

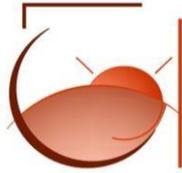


**Comisión para la
Reconstrucción,
Recuperación y
Transformación de la Ciudad
de México.**

*TRABAJOS DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONSISTENTES EN MUESTREO
DIRECTO MEDIANTE LA TÉCNICA SPT O
SM PARA DETERMINAR LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS
MATERIALES QUE CONFORMAN AL
SUELO, EN LAS ZONAS 20-9, UBICADAS
EN LA COLONIA VILLA
CENTROAMERICANA AFECTADAS POR
EL SISMO SEPT 17, EN LA ALCALDÍA
TLÁHUAC, CDMX*

5 SOL GEOCONSULTORES, S. A. de C. V.



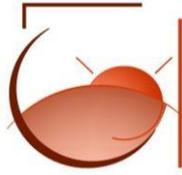


5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

INFORME FINAL

**TRABAJOS DE MECÁNICA DE SUELOS,
CONSISTENTES EN MUESTREO DIRECTO MEDIANTE
LA TÉCNICA SPT O SM PARA DETERMINAR LAS
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES QUE
CONFORMAN AL SUELO, EN LAS ZONAS 20-9,
UBICADAS EN LA COLONIA VILLA
CENTROAMERICANA AFECTADAS POR EL SISMO SEPT
17, EN LA ALCALDÍA TLÁHUAC, CDMX.**



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

PRESENTACIÓN.

El pasado mes de octubre se solicitó a nuestra empresa realizar los trabajos para un **ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS** en dos cuadrantes de la Villa Centroamericana ubicada dentro de los límites políticos de la actual Alcaldía de Tláhuac en la Ciudad de México.

El estudio tendría como objetivo principal el determinar las características físicas del suelo en dichos cuadrantes ya que debido a la presencia de accidentes de tipo geológico-geotécnico, se vieron afectadas viviendas ya que la actividad sísmica del mes de septiembre del 2017 aceleró la actividad de dichos accidentes afectando viviendas e infraestructura, por lo que, es necesario contar con la información científica y técnica que pueda aportar los criterios mediante los cuales sea posible la toma de decisiones a las diversas incertidumbres sociales y políticas.

ALCANCES.

El presente trabajo es solicitado por la COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN PARA LA CIUDAD DE MÉXICO, para lo cual, se estableció por parte de la Doctora Silvia García del Instituto de Ingeniería de la UNAM los alcances y volúmenes de las actividades previamente propuestas.

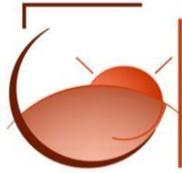
En acuerdo específico se estableció realizar una exploración cuyo objetivo fuese principalmente la caracterización del riesgo por presencia de accidentes de tipo geotécnico, tales como presencia de zonas con hundimiento diferencial y zonas con riesgo por presencia de grietas.

En ese sentido, se definió que las actividades por realizar para lograr el objetivo y los alcances acordados serían las siguientes:

ALCANCES

- 1. EXPLORACIÓN REGIONAL DEL SUELO POR MÉTODOS INDIRECTOS**
- 2. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA (MECÁNICA DE SUELOS)**
- 3. CARACTERIZACIÓN EN MODELO ANALÍTICO DIGITAL 3D**

Con el objeto de obtener resultados que pudiesen aportar los elementos técnicos necesarios para un mejor conocimiento del riesgo que existe por la presencia de diversos accidentes geotécnicos en los dos cuadrantes previamente definidos se presenta a continuación el esquema de trabajo aplicado para lograr el objetivo propuesto:



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

ESQUEMA DE TRABAJO



DESARROLLO DE TRABAJO.

EVALUACIÓN DEL CONTEXTO GEOGRÁFICO.

Con el objeto de conocer de manera específica el contexto geológico regional de la zona donde se localizan los dos cuadrantes por evaluar, se realizó un análisis regional de las condiciones geológicas generales que permitiesen establecer un criterio de tipo natural que mostrase las condiciones físicas originales del suelo y subsuelo en la zona.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Para lograr este objetivo, se llevó a cabo la interpretación de diversos materiales fotográficos donde se identificaron los rasgos generales para establecer un análisis de vulnerabilidad física.

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL SITIO DE PROYECTO.

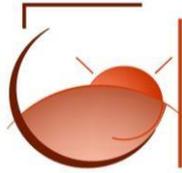
Los dos cuadrantes propuestos por evaluar en el presente trabajo se localizan en la parte norte de la Unidad Villa Centroamericana, en la Alcaldía de Tláhuac.



Figura No. 1. Los cuadrantes motivo de la presente evaluación.

El área de proyecto está delimitada al norte por la calle de Pulpo, al poniente con la calle de Langosta, al oriente por la avenida Gabriela Mistral y al sur, por la calle de Sor Juana Inés de la Cruz.

De acuerdo con la información consultada, el sitio de proyecto localizado al extremo sureste de la ciudad de México se encuentra dentro de lo que se considera dentro del Mapa de Zonificación geotécnica para la Ciudad de México, dentro de la Zona de Lago.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

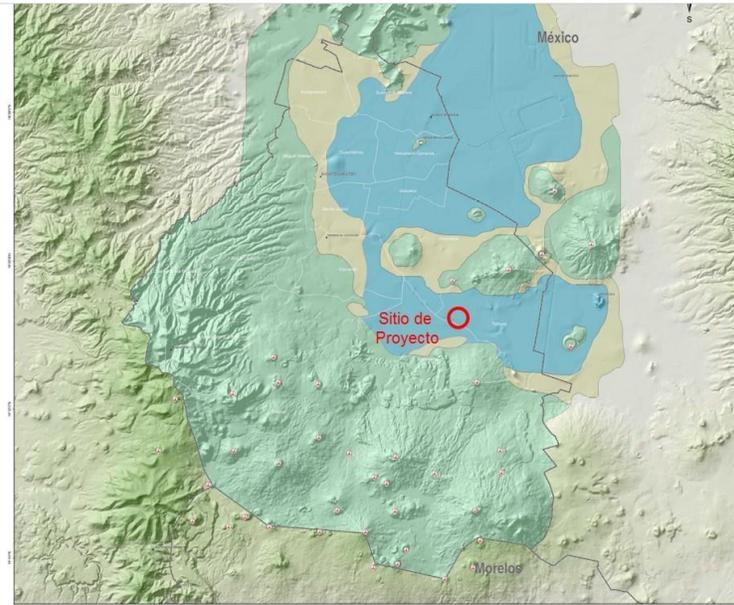
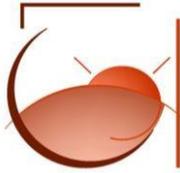


Figura No. 2. La Villa Centroamericana se encuentra dentro de la zona geotécnica considerada como de Lago.
Atlas de Riesgos de la Ciudad de México, UNAM. 1917.



Figura No. 3. La Villa Centroamericana se localiza en la parte norponiente de la actual Alcaldía de Tláhuac.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

El sitio fisiográficamente se encuentra dentro de lo que se considera como unidad de un Vaso Lacustre salino, lo cual deberá considerarse de relevante, ya que, de acuerdo con los registros de materiales identificados durante la exploración realizada en el sitio de proyecto, esta condición fisiográfica es determinante en la condición de falta de estabilidad de estos.

Esta falta de estabilidad en los materiales que conforman al suelo y subsuelo como se podrá ver en el contenido del presente trabajo se debe ante todo a la herencia geológica de la región, ya que el predio donde se ubica en general la Villa Centroamericana tuvo su origen en un depósito lacustre con cambios, muy radicales en el espesor de agua, asociado a la intermitente caída de materiales volcánicos provenientes de los complejos volcánicos que formaron las sierras de Santa Catarina y más recientemente la actividad del Volcán Tehuitli.

Esta importante actividad volcánica de muy reciente edad geológica produjo cambios importantes en la distribución y espesor de los materiales lo que generó una muy marcada heterogeneidad en los depósitos.

Ante el escenario sedimentológico producto de la activa historia geológica de la zona, se estableció un esquema de trabajo mediante el cual fuese posible revelar de manera general las causas que permiten la presencia de los accidentes geológico-geotécnicos presentes en la unidad motivo de la presente evaluación, por lo que, se describe a continuación el contexto morfológico producto de la génesis geológica en la zona.

GEOMORFOLOGÍA.

Como se menciona en apartados anteriores, el terreno donde se ubica la Unidad Centroamericana se trata de una Llanura Lacustre con una composición salina, por lo que, tal y como es posible observar actualmente el relieve en la zona se trata de una llanura casi plana, dentro de la cual, es posible observar que se presentan pequeños desniveles, los cuales, se generan a partir del constante proceso de consolidación de los materiales existentes principalmente en el subsuelo.

Esta llanura lacustre es el fiel reflejo de la heterogénea composición de los horizontes que conforman al subsuelo, por lo que, el relieve actual deberá considerarse por su herencia geológica como una llanura compuesta por materiales de diverso origen, siendo desde mineral, por el producto volcánico, así como, orgánico, generado de una muy activa presencia de organismos, desde bacterias, hasta invertebrados lacustres.

De acuerdo con lo observado en cuanto a la composición de los materiales registrados por la exploración geotécnica, fue posible observar que la diversidad de partículas que componen el subsuelo esta aglutinada por una combinación de cementante silíceo y salino.

Esta asociación está en un medio de depósito muy reciente por lo que, geomorfológicamente se deberá considerar como una unidad en proceso de equilibrio morfogenético, por lo que se justificaría una actividad fisicoquímica muy activa



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

produciendo una inestabilidad en el subsuelo capaz de responder en forma rápida a cambios por variaciones en sus componentes.

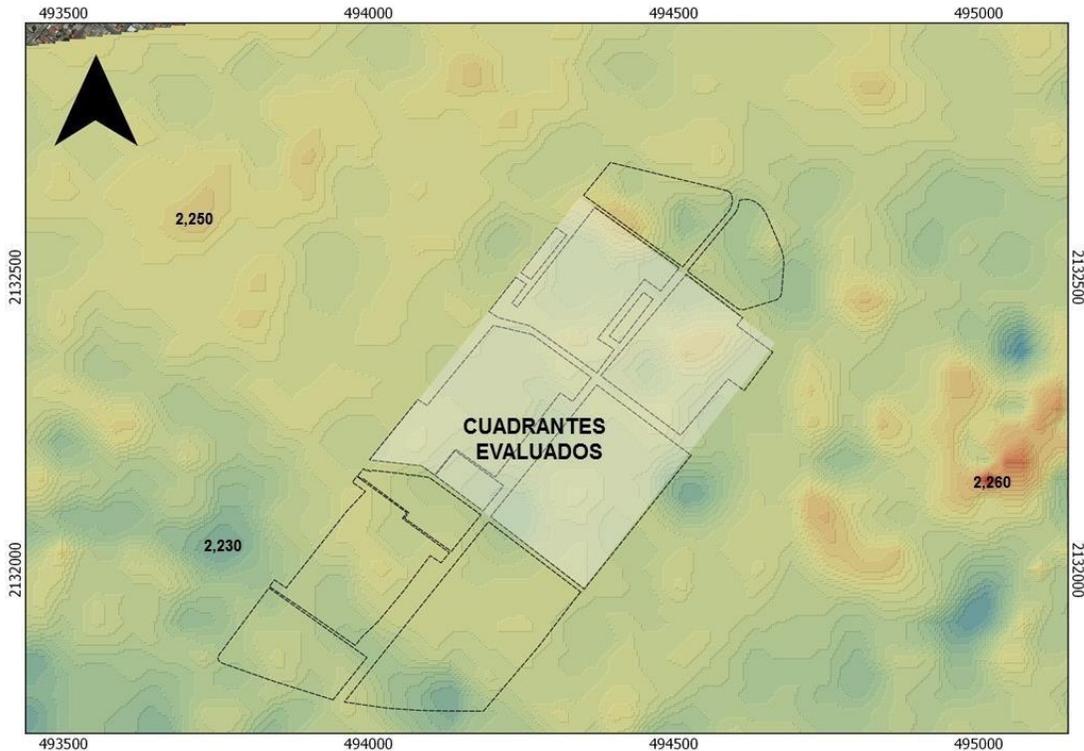
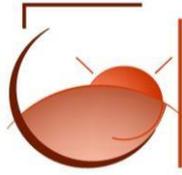


Figura No. 4. Se muestra el Modelo Digital del Terreno (MDT) de la zona donde se localiza La Villa Centroamericana.

