06 DE ENERO DE 2022

PROYECTO: 01-06-2022

ESTUDIO GEOFÍSICO EFECTUADO CON EL MÉTODO DE RADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE REALIZADO PARA EL PREDIO UBICADO EN CALLE CAMINO VIEJO FUENTES BROTANTES (ANTES CAMINO DE LAS FUENTES BROTANTES) NO. 134, COLONIA PUEBLO SANTA ÚRSULA XITLA, ALCALDÍA TLALPAN, C.P. 14420, CIUDAD DE MÉXICO.

ESTUDIO ELABORADO PARA:

[redacted]

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.

1.1 Antecedentes.
1.2 Objetivos y alcances.
1.3 Características generales del predio.
1.4 Descripción general del proyecto.

2. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO.

2.1 Geología regional.
2.2 Zonificación geotécnica.
2.3 Comentarios sobre las características Geológicas y Geotécnicas del sitio.
2.4 Trabajos de campo.

3. TRABAJOS GEOFÍSICOS EFECTUADOS CON EL MÉTODO DE RADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE.

3.1 Técnicas geofísicas empleadas.
3.2 Bitácora de campo.
3.3 Metodología y equipo de medición.
3.4 Procesado de datos.
3.5 Resultados de la campaña de exploración.

4. CONCLUSIONES.

REFERENCIAS.

1. INTRODUCCIÓN.

1.1. Antecedentes

Se solicitó un Estudio Geofísico efectuado con el ***Método de Radar de Penetración Terrestre (GEORADAR),*** se realizó una línea de prospección electromagnética en su modalidad Radar en la calle frontal al predio, *con la finalidad de estudiar y determinar la existencia o no de discontinuidades geológicas como son grietas, fracturas o fallas inferidas, de acuerdo con lo solicitud realizada por SEDEMA*, para el proyecto a desarrollar en el predio ubicado en calle ***Camino Viejo Fuentes Brotantes (Ant. Camino de las Fuentes Brotantes) No. 134, colonia Pueblo Santa Úrsula Xitla, alcaldía Tlalpan, C.P. 14420, Ciudad de México.***

En la figura siguiente se muestra un croquis de ubicación del sitio.

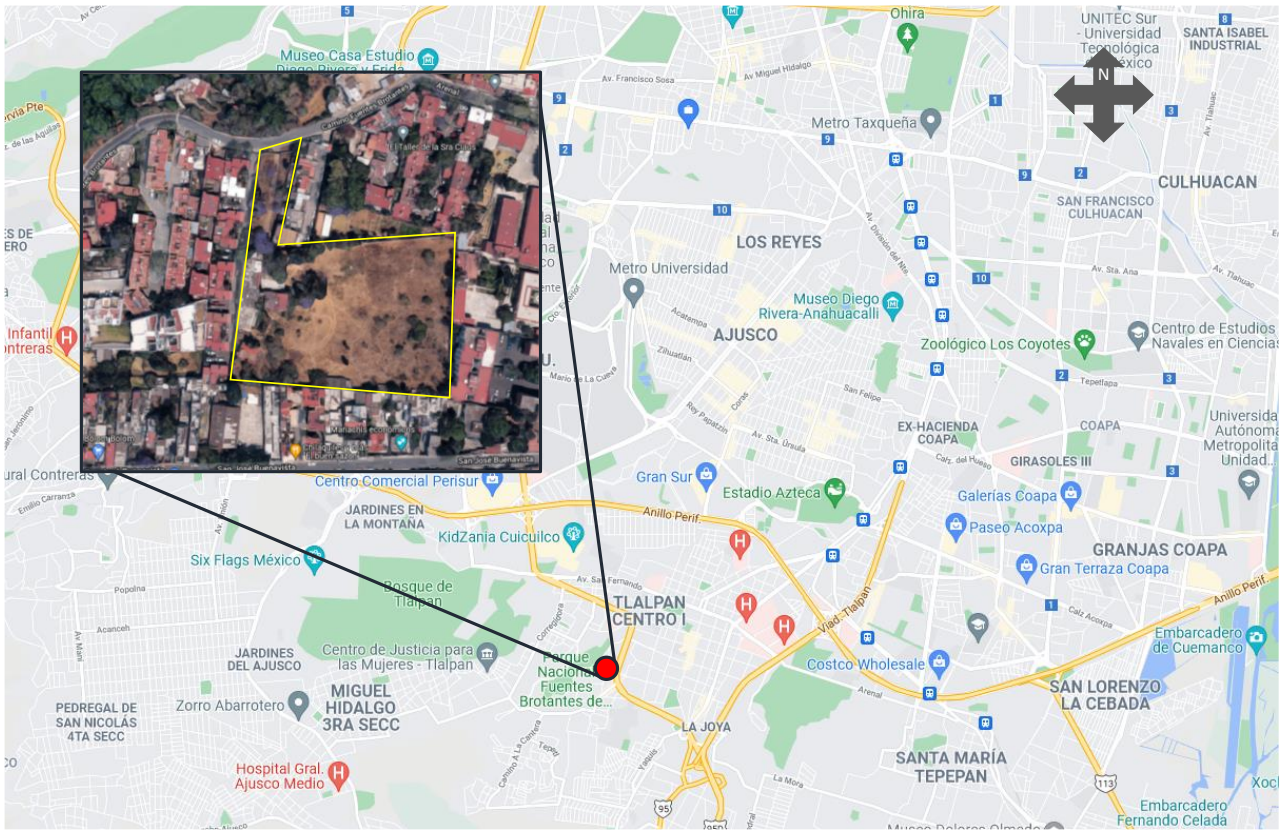

Figura 1.1. Localización del sitio en estudio, Google Maps.

