



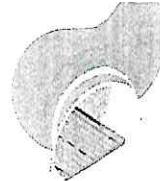
EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

1205

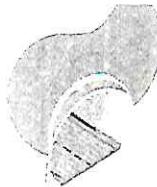
REPORTE DE ESTRATIGRAFÍA

C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

**CONTENIDO**

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 Objetivo.....	4
1.2 Alcances.....	4
2. PROBLEMATICA.....	4
3. MECANISMOS DE GENERACIÓN DE GRIETAS.....	7
4. MARCO GEOLOGICO Y ZONIFICACION SISMICA	9
4.1 Geología Regional.....	9
4.2 Zonificación Geotécnica	10
5. HUNDIMIENTO REGIONAL.....	11
6. CONDICIONES GEOTECNICAS.....	15
6.1 Trabajos de exploración.....	15
6.2 Trabajos de laboratorio.....	16
6.3 Criterios de clasificación.....	17
6.4 Condiciones estratigráficas en sitio.....	17
6.5 Modelo Geotécnico.....	18
7. ANALISIS Y DISEÑO GEOTECNICO DE LA CIMENTACION.....	20
7.1 Análisis de deformaciones.....	20
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	24
9. PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE CAJA DISIPADORA	25
10. GENERALES.....	28
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO.....	30
ANEXO II. RESULTADOS DE LABORATORIO.....	35





Relación de Figuras

Figura 1. Localización del sitio en estudio.....	3
Figura 2. Trayectoria de la grieta	4
Figura 3. Vista de la colindancia norte.....	5
Figura 4. Muros de la estructura de la colindancia oriente.....	5
Figura 5. Agrietamiento en la carpeta asfáltica	6
Figura 6. Vista de la colindancia poniente	6
Figura 7. Vista de la colindancia sur.....	7
Figura 8. Grietas generadas por transición brusca	8
Figura 9. Modelo generado de grietas por presencia de estructuras sepultadas	8
Figura 10. Grietas generadas por fracturamiento hidráulico	9
Figura 11. Carga geológica-minera, Ciudad de México, E14-2.....	10
Figura 12. Zonificación geotécnica de la ciudad de México, NTC-2017.....	11
Figura 13. Bancos de nivel SEHEDIS	13
Figura 14. Evolución del Hundimiento (SEHEDIS).....	13
Figura 15. Velocidad de hundimiento promedio; cm/año (SEHEDIS).....	13
Figura 16. Velocidad de hundimiento promedio.....	14
Figura 17. Ubicación de las exploraciones.....	16
Figura 18. Identificación de las estructuras en campo y vía aérea	20
Figura 19. Geometría del modelo.....	21
Figura 20. Contorno de desplazamientos que ejerce cada una de las estructuras.....	22
Figura 21. Desplazamientos en el eje A-A.....	22
Figura 22. Desplazamientos en el eje B-B	23
Figura 23. Desplazamientos en el eje C-C	23

Relación de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de la exploración geotécnica	15
Tabla 2. Correlación de compacidad relativa de arenas y consistencia relativa del suelo cohesivo, COVITUR 1987.....	17
Tabla 3. Estratigrafía del sitio, (general).....	17
Tabla 4. Correlación de NSPT para estimar cu	18
Tabla 5. Intervalos de valores de la relación de Poisson para suelos típicos, CFE B-2-4	18
Tabla 6. Parámetros geotécnicos de diseño.....	19
Tabla 7. Parámetros geotécnicos de diseño para asentamientos a largo plazo	19



1. INTRODUCCIÓN.

Se solicitó la realización de una exploración geotecnia para determinar la “ESTRATIGRAFÍA DEL SITIO”, en la calle C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX. El sitio en estudio se localiza en las coordenadas geográficas Latitud 19.441186° y Longitud -99.098681° (ver Figura 1).

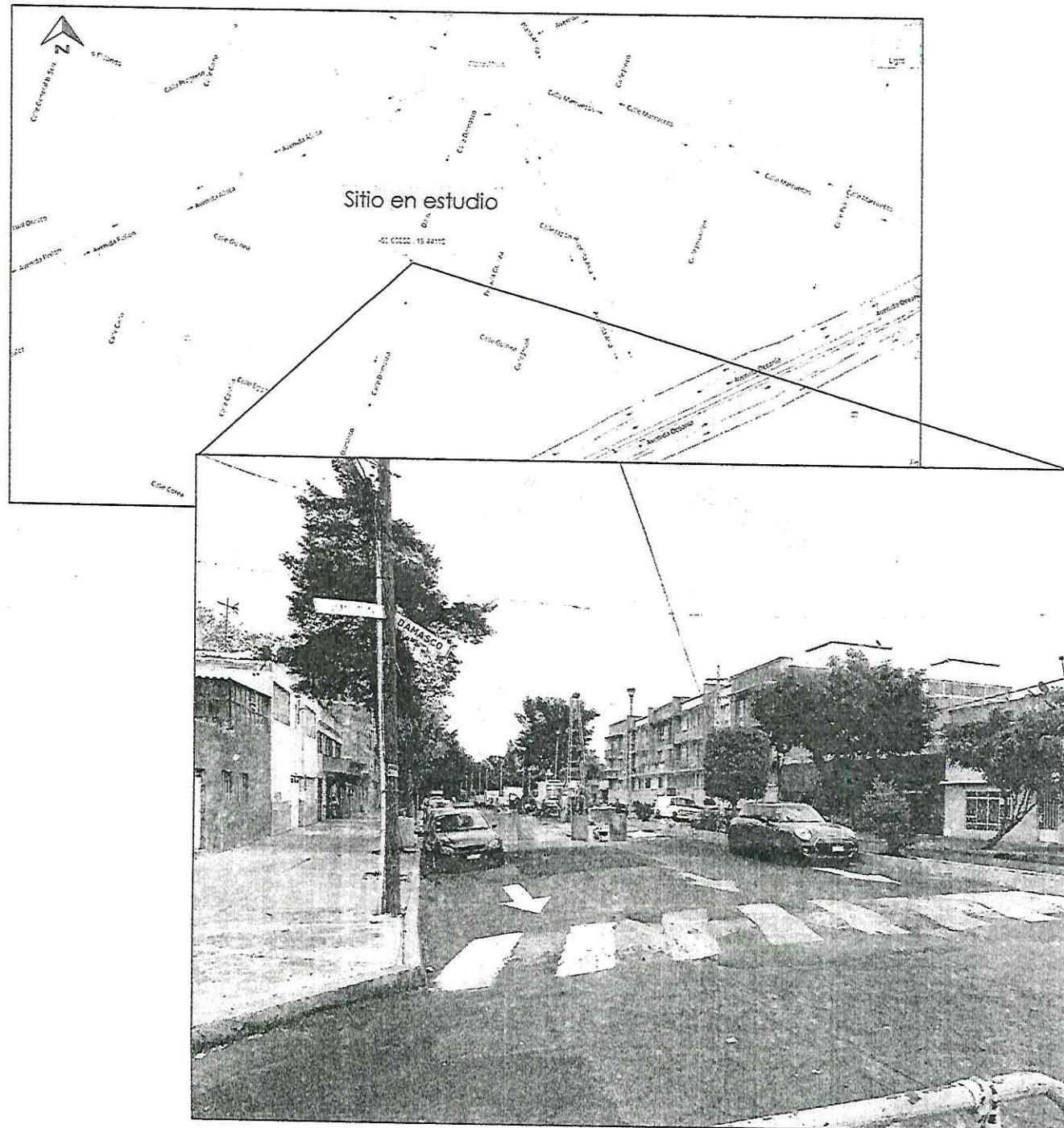


Figura 1. Localización del sitio en estudio.

1.1 Objetivo.

- Determinar por medio de las pruebas índices y mecánicas la estratigrafía del sitio.
- Recomendaciones de forma general para mitigar las anomalías detectadas en sitio.

1.2 Alcances.

A continuación, se mencionan los alcances para cumplir los objetivos planteados anteriormente:

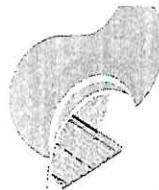
- Definición de las condiciones estratigráficas del sitio.
- Definición del sistema para mitigar las anomalías detectadas en sitio
- Deformaciones de las estructuras aledañas.

2. PROBLEMATICA.

Actualmente se presenta una grieta sobre la capeta asfáltica y muros de las estructuras, esta atraviesa de oriente a poniente en la calle Damasco entre las calles Guinea y Japón.



Figura 2. Trayectoria de la grieta.



EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

En la Figura 3 y Figura 4 se presenta la grieta a lo largo del muro de la colindancia oriente.

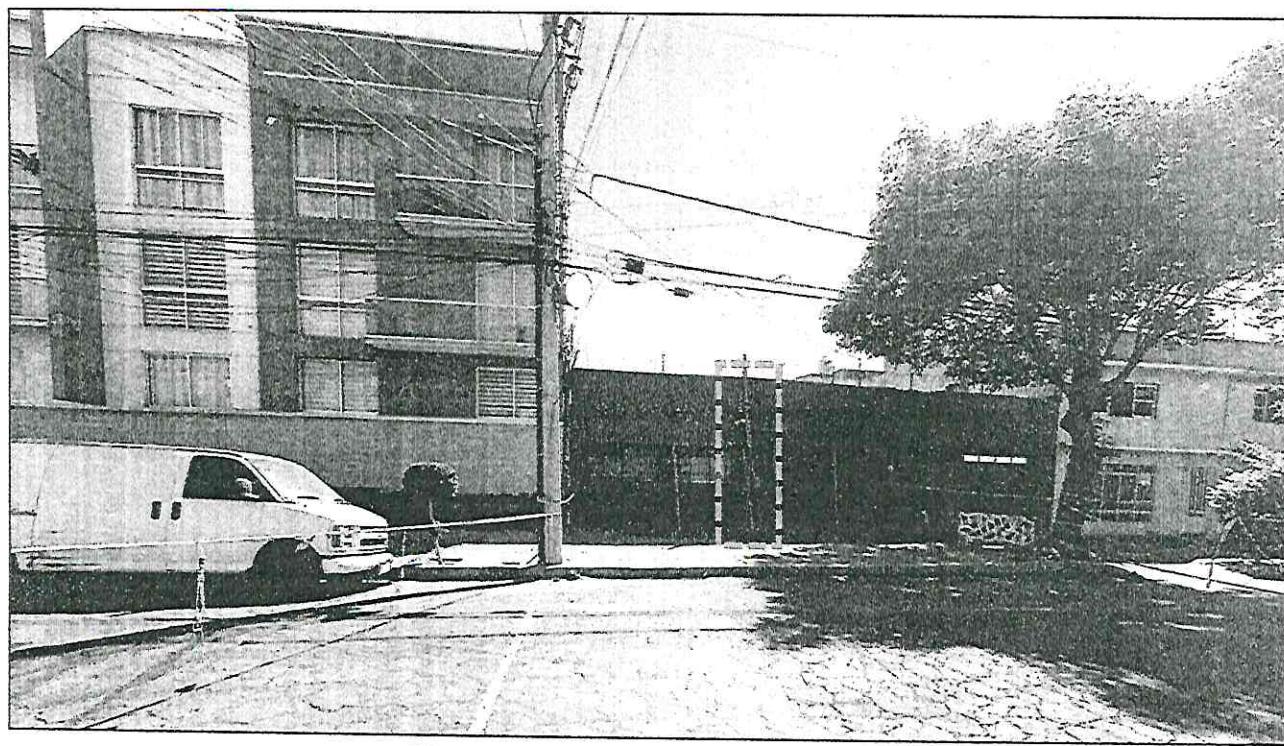


Figura 3. Vista de la colindancia norte.

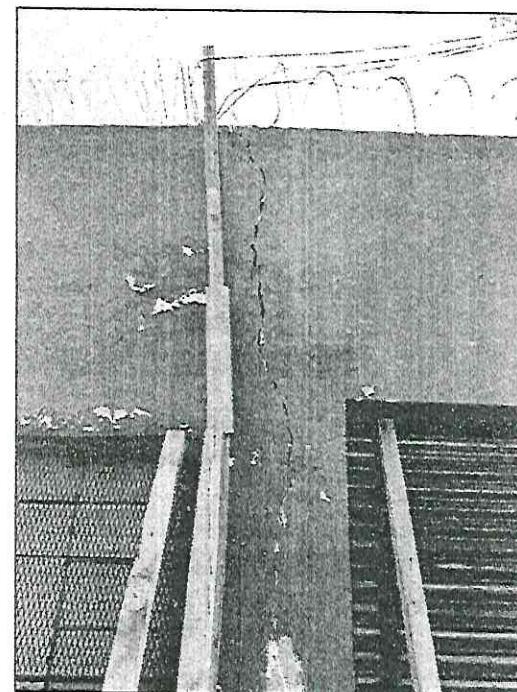
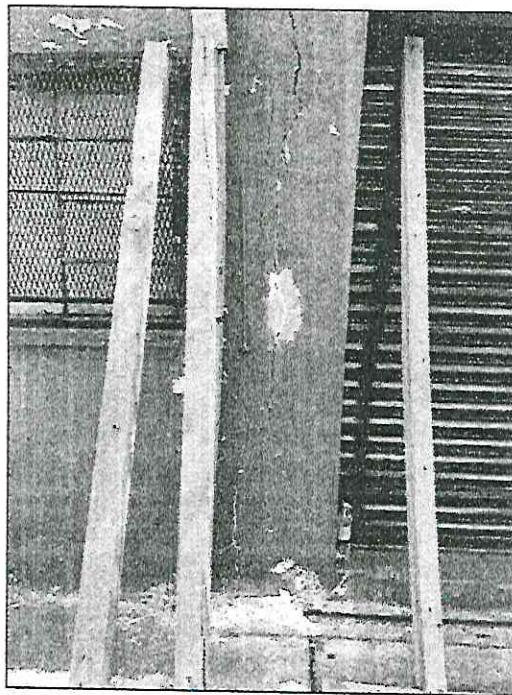


Figura 4. Muros de la estructura de la colindancia oriente.



En la Figura 5 se presenta la grieta en la carpeta asfáltica con una abertura de 3 cm máxima y mínima de 1 cm.

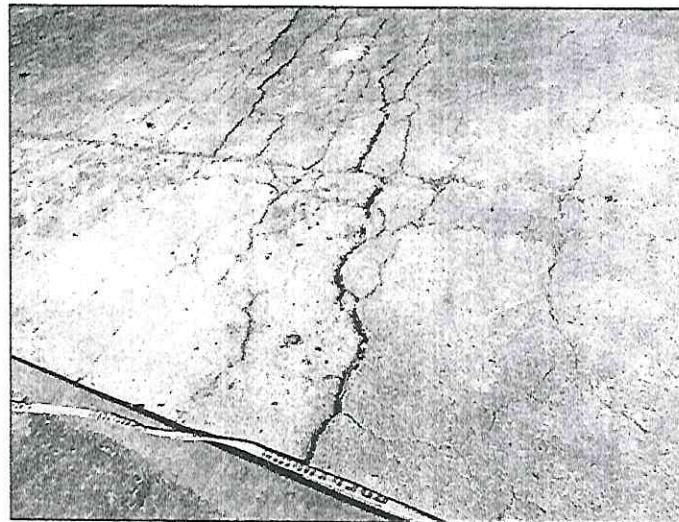
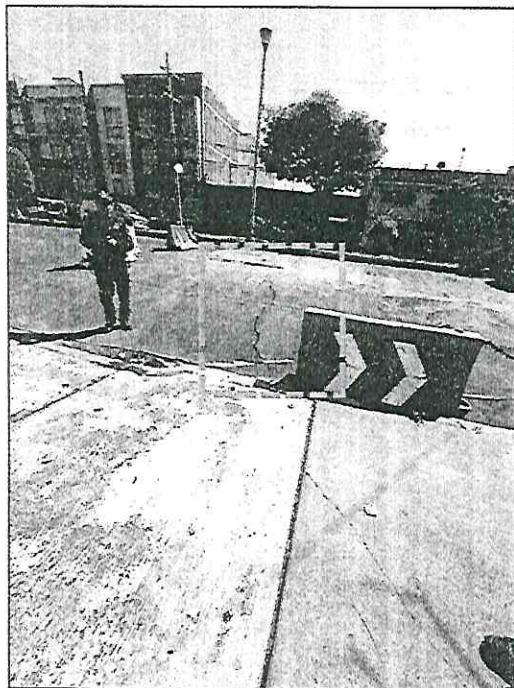


Figura 5. Agrietamiento en la carpeta asfáltica.

En la Figura 6 y Figura 7 se puede visualizar la grieta en la capeta y en el muro de la colindancia poniente. Cabe mencionar que se tiene una placa cubriendo una excavación, quedando expuesta esta desde aproximadamente hace 5 meses, desde la reparación de una tubería.

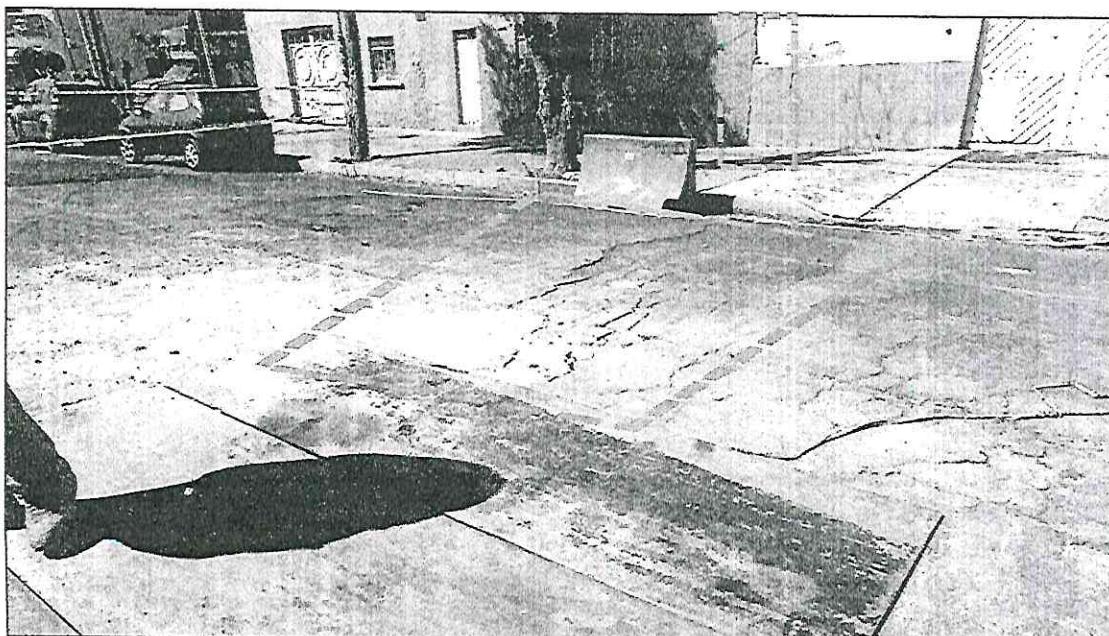


Figura 6. Vista de la colindancia poniente.

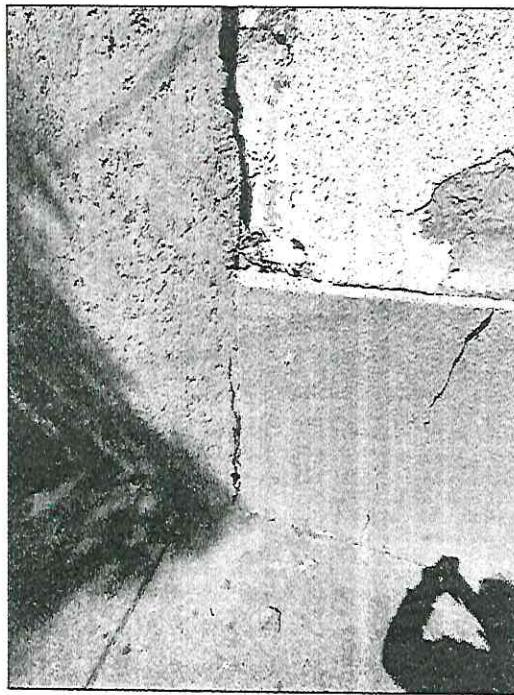
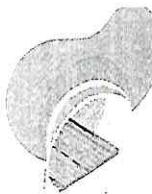


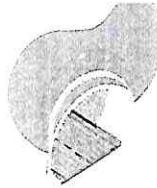
Figura 7. Vista de la colindancia sur.

3. MECANISMOS DE GENERACIÓN DE GRIETAS.

Auvinet (1991) ha identificado cinco mecanismos diferentes de generación de grietas en los suelos de la zona metropolitana del Valle de México, los cuales son:

- **Grietas de transición brusca.** Grietas y fisuras pueden aparecer con frecuencia en zonas de transición abrupta localizadas principalmente en los límites del antiguo lago, donde el espesor de las capas arcillosas interestratificadas con arenas limosas cambia drásticamente en cortas distancias.. el bombeo de agua crea asentamientos diferenciales debido a una disminución del nivel piezométrico en la zona de transición, y seguido a esto se presenta el agrietamiento (Figura 8).
- **Grietas por estructuras geológicas sepultadas.** Flujos de lava volcánica así como depósitos arcillosos se presentan a lo largo de antiguos lagos. La consolidación de los depósitos blandos que cubren dichas estructuras geológicas dará lugar a asentamientos diferenciales que a su vez inducen tensiones y por lo tanto, grietas (Figura 9).
- **Grietas de fracturamiento hidráulico.** Cuando el agua penetra al interior de una pequeña fisura, las concentraciones de tensión pueden provocar un crecimiento de dicha fisura. Este tipo de fenómeno es recurrente en tiempos de lluvias (Figura 10). Las condiciones para la propagación de estas grietas se pueden establecer utilizando los conceptos de Griffith, como se ha descrito por Auvinet (1991, 2008) y Arias (1991).





- **Grietas por irregularidades estratigráficas.** Las variaciones en las propiedades del suelo, principalmente la compresión, puede inducir asentamientos diferenciales como consecuencia del hundimiento regional y, por tanto, se generan tensiones de tracción y grietas cuando el suelo está sometido a consolidación regional.
- **Grietas por evapo-transpiración.** Este tipo de grietas pueden aparecer debido la contracción del suelo durante las estaciones secas, o por la pérdida de humedad de las raíces de plantas y árboles. Este proceso puede producir un zigzagueo en estratos superiores. Estas grietas se extienden por lo general hasta sólo un par de metros.

Los dos primeros mecanismos son una consecuencia directa del hundimiento regional, siendo los más destructivos. El resto de los casos se pueden combinar con los primeros para estimular el crecimiento y propagación de las grietas.

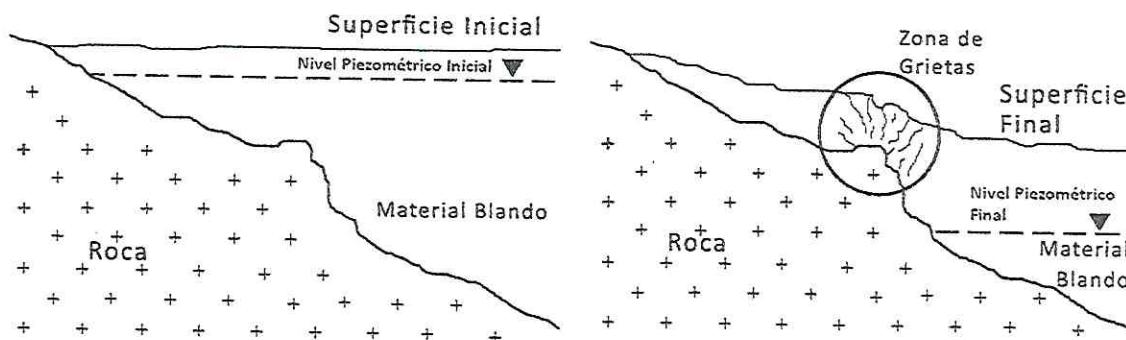


Figura 8. Grietas generadas por transición brusca.

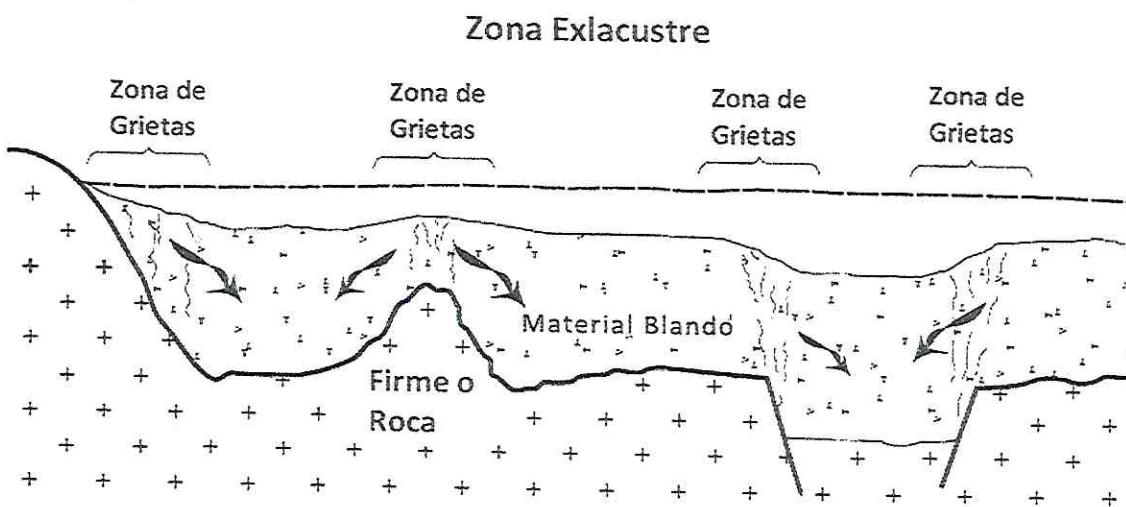


Figura 9. Modelo generado de grietas por presencia de estructuras sepultadas.



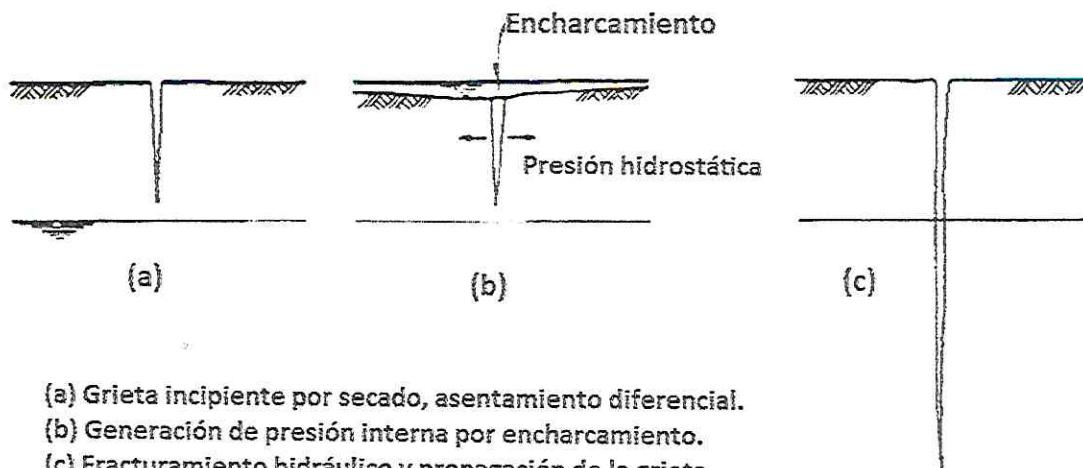


Figura 10. Grietas generadas por fracturamiento hidráulico.

