentro de la cuenca.

El subsuelo del Valle de México presenta una gran diversidad de materiales y estructuras geológicas, ésto se debe a sus distintos orígenes y a su evolución. Esta formación, afectada también por cambios climatológicos, representa para la mecánica de suelos un lugar donde se pueden aplicar y desarrollar gran cantidad de teorías e investigaciones. Las propiedades intrínsecas del subsuelo de este valle hacen de él un lugar donde el aspecto constructivo en obras geotécnicas se complica la mayoría de las veces. Por tanto, el control de asentamientos requiere un tratamiento especial.

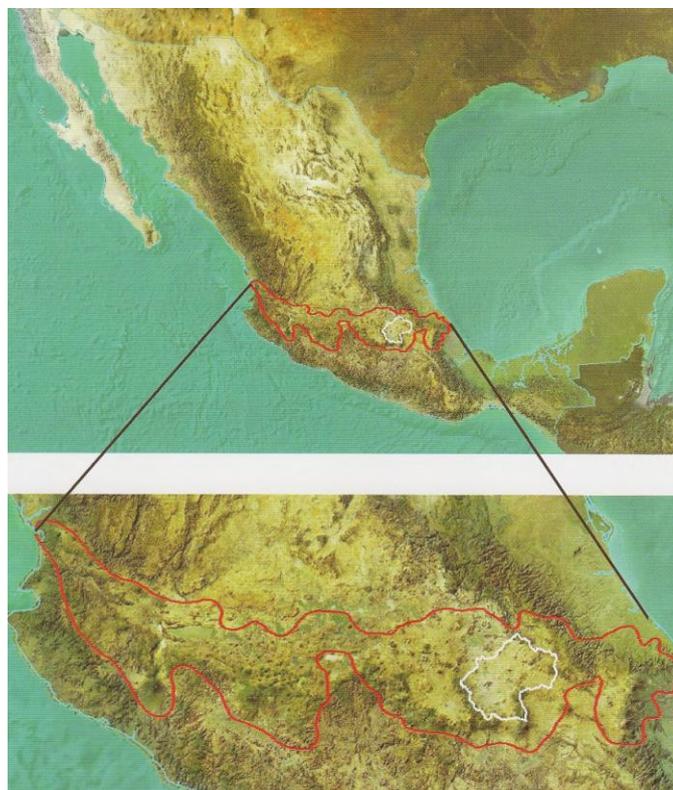


Figura 1. Ubicación de la Cuenca dentro del CVT (Santoyo *et al.* 2005)

La cuenca del Valle de México se localiza en el extremo sur de la Mesa Central dentro de la provincia volcánica conocida como Cinturón Volcánico Transversal (CVT), o Cinturón Volcánico Transmexicano, lo que explica la intensa actividad volcánica a la que estuvo sometida. La cuenca se ubica entre las latitudes 19°03'53" y 20°11'09" y las longitudes 98°11'53" y 99°30'24' al oeste del meridiano de Greenwich.

Tiene una superficie aproximada de 9,600 km², con una longitud de 90 km aproximadamente en la dirección Norte-Sur y en la dirección Este-Oeste 100 km en el extremo norte y 50 km en el extremo sur (figura 2). La elevación en la planicie es de 2,240 m sobre el nivel del mar en la parte sur y 2,390 m.s.n.m. en la norte, las montañas circundantes están a 3,000 m.s.n.m. y el pico más alto es el Popocatepetl con 5,500 m.s.n.m.

El subsuelo se puede describir como un complejo cúmulo de sucesivas formaciones volcánicas que alcanzan más de 2,000 m de espesor, el cual descansa sobre un basamento de rocas sedimentarias marinas. La interpretación de la edad de las formaciones volcánicas permitió inferir que la cuenca de México originalmente drenaba hacia sur primero vertiendo sus aguas al río Amacuzac, posteriormente al río Balsas para finalmente descargar en el Océano Pacífico y que la erupción basáltica de la Sierra Chichinautzin la cerró hace aproximadamente 600,000 años (Santoyo *et al.*, 2005).

De acuerdo con Mooser (1978), la cuenca del Valle de México es un gran vaso azolvado por la ocurrencia de varios eventos, tales como, la deposición de material producto de la erosión de las siguientes Sierras: Las Cruces, Río Frío y Pachuca; así como por la acumulación sucesiva de ceniza producto de las erupciones de los volcanes activos al sur de la cuenca.

En resumen, en la cuenca se identifican las formaciones que permiten conocer su estructura:

- Calizas marinas del Cretácico, plegadas en el Eoceno Inferior.
- Formación el Morro, (Paleoceno-Eoceno).

- Formación Xochitepec (con Tepozteco), Mioceno Medio.
- Grupo de las Sierras Menores (Grupo Pachuca), Mioceno Superior.
- Grupo de las Sierras Mayores, Plioceno Inferior.
- Grupo Chichinautzin, Plioceno Superior y Cuaternario.
- Relleno Cuaternario.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| 1 Sierra de las Cruces-Monte Alto | 8 Sierra Patlachique |
| 2 Sierra Tepozotlán | 9 Cerro Chiconautla |
| 3 Sierra Tezontlalpan | 10 Sierra Guadalupe |
| 4 Sierra de Pachuca | 11 Sierra de las Pitayas |
| 5 Sierra de Singuilucan | 12 Sierra de Santa Catarina |
| 6 Sierra Nevada-Río Frío | 13 Sierra Calpulalpan |
| 7 Sierra Chichinautzin | |

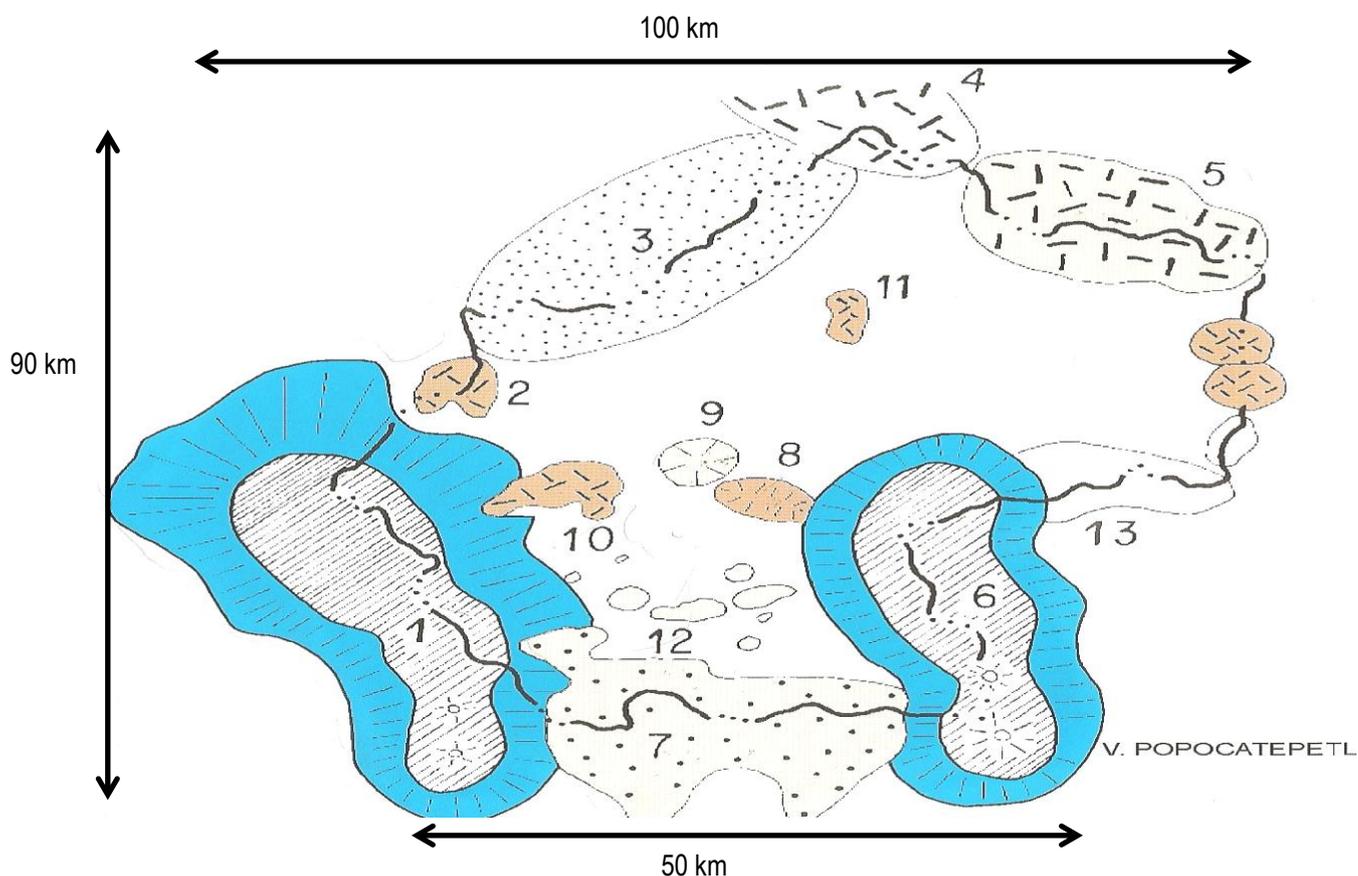


Figura 2. Elementos Morfológicos de la Cuenca del Valle de México (Santoyo *et al.*, 2005)

La zona de estudio se ubica en la zona Nor-Poniente del Valle de México aproximadamente en el paralelo de latitud 19°30' N y el meridiano de longitud 99°15' W

con respecto al meridiano de Greenwich, la altura media de la región es de 2,500 m.s.n.m. y la topografía del terreno varía de lomeríos a sensiblemente plana. El clima en la región es templado regular con lluvias en verano y parte de otoño. La precipitación media anual

varía de 300 a 1,000 mm y la temperatura media anual es de 15.5 °C. La vegetación es escasa en la zona urbana pero abundante hacia el poniente siendo frecuente la presencia de pastizales y arbustos. Desde el punto de vista geológico se extiende sobre la formación Tarango, constituida por brechas andesíticas con intercalaciones de pómez, arena y limos (Haas, 1978), así como de tobas, depósitos fluviales, flujos piroclásticos y lahares.

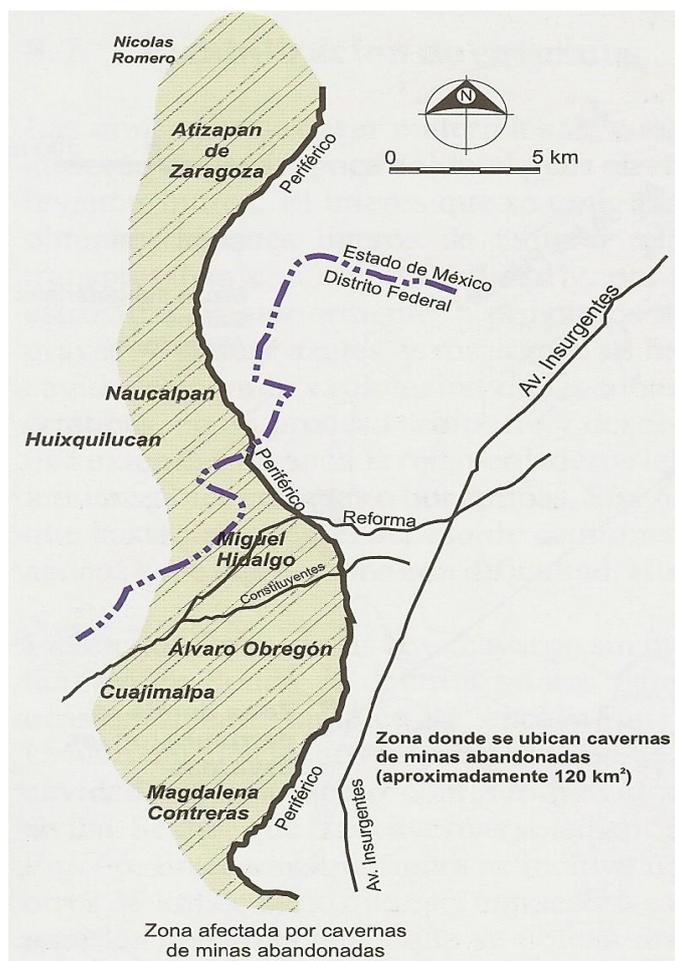


Figura 3. Zona afectada por cavernas producto de la extracción de material para la construcción (Santoyo *et al.*, 2005)

De acuerdo con la zonificación del Reglamento de Construcción del Distrito Federal en sus Normas Técnicas Complementarias para el diseño de Cimentaciones (2004), la superficie de estudio comprende la zona de lomas y en algunas partes la zona de transición. Con base en la zonificación geotécnica presentada en el Manual de Diseño Geotécnico del metro realizado por COVITUR, el área que se analiza corresponde a la zona de lomas y a la zona de transición alta, mismas que se ven afectadas por la presencia de cavernas y minas, producto de la explotación de bancos de materiales (Santoyo *et al.*, 2005).

En la zona de lomas se encuentran elementos litológicos, producto de la erupción de volcanes andesíticos pseudo-estratificados, en cuyos depósitos más profundos se presentan fallas geológicas y tectónicas pero no se relacionan con inestabilidades locales.