Por lo cual se plantea el siguiente objetivo.

1.2. Objetivos y alcances

El objeto del presente estudio es el de confirmar o desechar la existencia de discontinuidades geológicas (fracturas, fallas, grietas u oquedades) por medio de la ejecución de un Estudio Geofísico empleando el ***Método de Radar de Penetración Terrestre (GEORADAR).***

A fin de cumplir con el objetivo que se planteó se realizaron los siguientes alcances:

- *Ejecución de una línea de GEORADAR con longitud de entre 50 m dispuesta al frente del acceso al terreno.*
- *Interpretación de los radargramas obtenidos en cada una de las líneas de tendido con GEORADAR a fin de confirmar o desechar la existencia de alguna discontinuidad geológica.*
- *Determinar la presencia de discontinuidades geológicas (fallas, fracturas, grietas u oquedades) alrededor del predio por medio de mediciones en la superficie. La conductividad y resistividad del subsuelo se asocia a diferentes parámetros geológicos tales como contenido mineral y/o de fluidos, porosidad, grado de saturación de la roca, etc. Esto permite emplear dichos estudios en investigaciones geotécnicas, mineras, hidrológicas y ambientales.*
- *Finalmente, se emiten las conclusiones y recomendaciones correspondientes.*

1.3. Características generales del predio

El proyecto se desarrolla sobre un predio de forma irregular en planta, contando con un ***área de 11,411.91m^2***.

Actualmente el predio se encuentra despalmado. Colinda al norte con casas habitación de tres niveles de altura y la calle Camino Viejo Fuentes Brotantes; al Sur y al Oriente con casas con casas habitación con construcciones con tres niveles de altura y al poniente con calle de acceso a conjunto habitacional.

De acuerdo con los recorridos realizados en campo se puede apreciar que las estructuras colindantes presentan desplomes o un estado físico inadecuado, sin embargo, es recomendable realizar levantamiento topográfico de las colindancias, con motivo de tener un antecedente legal del estado que guardan.

1.4. Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en la construcción de un conjunto habitacional conformado por 52 casas con tres tipos de viviendas con hasta tres niveles de altura y azotea.

2. CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO.

2.1. Geología regional

El *Valle de la Ciudad México*, es una altiplanicie rodeada de altas montañas, *(ref. 3 y 4):*

- *Al sureste, La Sierra Nevada, donde se ubica el Popocatepetl y el Ixtaccihuatl.*
- *Al sur, la Sierra del Chichinautzin y la del Ajusco.*
- *Al sur-oeste, la Sierra de las Cruces y las de los Montes Alto y Bajo.*
- *Al noroeste, la Sierra de Tepotzotlan.*
- *Al norte, la sierra de Tezontlalpan y la de Pachuca que continua con la Sierra de Chiconautla.*

Por lo que, en el poniente (ubicación de nuestro predio), las Sierras del Chichinautzin, las Cruces y las del Monte Alto y Bajo han generado lomas y barrancas integradas por materiales incandescentes arrojados por múltiples volcanes a lo largo de 600,000 años, éstos fueron transportados del lugar en que originalmente se formaron por medio de avalanchas ardientes, otras como lodo, ceniza y piedra, y fueron asentadas al "pie de monte" en forma de extensos abanicos.

Los materiales que forman el accidentado relieve de las Sierras, corresponden a un conjunto de materiales volcánicos de la Era Cenozoica, de los cuales en una primera instancia pueden reconocerse tres conjuntos litológicos principales, (grupo de rocas semejantes):

1) *Materiales volcánicos andesíticos: masa mineral de grano muy fino y vítreo y es la más antigua.*

2) *Diversas Secuencias piroclásticas: serie de materiales integrados por fragmentos producidos en erupciones explosivas con algunos desarrollos de agregados de partículas formando conglomerados.*

3) *Derrames basálticos en algunas zonas de pedregales.*

Los materiales de las lomas y barrancas (segunda unidad), es conocida como Formación Tarango y alcanza alturas de 2,300 a 2,700 m.s.n.m..

Es de esta formación de la cual se obtienen agregados pétreos utilizados en la industria de la construcción, ya que está integrada por la asociación de materiales piroclásticos tipo pómez con tobas, materiales arenosos gravas e intercalaciones lávicas esporádicas.

La Formación Tarango es una superposición de 200 a 300 m de espesor de capas de gravas, arenas, arcillas pómez, limos y lahares (depósitos de lodos volcánicos que contienen desde cenizas hasta grandes peñascos) y es de gran importancia ya que su origen volcánico presenta continuidad y homogeneidad notables, que permiten proponer una columna estratigráfica tipo, que solo en casos aislados y poco frecuentes no corresponden exactamente al aplicarla a algunas localidades.

En la figura siguiente, se muestra la secuencia geológica completa de la zona de las Lomas, la cual se extiende en un intervalo de 600,000 años.