4. MARCO GEOLOGICO Y ZONIFICACION SISMICA.

4.1 Geología Regional.

El territorio que conforma la Alcaldía Venustiano Carranza se ubica en la carta Geológica-Minera "Ciudad de México" E14-2. Esta carta forma parte de la provincia Fisiográfica de la zona Neovolcánica (Raisz E., 1964).

Las rocas del eje Neovolcánico cubren la mayor parte del área, en la porción occidental sobre yacen a la secuencia vulcanosedimentaria del Terreno Guerrero, en la porción norte a rocas sedimentarias de la Cuenca de Zimapán, en la porción nororiental a las calizas de la Cuenca Madre Oriental y en el vértice suroriental a las calizas de la Cuenca Guerrero-Morelos.

En particular, la zona en estudio con base en la Carta Geológica Minera se encuentra en la zona de Moctezuma 1 secc. con la clave Qhoal, denominado Aluvión, y se caracteriza por suelos que rellenan los valles de México, Toluca y Puebla, está conformado por gravas, arenas, cenizas y arcillas, donde el espesor puede variar de 30 a 300 m.

Los subsuelos están caracterizados principalmente por rocas andesitas en las partes altas de la Sierra de Guadalupe. En las partes bajas de la ladera de la Sierra de Guadalupe se encuentran rocas de tipo arenisca, en algunos casos mezclados con tobas. En las partes bajas del Municipio existen suelos de tipo aluvial y lacustre.

En la Figura 11 se muestra la ubicación del sitio en estudio con base en la Carta Geológico Minera "Ciudad de México" E14-2. En todas las elevaciones topográficas se observan capas delgadas de suelos residuales cuya granulometría puede estar compuesta de arcilla cuando la alteración química prevalece, o de arenas y gravilla cuando el intemperismo mecánico domina. En el valle se tiene un espesor



importante de los depósitos del tipo lacustre conformados por arcillas y limos, ambos descansan sobre gruesos paquetes de vulcanosedimentos.

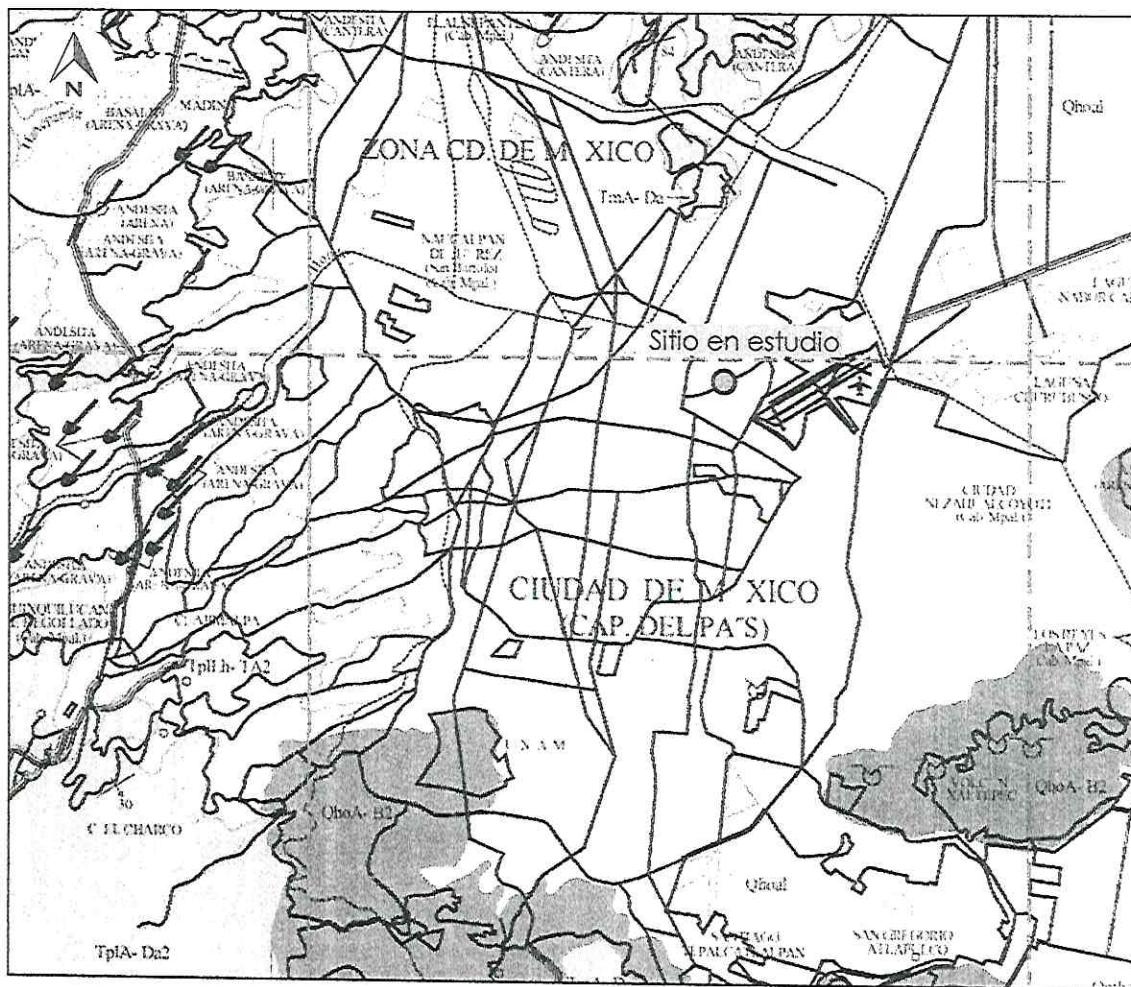


Figura 11. Carga geológica-minera, Ciudad de México, E14-2.

4.2 Zonificación Geotécnica

De acuerdo con la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, el sitio en estudio se localiza en la Zona III (Zona de Lago; Ver Figura 12), integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m. (NTC-CDMX, 2017).



EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

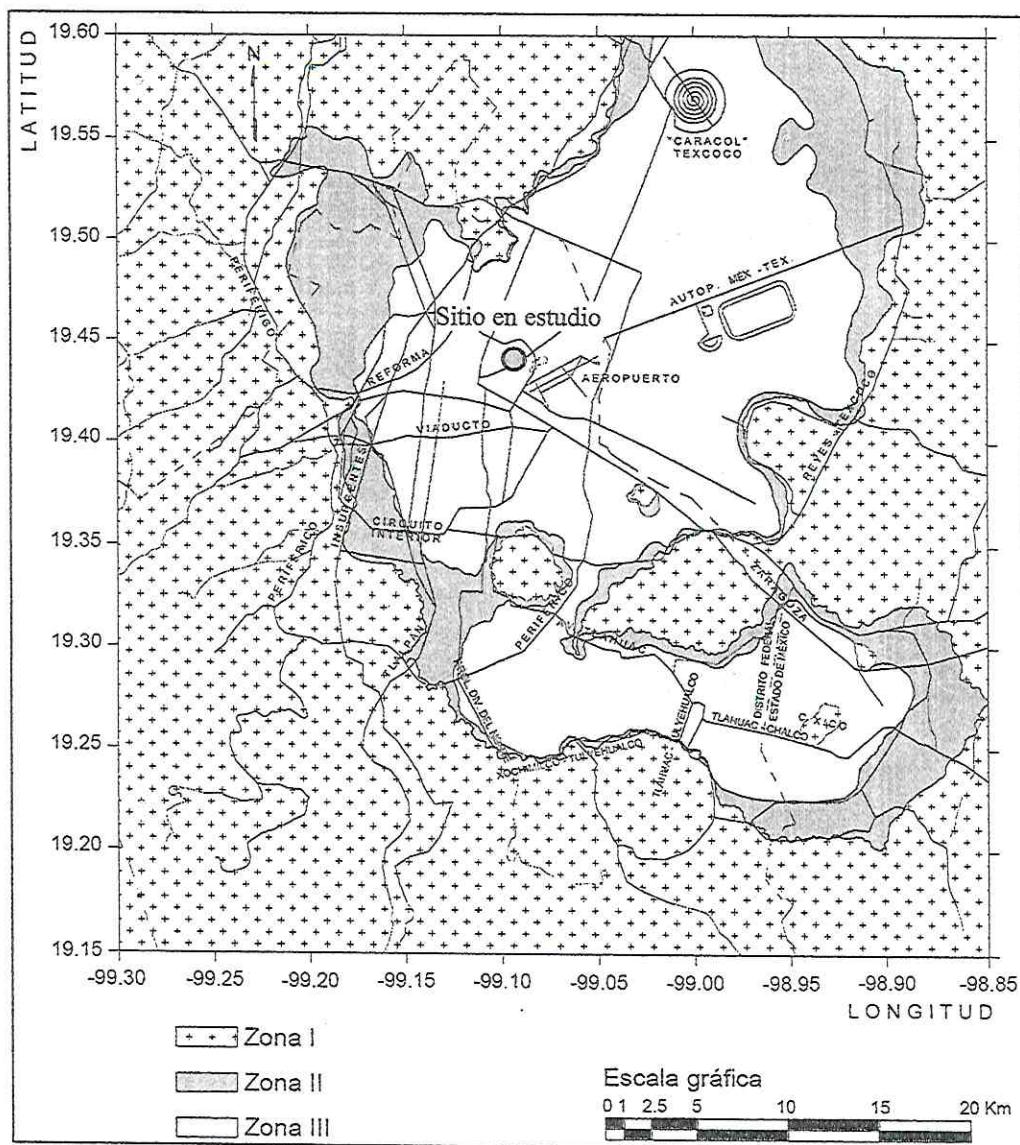


Figura 12. Zonificación geotécnica de la ciudad de México, NTC-2017.

5. HUNDIMIENTO REGIONAL.

Hablar del hundimiento que se presenta en la Ciudad de México por efecto de la compactación de las masas arcillosas, es hablar de la generación de agrietamientos, daños estructurales a vivienda y a la infraestructura, así como de zonas propensas a inundaciones. Aunado a lo anterior, este fenómeno también ha provocado un cambio en las propiedades dinámicas del suelo, que deriva un cambio en los valores de periodo dominante.

Un análisis realizado para evaluar el cambio en los periodos dominantes que ha tenido el subsuelo en un lapso de 20 años por efecto del hundimiento regional dentro de la Cuenca de México, generó una relación que describe el cambio del subsuelo por el hundimiento, reflejando que este cambio se presenta a partir



de $T_0=1.2s$, significando que las zonas de Lomas y Transición presentan de muy poca a nula variación, a diferencia de la zona de lago, que presenta mayores cambios. A raíz de los sismos de septiembre de 1985 que causaron grandes daños en la infraestructura, así como pérdidas humanas, comenzó a estudiarse el riesgo sísmico detalladamente para la ciudad de México con el fin de mitigar daños ante futuros eventos sísmicos. Los estudios realizados señalan que el principal factor en los efectos de sitio fue el contraste de impedancia entre la capa de arcilla y su substrato. En 1987 se publica el primer mapa de isoperíodos para el Distrito Federal, elaborándose con 99 mediciones de los cuales 9 corresponden a estaciones acelerográficas y 90 a datos de vibración ambiental. Posteriormente a la publicación de este primer mapa, se realizaron mediciones adicionales de períodos dominantes utilizando registros de microtemblores y de movimientos fuertes en un gran número de puntos adicionales a los que se disponía en 1987.

En los últimos años diversos autores (Ovando et al., 2007; Aguilar, 2008; Avilés et al., 2010) han venido estudiando el cambio en las propiedades dinámicas del suelo por efecto del hundimiento regional en la ciudad de México. Ovando et al. Mostraron que este fenómeno ocasiona una consolidación del terreno, que a su vez genera un aumento en los esfuerzos de cizalla efectivos que modifican tanto el módulo de cortante, como la velocidad de propagación de ondas S de los depósitos lacustres. Estos autores (ibid) proponen que esto deberá verse reflejado en una revisión constante de los mapas de zonificación y de los espectros de diseño asociados.

La ciudad de México históricamente ha sido una de las áreas más densamente pobladas en el mundo. Actualmente más de 20 millones de habitantes residen en su área metropolitana, donde se utilizan 60 m^3/s de agua potable, de los cuales 40 m^3/s provienen del acuífero que se encuentra bajo la propia ciudad. La extracción de agua subterránea causa el abatimiento de la superficie piezométrica y produce subsidencia del terreno por la consolidación de las arcillas superficiales. Actualmente la subsidencia del terreno en la mayor parte de la Ciudad de México varía de 5 a 10 cm anuales y existen zonas locales con hasta 35 cm/año en el área de Xochimilco.

El hundimiento regional anual en la zona en estudio equivale a 15.0 cm al año, aproximadamente.



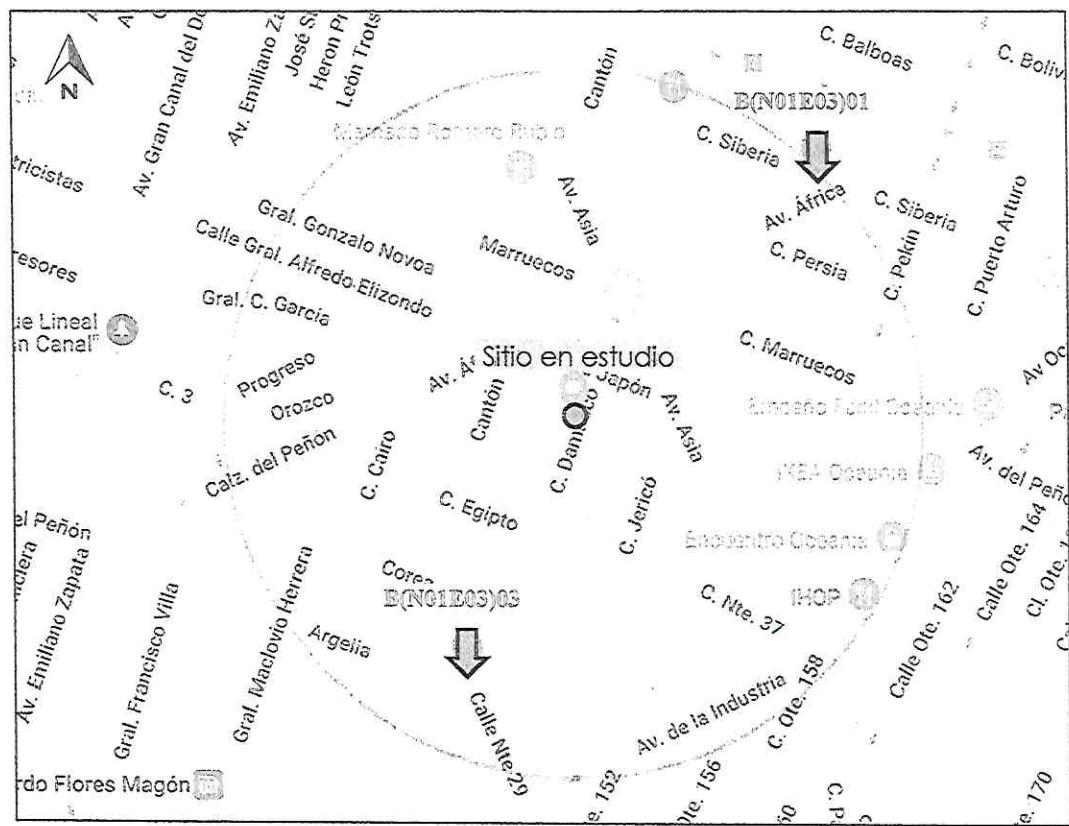


Figura 13. Bancos de nivel SEHEDIS.

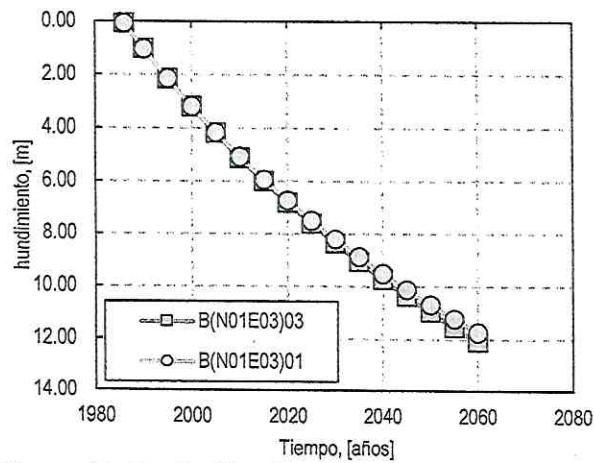


Figura 14. Evolución del Hundimiento (SEHEDIS).

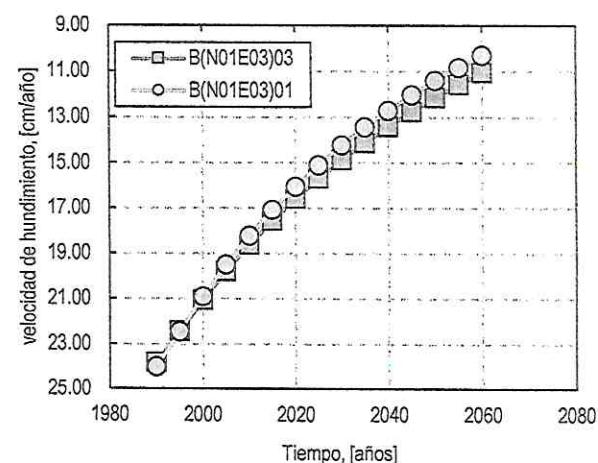


Figura 15. Velocidad de hundimiento promedio; cm/año (SEHEDIS).





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

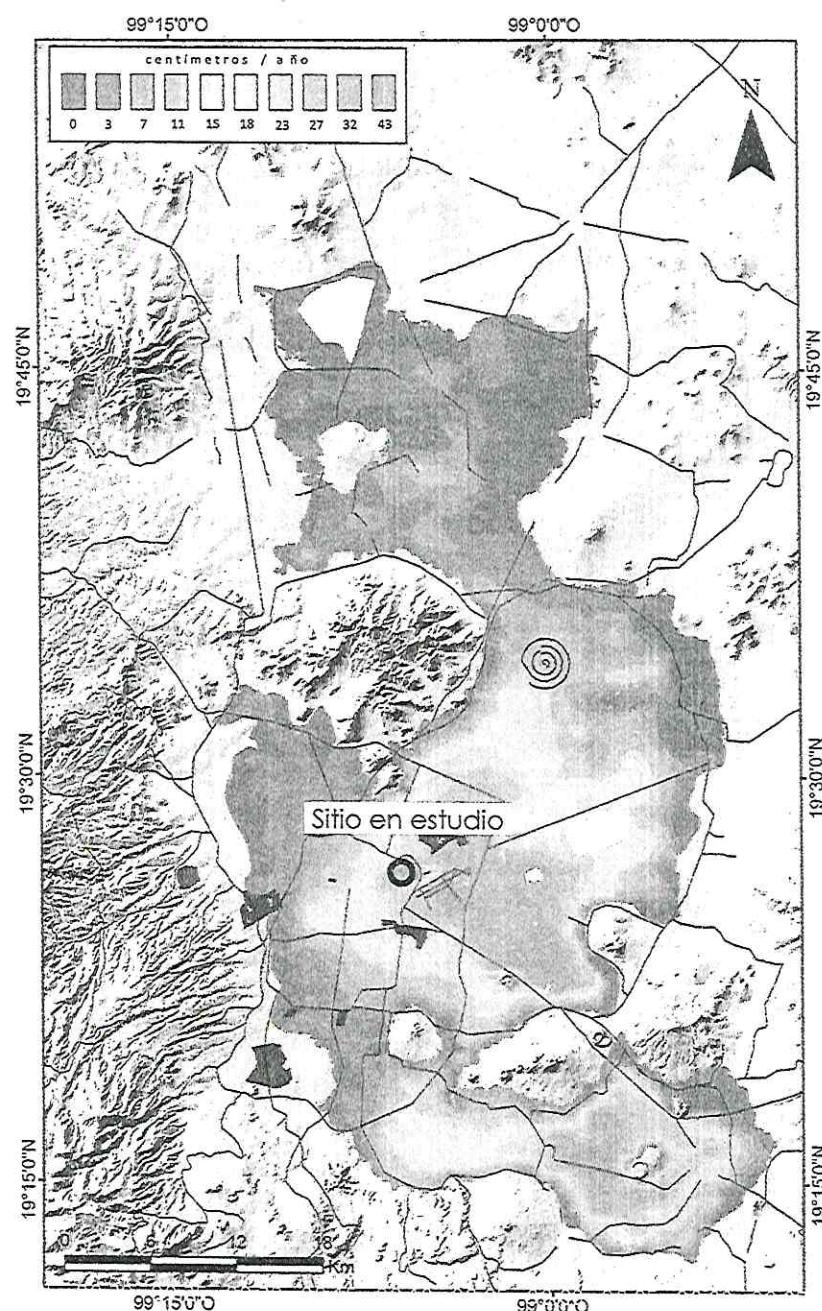


Figura 16. Velocidad de hundimiento promedio.

6. CONDICIONES GEOTECNICAS.

6.1 Trabajos de exploración.

Para definir las condiciones estratigráficas del sitio, se llevaron a cabo sondeos de exploración profunda, mediante la ejecución de ensaye de penetración estándar (SPT). La Tabla 1 muestra las profundidades y coordenadas de las exploraciones geotécnicas.

Tabla 1. Coordenadas de la exploración geotécnica.

Sondeo	Profundidad de exploración	Coordenadas	
	[m]	latitud	longitud
SM-1	20.30	19.441109°	-99.098749°
SM-1	20.30	19.441186°	-99.098681°
SM-1	20.30	19.441093°	-99.098625°

Sondeo de penetración estándar. Las pruebas de penetración estándar se efectuaron siguiendo lo especificado por la norma ASTM D-1586 (American Standard Testing of Materials), la cual consiste en el hincado de un tubo partido o de media caña de 60 cm de longitud y 4.0 cm de diámetro, aproximadamente, por medio de la energía proporcionada por un martillo de 63.5 kg de peso dejado caer desde una altura libre de 76.0 cm. Durante este proceso se obtienen muestras alteradas, llevándose además un registro del número de golpes necesarios para hacer penetrar dentro del suelo los 30.0 cm intermedios del penetrómetro. Cuando el número de golpes N es superior a 50 (suelo de resistencia muy alta o con presencia de gravas) en un avance máximo de 15.0, se continúa la perforación con una broca triconica hasta complementar los 60.0 cm. Este registro permite inferir a través de correlaciones la compacidad de los suelos granulares y la consistencia de los materiales finos.

Tubo shelby. Está constituido por un tubo de acero, aluminio y latón, este debe ser hincados con velocidad constante entre 15 y 30 cm/s una longitud de 75 cm; esto es, considerando que el tubo sea de un metro, queda vacío en la longitud mínima de 15 cm donde se alojan los azoltes que pudieran haber quedado dentro del tubo. Después del hincado se deja el muestreador en reposo de tres a cinco minutos, para que la muestra se expanda en el interior y aumente su adherencia contra las paredes, a continuación, se corta la base del espécimen girando dos vueltas el muestreador, se saca al exterior; se limpian sus extremos y se identifica el tubo.

Las muestras de suelo recuperadas durante la exploración fueron identificadas y protegidas contra la posible pérdida de humedad con el fin de trasladarlas al laboratorio, para practicarles los ensayos índices y mecánicos. En la Figura 17 se presenta la ubicación de los trabajos de la campaña de exploración y en el Anexo II, el perfil estratigráfico correspondiente a cada uno de estos.





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

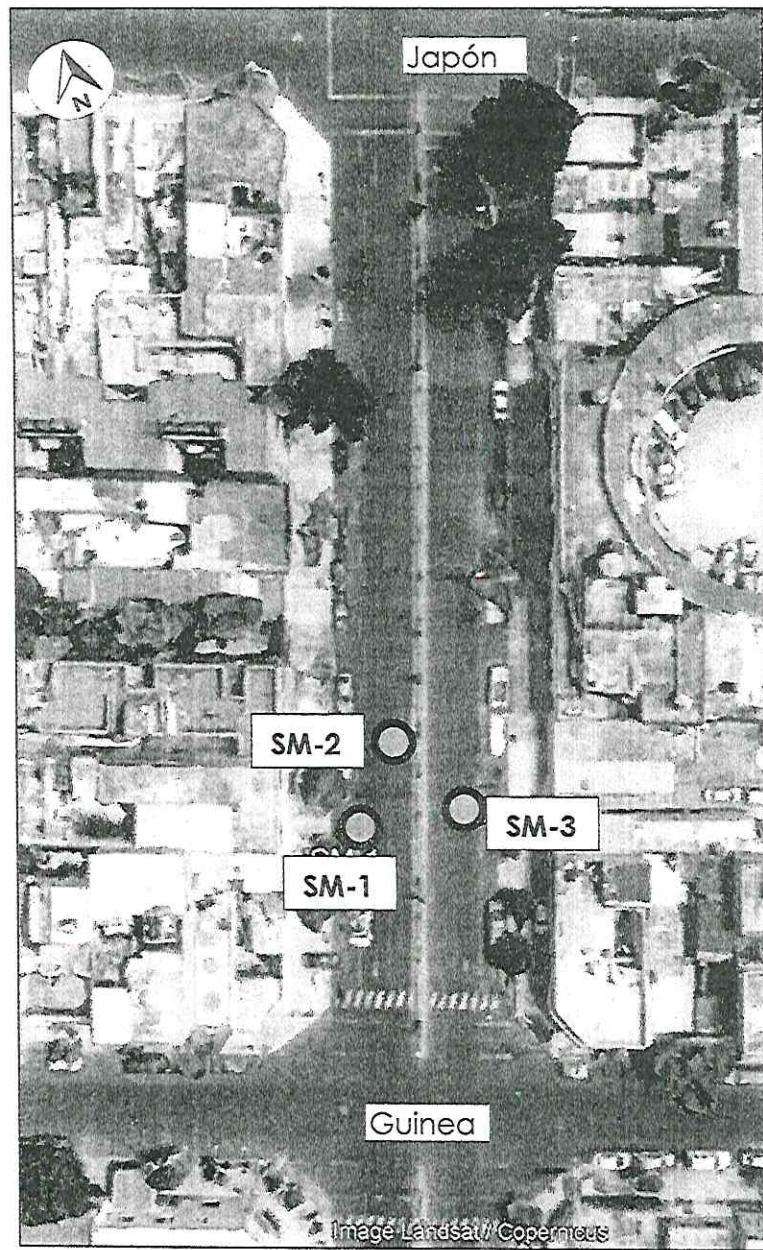


Figura 17. Ubicación de las exploraciones.

6.2 Trabajos de laboratorio.

La totalidad de las muestras recuperadas en la campaña de exploración se trasladaron al laboratorio, donde inicialmente se clasificaron visual y manualmente para programar posteriormente la ejecución de los ensayos correspondientes, encaminados a determinar las propiedades de tipo índice y mecánicas de los materiales explorados de acuerdo con lo siguiente:

Ensayos de tipo índice programadas en muestras alteradas representativas como son:





- Clasificación visual y al tacto (ASTM D2488),
- Contenido natural de agua (ASTM D2216).
- Límites de consistencia (ASTM D4318).
- Análisis granulométrico (ASTM 422).
- Peso volumétrico (ASTM D7263).
- Densidad de sólidos (ASTM D 854).

