INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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

CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

INFORME FINAL

Elaborado para:

Instituto Para la Seguridad de las Construcciones (ISC)

Por:

Gabriel Auvinet Guichard
Moisés Juárez Camarena
Edgar Méndez Sánchez
Sergio Antonio Martínez Galván
Jesús Sánchez Guzmán
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz
Alma Rosa Pineda Contreras
Haydee del Socorro Román Rosario
Laboratorio de Geoinformática, Coordinación de Geotecnia, II-UNAM

545 páginas

Ciudad de México, 6 de diciembre de 2019

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN 1
Antecedentes 1
Objetivos 1
Alcances 3
1. ESTUDIO DE DETALLE DEL SUBSUELO DE LAS ZONAS AFECTADAS 5
1.1 Geología local 5
1.2 Definición de trabajos de exploración geotécnica profunda 9
1.3 Ampliación de alcances 12
1.4 Resultados de la campaña de exploración geotécnica profunda 13
1.4.1 Colonia Del Mar 13
1.4.2 Deportivo Cananea 18
1.4.3 Colonia La Planta 24
1.4.4 Colonia El Molino Tezonco 29
1.5 Ensaye de Sonda Suspendida en la colonia del Mar, Tláhuac, CDMX. 34
1.6 Estudio geosísmico 36
1.6.1 Alcance y resultados del estudio geosísmico 36
1.6.2 Validación del estudio geosísmico 43
1.7 Interpretación geoestadística de las exploraciones geotécnicas. 45
1.7.1 Definición del dominio del campo aleatorio 46
1.7.2 Análisis estadístico 47
1.7.3 Análisis de tendencia 48
1.7.4 Análisis de correlación espacial 49
1.7.5 Estimación 50
1.7.6 Mapeo 50
1.7.7 Interpretación 55
1.7.8 Conclusiones 57
2. EVALUACIÓN DETALLADA DEL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA REGIONAL EN LAS ZONAS AFECTADAS 59
2.1 Objetivo e información disponible 59
2.2 Datos de Bancos de Nivel Superficiales 60
2.3 Análisis de la distribución espacial de la velocidad de hundimiento 63
2.3.1 Análisis estadístico 63
2.3.2 Análisis de correlación espacial 63
2.3.3 Estimación 65

2.2.4 Visualización 66
2.2.5 Interpretación de resultados 66
3. DESARROLLO DE UN MODELO MECÁNICO DEL FENÓMENO DE FRACTURAMIENTO DEL SUELO 67
3.1 Evaluación de la generación de grietas por el método del elemento finito 67
3.1.1 Colonia Del Mar 69
3.1.2 Deportivo Cananea 69
3.1.3 Colonia La Planta 69
3.1.4 Colonia El Molino Tezonco 74
3.1.5 Evaluación de una medida de mitigación de los daños ocasionados por grietas en la superficie del terreno 78
3.2 Evaluación de la generación de grietas por la mecánica de la fractura 81
3.2.1 Introducción 81
3.2.2 Métodos de modelación numérica de propagación de grietas 82
3.2.3 Mecanismos de iniciación y propagación de grietas 85
3.2.4. Modelación del crecimiento del escalón 89
3.2.5. Conclusiones 97
4. INSTRUMENTACIÓN 99
4.1 Estaciones de monitoreo continuo GNSS 99
4.2 Medición de la altura del escalón de las grietas 103
4.3 Dispositivo teledirigido (dron) del Laboratorio de Geoinfomática del II-UNAM 107
5. EVALUACIÓN DE DAÑOS (ACOMPAÑAMIENTO A LAS AUTORIDADES) 109
5.1 Actualización del formulario de dictamen geo-estructural 109
5.2 Cursos de capacitación y difusión 112
5.3 Revisión de dictámenes Geoestructurales 114
5.4 Reuniones de trabajo del Comité de Grietas 121
5.5 Reuniones de trabajo con Alcaldías y otra dependencias gubernamentales. 122
5.6 Recorridos de campo para la identificación de nuevas grietas 123
5.6.1 Detección de grietas 123
5.6.2 Trabajos de exploración geotécnica profunda 126
5.6.3 Avance en la reconstrucción de nuevas viviendas 129
5.6.4 Inspección de predios para posible reubicación 132
6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DAÑOS 135
6.1 Pavimentos 135
6.2 Cimentaciones 139
a) Efecto de la caja disipadora en el comportamiento de viviendas 142
b) Comportamiento de una vivienda tipo 144

6.2.3 Conclusiones y recomendaciones 147
6.3 Instalaciones hidráulicas..... 148
6.3.1 Protección de tuberías contra los efectos del agrietamiento. 148
6.3.2 Evaluación de la protección de tuberías contra los efectos del agrietamiento mediante modelos numéricos. 148
6.5 Conclusiones sobre las medidas de mitigación 151
7. ELABORACIÓN DE UNA MONOGRAFÍA SOBRE EL TEMA DEL AGRIETAMIENTO 153
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA..... 155

ANEXOS

A. GEOLOGÍA

B. ENSAYE DE SONDA SUSPENDIDA EN LA COLONIA DEL MAR, TLÁHUAC, CDMX

C. ESTUDIO GEOSÍSMICO

D. NOTAS TÉCNICAS

E. MINUTAS DE REUNIONES DEL COMITÉ DE GRIETAS

F. MONOGRAFÍA SOBRE AGRIETAMIENTO

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El problema del agrietamiento del suelo constituye un importante factor de riesgo que debe ser evaluado para definir las medidas protectoras y de coexistencia requeridas, a fin de que se tome en cuenta la presencia real o potencial de grietas en el diseño de construcciones e instalaciones y para evitar o por lo menos disminuir el daño que puedan ocasionar a las edificaciones en general.

El fenómeno del agrietamiento del suelo se puede manifestar a consecuencia de cualquier condición que genera esfuerzos de tensión importantes en el suelo (Auvinet, 2010; Auvinet *et al*., 2013; Auvinet *et al*., 2015). Sin embargo, las grietas más importantes y destructivas son una consecuencia directa del hundimiento regional que se presenta en el valle de México por efecto del bombeo de agua en estratos profundos. Este tipo de grietas ha sido ampliamente estudiado en los últimos decenios. Se ha observado por otra parte que los sismos pueden alterar la geometría de las grietas existentes y generar algunas discontinuidades adicionales.

Las autoridades del Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC) en la Ciudad de México preocupadas por la gravedad que han alcanzado los riesgos asociados al agrietamiento del suelo, han solicitado al Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) la caracterización de estos peligros y la definición urgente de medidas preventivas y correctivas que permitan mitigar sus consecuencias indeseables en las edificaciones en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

En 2018, el II-UNAM realizó para el ISC un estudio titulado "*Vulnerabilidad de edificaciones con base en la caracterización geotécnica del agrietamiento del suelo en las delegaciones Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y su impacto en las edificaciones de dichas dema*rcaciones". Este estudio permitió reunir información muy completa sobre el fenómeno, establecer un diagnóstico general en el marco del concepto de análisis de riesgo, y proponer soluciones conceptuales al problema del agrietamiento para vialidades, servicios públicos y edificaciones.

Los trabajos de investigación sobre el agrietamiento del suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta presentados en el presente informe, se centran en aspectos específicos de detalle orientados a contribuir a la solución de esta problemática.

El presente informe final contiene los objetivos, metas y alcances del convenio de colaboración, y describe los trabajos realizados y métodos de análisis utilizados, enfatizando en la utilidad de cada aspecto estudiado, así como conclusiones y recomendaciones.

Objetivos

ESTUDIO DE DETALLE DEL SUBSUELO DE LAS ZONAS AFECTADAS

El grupo del Laboratorio de Geoinformática de la Sección de Geotecnia del II-UNAM cuenta con una base de datos geotécnicos que pueden combinarse con los resultados de sondeos realizados recientemente para definir en forma detallada la estratigrafía del subsuelo de las zonas afectadas. Para ello, se puede recurrir a la geoestadística. Se fijó como objetivo elaborar sondeos y cortes estratigráficos sintéticos y modelos tridimensionales que permitan entender a detalle la estructura del subsuelo en las zonas afectadas, hasta profundidades de 30 a 50 m.

Por otra parte, se planteó entre los objetivos interpretar los resultados del programa de exploraciones zonales que fue propuesto por el II-UNAM en su Nota Técnica NT-G01. Estos sondeos alcanzaron los depósitos profundos, lo que permite llevar el modelo estratigráfico de algunas de las zonas más afectadas hasta una profundidad del orden de 100 m.

Se busca así disponer de un modelo geotécnico muy completo de las zonas de interés.

EVALUACIÓN DETALLADA DEL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA EN LAS ZONAS AFECTADAS

Se planteó complementará la información histórica disponible sobre las tendencias del hundimiento regional en las zonas afectadas con evaluaciones actualizadas de los movimientos recientes en la zona de interés a partir de mediciones directas e indirectas disponibles.

DESARROLLO DE UN MODELO MECÁNICO DEL FENÓMENO DE AGRIETAMIENTO.

Combinando el modelo geotécnico y la información actualizada relativa al hundimiento regional, se emprendió la elaboración de un modelo mecánico general del fenómeno de agrietamiento en las zonas afectadas que permitirá estimar su evolución en el futuro.

INSTRUMENTACIÓN

Se ha considerado conveniente seguir con la planeación de la instalación de instrumentos para seguir la evolución de la configuración y geometría de las grietas y calibrar el modelo mecánico desarrollado. En particular, se fijó como objetivo adquirir estaciones geodésicas de tipo GNSS que permiten medir movimientos verticales y horizontales de la superficie del suelo en condiciones estáticas y sísmicas en tiempo real.

EVALUACIÓN DE DAÑOS

Se planeó acompañar a las autoridades en su atención al problema del agrietamiento. Para ello, el II-UNAM aceptó coordinar los trabajos del “Comité de grietas para la Ciudad de México”.

Como colaboración directa en la campaña de evaluación de daños en predios y edificaciones de las zonas afectadas, se aceptó dar cursos de capacitación sobre grietas a los técnicos involucrados para definir el alcance y la secuencia a seguir para los recorridos realizados por los Directores responsables de obra y especialistas de Geotecnia, con apoyo en las bases de datos que el II-UNAM ha desarrollado. Se programó realizar algunos estudios estadísticos sobre los resultados de las evaluaciones realizadas

MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DAÑOS

Se fijó como objetivo desarrollar y probar “in situ” las técnicas de prevención y mitigación de daños a vialidades, servicios públicos y edificaciones que el II-UNAM (Auvinet *et al*., 2019) ha propuesto y que ya han sido implementadas localmente en algunas alcaldías. Para ello, se consideró que sería conveniente colaborar directamente con técnicos del Gobierno de la Ciudad y de las Alcaldías.

Para el desarrollo de modelos numéricos que permitan dar sustento a estas técnicas, y a sugerencia de la jefa de Gobierno, se consideró conveniente solicitar un apoyo adicional a La SECTEI de la Ciudad de México que ha sido motivo de un convenio paralelo al presente que ha sido aprobado

recientemente. El presente informe retoma algunos aspectos de estas investigaciones con énfasis en sus implicaciones prácticas.

ELABORACIÓN DE UNA MONOGRAFÍA SOBRE AGRIETAMIENTO

Se planteó actualizar un estado del arte establecido previamente establecido (Auvinet, 200) sobre el fenómeno de agrietamiento en suelos: En esta monografía se han incorporado conceptos y experiencias recientes incluyendo contribuciones de los diferentes miembros del comité de grietas.

Alcances

Los alcances del estudio son los siguientes:

1. Estudio de detalle del subsuelo de las zonas afectadas

Se recopilaron sondeos realizados en las alcaldías de interés y se complementó la base de datos y el Sistema de Información Geográfica con el que cuenta el II-UNAM. Usando las técnicas de la *geoestadística* como el *kriging*, se generaron sondeos, cortes estratigráficos y modelos tridimensionales sintéticos de las variaciones de propiedades como el contenido de agua y la resistencia al corte. En estas estimaciones, se incorporaron los resultados del estudio a mayor escala propuesto por el II-UNAM y que concluyó recientemente. En la construcción de estos modelos, se tomó muy en cuenta la información (sondeos geotécnicos, levantamientos de geofísica, otros) originada por otros grupos que hayan trabajado en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

2. Evaluación detallada del fenómeno de subsidencia regional en las zonas afectadas.

Para esta evaluación, se usaron esencialmente resultados de mediciones directas realizadas por SACMEX.