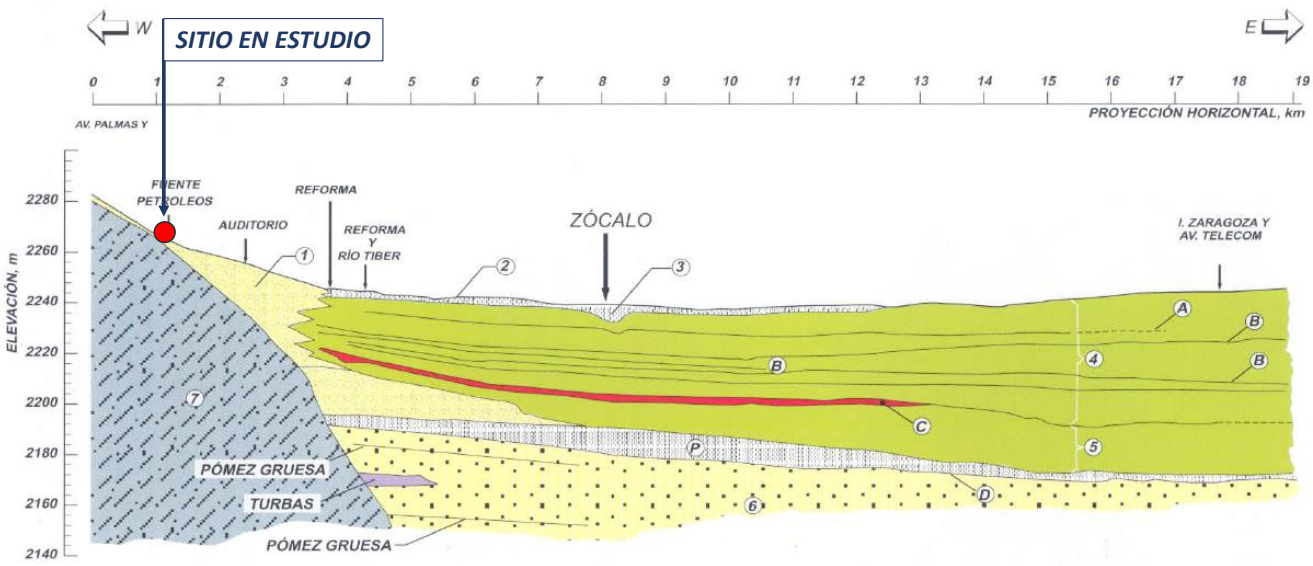

Figura 2.1. Corte geológico de la cueca de la Ciudad de México (Singh et al, 1988)

Cabe mencionar que debido a la experiencia e información que se ha recabado del sitio y tras haber realizado diversos recorridos en la zona, se observan materiales de relleno superficialmente, subyaciendo una matriz limo arenosa y areno limosa, por lo que se considera que estos materiales predominan en el predio de acuerdo con la pendiente presentada en el sitio, al menos para la profundidad a la que se exploró, es decir, se cuenta con materiales que superficialmente fueron colocados mecánicamente por agentes físicos tales como aire, viento, agua, etc., hacia las partes de las Lomas, formando "deltas" de arenas poco cementadas, que embebieron gravas y boleos y otros que fueron depositados por vía aérea al ser expulsados de un volcán.

Posteriormente se tienen materiales de relleno, depositados para alcanzar los niveles de proyecto de las construcciones existentes.

Finalmente, en la figura 2.2 se muestra un mapa de las formaciones geológicas de la Ciudad de México, observándose que la ubicación del sitio en estudio corresponde a los Abanicos volcánicos, lahares, flojos piroclásticos, tobas, pómez y depósitos flivuales (Qcd), los cuales pertenecen a la era del cuaternario.