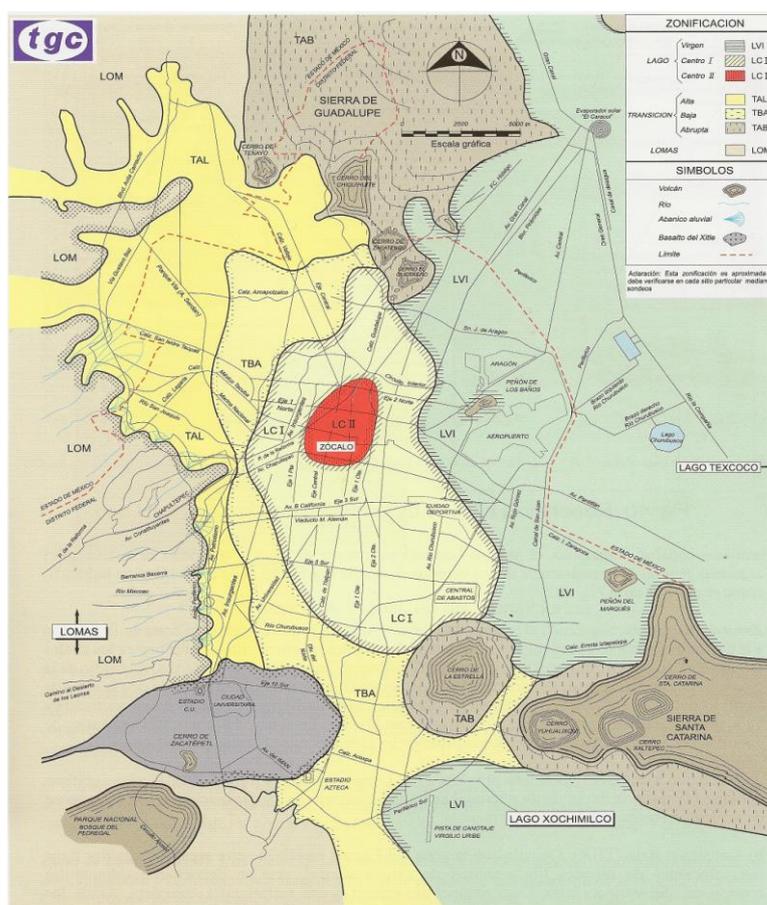


Figura 4. Zonificación geotécnica (Santoyo *et al.*, 2005)

En este trabajo, se estudian los agrietamientos del suelo en las colonias La Florida, Bosques de Echeagaray y Hacienda de Echeagaray, municipio de Naucalpan, Estado de México, con relación al fenómeno de incremento de esfuerzos efectivos por la extracción de agua del subsuelo y al fenómeno de la actividad neo-tectónica. Los daños generados por estas grietas son visibles en los muros de algunas casas, en las calles, así como en el puente de Lomas Verdes. Las grietas en estudio son dos, la primera que tiene una trayectoria que inicia en el parque Naucalli, a la altura del km 16.2 de la Autopista México-Querétaro, hasta el Vaso de Cristo llamada Grieta “La Florida” y la segunda se ubica 800m, aproximadamente, al sur y va desde la esquina de las calles de Yáquis con Huicholes, en la colonia Santa Cruz Acatlán, hasta la colonia Bosques de Echeagaray llamada Grieta “Echeagaray”. Estas grietas se caracterizan por un escalón de magnitud variable que ha aumentado con el paso del tiempo. Este escalón aumenta en magnitud de la zona poniente a la zona oriente (Melgoza, 1978).

Con base en lo concluido por la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos en el Simposio titulado “El Subsuelo y la Ingeniería de Cimentaciones en el Área Urbana del Valle de México” de 1978, se presume que las grietas en la zona de estudio se originaron por la sobreexplotación de los acuíferos de la zona y a su vez tienen relación con el modelo neo-tectónico propuesto por Marín (2004) donde explica las fallas que afectan a la Cuenca del Valle de México. Dicha relación permite suponer que debido a la extracción de agua de los mantos acuíferos estos agrietamientos se vuelven más evidentes. Con relación a lo anterior se sabe que el comportamiento del suelo cambia con la presencia o ausencia de agua. Se considera que algunas tuberías de drenaje y de conducción de agua potable estén rotas por la ocurrencia de estas grietas.

Es importante mencionar que el objetivo de este trabajo es dar a conocer los estudios que se realizaron a raíz de la aparición de estas grietas. De igual forma, busca motivar la investigación de las causas que ocasionan este fenómeno.

En este trabajo se exponen algunas teorías acerca de las formas de propagación y mecanismos de grietas, con base en las cuales se describen y analizan los tipos de grietas que se presentan en la zona de estudio. En general estas teorías consideran un material con comportamiento elástico para efecto de facilitar el cálculo.

Es importante mencionar la diferencia entre grietas y fallas, ya que a lo largo de este trabajo los fenómenos estudiados se denominarán grietas. En mecánica de suelos, el suelo falla cuando los esfuerzos a los que éste es sometido superan su resistencia al esfuerzo cortante. Por otro lado, en geología se conoce a una falla como aquella en donde se presenta un desplazamiento relativo entre sus dos lados (Blyth *et al.*, 1995). Sin embargo, como se verá más adelante los agrietamientos se presentan en diferentes formas.

Finalmente, este trabajo es una línea de investigación del “Atlas Multidisciplinario de Riesgo Geotécnico de la Zona Norponiente del Valle de México” a cargo del Dr. José María Chávez Aguirre del departamento de Geotecnia del Posgrado de la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM, por lo que se buscará proponer e incentivar medidas preventivas y restrictivas sobre la explotación de los mantos acuíferos, una de las principales causas del agrietamiento en las colonias mencionadas.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES

En este capítulo se presenta información relacionada con la aparición de agrietamientos en las casas debido al movimiento del terreno, las condiciones geológicas de la zona de estudio, el desarrollo de los agrietamientos, los estudios realizados y la situación actual del fenómeno.

1.1. Grietas “La Florida” y “Echegaray”

En el año de 1966, los habitantes de la colonia Hacienda de Echegaray, en el municipio de Naucalpan, Estado de México, requirieron la presencia de especialistas en mecánica de suelos para realizar estudios acerca de una grieta que afectaba sus casas. Algunas de éstas presentan, a la fecha, distorsiones y una serie de calles se ven afectadas por esta grieta que cruza formando una línea que se desarrolla a través de la colonia Hacienda de Echegaray hacia la avenida Circunvalación. Tiempo después se dejó ver otra grieta que corría desde la esquina que se forma por las calles de Yáquis y Huicholes en Santa Cruz Acatlán, hasta la colonia Bosques de Echegaray (Figura 1.1).



Figura 1.1 Fotografía satelital de la zona afectada

Ambas grietas presentan un escalón, sin embargo en el caso de la grieta La Florida, tiene su extremo norte relativamente fijo y el extremo sur es el que se desplaza. Por el contrario, en la grieta Echegaray se observa el lado sur fijo y el extremo norte es el que muestra desplazamiento (Melgoza, 1978). Esto ocasionó que toda la franja comprendida entre las dos grietas se hundiera. Esta discontinuidad se conoce en geología como “graben”.

1.2. Primeras hipótesis sobre la aparición de agrietamientos en el municipio de Naucalpan, Estado de México

En un principio se trató de explicar el fenómeno del agrietamiento como consecuencia de algunas de las siguientes causas. Por la consolidación de los rellenos artificiales, por una diferencia en las características de compresibilidad de los suelos adyacentes a la grieta acentuada por la extracción de agua del subsuelo o por una falla geológica activa detectada al iniciar la construcción del fraccionamiento en estudio (Melgoza, 1978). Otras hipótesis plantearon que las grietas se debían a la presencia de una acequia o canal perteneciente a la antigua ganadería de toros de lidia que alguna vez ocupó esos predios (Ellstein, 1978).

Una vez corroborada la información del perfil estratigráfico obtenido de los sondeos realizados por Melgoza (1978), se refutaron las teorías relacionadas con la presencia de rellenos artificiales y sobre las diferencias en las características de compresibilidad debido a que las muestras extraídas correspondían a un material arcillo-arenoso bastante compacto y homogéneo hasta 41 m de profundidad.

1.3. Situación Geológica

La zona en estudio se ubica al nor-poniente del Valle de México, en las inmediaciones de la Sierra de las Cruces. Con relación a la geología del lugar, el municipio de Naucalpan se localiza sobre la formación Tarango que se ubica al pie de la Sierra de las Cruces conformada por tobas, brecha andesítica, pómez, arena y limo (Haas, 1978). Su comportamiento mecánico ante la aplicación de esfuerzos es competente debido a su baja

compresibilidad y alta resistencia al esfuerzo cortante. En la figura 1.2 se muestran los cortes geológicos tanto en la dirección Norte-Sur como en la dirección Oriente-Poniente. En esta figura se aprecia la ubicación de la Formación Tarango dentro del contexto geológico de la cuenca.

Las formaciones geológicas que se localizan en esta zona son de origen aluvial y volcánico encontrándose dispuestas de acuerdo a su edad. Los suelos superficiales contienen restos de materia vegetal de poco espesor (entre 1 ó 2m). Posteriormente, se encuentran los suelos de las Series Clásticas Fluvial y Aluvial, los depósitos de las formaciones de la Sierra de las Cruces, así como de las Sierras de Tepetzotlán y Guadalupe. Las Series Clásticas Fluvial y Aluvial están constituidas por materiales granulares aluviales y por depósitos superficiales de formación lacustre y principalmente arcillosos, con intercalaciones de pómez, arena volcánica color negro y vidrio volcánico (Haas, 1978).

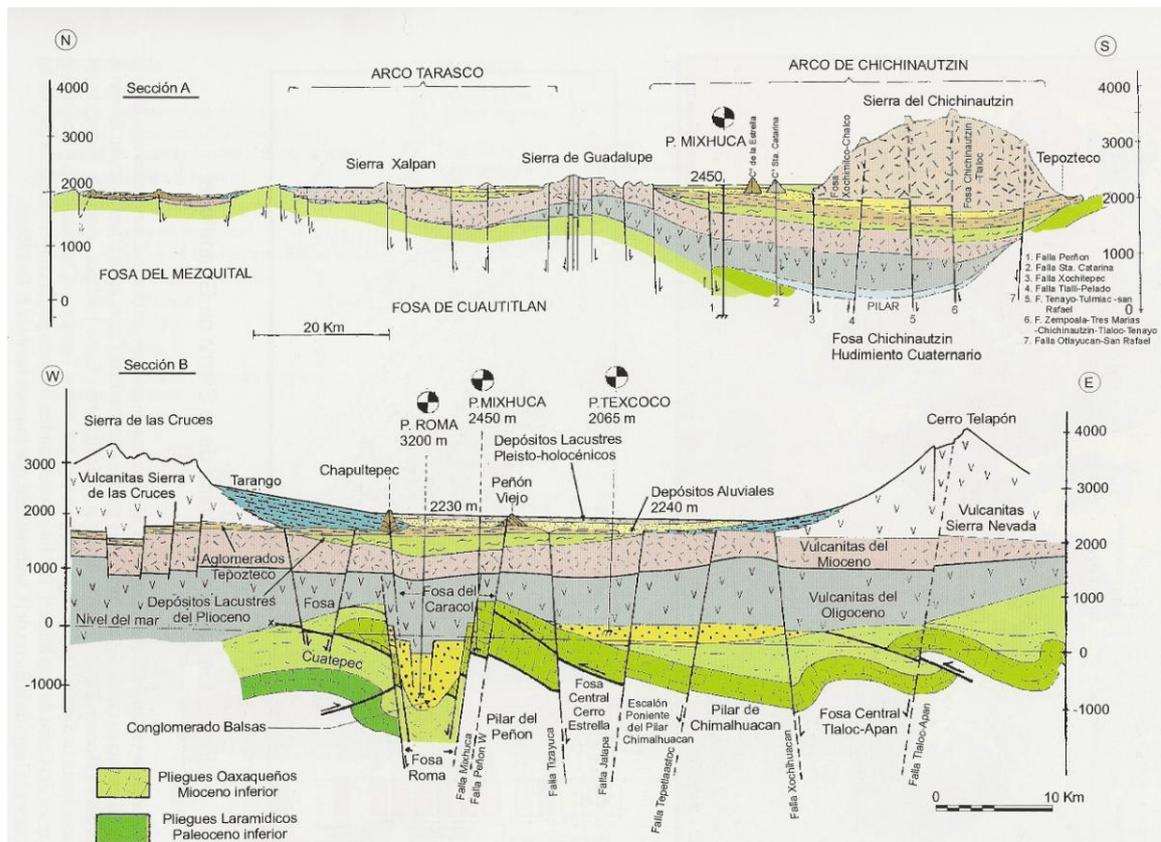


Figura. 1.2 Cortes geológicos N-S y E-W (Santoyo et al., 2005)

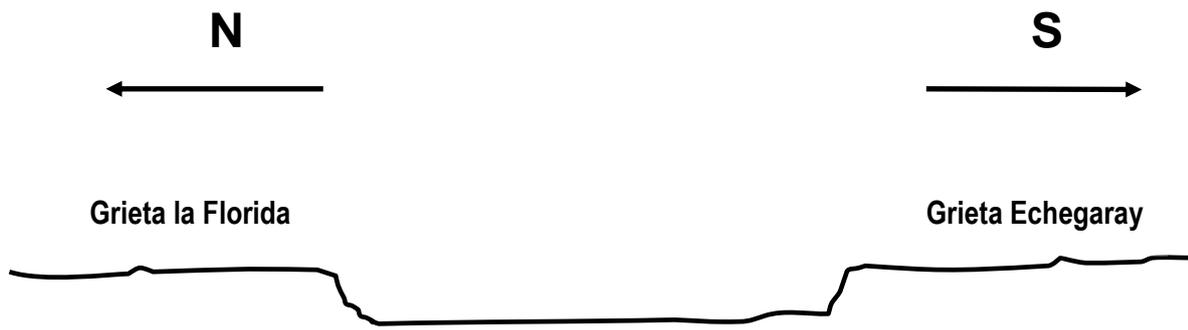


Figura 1.3 Efecto de graben (Ellstein, 1978)

Como se dijo anteriormente, la Cuenca de México comprende una de las porciones centrales del Cinturón Volcánico Transversal (CVT). Varios factores se conjugan para hacer de la cuenca una zona de alto riesgo sísmico. Principalmente por las características del suelo mismo, sobre el cual están desplantadas diversas obras de infraestructura y edificación, su actividad volcánica y sus complejos sistemas de fallas y fracturas conjugadas, actualmente activas, forman sistemas de fosas y pilares.