Lo inmediato comentado es posible observar en la figura anterior, la cual, se generó a partir de información topográfica obtenida de la NASA para el año 2000, correspondiente al comportamiento del relieve considerando una equidistancia de curvas de nivel de un metro, donde se destaca que las alturas en la zona presentan una diferencia de 30.00 metros, ya que la altura máxima sería de 2,260 m.s.n.m., mientras que la cota mínima, es de 2,230 m.s.n.m.

En esta figura No. 4, es posible observar que el comportamiento del relieve refleja procesos de hundimiento diferencial que, por su geometría consistente en depresiones concéntricas, las cuales, seguramente son el producto de un comportamiento diferencial en el contenido de agua en el subsuelo.

En la figura siguiente (Figura No. 5.) se muestra que el terreno en la zona donde se ubica la Villa Centroamericana y de manera específica, los dos cuadrantes motivo de la presente evaluación, se registra la presencia de terrenos donde el proceso de hundimiento abarca la mayor área. Así mismo, el hundimiento de tipo diferencial se registra en forma de depresiones con crecimiento constante delimitadas por paramos alargados de elevaciones casi imperceptibles.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

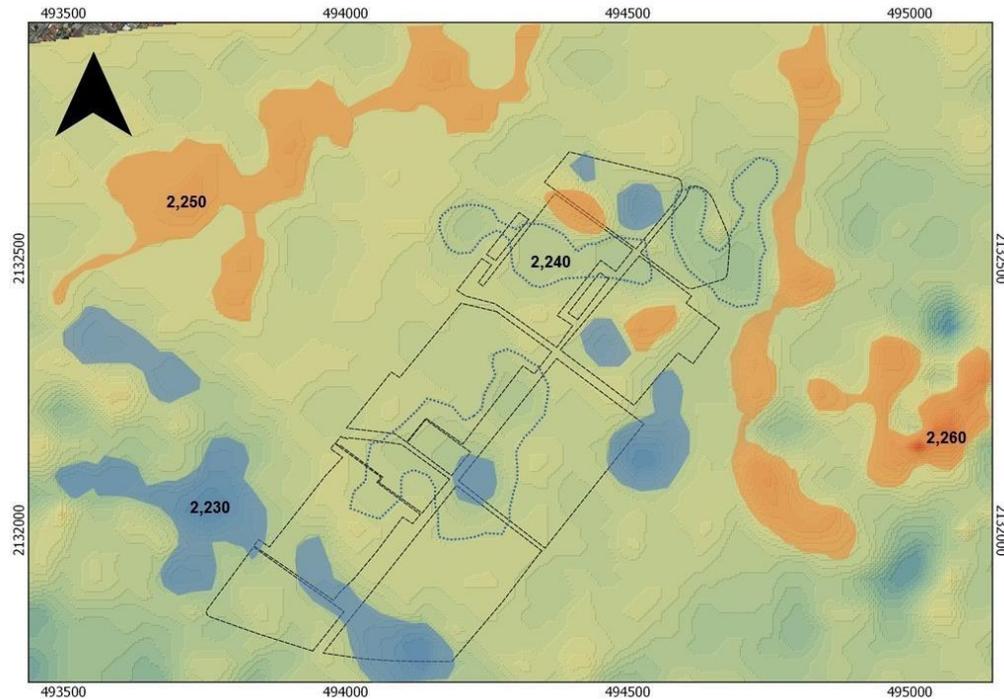


Figura No. 5. Se muestran las zonas donde se produce el proceso de hundimiento diferencial e el terreno donde se ubica la Unidad Habitacional Villa Centroamericana.

En la figura anterior es posible observar que el hundimiento diferencial del terreno donde se ubica la Unidad Villa Centroamericana presenta dos velocidades, una con menor velocidad, delimitada con línea azul punteada y otras zonas con una mayor velocidad de hundimiento en achurado azul, así mismo, se destacan dos zonas donde el terreno manifiesta una mayor estabilidad.



Foto No. 1. El relieve en la zona donde se ubica la Villa Centroamericana es semiplano, aunque es posible observar irregularidades en la superficie por presencia de asentamiento diferencial en el suelo.

MODELO GEODINÁMICO.

Considerando que la unidad morfológica donde se localiza la Unidad Habitacional Villa Centroamericana fue un depósito lacustre con poca profundidad de reciente origen, el cual se vio perturbado en su proceso morfogenético, lo cual, produjo que se manifestaran en el terreno procesos de hundimiento diferencial como producto principalmente de la disminución de agua en el subsuelo.

Este hundimiento diferencial se produce en forma gradual y en velocidades diferentes generando que el terreno presente rompimiento y por lo tanto se produce un nuevo accidente de tipo geológico-geotécnico, las grietas. Estas grietas tal y como se verá en el apartado correspondiente al análisis sedimentológico de los materiales registrados en la exploración del subsuelo en la presente evaluación, se ha presentado desde que el medio lacustre registro sus primeras variaciones en el tirante de agua.

Ante esta irrupción en el proceso morfogenético del depósito lacustre, se desencadena una etapa morfodinámica cuya característica principal, será el aumento en la vulnerabilidad del terreno a presentar agrietamiento, tal y como se muestra en la figura siguiente:

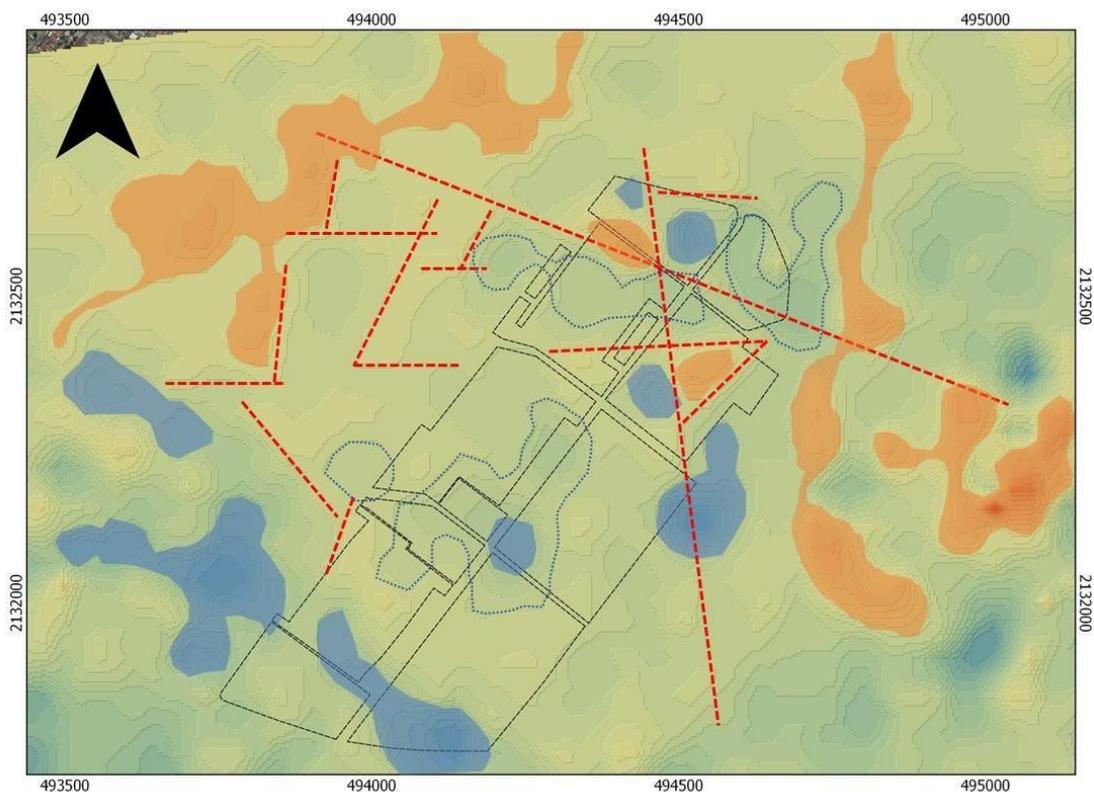


Figura No. 6. Se muestra el Modelo Dinámico del terreno en la zona donde se ubica la Villa Centroamericana.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Este agrietamiento tal y como es posible observar en la figura anterior, puede tener tres etapas; una por influencia directa de los cuerpos volcánicos emplazados y soterrados por los depósitos lacustres recientes, las otras dos etapas de generación de grietas están determinadas por el hundimiento progresivo del terreno.

En consecuencia, las grietas asociadas al basamento litológico serán las que presenten mayor profundidad y anchura, mientras que las asociadas al proceso de hundimiento serán someras pudiendo como es este caso de las grietas en los cuadrantes de la Villa Centroamericana evaluados, con profundidades máximas de entre los 15 a 20 metros, su anchura es de pocos metros.



Fotos Nos. 2 y 3. Se muestran las deformaciones en el terreno a causa del proceso de agrietamiento en la zona donde se ubica la Villa Centroamericana.

Con el propósito de confirmar la interpretación con respecto a los procesos de agrietamiento señalados en apartados anteriores, se presenta en la Figura No. 7 la integración de las grietas señaladas en el Atlas de Riesgos Naturales del CENEPRED, las grietas mapeadas por nuestro personal durante una campaña de trabajo en el año de 2018, así como, las zonas donde será potencialmente factible se desarrollen procesos de agrietamiento en un futuro. Estas zonas señaladas en color azul, tal y como se mostro en el Modelo Dinámico de la Figura No. 6, se asocian a lineamientos con mayor profundidad, los cuales como ya se hizo mención están asociados al basamento volcánico soterrado por los sedimentos lacustres.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

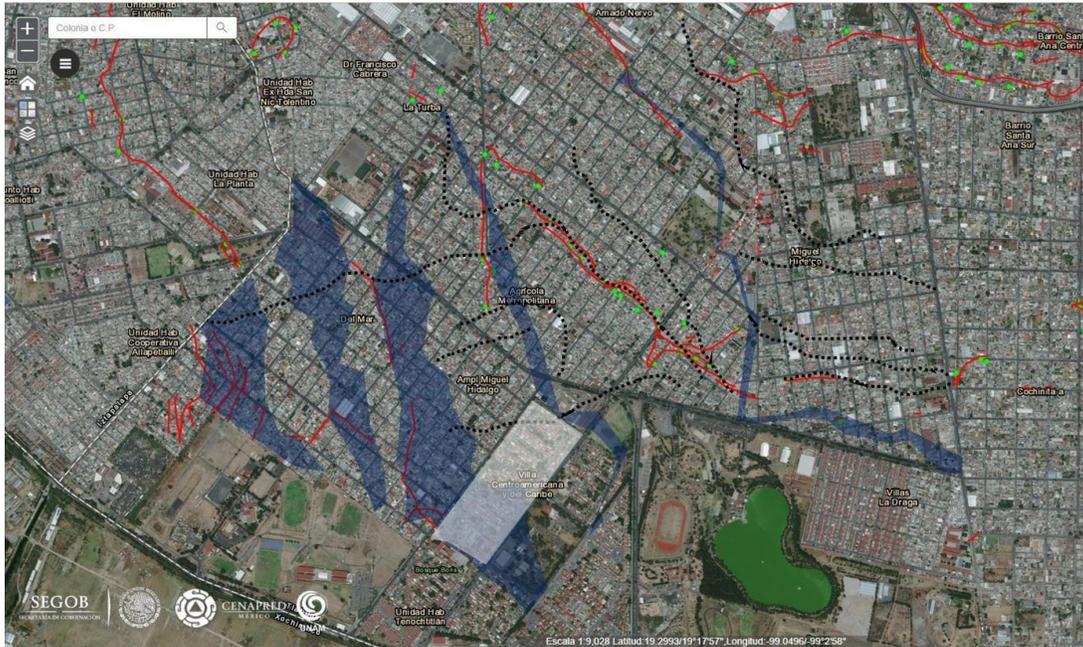


Figura No. 7. Imagen donde se integran las grietas contenidas en el Atlas de Riesgos Naturales del CENAPRED, con grietas mapeadas por nuestro personal en la zona, así como las áreas con una ALTA VULNERABILIDAD a presentar grietas.