3. Desarrollo de un modelo mecánico del fenómeno de fracturamiento del suelo.

Se desarrollaron modelos numéricos basados en la mecánica de los medios continuos y la mecánica de fracturas. Con estos modelos se puede simular la generación y propagación de grietas. Se ha recurrido a software especializado.

4. Instrumentación.

Se está organizando la instrumentará mediante estaciones de monitoreo continuo de tipo GNSS en sitios donde aparecen las grietas más importantes y destructivas, con su secuela de daños a las construcciones y servicios públicos.

5. Evaluación de daños (Acompañamiento a las autoridades)

Se realizaron múltiples actividades enfocadas a acompañar a las autoridades en su labor de evaluación de daños, incluyendo definición de una cédula de evaluación, cursos de capacitación de binomios formados por Directores responsables de obra y Geotecnistas, revisión de dictámenes, coordinación del Comité de grietas de la Ciudad de México, etc.

6. Medidas de prevención y mitigación de daños.

Se siguió desarrollando y probando las técnicas de mitigación propuesta por el II-UNAM y en particular las soluciones a base de “cajas disipadoras de deformaciones unitarias” y construcciones, buscando mantener el servicio de forma aceptable y prolongar la vida útil de las construcciones.

Se retomaron los avances de los resultados del proyecto de modelado numérico (II-UNAM-SECTEI) de las medidas de mitigación para emitir recomendaciones en la aplicación práctica en vialidades, viviendas e instalaciones hidráulicas.

7. Elaboración de una monografía sobre el tema del agrietamiento.

Se presenta una monografía sobre el tema del agrietamiento, cuya función es similar a la de un manual, que permita una mejor atención a este tipo de problemas en el futuro.

1. ESTUDIO DE DETALLE DEL SUBSUELO DE LAS ZONAS AFECTADAS

1.1 Geología local

La geología de las zonas estudiadas (Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta) se inscribe dentro de la geología de la Cuenca de México.

La geología de la Cuenca de México ha sido estudiada con detalle por Mooser (2018, 2019). Se sabe que el valle de México que drenaba hacia Cuernavaca se volvió una cuenca cerrada al formarse la Sierra de Chichinautzin. Esta nueva situación dio origen a los lagos que rápidamente fueron azolvados por las cenizas de los volcanes vecinos. Estos sedimentos lacustres son los que constituyen el subsuelo actual de gran parte de la ciudad de México.

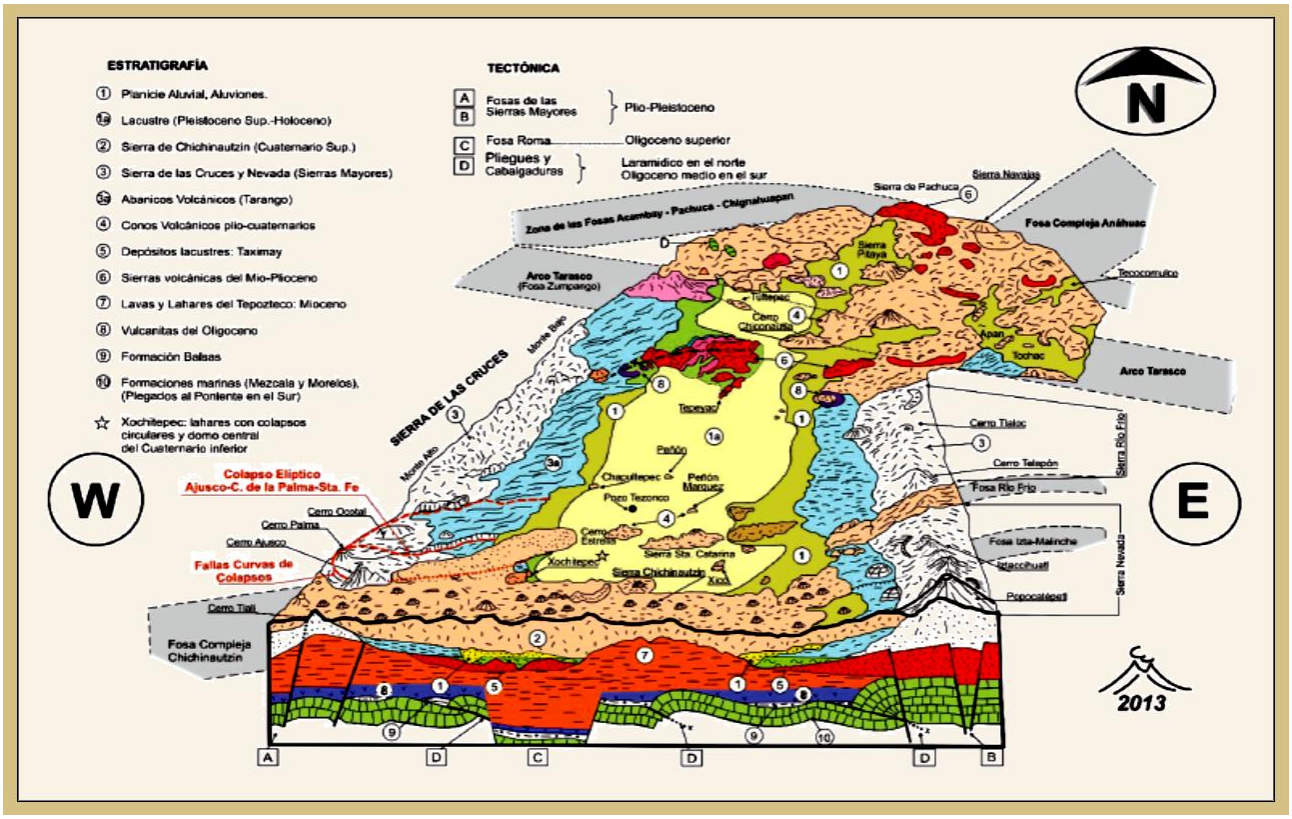


Fig. 1.1.1 Representación esquemática de la geología de la Cuenca de México según Mooser (2018).

La figura 1.1.2 muestra la geología correspondiente a las tres alcaldías principales (Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco) estudiadas según Mooser (2018). La zona de interés dentro de la alcaldía Milapa Alta corresponde a la pequeña zona lacustre de la alcaldía que se encuentra al pie del Volcan Teuhtli.

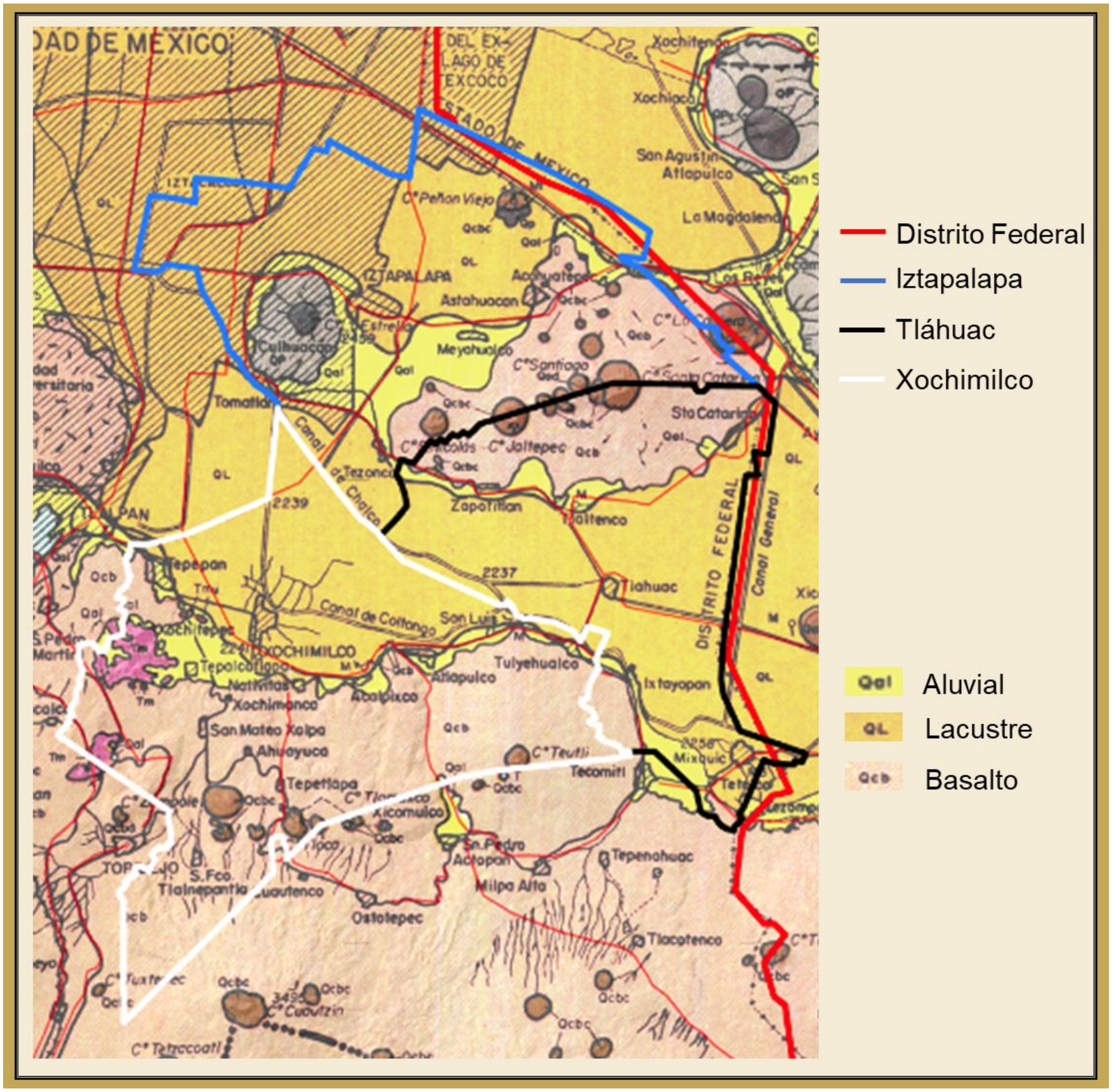


Fig. 1.1.2 Geología de la zona estudiada según Mooser (2018).

La figura 1.1.3 presenta un modelo digital del terreno donde se aprecian los principales rasgos físicos de la zona estudiada: Sierra de Santa Catarina, Cerro del Marqués, Cerro de la Estrella y, al sur, las estribaciones de la Sierra de Chichinautzin.

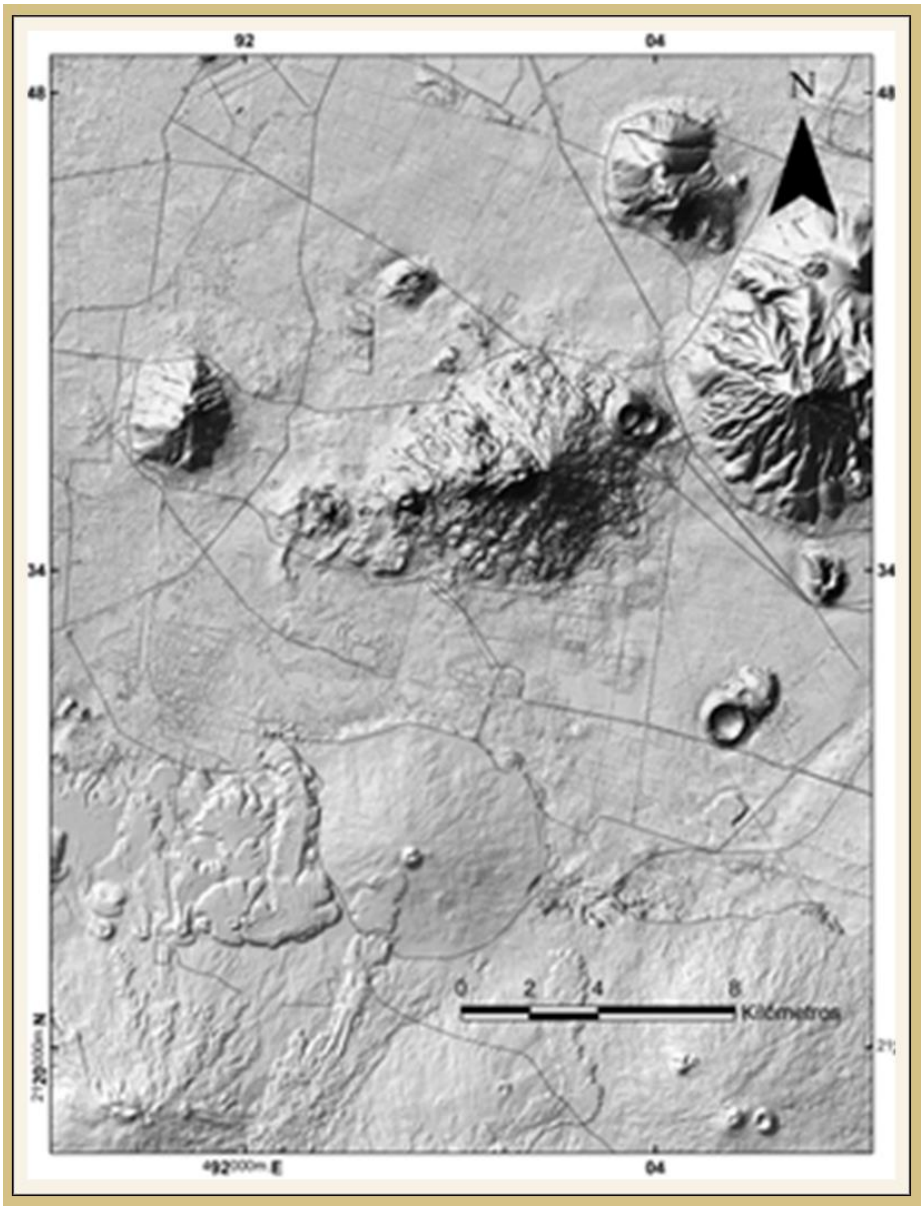


Fig. 1.1.3 Modelo digital del terreno.