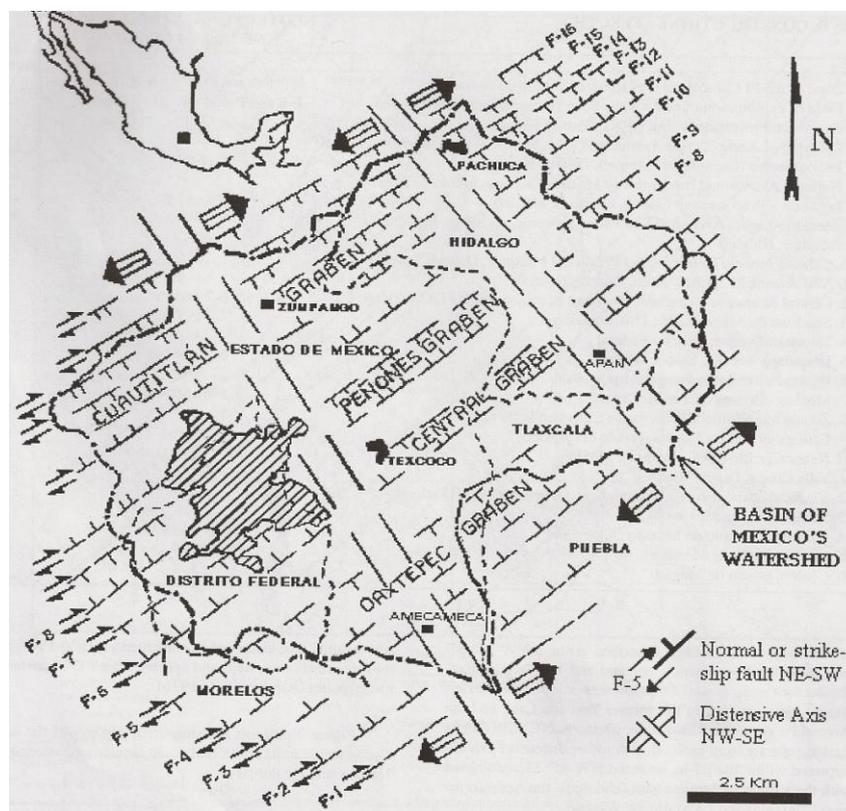


Figura 1.4 Estructuras Neo-Tectónicas según Marín (2004)

Aguayo y Marín en 1987 identificaron 16 fallas principales que atraviesan por el interior de la Cuenca de México, todas ellas distensivas y con orientación NE - SW, delimitando 15 bloques estructurales mayores. La separación promedio entre fallas es de 6 km (Aguayo *et al.*, 1989).

De acuerdo con la figura 1.4 Marín (2004) presenta una lista de las zonas que son afectadas por el paso de estas fallas, a este sistema le llama estructuras neotectónicas.

Tabla 1.1 Ubicación de las fallas con base en las construcciones civiles afectadas (Marín, 2004)

| CONSTRUCCIONES CIVILES AFECTADAS | ESTRUCTURAS NEOTECTÓNICAS NE-SW Y NW-SE |
|--|--|
| 1.- Zona del evaporador solar El Caracol, Estado de México. | F-9 y Eje Distensivo |
| 2.- Campo de explotación de Sosa Texcoco, Estado de México. | F-8 y F-9 y Eje Distensivo |
| 3.- Unidad Zacatenco del Instituto Politécnico Nacional, Distrito Federal. | F-10 |
| 4.- Cruce de las avenidas Azcapotzalco y Cien Metros, Distrito Federal. | F-10 |
| 5.- Indios Verdes, (Avenida Insurgentes), Distrito Federal. | F-10 |
| 6.- Avenida Nacional y Autopista México-Pachuca, Estado de México. | F-11 |
| 7.- Camino Lechería-Texcoco, Estado de México. | F-7 y F-8 |
| 8.- Avenida Emiliano Zapata en San Pedro Xalostoc, Estado de México. | F-9 |
| 9.- Acayuca, Hidalgo. | F-14 |
| 10.- Calzada Ignacio Zaragoza y el Peñón del Marqués, Distrito Federal. | F-6 |
| 11.- Avenida Añil y el Palacio del los Deportes, Distrito Federal. | F-8 |
| 12.- Avenida Central en Nezahualcóyotl y Ecatepec, Distrito Federal. | F-7 y F-8 |
| 13.- Lago de San Juan de Aragón, Distrito Federal. | F-8 |

| | |
|--|-----------|
| 14.- Avenida Talismán, Distrito Federal. | F-9 |
| 15.- Avenida Iztapalapa, Distrito Federal. | F-7 y F-8 |
| 16.- Aeropuerto Internacional Benito Juárez, Distrito Federal. | F-8 |
| 17.- Camino México-Cuernavaca, Distrito Federal. | F-6 y F-7 |
| 18.- Zócalo y Alameda (Centro Histórico), Distrito Federal. | F-9 |
| 19.- Echeagaray y La Florida, Estado de México. | F-10 |
| 20.- Lago Nabor Carrillo, Estado de México. | F-8 |
| 21.- Villa Coapa, Distrito Federal. | F-8 |
| 22.- Viaducto en la esquina con la Avenida Cuauhtémoc, Distrito Federal. | F-9 |
| 23.- Xico, Estado de México. | F-5 |
| 24.- Ixtapaluca, Estado de México. | F-4 y F-5 |
| 25.- Ayotla, Estado de México. | F-5 |
| 26.- Chalco, Estado de México | F-4 |

1.4. Desarrollo de los agrietamientos

Como ya se mencionó se trata de dos grietas, que se ubican en una zona sensiblemente plana con pendiente de sólo el 0.8% hacia el oriente. El área de estudio tiene la siguiente delimitación:

Al Norte: Lomerío donde se asienta Ciudad Satélite.

Al Sur: Las lomas del Parque Nacional de los Remedios y la colonia San Bartolo.

Al poniente: Las cumbres de San Mateo (Zonas altas).

Al Oriente: La zona plana correspondiente a la Delegación Azcapotzalco.

Los lomeríos colindantes al poniente y al norte van desde los 50 m hasta los 100 m sobre la planicie. A continuación se describe más a detalle el desarrollo de los agrietamientos.

Grieta “La Florida”:

Corre en dirección Este-Oeste (E-W) y tiene una longitud de 1600 m, aproximadamente, inicia a partir del Boulevard Manuel Ávila Camacho, a la altura del Parque Naucalli, y termina en el Vaso de Cristo, ubicado sobre la avenida Gustavo Baz (figura 1.1). Como se mencionó anteriormente en este trabajo, el extremo norte de esta grieta no presenta movimiento aparente, en cambio hacia el sur los escalones llegan a tener hasta 75 cm de desnivel en el extremo oriente de la grieta. Se desconoce la profundidad y el ancho de la grieta.

Grieta "Echegaray":

Esta grieta es sensiblemente paralela a la grieta La Florida, separadas casi paralelamente por 800 m, aproximadamente, la grieta Echegaray se desarrolla en una longitud de aproximadamente 1700 m. Va desde la esquina de las calles Huicholes y Yaquis en Santa Cruz Acatlán hasta la colonia hacienda de Echegaray (figura 1.1). Al contrario de la grieta La Florida, ésta desciende del lado norte y el sur se mantiene relativamente fijo (Melgoza, 1978). Esta grieta afecta directamente al puente de Lomas Verdes, aspecto que se tratará a detalle más adelante. Se desconoce la profundidad y ancho de la grieta.

1.5. Estudios Realizados

Debido a la aparición de estas grietas, Melgoza (1978) efectuó mediciones topográficas y piezométricas para monitorear el asentamiento, el desnivel y el abatimiento del nivel freático. Estas mediciones se llevaron a cabo como parte de los estudios del subsuelo para la construcción del Hospital de Gineco-obstetricia del IMSS (ahora Hospital de Traumatología). Dentro de estos estudios se realizaron dos sondeos mixtos; es decir, en un mismo pozo se efectuaron muestreos de penetración estándar (SPT) y se obtuvieron muestras inalteradas con tubos de pared delgada. También se efectuaron pozos a cielo abierto (PCA). Ambas exploraciones se ubicaron en el extremo norte y sur de la grieta Echegaray, en las inmediaciones del Boulevard Ávila Camacho.

En cuanto a las mediciones efectuadas, éstas incluyeron bancos de nivel profundos colocados en un predio ubicado en la esquina del Boulevard Ávila Camacho y la Avenida Lomas Verdes. También se colocaron referencias de nivel y piezómetros a las profundidades de 15 a 25 m respecto a un banco de nivel superficial (Melgoza, 1978). De igual manera se marcaron referencias superficiales de nivel y de colimación para controlar, respectivamente, los desplazamientos verticales y horizontales. Sin embargo, hasta la fecha no se conoce que se hayan efectuado más estudios, tanto topográficos y geotécnicos así como geofísicos, aparte de las mediciones que se realizaron en los años 1975 y 1977, por lo que la información es limitada. Para conocer más a detalle estos resultados se recomienda consultar el Anexo I de éste trabajo.

1.6. Situación Actual

Se realizaron recorridos por la zona afectada, siguiendo un programa de tiempos y zonas que se muestra a continuación. En la figura 1.5 se observan las áreas recorridas para identificar la trayectoria de la grieta La Florida.

Con la información actual acerca de las grietas es difícil determinar las condiciones reales del subsuelo ya que no se cuenta con estudios detallados de geotecnia, geofísica ni topografía. Apoyándose en los documentos que contienen información acerca del fenómeno que se estudia en este trabajo, se observa que la situación real es poco conocida debido a que existe una brecha en la información desde la aparición de los agrietamientos hasta la actualidad.

Hoy en día, se desconoce la profundidad real de las grietas, de igual forma no se tiene información sobre si tienen una longitud mayor por debajo de la superficie tanto hacia el este como al oeste.



Figura 1.5 Zona recorrida para detectar la grieta La Florida.

PRIMER RECORRIDO: 21 de Septiembre de 2008



Figura 1.6 Zona del primer recorrido

Calles: Boulevard Ávila Camacho, De las Rosas, De las Gladiolas, De los Lirios, De los Claveles, De las Margaritas, Paseo de Echegaray Norte.

Colonia: La Florida

Observaciones: Durante el recorrido se identificó la ubicación del escalón generado por la grieta La Florida en las calles mencionadas. Éste atraviesa las calles en forma perpendicular, lo cual produce efectos de desplome en bardas y rejas así como agrietamiento en algunos muros. En esta zona el lado norte del escalón se mantiene fijo y el lado sur es el que presenta desplazamiento. Para la calle de Paseo de las Rosas el desnivel mide, aproximadamente, entre 15 y 20 cm, en las calles de Paseo de las

Gladiolas, Paseo de los Lirios y Paseo de los Claveles el desnivel es apenas perceptible, acentuándose más en las aceras. El desnivel más grande puede verse en las calles de Paseo de las Rosas, Paseo de Echegaray Norte y en la calle de Margaritas. Se observa que existe la posibilidad de que el escalón afecte a las tuberías tanto de abastecimiento de agua potable como de drenaje pluvial y sanitario. En las imágenes se puede observar el daño a muros así como las reparaciones que se han efectuado al pavimento, por lo que se confirma que recientemente ha habido desplazamiento que es necesario medir.



Figura 1.7 Daños próximos al Boulevard Ávila Camacho



Figura 1.8 Daños próximos al Boulevard Ávila Camacho



Figura 1.9 Escalón en la Calle de Rosas



Figura 1.10 Agrietamiento y desplome en la barda de una casa en la Calle de Lirios



Figura 1.11 Desplome de barda en la Calle de Margaritas

SEGUNDO RECORRIDO: (4 de Octubre de 2008)



Figura 1.12 Zona del segundo recorrido

Calles: Paseo de Echegaray Sur, Hacienda de Peñuelas, Hda. De Presillas, Hda. De Rancho Seco, Hda. San Diego de los Padres, Hda. Zacatepec, Hda. Zotoluca.

Colonia: Hacienda de Echegaray

Observaciones: Se hizo un recorrido por los márgenes norte y sur del Río Chico de los Remedios, desde el cual se observó que en el punto por el cual pasa la grieta la Florida se presentan daños en el revestimiento de concreto del canal en ambos márgenes (Figuras 1.13 y 1.14); así mismo, en una vista transversal del canal se aprecia una distorsión en la sección del canal en el punto de cruce de la grieta. En la calle de Paseo de Echegaray Sur

(Figuras 1.15) se observa agrietamiento en el pavimento, el cual tiene rasgos de que ha sido reparado a través de los años. En la calle de Hacienda de Peñuelas se identifica la grieta en el extremo norte de la calle, con un desnivel de aproximadamente 15 cm. En la calle de San Diego de los Padres, se observan daños a una barda que divide un parque de una escuela primaria. Las fotografías 1.17 a) y b) permiten hacer una comparación del daño en la barda y reja en el tiempo en que se comenzaron a detectar los agrietamientos, así como en la actualidad, se observa que se han realizado algunas reparaciones a la barda. A pesar de esto la distorsión de la reja es perceptible aún. En la calle de Hacienda de Presillas también se percibe el escalón hacia el extremo norte y se pueden apreciar las reparaciones que se le han hecho a la guarnición del extremo sur de la grieta y el daño bastante severo que ésta ha generado en la guarnición y banqueta norte. En la calle Hacienda de Zotoluca el daño en bardas, rejas, guarniciones y carpeta asfáltica es considerable. En la fotografía 1.18 se puede apreciar el daño a la reja de una casa perteneciente al Ayuntamiento de Naucalpan en la calle Hacienda de Zotoluca. En la calle de Hacienda de Rancho Seco se observan daños en la carpeta asfáltica y en las guarniciones de la banqueta. Se puede ver en la fotografía 1.19 a) y b) que la reja ha sido sustituida por una barda de dimensiones considerablemente grandes, pero aun así se puede observar en la fotografía 1.20 la presencia de una grieta en uno de los pilares que ha sido reparada. De igual manera, es posible que las tuberías de conducción y drenaje estén dañadas ya que la grieta atraviesa perpendicularmente la calle. En un callejón paralelo a la dirección de la grieta ubicado entre una casa y el parque mencionado anteriormente, que va de la calle de Hacienda de Xajay a la calle Hacienda de Zacatepec se pueden observar grietas en la superficie ocasionadas por el desnivel de la grieta la Florida, tal como lo muestran las fotografías 1.21 y 1.22. En la calle Hacienda de Zacatepec se observan los agrietamientos en la carpeta asfáltica, así como daños en guarniciones y bardas, estas últimas han sido reparadas.