Como es posible observar en la figura anterior, el cuadrante sur de los dos evaluados en el presente trabajo es el que presenta mayor potencial a ser afectado no solo por procesos de hundimiento diferencia, sino también, por agrietamiento.



Figura No. 8. Imagen donde se muestra la asociación de las grietas con la zona geotécnica de transición señalada en el Atlas de Riesgos Naturales del CENAPRED. Así mismo, es posible observar en color gris los cuadrantes evaluados en el presente trabajo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

Una de las actividades de gran importancia dentro de la presente evaluación, fue la foto comparación de imágenes para varios años donde fue posible observar cambios en el uso de suelo que aumentaron la vulnerabilidad en la zona para presentar accidentes geológico-geotécnicos como grietas y hundimiento diferencial.



Figura No. 9. Imagen correspondiente al año 2001, de la plataforma Google Earth, donde es posible observar que en el terreno donde actualmente se ubica el Hospital General de Tláhuac, así como el campo deportivo del extremo noreste de la Villa Centroamericana se presentan evidentes hundimientos en el terreno.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



Figura No. 10. En esta imagen correspondiente al año 2003 se destaca la presencia de sales en las zonas donde se encontraba el límite de lo que fuera el antiguo lago.



Figura No. 11. En esta imagen del año 2005 es posible observar que se registran procesos de hundimiento diferencial en la zona donde se encontraba el antiguo lago destacando el comportamiento del terreno de manera semejante a los rasgos topográficos mostrados en el MDT del apartado de Geomorfología del presente trabajo. Este comportamiento del terreno como ya se hizo mención, se debe al contenido heterogéneo de materiales en el suelo y subsuelo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

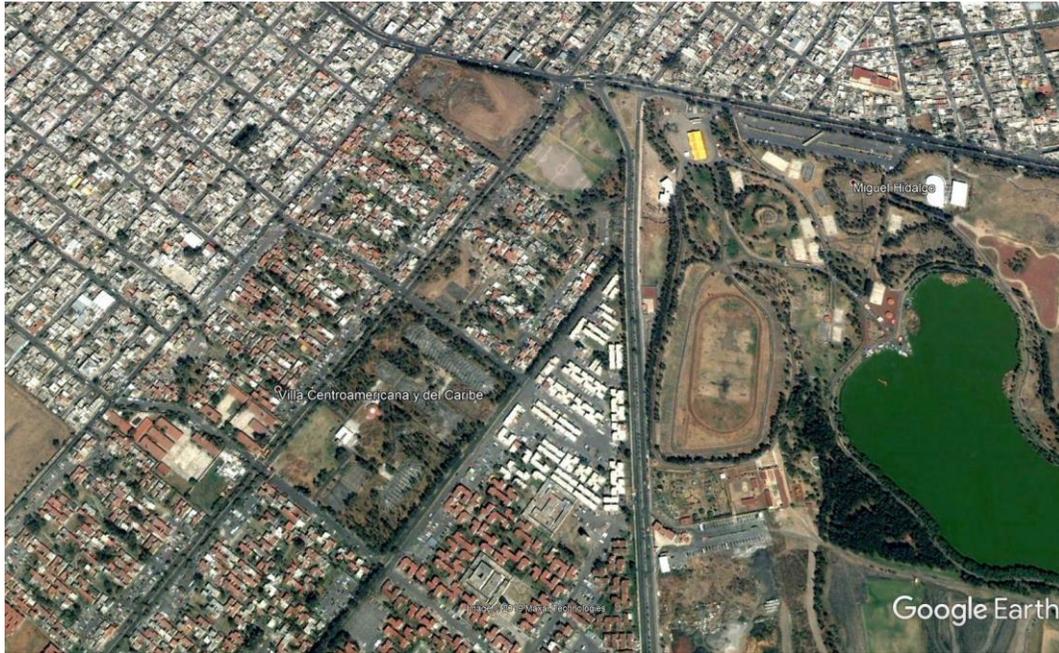


Figura No. 12. A principios del año 2007, comienzan los trabajos de construcción del Hospital Regional de Tláhuac. Trabajos que comienzan con un relleno de materiales en la zona del predio donde antiguamente se ubicaba una pequeña represa.



Figura No. 13. Para finales del año 2009, se concluyen los trabajos de construcción del Hospital Regional de Tláhuac.

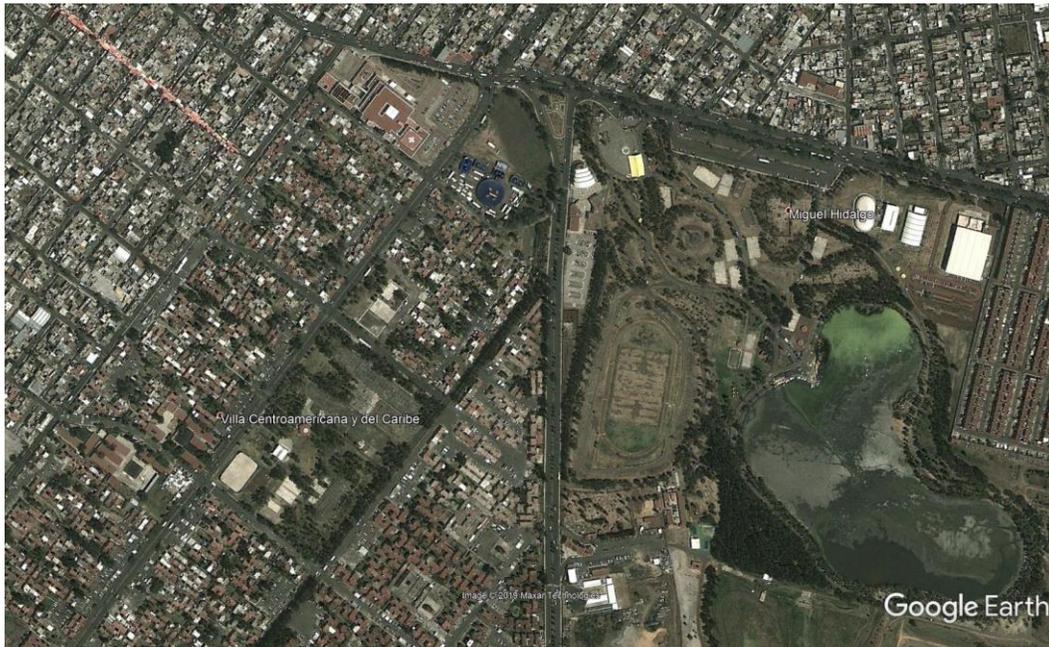


Figura No. 14. Para el año 2012 en la zona comienzan a manifestar procesos anómalos en el terreno, ya que el lago de la Alameda de Tláhuac, así como el campo deportivo ubicado al poniente del lago presentan evidencias de hundimientos.

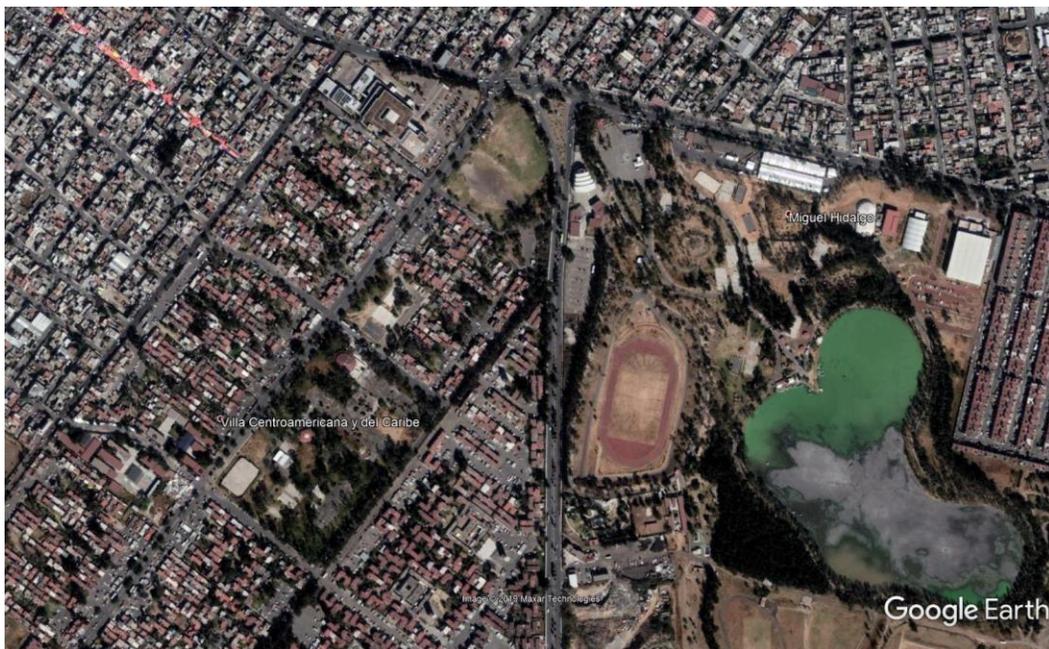


Figura No. 15. Para diciembre del año 2017, se registra la presencia de una grieta en el centro del lago de la Alameda de Tláhuac, así como un aumento en el hundimiento del predio ubicado al oriente del Hospital Regional de Tláhuac.

Como es posible observar en la pasada secuencia de imágenes la presencia de accidentes geológico-geotécnicos esta asociada directamente con el manejo del recurso agua, ya que como se podrá apreciar en la siguiente imagen, el cambio en el uso de suelo ha sido un factor que acelera la presencia de estos.



Figura No. 16. En esta ortofoto del año 1999 es posible observar que el predio donde actualmente se encuentra el Hospital Regional de Tláhuac se ubicaban dos depósitos de agua que muy seguramente eran para dotar de agua a los predios agrícolas. Así mismo, se señalan los antiguos canales que actualmente son calles.

Tal y como se señala en el pie de imagen anterior, el ejemplo de gran relevancia es el predio donde se localiza actualmente el Hospital Regional de Tláhuac, predio donde se registra la presencia de grietas y zonas con hundimiento diferencial, lo cual, se debe fundamentalmente al cambio en la humedad de los materiales del suelo y subsuelo, ya que antes de la construcción de dicho nosocomio ese predio albergaba a dos depósitos de agua los cuales fueron rellenos tal y como sucede en la actualidad en lo que fuera el antiguo lago según es posible observar en la figura No. 17.