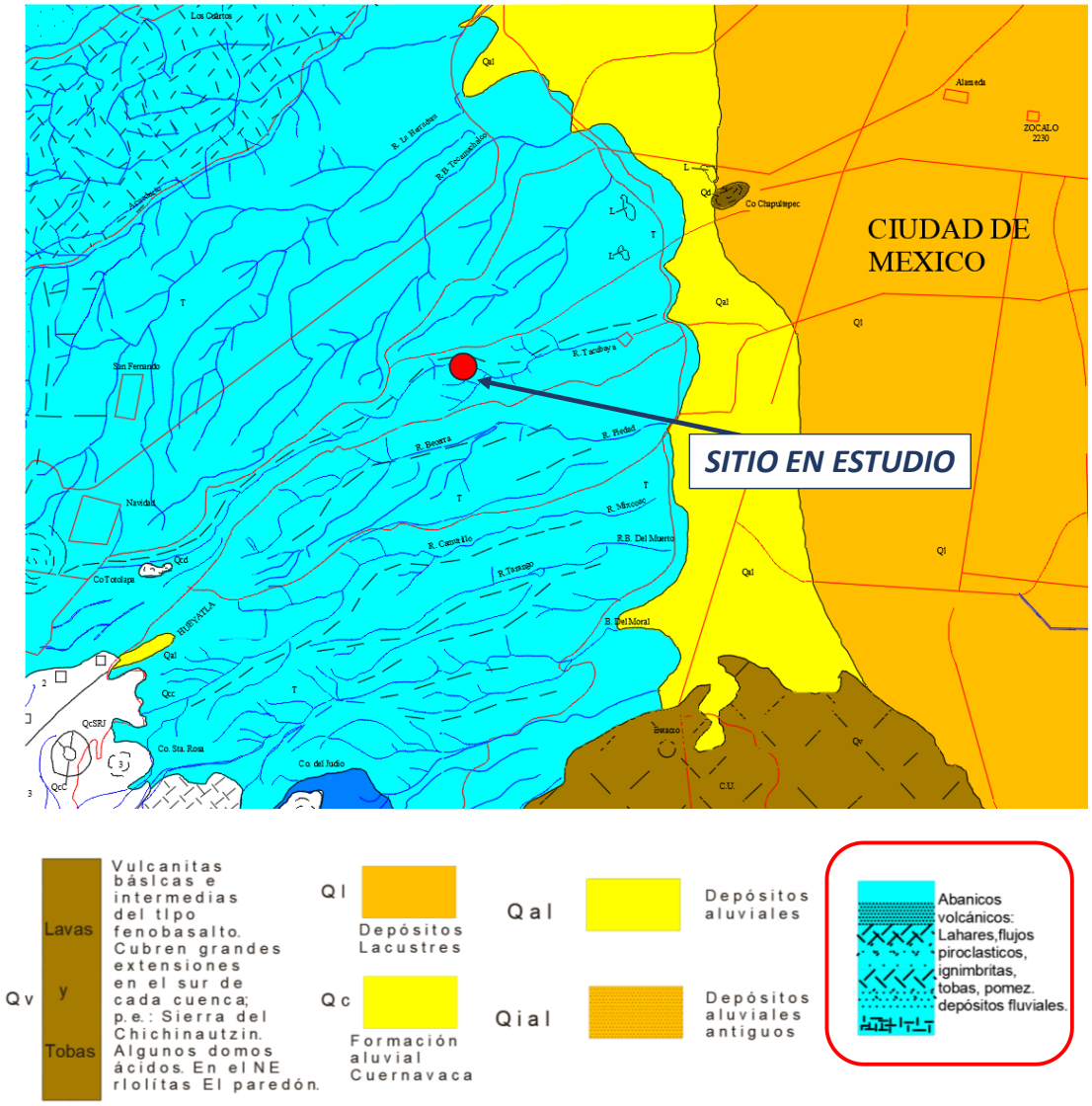

Figura 2.2 Geología de la cuenca de la Ciudad de México (Mooser, 1996)

Por anterior y basándose en los resultados de las pruebas de campo se concluye que al menos para la máxima profundidad explorada, no se encuentra ninguna discontinuidad geológica de importancia tales como cavernas, oquedades, zonas minadas o minas excavadas por el hombre.

2.2 Zonificación geotécnica

Desde el punto de vista de la Ingeniería Geotécnica, el área urbana de la Ciudad de México se ha subdividido en tres zonas (*Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México, ref. 1): Lomas (Zona I), Transición (Zona II) y Lago (Zona III).* En la figura 2.3 se muestra un mapa de la zonificación geotécnica de la Ciudad de México en la cual se aprecia que el sitio en estudio se ubica dentro de la Zona I (de Lomas), de acuerdo con su ubicación geográfica (lat. 19.285° N, long. -99.178° O), la cual presenta las siguientes características generales:

- Zona I (Lomas), se distingue por suelos generalmente firmes que fueron depositados fuera del ambiente lacustre, pero en los que pueden existir depósitos arenosos en estado suelto o cohesivos relativamente blandos. En esta zona, es frecuente la presencia de oquedades en rocas, de cavernas y túneles excavados en suelos para explotar minas de arena y de rellenos artificiales no controlados.