Figura 1.13 Afectación al canal del Río Chico de los Remedios en las colonias Echegaray y La Florida



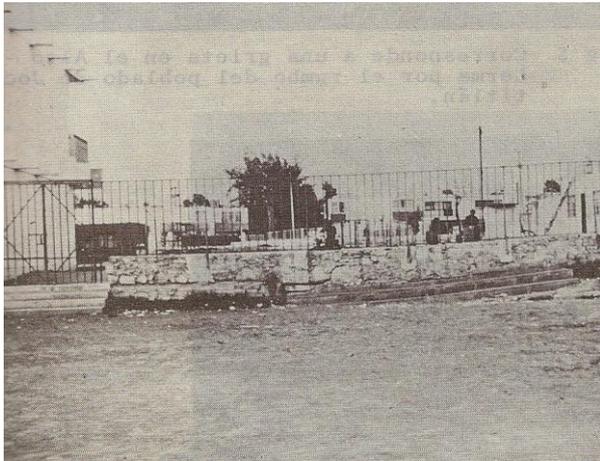
Figura 1.14 Daño al revestimiento del canal del Río Chico de los Remedios



Figura 1.15 Distorsión perceptible en la calle Paseo de Echegaray Sur, en la colonia Hacienda de Echegaray



Figura 1.16 Desnivel producido por el escalón de la grieta La Florida en la Calle de Hacienda de Presillas



a) 1978

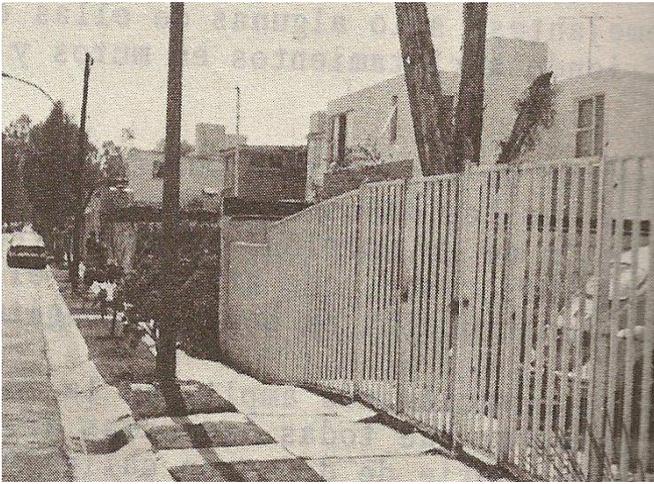


b) 2008

Figura 1.17 Daño a reja y barda de una escuela en la colonia Echegaray



Figura 1.18 Distorsión en banqueta y reja de una casa en la calle Hacienda de Zotoluca, de la colonia Hacienda de Echegaray



a) 1978



b) 2008

Figura 1.19 Barda de una casa en la calle Hacienda de Rancho Seco

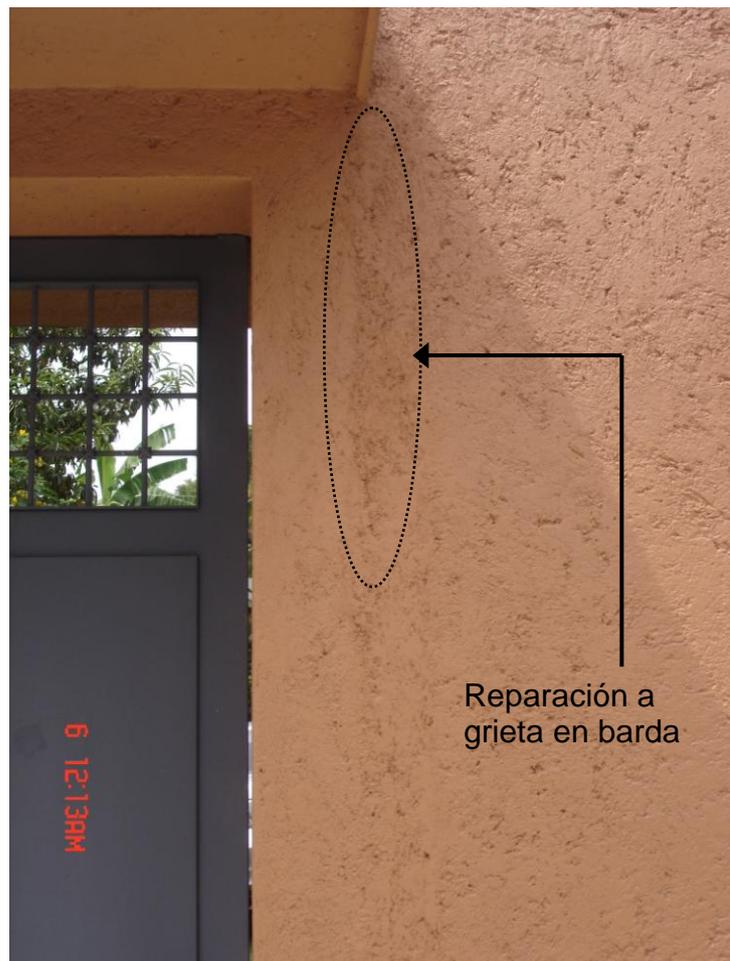


Figura 1.20 Reparaciones a grieta en barda



Figura 1.21 Grietas en callejón por desnivel de la grieta la Florida. Colonia Hacienda de Echegaray



Figura 1.22 Grieta la Florida. Callejón que va de la calle Hacienda de Xajay hacia la calle Hacienda de Zacatepec

TERCER RECORRIDO: (5 de Octubre de 2008)



Figura 1.23 Zona del tercer recorrido

Calles: Av. Gustavo Baz Prada, Vicente Yañez Pinzón, Francisco Alonso Pinzón, Martín Alonso Pinzón, Cristóbal Colón.

Colonia: Fresnos

Observaciones: En la Avenida Gustavo Baz, el escalón es apenas perceptible. Se ubica cerca del vaso regulador “El Cristo”. Es probable que los establecimientos comerciales ubicados en esta zona se vean afectados por la grieta. En la calle Vicente Yañez Pinzón el escalón aparece detrás de un establecimiento comercial atravesando dicha calle de manera perpendicular al eje de la misma y se interna en un parque, los daños más notables se perciben en la carpeta asfáltica y la guarnición del extremo oriente de la calle.

En la calle Francisco Alonso Pinzón la grieta se observa saliendo del parque mencionado anteriormente y después de atravesar esta calle se interna en el predio de otro parque pasando en la esquina noreste del mismo por unas casas en las cuales no se observan daños en las bardas exteriores. En la calle Martín Alonso Pinzón los daños observados se presentan en la carpeta asfáltica y guarniciones, una vez atravesada esta calle la grieta se introduce en otro parque.

En la calle Cristóbal Colón, el agrietamiento es más notable, la grieta se localiza cerca de la esquina con la calle San Agustín. El desnivel observado es de aproximadamente 50 cm. El daño más severo se observa en la acera oriente, ya que el extremo poniente ha sido reparado. También son notables las reparaciones hechas a la carpeta asfáltica, misma que se ha reparado con varias capas de mezcla asfáltica. En la figura 1.28 se puede observar un corte longitudinal de la calle. Con relación a esto, es importante monitorear la frecuencia con la que se llevan a cabo las reparaciones para así poder medir la velocidad de desplazamiento real de las grietas.



Figura 1.24 Desnivel en la calle Vicente Yáñez Pinzón



Figura 1.25 Desnivel en la calle Francisco Alonso Pinzón



Figura 1.26 Desnivel en la calle Martín Alonso Pinzón



Figura 1.27 Desnivel en la calle Cristóbal Colón

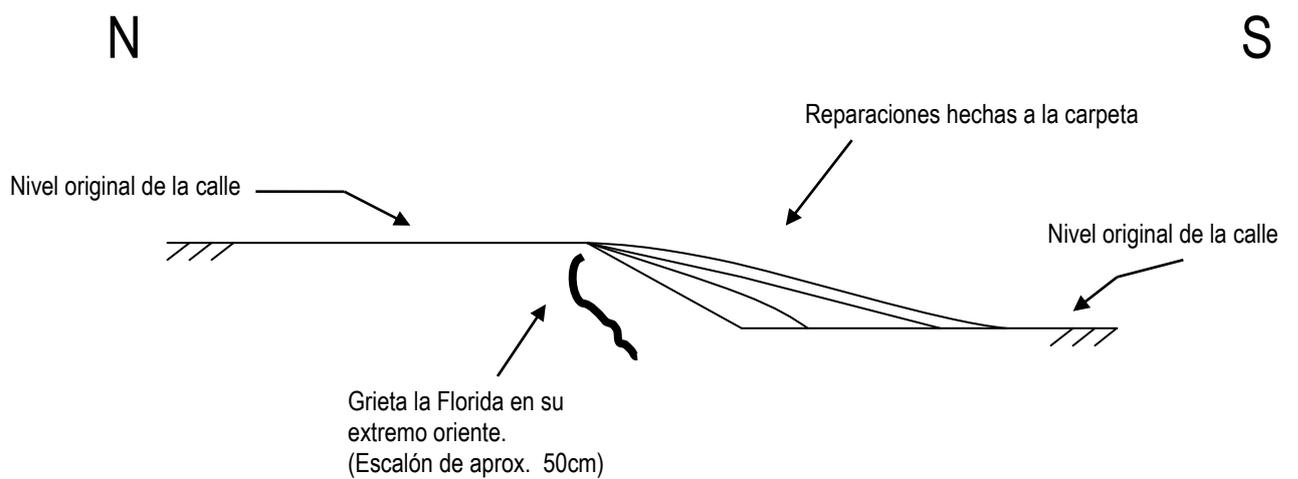


Figura 1.28 Corte Longitudinal N-S de la Calle Cristóbal Colón

CUARTO RECORRIDO: (11 de Octubre de 2008)

Calles: De los Huicholes, De los Tarahumaras, De los Mexicas, Aztecas.

Predios: Centro de Servicios Administrativos de Naucalpan.

Colonia: Santa Cruz Acatlán

Observaciones: En el recorrido efectuado por las calles mencionadas no se pudo identificar la grieta Echegaray debido a reparaciones efectuadas en la zona.

En el predio del Centro de Servicios Administrativos de Naucalpan tampoco se identificó la presencia de la grieta, esto es debido a que posiblemente se realizó una renivelación para la construcción del edificio la cual se llevó a cabo después de la aparición de las grietas.

QUINTO RECORRIDO: (12 de Octubre de 2008)

Calles: Purépechas.

Predios: Centro de Convenciones México.

Observaciones: No se detectó el escalón.

SEXTO RECORRIDO: (18 de Octubre de 2008)

Calles: Boulevard Ávila Camacho.

Predios: Hospital de Traumatología.

Observaciones: No se detectó el escalón.

SÉPTIMO RECORRIDO: (19 de Octubre de 2008)

Calles: Hda. De San Mateo, Hda. Molino de Flores, Paseo Hda. De Echegaray, Hda. De Santa María Regla, Hda. De Sta. María Tenango, Hda. Sta. Ana y Lobos, Hda. De la Carbonera, Hda. De Corralejo.

Colonia: Bosques y Hacienda de Echegaray

Observaciones: En este recorrido no fue posible encontrar el escalón ya que se le han hecho reparaciones a las calles cambiando la carpeta asfáltica por concreto hidráulico.

CAPÍTULO 2. POSIBLES CAUSAS DEL AGRIETAMIENTO

En este capítulo se desarrollan las teorías que permiten explicar el fenómeno tanto desde el punto de la Mecánica de Suelos como de la Geología.

2.1.- Introducción

Como se mencionó anteriormente, se considera que una de las causas que ocasionan el agrietamiento del suelo en la zona de estudio es la extracción de agua del subsuelo. Esta actividad viene desarrollándose desde mediados del siglo XIX en el Valle de México y es la principal causa del hundimiento regional que experimenta la Ciudad de México desde hace ya varias décadas. Desafortunadamente, la información acerca de los pozos de bombeo es restringida y no se tiene fácil acceso a ella.

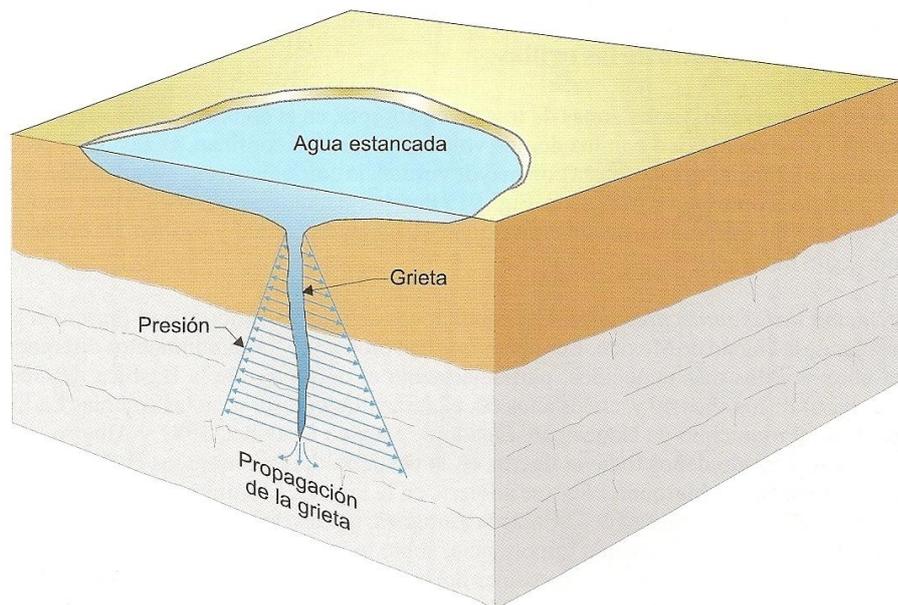


Figura 2.1 Esquema de presiones en una grieta de infiltración (Santoyo *et al.*, 2005)

A diferencia de lo que ocurre en el suelo lacustre, en donde las grietas ocurren debido a la acumulación de agua en la superficie y a la formación repentina de una fisura por la que penetra el líquido, (ver figura 2.1), el agrietamiento en tobas, que se estudia en este

trabajo, tiene que ver más con la pérdida de agua del subsuelo, lo que genera que los intersticios antes ocupados con el agua se vean vacíos y se produzca el efecto de consolidación, así como esfuerzos cortantes generados por fuerzas de filtración. En este capítulo se pretende exponer los mecanismos de agrietamiento que se presentan en medios elásticos.

2.2. Fallas Geológicas

Dentro de la geología estructural una falla geológica se explica como una zona de discontinuidad dentro de un cuerpo rocoso, ya sea éste de origen ígneo, sedimentario o metamórfico que en algún momento ha presentado desplazamientos relativos entre ambos bloques, este movimiento se desarrolla a través de un *plano de falla*.