Este proceso de relleno es un proceso que acelera la formación de nuevos accidentes, así como, facilita el desarrollo de los ya existentes, ya que estos rellenos disminuyen la permeabilidad superior del suelo evitando que el agua de lluvia sature adecuadamente los materiales que conforman al suelo y subsuelo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



Figura No. 17. Imagen donde se señala las zonas ubicadas al suroeste del sitio de evaluación del presente trabajo, donde actualmente se realiza el relleno del terreno con materiales que aparentemente son producto de demoliciones.

EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.

RESUMEN.

La Colonia Villa Centroamericana I, perteneciente a la Alcaldía de Tláhuac, presenta afectaciones originadas por la existencia de fracturas y fallas geológicas que han salido a superficie en vialidades correspondientes a dicha zona, por lo que se realizó un estudio geofísico para verificar y mapear la presencia de tales fenómenos.

Localmente en el área donde se realizaron los trabajos encontramos la presencia de depósitos de origen aluvial-lacustre constituidos principalmente por arenas, gravillas, limos, cenizas y arcillas, los cuales son susceptibles a presentar zonas de fracturamiento, debido a que están constituidos por estratos arenosos y areno-limosos que están intercalados con capas arcillosas de origen lacustre siendo estos últimos los de mayor interés, ya que, debido a la extracción del agua, estos estratos tienden a compactarse y consolidarse, dejando en evidencia las debilidades e irregularidades del subsuelo, generándose fracturamientos notables en superficie.

Se llevaron a cabo estudios de exploración geofísica en la modalidad de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y Sondeo Eléctrico Vertical, los cuales fueron desplegados sobre las avenidas y calles circundantes de gran importancia para los fines de este proyecto, alcanzando profundidades de exploración indirecta promedio de 50 metros.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Los resultados muestran dos unidades estratigráficas: la primera se ubica en la parte superficial y se asocia a un depósito areno-limoso con presencia de gravillas, la segunda unidad se relaciona a un depósito arcilloso con intercalaciones de limos.

Se identificaron veintiséis (26) zonas de contacto litológico entre materiales de diferente granulometría, las cuales corresponden a planos de debilidad susceptibles a fracturamientos, además de una anomalía resistiva, por lo cual, se recomienda realizar un sondeo mecánico para verificar y corroborar las características y propiedades índice de los depósitos a profundidad.

INTRODUCCIÓN.

Las obras civiles construidas en la Ciudad de México se encuentran asentadas sobre una zona de transición entre materiales volcánicos y sedimentarios (depósitos aluviales y lacustres), siendo estos segundos de interés para la zona de estudio, puesto que dichos depósitos tienden a intercalarse entre sí, formando zonas de contacto entre materiales de distinta granulometría, susceptibles a generar zonas de hundimiento y fracturamiento que pueden poner en peligro las vialidades y edificaciones cercanas al área de interés.

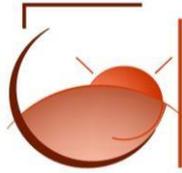
Aunado a la incertidumbre ciudadana sobre las problemáticas que contemplan en superficie, es fundamental resguardar la seguridad e integridad del patrimonio familiar, así mismo, la de preservar las vialidades correspondientes al área de estudio.

En base a lo anterior, la geofísica ha desarrollado múltiples metodologías de comprobación indirecta, siendo los métodos de tomografía eléctrica en la modalidad de Dipolo-Dipolo y el Sondeo Eléctrico Vertical, la opción más competente, eficaz y rápida para evaluar las condiciones del subsuelo y verificar la presencia o ausencia de estructuras de riesgo geológico tales como: fallas, fracturas, asentamientos, cavidades, etc.; que pudieran poner en riesgo la seguridad e integridad de las vialidades implicadas para este proyecto en particular.

Con la finalidad de cumplir con los requerimientos y alcances propuestos, a lo largo de las avenidas y calles pertenecientes a la Colonia Villa Centroamericana I, se realizó un estudio geofísico del subsuelo con el método de tomografía de resistividad eléctrica (TRE) y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), estudio que incluyó la investigación de 658 metros lineales en cuatro (4) líneas con arreglo Dipolo – Dipolo y ocho (8) Sondeos Eléctricos Verticales, logrando alcanzar una profundidad de investigación promedio de 50 metros.

JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La finalidad del presente estudio es el determinar las condiciones litológicas y la posible presencia de fracturas y/o fallas geológicas inferidas sobre las vialidades pertenecientes a la Colonia Villa Centroamericana I, por tal motivo, se realizó un estudio geofísico en la modalidad de Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE) y Sondeo Eléctrico Vertical.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los trabajos se realizaron sobre las avenidas y calles que forman parte de la Colonia Villa Centroamericana I, perteneciente a la Alcaldía de Tláhuac, Ciudad de México. Específicamente, los trabajos realizados se llevaron a cabo en las Calles: Langosta, Pulpo y Langosta entre Sirena y Aleta, además de tramos específicos, cubriendo un área que se delimita por las coordenadas UTM con el DATUM WSG-1984 14Q 493,849 a 494,683 m Este y 2'131,882 a 2'132,695 m Norte.

De manera regional y en base a la Carta Geológica Ciudad de México (E14-2) en escala 1:250,000, Edición 2002, el área de estudio se encuentra ubicada sobre una zona de transición entre materiales volcánicos y depósitos aluviales y/o lacustres, así mismo, se tiene el registro de fracturas y fallas geológicas inferidas que atraviesan las vialidades de interés para este proyecto.

Localmente en el área donde se realizaron los trabajos encontramos la presencia de depósitos de origen aluvial y lacustre, no consolidados y constituidos por arenas, gravillas, limos, cenizas y arcillas.

Estos depósitos son susceptibles a presentar zonas de fracturamientos, debido a que están constituidos por estratos arenosos y areno-limosos que están intercalados con capas de materiales finos, principalmente arcillas y limos, siendo estos últimos los de mayor interés, ya que, aunado a la extracción del agua, estos estratos tienden a compactarse y consolidarse, dejando en evidencia las debilidades e irregularidades del subsuelo, que con el tiempo, dicho efecto comienza a propagarse e incluso puede ser notable en superficie.

A su vez, como estos depósitos tienen una composición distinta (granulométricamente), existen ocasiones en las que estas zonas de debilidad son provocadas por contactos litológicos entre estas unidades, convirtiéndose en planos de debilidad, con un grado distinto de afectación en las zonas de transición o pie de monte, montañas o planicies, por ende, es importante saber que tan susceptible son de fracturarse.

En base a lo anteriormente descrito y a los requerimientos del solicitante, se optó por escoger las técnicas más competentes que pudieran cubrir los objetivos planteados inicialmente, dichas técnicas consisten en las imágenes de resistividad con arreglo Dipolo-Dipolo, método de alta resolución y susceptible a identificar cambios bruscos laterales y/o verticales los cuales se relacionan a cambios específicos en la granulometría y se asocian a zonas de contacto, fracturamientos, oquedades, fallas y asentamientos diferenciales, y el sondeo eléctrico vertical, competente para determinar los intervalos a profundidad de las diferentes unidades litológicas que conforman el subsuelo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

METODOLOGÍA.

Para poder desarrollar el proyecto se llevaron a cabo las siguientes etapas:

1. **Recopilación de información:** con base en la ubicación del sitio de estudio, se verificó la existencia de estudios previos y cercanos que permitan conocer la distribución de las unidades geológicas del sitio. Esta etapa también con lleva a realizar un análisis de la geología local para determinar la respuesta del método geofísico aplicado. Esto permite diseñar o realizar modificaciones en la adquisición de datos.

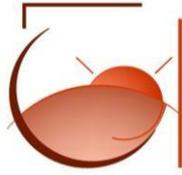
2. **Adquisición de datos:** para realizar la evaluación del problema planteado, se aplicaron métodos de prospección geoelectrica basados en la distribución de propiedades eléctricas del suelo (resistividad principalmente). La adquisición se realizó mediante 2 técnicas: imágenes de resistividad utilizando un arreglo dipolo-dipolo para obtener perfiles en dos dimensiones y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), para identificar a profundidad los intervalos con propiedades similares y su correlación con las diferentes unidades litológicas.

3. **Evaluación y Procesado de Datos:** se realiza una primera evaluación de datos, generando un modelado directo (datos completos, sin filtrar) para determinar el procedimiento más adecuado para realizar la selección de datos. En esta etapa se determina la calidad de la información adquirida en campo.

4. **Modelado de Datos:** utilizando programas especiales se realiza un procedimiento matemático que permita obtener un modelo descriptivo del área de estudio. Este procedimiento no es único, es necesario realizar varias interacciones hasta obtener un modelo estadístico, ajustable y representativo de las características geológicas del sitio.

5. **Integración e Interpretación:** considerando la información recopilada y los modelos obtenidos con las diferentes técnicas, se correlacionan las unidades litológicas a los diferentes rangos de valores de resistividad obtenidos en el modelo.

6. **Conclusiones y Recomendaciones:** analizando los resultados, se hace una evaluación geoelectrica que permita caracterizar de manera satisfactoria las unidades del subsuelo y de esta forma generar las conclusiones y recomendaciones más adecuadas del predio estudiado, que finalmente soluciones o mitiguen la problemática planteada.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

INSTRUMENTACIÓN.

El instrumento utilizado para realizar la adquisición de datos eléctricos consta de lo siguiente:

La adquisición de datos de Tomografía Eléctrica y Sondeos Eléctricos Verticales se realizó por medio de un equipo de Resistividad Super Sting R8 Automático, Marca AGI. Este equipo cuenta con un transmisor interno de 200 W, con una capacidad de 1 a 2000 mA como fuente de campo eléctrico. El equipo se alimenta con un generador Honda 2000. El Super Sting R8 cuenta con un multiplexor que permite la adquisición de manera simultánea de hasta 8 electrodos, optimizando los tiempos de levantamiento de campo, como puede apreciarse en la Figura No. 18.

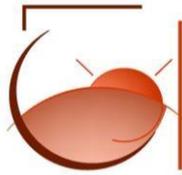


Figura No. 18. Equipo de Exploración geoelectrica.

CAMPAÑA DE EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.

La campaña geofísica consto de la realización de dos técnicas complementarias y correlacionables entre sí, las cuales fueron distribuidas en las avenidas y calles circundantes pertenecientes a la Colonia Villa Centroamericana I, con un total de cuatro (4) líneas de tomografía eléctrica y ocho (8) sondeos eléctricos verticales, considerando cumplir con los requerimientos y alcances propuestos, dichos trabajos se efectuaron como puede apreciarse en las Figuras Nos. 19 y 20.

Las líneas de tomografía eléctrica se realizaron con el arreglo Dipolo-Dipolo, utilizando aberturas entre electrodos de 2 metros, de acuerdo con las peticiones solicitadas y en determinadas áreas de interés, como se explica a continuación: la línea 1 tiene su inicio sobre Pulpo esquina con Calle Langosta y se extiende a lo largo de Pulpo hasta terminar en esquina con Gabriela Mistral, con una orientación NW-SE, en cambio la línea 2 tiene



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

una orientación NE-SW, inicia en un acceso contiguo sobre Langosta y finaliza hasta tocar con pared. La línea 3 cuenta con una orientación NE-SW y para su realización, se procedió a acceder a través de un tramo (acceso) localizado sobre Calle Pie de la Cuesta, su inicio tuvo lugar después de avanzar 200 metros aproximadamente por dicho tramo y culminó hasta tocar con pared.

Finalmente, la línea 4 se efectuó de manera paralela a la línea 3, con inicio sobre Calle Langosta antes de topar esquina con Av. Sirena, desplegando los trabajos sobre Calle Langosta hasta terminar casi en esquina con Av. Aleta.