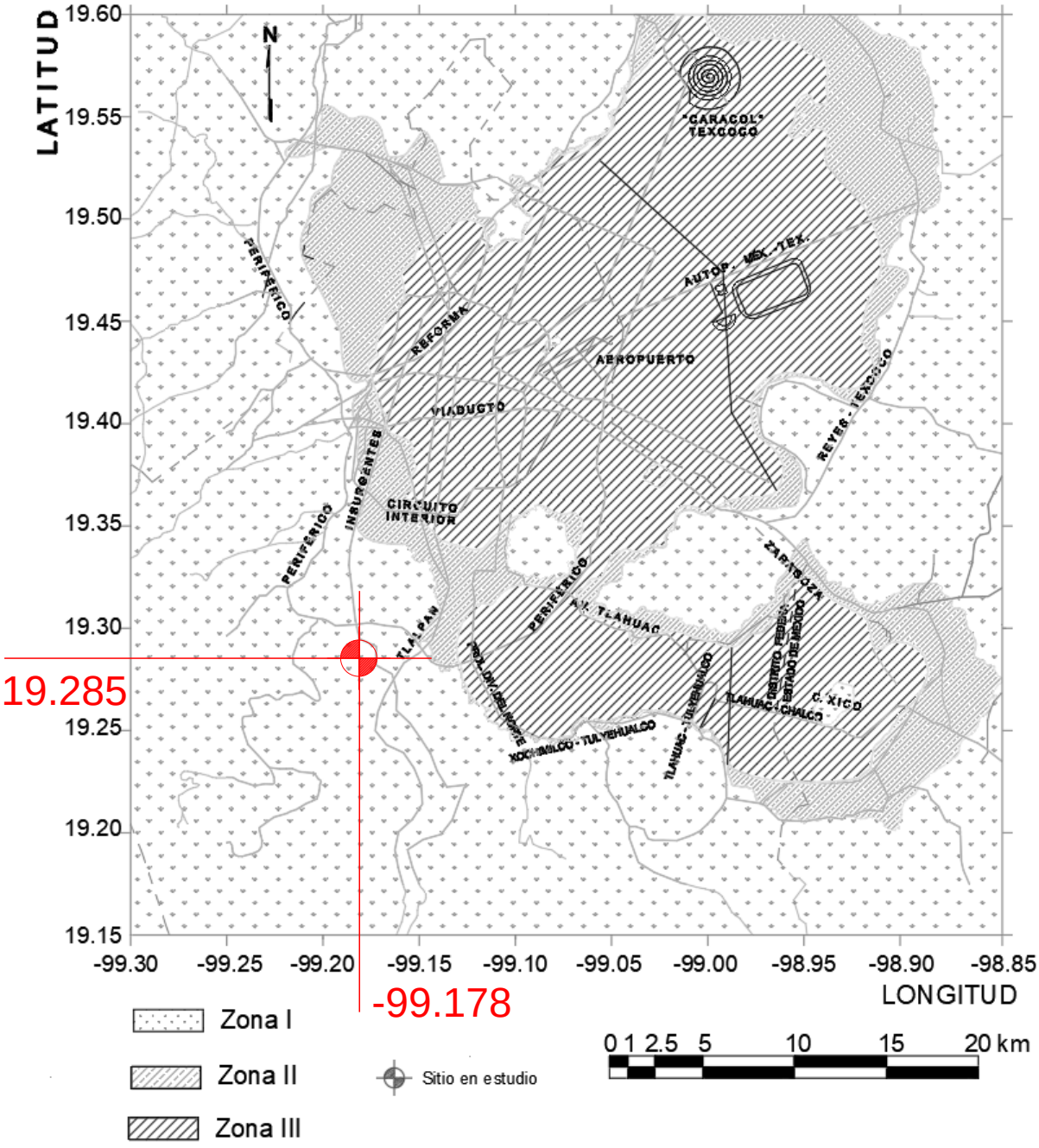

Figura 2.3 Zonificación Geotécnica

2.3 Comentarios sobre las características Geológicas y Geotécnicas del sitio.

Basado en los trabajos de campo de la campaña de exploración Geofísica, los recorridos en campo y la información proporcionada en el Estudio de Mecánica de Suelos, que se realizaron en el sitio, se concluye que:

1) *Del recorrido geológico superficial que se efectuó, se observa que la totalidad del predio se ubica en la Zona de Pedregales de la Ciudad, que conforma geológicamente hablando, costra superficial y Depósitos de Lomas, lo cual se puede observar en la estratigrafía descrita.*

2) *Geológicamente hablando, el predio nunca ha formado parte de una cañada, que hubiera facilitado la explotación de sus materiales de forma lateral, por lo que es imposible que por mecanismos externos se hayan efectuado zonas de explotación pétrea.*

3) *Ninguno de los radargramas, reportan la presencia de alguna discontinuidad geológica de importancia tales como cavernas, oquedades, zonas minadas o minas excavadas por el hombre.*

4) *De diversos recorridos realizados en el predio se puede observar que no existen daños ni deformaciones evidentes en las colindancias y cortes cercanos al predio.*

5) *Solamente es necesario tener cuidado que, durante la excavación, sobre las "caras" de los cortes no aparezcan erraticidades geológicas que pudieran llegar a desestabilizar los cortes por efectuar, en cuanto a una falla local.*

Por todo lo anterior:

En el predio no existen discontinuidades geológicas de importancia, sólo fracturas naturales de los materiales superficiales de relleno por desecación, lo anterior se asegura con toda precisión hasta los 14m de profundidad con respecto al nivel medio del terreno actual.

2.4 Trabajos de campo

De acuerdo con la ubicación del sitio, el entorno físico y a los criterios propuestos en el *Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México (RCCDMX, ref.1) y las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC, ref. 2), así como lo establecido en el objetivo planteado , se proponen los siguientes trabajos:*

- ***Un ESTUDIO GEOFÍSICO por medio del método de Radar de Penetración Terrestre, GEORADAR****, transmitiendo una señal electromagnética de alta frecuencia al subsuelo, la cual regresa con información del terreno, obteniéndose un perfil continuo del terreno, con información estratigráfica d con la finalidad de determinar la existencia o no de alguna discontinuidad geológica (fallas, fracturas, grietas u oquedades)****, tal como se observa en la figura siguiente:***

Figura 2.4 Zona explorada con respecto al predio

3. TRABAJOS GEOFÍSICOS EFECTUADOS CON EL MÉTODO DE RADAR DE PENETRACIÓN TERRESTRE.

3.1. Técnicas geofísicas empleadas.

El Radar de Penetración Terrestre (GPR), es una técnica de prospección geofísica no invasiva basado en la emisión de impulsos electromagnéticos, que se transmiten en el subsuelo mediante una antena transmisora en la superficie. Los parámetros eléctricos (constante dieléctrica, permeabilidad magnética y conductividad) de los materiales del medio a investigar son los que controlan la propagación de la señal. *Las reflexiones de estas señales son detectadas por una antena receptora (en un sistema mono-estático, como es el caso, una sola antena transmite y registra). Estas señales generan una serie de registros de ondas electromagnéticas reflejadas en un perfil de espacio-tiempo que definen las características estratigráficas del subsuelo y las anomalías geológicas en el mismo.* Al desplazar la antena sobre la superficie se registra el conjunto de reflexiones producidas, con lo que se obtiene una imagen bidimensional de las reflexiones bajo la línea de prospección.