La clasificación de las fallas se basa en el movimiento relativo de las dos masas de roca implicadas en el fenómeno, la masa de roca que queda por encima del plano de falla se conoce como *bloque de techo* y el que queda por debajo se conoce como *bloque de piso*. Con base en esto se conocen dos tipos de fallas:

Falla Normal: Es aquella en la que el bloque de techo se desliza hacia abajo sobre el plano de falla. Ésta se debe a esfuerzos de tensión o por efecto de la gravedad.

Falla Inversa: En la que el bloque de techo se mueve hacia arriba a lo largo del plano de falla. Ésto se debe a esfuerzos de compresión (Chávez, *et al.* 2006).

Recientemente se han realizado investigaciones que proponen que los fenómenos de agrietamiento son causados por fallamientos geológicos. En este sentido los trabajos realizados por Marín *et al.* (2004), así como las investigaciones efectuadas por Galván *et al.* (1998) proponen que en la Cuenca del Valle de México existe un sistema de fallas geológicas que generan actividad tectónica. Así mismo esta situación se relaciona con hundimientos diferenciales importantes en jardines o áreas que permiten la infiltración de aguas superficiales hacia el subsuelo.

La geología de la Cuenca del Valle de México ha sido estudiada por diversos autores entre ellos Mooser en 1975, Marín en 1986 y De Cserna en 1988. En estos estudios cada autor ha propuesto diferentes estructuras geológicas para la Cuenca del Valle de México en especial para la parte poniente que corresponde a la Sierra de las Cruces. De acuerdo con el modelo de Mooser se proponen cuatro pilares: Cuautitlán, Peñones, Central y Oaxtepec. Cada uno separado por grabens orientados NE-SW. Marín en 1986 definió dieciséis fallas con orientación NE-SW, separadas por entre cuatro o seis kilómetros, aproximadamente, donde depósitos tanto piroclásticos como lacustres aparecen fracturados y deformados. En los trabajos elaborados existen estructuras en común como las fallas relacionadas al graben Cuautitlán (F-12 y F-13 en la figura 1.1.4) o aquellas asociadas al graben Peñones (F-8 y F-9), también las fallas del graben Central (F-6 y F-7) y las del graben Oaxtepec (F-4 y F-5).

2.3. Antecedentes del agrietamiento en suelos

Se tiene conocimiento de la ocurrencia de agrietamientos en la periferia de los valles de algunas ciudades de la República Mexicana, como son: Aguascalientes, Querétaro, Celaya, Toluca y el Distrito Federal. Estos eventos se atribuyen a la explotación de los acuíferos para el abastecimiento de agua potable y el uso agrícola. Es común observar en estos lugares fenómenos como el desplazamiento horizontal y asentamientos en la superficie del terreno (Alberro *et al.*, 2006).

En el caso de la Ciudad de México, la extracción de agua del acuífero que subyace a las arcillas comenzó en 1847, cuando los señores Pane y Molteni abrieron los primeros pozos de hasta 105 m de profundidad. Hacia 1857 se abrieron 168 pozos que presentaron artesianismo lo que hacía que el agua subiera hasta el segundo nivel de las casas. Se sabe que para el año de 1870 había unos 1,000 pozos. Poco a poco el artesianismo se agotó y en adelante se requirió bombeo para extraer el agua. Es entonces cuando se inicia el fenómeno de hundimiento regional, originado por la pérdida de la presión del agua intersticial. Se conoce que el gasto que se extrae mediante bombeo en el Estado de México es de 35.4 m³/s (Santoyo *et al.*, 2005).

El fenómeno de agrietamiento se trató de explicar por primera vez en 1925 por el Ing. Roberto Gayol, quien se desempeñó como director de las obras de drenaje de la ciudad de México y vivió el problema de las deformaciones que el hundimiento generó en dichas obras. Desde el punto de vista científico, esta explicación quedó pendiente hasta que el Dr. Nabor Carrillo la retomó y estableció la relación teórica entre el hundimiento y la consolidación de las arcillas inducida por la extracción de agua. El trabajo realizado por el Dr. Carrillo motivó a otros ingenieros como Raúl J. Marsal, Marcos Mazari y Leonardo Zeevaert a continuar con esta línea de investigación. Gracias al esfuerzo realizado, las autoridades del Distrito Federal decretaron la veda en la apertura de pozos. Ya para 1968 se pensó que el problema había disminuido en importancia, incluso se hablaba de los hundimientos como si ya no se tratara de un problema que aquejara a la ciudad. Debido al inminente crecimiento de la ciudad, para 1973 fue necesaria la apertura de nuevos pozos más profundos que aquellos que se tenían. Las consecuencias de esta decisión se aprecian hoy claramente en edificios, monumentos y calles del centro histórico y sus alrededores, así como últimamente en la periferia de lo que antes fuera el Gran Lago, en la zona conocida como de transición abrupta y zona de lomas, cuyo crecimiento poblacional ha sido incontrolado (Santoyo, 1991).

Dentro de los estudios realizados por el Dr. Nabor Carrillo (1969) se encuentran varios trabajos en los que se pretende explicar el hundimiento del suelo debido a la extracción del agua subterránea. El Dr. Nabor Carrillo fue, como se mencionó anteriormente, quien estudió la relación entre la extracción de agua y la consolidación del suelo.

De igual forma, en otros lugares del mundo se observaron al mismo tiempo problemas atribuidos al fenómeno de extracción de agua, éstos se comentaron en el primer Simposio Internacional sobre Hundimientos del Terreno, IASH-UNESCO, que tuvo lugar en Tokio el año de 1969, Japón. En este evento se expusieron los casos de hundimiento en la zona de Eloy-Picacho, en el estado de Arizona, USA. Schumann y Poland afirmaron con relación a estas grietas: “Los hundimientos y fisuras terrestres de la porción oeste del Condado de Pinal, Arizona, USA, centro-sur, están relacionadas con los abatimientos del agua subterránea, ocasionados por la extracción a gran escala para el riego” (Orozco *et al.*, 1991).

Existen otras formas de agrietamiento en suelos, aparte de la que ocurre debido a la extracción de agua del subsuelo, éstas se mencionan a continuación:

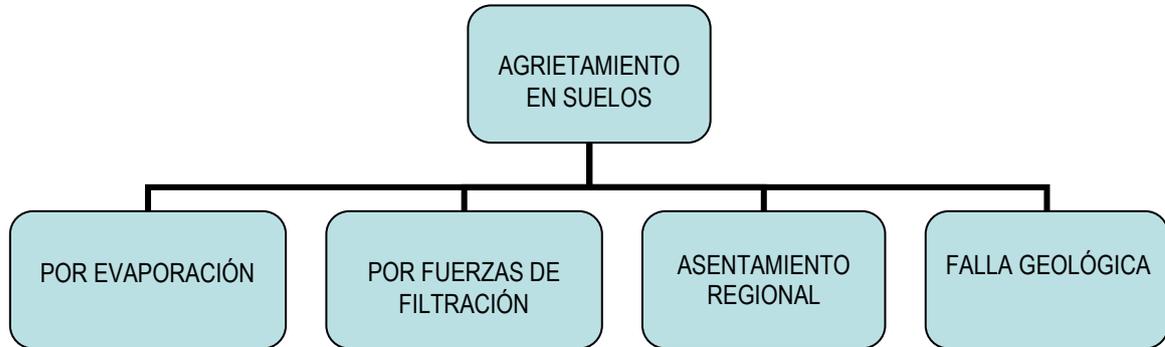


Figura 2.2 Otras causas de agrietamiento

Dentro del estudio del agrietamiento en suelos, se sabe que este fenómeno se presenta cuando la presión en el vértice de la grieta supera la resistencia al esfuerzo cortante del suelo. Para facilitar el análisis se considera al suelo como un cuerpo elástico. Todo cuerpo elástico entonces es susceptible a reaccionar ante cargas externas con fracturamiento y deformaciones. Otro efecto presente en un fracturamiento es el de la separación o pérdida de contacto entre dos puntas del material. El fracturamiento implica la generación de una grieta y la propagación de la misma hasta la falla general o hasta que se alcance un nuevo estado de equilibrio (Auvinet y Arias, 1991).

En la siguiente figura se identifican las partes que definen una grieta.

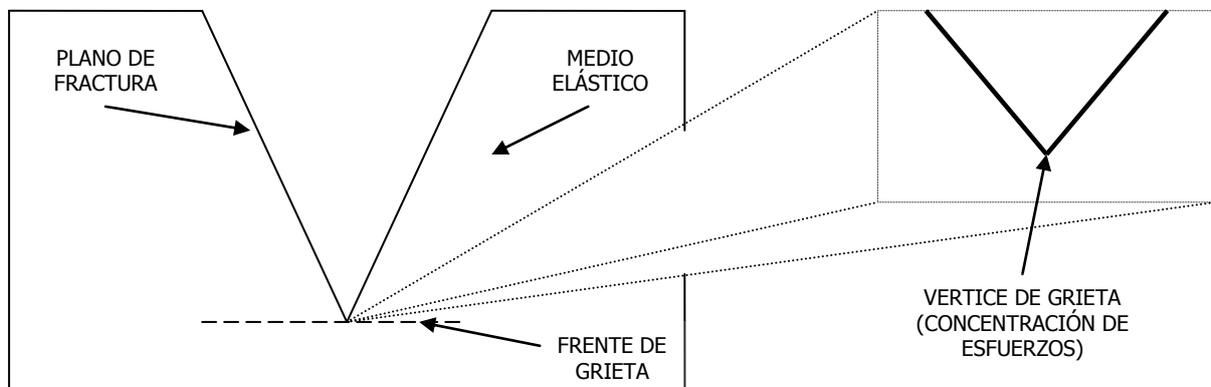


Figura 2.3 Esquema de un fracturamiento

A continuación se explican algunos modos de agrietamiento con el fin de comprender mejor el comportamiento de las grietas que se estudian en este trabajo.

Los modos de agrietamiento son tres (Auvinet, 1991):

Modo I: La grieta presenta simetría en su abertura, el desplazamiento relativo entre las caras de la abertura es perpendicular a la superficie de fractura. Estas grietas se generan por tensión, separándose entre si las caras de la grieta.

Modo II: En la grieta se da una separación asimétrica, con desplazamientos tangenciales perpendiculares al frente de la grieta. Este modo es generado por fuerzas de cortante. Las caras de la grieta se deslizan una sobre otra en dirección perpendicular al vértice.

Modo III: Existe una separación asimétrica con desplazamientos tangenciales relativos paralelos al frente de grieta. Este modo se presenta bajo esfuerzos de torsión. Las superficies de grieta se mueven en dirección paralela al vértice.

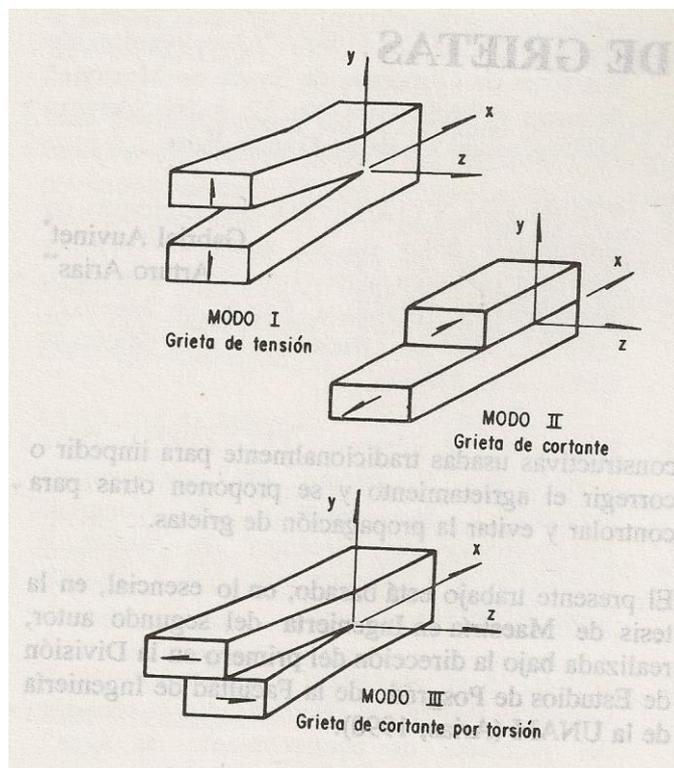


Figura 2.4 Modos de agrietamiento

2.5. Posibles explicaciones al fenómeno de agrietamiento en el área de Naucalpan, Estado de México

En el caso de las grietas estudiadas en la zona de Naucalpan, se observa que las grietas se presentan de acuerdo al modo II, o sea por cortante, ésto se explica mediante el modelo cuantitativo propuesto en 1984 por el Dr. Eulalio Juárez Badillo y el Ing. Germán Figueroa Vega. Este modelo explica, mediante el mecanismo de fuerzas de filtración de Lofgren, una teoría de flujo unidimensional hacia una batería de pozos, idealizada como un dren lineal. En estas condiciones, las fuerzas de filtración en el cuerpo de agua subterráneo o acuífero inducen esfuerzos cortantes en sus fronteras superior e inferior, en donde se desarrolla una zona vecina al dren donde dichos esfuerzos rebasan la resistencia al corte del contacto e inducen el deslizamiento relativo de los suelos del acuífero hacia el dren. Ésto genera una zona vecina al dren donde las compresiones horizontales aumentan, otra más alejada donde las compresiones horizontales en el acuífero disminuyen y una frontera exterior donde deja de deslizar el acuífero con respecto a los estratos confinantes superior e inferior. Para un gasto y tiempo crítico del dren, se desarrolla una grieta y por el derrumbe progresivo, ésta se propaga hacia la superficie (Orozco, *et al.* 1991).

Ellstein (1978) expone otro mecanismo de falla que explica el fenómeno de agrietamiento en la zona de Naucalpan. Menciona que las distorsiones superficiales parecen sugerir la existencia de desplazamientos horizontales, capaces de reducir los esfuerzos que actúan horizontalmente contra la franja de suelo limitada por las grietas. Existen dos posibles situaciones al respecto: En la primera las orillas del graben, formado por las grietas “La Florida” y “Echegaray”, se están separando esto debido a la actuación de fuerzas de tensión que reducen los esfuerzos horizontales que confinan al material. En la segunda el material contenido en el graben se está contrayendo debido a un aumento de los esfuerzos efectivos, efecto relacionado con la extracción de agua de los pozos de bombeo.