Tabla No. 1. *Coordenadas UTM de los perfiles de resistividad.*

No. de línea	Sistema Mercator WGS-1984 UTM (14Q)				Longitud (m)
	Inicio de la línea		Final de la línea		
	X	Y	X	Y	
1	494,353	2'132,643	494,510	2'132,521	208
2	494,371	2'132,629	494,237	2'132,452	222
3	494,101	2'132,274	494,031	2'132,188	110
4	494,066	2'132,283	493,997	2'132,194	108

Los Sondeos Eléctricos Verticales se efectuaron con el arreglo Schlumberger y fueron complementarios a la técnica antes descrita, útiles para correlacionar la información obtenida con las líneas de tomografía eléctrica. Dichos Sondeos, tuvieron aberturas de AB/2 máximas de 100 metros y fueron ubicados en determinados puntos, como se explica a continuación.

El SEV-1 y SEV-4, se ubicaron sobre Calle Langosta, el SEV-3 se realizó en las inmediaciones del inicio de la línea 3, el SEV-2 y SEV-6 se localizaron sobre Gabriela Mistral, el SEV-5 se ubicó en las cercanías a la mitad de la línea 2 de tomografía, el SEV-8 se efectuó sobre Pulpo y el SEV-7 se realizó en las Canchas de la Villa.

Con dichos Sondeos se obtuvieron cuatro (4) secciones geoelectricas A-A', B-B', C-C' y D-D', las cuales cuentan con diferentes orientaciones y longitudes. La distribución de esta técnica se puede observar en la Figura No. 2.3, mientras que sus respectivas Coordenadas se visualizan en la Tabla 2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Tabla No. 2. Coordenadas UTM de los Sondeos Eléctricos Verticales (SEV's).

Sistema Mercator WGS-1984 UTM (14Q) y Coordenadas Geográficas					
No. SEV	Este	Norte	Latitud	Longitud	Elevación
1	493,919	2'132096	19°16'57.29''	99°3'28.35''	2,239
2	494,126	2'132005	19°16'54.34''	99°3'21.26''	2,237
3	494,178	2'132226	19°17'1.53''	99°3'19.48''	2,238
4	494,161	2'132401	19°17'7.22''	99°3'20.06''	2,239
5	494,373	2'132509	19°17'10.74''	99°3'12.80''	2,240
6	494,417	2'132379	19°17'6.51''	99°3'11.29''	2,237
7	494,620	2'132517	19°17'11''	99°3'4.34''	2,236
8	494,413	2'132596	19°17'13.57''	99°3'11.43''	2,240



Figura No. 19. Localización de las líneas de tomografía eléctrica.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

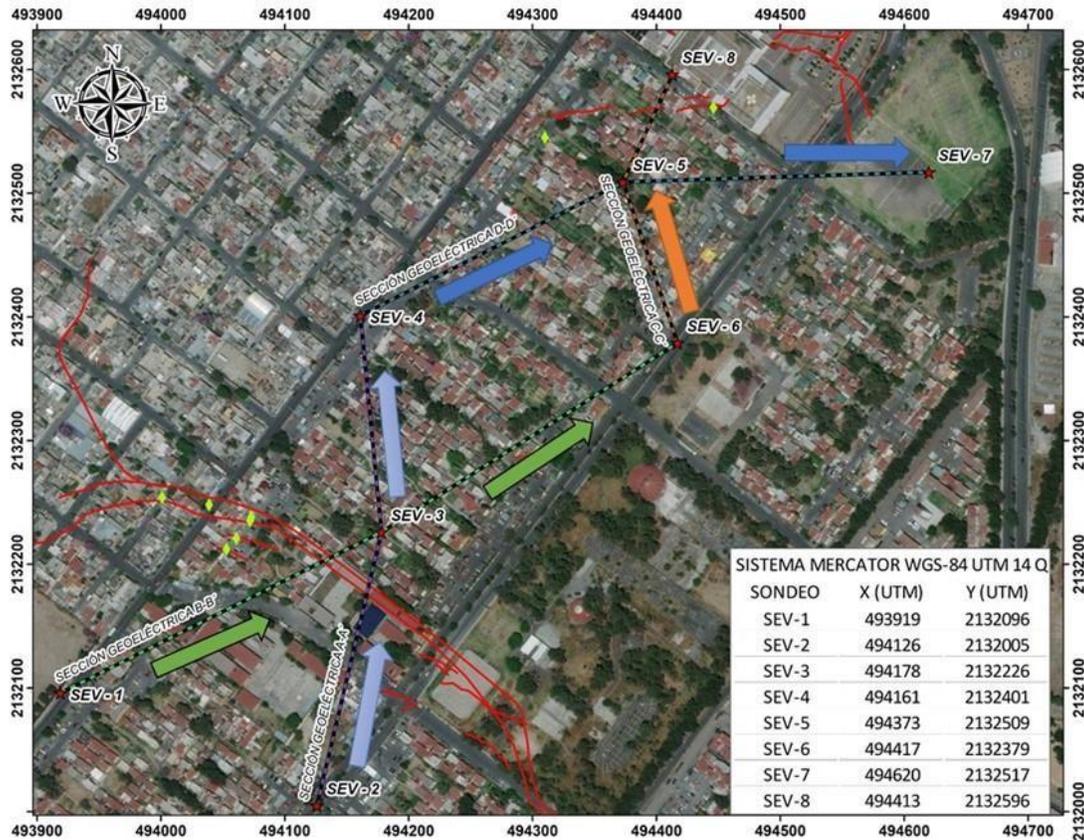
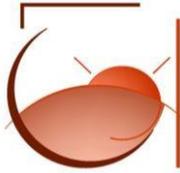


Figura No. 20. Localización de los Sondeos Eléctricos Verticales.

RESULTADOS.

Primeramente, se evaluó la calidad de los datos de campo obtenidos mediante la técnica de tomografía eléctrica y Sondeo Eléctrico Vertical (SEV), posteriormente se realizó la interpretación y se generó un modelo representativo de la distribución de la resistividad del subsuelo, la cual, se realiza mediante programas especializados, permitiendo realizar la inversión de los datos.

La inversión en la parte correspondiente a la tomografía eléctrica permite identificar las estructuras en su posición y dimensión más cercana a la realidad, reconociendo cambios bruscos ya sea laterales o verticales, asociados a zonas de contacto y fracturamiento; mientras que el proceso de inversión para la parte de los Sondeos Eléctricos Verticales ajusta de manera puntual valores reales de profundidad y resistividad para las capas que conforman el modelo conceptual. Este procedimiento no es único, es decir, existen muchos modelos de inversión matemáticamente ajustables, no obstante, se deben realizar varios modelos para encontrar uno, el más adecuado con la geología del sitio y a las observaciones de campo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

RESULTADOS DE LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA.

Con el procesamiento y análisis de los datos de tomografía eléctrica se obtuvieron cuatro modelos de resistividad, los cuales tienen un rango de resistividad de 1 a 50 Ohm-m. Se registran dos unidades litológicas, fácilmente identificables con el cambio de tonalidades de acuerdo con la escala de colores utilizada, las cuales se describen a continuación:

- Las tonalidades azules, cian y verdes suaves, abarcan un rango de resistividades de 1 a 10 Ohm-m, y se relacionan a un depósito arcilloso con intercalaciones de limos.
- Las tonalidades verdes suaves, amarillas, anaranjadas y tienen un rango de 10 a 50 Ohm-m, y se asocian en superficie a un depósito areno-limoso con presencia de gravillas.

A continuación, se describen la distribución de las unidades anteriormente descritas para las cuatro líneas de tomografía eléctrica, así como las características principales que se registraron en ellas.

La línea 1 tiene una longitud de 208 m, y una orientación NW-SE. Tiene su inicio sobre Pulpo esquina con Langosta y se prolonga a lo largo de Pulpo hasta terminar en esquina con Gabriela Mistral, alcanzando una profundidad de 24 metros. En este perfil se aprecian dos cambios estratigráficos, diferenciados de acuerdo a las variaciones de tonalidades y los cuales son descritos de arriba hacia abajo, como se describe a continuación: en la parte superior se tiene un depósito areno-limoso con presencia de gravillas (tonalidades verdes, amarillas, anaranjadas y rojos) el cual presenta heterogeneidad en su composición y aumentos de espesor en diferentes sectores de línea; posteriormente, se presenta un depósito arcilloso con intercalaciones de limos (tonos azules, cian y verdes suaves).

Se identifican siete (7) zonas de contacto entre materiales de distinta granulometría en los siguientes cadenamientos: 42, 56, 80, 95, 112, 128 y 196 m, los cuales repercuten en aumentos de espesor del estrato superficial, prolongase dicho efecto al estrato de mayor contenido de finos, dichas zonas de contacto son susceptibles a provocar fracturamientos en superficie y planos de debilidad a profundidad, aumentando dicha problemática y haciendo más notorio la debilidad del subsuelo.

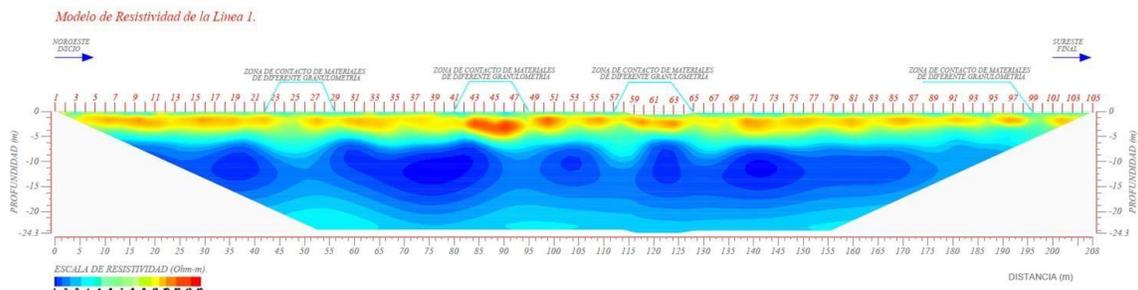
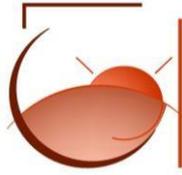


Figura No. 21. Modelo de Resistividad de la Línea 1 sobre la calle de Pulpo.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

La línea 2 tuvo su inicio sobre la calle de Pulpo, en el acceso a viviendas contiguo a dicha calle y se extendió hasta tocar con pared, con una orientación NE-SW, logrando una extensión de 222 metros, los cuales permitieron profundizar hasta los 23.8 metros. En este perfil se exhiben nuevamente los dos cambios litológicos anteriormente descritos, en la parte superior tenemos un estrato con coloraciones verdes, amarillas, anaranjadas y rojas, asociándose al depósito areno-limoso con presencia de gravillas, el cual presenta irregularidades en su composición y cambios de espesor considerables. Enseguida, se aprecian tonos azules, cian y verdes suaves, los cuales están relacionados al depósito arcilloso con intercalaciones de limos.

En esta imagen de resistividad, podemos observar ocho (8) zonas de contacto distribuidas a lo largo de la sección y en los cadenamientos: 30, 46, 63, 98, 106, 112, 129 y 208 m, siendo notable un aumento de espesor del estrato superficial en la parte central de la línea, dichas zonas son propensas a provocar ligeros hundimientos y fracturamientos en superficie.