Los resultados obtenidos de estas pruebas nos permiten realizar la clasificación de los suelos de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Ensajes de tipo mecánico: programadas en muestras de tipo inalteradas recuperadas mediante tubos Shelby o muestras cúbicas; dichos ensajes están orientados a determinar los parámetros que definen la resistencia al esfuerzo cortante y deformabilidad, los ensajes corresponden a las pruebas:

- Resistencia a la compresión Triaxial "TX-UU" (ASTM D 2850).
- Consolidación unidimensional (ASTM D 2435).

6.3 Criterios de clasificación.

Para la clasificación de los estratos detectados por el número de golpes obtenidos se apoyó de la Tabla 2. En el Anexo II se presentan los perfiles estratigráficos llevados a cabo durante la campaña de exploración.

Tabla 2. Correlación de compacidad relativa de arenas y consistencia relativa del suelo cohesivo, COVITUR 1987.

Número de golpes	Compacidad Relativa de la Arena	Consistencia, suelos cohesivos	
		Número de golpes	Consistencia.
0-4	Muy suelta	Muy blanda	< 2
5-10	Suelta	Blanda	2 - 4
11-30	Media	Media	5 - 8
31-50	Densa	Firme	9 - 15
Más de 50	Muy densa	Muy firme	16 - 30
		Dura	> 30

6.4 Condiciones estratigráficas en sitio.

Con los resultados de la exploración geotécnica y resultados de las pruebas de laboratorio, las condiciones estratigráficas del subsuelo del sitio está constituida por los siguientes materiales que se muestran en la Tabla 3 (las profundidades que se reportan son a partir del nivel de terreno actual en el punto explorado).

Tabla 3. Estratigrafía del sitio, (general).

U.E.	profundidad [m]	descripción	
		de	a
	0.00 - 1.20	Superficialmente se encuentra una carpeta asfáltica de 30 cm de espesor	



**EXSOIL**

DESARROLLOS, INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

profundidad			descripción
U.E.	[m]	de a	
			Material de relleno controlado compuesto por un limo arenoso color café oscuro y claro.
I	1.20 – 20.30 (fin del sondeo)		Arcilla de alta plasticidad color gris verdoso de consistencia muy blanda con intercalaciones de arcilla color café rojizo y lentes de arena fina volcánica color negra de compacidad suelta. El valor del NsPT en la prueba de penetración estándar fue de 1 golpe.

U.E.: Unidad Estratigráfica

Nivel de aguas superficiales: El nivel de aguas se detectó a la profundidad de 3.40 m de acuerdo a la exploración geotécnica.

6.5 Modelo Geotécnico.

Se emplearon algunas correlaciones de diferentes autores, las cuales son aplicables para los materiales detectados para la resistencia al esfuerzo cortante no drenada (ver Tabla 4) y la relación de Poisson (ver Tabla 5).

Tabla 4. Correlación de NSPT para estimar cu.

Tipo de suelo	NSPT	cohesión [t/m ²]	ϕ
Suelos cohesivos	Muy blanda	< 2	< 1.2
	Blanda	2 - 4	1.2 - 2.5
	Media	5 - 8	2.5 - 5.0
	Dura	9 - 15	5.0 - 10.0
	Muy dura	16 - 30	10.0 - 20.0
	Durísima	> 30	> 20.0
Suelos no cohesivos	Suelto	< 10	28
	Medio	10 - 30	0
	Denso	> 30	32
Suelos intermedios	Suelto	< 10	0.5
	Medio	10 - 30	0.5 - 5.0
	Denso	> 30	5

Tabla 5. Intervalos de valores de la relación de Poisson para suelos típicos, CFE B-2-4.

Tipo de suelo	v
Arcilla saturada	0.4 – 0.5
Arcilla no saturada	0.1 – 0.3
Arcilla arenosa	0.2 – 0.3
Limo	0.3 – 0.35
Arena densa	0.2 – 0.4

Tipo de suelo	ν
Arena gruesa (relación de vacíos =0.4-0.7)	0.15
Arena fina (relación de vacíos =0.4-0.7)	0.25
loess	0.1 – 0.3

NsPT número de golpes en la prueba de penetración estándar.

Con base en los resultados de la exploración geotécnica y de las pruebas de laboratorio (Anexo II), en la Tabla 6 se presentan los parámetros geotécnicos de diseño. Debido al tipo de materiales en algunas profundidades se estimaron las propiedades mecánicas a partir de correlaciones con el número de golpes del SPT.

Tabla 6. Parámetros geotécnicos de diseño.

U.E.	de [m]	a [m]	γ_m [t/m ³]	c [t/m ²]	ϕ [°]	ν	E_{50} [t/m ²]
I	0.50	2.00	1.45	3.0	25	0.35	950
II.1	2.00	8.20	1.14	2.2	2	0.50	300
II.2	8.20	13.20	1.14	2.2	4	0.50	300
III (arena)	10.40	10.70	1.68	1.0	20	0.33	950
II.3	17.60	25.40	1.13	3.1	3	0.50	400

γ_m , peso volumétrico natural.

c, cohesión en parámetros totales

ϕ , ángulo de fricción en parámetros totales.

E_{50} , módulo de elasticidad estático.

ν , relación de Poisson.

K_0 , empuje en reposo.

En la Tabla 7 se presentan los parámetros de diseño geotécnico empleados en los análisis a largo plazo. Estas propiedades se determinaron con base en las pruebas de laboratorio. Las relaciones de vacíos iniciales (e_0), se estimaron considerando el esfuerzo vertical efectivo in-situ. El esfuerzo de preconsolidación (P_c), el coeficiente de compresibilidad volumétrica (m_v), el coeficiente de consolidación (c_v), el índice de compresibilidad (c_c) y el índice de recompresión (c_r), fueron determinados de las curvas de compresibilidad de las pruebas de consolidación unidimensional realizadas a las diferentes muestras.

Tabla 7. Parámetros geotécnicos de diseño para asentamientos a largo plazo.

U.E.	de [m]	a [m]	c_c	c_r	P_c [t/m ²]	e_0	m_v [cm ² /kg]	c_v [m ² /s]
II.1	2.00	8.20	4.43	0.23	4.7	6.35	0.1917	2.88E-07
II.2	8.20	13.00	2.89	0.21	6.24	5.72	0.1099	6.48E-07
II.3	13.00	20.30	0.20	0.06	8.0	7.34	0.0164	9.94E-07

m_v , coeficiente de compresibilidad volumétrica.

c_c , índice de compresibilidad.

c_r , índice de recompresión.

P_c , esfuerzo de preconsolidación.

e_0 , relación de vacíos.

c_v , coeficiente de consolidación.





7. ANALISIS GEOTÉCNICOS.

7.1 Análisis de deformaciones.

Se realizo un modelo numérico (a largo plazo) para evaluar el comportamiento de las estructuras aledañas con respecto a la trayectoria de la grieta, tomando en cuenta los parámetros de la Tabla 6 y Tabla 7, en este se incluye el suelo y geometría de las estructuras, con una propuesta de sobrecarga para las diferentes estructuras visualizadas en campo y por Google Earth, Figura 18 y Figura 19.

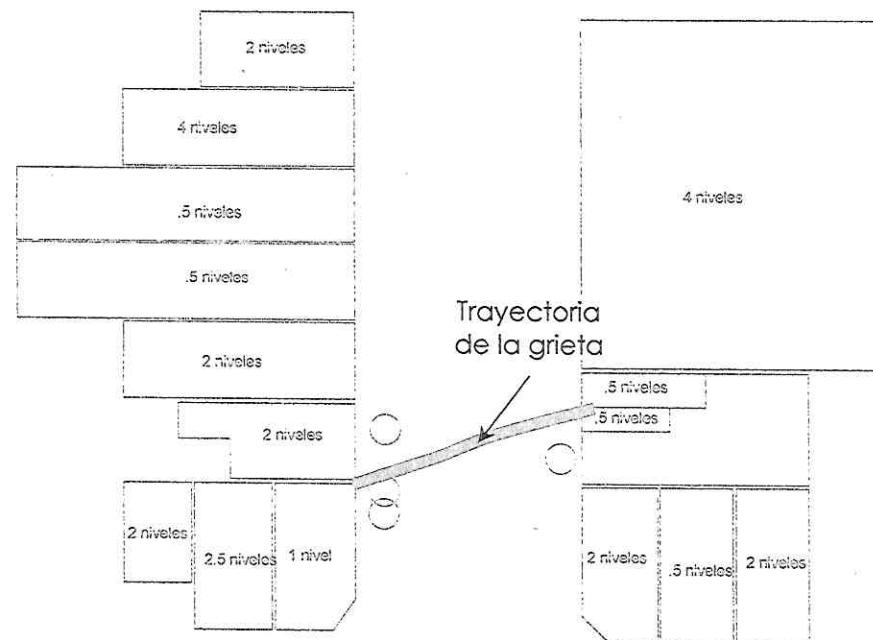


Figura 18. Identificación de las estructuras en campo y vía aérea.





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

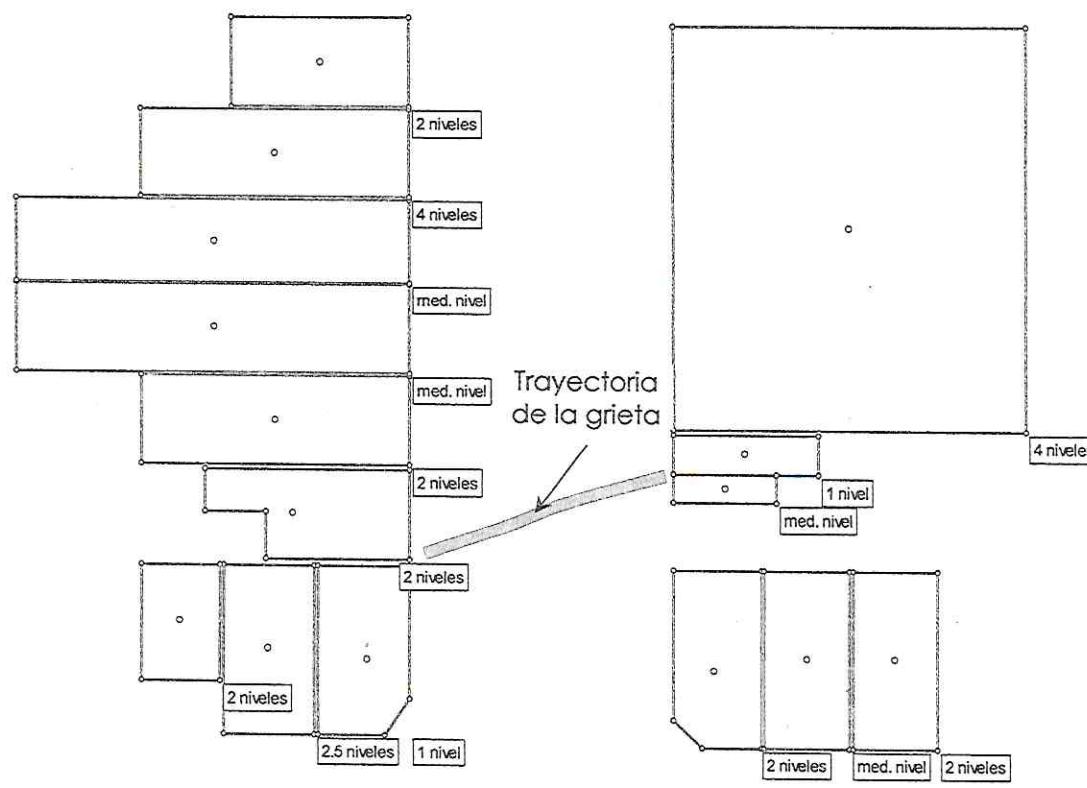


Figura 19. Geometría del modelo.

Se colocaron diferentes puntos de referencia para monitorear los desplazamientos el conjunto de las estructuras como se observa en la Figura 20.





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

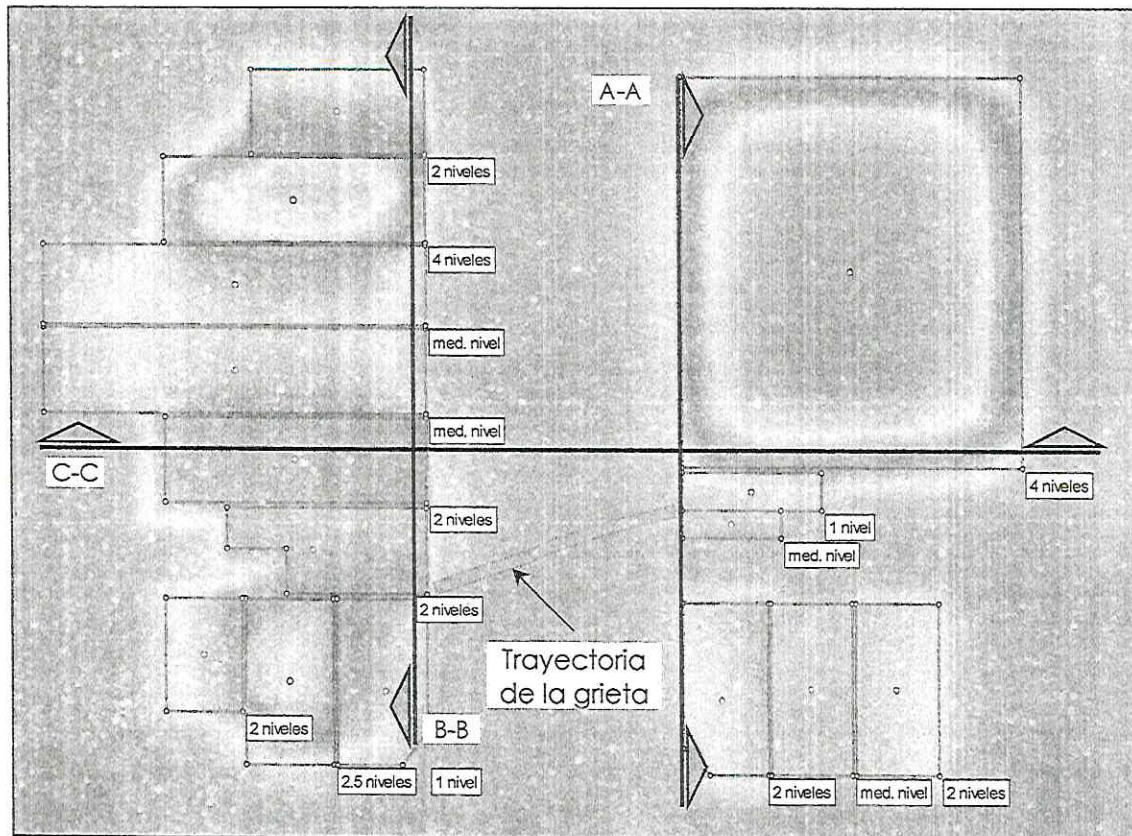


Figura 20. Contorno de desplazamientos que ejerce cada una de las estructuras.

Punto donde se refleja la
grieta en superficie

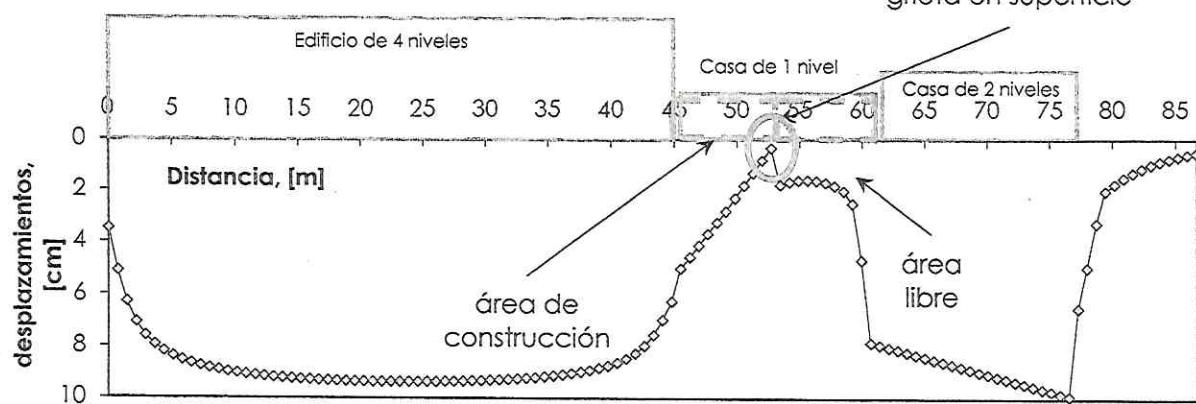


Figura 21. Desplazamientos en el eje A-A.

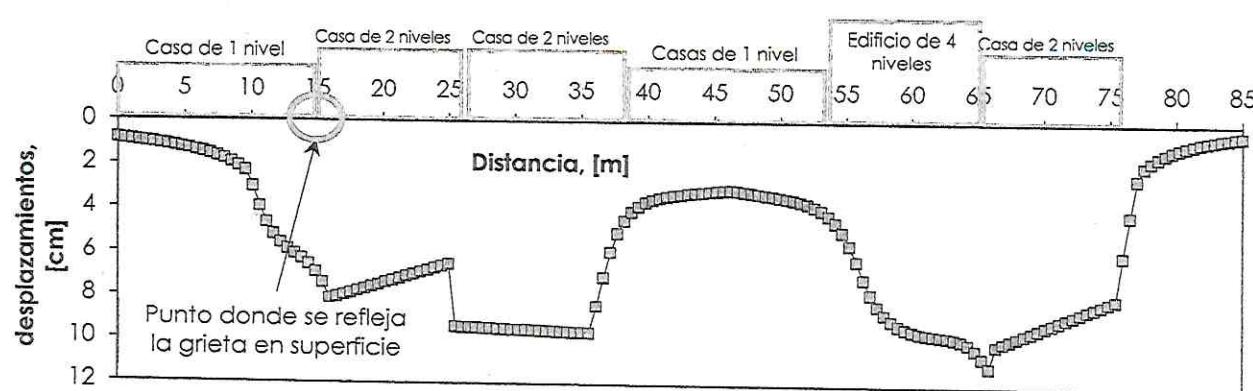
En la Figura 21 se puede ver los diferenciales son de 5 cm del lado norte y de 2 cm del lado sur, sin embargo, en el centro se presenta una deformación nula, la cual se refleja en la grieta en la superficie y en la fractura del muro de la estructura.





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA



En la Figura 22 se puede ver los diferenciales son de 2 cm del lado sur y de 6 cm del lado norte, la cual se refleja en la grieta y en la fractura del muro de la estructura.

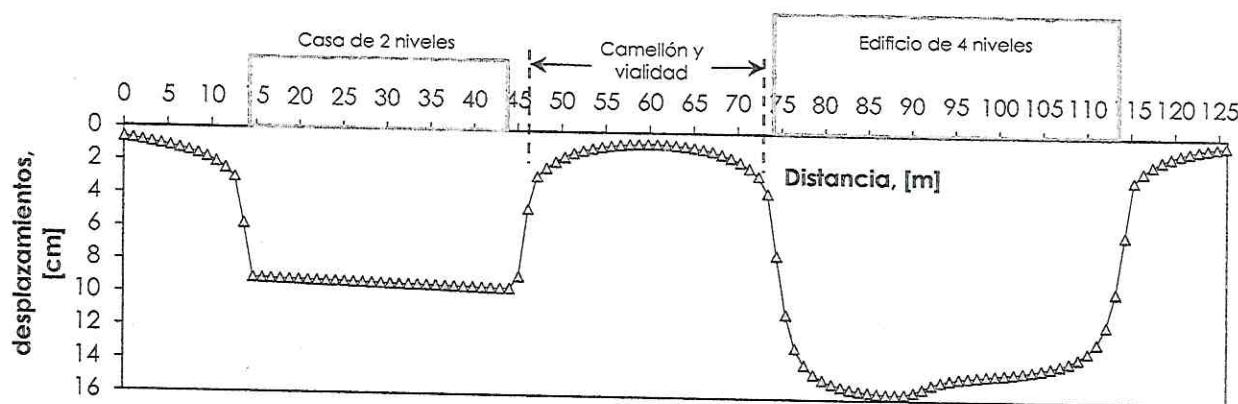
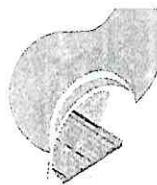


Figura 23. Desplazamientos en el eje C-C.

En la Figura 23 se puede ver las deformaciones como se reflejan en sitio como se parecía la forma "abombada" en la parte del camellón y la vialidad.



8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Para conocer las características estratigráficas y físicas de los depósitos del subsuelo se realizaron **TRES Sondeos Mixtos (SM)** a una profundidad de **20.30 m**, de los cuales se recuperaron muestras integrales e inalteradas para la obtención de sus parámetros índice y mecánicos.

Zona Geotécnica III (Zona de Lago).

Nivel de aguas superficiales: El nivel de aguas se detectó a la profundidad de **3.40 m** de acuerdo a la exploración geotécnica.

El hundimiento regional anual de la zona en estudio equivale a **15.0 cm** aproximadamente.

Se realizó un modelo numérico (a largo plazo) para evaluar el comportamiento de las estructuras aledañas con respecto a la trayectoria de la grieta, tomando en cuenta los parámetros de la Tabla 6 y Tabla 7, en este se incluye el suelo y geometría de las estructuras, con una propuesta de sobrecarga para las diferentes estructuras visualizadas en campo y por Google Earth.

En los análisis realizados se puede observar que las deformaciones que ejerce cada una de las estructuras que se identificaron en campo y con una sobrecarga propuesta (estas se deberán de corroborar por un análisis estructural), donde las estructuras mayores ejercen una influencia de esfuerzos sobre las menores, aunadas con los cambios de materiales en la masa de suelo que se identificaron con los sondeos de exploración y líneas realizadas con la Geofísica (tomografía eléctrica), así como de los factores climáticos y exteriores; lluvia o fugas de agua (negra o potable), árboles de gran altura, etc., que se tienen en el sitio influyen para que la grieta se haya presentado.

Se recomienda realizar un mantenimiento en el área de la grieta para mitigar las deformaciones que esta pueda sufrir a futuro, ya que por los factores mencionados anteriormente esta problemática se puede volver a presentar.

Para el mantenimiento de la grieta se colocará material de tezontle y arena para formar una caja disipadora de deformaciones para suavizar los cambios de pendiente y mitigar los efectos destructivos de los escarpes de la grieta, esta deberá ser a lo largo de la trayectoria de la grieta (de acuerdo con el instituto de ingeniería y al comité de control de grietas).

Esta información se complementó con el Estudio Geofísico (tomografía eléctrica) para la verificación de los materiales y profundidad de la detección de la grieta.

En el Anexo 2 Resultados de Laboratorio se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas.



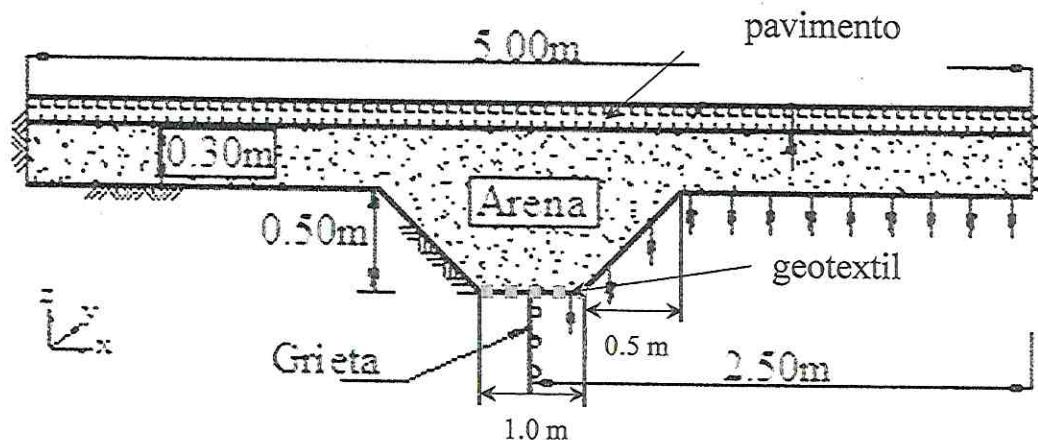


EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

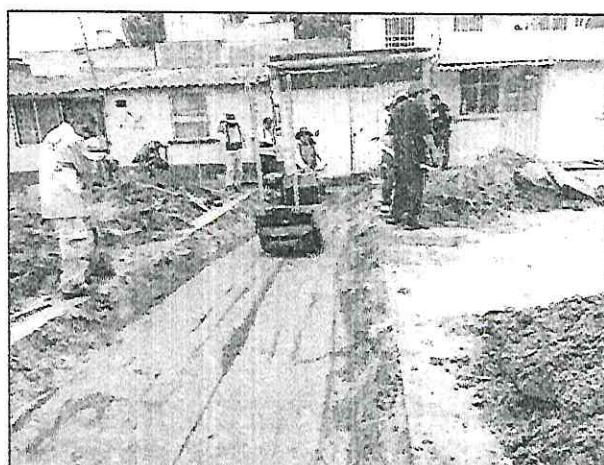
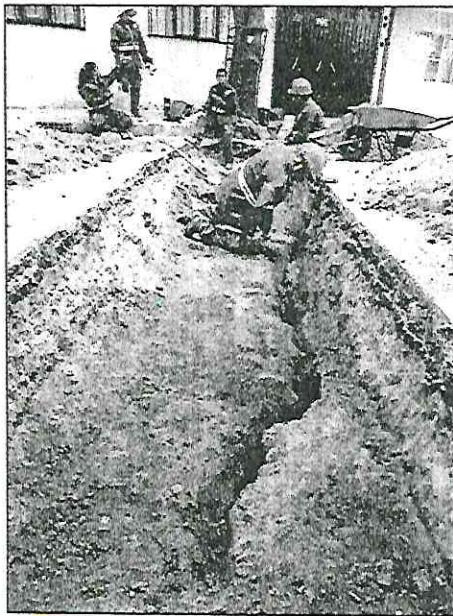
9. PROCEDIMIENTO DE COLOCACIÓN DE CAJA DISIPADORA.

- Inicialmente se identificará la trayectoria de la grieta y se excavará (perpendicular a la grieta) hasta una profundidad de 80 cm (esta profundidad podrá ser mayor considerando el espesor de la carpeta asfáltica) y de ancho en la parte baja de la grieta de 1.0 m. El ángulo de inclinación de los taludes deberá ser de 45° (con respecto la horizontal), en la parte superficial de la carpeta será de 5.0 m.
- Se colocará una escoria volcánica “tezonle” sobre la grieta con un diámetro nominal de >2”, inmediatamente se colocará un geotextil para la retención de finos en el fondo de la excavación.
- A continuación, se procederá con la colocación de arena fina, se aplicará en capas de 20 cm (compactos) y se compactará hasta su máximo acomodo, en caso de contener un <5% finos, será al 95 % como mínimo de su MVSM y Contenido de agua optimo con su AASTHO variante correspondiente. Se recomienda que la arena no contenga un porcentaje mayor del 10% de finos.
- Por último se colocaran las capas del pavimento.