Con base en lo expuesto por Marín (2004), las grietas en estudio pudieran estar asociadas a estructuras geológicas que atraviesan la Cuenca de México con orientación NE-SW. Estas fallas, consideradas activas a la fecha, forman parte de un conjunto de 16

estructuras que forman 15 grabens que afectan a toda la cuenca del Valle de México. A su vez las fallas mencionadas forman parte de un sistema estructural “macro” de fallamientos con la misma orientación. Es muy probable que las grietas la Florida y Echeagaray estén relacionadas con estas estructuras geológicas.

La hipótesis anterior se sustenta a través de lo expuesto por Galván (1998) quien habla acerca del hundimiento en la zona norte del Distrito Federal. Dicho estudio se llevó a cabo en las inmediaciones de la estación “Instituto del Petróleo” de la ruta 6 del sistema de transporte colectivo METRO. Al principio, en esta zona de estudio se consideró que el fenómeno de agrietamiento observado era ocasionado por la fuga del suelo debido al abatimiento del nivel freático, para lo cual se consideraban dos situaciones:

- 1) La ruptura de las líneas tanto de conducción de agua potable como de drenaje.
- 2) Un abatimiento excesivo del nivel freático ya sea por pozos profundos o por los pozos de achique de la estación del metro.

Después de comprobar que las líneas de conducción no presentaban fallas y que los niveles de agua freática estaban por debajo del nivel del túnel del metro se descartaron estas opciones como generadoras de los agrietamientos.

CAPÍTULO 3. DAÑOS ESTRUCTURALES EN LA ZONA DE ESTUDIO

En este capítulo se presentan las estructuras que son afectadas directamente por las grietas, como son el puente de la Av. Lomas Verdes, las tuberías de drenaje y de conducción de agua, las bardas de las casas y las calles de las colonias La Florida, Hacienda de Echegaray y Bosques de Echegaray.

3.1. Agrietamiento en el puente de Lomas Verdes

Como consecuencia de las necesidades de la población del municipio de Naucalpan y zonas aledañas, se construyeron pasos a desnivel como el puente de Lomas Verdes. Este puente se construyó posteriormente al Boulevard Ávila Camacho. Este paso a desnivel está constituido por una estructura de cuatro claros y cinco apoyos, uno en el extremo oriente, otro en el extremo poniente y tres intermedios.



Figura 3.1 El puente de la Av. Lomas Verdes desde la lateral del Boulevard Manuel Ávila Camacho en la dirección sur

Los estribos son de mampostería y los tres apoyos centrales son de concreto armado. La cimentación de los apoyos se desplanta a una profundidad menor que el ancho de la misma por lo que se considera una cimentación superficial. En realidad sólo tiene la profundidad suficiente para ocultar la zapata corrida que se diseñó y construyó en cada apoyo. La capacidad de carga de diseño que se consideró para el suelo fue de 20 t/m² (Moreno, 1991).

Actualmente el puente de la Av. Lomas Verdes presenta daños en su estructura, los más severos se identifican en el extremo oriente (ver figura 3.1), el apoyo poniente presenta algunas cuarteaduras y los apoyos intermedios presentan fisuras considerables, coincidentes con la trayectoria de la Grieta la Echegaray (figura 3.4), por otro lado la superficie de rodamiento del puente ha sido re-encarpetada recientemente por lo que no se observan daños en ella.



Figura 3.2 Inicio de la calzada de rodamiento del puente desde el extremo oriente.

Recientemente re-encarpetada

En la actualidad se está llevando a cabo la construcción del Viaducto Bicentenario, que comenzará en el Toreo de Cuatro Caminos y llegará hasta la caseta de Tepetzotlán. A la fecha el avance llega precisamente hasta el puente de Lomas Verdes en donde se está construyendo el entronque del viaducto con la Avenida Lomas Verdes. En este punto es de gran importancia la instalación de instrumentos de medición, así como la realización de monitoreos topográficos constantes para poder obtener datos actuales acerca de los desplazamientos a los que está sometido tanto el nuevo Viaducto como el puente de la Av. Lomas Verdes.



Figura 3.3 Cuarteadura en la base del apoyo oriente del Puente Lomas Verdes



Figura 3.4 Fisuras en los estribos intermedios del puente

3.2. Infiltración de aguas negras

Existe la posibilidad de que debido al paso de las grietas el sistema de drenaje de las colonias se encuentre dañado, así como las líneas de suministro de agua a las casas y comercios cercanos.

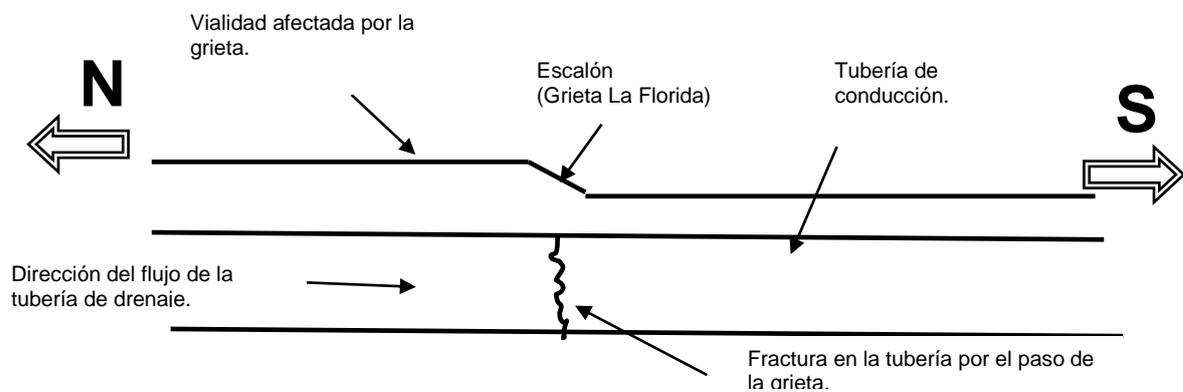


Figura 3.5 Esquema del posible daño de las tuberías de conducción de agua tanto de abastecimiento como de aguas negras

Como se ha mencionado en este trabajo las grietas atraviesan de forma perpendicular la mayoría de las calles, por lo que se puede inferir que la sección transversal de las tuberías de conducción se vea afectada (ver figura 3.5).



Figura 3.6 Agrietamiento en una calle de la colonia La Florida. Posibles daños a la tubería de drenaje.

3.3. Daños a muros y a calles

En los recorridos efectuados por la zona se observó la presencia de las grietas en muros y banquetas de algunas calles. Los desniveles más fuertes se presentan en la calle Cristóbal Colón, afectada por la grieta “La Florida”, en donde se observa la mayor magnitud del escalón que, según la bibliografía consultada, es de unos 75 cm, aproximadamente. Se puede observar en la fotografía 3.7 que la vialidad ha sido rencarpetada varias veces para tratar de corregir el daño, se aprecian las diferentes capas que conforman las repavimentaciones. Se puede también observar que la banqueta presenta el desnivel original ya que en ella no se han hecho reparaciones (ver figura 3.8). De igual manera se observa en la misma calle una casa en cuyo segundo nivel se han

hecho reparaciones debidas la grieta (ver figura 3.9). El nivel de deformación visible en la carpeta asfáltica se refleja en el agrietamiento de los muros de algunas casas aledañas, la seguridad estructural parece estar comprometida de manera puntual en las casas ubicadas en la trayectoria de la grieta.



Figura. 3.7 Se puede notar el abultamiento en la calle Cristóbal Colón producido por las diferentes capas de asfalto



Figura 3.8 Vista de la banqueta oriente de la calle Cristóbal Colón en donde se observa el desnivel real de aproximadamente 80 cm



Figura 3.9 Fachada de una casa de la calle Cristóbal Colón dañada por el paso de la grieta la Florida

CAPÍTULO 4. SITUACIÓN A FUTURO

Se expresan algunas soluciones para mitigar el problema que se presenta en la zona de estudio y los experimentos que se han realizado para recuperar la presión del suelo y evitar el hundimiento.

Resulta evidente que los fenómenos de agrietamiento y hundimiento regional son un problema que aqueja a la ciudad de México de manera silenciosa y constante. Es por esto que se deben encausar acciones preventivas y restrictivas en este sentido.

Dentro del marco del Atlas Multidisciplinario de Riesgo Geotécnico de la Zona Norponiente del Valle de México se pretende ubicar la zona de las grietas de La Florida y Echegaray dentro de un mapa que identificará las áreas de riesgo geotécnico en los municipios que abarca el proyecto. El objetivo del proyecto es ubicar precisamente las zonas de riesgo geotécnico que ponen en riesgo a la población, así como estudiar estas áreas desde un punto multidisciplinario. Desde el punto de vista estructural se deberá realizar un dictamen preciso acerca de la seguridad que presentan las edificaciones que resulten afectadas por dichos fenómenos.

Una solución más específica sugerida en este documento se presenta con base a los trabajos realizados por el Ing. Ignacio Sainz Ortiz en 1957 (Santoyo *et al.*, 2005), en los que se considera que el mejor método para recuperar la presión en el acuífero y con ello detener el hundimiento regional consiste en facilitar la penetración de agua al subsuelo, mediante la perforación de pozos de absorción. El Ing. Sainz, pionero en el desarrollo de esta idea, realizó una prueba preliminar de absorción en el jardín de San Fernando en la Ciudad de México y por el éxito que alcanzó, decidió hacer otra al pie de la presa Mixcoac para aprovechar el agua del embalse. El experimento consistió en perforar tres pozos de 40 cm de diámetro. En el primero de ellos cuya profundidad fue de 150 m, el nivel freático se detectó a 86 m. El fondo de este pozo quedó 7 m arriba del nivel de la Av. de los Insurgentes. Inicialmente se inyectó agua al pozo con un gasto de 100 lt/s sin observar síntomas de saturación por lo cual se estimó que el caudal de inyección pudiera

incrementarse a 200 o 250 lt/s. En el segundo pozo el nivel de agua se localizó a 113 m y se pudo inyectar un gasto de 340 lt/s. El tercer pozo encontró el agua a 118 m. Operando los tres pozos juntos se introdujo 1,120 lt/s, durante los seis días que duró la prueba y agotó los 119,400 m³ de agua que tenía almacenada la presa Mixcoac. Como consecuencia de esa infiltración, en otros pozos cercanos se recuperaron los niveles en 1m. Con relación a esta investigación, el experimento realizado por el Ing. Sainz se puede retomar para infiltrar agua al subsuelo y recuperar la presión hidrostática para evitar futuros asentamientos. Se recomienda utilizar el agua contenida en el Vaso de Cristo, no sin antes realizarle un tratamiento adecuado.

De igual forma se propone la instalación de piezómetros abiertos y eléctricos para monitorear el descenso del nivel freático; así como bancos de nivel profundos y de referencias múltiples para observar los asentamientos futuros. Se recomienda usar el piezómetro desarrollado por TGC que, a diferencia del tubo hermético con punta inferior porosa dentro del cual penetra el agua y se eleva en el tubo hasta alcanzar el equilibrio por vasos comunicantes, este mecanismo consiste en introducir el piezómetro sellado, cuyo último tramo se hinca a presión y se abre hasta que se encuentra a la profundidad necesaria.

Para colocar este piezómetro es necesario realizar previamente un sondeo de cono eléctrico para identificar los estratos permeables donde el agua fluye y permite la medición. En cuanto a los bancos de nivel se recomienda instalar bancos profundos de referencia fija desarrollados por la empresa TGC Geotecnia, el cual permite definir el hundimiento de la superficie con respecto a un cierto estrato, este banco elimina el efecto de pandeo que tienen los bancos tradicionales. Consta de dos tubos concéntricos: Un tubo central continuo de acero de 3.2 cm de diámetro colocado dentro de una funda conformada por tramos de aluminio de 7.6 cm de diámetro de 20.5 cm de longitud unidos con bandas de tela de poliéster de 3.5 cm de longitud para darle continuidad y deformabilidad axial (Santoyo *et al.*, 2005).

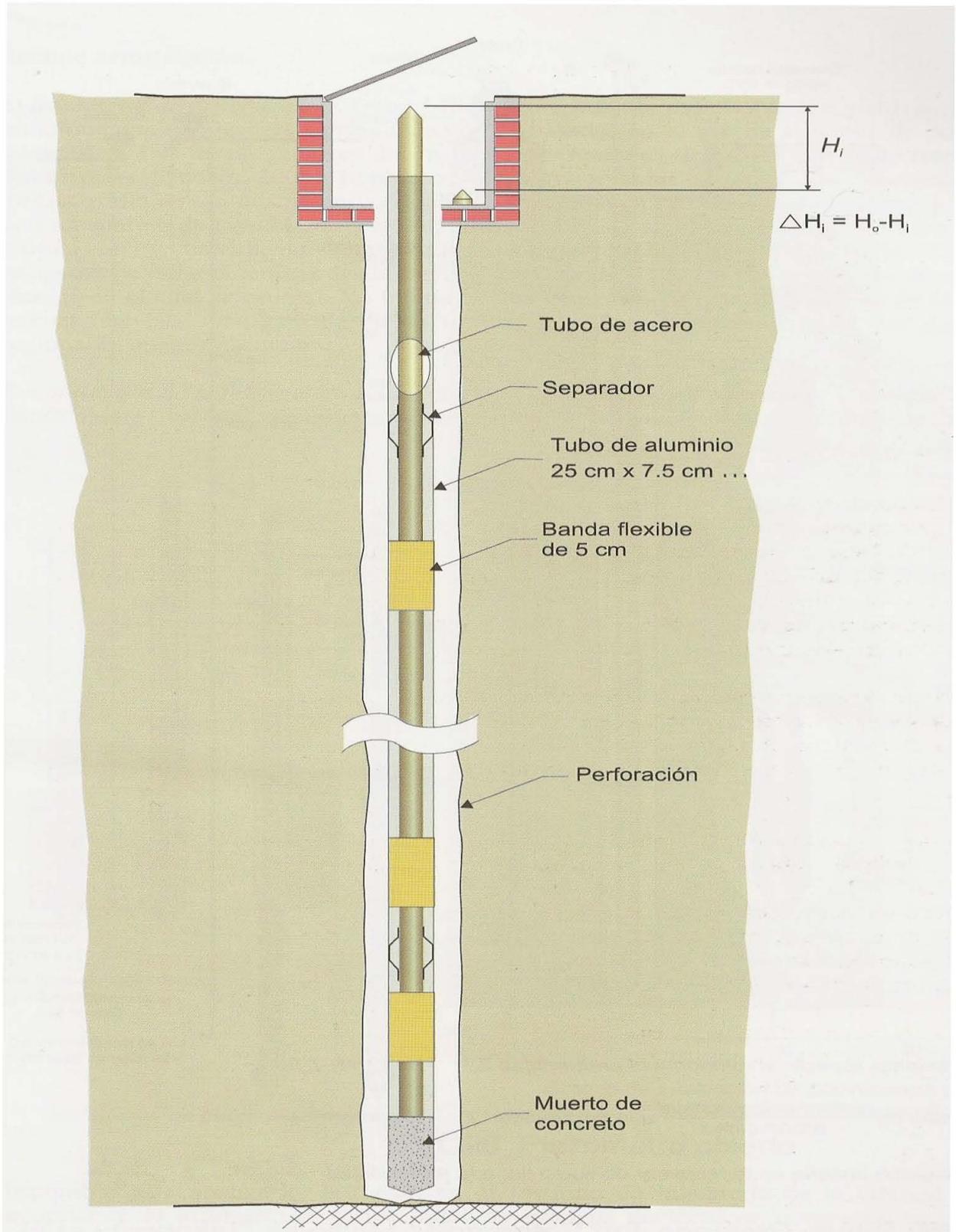


Figura 4.1 Banco profundo de referencia fija diseñado por TGC Geotecnia (Santoyo *et al.*, 2005)

CONCLUSIONES

Las grietas son ocasionadas por eventos de diferente naturaleza como son, la extracción del agua del subsuelo y la actividad neo-tectónica a la que se ha sometido la corteza terrestre superficial.