a) La Sierra de Santa Catarina

La Sierra de Santa Catarina (antes Sierra del *Ahuixolotl*, Fig. 1.1.4) tiene una extensión de 12km y un ancho de hasta 6km; es el elemento físico dominante del área de estudio. Se trata de una sierra volcánica del cuaternario superior con orientación general oeste-este. Consta de una serie de volcanes monogenéticos cuyos nombres en idioma náhuatl son, de oeste a este: el *Yahualizqui* (el redondo, 2400msnm), el *Xaltepec* (cerro de arena, 2500msnm), el *Tetecón* (el pedregoso, 2460msnm), el *Mazatepec* (cerro del venado, 2550msnm), el *Tecuauhtzin* (la venerable águila de piedra, 2640msnm), el *Tetlamantli* (la cosa de piedra, cerro de Santa Catarina, 2700msnm) y el *Cuechcomitl* (recipiente con forma de falda, la Caldera, 2500msnm).

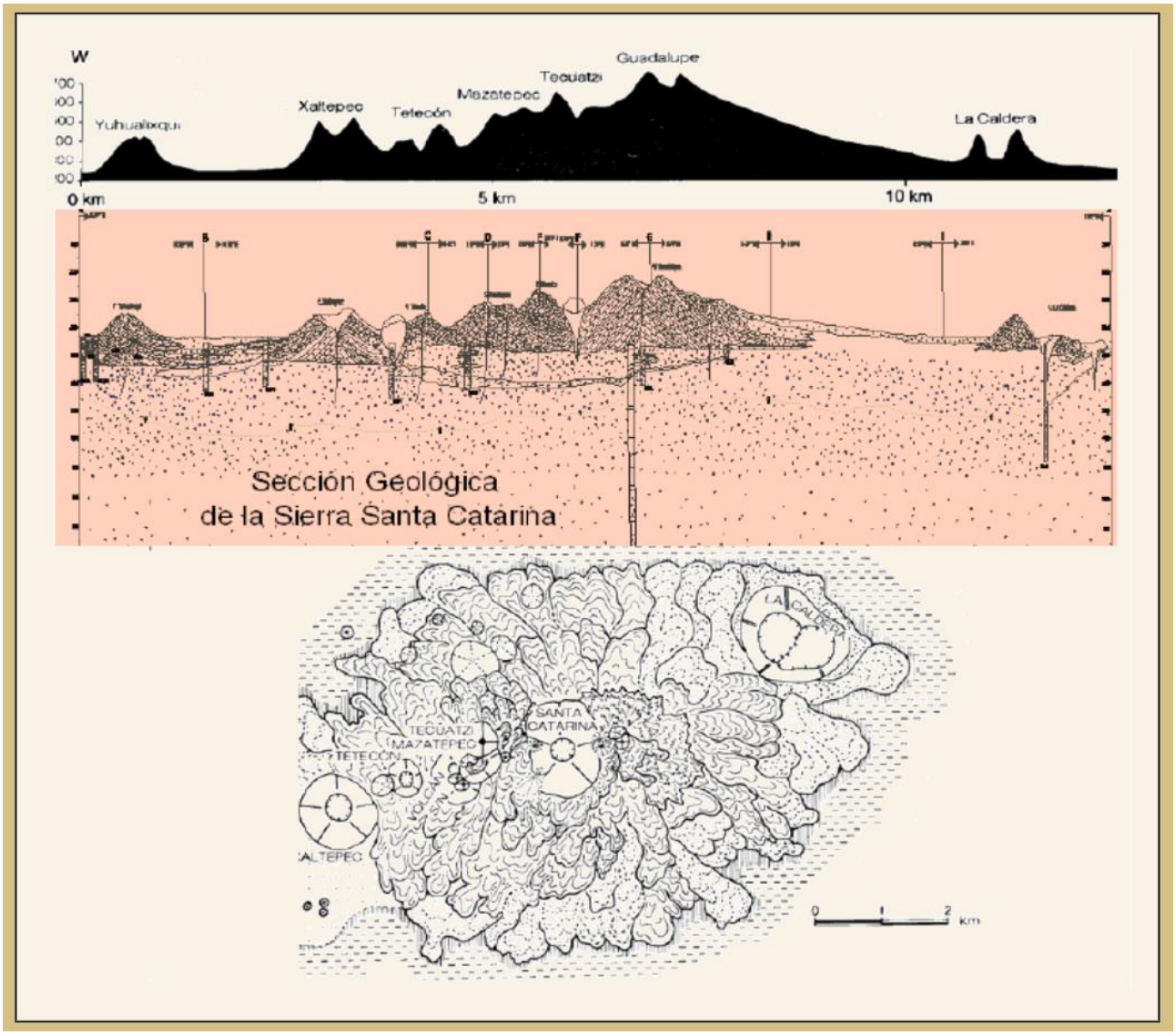


Fig. 1.1.4 Sierra de Santa Catarina

Esta sierra fue estudiada desde 1910 por Paul Waitz (1910). Este investigador recorrió estos volcanes estratificados y señaló en particular la existencia de "*corrientes basálticas muy fluidas de forma caprichosa que nacieron de los flancos del Mazatepec, probablemente antes de las corrientes andesíticas y que se extendieron hasta las orillas de los lagos de Xochimilco y de Chalco*". En la misma forma Lugo-Hubp (1994) observa que esta sierra está formada por conos de escorias compuestos por flujos de lavas y depósitos de piroclásticos.

Los productos volcánicos al pie de la Sierra de Santa Catarina que invadieron la orilla del área lacustre incluyen tefra (productos volcánicos piroclásticos que se expulsan por la chimenea; p.ej., ceniza, lapilli, escoria, pómez, bombas, etc.) y basaltos y constituyen la periferia de la sierra llegando a descansar sobre los materiales lacustres arcillosos en proceso de consolidación. La incompatibilidad de deformación de estos materiales rígidos volcánicos y de las arcillas en proceso de consolidación es la principal causa del agrietamiento en la zona.

b) Cerro del Marqués.

La situación anterior prevalece también alrededor del Cerro del Marqués constituido por el Cerro del Marqués propiamente dicho y por el Peñón Viejo (en vía de desaparición por uso como banco de material) alrededor del cual se observan grietas concéntricas.

c) Cerro de la Estrella

El Huizachtepetl (cerro de los huizaches, ahora Cerro de la Estrella) ubicado al oeste de la sierra de Santa Catarina es anterior a esta última (cuaternario inferior). Es anterior también a la formación de los lagos por lo que su perímetro no es tan susceptible al agrietamiento por efecto de la consolidación de los sedimentos lacustres.

d) Estribaciones de la Sierra de Chichinautzin

El surgimiento de la Sierra de Chichinautzin obturó el valle de México y dio origen a los lagos. Esta sierra se considera de una edad similar a la de Santa Catarina

Las estribaciones de la Sierra de Chichinautzin están dominadas en la zona de interés por el volcán Teuhtli (de *Tecuhtl*i, gran señor). Los productos de las manifestaciones eruptivas llegaron a cubrir parte de la zona lacustre por los que la zona es de transición abrupta y presenta un agrietamiento similar al de la periferia de la Sierra de Santa Catarina.

Durante el año 2019, se revisó la geología de la zona de estudio con nuevos recorridos de campo realizados por un geólogo. Este especialista pudo apoyarse en la observación de las muestras de materiales del subsuelo extraídos durante la campaña de exploración geotécnica profunda en los diferentes sitios de interés y con los resultados de los ensayes de laboratorio de mecánica de suelos realizados en muestras alteradas e inalteradas para determinar la magnitud de las propiedades índice y mecánicas de los diferentes estratos de suelo. Los resultados del trabajo geológico complementario así realizado se presentan en el Anexo A.

1.2 Definición de trabajos de exploración geotécnica profunda

Las características geotécnicas de la zona de interés se conocen con cierto detalle por los numerosos sondeos geotécnicos realizados para diferentes obras en la zona entre las cuales destacan las líneas 12 y “A” del Sistema de Transporte Colectivo “Metro”. Esta información ha sido plasmada en diferentes trabajos de tesis (Flores Tapia, 2000; Aguilar Ortega, 2001; Morales de la Cruz, 2001; Barranco Eyssautier, 2016) y resumida en Auvinet *et al.* (2017).

La figura 1.2.1 presenta la zonificación geotécnica para el área de estudio, basada en la información anterior e incluida en las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Cimentaciones en la CDMX publicadas en Diciembre de 2017. Se pueden identificar las áreas que corresponden respectivamente a las Zonas I (Lomas), II (Transición) y III (Lacustre).

Fig. 1.2.1 Zonificación geotécnica de la zona de interés (NTCDCC, 2017)

Con la finalidad de avanzar más en el entendimiento del fenómeno de agrietamiento a gran escala, así como para obtener datos útiles para modelaciones numérica enfocada a evaluar su evolución a mediano y largo plazo, se realizó una campaña de exploración e instrumentación geotécnica profunda de detalle en cuatro sitios donde se detectó la presencia de grietas consideradas como representativas en la zona de estudio.

Para este propósito el II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-01 (Anexo C), donde se definieron las características de los sondeos a realizar en los sitios colonia Del Mar, Deportivo Cananea, colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco. En esta misma Nota Técnica, se propuso realizar sondeos mixtos (SM) con recuperación de muestras alteradas e inalteradas para definir la estratigrafía local y sondeos de piezocono (CPTu) con pruebas de disipación de presión de poro para determinar el perfil piezométrico. Se sugirió que los sondeos exploratorios alcanzaran los materiales conocidos como Depósitos Profundos. Asimismo, se indicaron las pruebas de laboratorio a realizar para clasificar los materiales de los estratos del subsuelo y determinar los correspondientes parámetros de resistencia y de compresibilidad.

En el sitio de la colonia Del Mar se instaló un banco de nivel profundo (BNP) desplantado en los Depósitos Profundos, adicionalmente en el mismo sitio, el II-UNAM realizó una prueba de sonda suspendida (SVs).

La exploración e instrumentación geotécnica fue realizada por cuatro empresas diferentes, los trabajos fueron asignados por la Comisión para la Reconstrucción, como se indica en la Tabla 1.2.1.

Tabla 1.2.1 Distribución de sondeos por empresa.

Empresa.	Sitio	Sondeo / instrumento
1	Colonia Del Mar	SM-1, SM-2, SM-3, CPTu-1, CPTu-2, CPTu-3, SVs-1, BNP-1
2	Deportivo Cananea	SM-4, SM-5, SM-6, CPTu-4, CPTu-5, CPTu-6
3	Colonia La Planta	SM-7, SM-8, CPTu-7, CPTu-8
4	Colonia El Molino Tezonco	SM-9, SM-10, CPTu-9, CPTu-10

Las coordenadas de ubicación de los sondeos e instrumentación geotécnica se indican en la Tabla 1.2.2 y en la Figura 1.2.2 se muestra la ubicación en planta de los sondeos y la instrumentación respecto a la ubicación de las grietas. La descripción detallada de los trabajos de exploración propuesta por el II-UNAM se encuentra en la NT G-01 (Anexo D).