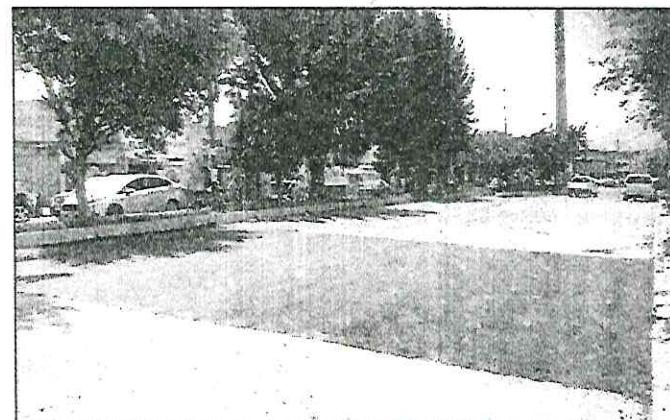
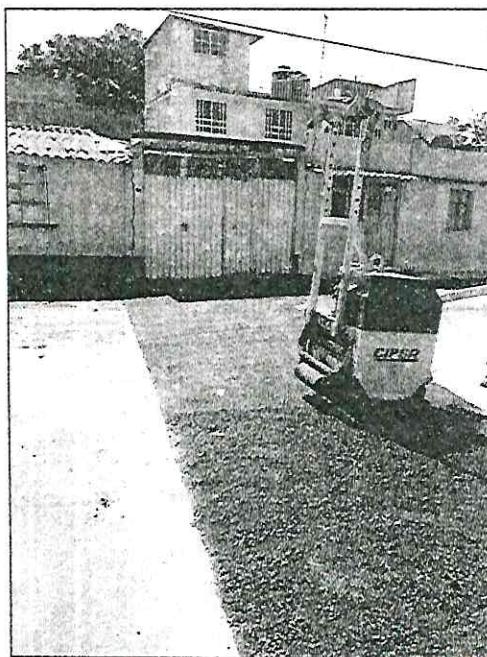
DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA





10. GENERALES.

- ❖ Estas recomendaciones son desde el punto de vista mecánica de suelos, cualquier modificación, deberá ser analizada por un especialista en geotecnia.
- ❖ Se recomienda la inspección de un ingeniero especialista durante el proceso de construcción.
- ❖ En caso de cambios en el proyecto, se deberá realizar una revisión a estas recomendaciones.
- ❖ Si durante la excavación, se presenta algún cambio en el terreno con respecto al que se muestra en las fotos y lo que se reporta en este informe, deberá realizarse una inspección por parte de un ingeniero especialista.
- ❖ En caso de que se presenten aspectos no contemplados en este informe se deberá informar para su evaluación.

ATENTAMENTE

M. en I. Jovanny E. Martínez Espinoza

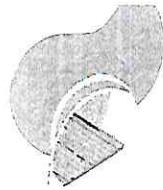
Ced. 13307335



11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Auvinet, G., Sánchez, J. & Pineda, A. (2019a). Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo. *Inginería Investigación y Tecnología*, XX(4), 1-8. FI-UNAM, México. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2019.20n4.046>
2. ASTM Designation: D 1586-67 Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils.
3. ASTM Designation: D 2488 – 00 Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure).
4. ASTM Designation: D 2216 – 05 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass.
5. ASTM Designation: D 4318 – 00 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
6. ASTM Designation: D 422 – 63 (Reapproved 1998) Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
7. ASTM Designation: D 854 – 98 Standard Test Method for Specific Gravity of Soils.
8. ASTM Designation: D 2166 – 06 Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.
9. ASTM Designation: D 2850 – 03a Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.
10. Bishop, A.W., 1955. The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes, *Geotechnique*, 5, pp. 7-17.
11. Braja M. Das. *Fundamentos de Ingeniería Geotectónica*. 4^a Edición, Editorial Thomson, 2001.
12. Bowles J.E. (1997), *Foundation analysis and Design*, Fifth Edition, McGraw-Hill.
13. COVITUR. *Manual de Diseño Geotécnico Volumen 1*. DDF, Secretaría General de Obras, Agosto de 1987.
14. Enrique Santoyo, (2005). *Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México*. México: TGC
15. Gobierno de la Ciudad de México, Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de cimentaciones, 2017.
16. Gobierno de la Ciudad de México, Normas Técnicas Complementarias sobre criterios y Acciones para el diseño Estructural de las Edificaciones, 2017.
17. Gobierno de la Ciudad de México. Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo. 2017.
18. Rocscience, Inc., (2014-2016), *Settle3D v.3.019*, Toronto, Ontario, Canada.
19. Tamez, E. "Ingeniería de Cimentaciones", *Conceptos Básicos de la Práctica*, Ed. TGC Geotecnia (2001).
20. Terzaghi K. (1950), "Mechanics of Landslides", *Geological Society of America, Engineering Geology*, Berkeley Volume, November.
21. SEHEDIS, sismica de suelos <https://sismica.com.mx/sehedis>
22. Investigación sobre el agrietamiento del suelo en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta y acompañamiento técnico en la definición e implementación de soluciones para las edificaciones afectadas de dichas demarcaciones (segunda etapa), Instituto de ingeniería UNAM, 2020.

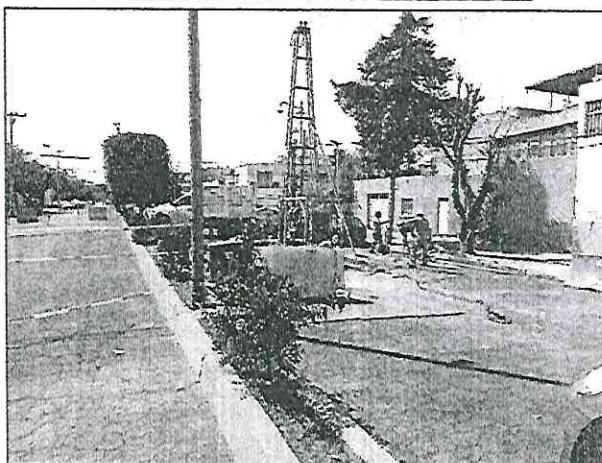
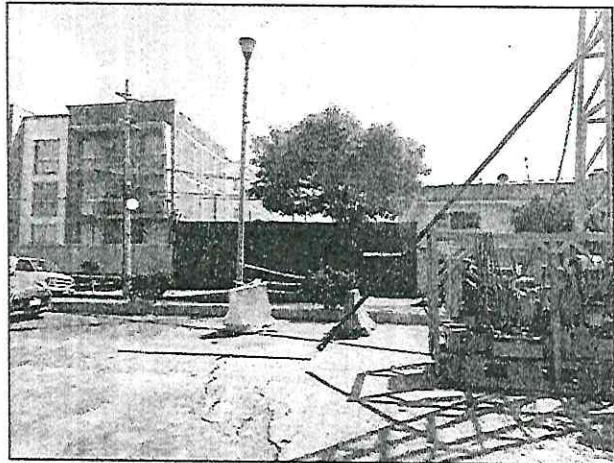
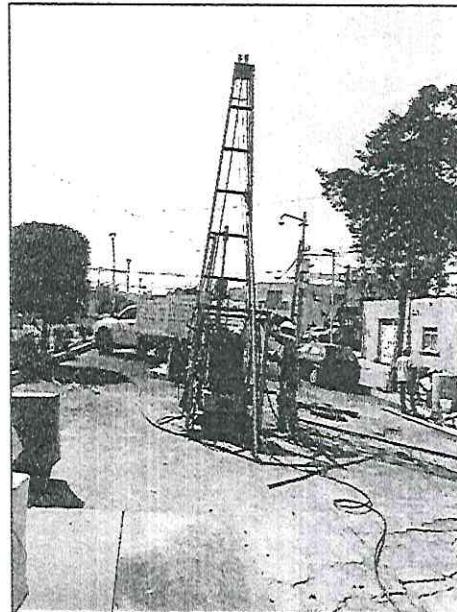
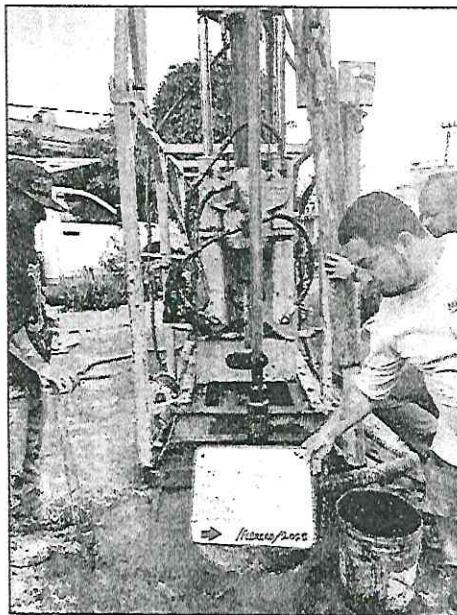




EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA

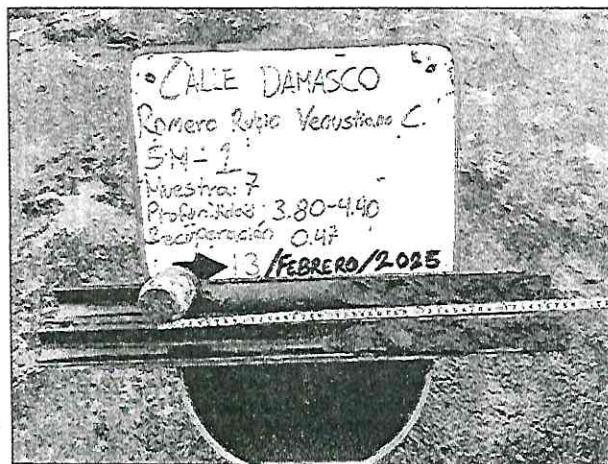
ANEXO I. REPORTE FOTOGRÁFICO.



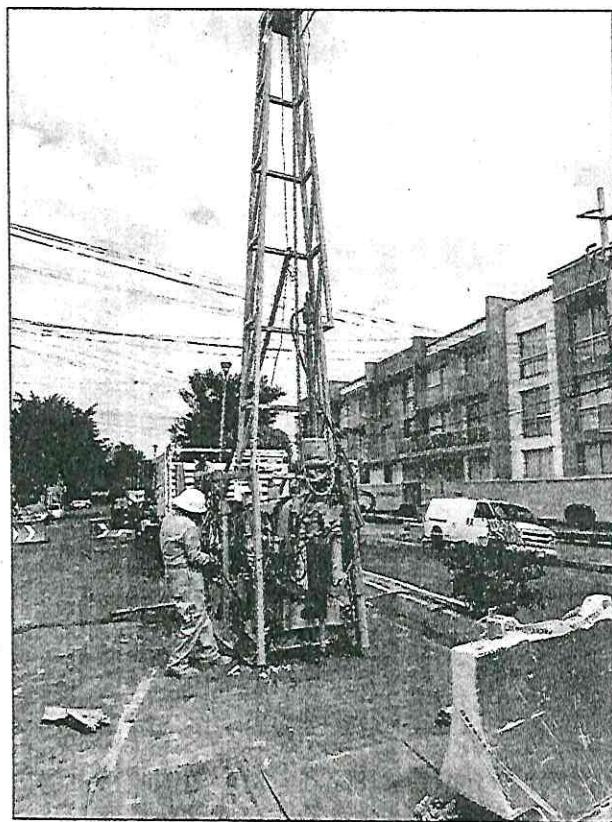


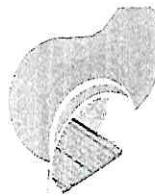
EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA



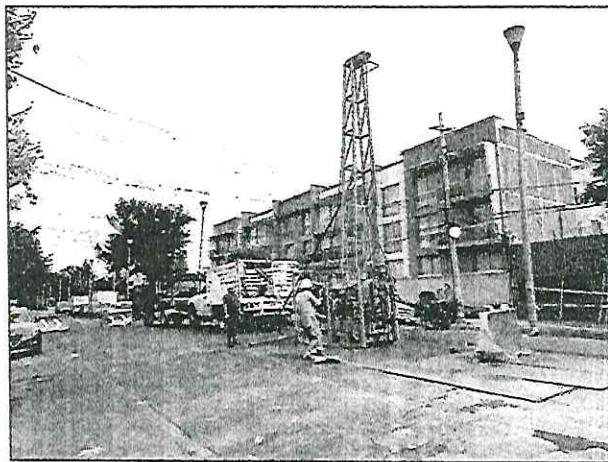
Realización del SM-1.





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA



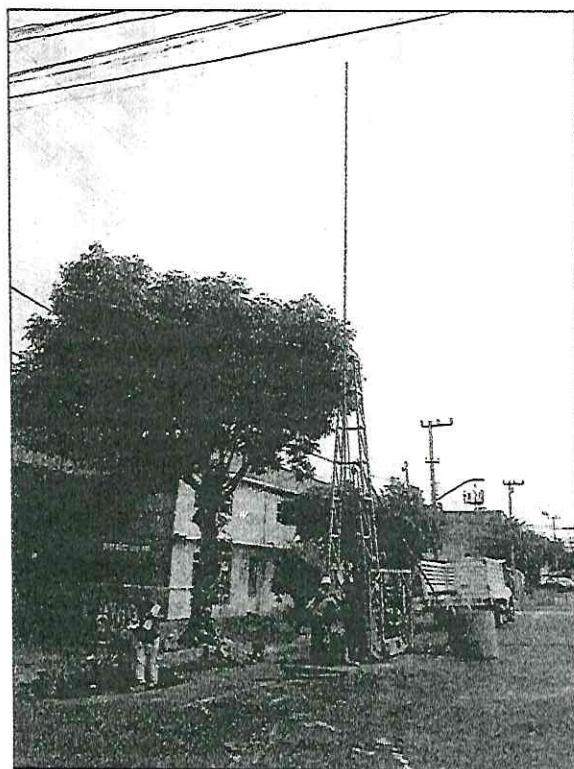


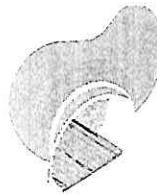
EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA



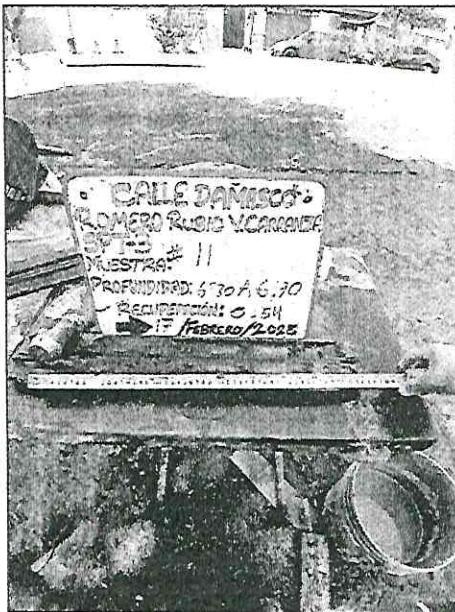
Realización del SM-2.

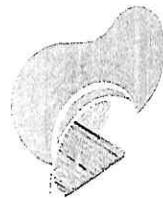




EXSOIL

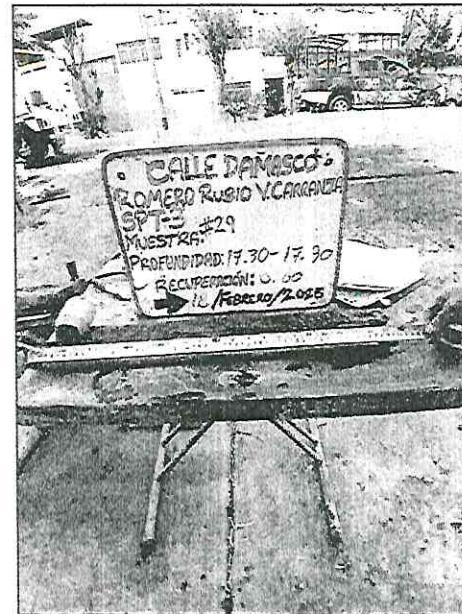
DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA





EXSOIL

DESARROLLOS INDUSTRIALES Y
DISEÑOS NAVI S.A DE C.V.
INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN ESPECIALIZADA



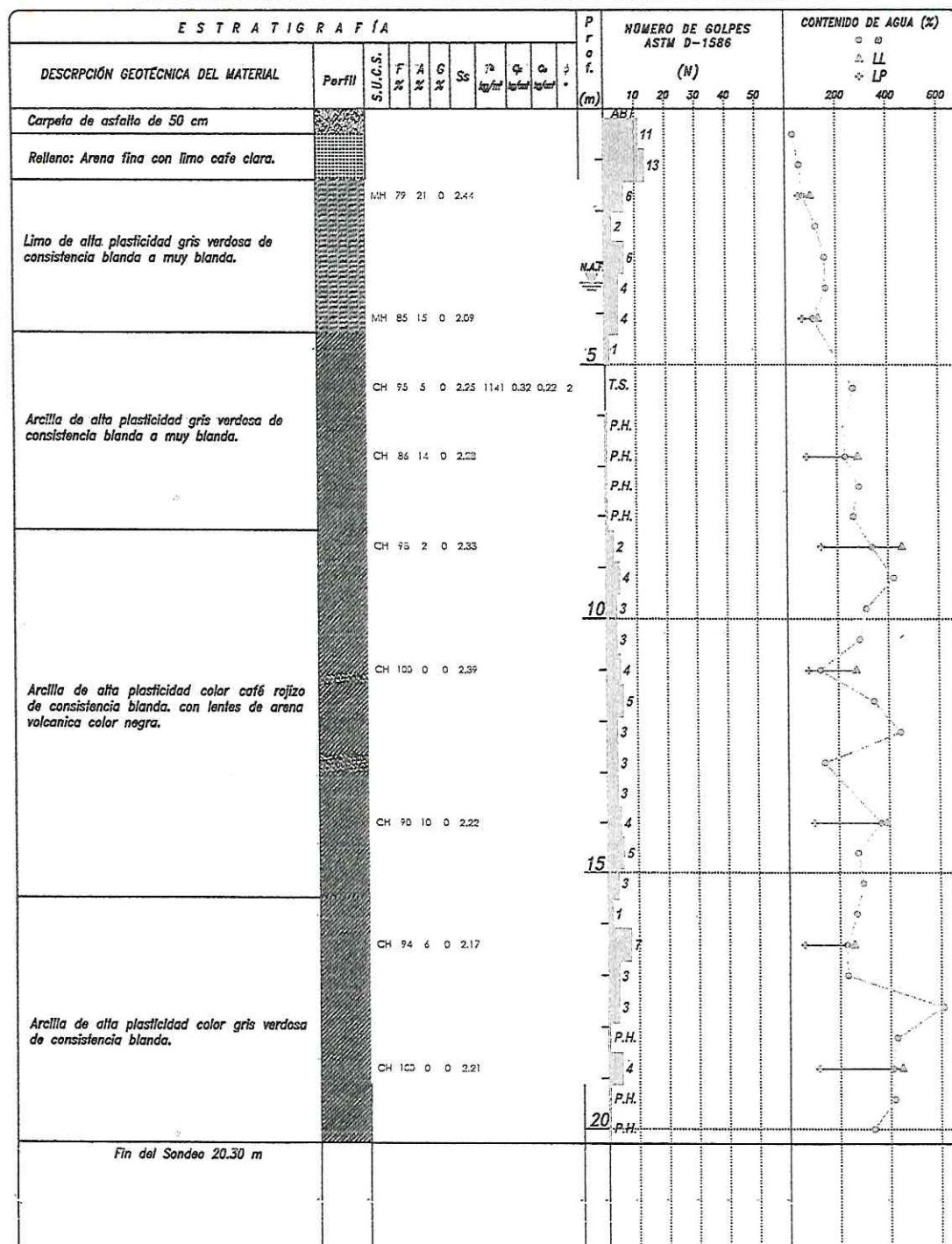
Realización del SM-3.

ANEXO II. RESULTADOS DE LABORATORIO.



PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-1

PROYECTO:	ESTRATIGRAFIA DAMASCO.	PROFUNDIDAD EXPLORADA (m)	COORDENADAS:
LOCALIZACION:	C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.	20.30	latitud 19.441109° longitud -99.098749°



Símbolos		SÍMBOLOLOGÍA									
xxxx	Relleno	████████	Arena	T.S. = Tubo Shelby	F = Porcentaje de Finos	α = Resistencia al Corte No Drenada					
○○○○	Sileos	----	Limo	N.Q. = Barril con Corona de Diamante	A = Porcentaje de Arena	φ = Ángulo de Fricción Interna					
△△△△	Grava		Arcilla	S.P.T. = Sondeo de Penetración Estandar	G = Porcentaje de Grava	ω = Contenido de Agua					
				B.T. = Broca Tricónica	Ss = Densidad de Sólidos	LL = Límite Líquido					
				P.H. = Peso Herramienta	γ_s = Peso Volumétrico Húmedo	LP = Límite Plástico					
				NAF = Nivel de Aguas Freáticas	γ = Resistencia Uniaxial	S.R. = Sin Recuperación					

RESUMEN DE PROPIEDADES

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACION: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

SONDEO: SM-1

HOJA: 1 de 1

PROF. (m) DE A	No. Muestra	ϕ %	LL %	LP %	IP %	L.C. %	SUCS	F %	A %	G %	Ss	e	Gw %	γ_s kg/m ³	γ_h kg/m ³	N _{SPT}	q _u kg/cm ²	c _u kg/cm ²	ϕ °	
0.00	0.20																			
0.20	0.80	1	30.03														11			
0.80	1.40	2	55.48														13			
1.40	2.00	3	68.39	100.80	53.10	47.71	17.5	MH	79	21	0	2.44					6			
2.00	2.60	4	120.93														2			
2.60	3.20	5	155.12														6			
3.20	3.80	6	157.73														4			
3.80	4.40	7	108.87	130.44	66.02	64.42	12.3	MH	85	15	0	2.09					4			
4.40	5.00																1			
5.00	5.90	8	263.89	289.44	84.70	204.74	35.3	CH	95	5	0	2.25	6.16	96	314	1141	T.S.	0.32	0.22	2
5.90	6.50	9	223.66														P.H.			
6.50	7.10	10	232.15	282.36	79.12	202.94	24.7	CH	86	14	0	2.28					P.H.			
7.10	7.70	11	286.49														P.H.			
7.70	8.30	12	262.59														P.H.			
8.30	8.90	13	335.19	453.64	135.01	318.62	42.8	CH	98	2	0	2.33					2			
8.90	9.50	14	421.58														4			
9.50	10.10	15	311.94														3			
10.10	10.70	16	284.71														3			
10.70	11.30	17	127.51	270.52	82.06	188.46	31.6	CH	100	0	0	2.39					4			
11.30	11.90	18	340.26														5			
11.90	12.50	19	445.21														3			
12.50	13.10	20	144.41														3			
13.10	13.70	21	255.40														3			
13.70	14.30	22	366.05	389.71	102.25	287.46	33.7	CH	90	10	0	2.22					4			
14.30	14.90	23	274.21														5			
14.90	15.50	24	293.91														3			
15.50	16.10	25	266.59														1			
16.10	16.70	26	227.27	256.79	60.35	196.44	25.3	CH	94	6	0	2.17					7			
16.70	17.30	27	230.82														3			
17.30	17.90	28	608.63														3			
17.90	18.50	29	424.39														P.H.			
18.50	19.10	30	407.59	446.61	116.62	329.99	42.1	CH	100	0	0	2.21					4			
19.10	19.70	31	415.50														P.H.			
19.70	20.30	32	332.85														P.H.			