Se concluye que el fenómeno observado obedece a la combinación de ambos efectos. Por un lado, las fallas por neo-tectonismo se desarrollan en el material que subyace a los estratos en los que se ubican los mantos freáticos los cuales están sometidos al bombeo para abastecer a la población. Al incrementarse el gasto de extracción y los esfuerzos efectivos en la masa de suelo aumentan las probabilidades de que se presenten los agrietamientos; además, el abatimiento del nivel freático local permite que las fallas que se encuentran en la parte inferior de los estratos se reflejen en los estratos superiores hasta llegar a manifestarse en bardas y calles. Para confirmar que el fenómeno corresponde al reflejo de las fallas neotectónicas propuestas por Marin (2004) habría que realizar estudios topográficos, geotécnicos, geofísicos y geológicos detallados, de este modo se sabría si se trata de un fenómeno local o regional.

Debido a que no se cuenta con mediciones recientes, a partir de las mediciones realizadas en 1975 y 1977, así como de los recorridos realizados en fechas recientes por la zona donde se presentan las grietas, se observa que las fallas continúan activas y que la explotación de los mantos acuíferos va en aumento como respuesta al crecimiento de la ciudad.

La situación que se vive actualmente en las colonias La Florida y Echeagaray parece no ser alarmante al grado de pensar en tomar medidas de solución inmediata. El verdadero problema es que en la actualidad la información respecto a las grietas es insuficiente y las mediciones efectuadas desde la década de los setentas no han tenido el seguimiento adecuado.

En la actualidad y a futuro la situación se agravará por dos razones principales, la primera debido a la demanda de servicios por parte de la población creciente y la segunda la incertidumbre que rodea a este fenómeno, problema que el presente trabajo pretende mitigar.

Se propone la realización de estudios geológicos, geotécnicos, topográficos, así como de seguridad estructural, que permitan obtener información de primera mano acerca del comportamiento de las grietas “La Florida” y “Echegaray”.

El “Atlas Multidisciplinario de Riesgo Geotécnico de la Zona Norponiente del Valle de México” pretende reunir todos estos estudios para formar un documento en donde se exponga toda la información perteneciente a los fenómenos estudiados. En él se presentarán propuestas técnicas con base a los análisis realizados, para así mitigar el impacto que tengan los fenómenos encontrados en la zona de estudio.

ANEXO I: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS (Melgoza, 1978)

Para conocer la influencia de la estratigrafía en el desarrollo de los agrietamientos, se efectuaron dos sondeos al norte y al sur de la grieta Echegaray, mismos que se realizaron en las inmediaciones del boulevard Manuel Ávila Camacho. Dichos sondeos fueron denominados: M-4, éste está ubicado en la zona de la grieta que presenta movimiento (lado norte) y M-5 ubicado en el extremo que no presenta desplazamiento (lado sur).

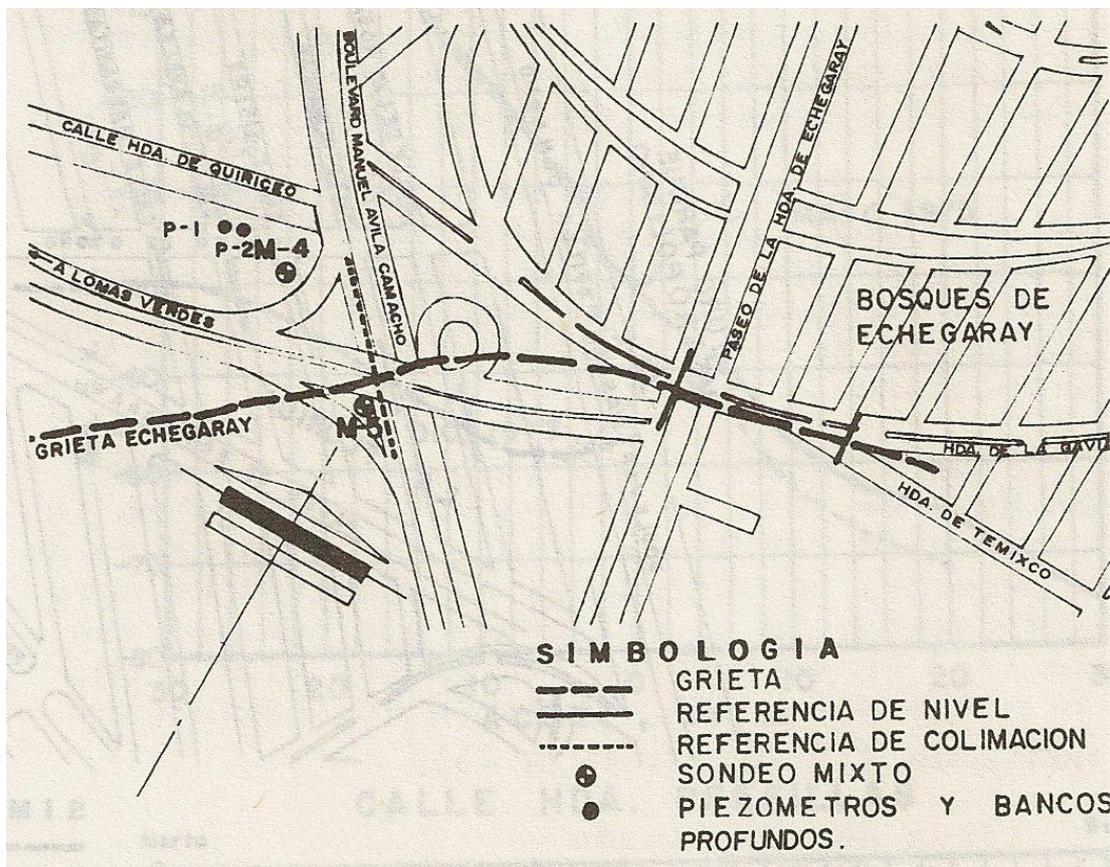


Figura A 1.1 Localización de los sondeos M-4 y M-5 (Melgoza, 1978)

Los resultados de los sondeos muestran que a partir de 4.5m de profundidad el subsuelo presenta características similares, constituido principalmente por arcillas arenosas de consistencia dura con contenido de agua cercano al límite plástico. A continuación se describe cada uno de los sondeos.

Sondeo M-4

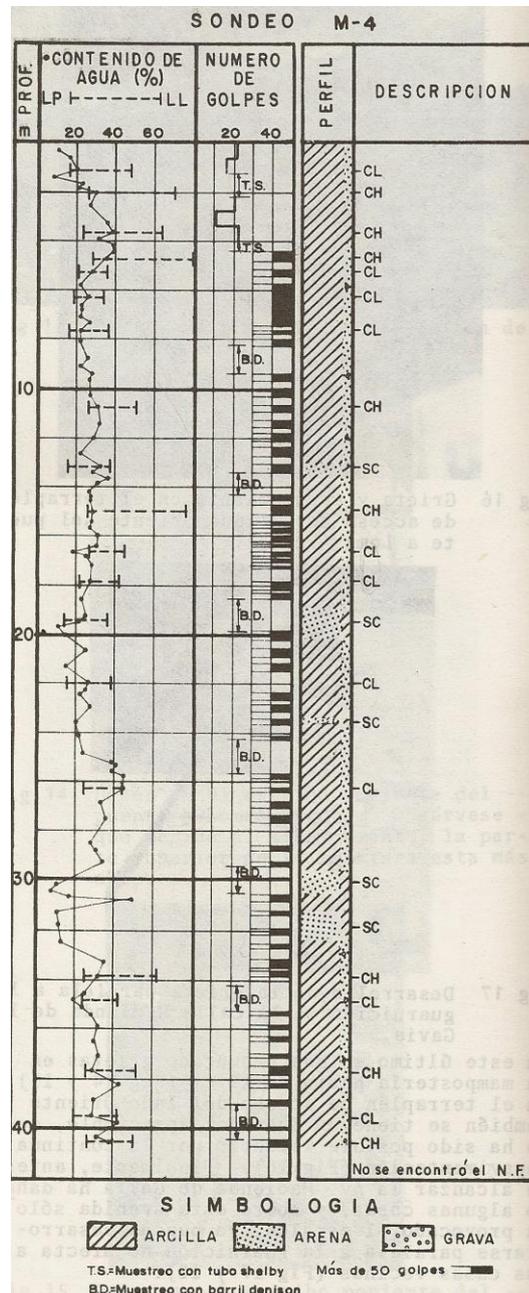


Figura A 1.2 Perfil estratigráfico M-4 (Melgoza, 1978)

El sondeo M-4 presenta desde la superficie hasta 4.4m de profundidad arcilla arenosa de consistencia firme a muy firme (11 a 23 golpes en la prueba de penetración estándar). El contenido de agua varía de 9 a 40%, estando en general cercano al límite plástico, lo que es indicativo de suelos pre-consolidados.

Sondeo M-5

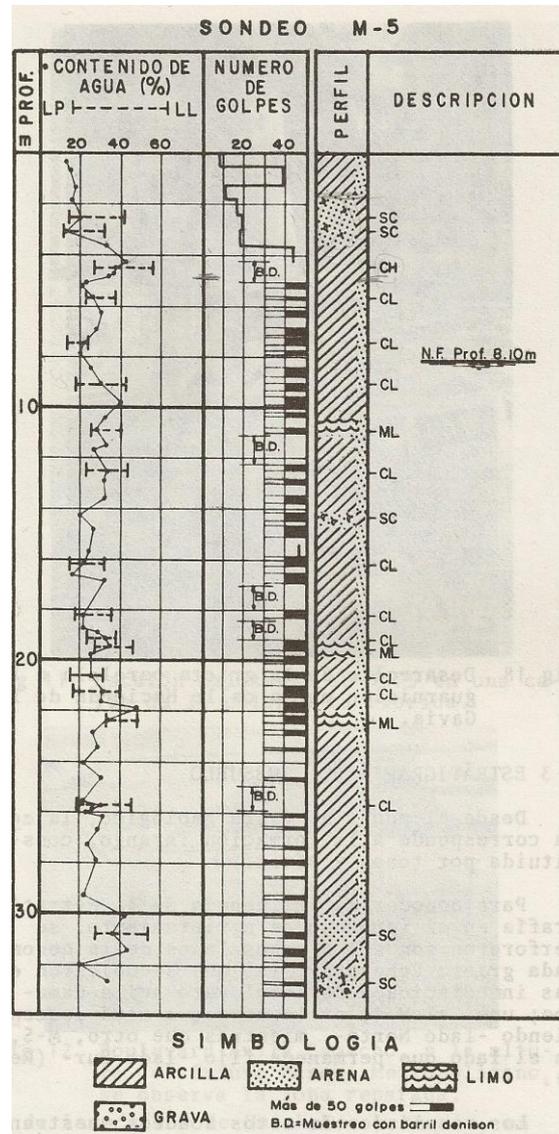


Figura A 1.3 Perfil estratigráfico M-5 (Melgoza, 1978)

En cuanto al sondeo M-5, desde la superficie hasta 1.5m de profundidad se interceptan arcillas arenosas de consistencia firme a dura; posteriormente, hasta 3.6m se encuentra arena arcillosa con gravillas (SC), medianamente compacta. El contenido de agua varía en ambos estratos de 12 a 20%.

Subyaciendo y hasta la máxima profundidad de exploración en ambos sondeos se interceptan arcillas arenosas (CL y CH), de consistencia dura (más de 50 golpes), intercaladas por capas

de arena arcillosa (CL) o de limo arenoso (ML), de espesor variable entre 0.3 y 1.2m. El contenido natural de agua se encuentra entre 12 y 45%, y la resistencia al corte, definida en ensayos de compresión triaxial no consolidada no drenada, presenta cohesión de 40 t/m² y ángulo de fricción interna de 39°; el módulo de elasticidad asociado oscila entre valores de 819 a 4,300 kg/cm² (Melgoza, 1978).

ANEXO II: MEDICIONES REALIZADAS

Piezometría y Distribución de pozos en la zona

En el sondeo M-5 y en un piezómetro colocado a 15m de profundidad se detectó el nivel freático a 8.1m y 8.0m, respectivamente, mientras que otro piezómetro a 25m de profundidad se encontró seco. Se interpretó que la presencia de agua obedecía a un manto colgado.

Por otra parte, se localizaron pozos de extracción de agua en la zona (Ver figura A 2.1) de los cuales se desconocen geometría y gasto, ya que éstos son operados por el municipio o por particulares.

El abatimiento de los niveles piezométricos o de los niveles dinámicos en los pozos se desconoce, salvo en un pozo ubicado en la colonia Bosques de EcheGARAY en el que el abatimiento es de 40m.