Tabla 1.2.2 Coordenadas de ubicación de los sondeos e instrumentación geotécnica.

Sitio	Sondeo	Calle	Entre calles	Coordenadas UTM, WGS 84, 14 N		
				Este-X (m)	Norte-Y (m)	Elevación del brocal (m.s.n.m)
Colonia Del Mar	SM-01	Salmón	Tintorera y Barracuda	493088.912	2132591.72	2232.054
	SM-02	Hipocampo	Salmón y Pingüino	493247.17	2132688.18	2234.513
	SM-03	Pingüino	Aleta y Sirena	493358.665	2132793.26	2236.404
	BNP-1	Canal de Chalco	Canal de Chalco esquina Piraña	492871.488	2132365.99	2231.462
	SVs-01	Hipocampo	Salmón y Pingüino	493244.736	2132689.89	2234.434
Deportivo Cananea	SM-04	Al interior del deportivo Cananea	Pintapán y Derechos Democráticos	493314.48	2133109.57	2236.63
	SM-05			493326.65	2133114.71	2236.13
	SM-06			493348.55	2133121.25	2237.02
	CPTu-04			493313.43	2133110.00	----
	CPTu-05			493329.00	2133115.00	----
	CPTu-06			493345.00	2133118.00	----
Colonia La Planta	SM-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493199.56	2133255.26	2237.73
	SM-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493220.74	2133280.77	2238.86
	CPTu-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493198.13	2133253.50	2237.71
	CPTu-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493222.22	2133282.54	2238.90
	PO-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493199.16	2133254.69	2237.72
	PO-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493221.81	2133282.11	2238.86
Colonia Molino Tezonco	SM-09	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492937.94	2133461.38	2236.53
	SM-10	Alcanfor	Jacarandas y Benito Juárez	492991.99	2133473.67	2237.31
	SM-11*	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492878.92	2133451.17	2235.90
	CPTu-09	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492950.48	2133463.81	2236.62
	CPTu-10	Alcanfor	Jacarandas y Benito Juárez	492996.38	2133474.58	2237.36

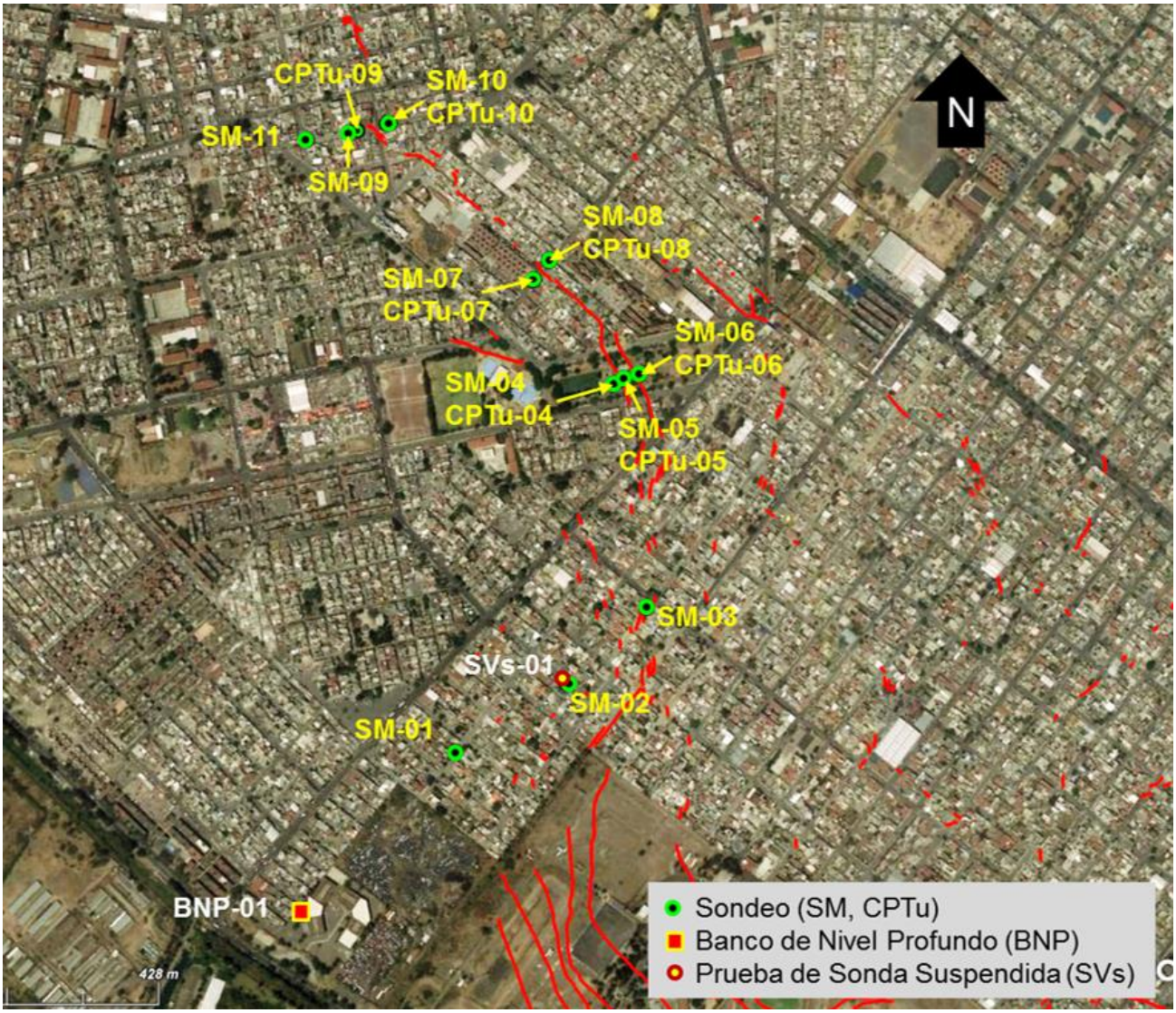


Figura 1.2.2 Ubicación de sondeos geotécnicos sobre fotografía aérea (Google Earth, 2018).

1.3 Ampliación de alcances

En la Nota Técnica G-01, el II-UNAM propuso un programa de exploración e instrumentación geotécnica en el que se sugería que la profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu alcanzara los Depósitos Profundos (DP). Con base en información existente, se consideró una profundidad de exploración máxima de 75 m.

Durante los trabajos de exploración y de acuerdo con los registros de campo en cada uno de los sondeos, los DP se encontraron a profundidad variable de 38.7m a 100.0m, lo que originó que las empresas ampliaran sus alcances (profundidad de exploración) a fin de alcanzar los DP, conjuntamente se incrementó el número de pruebas de laboratorio.

Algunas empresas encargadas de la exploración geotécnica, instalaron tubos de observación en el sitio de exploración correspondiente con la finalidad de monitorear las variaciones locales del Nivel de Agua Freática (NAF).

Por otra parte, se instalaron Bancos de Nivel Superficiales (BNS) en las esquinas de calles donde existen grietas representativas. De acuerdo con la NT C.01 la ubicación de los BNS debe permitir evaluar los movimientos verticales de la superficie del terreno de forma detallada, sin embargo, en la práctica esta condición no se cumplió.

Asimismo, se realizaron algunas pruebas de medición del periodo natural de vibración del subsuelo en los sitios donde se realizó la exploración geotécnica.

A la luz de estas pruebas, se concluyó que era deseable aumentar el número de sondeos directos para cumplir con el objetivo planteado en la NT G-01.

Por lo anterior el II-UNAM elaboró la nota técnica NT G-18 (Anexo D) "*Ampliación de alcances de la exploración geotécnica*", donde se indica la necesidad de que todos los sondeos alcancen los DP. Se recomendó además que se realizaran tres sondeos profundos adicionales con la finalidad de cumplir con los objetivos definidos en la NT G-01. Estos tres sondeos adicionales se iniciarán próximamente.

1.4 Resultados de la campaña de exploración geotécnica profunda

Una vez concluidos los trabajos de campo y laboratorio, las empresas ejecutoras entregaron un informe final a la Comisión para la Reconstrucción, quien a su vez solicitó al II-UNAM la revisión de dichos informes. Como respuesta a la petición, el II-UNAM elaboró las notas técnicas NT G-11, NT G-12, NT G-13 y NT G-14, donde se describen los comentarios derivados de dicha revisión.

A partir de los resultados de la campaña de exploración geotécnica profunda, el II-UNAM realizó la interpretación que a continuación se presenta.

1.4.1 Colonia Del Mar

En la colonia Del Mar, la empresa ejecutora realizó tres sondeos Mixtos (SM-01, SM-02 y SM-03), combinando las técnicas de Penetración de cono (CPT) y Penetración estándar (SPT); las profundidades máximas de exploración de cada sondeo son de 75.0, 76.3 y 51.3 m, respectivamente (TGC-Geotecnia, 2019). La misma empresa ejecutora instaló un banco de nivel profundo (BNP-1) a 100 m de profundidad, ubicado al interior de las instalaciones del Instituto de Educación Media Superior (IEMS Tláhuac) "José María Morelos y Pavón". Además, realizó una perforación para permitir que le Instituto de Ingeniería realizara un ensaye de sonda suspendida (SVs-1), a un costado del sondeo SM-02.

Para instalar el BNP-1, la empresa ejecutora realizó la perforación mediante avance controlado (SAC-1), midiendo los tiempos necesarios para penetrar el suelo cada 10 cm. La ubicación de sondeos e instrumentación se muestra en la Figura 1.4.1.

Los resultados de la exploración geotécnica indican que existe un desnivel de los depósitos profundos correspondiente a un diferencial de 25 m de espesor de arcilla entre el banco de nivel profundo y el sondeo SM-01. El espesor de arcilla es mayor hacia el suroeste. Asimismo, el espesor de arcilla entre los sondeos SM-01 y SM-02 es aproximadamente constante, mientras que entre los sondeos SM-02 y SM-03 el espesor de arcilla presenta un diferencial de 32 m. En la Figura 1.4.2 se presenta el perfil estratigráfico longitudinal en el sitio de la colonia Del Mar.

Figura 1.4.1 Ubicación de sondeos e instrumentación geotécnica, sitio colonia Del Mar.