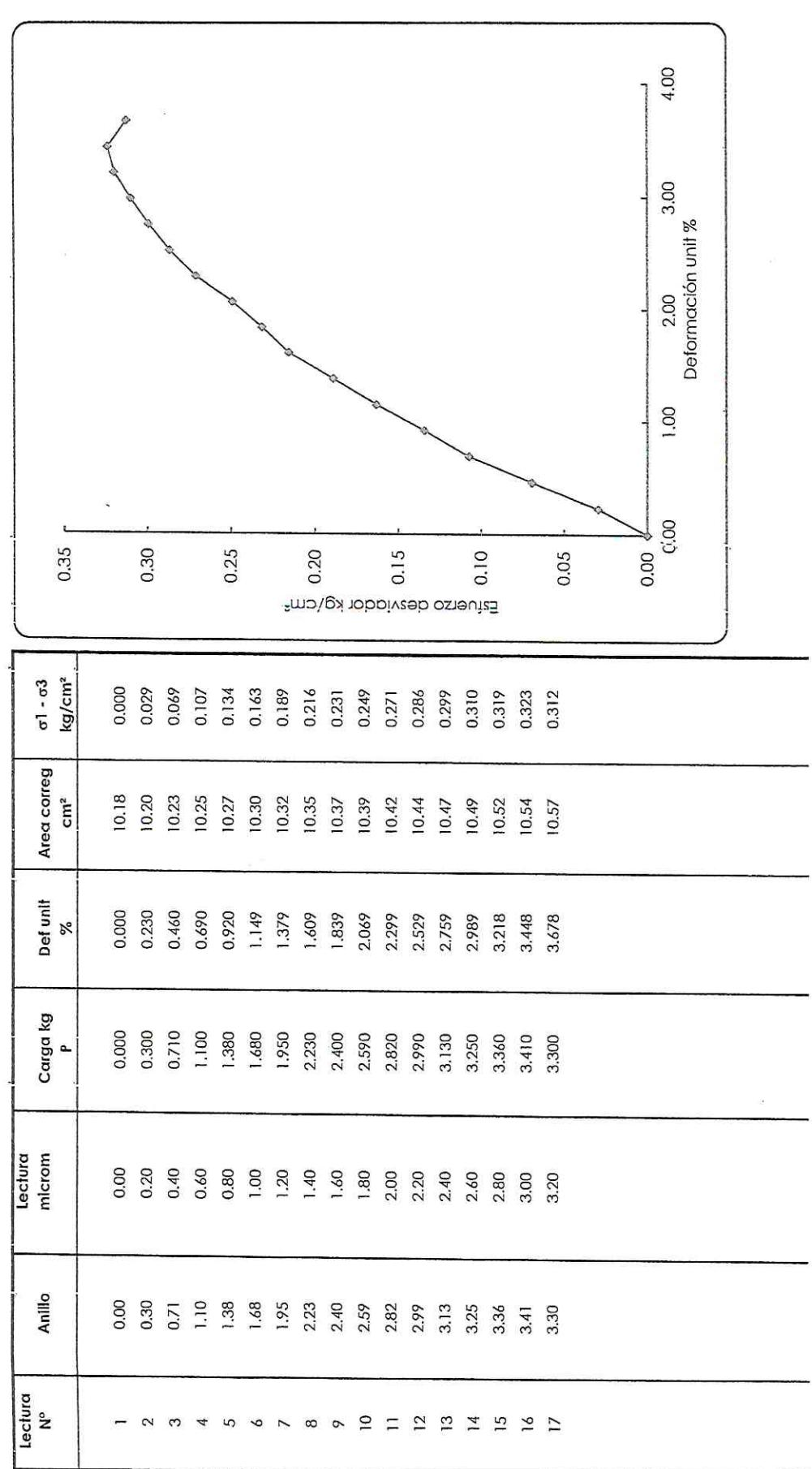
SIMBOLOGIA:	ϕ Contenido de Agua	F Porcentaje de Finos	γ_s Peso Volumetrico Seco
	LL Límite Líquido	A Porcentaje de Arenas	γ_h Peso Volumetrico Humedo
	LP Límite Plástico	G Porcentaje de Gravas	N _{SPT} Número de Golpes del SPT
	IP Indice de Plasticidad	Ss Densidad de Solidos	q _u Resistencia Uniaxial
	L.C. Límite de Contracción	e Relacion de Vacios	c _u Resistencia al Corte No Drenada
	T.S. Tubo Shelby	Gw Porcentaje del Grado de Saturacion	ϕ Angulo de friccion interna
	P.H. Peso de herramienta	B.T. Avance con broca triconica	N.Q. Barril con corona de diamante

Proyecto:	Estratigrafía Damasco		Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Uniaxial Inconfinada		Muestra:	8	Profundidad: 5.00 - 5.90 m	Fecha:	mar-25 Hoja: 1-1

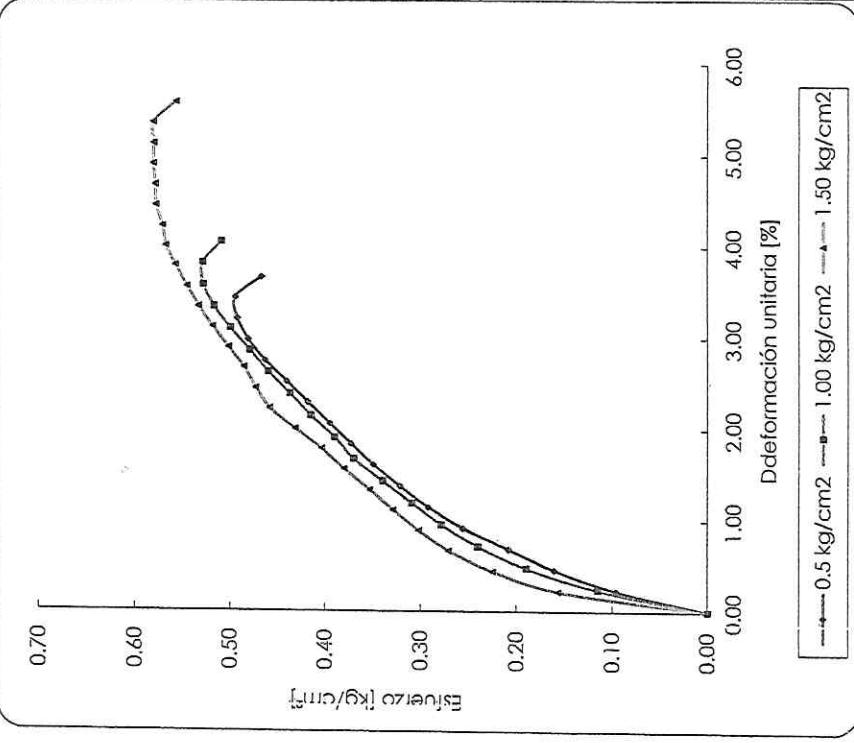
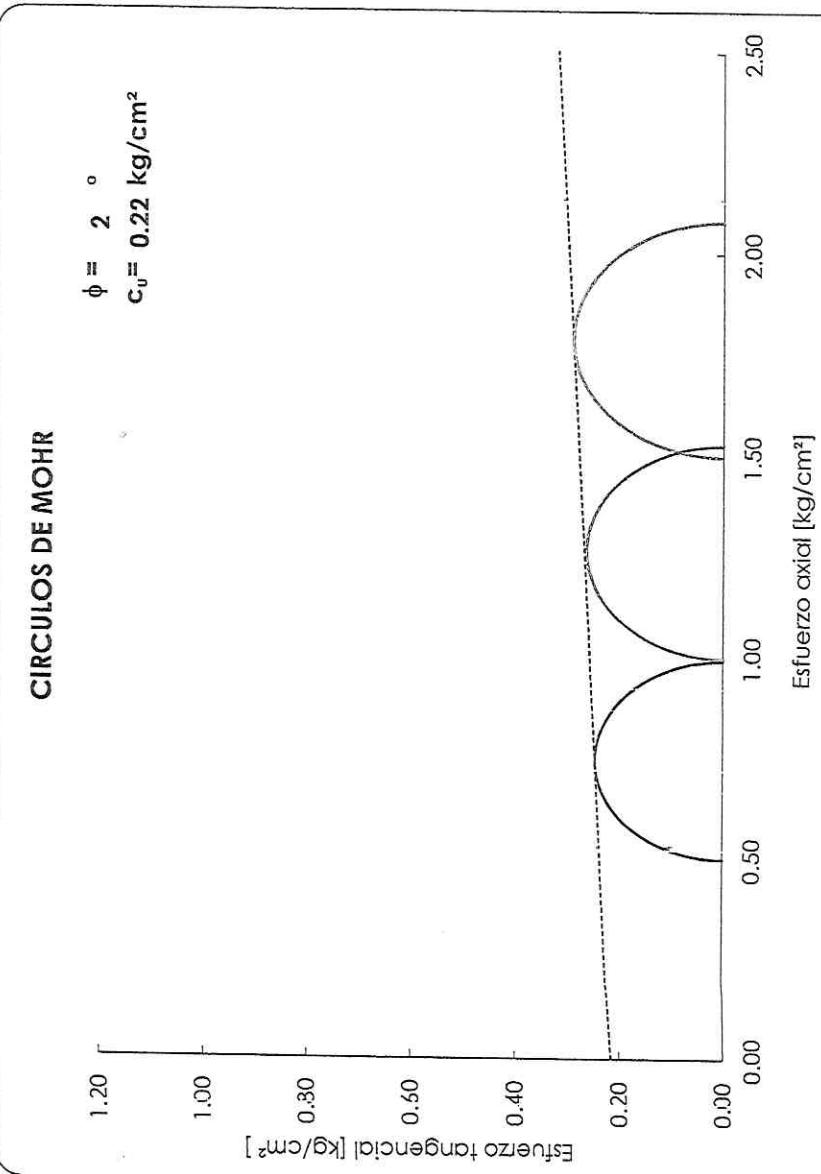
DATOS INICIALES

Altura cm	8.70	Dsup (cm)	3.60	Dpron	3.60	Wm hum [g]	116.12	ω %	274.7%
Ss	2.25	Dmed (cm)	3.60	Area cm ²	10.18	Wtara [g]	11.23		
		Dint (cm)	3.60	Vol cm ³	88.56	Wm seca [g]	39.22		

Cle	1.000	Pvol l/m ³	1.18	Pvolum	1.18	q _u kg/cm ²	0.32
-----	-------	-----------------------	------	--------	------	-----------------------------------	------



Proyecto:	ESTRUCTURA DE 4 NIVELES Y SEMISOTANO	Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión triaxial [Tx.UU]	Muestra:	8	Profundidad:	5.00 - 5.90 m	Fecha: 25 Ene. 1-1



ESPECIMEN	ϕ [%]	e [-1]	G_w [%]	γ [ton/m³]	σ_3 [kg/cm²]	σ_1 [kg/cm²]	σ_s [kg/cm²]	E_{50} [kg/cm²]
1	273.4	6.221	99	1.163	0.500	0.994		28
2	292.7	6.690	98	1.149	1.000	1.528	2.25	30
3	261.9	5.939	99	1.173	1.500	2.080		37

DESCRIPCION DEL MATERIAL.
"Arcilla gris verdosa"

PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACIÓN: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

SONDEO: SM-1

MUESTRA: 8

PROF.(m): 5.00 - 5.90 m

DIMENSIONES DEL ANILLO	
ALTURA	2.04 cm
DIÁMETRO	8.00 cm
ÁREA	50.22 cm ²
Peso Unitario inicial	1.139 g/cm ³

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.25

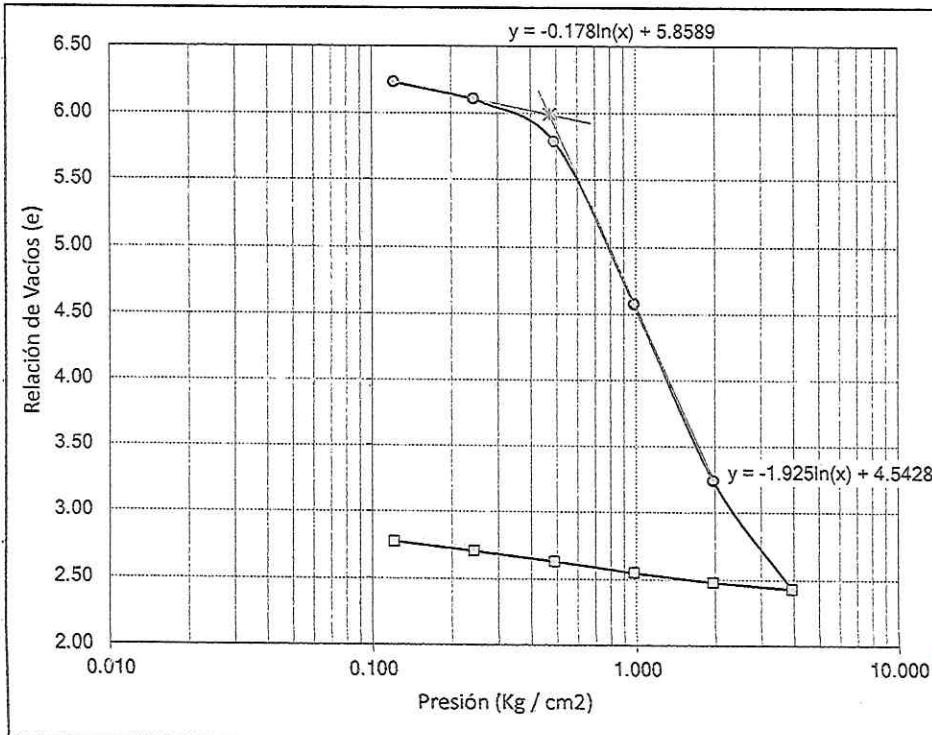
$$\text{Altura de sólidos, } 2H_0 = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.2777 \text{ cm; } e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	536.90	496.67
Peso anillo+muestra seca.	451.58	451.58
Peso anillo	420.20	420.20
Peso del agua "Ww"	85.32	45.09
Peso suelo seco "Ws"	31.38	31.38
Humedad %	271.89	143.69

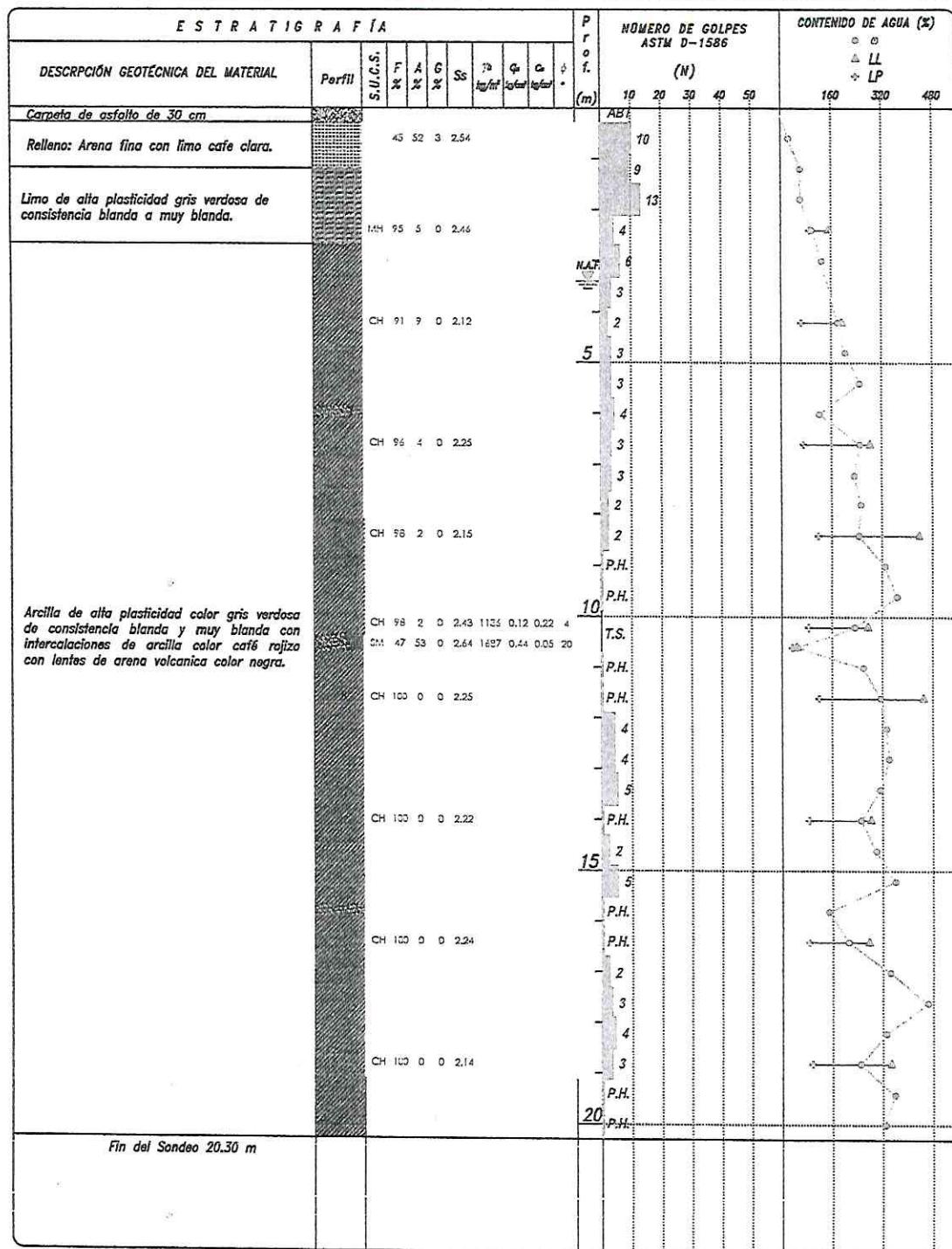
Relación de vacíos inicial	6.346
Relación de vacíos final	2.431
Presión de preconsolidación - P _c	0.47
C _c	4.43
C _s	0.23

Carga Aplicada (kg/cm ²)	Lectura Final (mm)	Espesor comprimido 2H (cm)	Altura vacíos (cm) 2H - 2H ₀	Relación de Vacíos e	av [cm ³ /kg]	mv [cm ³ /kg]	Cv (cm ² /seg)	K (cm/seg)
0	0	2.0400	1.7623	6.3458				
0.121	0.3100	2.0090	1.7313	6.2341	0.9225	0.1275	0.03250	0.004145
0.243	0.6540	1.9746	1.6969	6.1103	1.0153	0.1428	0.00346	0.000494
0.488	1.5400	1.8860	1.6083	5.7912	1.3022	0.1917	0.00288	0.000553
0.980	4.8990	1.5501	1.2724	4.5817	2.4584	0.4404	0.00062	0.000273
1.965	8.6190	1.1781	0.9004	3.2422	1.3599	0.3206	0.00007	0.000024
3.936	10.8720	0.9528	0.6751	2.4309	0.4116	0.1200	0.00006	0.000007
1.965	10.7400	0.9660	0.6883	2.4784	0.0241	0.0069		
0.980	10.5420	0.9858	0.7081	2.5497	0.0724	0.0204		
0.488	10.3210	1.0079	0.7302	2.6293	0.1617	0.0446		
0.243	10.1100	1.0290	0.7513	2.7053	0.3101	0.0837		
0.121	9.9150	1.0485	0.7708	2.7755	0.5755	0.1524		
0.010	9.4540	1.0946	0.8169	2.9415				



PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-2

PROYECTO:	ESTRATIGRAFÍA DAMASCO.	PROFUNDIDAD EXPLORADA (m)	CORDENADAS:
		20.30	Latitud 19.441186° longitud -99.098881°
LOCALIZACIÓN:	C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.	INICIO: 14/02/2025	TERMINACIÓN: 15/02/2025

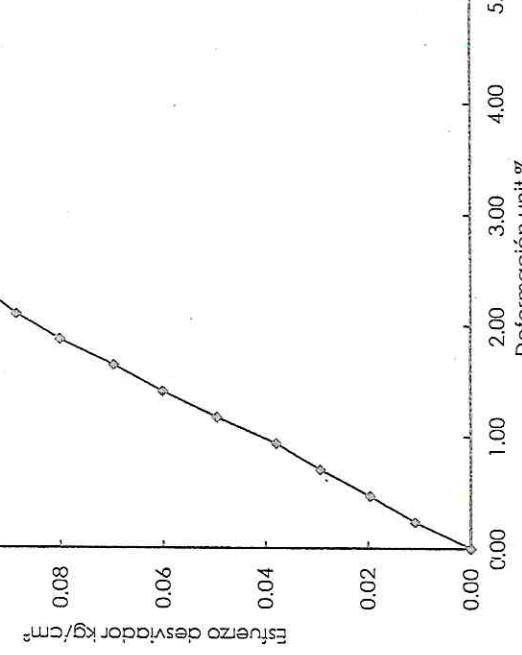


Proyecto:	Estratigrafía Damasco		Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Uniaxial Inconfinada		Muestra:	16A	Profundidad:	9.90 - 10.70 m	Fecha: mar-25 Hojas: 1-1

DATOS INICIALES

Altura cm	8.51	Dsup (cm)	3.60	Dprom	3.60	Wm hum (g)	111.34	ω %	264.0%
Ss	2.43	Dmed (cm)	3.60	Area cm ²	10.18	W tara (g)	11.12		
Cte	1.000	Dinf (cm)	3.60	Vol cm ³	86.62	Wm seca (g)	38.65	C ₀ kg/cm ⁻²	0.12

Lectura N°	Anillo	Lectura microm	Carga kg P	Def unit %	Area corrég cm ²	$\sigma_1 \cdot \epsilon_3$ kg/cm ²	0.14
1	0.00	0.00	0.000	0.000	10.18	0.000	
2	0.11	0.20	0.110	0.235	10.20	0.011	0.12
3	0.20	0.40	0.200	0.470	10.23	0.020	
4	0.30	0.60	0.300	0.705	10.25	0.029	
5	0.39	0.80	0.390	0.940	10.28	0.038	0.10
6	0.51	1.00	0.510	1.175	10.30	0.050	
7	0.62	1.20	0.620	1.410	10.32	0.060	
8	0.72	1.40	0.720	1.645	10.35	0.070	0.08
9	0.83	1.60	0.830	1.880	10.37	0.080	
10	0.92	1.80	0.920	2.115	10.40	0.088	
11	0.99	2.00	0.990	2.350	10.42	0.095	
12	1.04	2.20	1.040	2.585	10.45	0.100	
13	1.09	2.40	1.090	2.820	10.47	0.104	
14	1.14	2.60	1.140	3.055	10.50	0.109	
15	1.16	2.80	1.160	3.290	10.53	0.110	
16	1.20	3.00	1.200	3.525	10.55	0.114	
17	1.22	3.20	1.220	3.760	10.58	0.115	
18	1.26	3.40	1.260	3.995	10.60	0.119	
19	1.28	3.60	1.280	4.230	10.63	0.120	
20	1.29	3.80	1.290	4.465	10.65	0.121	
21	1.20	4.00	1.200	4.700	10.68	0.112	



RESUMEN DE PROPIEDADES

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACION: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

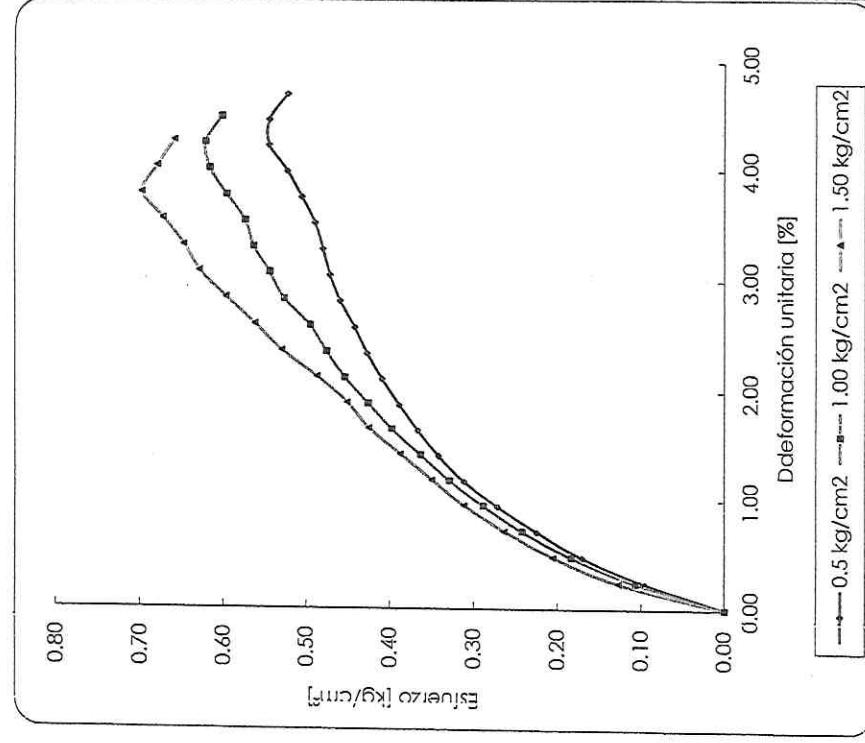
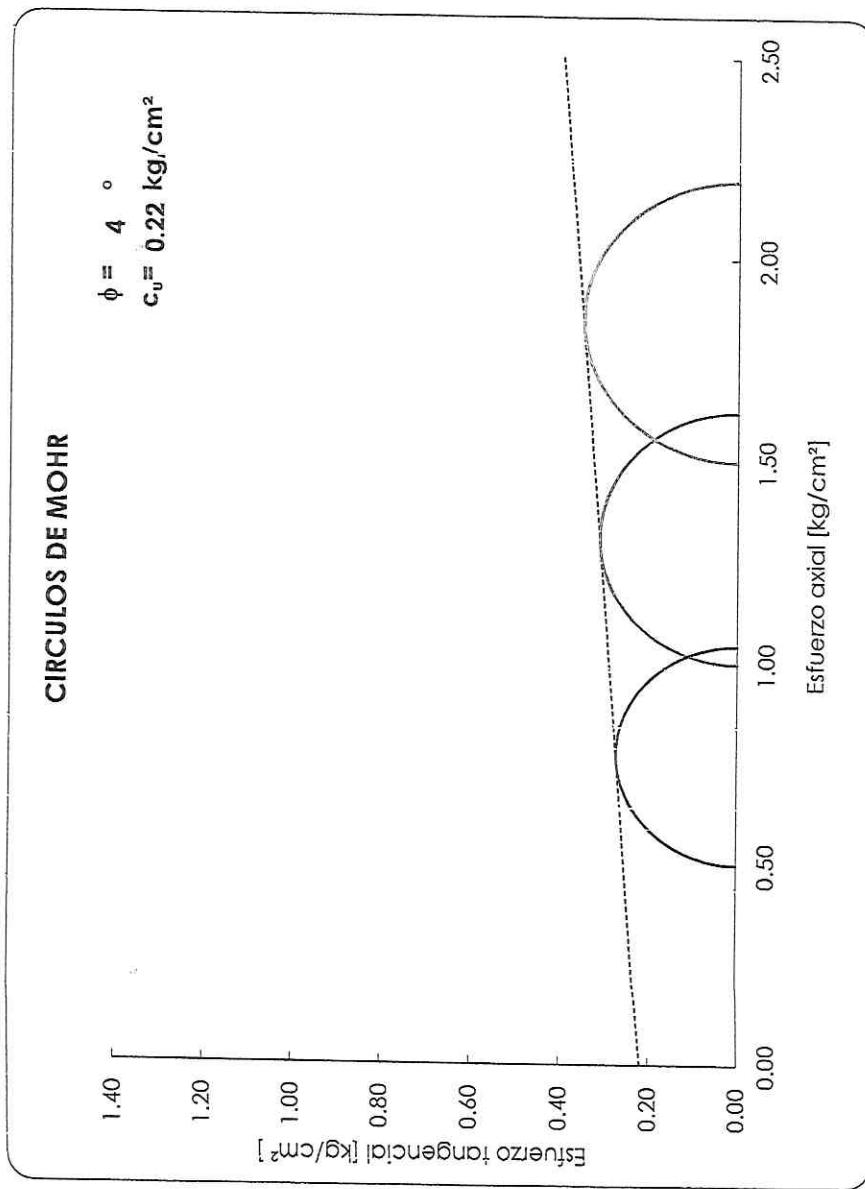
SONDEO: SM-2

HOJA: 1 de 1

PROF. (m) DE Á	No. Muestra	φ %	LL %	LP %	IP %	L.C. %	SUCS	F %	A %	G %	Ss	e	Gw %	γ _s kg/m ³	γ _h kg/m ³	N _{SPT}	q _u kg/cm ²	c _u kg/cm ²	ϕ %
0.00	0.30	-																	
0.30	0.90	1	24.73					45	52	3	2.54						10		
0.90	1.50	2	61.93															9	
1.50	2.10	3	61.74															13	
2.10	2.70	4	98.73	152.55	91.48	61.07	26.9	MH	95	5	0	2.46						4	
2.70	3.30	5	129.78															6	
3.30	3.90	-																3	
3.90	4.50	6	181.71	194.33	65.09	129.24	14.1	CH	91	9	0	2.12						2	
4.50	5.10	7	205.01															3	
5.10	5.70	8	249.80															3	
5.70	6.30	9	121.60															4	
6.30	6.90	10	250.20	282.32	71.50	210.82	28.7	CH	96	4	0	2.25						3	
6.90	7.50	11	231.40															3	
7.50	8.10	12	252.66															2	
8.10	8.70	13	246.04	436.63	117.71	318.92	41.6	CH	98	2	0	2.15						2	
8.70	9.30	14	328.51															P.H.	
9.30	9.90	15	366.67															P.H.	
9.90	10.40	16A	231.87	273.99	85.58	188.41	34.4	CH	98	2	0	2.43	6.11	92	342	1136	T.S.	0.12	0.22
10.40	10.70	16B	47.45	48.50	32.50	16.00	3.4	SM	47	53	0	2.64	1.30	96	1144	1687	T.S.	0.44	0.05
10.70	11.30	17	258.53															P.H.	
11.30	11.90	18	314.16	449.52	118.66	330.86	38.3	CH	100	0	0	2.25						P.H.	
11.90	12.50	19	333.13															4	
12.50	13.10	20	340.45															4	
13.10	13.70	21	311.29															5	
13.70	14.30	22	249.90	282.28	85.97	196.31	30.2	CH	100	0	0	2.22						P.H.	
14.30	14.90	23	298.16															2	
14.90	15.50	24	359.71															5	
15.50	16.10	25	147.52															P.H.	
16.10	16.70	26	209.58	274.93	85.31	189.62	29.2	CH	100	0	0	2.24						P.H.	
16.70	17.30	27	343.15															2	
17.30	17.90	28	462.02															3	
17.90	18.50	29	329.41															4	
18.50	19.10	30	248.83	345.37	95.55	249.82	34.6	CH	100	0	0	2.14						3	
19.10	19.70	31	356.59															P.H.	
19.70	20.30	32	327.63															P.H.	