Figura A 2.1 Distribución de pozos de extracción de agua en la zona (Simposio SMMS, 1978)

La distribución de los pozos con respecto a la ubicación de las grietas es errática y no se presenta una mayor concentración de éstos cerca de las mismas, lo cual hace más difícil determinar el área de explotación inmoderada.

A continuación se describen las mediciones efectuadas y la instrumentación que se colocó en su momento.

Instrumentación

Bancos de Nivel Profundos

En Mayo de 1975, en el predio ubicado en la esquina de Boulevard Manuel Ávila Camacho y la Avenida Lomas Verdes, se instalaron referencias de nivel y piezómetros a 15 y 25m de profundidad con respecto a un banco de nivel superficial, a las referencias profundas correspondieron cotas iniciales de 10.02 y 10.16m, respectivamente.

Referencias Superficiales

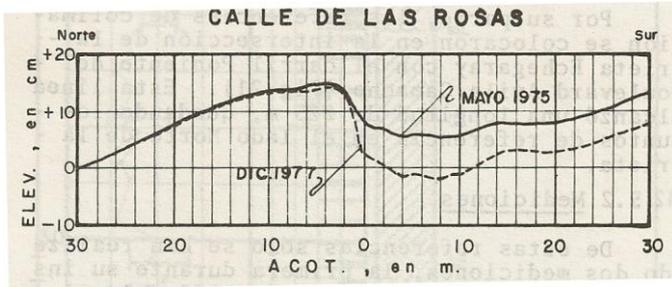
En ese mismo año se marcaron referencias superficiales de nivel y de colimación para evaluar, respectivamente, los desplazamientos verticales y horizontales.

Las referencias de nivel se ubicaron en líneas perpendiculares a la grieta La Florida, en todas las calleas de las colonias Hacienda de Echegaray y La Florida; en cuanto a la grieta Echegaray dichas líneas se localizaron en sus intersecciones con el Blvd. Manuel Ávila Camacho, con la Av. Paseo de la Hacienda de Echegaray y con la calle de Hacienda de Temixco, en el fraccionamiento Bosques de Echegaray. La longitud que abarcaron estas líneas de referencia fue de 60m, salvo en las calles donde algún obstáculo impedía acumular esa distancia.

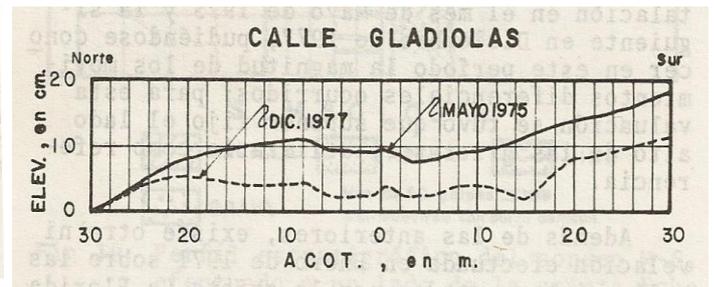
Por su parte las referencias de colimación se colocaron en la intersección de la grieta Echegaray con el carril poniente del Boulevard Ávila Camacho. Dicha línea alcanzó los 225m de longitud y los puntos de referencia quedaron ubicados al norte de la grieta.

Hacienda de Rancho Seco, mientras que en la colonia La Florida se midieron desniveles de 21.5cm en la calle de Margaritas y 7.3cm en la calle de Rosas.

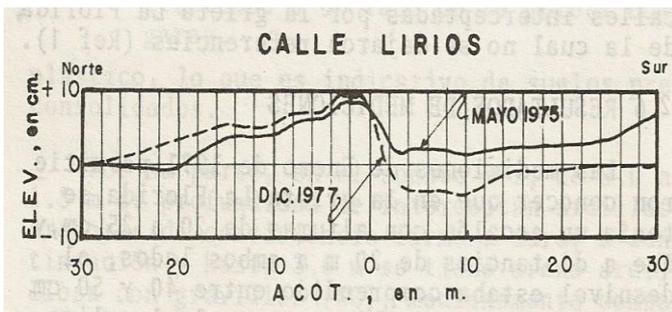
Con relación a las mediciones efectuadas en 1977 se observó que el escalón aumentó a valores de 43cm en la calle de Hacienda de Zotoluca y 25cm en la calle de Rancho Seco.



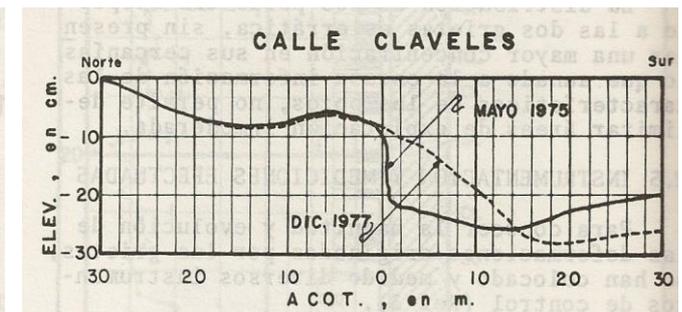
a)



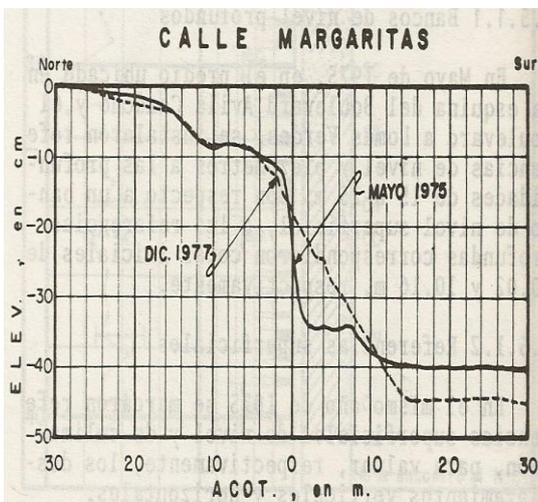
b)



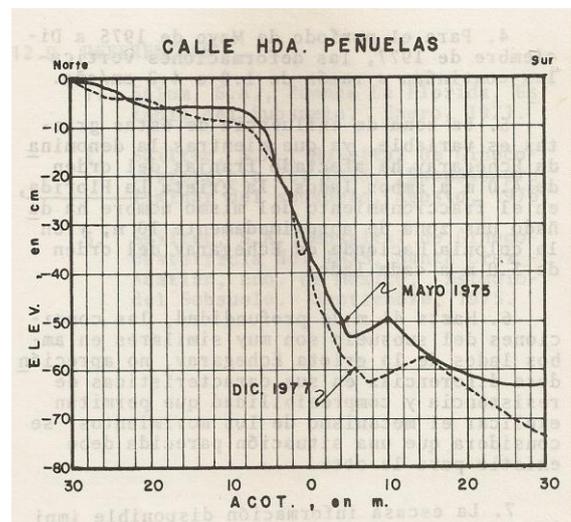
c)



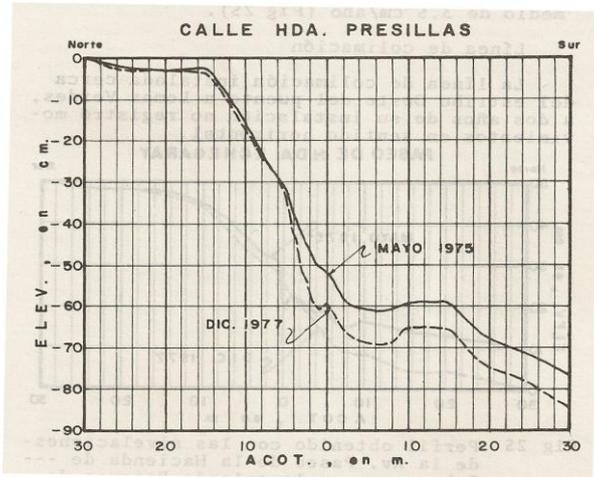
d)



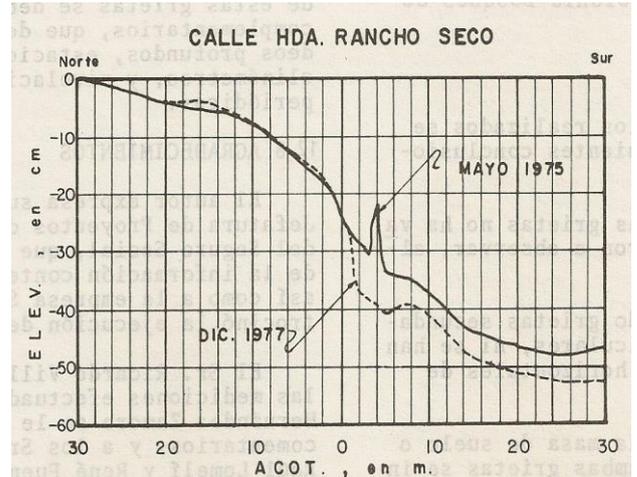
e)



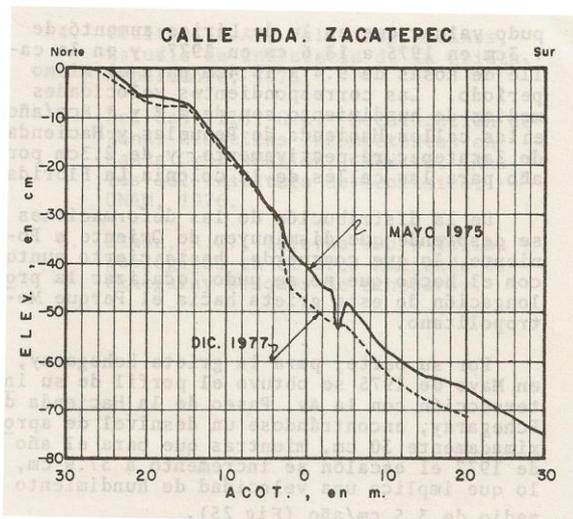
f)



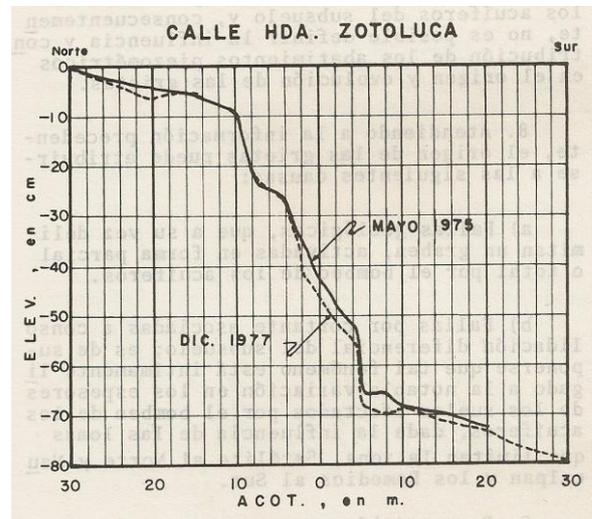
g)



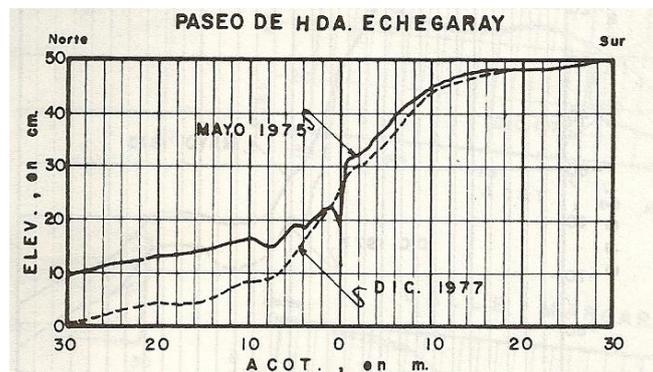
h)



i)



j)



k)

Figuras A 2.3 Gráficas con los resultados de las mediciones efectuadas en las calles de la colonia la Florida (Melgoza, 1978)

REFERENCIAS

1. Aguayo, E., Marín, S., Sánchez, F., (1989), *Evolución Geológica de la Cuenca de México*, Simposio sobre Tópicos geológicos de la Cuenca de México, pp 25-39, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, D.F.
2. Alberro, J., Ayala, G., Hernández, R., (2006), *Agrietamiento en la Periferia de un Valle Sometido a Bombeo*, Serie Investigación y Desarrollo, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, D.F.
3. Auvinet, G., Arias, A., (1991), *Propagación de Grietas*, Simposio de Agrietamiento de Suelos, Reunión de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México, pp 21-31.
4. Blyth, F.G.H., (1995), *Geología para Ingenieros*, Editorial CECSA, México.
5. Carrillo, N., (1969), *El hundimiento de la Ciudad de México y proyecto Texcoco*, Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Fiduciaria: Nacional Financiera SA de CV., México D.F.
6. Chávez, J.M., (2006), *Geotecnia*, Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil C. F. E., México D.F.
7. Ellstein, A., (1978), *Teoría sobre el mecanismo de falla*, "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México", Simposio sobre la ingeniería de cimentaciones en el Valle de México, pp 177-181, Editorial SMMS, México.
8. Galván E., Marín, S., Cruz, D., (1998), *Estudio de hundimientos acelerados en la zona norte del Distrito Federal*.
9. Haas H., (1978), *Naucalpan, Tlalnepantla, Ecatepec, Atizapán, Villa Nicolás Romero*, "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México", Simposio sobre la ingeniería de cimentaciones en el Valle de México, pp 105-118, Editorial SMMS, México.
10. Marín, S., Campos, O., Herrera, M., (2004), *Neotectonic related geological risk at dams in the Mexico Basin: Guadalupe Dam*, Geofísica Internacional Vol. 43, Num. 3, pp 435-443.
11. Melgoza, C., (1978), *Descripción, evolución y origen de los agrietamientos*, "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en el área urbana del Valle de México", Simposio sobre la ingeniería de cimentaciones en el Valle de México, pp 165-175, Editorial SMMS, México.

12. Moreno, G., (1991), *Grietas en la zona de Naucalpan*, Simposio de Agrietamiento de Suelos, pp 75-77 Reunión de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México.
13. Orozco, J.M., Figueroa, G., (1991), *Descripción Cronológica del Desarrollo de los Conocimientos sobre el Agrietamiento de Terrenos*, Simposio de Agrietamiento de Suelos, pp 1-11, Reunión de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México.
14. Santoyo, E., (1991), *Presentación*, Simposio de Agrietamiento de Suelos, Reunión de la Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, México.
15. Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F., León, E., (2005), "Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México", Editorial TGC, México.