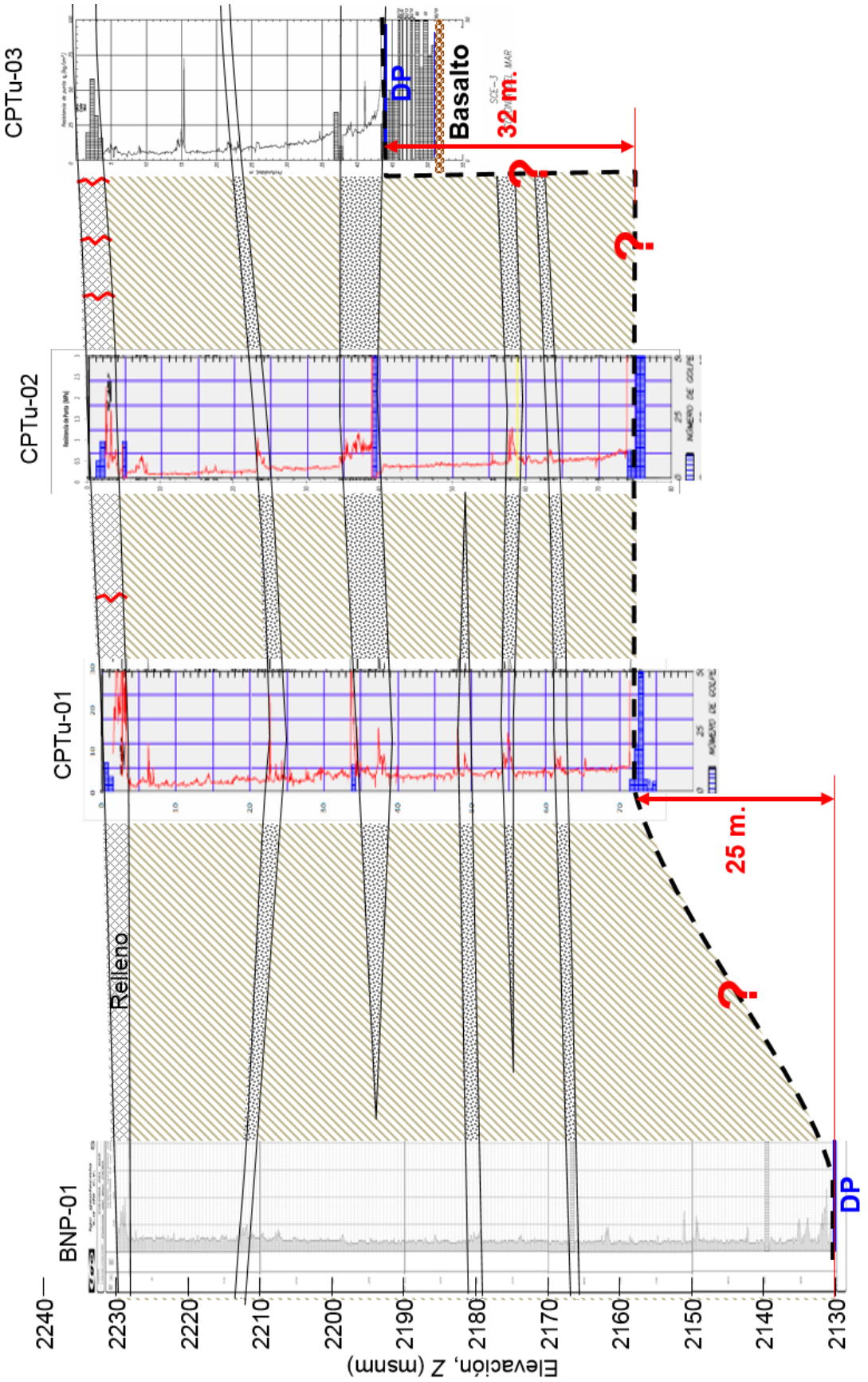


Figura 1.4.2 Perfil estratigráfico, sitio Colonia Del Mar.

Para definir las condiciones hidráulicas prevalecientes en el sitio, en los tramos donde se empleó la técnica CPTu, se realizaron algunas pruebas de disipación de la presión de poro en estratos permeables y arcillosos a diferentes profundidades. Los resultados de estas pruebas indican que en el sitio del sondeo SM-01 la presión de poro permanece en condición hidrostática hasta los 52 m de profundidad, es decir solamente se detectó abatimiento de presión de poro por debajo de esta profundidad. En el sondeo SM-03, la condición de presión hidrostática se detectó hasta los 20 m de profundidad, siendo la presión de poro prácticamente nula a los 40 m de profundidad. En la Figura 1.4.3 se muestran los resultados de las pruebas de disipación de presión de poro sobrepuestos a los perfiles de resistencia de punta de cono eléctrico (q_c) de los sondeos SM-01 a SM-03.

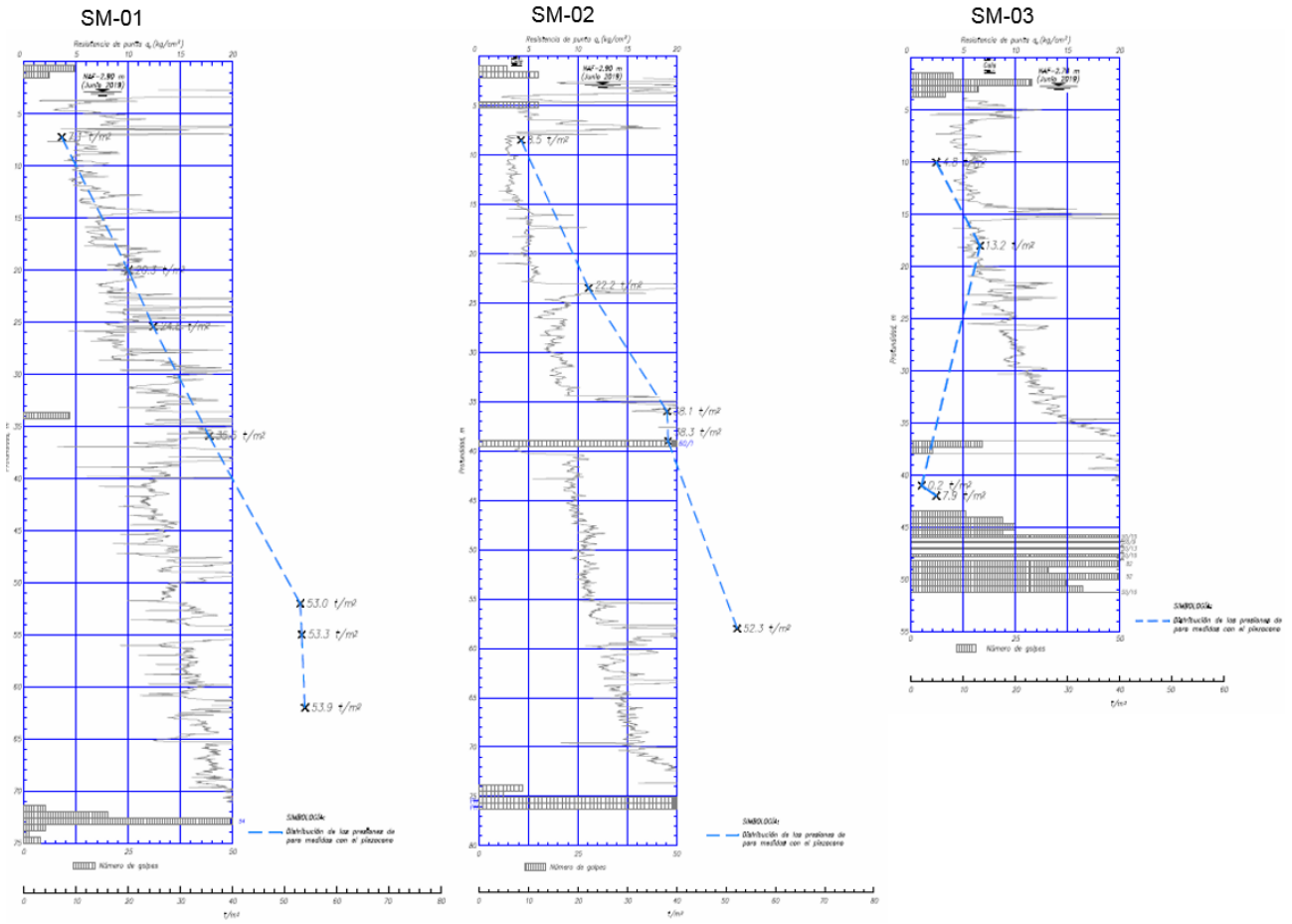


Figura 1.4.3 Condiciones piezométricas, sitio colonia Del Mar (TGC, 2019).

La empresa ejecutora realizó tres sondeos de muestreo selectivo, de los que se obtuvieron muestras inalteradas a diferentes profundidades y realizó pruebas de laboratorio de mecánica de suelos con las muestras alteradas e inalteradas obtenidas mediante la prueba SPT y muestreo selectivo, respectivamente. En la Tabla 1.4.1 se muestra un resumen de los ensayes del laboratorio realizados y las Tablas 1.4.2 y 1.4.3 indican los parámetros de resistencia y compresibilidad obtenidos de las pruebas de laboratorio.

Tabla 1.4.1 Resumen de pruebas de laboratorio, sitio colonia Del Mar.

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-01	SM-02	SM-03	No. total de ensayes realizados
Clasificación e identificación de los suelos	16	14	21	51
Determinación del contenido de agua	57	50	74	181
Límites de consistencia	2	1	2	5
Peso volumétrico natural	6	5	6	17
Pruebas de consolidación unidimensional	6	5	6	17
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	6	5	6	17

Tabla 1.4.2. Resultados de ensayes triaxiales, sitio colonia Del Mar.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w %	S_s	e_0	G_w %	γ t/m^3	E_{50} kg/cm^2	c kg/cm^2	ϕ
SMS-1	11.3	CH	339	2.46	8.27	100	1.15	44	0.32	-
	20.5	MH	80	2.79	2.47	100	1.45	56	0.67	-
	44.5	MH	114	2.45	2.87	100	1.36	77	0.70	-
	57.5	CH	232	2.31	5.42	100	1.20	128	1.04	-
	58.5	CH	247	2.40	6.20	100	1.16	84	0.88	-
	67.10	MH	204	2.27	4.57	100	1.24	79	0.80	-
SMS-2	2.50	MH	76	2.22	1.89	90	1.35	96	0.16	21°
	30.0	CH	153	2.24	3.34	100	1.29	38	0.44	-
	50.0	CH	281	2.22	6.29	100	1.16	61	0.65	-
	51.4	CH	178	2.23	4.10	100	1.23	64	0.72	-
	67.9	MH	208	2.25	4.66	100	1.22	101	1.10	-
SMS-3	1.30	MH	79	2.43	2.39	81	1.29	335	1.34	23°
	6.80	MH	87	2.54	2.29	100	1.45	64	0	31°
	8.80	MH	333	2.58	8.71	100	1.15	66	0.54	-
	16.70	MH	264	2.54	6.1	100	1.31	33	0.38	-
	25.20	MH	257	2.39	5.52	100	1.31	69	0.60	-
	31.30	CH	251	2.49	6.31	100	1.20	97	0.98	-

Prof., profundidad de la muestra
SM, sondeo mixto
SUCS, clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
w, contenido natural de agua
S_s, densidad de sólidos
e_0, relación de vacíos inicial
G_w, grado de saturación
γ, peso volumétrico
E_{50} módulo elástico
c, resistencia no drenada
ϕ, ángulo de fricción

Tabla 1.4.3 Resultados de pruebas de consolidación, sitio colonia Del Mar.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w_0 %	γ t/m^3	m_r cm^2/kg	m_v cm^2/kg	κ	λ	σ_c kg/cm^2	σ'_0 kg/cm^2	OCR
SM-1	11.3	CH	339	1.26	0.0489	0.1917	0.30	3.24	1.18	0.45	2.62
	20.5	MH	82	1.60	0.0210	0.0372	0.03	0.33	1.55	0.54	2.87
	44.5	MH	151	1.42	0.0237	0.0919	0.07	1.29	1.84	0.80	2.30
	57.5	CH	234	1.30	0.0278	0.0849	0.14	1.93	1.82	0.95	1.92
	58.5	CH	251	1.30	0.0222	0.1140	0.21	2.95	2.50	0.96	2.60
	67.10	MH	195	1.35	0.0386	0.0503	0.09	1.23	1.90	1.07	1.78
SMS-2	2.50	MH	76	1.53	-	-	-	-	0.48	0.28	1.71
	30.0	CH	235	1.29	0.0875	0.1037	0.13	1.39	0.96	0.57	1.68
	50.0	CH	281	1.28	0.0471	0.1102	0.21	2.25	1.48	0.89	1.66
	51.4	CH	239	1.30	0.0576	0.1372	0.20	2.02	1.51	0.91	1.66
	67.9	MH	214	1.31	0.0620	0.0991	0.16	2.10	2.25	1.13	1.99
SMS-3	1.30	MH	108	1.29	0.0038	0.0171	0.04	0.38	1.86	0.29	6.41
	6.80	MH	86	1.57	0.0039	0.0185	0.04	0.22	1.75	0.34	5.14
	8.80	MH	286	1.30	0.0331	0.1591	0.11	2.80	1.50	0.36	4.16
	16.70	MH	125	1.49	0.0063	0.0464	0.05	0.64	1.27	0.44	2.54
	25.30	MH	233	1.29	0.0476	0.0972	0.14	1.68	1.05	0.53	2.89
	31.30	CH	232	1.31	0.0441	0.1109	0.18	2.61	2.22	0.59	3.76

Prof., profundidad de la muestra
SUCS, Clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
w, contenido natural de agua
γ, peso volumétrico
m_r, Módulo de deformación volumétrica en la rama de recompresión
m_v, Módulo de deformación volumétrica en la rama virgen
κ, Índice de carga/descarga
λ, Índice de compresión (consolidación noval)
σ_c, Esfuerzo de preconsolidación
σ'_0, Esfuerzo vertical efectivo
OCR, Coeficiente de preconsolidación

Durante la exploración, la obtención de muestras con la técnica SPT no fue continua, por lo que, el perfil de contenido de agua no es continuo y sistemático a lo largo de la profundidad.