SIMBOLOGIA:	ω Contenido de Agua	F Porcentaje de Finos	γ _s Peso Volumetrico Seco
	LL Límite Líquido	A Porcentaje de Arenas	γ _h Peso Volumetrico Humedo
	LP Límite Plástico	G Porcentaje de Gravas	N _{SPT} Numero de Golpes del SPT
	IP Índice de Plasticidad	S _s Densidad de Solidos	q _u Resistencia Uniaxial
	L.C. Límite de Contracción	e Relacion de Vacíos	c _u Resistencia al Corte No Drenada
	T.S. Tubo Shelby	Gw Porcentaje del Grado de Saturación	ϕ Angulo de friccion interna
	P.H. Peso de herramienta	B.T. Avance con broca triconica	N.Q. Barril con corona de diamante

Proyecto:	Estratigrafía Damasco	Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Triaxial [IX-UV]	Muestrear:	16A	Profundidad:	9'10 - 10'70 m	Fecha: eñe-25 Hoja: 1-1



ESPECIMEN	ω [%]	e [-]	G_w [%]	γ [ton/m ³]	σ_3 [kg/cm ²]	σ_1 [kg/cm ²]	σ_s [kg/cm ²]	E_{50} [kg/cm ²]
1	260.5	6.567	96	1.158	0.500	1.045		29
2	273.2	6.787	98	1.165	1.000	1.621	2.43	29
3	311.1	7.470	101	1.180	1.500	2.197		29

DESCRIPCION DEL MATERIAL.
"Arcilla gris verdosa"

Proyecto:	Estratigrafía Damasco	Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Unaxial Inconfinada	Muestra:	16B	Profundidad:	9.90 - 10.70 m	Fecha: mar-25 Hoja: 1-1

DATOS INICIALES

Altura cm	8.54	Dsup (cm)	3.60	Dpron	3.60	Wm hum [g]	166.31	ω %	39.0%
Ss	2.64	Dmed (cm)	3.60	Area cm ²	10.18	W tara [g]	11.11		
		Dinf (cm)	3.60	Vol cm ³	86.93	Wm seca [g]	122.79	q _u kg/cm ²	0.44

Cte	1.000
-----	-------

Lectura N°	Anillo	Lectura microm	Carga kg P	Def unit %	Area corrug cm ²	σ1 - σ3 kg/cm ²
1	0.00	0.00	0.000	0.000	10.18	0.000
2	0.50	0.20	0.500	0.234	10.20	0.049
3	0.97	0.40	0.970	0.468	10.23	0.095
4	1.42	0.60	1.420	0.703	10.25	0.139
5	1.99	0.80	1.990	0.937	10.28	0.194
6	2.44	1.00	2.440	1.171	10.30	0.237
7	3.06	1.20	3.060	1.405	10.32	0.296
8	3.51	1.40	3.510	1.639	10.35	0.339
9	3.86	1.60	3.860	1.874	10.37	0.372
10	4.10	1.80	4.100	2.108	10.40	0.394
11	4.29	2.00	4.290	2.342	10.42	0.412
12	4.45	2.20	4.450	2.576	10.45	0.426
13	4.54	2.40	4.540	2.810	10.47	0.433
14	4.58	2.60	4.580	3.044	10.50	0.436
15	4.61	2.80	4.610	3.279	10.52	0.438
16	4.40	3.00	4.400	3.513	10.55	0.417

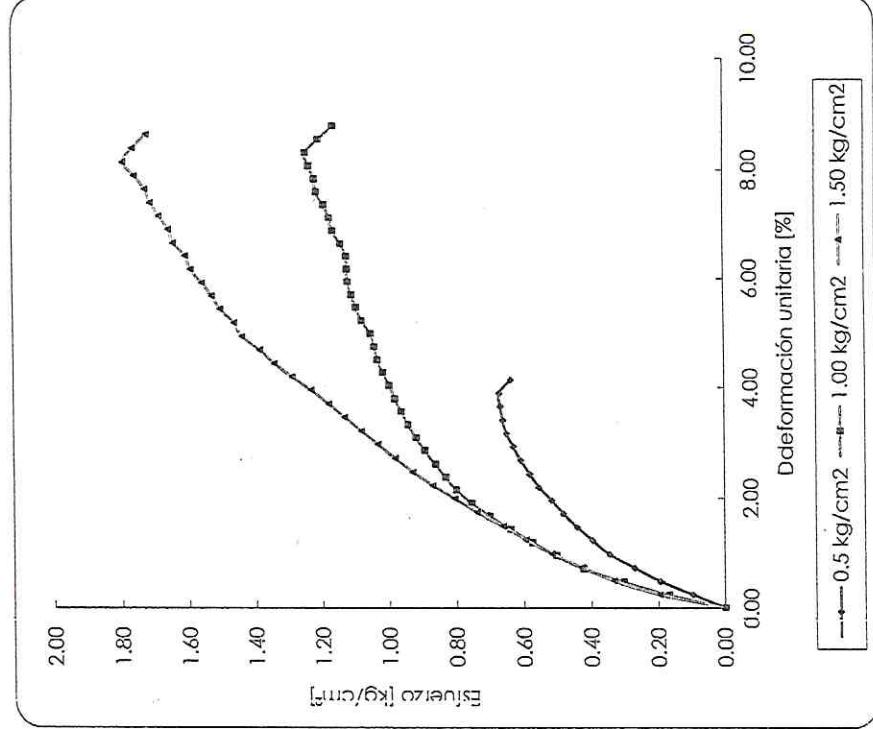
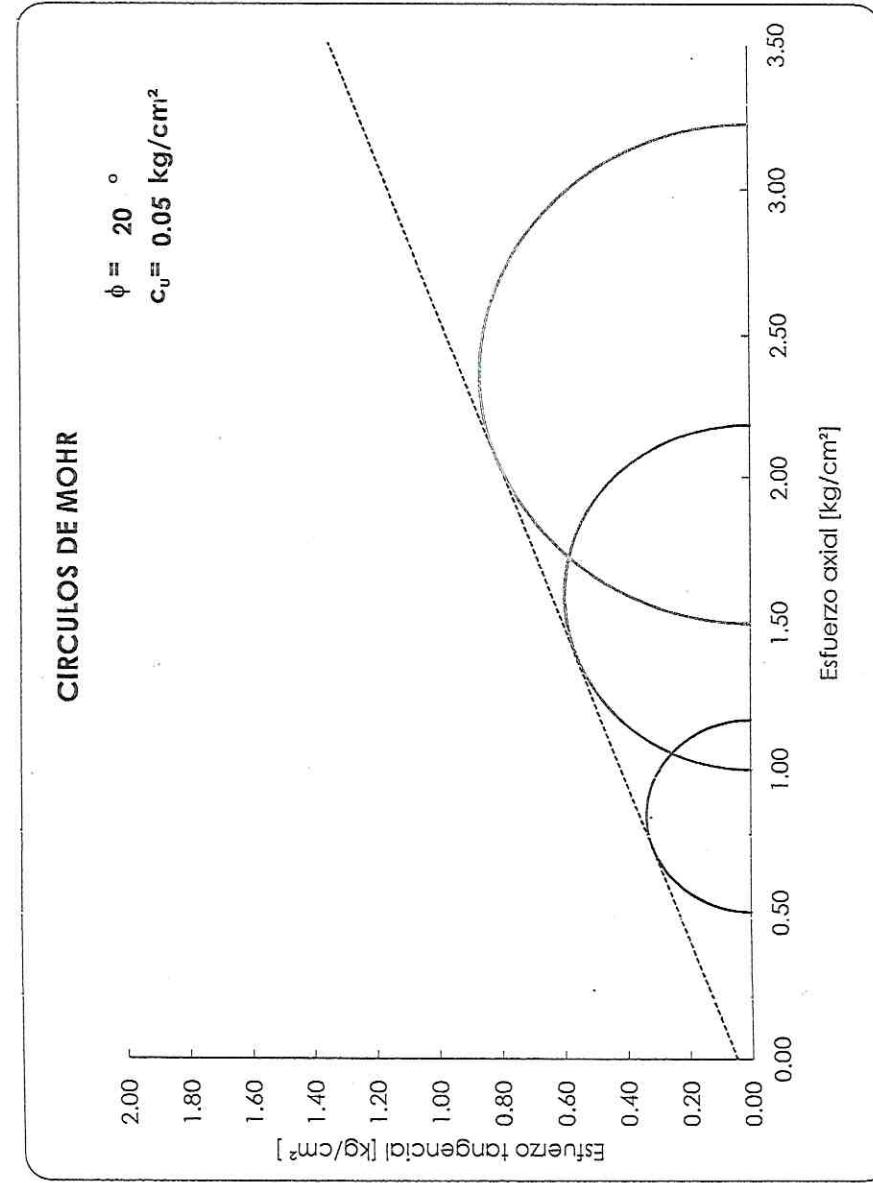


Deformación unit %



Deformación unit %

Proyecto:	ESTRUCTURA DE 4 NIVELES Y SEMISOTANO	Sondeo:	SM-1	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Triaxial [TX-UU]		Muestra:	16B	Profundidad:	9.90 - 10.70 m [Fechat: ene-25] [Hoja: 1-1]



DESCRIPCION DEL MATERIAL.	
	"Arena limosa gris verdosa"

ESPECIMEN	ϕ [%]	e [-]	G_w [%]	γ [ton/m ³]	σ_3 [kg/cm ²]	σ_1 [kg/cm ²]	S_s	E_{50} [kg/cm ²]
1	37.0	0.978	100	1.835	0.500	1.172		35
2	38.1	1.013	100	1.817	1.000	2.191	2.65	46
3	38.4	1.020	100	1.816	1.500	3.226		39

PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACIÓN: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

SONDEO: SM-2

MUESTRA: 16B

PROF.(m): 10.50 - 10.70 m

DIMENSIONES DEL ANILLO		
ALTURA	1.99	cm
DIÁMETRO	8.00	cm
AREA	50.22	cm ²
Peso Unitario inicial	1.584	g/cm ³

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.64

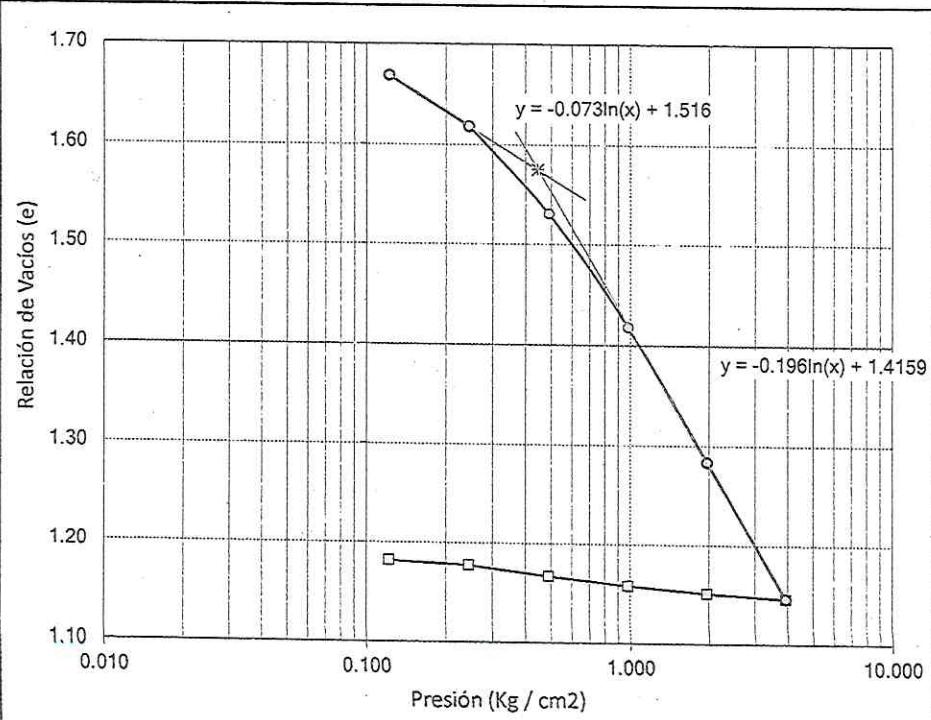
$$\text{Altura de sólidos, } 2H_0 = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.7291 \text{ cm; } e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	560.12	545.39
Peso anillo+muestra seca.	498.58	498.58
Peso anillo	401.80	401.80
Peso del agua "Ww"	61.54	46.81
Peso suelo seco "Ws"	96.78	96.78
Humedad %	63.59	48.37

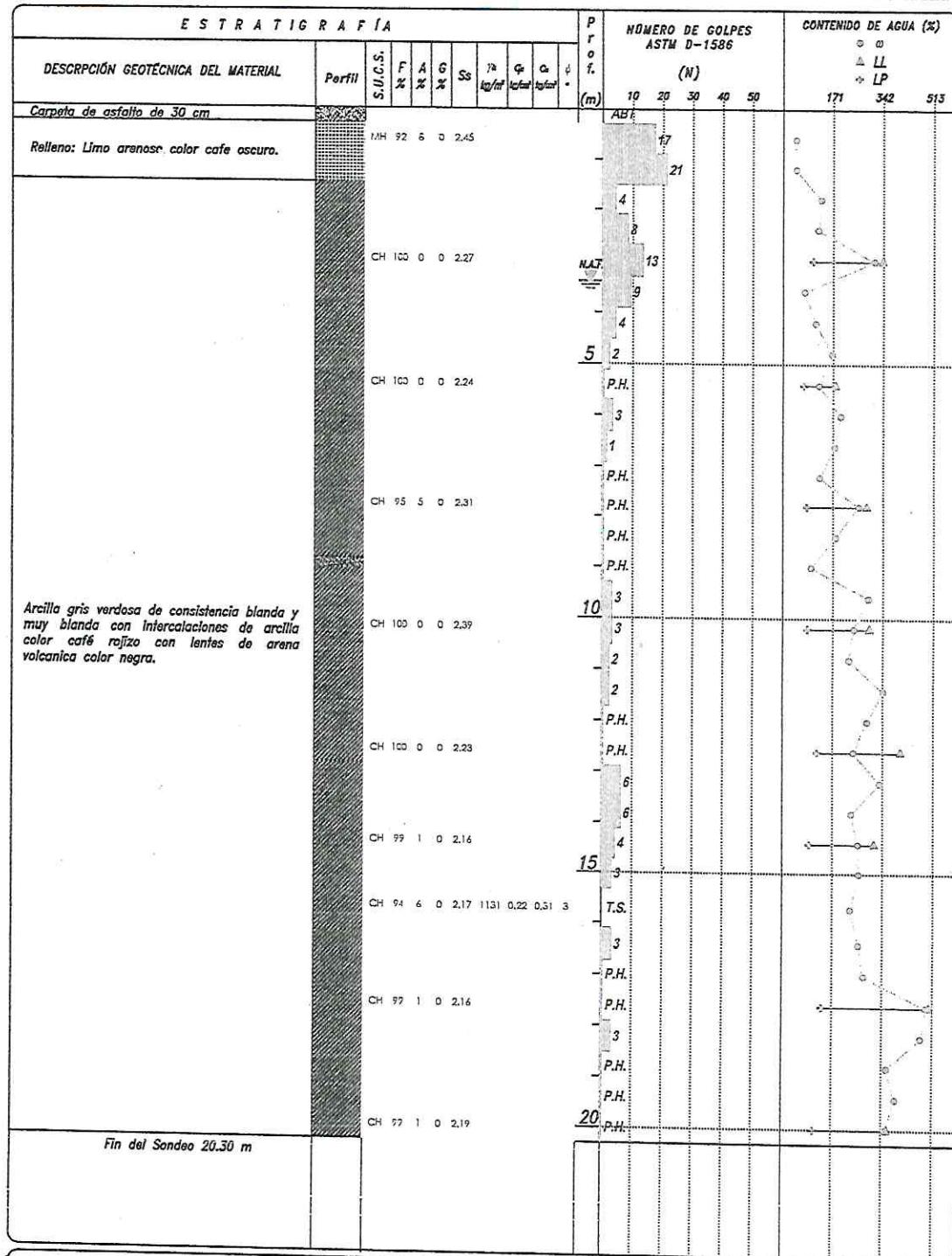
Relación de vacíos inicial	1.729
Relación de vacíos final	1.147
Presión de preconsolidación - P _c	0.44
C _c	0.45
C _s	0.02

Carga Aplicada (kg/cm ²)	Lectura Final (mm)	Espesor comprimido 2H (cm)	Altura vacíos (cm) 2H - 2H ₀	Relación de Vacíos e	av [cm ² /kg]	mv [cm ² /kg]	Cv (cm ² /seg)	K (cm/seg)
0	0	1.9900	1.2609	1.7292				
0.122	0.4410	1.9459	1.2168	1.6688	0.4958	0.1858	0.02254	0.004187
0.244	0.8080	1.9092	1.1801	1.6184	0.4126	0.1576	0.01325	0.002088
0.489	1.4500	1.8450	1.1159	1.5304	0.3594	0.1420	0.00735	0.001043
0.981	2.2690	1.7631	1.0340	1.4180	0.2283	0.0944	0.00519	0.000490
1.966	3.2520	1.6648	0.9357	1.2832	0.1369	0.0599	0.00377	0.000226
3.937	4.2460	1.5654	0.8363	1.1469	0.0692	0.0322	0.00461	0.000148
1.966	4.2100	1.5690	0.8399	1.1518	0.0025	0.0012		
0.981	4.1600	1.5740	0.8449	1.1587	0.0070	0.0032		
0.489	4.0960	1.5804	0.8513	1.1675	0.0178	0.0082		
0.244	4.0210	1.5879	0.8588	1.1778	0.0420	0.0193		
0.122	3.9910	1.5909	0.8618	1.1819	0.0337	0.0155		
0.010	3.7400	1.6160	0.8869	1.2163				



PERFIL ESTRATIGRAFICO SM-3

PROYECTO:	ESTRATIGRAFÍA DAMASCO.	PROFUNDIDAD EXPLORADA (m)	CORDENADAS:
LOCALIZACIÓN:	<i>C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.</i>	20.30	latitud 19.441093° longitud -99.098625°
		INICIO: 17/02/2025	TERMINACIÓN: 18/02/2025
		PROF. NAF (m)	3.40 m



Símbolos		SÍMBOLOGÍA					
	Relleno		Arena	$T.S.$	Tubo Shelly	F	Porcentaje de Fina
	Bulos		Limo	$N.Q.$	Baril con Corona de Diamante	A	Porcentaje de Arena
	Grava		Arcilla	$S.P.T.$	Sondeo de Penetración Estandar	G	Porcentaje de Grava
				$B.T.$	Broca Tricónica	Ss	Densidad de Sólidos
				$P.H.$	Peso Herramienta	γ_s	Peso Volumétrico Húmedo
				$N.A.F.$	Nivel de Aguas Freáticas	q_u	Resistencia Uniaxial
						c_u	Resistencia al Corte No Drenada
						ϕ	Ángulo de Fricción Interna
						w	Contenido de Agua
						LL	Límite Líquido
						LP	Límite Plástico
						$S.R.$	Sin Recuperación

RESUMEN DE PROPIEDADES

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACION: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

SONDEO: SM-3

HOJA: 1 de 1

PROF. (m) DE Á	No. Muestra	φ %	LL %	LP %	IP %	L.C. %	SUCS	F %	A %	G %	Ss	e	Gw %	γ _s kg/m ³	γ _h kg/m ³	N _{SPT}	q _u kg/cm ²	c _u kg/cm ²	ϕ °
0.00	0.30	-																	
0.30	0.90	1	48.83	59.33	40.63	18.70	12.4	MH	92	8	0	2.45					17		
0.90	1.50	2	48.62														21		
1.50	2.10	3	144.19														4		
2.10	2.70	4	134.23														8		
2.70	3.30	5	344.92	377.04	114.05	262.99	35.2	CH	100	0	0	2.27					13		
3.30	3.90	6	81.96														9		
3.90	4.50	7	123.43														4		
4.50	5.10	8	185.74														2		
5.10	5.70	9	136.60	199.67	65.14	134.53	27.6	CH	100	0	0	2.24					P.H.		
5.70	6.30	10	218.89														3		
6.30	6.90	11	195.67														1		
6.90	7.50	12	140.33														P.H.		
7.50	8.10	13	287.52	318.12	91.21	226.91	32.6	CH	95	5	0	2.31					P.H.		
8.10	8.70	14	199.49														P.H.		
8.70	9.30	15	106.29														P.H.		
9.30	9.90	16	324.03														3		
9.90	10.50	17	268.61	327.46	93.43	234.03	32.5	CH	100	0	0	2.39					3		
10.50	11.10	18	251.77														2		
11.10	11.70	19	379.74														2		
11.70	12.30	20	319.22														P.H.		
12.30	12.90	21	268.16	446.26	131.18	315.08	39.7	CH	100	0	0	2.23					P.H.		
12.90	13.50	22	368.36														6		
13.50	14.10	23	260.91														6		
14.10	14.70	24	285.98	347.33	102.14	245.19	33.2	CH	99	1	0	2.16					4		
14.70	15.30	25	288.76														3		
15.30	16.10	26	257.84	306.66	95.28	211.38	21.6	CH	94	6	0	2.17	5.86	95	316	1131	T.S. 0.22	0.31	3
16.10	16.70	27	287.56														3		
16.70	17.30	28	308.07														P.H.		
17.30	17.90	29	543.20	555.56	150.50	405.06	45.6	CH	99	1	0	2.16					P.H.		
17.90	18.50	30	523.77														3		
18.50	19.10	31	397.17														P.H.		
19.10	19.70	32	429.11														P.H.		
19.70	20.30	33	391.76	399.63	120.07	279.56	36.8	CH	99	1	0	2.19					P.H.		

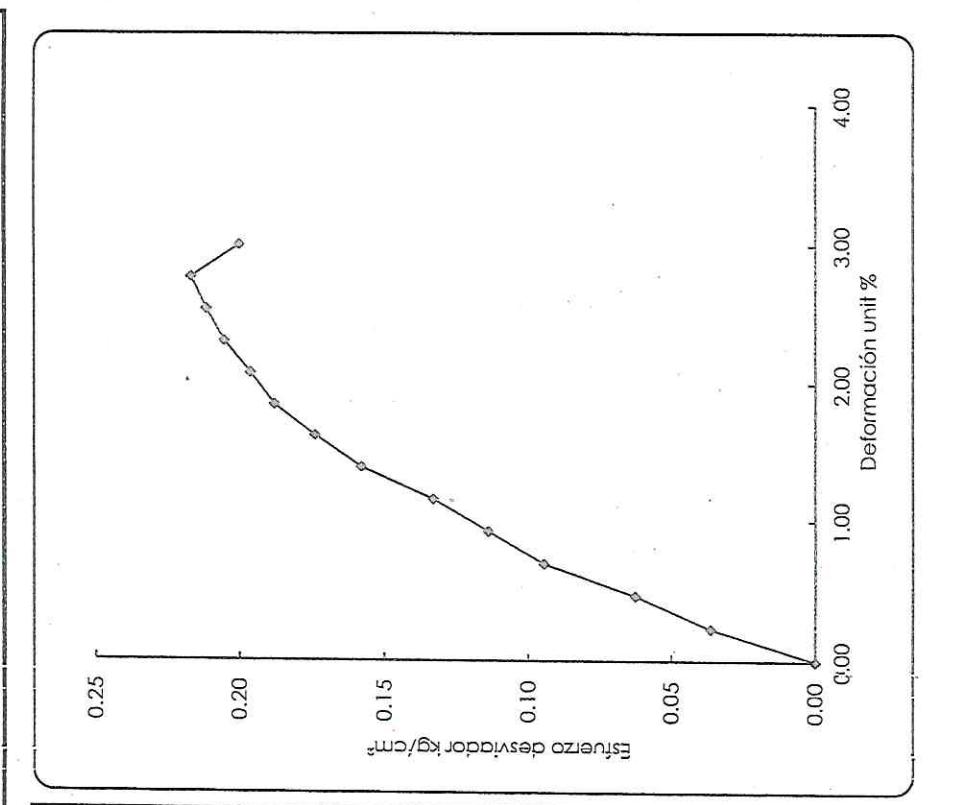
SIMBOLOGIA:	φ	Contenido de Agua	F	Porcentaje de Finos	γ _s	Peso Volumetrico Seco
	LL	Límite Líquido	A	Porcentaje de Arenas	γ _h	Peso Volumetrico Humedo
	LP	Límite Plástico	G	Porcentaje de Gravas	N _{SPT}	Número de Golpes del SPT
	IP	Indice de Plasticidad	Ss	Densidad de Solidos	q _u	Resistencia Uniaxial
	L.C.	Límite de Contracción	e	Relacion de Vacios	c _u	Resistencia al Corte No Drenada
	T.S.	Tubo Shelby	Gw	Porcentaje del Grado de Saturacion	ϕ	Angulo de fricción interna
	P.H.	Peso de herramienta	B.T.	Avance con broca triconica	N.Q.	Barril con corona de diamante

Proyecto:	Estratigrafía Danasco	Sondeo:	SM-3	Ubicación:	C. Damasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Uniaxial Inconfinada		Muestra:	26	Profundidad:	15.30 - 16.10 m

DATOS INICIALES

Altura cm	8.65	Dsup (cm)	3.60	Dpronh	3.60	Wm hum [g]	113.03	ω %	285.1%
Ss	2.17	Dmed (cm)	3.60	Area cm ²	10.18	Wtara [g]	10.74		
Cte	1.000	Dinf (cm)	3.60	Val cm ³	88.05	Wm seca [g]	37.30	q _u kg/cm ²	0.22

Lectura Nº	Anillo	Lectura microm	Carga kg P	Def. unit %	Area correg cm ²	σ1 - σ3 kg/cm ²
1	0.00	0.00	0.000	0.000	10.18	0.000
2	0.37	0.20	0.370	0.231	10.20	0.036
3	0.64	0.40	0.640	0.462	10.23	0.063
4	0.97	0.60	0.970	0.694	10.25	0.095
5	1.17	0.80	1.170	0.925	10.27	0.114
6	1.37	1.00	1.370	1.156	10.30	0.133
7	1.63	1.20	1.630	1.387	10.32	0.158
8	1.80	1.40	1.800	1.618	10.35	0.174
9	1.95	1.60	1.950	1.850	10.37	0.188
10	2.04	1.80	2.040	2.081	10.40	0.196
11	2.14	2.00	2.140	2.312	10.42	0.205
12	2.21	2.20	2.210	2.543	10.44	0.212
13	2.27	2.40	2.270	2.775	10.47	0.217
14	2.10	2.60	2.100	3.006	10.49	0.200

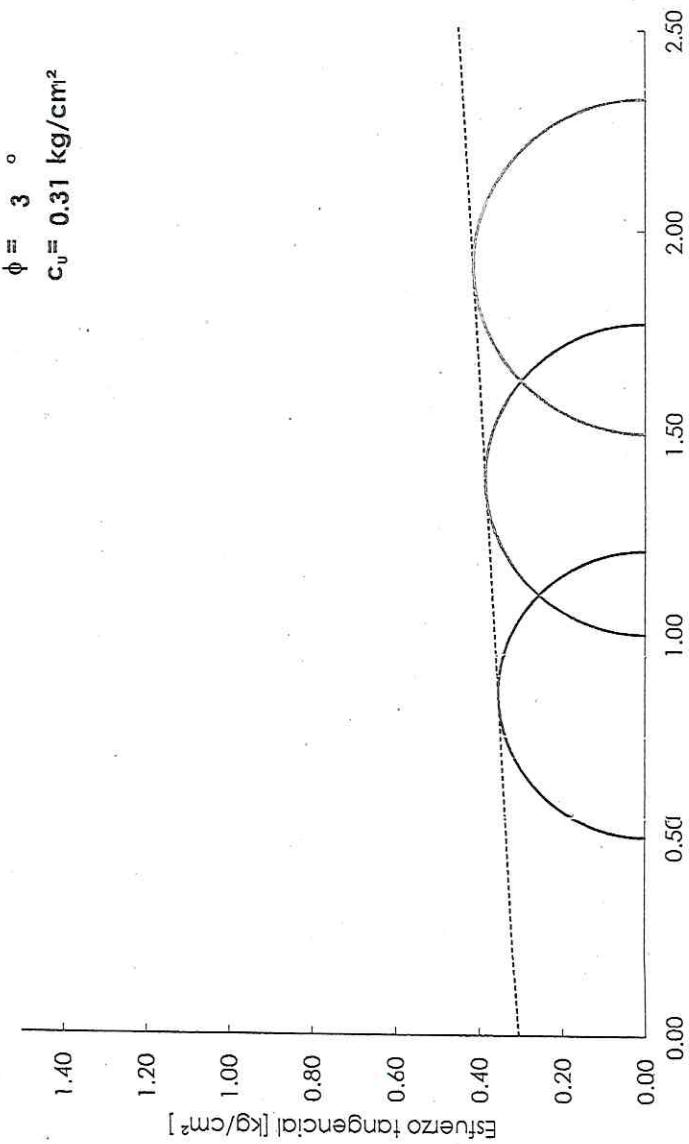


Proyecto:	ESTRUCTURA DE 4 NIVELES Y SEMISOTANO		Sondeo:	SM-3	Ubicación:	C. Iamasco 50-44, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.
Compresión Traxial [Tx-UU]	Muestra:	26	Profundidad:	15.30 - 16.10 m	Fecha:	ene-25 Hoja: 1-1

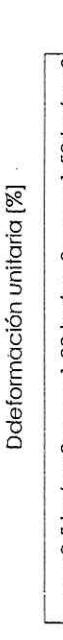
CÍRCULOS DE MOHR

$$\phi = 3^\circ$$

$$c_u = 0.31 \text{ kg/cm}^2$$



Esfuerzo axial $[\text{kg/cm}^2]$



D deformación unitaria [%]

Esfuerzo $[\text{kg/cm}^2]$

ESPECIMEN	ϕ [%]	e [%]	G_w [%]	γ [ton/m³]	σ_3 [kg/cm²]	σ_1 [kg/cm²]	S_s	E_{50} [kg/cm²]
1	277.6	6.001	100	1.171	0.500	1.208		37
2	271.0	5.870	100	1.172	1.000	1.771	2.17	35
3	273.6	5.926	100	1.171	1.500	2.328		41

DESCRIPCION DEL MATERIAL.