Los impulsos electromagnéticos empleados en la técnica GPR se encuentran en el intervalo de frecuencia de 10 MHz a 2 GHz (Annan, 1996, ref. 5). Las aplicaciones en ingeniería civil se enfocan a la localización de fracturas, cavidades, tuberías, cables subterráneos, determinación de espesores de muros y detección de microfracturas (Ulriksen, 1982, ref. 11). En geología estructural permite la localización y continuidad de fallas, y su correlación con las unidades estratigráficas (Doolittle and Asmussen, 1992, ref. 6; Fisher et al., 1992, ref. 7; Stevens et al., 1995, ref. 9).

Algunas consideraciones adicionales al momento de llevar a cabo el levantamiento son:

- *EL GPR dependerá completamente de la conductividad del suelo, por lo que se recomienda operarlo en zonas de baja conductividad y poco saturadas.*
- *Al depender de la conductividad es necesario introducir una constante dieléctrica para calibrar la estimación de profundidades.*
- *Al depender de un odómetro, se recomienda trabajar en zonas lo más planas posibles. Esto implica, también, que el terreno debe estar limpio, es decir esté libre de maleza y/o vegetación para que exista un contacto adecuado entre la antena y el medio*
- *Para mejores resultados, trazar una ruta preliminar por donde pase el GPR.*
- *El GPR puede medir de manera continua o discreta. Se recomienda la forma discreta para asociar cada traza a una distancia. Se recomienda cada 10 [cm] para tener un buen detalle, sin embargo, esta distancia queda a consideración del cliente.*
- *La profundidad de penetración está condicionada completamente por las condiciones del medio, por lo que en condiciones óptimas (roca ausente de materiales con baja resistividad) la profundidad de penetración máxima estimadas es de 20 [m] para una antena de 100 [MHz].*

Se realizó ***un perfil*** electromagnético también llamados ***Radargrama*** en la entrada al predio, con la finalidad de determinar la existencia de alguna discontinuidad geológica en dirección al predio.

3.2 Bitácora de campo.

En total se realizó ***un ensaye de Penetración de Radar*** en la zona de interés, con la finalidad de determinar la existencia de alguna discontinuidad que podría afectar el área del proyecto.

Las mediciones se realizaron sobre el pavimento, evitando pasar el sensor sobre alcantarillado, excavación por líneas de electricidad-telefonía, etc. El tendido se *realizó al frente del acceso al predio*, la longitud del tendido fue de 50 m. Las mediciones se ubicaron tal como se muestra en la *Figura 3.1*.

Figura 3.1 Ubicación de las líneas de Radar de Penetración Terrestre (GEORADAR) realizadas

3.3 Metodología y equipo de medición

La instrumentación utilizada para esta prospección, consistió en un sistema mono-estático (una sola antena transmite y recibe) ***SIR-3000 de Geophysical Survey System Inc.*** (GSSI, 2003, *ref. 8*) y una a***ntena con frecuencia central de 270 MHz***. Esta antena está conectada a la consola del GPR mediante un cable de 7 m; montado todo el equipo en un vehículo con odómetro para tener el mejor control de las mediciones *(Figura 3.2)*.

Figura 3.2 GPR SIR-3000 de Geophysical Survey System Inc. Con antena de 270 Mhz.

La frecuencia de operación de las antenas es uno de los factores que determinan la resolución y penetración de las señales electromagnéticas en la zona de estudio. Mientras mayor es la frecuencia central de la antena, mayor será la resolución, pero menor la profundidad de investigación y viceversa. La antena utilizada (270 MHz), tiene una profundidad de trabajo máxima de 10 m dependiendo de las propiedades del subsuelo y de los parámetros de transmisión.

La metodología de medición es la siguiente:

1) ***Trazo de línea de adquisición***
2) ***Programación de la distancia de adquisición y la constante dieléctrica del medio,***
3) ***Calibración de la profundidad***
4) ***Arrastre de antena***
5) ***Inspección de radagrama***

La interpretación cuantitativa del Radar produce información de la profundidad, tamaño, forma, etc. El equipo utilizado es el siguiente:

I. Unidad de Control.

- ***Modelo: SIR-3000***
- ***Marca: Geophysical Survey System***

II. Antena Blindada de 270 MHz.

- ***Modelo: 270 MHz***
- ***Marca: GSSI***

III. Carro de soporte de antena blindada.

IV. Computadora PORTATIL

3.4 Procesado de datos

El procesamiento de datos se realiza en una computadora personal con ayuda del *software GPRSoft para ambiente WindowsXP de GeoScanners AB*. La señal característica de una fractura puede observarse en la *Figura 3.3*, mostrando en forma esquemática la manera en que las ondas electromagnéticas son propagadas y reflejadas por el subsuelo y registradas por la antena del GPR.