Los comentarios derivados de la revisión del informe entregado por la empresa ejecutora, se presentan en la nota técnica G-11 "*Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Del Mar*" (Anexo D) elaborada por el II-UNAM.

1.4.2 Deportivo Cananea

La empresa ejecutora realizó tres sondeos mixtos con recuperación de muestras alteradas e inalteradas, (sondeos SM-04, SM-05 y SM-06) con profundidad máxima explorada de 74.8, 83.0 y 83.0 m, respectivamente, así como tres sondeos de cono eléctrico con medición de presión de poro CPTu-04, CPTu-05 y CPTu-06 con profundidad máxima explorada de 57.78, 63.0 y 39.28 m, respectivamente. Adicionalmente, la empresa ejecutora instaló dos tubos de observación TO-04 y TO-05 a un costado de los sondeos SM para monitorear el nivel de aguas freáticas (NAF) durante el periodo de ejecución de los trabajos de exploración (INGEUM, 2019).

En la Figura 1.4.4 se indica la ubicación de los sondeos. Como se observa, se realizaron dentro y fuera de la zona de grietas. La separación entre las grietas A y B es de aproximadamente 23 m, la parte central presenta un hundimiento (graben) del orden de 0.70 m. En la Figura 1.4.5 se presenta una vista panorámica del sitio.

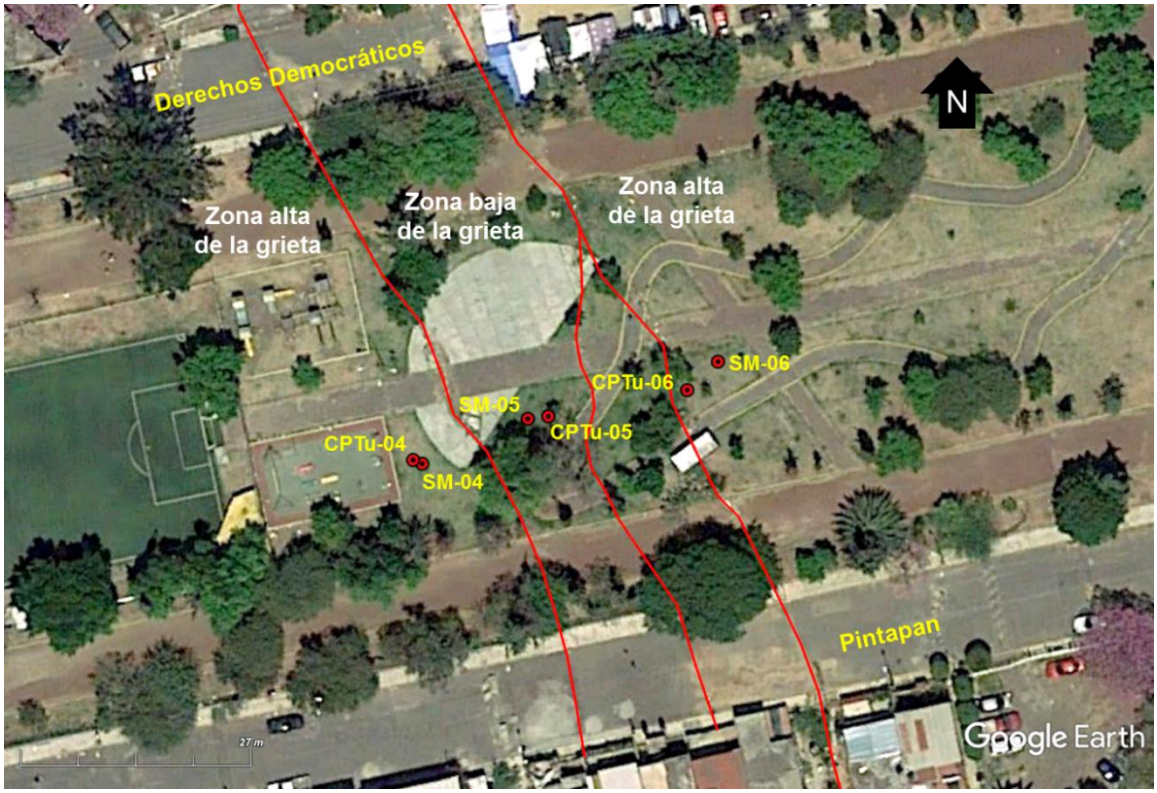


Figura 1.4.4 Ubicación de sondeos, sitio Deportivo Cananea.

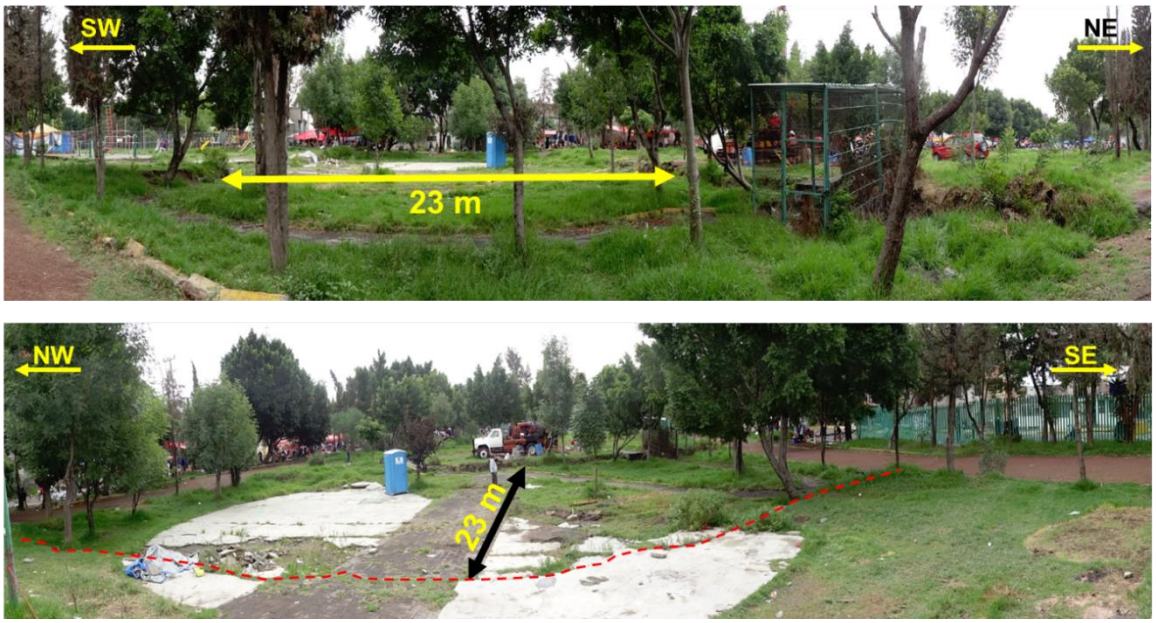


Figura 1.4.5 Vista general de una zona de agrietamiento con graben, sitio Deportivo Cananea.

En la Tabla 1.4.4 se indican las pruebas laboratorio de mecánica de suelos realizadas con muestras alteradas e inalteradas. En las Tablas 1.4.5 y 1.4.6 se indican los parámetros de resistencia y compresibilidad correspondientes a los resultados de los diferentes ensayes realizados

Tabla 1.4.4 Resumen de las pruebas de laboratorio, sitio Deportivo Cananea.

Trabajos de laboratorio	SM-04	SM-05	SM-06	No. total de ensayes realizados
Clasificación e identificación de los suelos	33	36	35	104
Determinación del contenido de agua	177	278	229	684
Límites de consistencia	17	28	20	65
Peso volumétrico natural	3	6	4	13
Contenido de finos por lavado	30	41	35	106
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	3	5	3	11
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	3	6	4	13

Tabla 1.4.5 Resumen de los parámetros de resistencia del suelo, sitio Deportivo Cananea.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w %	S_s	e_0	G_w %	γ t/m^3	E_{50} kg/cm^2	c kg/cm^2	ϕ
SM-04	34.40	CH	226.08	2.69	6.22	97.71	1.21	145.38	1.15	0
	39.90	CH	195.81	2.70	5.39	98.07	1.25	127.38	0.80	5
	50.90	CH	160.88	2.71	4.54	96.03	1.28	229.95	1.52	2
SM-05	7.50	CH	339.90	2.73	9.05	100.00	1.20	106.97	0.70	3
	15.30	CH	236.20	2.70	6.58	96.80	1.20	95.73	0.73	1
	19.00	CH	277.67	2.72	8.04	93.92	1.14	87.27	0.30	8
	25.50	CH	274.25	2.73	8.00	93.56	1.13	91.35	0.77	0
	42.50	CH	156.30	2.72	4.61	92.19	1.24	127.59	0.30	8
	66.60	CH	116.63	2.69	3.43	91.64	1.32	292.07	1.55	7
SM-06	2.90	CH	19.42	2.69	2.08	25.05	1.04	69.64	0.00	29
	5.50	CH	78.92	2.73	2.33	92.11	1.46	217.41	1.14	2
	15.70	CH	104.52	2.70	3.28	86.07	1.29	154.15	0.72	2
	24.90	CH	215.34	2.72	5.46	99.23	1.33	81.35	0.50	9

Tabla 1.4.6 Resumen de los parámetros de compresibilidad del suelo, sitio Deportivo Cananea.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w_0 %	γ t/m^3	e_0	C_c	C_r	σ_c kPa
SM-04	34.40	CH	217	1.21	6.02	4.428	0.315	196.11
	39.90	CH	197	1.22	5.59	4.304	0.191	211.76
	50.90	CH	163	1.28	4.58	2.782	0.122	340.37
SM-05	7.50	CH	306	1.14	8.74	5.678	0.193	156.02
	18.50	CH	351	1.13	9.83	6.509	0.230	114.44
	25.50	CH	328	1.11	9.50	9.268	0.286	201.64
	42.50	CH	157	1.27	4.53	3.141	1.175	249.03
	67.00	CH	147	1.28	4.19	2.273	0.163	420.30
SM-06	5.50	CH	89	1.37	2.75	1.114	0.099	216.43
	15.70	CH	108	1.39	3.06	1.040	0.099	157.00
	24.90	CH	231	1.18	6.64	3.726	0.212	134.89

En la Figura 1.4.6 se presenta una sección geotécnica de los estratos superficiales. Como se observa, primeramente, se encuentran materiales de relleno predominantemente de tipo limo arenoso con espesor de hasta 0.60 m y bajo este relleno se encuentra una capa de arcilla arenosa y arena arcillosa que en conjunto con el relleno forman una capa rígida o costra superficial (CS) que actualmente presenta grietas que forman dos escalones encontrados de aproximadamente 0.70 m de alto.

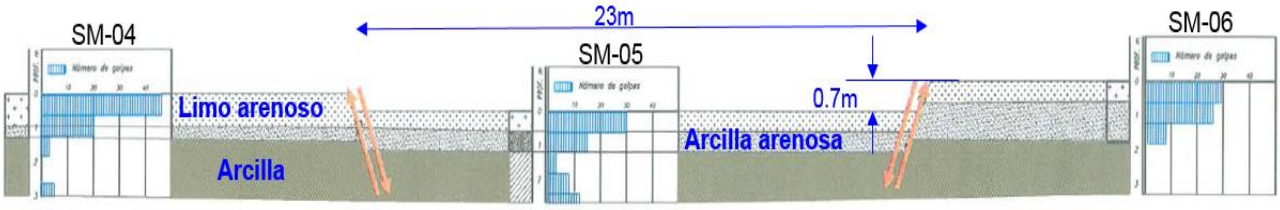


Figura 1.4.6 Perfil estratigráfico superficial, sitio Deportivo Cananea (InGeum, 2019).

En la Figura 1.4.7 se presenta una sección estratigráfica hasta la profundidad alcanzada por los sondeos, donde se observa que el espesor de arcilla, con intercalaciones de lentes de arena, es menor en el sondeo SM-04 que en los sondeos SM-05 y SM-06. Fue posible definir de manera aproximada la configuración de los depósitos profundos y del basalto. Entre los sondeos SM-04 y SM-05 se observa una diferencia de profundidad de los materiales resistentes del orden de 8.0 m.