"Arcilla gris verdosa"

PRUEBA DE CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL

PROYECTO: ESTRATIGRAFÍA DAMASCO

UBICACIÓN: C. Damasco 62-52, Col. Romero Rubio, Alc. Venustiano Carranza, C.P. 15400, CDMX.

SONDEO: SM-3

MUESTRA: 26

PROF.(m): 15.30 - 16.10 m

DIMENSIONES DEL ANILLO	
ALTURA	2.03 cm
DIAMETRO	8.00 cm
AREA	50.22 cm ²
Peso Unitario inicial	1.112 g/cm ³

GRADO DE SATURACIÓN %	
Inicial	100
Final	100

Gs : 2.17

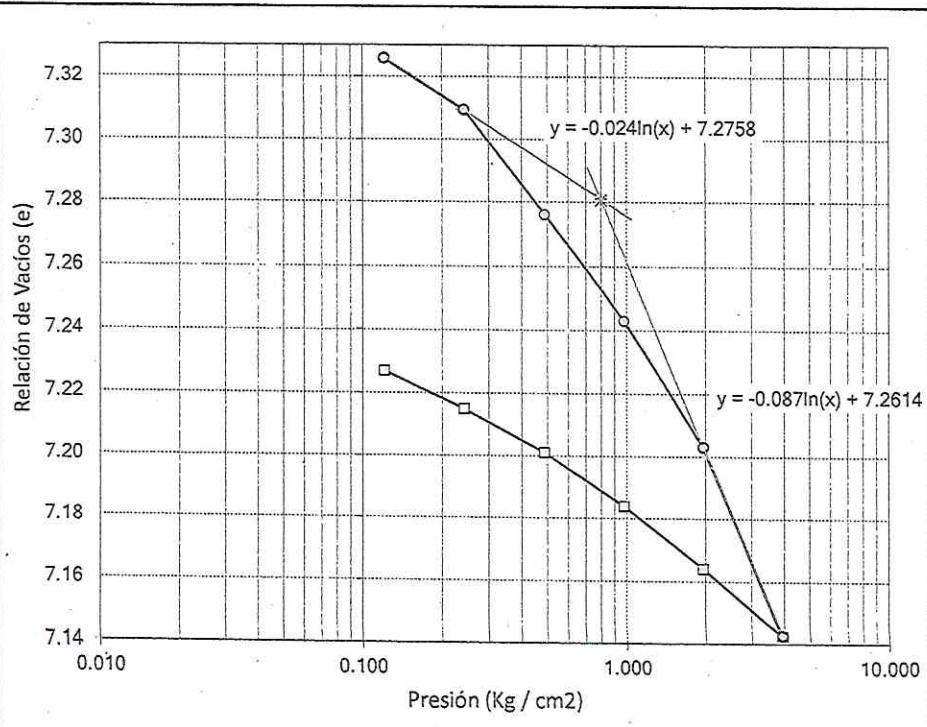
$$\text{Altura de sólidos, } 2H_0 = \frac{W_s}{G_s \cdot D_w \cdot A} = 0.2434 \text{ cm; } e = \frac{2H - 2H_0}{2H_0}$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

PESO DE LA MUESTRA	Inicial	Final
Peso anillo+muestra hum.	534.00	535.36
Peso anillo+muestra seca.	447.13	447.13
Peso anillo.	420.60	420.60
Peso del agua "Ww"	86.87	88.23
Peso suelo seco "Ws"	26.53	26.53
Humedad %	327.44	332.57

Relación de vacíos inicial	7.339
Relación de vacíos final	7.143
Presión de preconsolidación - P _c	0.80 kg / cm ²
C _c	0.20
C _s	0.06

Carga Aplicada (kg/cm ²)	Lectura Final (mm)	Espesor comprimido 2H (cm)	Altura vacíos (cm) 2H - 2H ₀	Relación de Vacíos e	a _v [cm ² /kg]	m _v [cm ² /kg]	C _v (cm ² /seg)	K (cm/seg)
0	0	2.0300	1.7866	7.3386				
0.121	0.0310	2.0269	1.7835	7.3259	0.1052	0.0126	0.02445	0.000309
0.242	0.0710	2.0229	1.7795	7.3095	0.1358	0.0163	0.01261	0.000206
0.487	0.1520	2.0148	1.7714	7.2762	0.1358	0.0164	0.00995	0.000163
0.976	0.2330	2.0067	1.7633	7.2429	0.0680	0.0083	0.00668	0.000055
1.958	0.3300	1.9970	1.7536	7.2031	0.0406	0.0049	0.02976	0.000147
3.924	0.4770	1.9823	1.7389	7.1427	0.0307	0.0038	0.02401	0.000091
1.958	0.4250	1.9875	1.7441	7.1641	0.0109	0.0013		
0.976	0.3770	1.9923	1.7489	7.1838	0.0201	0.0025		
0.487	0.3350	1.9965	1.7531	7.2010	0.0353	0.0043		
0.242	0.3010	1.9999	1.7565	7.2150	0.0570	0.0069		
0.121	0.2720	2.0028	1.7594	7.2269	0.0984	0.0120		
0.010	0.2120	2.0088	1.7654	7.2516				



INFORME

DEL ESTUDIO GEOFÍSICO QUE CONTEMPLA LA EJECUCIÓN DE TENDIDOS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA SOBRE LA CALLE DE DAMASCO, EN LA COLONIA ROMERO RUBIO DE LA ALCALDÍA VENUSTIANO CARRANZA, EN LA CIUDAD DE MÉXICO.

marzo, 2025

DOCUMENTO:	Informe geofísico	VERSIÓN:	0
PROYECTO	Estudio Geofísico		
UBICACIÓN	Calle Damasco (entre las calles Guinea y Japón), Col. Romero Rubio, Alcaldía Venustiano Carranza, en la Ciudad de México.		
			FECHA: 19/02/2025
REALIZÓ:	Eduardo Uribe Cervantes con cédula 10024355 Jovanny E. Martínez Espinoza con cédula 13307335		

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	2
1.1. LOCALIZACIÓN	2
2. MARCO GEOLÓGICO	2
2.1. HUNDIMIENTOS, FALLAS Y FRACTURAS	3
3. ADQUISIÓN DE DATOS	4
3.1. LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	4
4. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA.....	6
4.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS.....	6
1.1.1. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	7
1.1.2. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	8
4.2. EQUIPO.....	9
5. RESULTADOS	9
5.1. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.....	9
1.1.3. TRE-01	9
1.1.4. TRE-02	10
1.1.1. TRE-03	10
1.1.2. MODELO 3D	11
CONCLUSIONES	13
6. REFERENCIAS.....	14
ANEXO FOTOGRÁFICO.....	15

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe tiene como objetivo presentar los resultados del estudio realizado a través de tomografías de resistividad eléctrica con el objetivo de localizar estructuras del subsuelo que sean de interés para la evaluación de una grieta de reciente nacimiento en la calle Damasco (entre las calles de Guinea y Japón) en la Colonia Romero Rubio en la Alcaldía Venustiano Carranza, en la Ciudad de México.

1.1. LOCALIZACIÓN

Los trabajos de evaluación geofísica que se realizaron como se mencionó previamente en la colonia Romero Rubio de la Alcaldía Venustiano Carranza, como se muestra en la Figura 1.

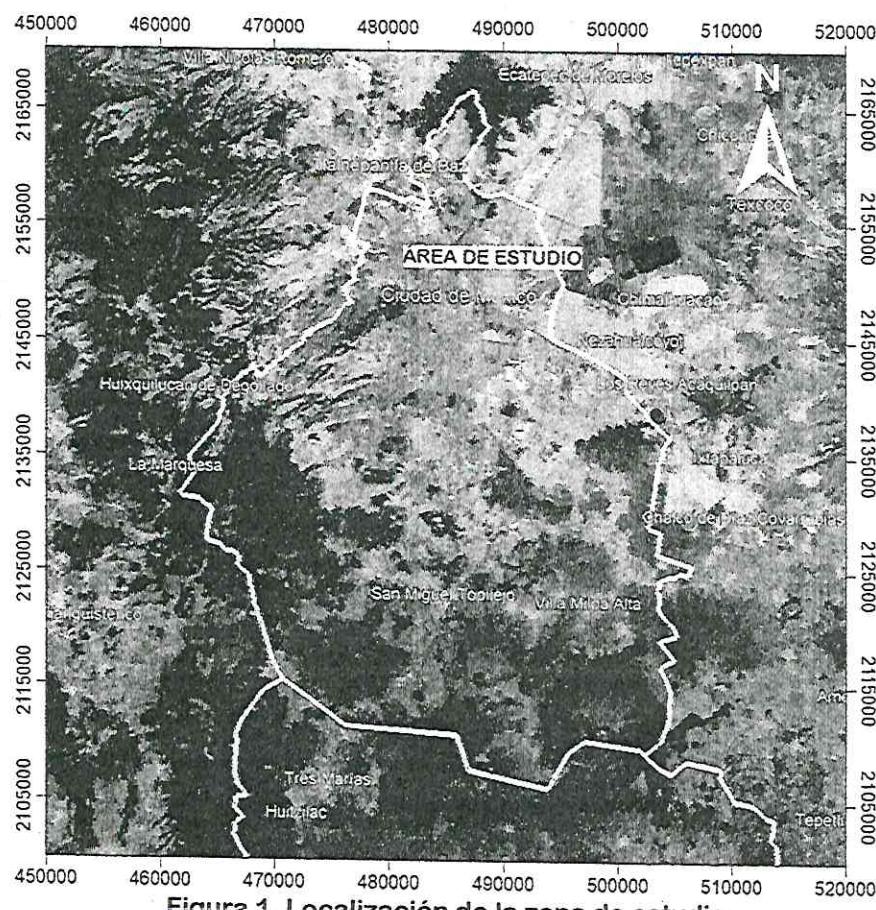


Figura 1. Localización de la zona de estudio

2. MARCO GEOLÓGICO

El área de estudio se encuentra en la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico, en la subprovincia de Lagos y Volcanes de Anáhuac. La Alcaldía Venustiano Carranza se encuentra ubicada en la Cuenca de México en la Provincia Fisiográfica denominada Eje Neovolcánico, la cual cruza al país; está formada por grandes sierras volcánicas, coladas de lava, conos dispersos, y cuencas cerradas en las que se forman lagos.

La Cuenca de México se encuentra rodeada por relieves que alcanzan los 5,000 msnm formados por riolitas, dacitas, andesitas y traquitas, generalmente cubiertas por basaltos, estas elevaciones comprenden a la Sierra de Guadalupe, la Sierra Chichinautzin y la Sierra Nevada mientras que la parte de valles han sido cuencas lacustres llenas por materiales fluviales y lacustres, así como cenizas volcánicas.

La evolución de la Cuenca de México ha estado marcada con fases de depósito de material lacustre, así como de esfuerzos compresivos y fenómenos volcánicos por los cuales se tienen intercalaciones de depósitos lacustres con materiales de origen volcánico.

Los suelos que componen el área de interés están conformados por depósitos aluviales y lacustres, mientras que en la parte norte de la delegación se observa una estructura volcánica de composición básica. La figura 2 muestra la distribución de los depósitos lacustres y aluviales, así como el Peñón de los Baños.

Los sedimentos lacustres y aluviales pueden estar formados en su mayoría por materiales, como pueden ser limos, arcillas, arenas y gravas provenientes de rocas preexistentes que han sido transportados desde las partes más altas de las sierras circundantes. Como referencia se presenta la Figura 2.

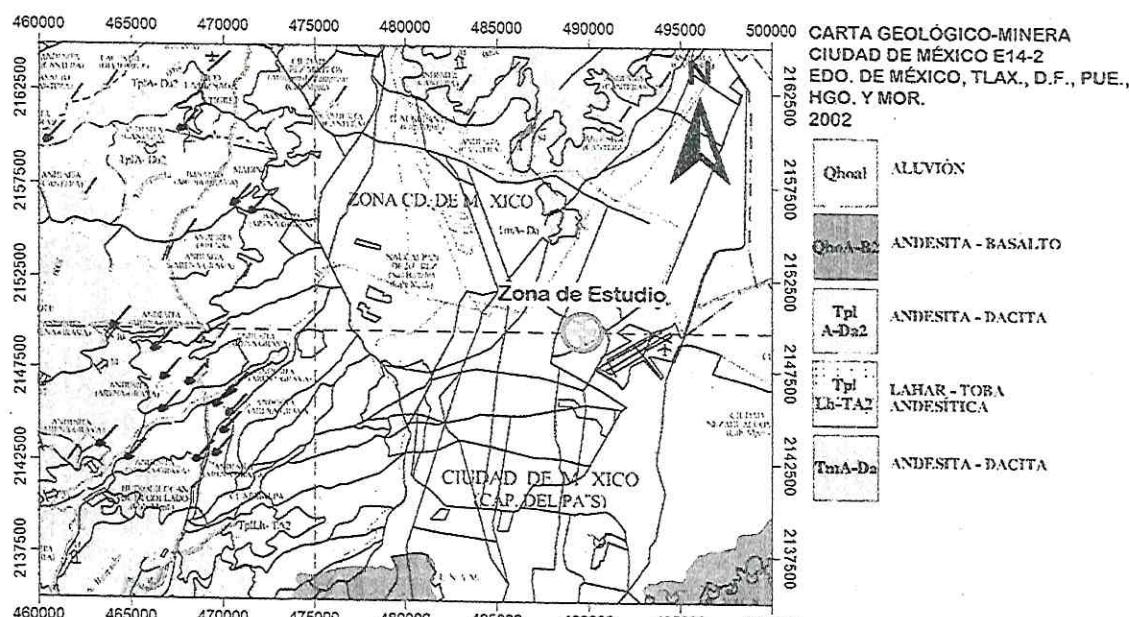


Figura 2. Geología de la zona de estudio (SGM, 2002)

2.1. HUNDIMIENTOS, FALLAS Y FRACTURAS

Según el Atlas de Riesgos de la Delegación Venustiano Carranza del año 2014, se realizó un mapeo de fallas y fracturas en la zona de estudio, donde se señala que por antecedente histórico se sabe que en las últimas dos décadas muchas zonas urbanas en el centro de México han sido afectadas por hundimientos diferenciales del suelo. Generalmente estos procesos se han relacionado solamente a la sobreexplotación de acuíferos.

Aunque también es común que se tengan este tipo de fenómenos derivado de las fugas en el sistema hidráulico de la Ciudad, las cuales pueden saturar y erosionar el subsuelo.

La Delegación Venustiano Carranza tiene un hundimiento histórico de 0 a 13 metros (respecto al mapa de hundimiento regional reportado por el laboratorio de Geoinformática que refiere el mencionado Atlas).

También como parte del contenido del Atlas de Riesgos de la Delegación Venustiano Carranza, se encuentra un mapa de las fallas inferidas, una falla activa reportada que atraviesa el Peñón de los Baños y diversas fracturas presentes en la delegación, particularmente en la Figura 3, se puede observar que cerca del área de estudio se infirió una falla la cual puede tener aportaciones al desarrollo de fracturas en la zona.

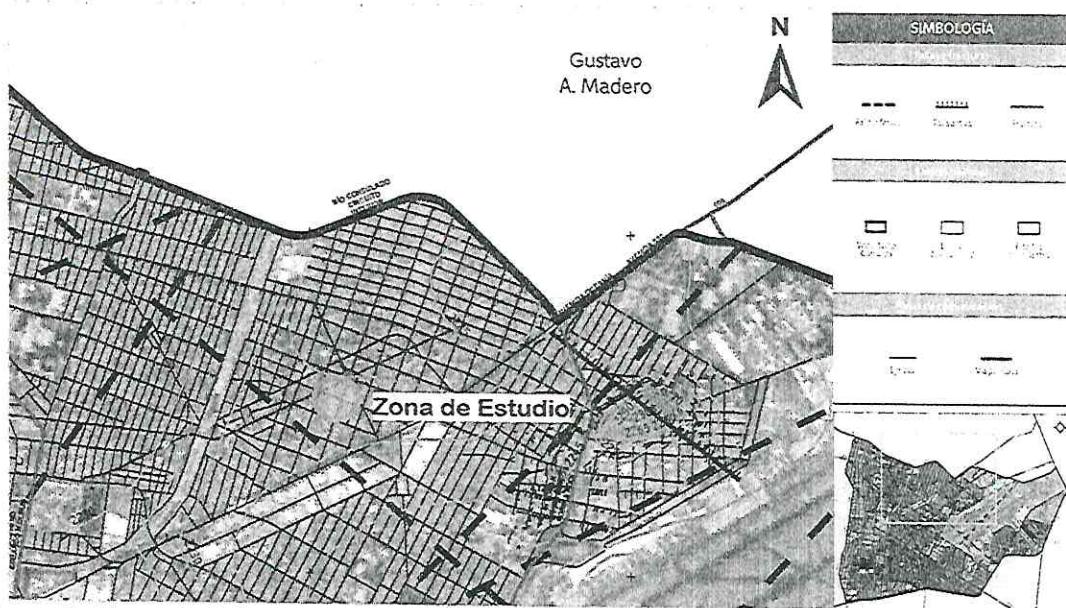


Figura 3. Mapa de fallas y fracturas de la zona de estudio (Modificado de SEDEMA, 2014)

3. ADQUISIÓN DE DATOS

A continuación, se presentan las coordenadas y croquis de localización de las líneas de Tomografía de Resistividad Eléctrica realizadas.

3.1. LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

En la Tabla 1 se presentan las coordenadas de inicio y fin de cada una de las 3 líneas realizadas con Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE).

Tabla 1. Coordenadas de localización de las TREs

LÍNEA	COORDENADA INICIAL		COORDENADA FINAL		LONGITUD (M)
	X	Y	X	Y	
TRE-01	489654.46	2149688.21	489621.10	2149597.28	93.0

LÍNEA	COORDENADA INICIAL		COORDENADA FINAL		LONGITUD (M)
	X	Y	X	Y	
TRE-02	489658.85	2149685.62	489627.38	2149595.13	93.0
TRE-03	489665.31	2149683.96	489633.65	2149593.31	93.0

En la Figura 4 se muestra el croquis de localización de las líneas de Tomografía de Resistividad Eléctrica, así como la zona de grieta que se observó en la zona de estudio con una fotografía tomada de Google Earth.



Figura 4. Localización de las líneas de TRE realizadas

4. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

En esta sección del informe se presenta una descripción detallada de la metodología que se utilizó para llevar a cabo el estudio, lo anterior con el objetivo principal es proporcionar una visión clara y completa de las técnicas, procesamiento de datos y equipos empleados.

4.1. MÉTODOS ELÉCTRICOS

Los métodos eléctricos DC, más identificados como métodos eléctricos, se basan en producir un arco eléctrico a través de un par de electrodos conectados a una fuente (electrodos AB), para posteriormente medir la respuesta del subsuelo a través de un par de electrodos adicionales (electrodos MN) por medio de la diferencia de potencial entre ellos (Figura 5).

El propósito de los sondeos eléctricos es determinar la distribución de resistividades en el subsuelo realizando mediciones en la superficie de la tierra. A partir de estas mediciones, la resistividad verdadera en el subsuelo puede ser estimada. Esta resistividad puede ser asociada a varios parámetros geológicos como el contenido de fluidos y minerales, la porosidad y el grado de saturación de agua en la roca. Los sondeos eléctricos han sido empleados por varias décadas en investigaciones hidrogeológicas, mineras y geotécnicas. Actualmente, se están implementando en investigaciones ambientales

Los métodos eléctricos se basan en los contrastes de resistividad (o su inverso, conductividad) de los materiales en el subsuelo, por ejemplo, cuando hay la presencia de una oquedad en el subsuelo, el contraste entre esta anomalía y los materiales circundantes será evidente. La resistencia eléctrica, R de un material está relacionada con sus dimensiones físicas, su área transversal A y su longitud l , mientras que la resistividad ρ o su inverso, la conductividad σ , se definen por:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{RA}{l} \quad (1)$$

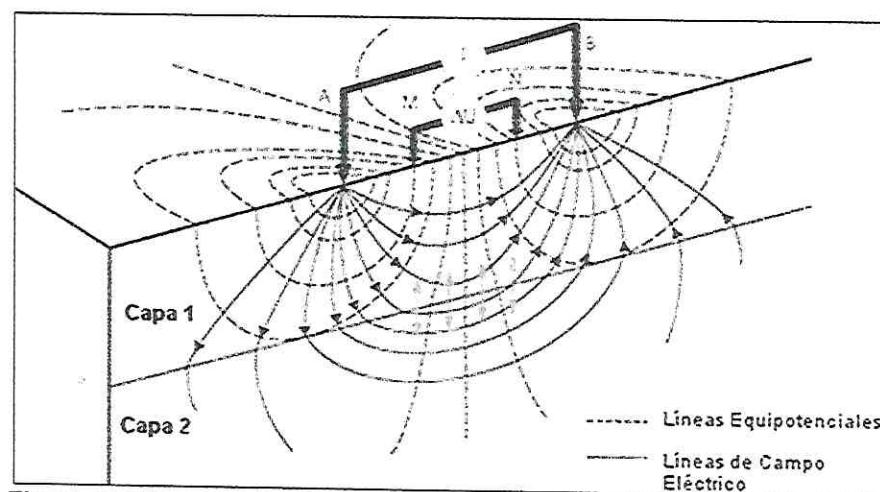


Figura 5. Diagrama básico del método eléctrico de corriente continua

1.1.1. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

A partir de la teoría del método eléctrico, la tomografía eléctrica se basa en adquirir varios puntos en un perfil con la finalidad de obtener las variaciones de las resistividades en el subsuelo tanto de forma vertical como horizontal. El método consiste colocar en la superficie una serie de electrodos colineales con una determinada configuración y poder realizar calicatas eléctricas en varios niveles de profundidad variando la distancia entre los electrodos, dependiendo de la configuración seleccionada (Figura 5) (Orellana, 1982).

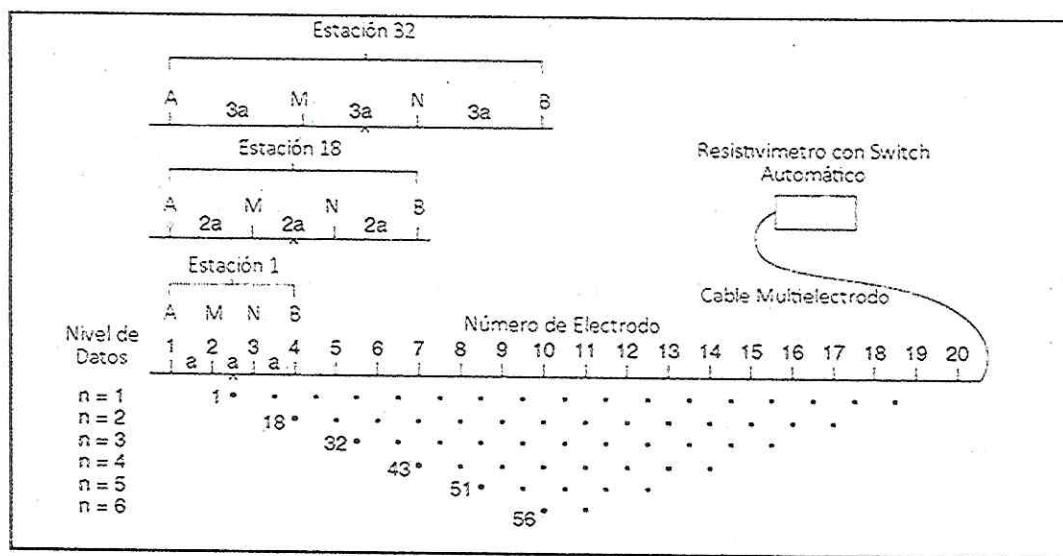


Figura 6. Diagrama de adquisición de la TRE

La tomografía de resistividad eléctrica (TRE), se realizó con arreglo Polo-Dipolo, el cual consiste en 2 electrodos de corriente denominados A y B en donde el electrodo A se coloca de manera muy alejada al tendido, mientras que el otro se coloca en el tendido principal, el par de electrodos donde se mide la diferencia de potencial, denominados M y N, se encuentran a una distancia na del electrodo B y separados una distancia a entre ellos. Este arreglo desplaza de manera lateral a fin de poder determinar los cambios horizontales, la profundidad de exploración será definida por el espacio disponible en campo. (Geotomo, 2003).