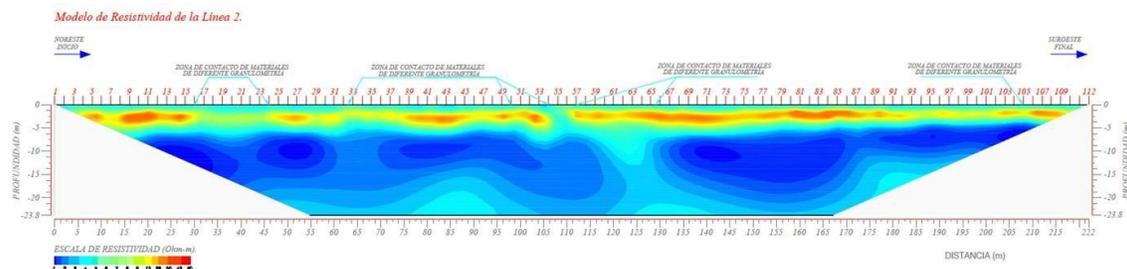
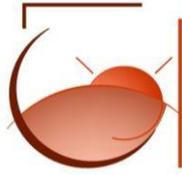


Figura No. 22. Modelo de Resistividad de la Línea 2 en el acceso contiguo sobre la calle de Pulpo.

La línea 3 tiene una longitud de 110 metros, y una orientación NE-SW, para lo cual, tuvo que ingresarse al acceso contiguo a la Calle Pie de la Cuesta. Se realizó de manera paralela a la línea 4, logrando profundizar los 24 metros. En esta imagen de resistividad se aprecian una vez más los dos cambios estratigráficos explicados previamente, el primero correspondiente a la capa superficial asociada a un depósito areno-limoso con presencia de gravillas, en colores verdes, amarillos, anaranjados y rojos; seguido de este se aprecian tonalidades azules y cian, los cuales se relacionan a la capa correspondiente al depósito arcilloso con intercalaciones de limos, es notable que para el final de esta línea hay un incremento de espesor del estrato superficial, lográndose apreciar una discontinuidad en el estrato arcilloso.

En este perfil, se distingue seis (6) zonas de contacto, las cuales indican un ligero aumento de espesor del estrato superficial y se ubican en los cadenamientos: 45, 62, 66, 80, 84, 100 m, respectivamente.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Modelo de Resistividad de la Línea 3.

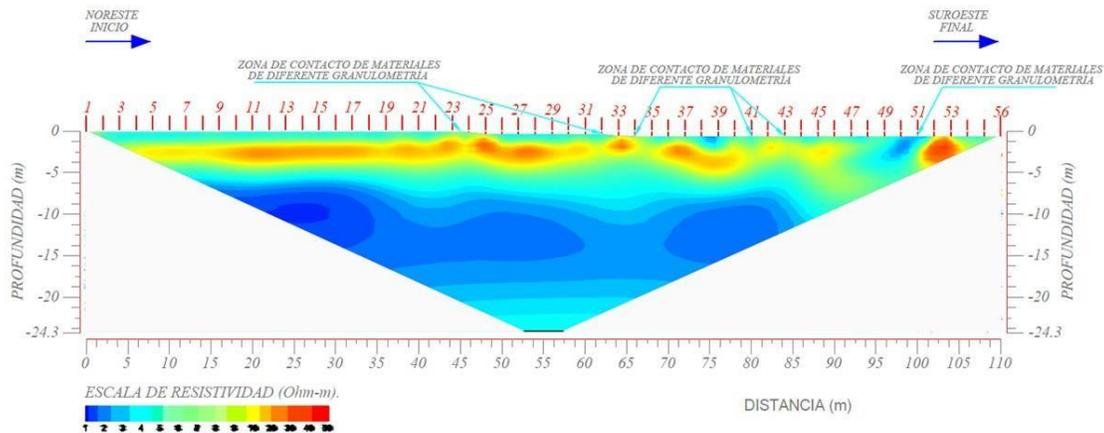


Figura No. 23. Modelo de Resistividad de la Línea 3 en el acceso contiguo sobre Calle Pie de la Cuesta.

Finalmente, la línea 4, se realizó paralela a la línea 3, la cual tuvo su inicio sobre Calle Langosta antes de la esquina con Av. Sirena, con una orientación NE-SW y se prolongó sobre Calle Langosta hasta terminar casi en esquina con Av. Aleta, dicha línea tiene una longitud de 118 metros y una profundidad de 24 metros.

Este perfil evidencia dos cambios litológicos, el primero de ellos, correspondiente al estrato superficial conformado por un depósito areno-limoso con presencia de gravillas (tonos verdes, amarillos, anaranjados y rojos), el cual presenta aumentos de espesor considerables, posteriormente a una profundidad aproximada de 5 metros, se presenta la capa correspondiente al depósito arcilloso con intercalaciones de limos, el cual muestra discontinuidades en diferentes sectores, los cuales son susceptibles a generar hundimientos, por lo cual, deben ser considerados de relevancia para los fines de este proyecto.

De acuerdo con los resultados, se identifica una anomalía de baja resistividad en el cadenamiento de 84 metros y a una profundidad de 15 metros, para lo cual, se recomienda realizar un sondeo mecánico en el sitio antes mencionado, a su vez, se identifican cinco (5) zonas de contacto en los cadenamientos: 44, 62, 64, 80 y 92 metros; dichas zonas antes mencionadas, son de gran importancia para salvaguardar la integridad del proyecto, por lo que, se recomienda llevar a cabo las precauciones necesarias.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Modelo de Resistividad de la Línea 4.

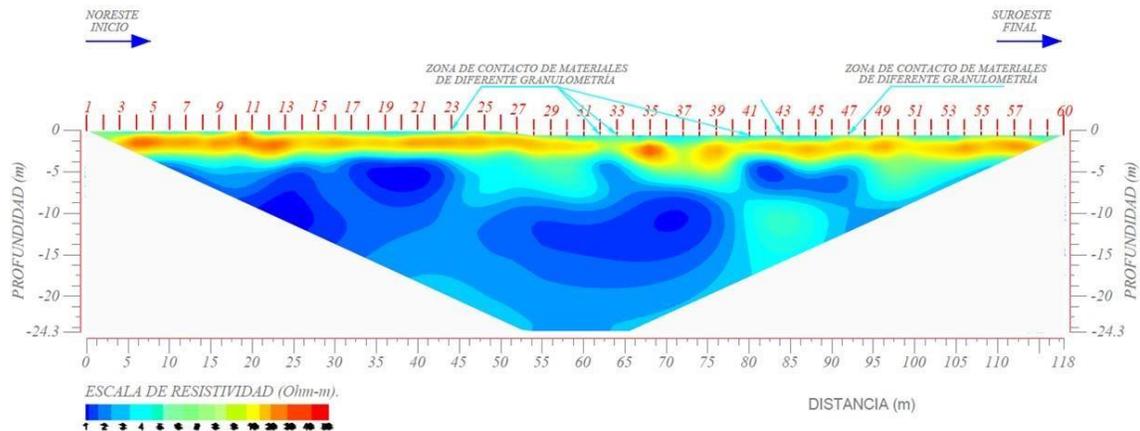


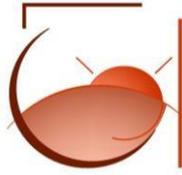
Figura No. 24. Modelo de Resistividad de la Línea 4 sobre Calle Langosta.

RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE SONDEOS ELÉCTRICOS VERTICALES.

Con la interpretación de los ocho Sondeos Eléctricos Verticales, se construyeron cuatro (4) secciones geoelectricas de 50 m de profundidad de investigación, las cuales poseen diferentes orientaciones como puede observarse en la Figura 21, con longitudes aproximadas de 400, 570, 230 y 480 metros, respectivamente. Con estas secciones se obtuvo la distribución de las capas a una profundidad conveniente para determinar cambios litológicos importantes, delimitando los espesores y resistividades reales en función de los intervalos presentados en cada Sondeo.

Con base a la interpretación de los ocho (8) SEV's realizados, se registraron 3 unidades geoelectricas, las cuales se describen a continuación:

- ❖ Unidad A, registra resistividades de 15 a 50 Ohm-m, se relaciona con la cubierta superior de suelo, constituida por arenas con presencia de limos y gravillas, con espesores desde 0.8 hasta 1.7 metros.
- ❖ La Unidad B1, presenta resistividades que van de 6 a 17 Ohm-m, se asocia con un depósito areno-limoso con presencia de gravillas, el cual presenta espesores mínimos de 3 y máximos de 7 metros.
- ❖ La Unidad B2, muestra resistividades de 1 a 5 Ohm-m, corresponde con un depósito arcilloso con intercalaciones de limos, el cual se presenta a partir de una profundidad de 5 metros, aunque puede variar hasta los 8 metros.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

EXPLORACIÓN DIRECTA (MECÁNICA DE SUELOS)

Con la información anteriormente descrita, se realizó la ubicación de los puntos donde se realizaron los tres sondeos mecánicos mediante los cuales, fue posible la confirmación y ajuste de la información de los materiales que conforman al subsuelo.

Por lo que a continuación se describen las actividades relacionados con esta exploración:

DESCRIPCIÓN DE LOS TRABAJOS

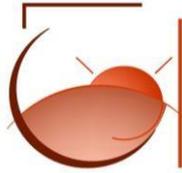
Para la campaña de exploración geotécnica se realizaron 3 sondeos de exploración de tipo mixto (SM), en los cuales se incluyen las técnicas de penetración estándar, extracción de muestras inalteradas con tubo de pared delgada tipo Shelby y avance con broca tipo tricónica, la campaña de exploración se realizó hasta encontrar los horizontes cuya resistividad fuera muy baja. La figura siguiente se muestra la ubicación de los sondeos.



Figura No. 37. Se muestran los tres puntos donde se realizaron los trabajos de exploración directa.

COORDENADAS DE LOS SONDEOS.

SONDEO	LATITUD	LONGITUD
SM-1	19° 17' 12"	99° 03' 11"
SM-2	19° 17' 10"	99° 03' 15"
SM-3	19° 17' 00"	99° 03' 18"



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Los trabajos para la exploración geotécnica iniciaron con la identificación de los puntos a perforar mediante GPS, posteriormente se posicionaron las maquinas en cada punto a sondear de modo que el broquero quedara nivelado y verticalmente con el punto a perforar.

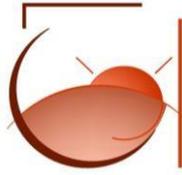


Foto No. 4. Equipo de perforación para los sondeos

Se inicio el sondeo con broca tricónica con el objeto de perforar el material de relleno y posteriormente se acopló manualmente el tubo partido a la cuerda del martinete y se inició el sondeo aplicando una serie de golpes con el martinete sobre el tupo partido contando los golpes hasta penetrar 60 cm.



Foto 5. Instalación de la máquina de perforación



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

Se extrae la muestra representativa retirando el tubo partido para identificar la cantidad de material recuperado para su clasificación visual y al tacto para posteriormente proteger la muestra en bolsas de polietileno.



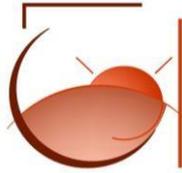
Foto No. 6. Tubo partido con muestra representativa recuperada con tubo partido para realizar su descripción en sitio.

El procedimiento se realizó para cada uno de los sondeos.

El avance registrado para el sondeo SM-01 fue de 20.00 metros quedando distribuido con 17.00 metros de avance con muestreo SPT y 3.00 m de muestra extraída con tubo de pared delgada (Shelby). Se decidió acabar el sondeo de exploración a los 20.00 metros de profundidad tomando como criterio que a esa profundidad se registraba la presencia de arenas de origen volcánico.



Foto No. 7. Muestras representativas recuperadas del sondeo SM-01.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

En el SM-1, se registro a la profundidad de 1.65 metros el nivel de aguas freáticas NAF.