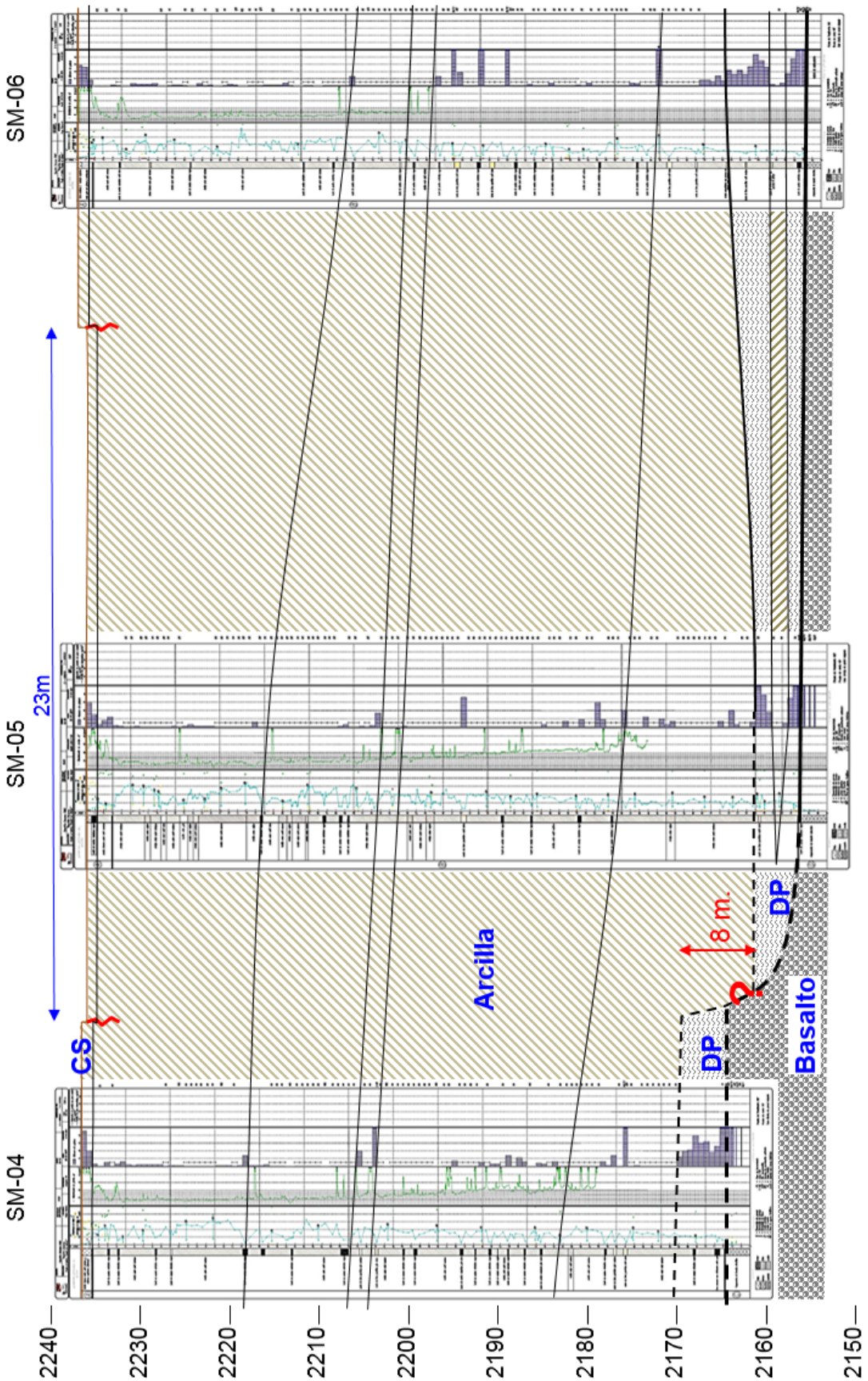
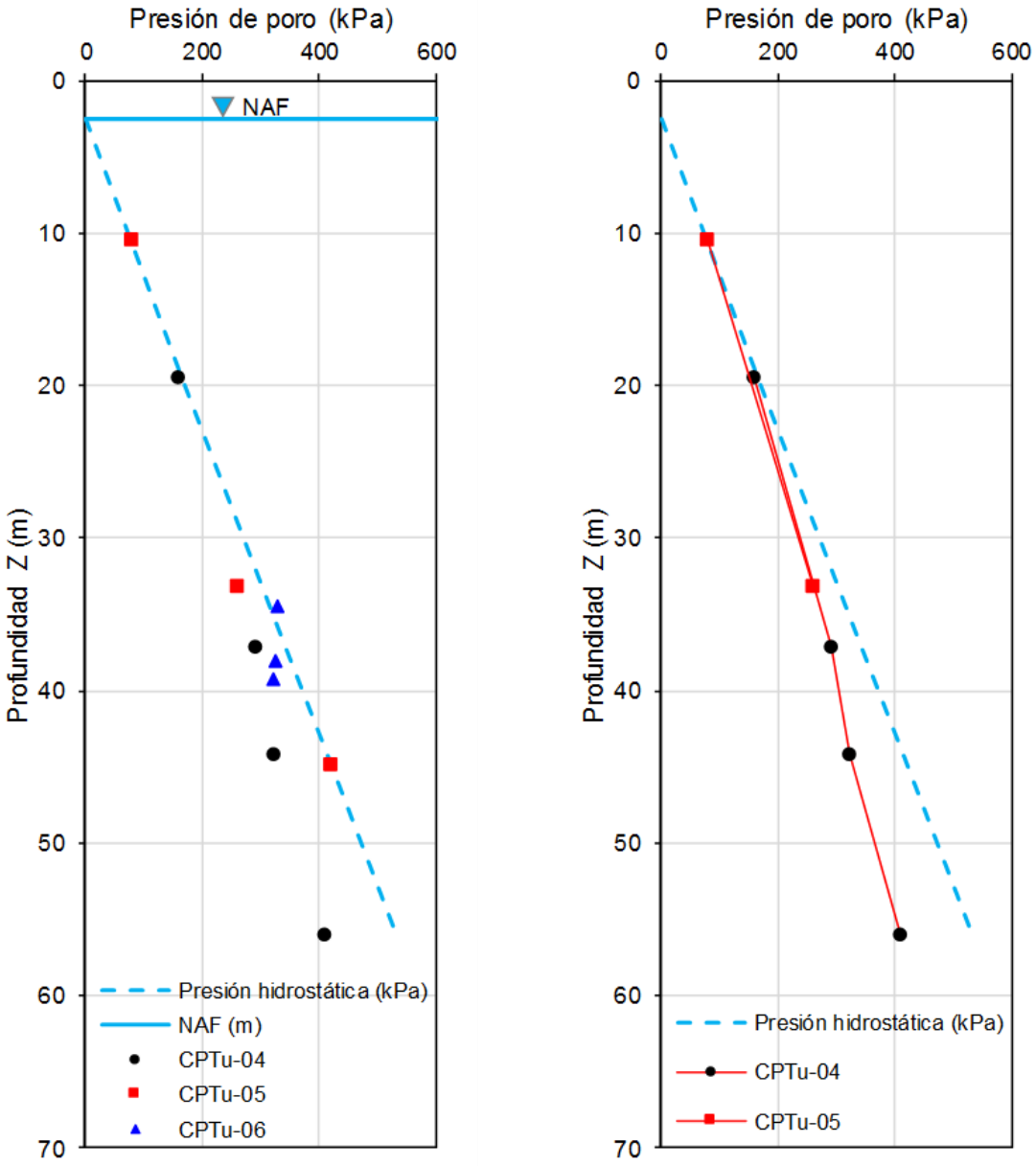


Figura 1.4.7 Sección estratigráfica, sitio Deportivo Cananea.

La empresa ejecutora realizó 10 pruebas de disipación de presión de poro en estratos permeables y arcillosos a diferentes profundidades. En la Figura 1.4.8, se presenta la interpretación de los datos de las pruebas de disipación de presión de poro y el perfil de abatimiento piezométrico.



a) Resultados de pruebas de disipación de presión de poro

b) Gráfica de abatimiento de presión de poro

Figura 1.4.8 Condiciones piezométricas, sitio Deportivo Cananea.

Los comentarios derivados de la revisión del informe entregado por la empresa ejecutora, se presentan en la Nota técnica G-12 "*Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en el Deportivo Cananea*" (Anexo D) elaborada por el II-UNAM.

1.4.3 Colonia La Planta

La empresa ejecutora realizó dos sondeos mixtos (SM-07 y SM-08) con recuperación de muestras alteradas e inalteradas, con profundidad máxima explorada de 61.5 y 55.9 m, respectivamente, y dos sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro (CPTu-07 y CPTu-08), con profundidad máxima explorada de 48.4 y 44.1 m, respectivamente. Adicionalmente, la empresa ejecutora instaló dos tubos de observación (TO-07 y TO-08) a un costado de los sondeos SM para monitorear el nivel de aguas freáticas (NAF) durante el periodo de ejecución de los trabajos de exploración. Los sondeos se ubican en la calle El Molino, con una separación aproximada de 33 m, a ambos lados de una grieta que presenta un escalón del orden de 1.0 m (IEC, 2019). En la Figura 1.4.9 se indica la ubicación de los sondeos y en la Figura 1.4.10 se presenta una vista de la grieta con escalón.

Figura 1.4.9 Ubicación de sondeos, sitio colonia La Planta.

La Tabla 1.4.7 presenta un resumen de los ensayes del laboratorio realizados con las muestras alteradas e inalteradas. Con base en los resultados de las pruebas de laboratorio de mecánica de suelos realizadas, en las Tablas 1.4.8 y 1.4.9 se indican los parámetros de resistencia y compresibilidad.

Los resultados de la exploración geotécnica indican que superficialmente se encuentran materiales de relleno predominantemente de tipo areno limoso con espesor de hasta 2.5 m y bajo este relleno se encuentra una capa de arena fina de color negra de espesor variable de 1.0 a 2.0 m.

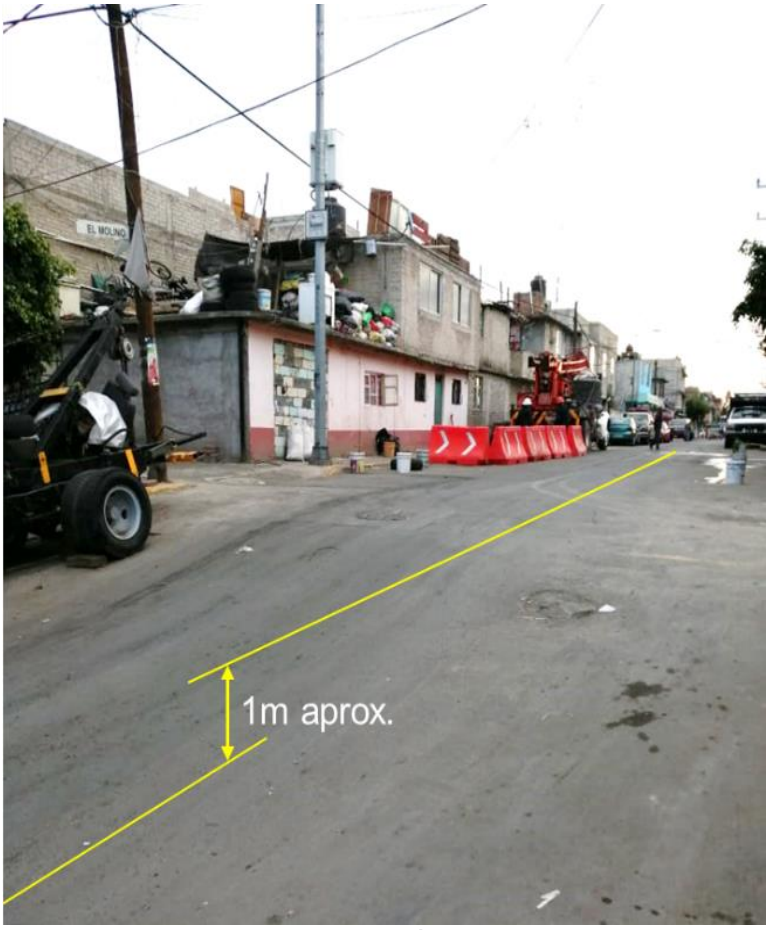


Figura 1.4.10 Grieta con escalón, sitio colonia La Planta.

Tabla 1.4.7 Resumen del número de pruebas de laboratorio, sitio colonia La Planta.

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-07	SM-08	No. total de ensayes realizados
Clasificación e identificación de los suelos	92	84	166
Determinación del contenido de agua	88	78	166
Límites de consistencia	21	15	36
Peso volumétrico natural	8	7	15
Densidad de sólidos	7	6	13
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	7	6	13
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	6	7	12

Tabla 1.4.8 Resumen de resultados de pruebas triaxiales, sitio colonia La Planta.