La señal ondicular que se forma en el radargrama tiene la firma característica de una hipérbola. Esta señal puede tener una concavidad mayor o menor dependiendo de las dimensiones de la estructura y la profundidad a la que se encuentre. Esta firma es la que se debe de detectar en los perfiles de GPR en la localización de cuerpos a profundidad.

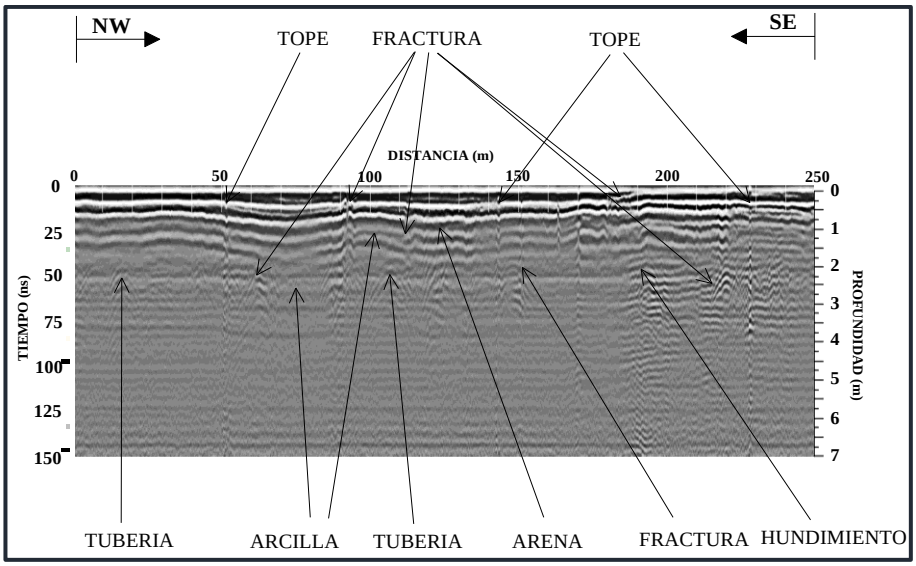

Figura 3.3 Señal característica de un radargrama con presencia de discontinuidades en el subsuelo. Es posible observar las trayectorias de la onda electromagnética (flechas) al incidir sobre el objeto.

3.5 Resultados de la campaña de exploración

La toma de datos con el radar se realiza moviendo la antena sobre una línea recta, las distancias de calibración dan un control sobre los puntos muestreados (trazas).

Con los resultados obtenidos de la prospección indirecta del subsuelo utilizando el método geofísico de Radar de Penetración Terrestre (GEORADAR) se pudo determinar lo siguiente: ***EN LA ZONA ESTUDIADA NO EXISTEN FRACTURAS, FALLAS INFERIDAS, CAVIDADES O DISCONTINUIDADES DE ORIGEN GEOLÓGICO.***

LÍNEA 1. PARALELA A LA CALLE CAMINO VIEJO FUENTES BROTANTES.

Figura 3.4 Vista del recorrido de la línea 1

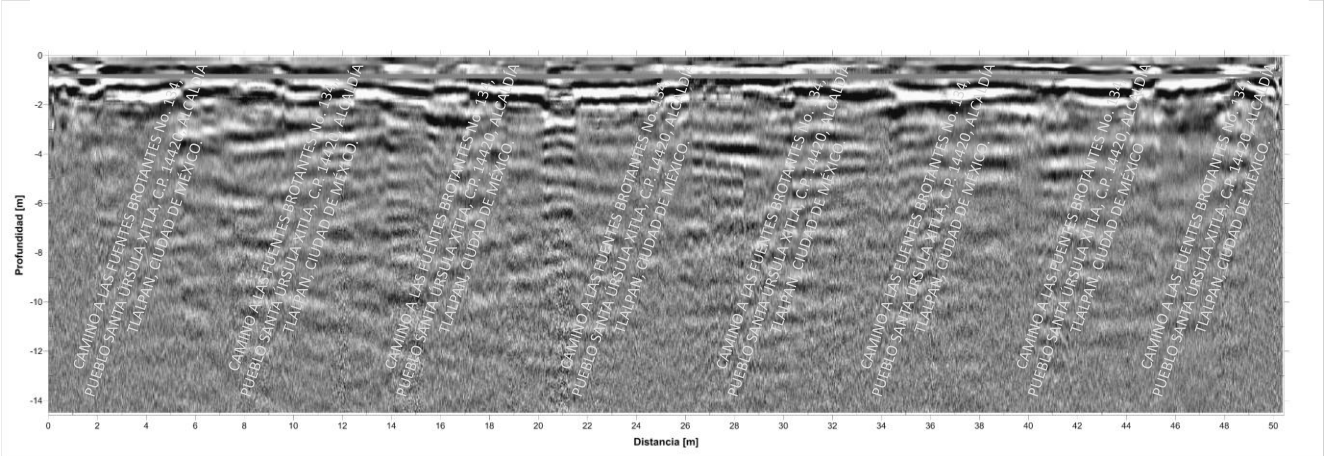

Figura 3.5 Radargrama de la línea 1

De acuerdo con los resultados obtenidos en el radargrama únicamente se observan cambios de materiales superficialmente correspondientes a la toba limo arenosa y subyace la toba areno limosa característica de la zona, existen algunas fracturas naturales de los materiales superficiales de relleno por desecación, no se observa la evidencia de alguna discontinuidad geológica como fallas, fracturas, grietas u oquedades.