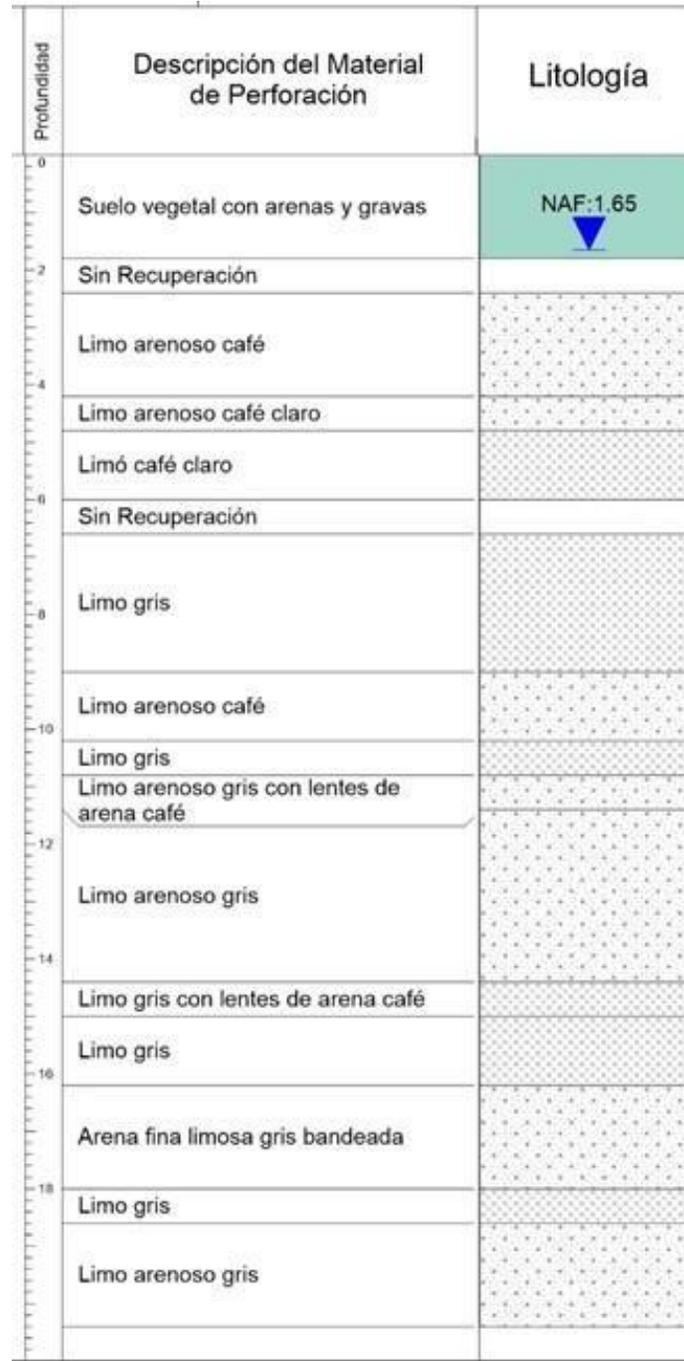
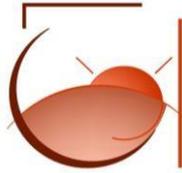


Figura No. 38. Perfil estratigráfico correspondiente al sondeo SM-1.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

El avance registrado para el sondeo SM-2 fue de 20.25 metros quedando distribuido con 18.00 metros de avance con muestreo SPT y 2.00 metros de muestreo con tubo Shelby.

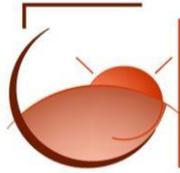
En este sondeo el nivel de aguas freáticas se registró a la profundidad de 1.50 metros.



Foto No 8. Ubicación del sondeo SM-02.



Foto 9. Muestras de suelo y núcleos de roca recuperados en el SM-02



5 SOL

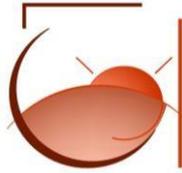
Geoconsultores S.A de C.V



Foto No. 10. Se muestra uno de los dos tubos Shellys obtenidos durante los trabajos del SM-2.

Profundidad	Descripción del Material de Perforación	Litología
0	Arena café	
	Suelo vegetal	NAF.1.5
	Sin Recuperación	
2	Limos con arenas medias	
	Sin Recuperación	
4	Limo arenoso gris	
	Limo gris	
	Sin Recuperación	
6	Limo gris café	
8	Limo café bandeado con arenas finas	
10	Sin Recuperación	
12	Limo gris	
14	Limo gris con arenas finas bandeado café	
16	Limo gris	
18	Limo gris con arenas finas cafes y ceniza	
	Limo gris con arenas finas bandeado café	
	Sin Recuperación	

Figura No. 39. Perfil estratigráfico correspondiente al sondeo SM-2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



Foto No. 11. Durante los trabajos de exploración del subsuelo en el sondeo SM-2, fue posible observar que los contactos entre horizontes de limos arenosos se registraban de manera discordantes reflejando cambios radicales en la depositación.

Como es posible observar en la fotografía anterior, se registró de manera discordante los contactos entre horizontes revelando variaciones en el depósito de los sedimentos limo arenosos, por lo que, se infiere cambios repentinos en la profundidad de los que fuera el antiguo lago.

Estos registros discordantes dieron la pauta para realizar un análisis en la mineralogía de las muestras, por lo que a continuación se presentan las muestras observadas en microscopio estereoscópico a diferentes lupas del sondeo SM-2.

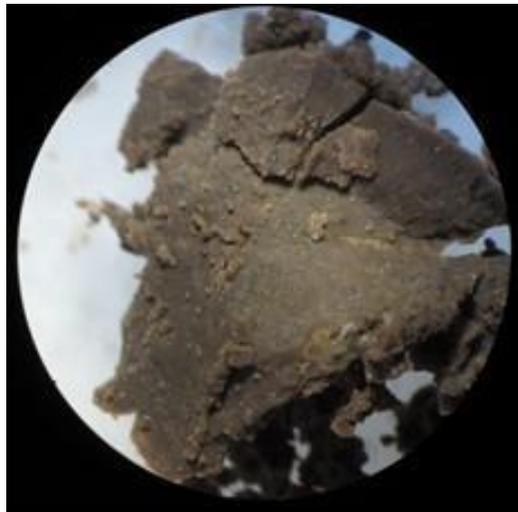


Foto No. 12. Se muestra al aumento de 20 lupas el limo descrito como de color gris-café registrado a la profundidad de 6.60 metros donde es posible observar la estructura que conforman los sedimentos de origen mineral y aquellos de origen orgánico.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

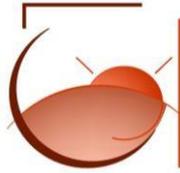
Para realizar el análisis estereoscópico de muestras obtenidas durante las perforaciones, se tomó como criterio la correlación estratigráfica realizada para los tres sondeos, por lo que, se eligió el horizonte de limos de color gris-café cuya profundidad fue de entre los 5.00 metros (para los sondeos SM-1 y SM-2) hasta los 8.00 metros (en el sondeo SM-3).



Foto No. 13. El limo analizado está compuesto de minerales característicos de una fuente volcánica de tipo basáltica, por lo que se pudo observar que las muestras presentaban ferromagnesianos, biotitas, plagioclasa, vidrio, cuarzo, los cuales se asocian a restos de organismos.

Es importante hacer mención que los sedimentos de origen mineral presentan una granulometría casi uniforme en cuanto al tamaño, pero una gran variedad en cuanto a su forma, siendo la forma angular la predominante. En cuanto a los sedimentos de origen orgánico, sus formas se mantienen casi intactas, lo relevante radica en que muchas de las formas orgánicas se tratan de conchas de ostrácodos, están sustituidas por sílice.

Esta última condición de las características de los restos orgánicos revela que el medio sufre de una alta actividad fisicoquímica, lo cual, se confirma con la presencia de minerales de neoformación cuya composición es rica en sílice, así como también, derivada de un proceso de quelación.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

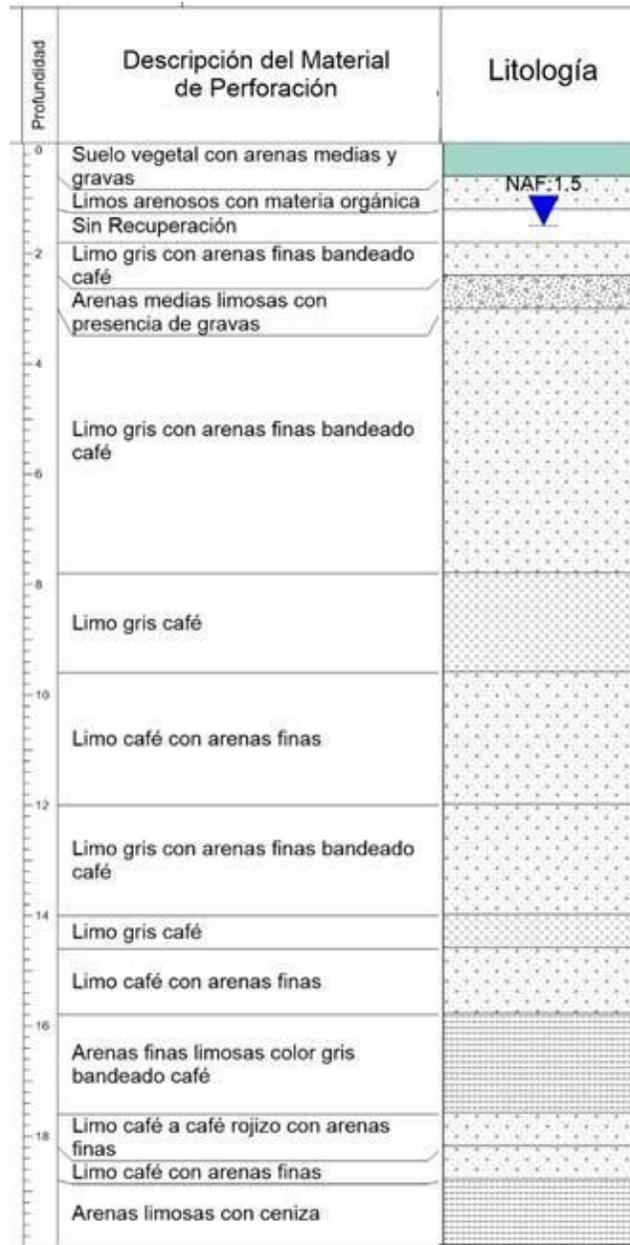
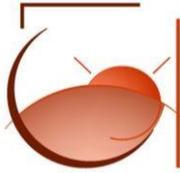


Figura No. 40. Perfil estratigráfico correspondiente al sondeo SM-3.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V

El número de golpes en promedio para los 3 sondeos geotécnicos es de 10 después de las capas de rellenos y tomando como ancho de cimentación un valor unitario la capacidad de carga admisible del suelo resulta de:

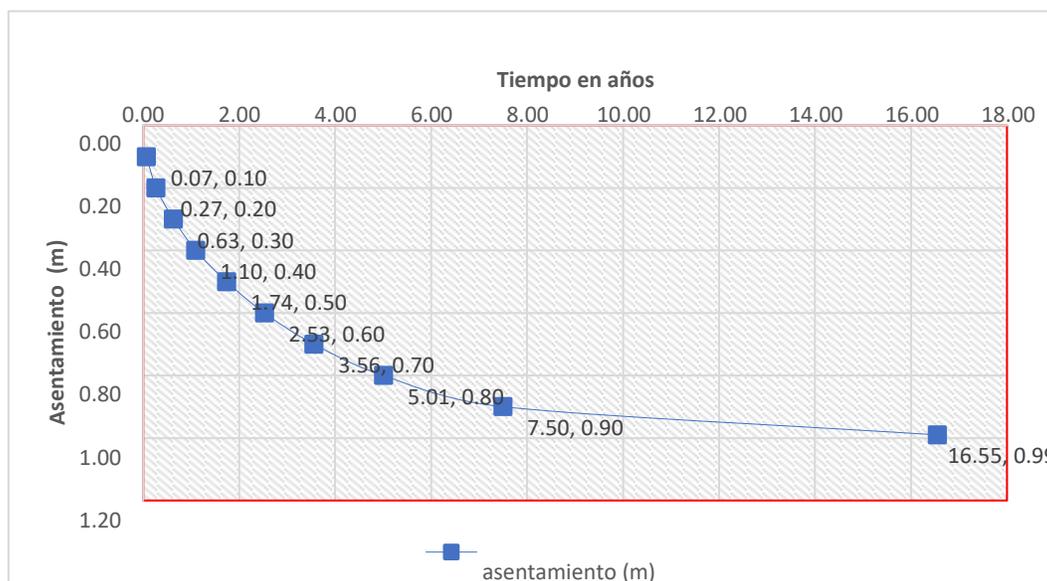
$$q_{adm} = 2.54 * \left(\frac{10}{7.62} \right) \left(\frac{1 + 0.3}{2 * 1} \right)^2 = 1.40 \text{ kg/cm}^2$$

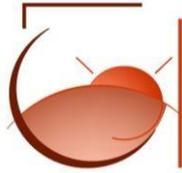
debido a que el predio se encuentra ubicado en la zona III o zona de lago de acuerdo con la zonificación geotécnica de la Ciudad de México y de acuerdo con las normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones se define que la capacidad de carga admisible del suelo en estudio es de **1.40 kg/cm²**.

Cálculo de asentamiento contra tiempo

De las curvas de compresibilidad obtenidas mediante ensayos de consolidación y tomando, como referencia un asentamiento máximo de 1 m y debido a las condiciones a las que está el medio compresible se realiza una gráfica asentamiento vs tiempo en el cual se determina el asentamiento contra tiempo la cual es la siguiente:

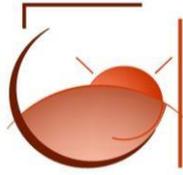
Grado de consolidacion (U)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	99%
Asentamiento (m)= Ux1.3 m	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	0.99
Factor de tiempo (T)	0.008	0.031	0.071	0.126	0.197	0.286	0.403	0.567	0.848	1.872
tiempo (Años= $\frac{T}{2}$)	0.07	0.27	0.63	1.10	1.74	2.53	3.56	5.01	7.50	16.55





5 SOL
Geoconsultores S.A de C.V

ANEXO FOTOGRÁFICO
EXPLORACIÓN GEOFÍSICA.



5 SOL

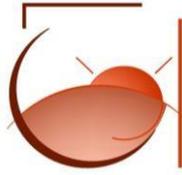
Geoconsultores S.A de C.V



A.1. Desarrollo de la Línea de D-D 1 sobre Ramon López Velarde.



A.2. Trabajos correspondientes a la Línea de D-D 1 sobre Ramon López Velarde.



5 SOL

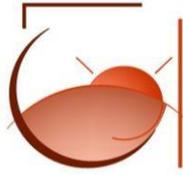
Geoconsultores S.A de C.V



A.3. Desarrollo de la Línea de D-D 1 sobre Ramon López Velarde.



A.4. Final de la Línea de D-D 1 sobre Ramon López Velarde.



5 SOL

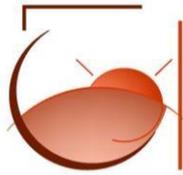
Geoconsultores S.A de C.V



A.5. Realización de la Línea de D-D2 sobre el acceso contiguo a Ramon López Velarde.



A.6. Desarrollo de la Línea de D-D 2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



A.7. Desarrollo en campo de la Línea de D-D 2.



A.8. Desarrollo de la Línea de D-D 2.



5 SOL

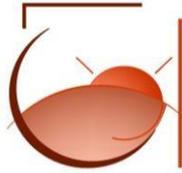
Geoconsultores S.A de C.V



A.9. Realización de la Línea de D-D 3 dentro del acceso contiguo a Calle Pie de la Cuesta.



A.10. Desarrollo de la Línea de D-D 3.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



A.11. Despliegues de los trabajos en campo de la Línea de D-D 3.



A.12. Desarrollo de la Línea de D-D 3.



5 SOL

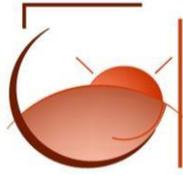
Geoconsultores S.A de C.V



A.13. Trabajos de campo de la Línea de D-D 4 sobre Calle Langosta.



A.14. Desarrollo de la Línea de D-D 4 sobre Calle Langosta.



5 SOL

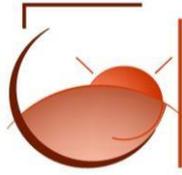
Geoconsultores S.A de C.V



A.15. Desarrollo en campo de la Línea de D-D 4 sobre Calle Langosta.



A.16. Trabajos efectuados para la Línea de D-D 4 sobre Calle Langosta.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



A.17. Ubicación del SEV-1 sobre Calle Langosta.



A.18. Desarrollo del SEV-1 sobre Calle Langosta.



5 SOL

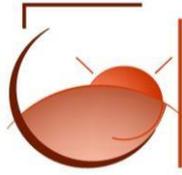
Geoconsultores S.A de C.V



A.19. Localización del SEV-2 sobre Gabriela Mistral.



A.20. Desarrollo del SEV-2 sobre Gabriela Mistral.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



A.21. Posición del SEV-3.



A.22. Ejecución del SEV-3.



5 SOL

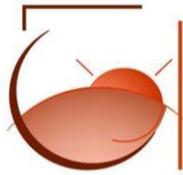
Geoconsultores S.A de C.V



A.23. Sitio de ubicación del SEV-4 sobre Calle Langosta.



A.24. Realización del SEV-4 sobre Calle Langosta.



5 SOL

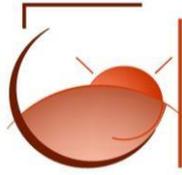
Geoconsultores S.A de C.V



A.25. Lugar donde se ubicó el SEV-5.



A.26. Desarrollo del SEV-5.



5 SOL

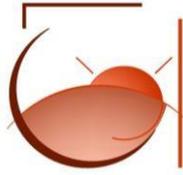
Geoconsultores S.A de C.V



A.27. Ubicación del SEV-6 sobre Gabriela Mistral.



A.28. Ejecución del SEV-6 sobre Gabriela Mistral.



5 SOL

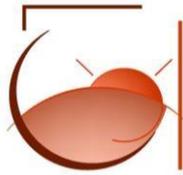
Geoconsultores S.A de C.V



A.29. Sitio donde se ubica el SEV-7 dentro de Las Canchas de La Villa.



A.30. Desarrollo del SEV-7.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



A.31. Localización del SEV-8 sobre Ramon López Velarde.



A.32. Trabajo en campo para desarrollo del SEV-8.



5 SOL
Geoconsultores S.A de C.V

ANEXO FOTOGRÁFICO

EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.1. Ubicación del sondeo SM-1.



B.2. Muestra de los rellenos mediante la herramienta de tubo partido.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.3. Muestra donde se registra el cambio de los rellenos hacia los limos.



B.4. Obtención del tubo Shelby a la profundidad de 6.00 a 6.60 metros en el SM-1.

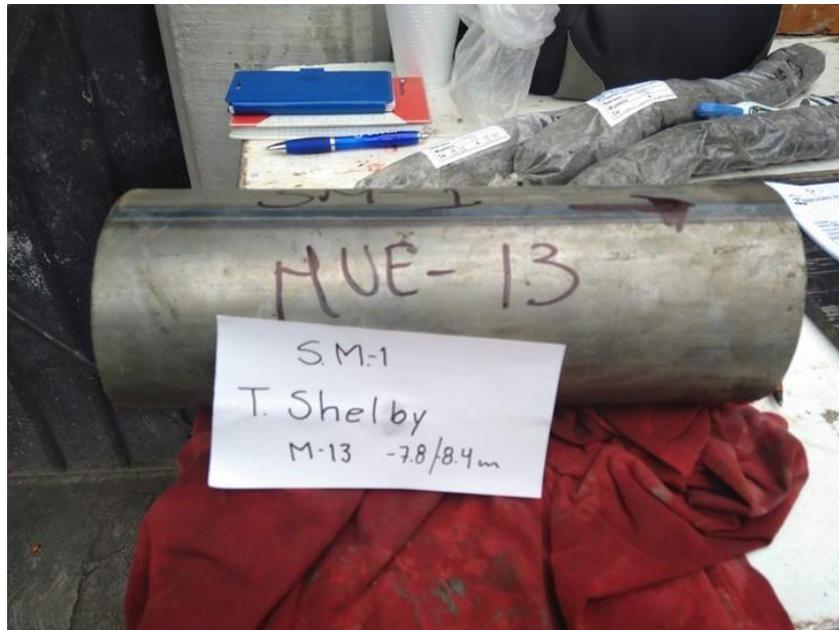


5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.5. Se muestra a los limos registrados inmediato al primer tubo Shelby del SM-1.



B.6. Segundo Tubo Shelby en el SM-1.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.7. Todas las muestras obtenidas de manera continua mediante la herramienta de tubo partido, fueron debidamente empaquetadas y etiquetadas.



B.8. Tercera muestra de tubo Shelby obtenida durante los trabajos de exploración en el SM-1.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.9. Se observan variaciones importantes en los materiales a partir de los 15.00 metros de profundidad.



B.10. Se muestran las 30 muestras de tubo partido y los tres tubos Shelby del SM-1.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.11. Se muestra el sitio donde se llevó a cabo la perforación del SM-2.



B.12. Inicio del registro de los materiales limosos en el SM-2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.13. Primer tubo Shelby del SM-2.



B. 14. Limos registrados inmediatos a la toma del primer tubo Shelby del SM-2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.15. Registro de cambios en los materiales limosos.



B.16. Segundo tubo Shelby del sondeo SM-2.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.17. Limos con mayor cantidad de arcilla con alto contenido de agua, los cuales fueron perforados solo con el peso de la herramienta.



B.18. Ultima muestra obtenida en el SM-2, ya que la muestra del tubo partido M-32 no fue posible recuperarla.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.19. Ubicación del sitio donde se llevo a cabo la perforación del sondeo SM-3.



B.20. Arenas con limos en la parte superficial del SM-3.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.21. Primer tubo Shelby del sondeo SM-3.



B.22. Limos registrados por debajo del tubo Shelby, se destaca la recuperación de estos, ya que solo se pudo recuperar el 60%.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.23. Material con muy poca resistencia, ya que se registraba un número de golpes de 1 (uno) para perforar los 60 centímetros del tubo partido.



B.24. Segundo tubo Shelby del sondeo SM-3.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.25. Limos y suelo sepultado obtenido por debajo de la muestra de tubo Shelby a la profundidad de 13.40 metros en el sondeo Sm- 3.



B.26. Al igual que en los dos sondeos perforados, después de los 15.00 metros, se registran variaciones en las características físicas de los limos registrados.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.27. Muestra de limo arenosos con alto contenido de materia orgánica y agua por lo que no fue posible la recuperación de estos.



B.28. Características físicas de los materiales registrados en la última muestra del sondeo SM-3.



5 SOL

Geoconsultores S.A de C.V



B.29. Se muestran las 30 muestras de tubo partido y las dos muestras de tubo Shelby obtenidas durante los trabajos del sondeo SM-3.