Al desplazar de manera lateral el arreglo se pudieron obtener las variaciones de propiedades en el sitio de exploración, mientras que al aumentar la separación entre electrodos se obtuvo una mayor profundidad de exploración, con estos cambios tanto laterales como verticales se obtiene una imagen de distribución de resistividad en dos dimensiones.

La medición de la tomografía se realizó utilizando un sistema automatizado de 10 canales modelo Syscal Pro con 16 electrodos y con una separación de 1 m entre cada electrodo.

1.1.2. PROCESAMIENTO DE DATOS

Los datos obtenidos en campo fueron procesados utilizando el software RES2INV, el cual permitió realizar una sección Geoeléctrica, así como ejecutar una inversión de datos, que a su vez permitió la elaboración de una sección de resistividades reales en 2 dimensiones (2D).

Las imágenes eléctricas 2D son ampliamente usadas para mapear áreas de geología compleja a moderada donde los sondeos de resistividad 1D y las técnicas de perfilaje no son adecuados. Los resultados de este tipo de sondeos son usualmente representados gráficamente en forma de secciones interpoladas lo que distorsiona la distribución real de la propiedad en el subsuelo (Loke, 2010).

Para tal efecto, es necesario recurrir a un proceso de inversión. Es decir, a través de un algoritmo basado en la teoría de la inversión es posible recuperar el sistema (en este caso, el subsuelo) que generó los datos que se midieron en campo dados ciertos parámetros iniciales de adquisición. En este trabajo, el algoritmo utilizado es el desarrollado por Loke y Barker (1996) basado en el método de inversión de mínimos cuadrados de Gauss – Newton con restricción de suavizado, para producir un modelo 2D del subsuelo a partir de los datos de resistividad aparente. Este algoritmo además ha sido optimizado para una inversión de una gran cantidad de datos, así como el uso de la memoria disponible para reducir el tiempo de cómputo.

Para poder ingresar los datos adquiridos en este algoritmo de inversión, es necesario que cumplan con ciertas características relativas a su calidad. Para tal efecto, inicialmente se procede a evaluar su continuidad y consistencia a lo largo de todo el perfil. Todo punto que se salga de los parámetros esperados es eliminado para que su inclusión no afecte el proceso de inversión. Una vez que los datos han sido evaluados y aceptados, se procede a invertirlos de acuerdo con los parámetros controlables en el algoritmo citado.

Un algoritmo de inversión contiene una parte de sustancial importancia, el cálculo del modelo directo, pues es necesario para calcular la respuesta del medio y compararla con la que resulta de la modificación de los parámetros a invertir. Para llevar a cabo el cálculo de los valores de resistividad aparente en el modelado directo, el algoritmo de Loke y Barker (1996) usa la técnica de la optimización no lineal de mínimos cuadrados de forma iterativa. Este método de optimización reduce la diferencia entre los valores de resistividad aparente medida y los calculados, se utiliza el error cuadrático medio para medir esta diferencia. Sin embargo, un error cuadrático medio muy bajo puede, en ciertas ocasiones, presentar grandes variaciones en los modelos del subsuelo que no se correlacionan con un modelo geológico verdadero (Geotomo, 2011).

Cuando se calcula el modelo directo, la solución que se tiene es única; sin embargo, cuando se habla de inversión se pueden tener diversas soluciones.

Para realizar la inversión de los datos, el programa utiliza un modelo que consiste en un cierto número de bloques rectangulares, distribuidos en la pseudosección, tratando de cubrir los puntos de atribución según el arreglo electrónico escogido.

4.2. EQUIPO

Para el levantamiento de las líneas TRE se empleó un resistivímetro de la marca Iris Instrumental modelo Syscal Pro SW 96, el cual permite la inyección de hasta 2500 mA de corriente y el cálculo automático de resistividad para diferentes arreglos electródicos, el cual se muestra en la Figura 7.

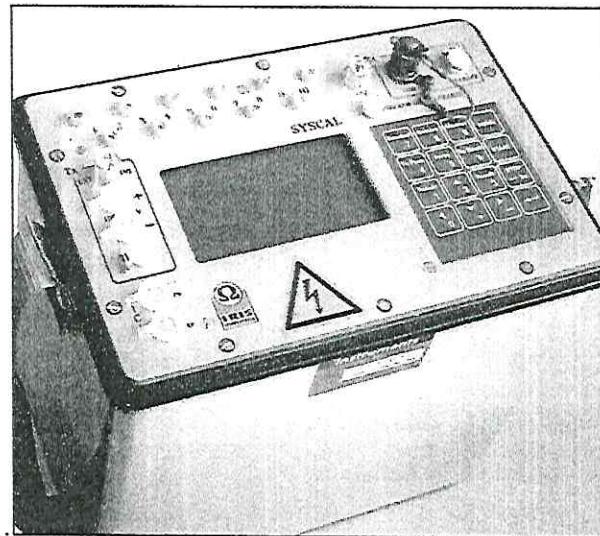


Figura 7. Resistivímetro Syscal Pro

5. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de los datos adquiridos en campo de las Tomografía de Resistividad Eléctrica, las cuales fueron cuidadosamente procesadas y analizadas.

5.1. TOMOGRAFÍA DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA

5.1.3 TRE-01

En la Figura 8 se muestra la imagen obtenida para la TRE-01, la cual se realizó con dirección norte a sur en la parte poniente de la calle damasco, la zona de la grieta se ubicó a los 48 m del inicio del tendido. En esta línea se observaron tres unidades geoléctricas principales, la más superficial con valores de resistividad entre 5 Y 10 Ω m asociados con materiales finos, esta unidad se prolonga hasta los 4-5 m de profundidad, donde en la zona de la grieta se encontró un ligero aumento en los valores de resistividad en la zona denominada U1-B. La siguiente unidad identificada presenta valores de resistividad menores a 5 Ω m este cambio podría deberse a un aumento en el contenido de agua de los materiales que conforman esta unidad, la cual se observó hasta una profundidad de 15 m, donde aparece un nuevo cambio en los valores de resistividad.

En la zona donde se observó la fractura en superficie, se observan los valores de resistividad más altos de la U1 esto podría deberse a una disminución en el contenido de agua lo que favorecería la formación de grietas de desecación. Esta condición se observó en los primeros 5 m, sin embargo debajo de esta

en la unidad la unidad U1-B presento valores más altos de resistividad asociados con un cambio en la composición mineralógica o en el tipo de sedimentos presentes, lo cual podría favorecer la subsidencia diferencial.

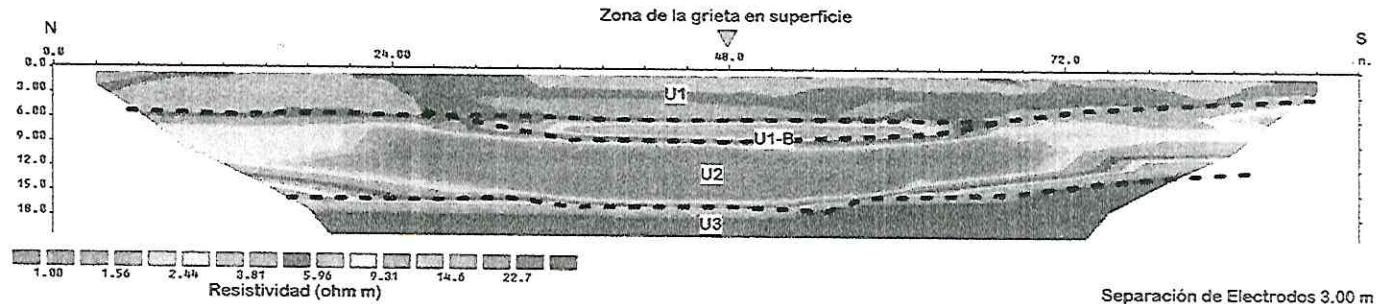


Figura 8. TRE-01 realizado en la dirección N-S

5.1.4 TRE-02

En la Figura 9 se muestra la imagen obtenida para la TRE-02, la cual se realizó sobre el camellón que divide los dos cuerpos de la calle Damasco. En esta línea se encontraron tres unidades principales, la primera con valores de resistividad mayor a $6 \Omega\text{m}$, asociado con materiales de grano fino, la segunda unidad U2 se observó desde los 4 m de profundidad, esta unidad presento valores de resistividad menores a $5 \Omega\text{m}$ posiblemente asociados con el aumento en el contenido de agua en los materiales.

En la unidad U1 entre los 42 y 47 m desde el inicio del perfil se observó una anomalía donde los valores de resistividad son mayores a $10 \Omega\text{m}$ esta zona coincide con la grieta en superficie, podemos ver que se prolongó hasta una profundidad de 6 m, en la figura se muestra esta anomalía encerrada en un círculo con línea discontinua.

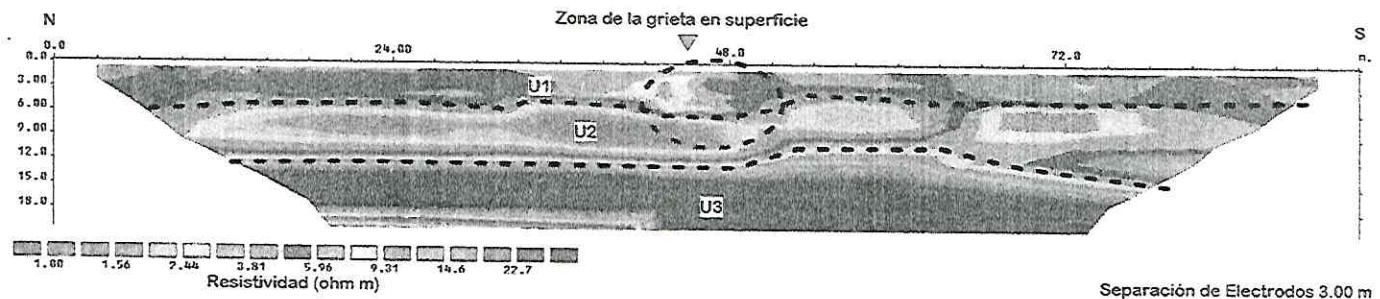


Figura 9. TRE-02 realizado en la dirección N-S

5.1.5 TRE-03

En la Figura 10 se muestra la imagen obtenida para la TRE-03, la cual presenta una estratigrafía similar a la encontrada en las líneas anteriores, en esta línea se observó la anomalía en la unidad U1 entre los 42 y 43 m desde el inicio del perfil, la cual coincide con la grieta observada en la superficie, esta anomalía se observó con una profundidad de 9 m, afectando a la unidad U1B.

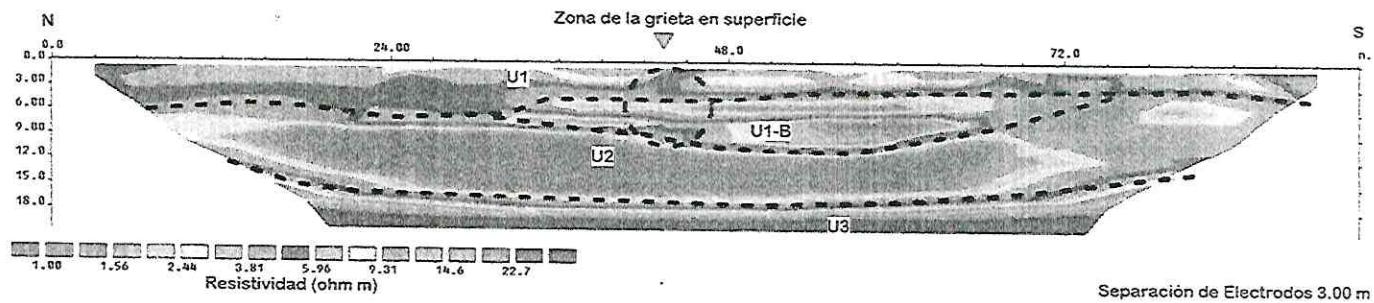


Figura 10. TRE-03 realizado en la dirección N-S

5.1.6 MODELO 3D

A partir de las líneas de TRE realizadas se generó un modelo tridimensional, el cual permitió visualizar de mejor manera los cambios de resistividad y su ubicación espacial.

La Figura 11 muestra una vista desde el suroeste del modelo, en ella podemos observar que la anomalía asociada a la fractura miento presente en la superficie es más evidente en la parte oriental. Se observa la anomalía asociada a la grieta hasta una profundidad de 5 a 6 m.

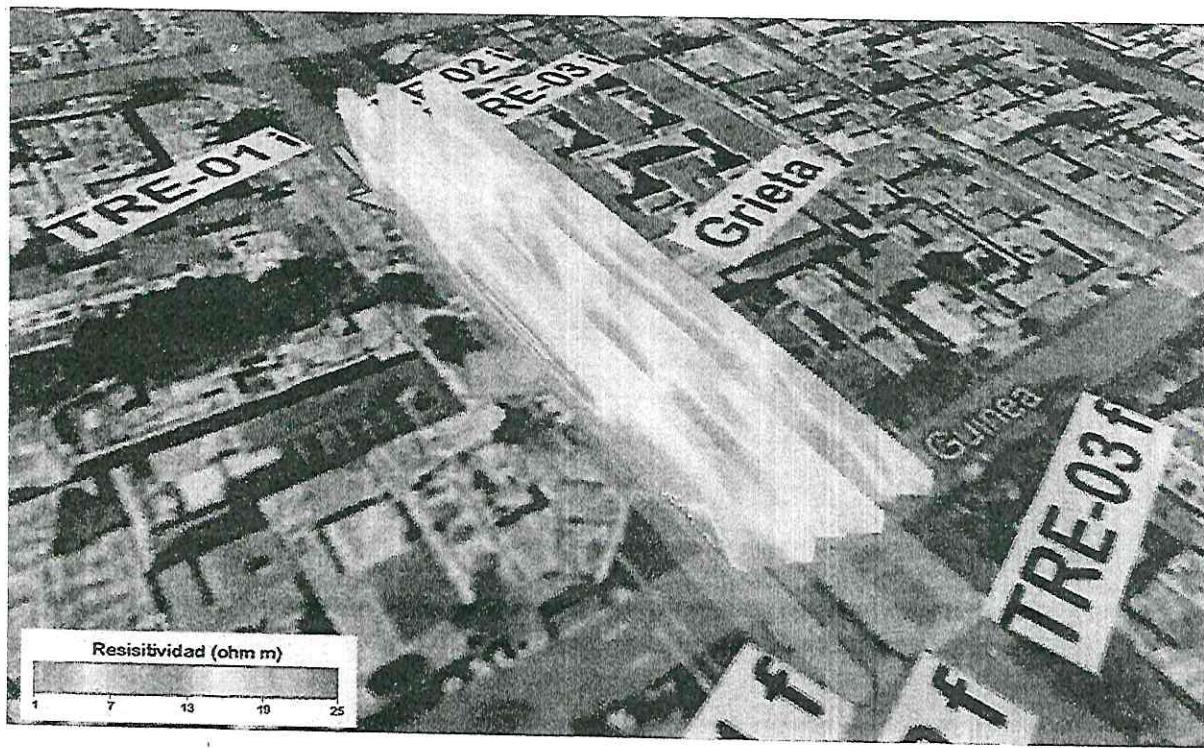


Figura 11. Vista desde el SO del modelo 3D

La Figura 12 muestra el modelo 3D visto desde el sureste, en esta vista se puede observar de mejor manera una anomalía, en donde se interrumpen los valores de resistividad, esta anomalía se extiende hasta los 8 a 9 m de profundidad.

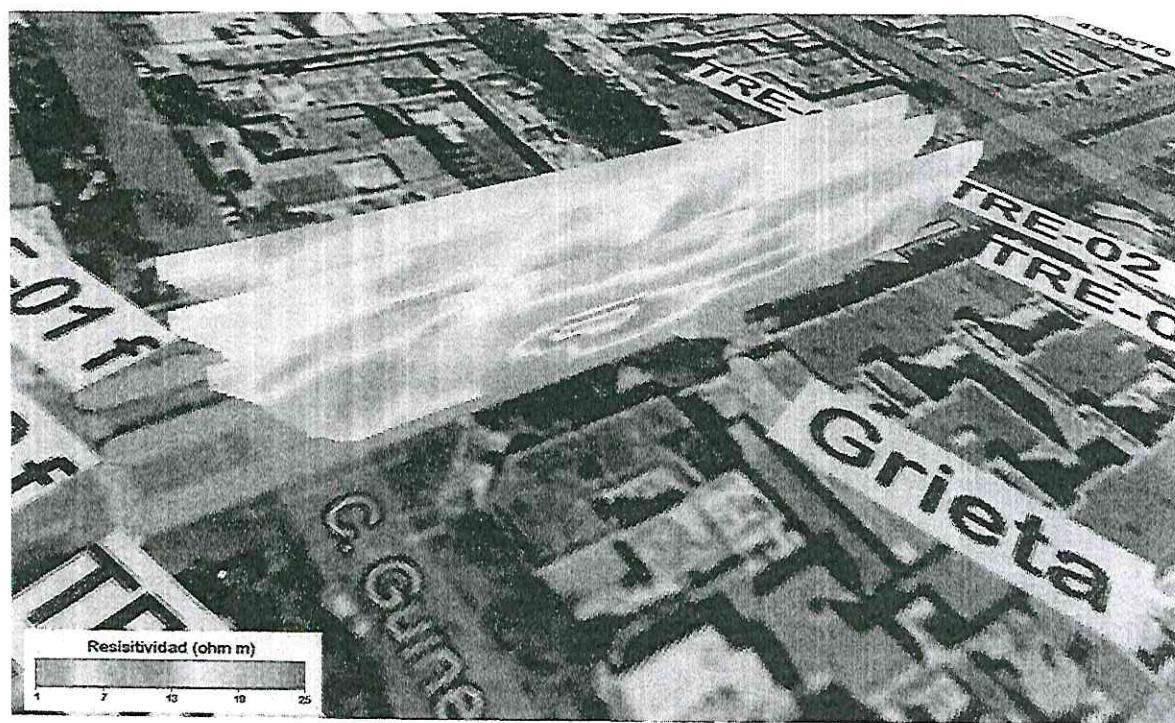


Figura 12. Vista desde el SE del modelo 3D

6. CONCLUSIONES

Derivado de las Tomografías de Resistividad Eléctrica, se puede concluir lo siguiente:

- Se realizaron tres TRE con longitud de 93 m para un total de 279 m con los cuales se investigó hasta una profundidad de 20 m.
- Se encontraron valores de resistividad menores a los $30 \Omega m$ que por la geología podrían deberse a depósitos lacustres conformados por arcilla y limos.
- Se distinguieron 4 unidades geoléctricas principales, denominadas U1, U1-B, U2 Y U3, donde U1 y U3 presentaron los valores más altos de resistividad y U2 los mas bajos. Los valores de resistividad de U1 se asociaron a depósitos lacustres con un menor contenido de agua con respecto a U2. Este cambio en los valores de resistividad asociados a los contenidos de agua podría generar la aparición de grietas de desecación.
- Se encontraron anomalías en la unidad U1 las cuales coinciden con la presencia de la grieta en la superficie, estas anomalías son más visibles en la TRE-02 y 03 entre los 42 y 47 m desde el inicio del perfil, extendiéndose hasta una profundidad de 6 m en la TRE-02 y hasta 9 m en la TRE-03.
- Tanto en la línea 01 y 03 se encontró una unidad denominada U1-B que presento valores de resistividad ligeramente más altos, esto podría estar relacionado con un cambio en el tipo de material que se encuentra, lo cual podría favorecer un fenómeno de subsidencia diferencial.

Cabe mencionar que al ser métodos indirectos siempre se contará con incertidumbre, por lo que se recomienda hacer calas o aplicar algún método directo para verificar los hallazgos.

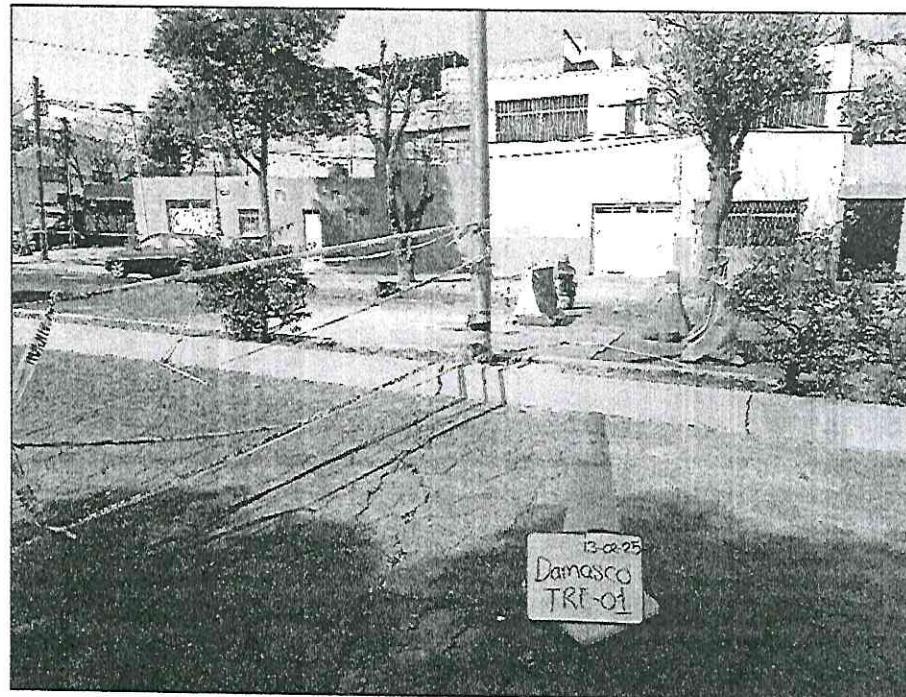
7. REFERENCIAS

- Dobrin, Milton B.; Savit, Carl H., *Introduction to Geophysical Prospecting*, McGraw Hill, 1988.
- Serway R.A. y Jewett, J.W. *Física para Ciencias e Ingeniería Vol. 2* Cengage Learning Editores, México, 2009.
- Orellana Ernesto, 1992. *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua (Primera Edición)*, Paraninfo, Madrid, 574 pág.
- Orellana y Mooney. (1966). *Master tables and curves for Vertical Electrical Sounding over layered structures*. Madrid, España: Interciencia.
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2014, *Atlas de Riesgos de la Delegación Venustiano Carranza – Actualización de mapas de riesgos*, Ciudad de México.
- Servicio Geológico Mexicano, 2002, *Carta Geológico-Minera E14-2 Ciudad de México, Estado de México, Tlaxcala, D.F., Puebla, Hidalgo, Morelia*.

ANEXO FOTOGRÁFICO



Fotografía 1. Perforación para colocación de electrodos



Fotografía 2. Perforación para colocación de electrodos



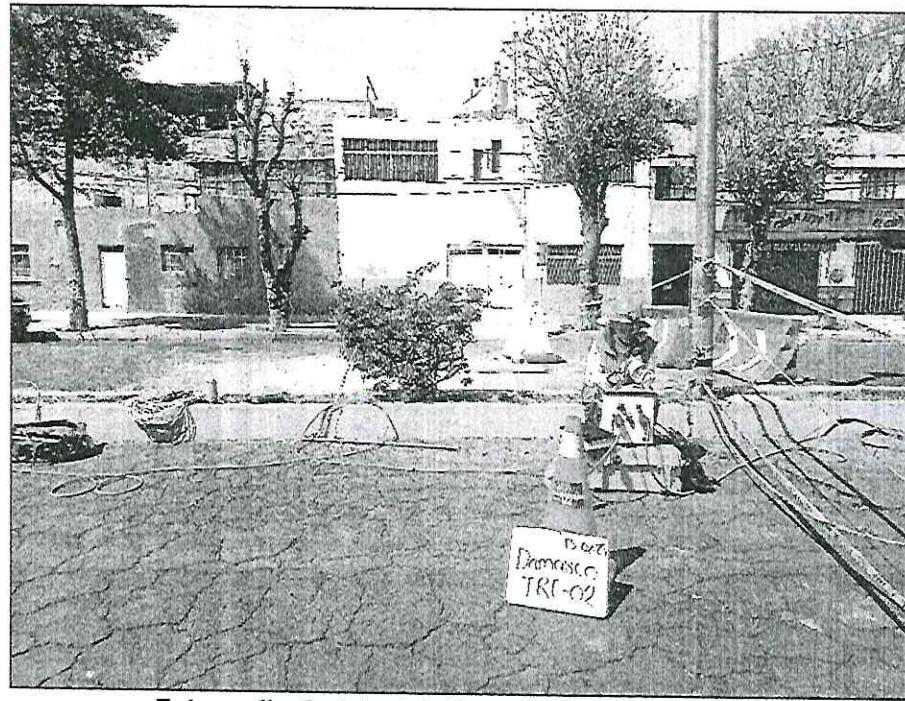
Fotografía 3. Adquisición de datos de la TRE-01



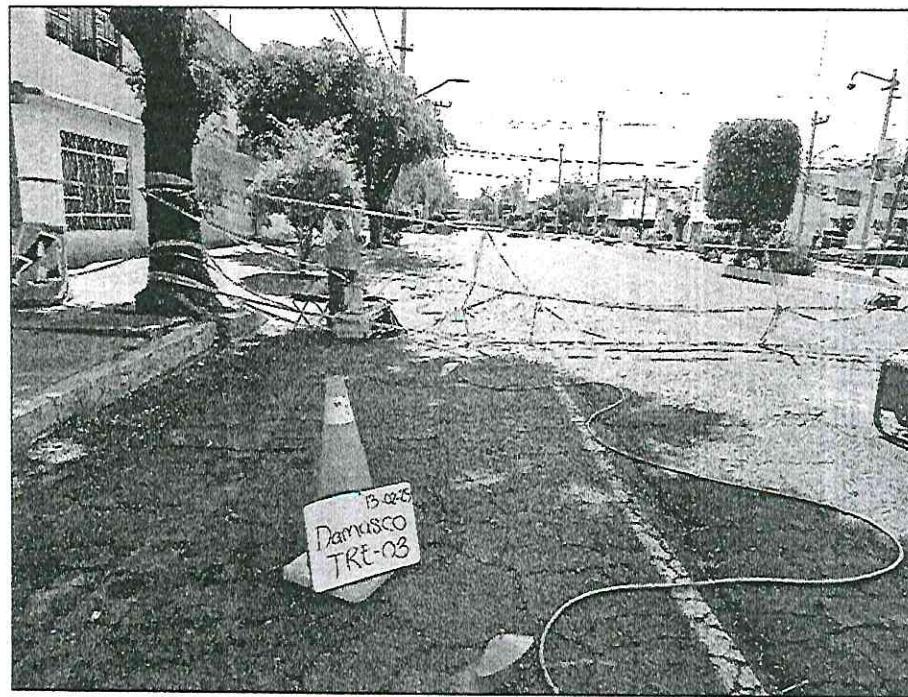
Fotografía 4. Adquisición de datos de la TRE-01



Fotografía 5. Adquisición de datos de la TRE-02



Fotografía 6. Adquisición de datos de la TRE-02



Fotografía 7. Adquisición de datos de la TRE-03



Fotografía 8. Adquisición de datos de la TRE-03