4 CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de la prospección indirecta del subsuelo utilizando el método geofísico de Radar de Penetración Terrestre (Georadar) se concluye lo siguiente:

- *Se hizo pasar el Georadar en* ***una zona al frente del predio*** *y* ***NO SE DETECTÓ ERRATICIDAD ALGUNA.***

- *Además, se hizo una investigación superficial buscando evidencias físicas en la calle como fugas de drenaje o agua potable, rotura de pavimento, protuberancias, rotura en registros de instalaciones eléctricas o hidrosanitaria de la Alcaldía y* ***NO SE OBSERVÓ EVIDENCIA FÍSICA ALGUNA.***

- ***SE RECOMIENDA AMPLIAMENTE TENER UNA SUPERVISIÓN GEOTÉCNICA ESPECIALIZADA DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN PARA VERIFICAR LO DETECTADO DE MANERA INDIRECTA EN ESTE ESTUDIO GEOFÍSICO.***

- ***Finalmente, ninguno de los registros analizados mostró, en las zonas estudiadas, anomalías asociadas con la presencia de discontinuidades geológicas tales como cavidades, grietas, fracturas y/o fallas inferidas; o bien, discontinuidades del mismo tipo, debidas a causas de origen antropogénico que pueden incluir a grietas y/o fallas producto de la explotación del acuífero, oquedades derivadas de erosión interna por fugas de agua u otras causas. LAS ANOMALÍAS DETECTADAS EN LOS RADARGRAMAS SON DEBIDAS A LA PRESENCIA DE COLADERAS, TOPES Y ANOMALIAS EN EL ASFALTO.***

- ***Toda la información y resultados del presente Reporte, solo se aplican al proyecto que contempla el Conjunto Habitacional ubicado en Camino Viejo Fuentes Brotantes (Ant. Camino de las Fuentes Brotantes) No. 134, colonia Pueblo Santa Úrsula Xitla, C.P. 14420, alcaldía Tlalpan en la Ciudad de México y por ningún motivo podrán extrapolarse. El que suscribe no se hace responsable por el mal uso de la información presentada en este Reporte, soluciones emitidas o aplicación de los resultados a proyectos distintos al aquí descrito.***

A T E N T A M E N T E

[redacted]

Ing. Ricardo Antonio Flores Eslava

BAJO PROTESTA DE DECIR VERDAD, SE INFORMA QUE TODOS ESTOS TRABAJOS FUERON REALIZADOS Y ANALIZADOS DE FORMA REAL POR EL QUE SUSCRIBE.

REFERENCIAS

1. ***"Reglamento de Construcciones para la Ciudad de México"**, Gaceta Oficial, Gobierno de la Ciudad de México, 15 de diciembre de 2017.*
2. ***"Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Cimentaciones"**, Gaceta Oficial, Gobierno de la Ciudad de México, 15 de diciembre de 2017.*
3. ***"Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo",** Gaceta Oficial, Gobierno de Ciudad de México, 29 de Octubre de 2018.*
4. ***"Síntesis Geotécnica de la Cuenca del Valle de México",** E. Santoyo, E. Ovando, TGC Geotécnia, S.A., 2005.*
5. ***"Ground Penetrating Radar, Workshop Notes, Sensor and Software",** Annan, 1996.*
6. ***"Ten year of Aplications of Ground Penetrating Radar by the United States Department of Agriculture. Pro IV Int. Conf. Gground Penetrating Radar",** Doolittle, J. A. And Asmussen, L. E, 1992, June 8-13, 1992.*
7. ***"Adqisiton and Procesing of Wide-Aperture Ground Penetrating Radar Data. Geophysics, vol 57; pp. 495-504",** Fisher, E., Mc. Mecham, G. A and Annan, A. P., 1992.*
8. ***"Radan for Windows. Geophysical Survey System. Inc. pp 122",** GSSI. 2003.*
9. ***"The Application of Ground Penetrating Radar for Mapping Fractures in Plutonic Rocks Within the Whiteshell Research Area, Pinawa Manitoba, Canada, Journal of Aplied Geophysics, vol. 33, pp.125-141",** Stevens, K. M., Lodha, A. L. and Soonawala, N. M., 1995.*
10. ***"Cavity detection in the south-western hilly portion of Mexico City by resistivity imaging: Journal of Engineering and Environmental Geophysics (Great Britain), 7-3, 130-139",** Tejero, A., Chávez, R. E., Urbieta, J., y Flores-Márquez, E. L., 2002.*
11. ***"Application of Impulse Radar to Civil Engineering; Ph. D. Thesis, Deparment of Enginnering Geology, Lund University of Technology, pp. 175.",** Ulriksen, C. P., 1982.*

Válido únicamente para el Estudio geofísico para el proyecto ubicado en Camino Viejo Fuentes Brotantes (Ant. Camino de las Fuentes Brotantes) No. 134, colonia Pueblo Santa Úrsula Xitla, C.P. 14420, alcaldía Tlalpan, CDMX