	Prof. (m)	w_0 (%)	Ss	γ (t/m^3)	c (t/m^2)	ϕ (°)
SM-07	2.30	96.64	2.401	1.34	---	---
	8.00	294.97	2.398	1.11	1.4	10.0
	15.00	331.09	2.485	1.12	2.0	7.0
	24.50	220.07	2.456	1.17	2.7	8.0
	30.20	74.79	2.473	1.5	5.6	8.0
	36.70	195.8	2.399	1.19	3.4	11.0
	47.00	135.88	2.437	1.26	8.8	12.0
SM-08	4.80	156.58	2.566	1.55	5.8	17.0
	12.90	242.23	2.435	1.19	1.0	18.0
	20.90	227.56	2.493	1.19	2.7	8.0
	26.70	175.14	2.417	1.19	2.3	9.0
	34.80	111.44	2.444	1.28	9.3	8.0
	42.40	147.53	2.464	1.26	9.0	7.0

Tabla 1.4.9 Resumen de resultados de pruebas de consolidación, sitio colonia La Planta.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w_0 %	γ t/m^3	e_0	σ_c kPa	C_c	C_r
SM-07	2.30	CH	134	1.271	3.418	109.650	0.272	0.097
	8.00	CH	324	1.136	7.953	158.420	7.308	0.246
	15.00	CH	383	1.124	9.690	137.180	8.271	0.332
	24.50	CH	172	1.260	4.298	155.440	3.056	0.163
	30.20	MH	89	1.397	2.351	137.420	0.599	0.108
	36.70	MH	218	1.212	5.287	147.150	1.893	0.129
	47.00	MH	111	1.329	2.874	103.200	0.295	0.083
SM-08	4.80	MH	188	1.196	5.171	155.280	1.066	0.233
	12.90	CH	251	1.174	6.280	169.030	5.314	0.212
	20.90	CH	222	1.200	5.684	186.480	3.827	0.246
	26.70	CH	262	1.150	6.613	162.340	4.983	0.295
	34.80	CH	127	1.324	3.280	166.810	1.013	0.106
	42.40	CH	140	1.282	2.464	158.660	0.479	0.131

En la Figura 1.4.11, se presenta una sección estratigráfica construida a partir de los resultados de la exploración geotécnica. Se observa que el espesor de arcilla lacustre, con intercalaciones de lentes de arena, es de 48 m en el SM-07 y de 40 m en el SM-08. Con base en los sondeos, fue posible definir de manera aproximada la configuración de los depósitos profundos y del basalto encontrados a una profundidad de 56.5m en el SM-07 y de 48.7m en el SM-08. Entre los sondeos SM-07 y SM-08 existe un escalón en los materiales resistentes del orden de 8 m.

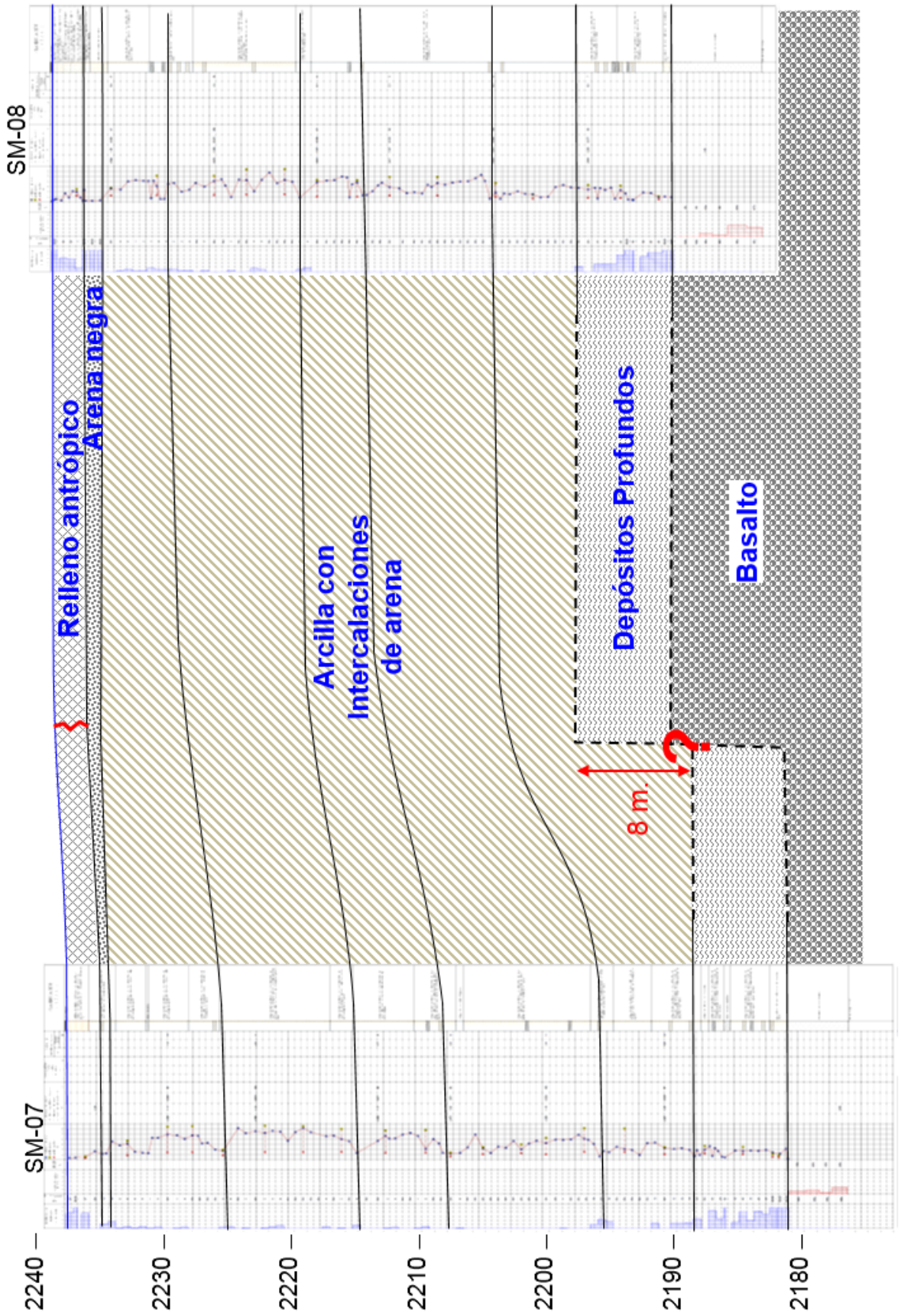
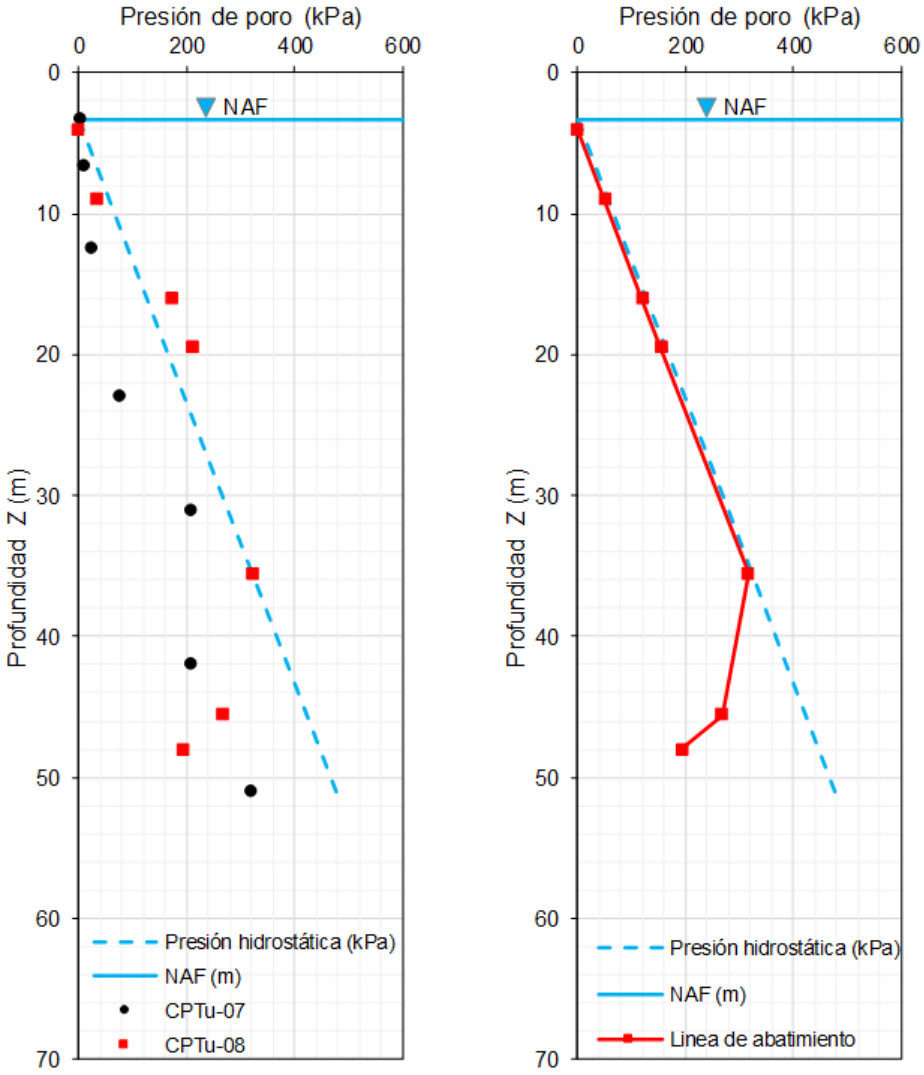


Figura 1.4.11 Perfil estratigráfico, sitio colonia La Planta.

La empresa ejecutora realizó 14 pruebas de disipación de presión de poro en los sondeos CPTu, en estratos permeables y arcillosos a diferentes profundidades. En la Figura 1.4.12, se presenta la interpretación de los datos de las pruebas de disipación de presión de poro y el correspondiente perfil de abatimiento piezométrico. Los perfiles de presión de poro muestran ciertas diferencias que pueden atribuirse a posibles errores de calibración del equipo utilizado.



a) Resultados de pruebas de disipación de presión de poro

b) Gráfica de abatimiento de presión de poro

Figura 1.4.12 Condiciones piezométricas, sitio colonia La Planta.

Los comentarios derivados de la revisión del informe entregado por la empresa ejecutora, se presenta en la nota técnica G-13 "*Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia La Planta*" (Anexo D) elaborada por el II-UNAM.

1.4.4 Colonia El Molino Tezonco

La empresa ejecutora realizó tres sondeos mixtos con recuperación de muestras alteradas e inalteradas (sondeos SM-09, SM-10 y SM-11) con profundidad máxima explorada de 68.3, 66.0 y 100.2 m, respectivamente, y dos sondeos de cono eléctrico con medición de presión de poro, CPTu-09 y CPTu-10, con profundidad máxima explorada de 58.14 y 55.86 m, respectivamente. Los sondeos se ubicaron sobre la calle Alcanfor dentro y fuera de la zona de grietas, a lo largo de un eje de aproximadamente 55 m de longitud (GEOVISA, 2019). En este sitio, la grieta más crítica presenta un escalón del orden de 0.60 m. En la Figura 1.4.13, se indica la ubicación de los sondeos.

Figura 1.4.13. Ubicación de sondeos, sitio colonia El Molino Tezonco.

La empresa ejecutora realizó pruebas de laboratorio de mecánica de suelos con las muestras alteradas e inalteradas obtenidas mediante la prueba SPT y por muestreo selectivo. La Tabla 1.4.10, presenta un resumen de los ensayes del laboratorio realizados y en las Tablas 1.4.11 y 1.4.12 se indican los parámetros de resistencia y compresibilidad obtenidos.

Tabla 1.4.10 Resumen de pruebas de laboratorio, sitio colonia El Molino Tezonco.

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-09	SM-10	SM-11	No. total de ensayes realizados
Clasificación e identificación de los suelos	110	133	107	350
Determinación del contenido de agua	110	133	107	350
Límites de consistencia	10	8	9	27
Peso volumétrico seco	9	11	8	28
Peso volumétrico natural	9	11	8	28
Análisis granulométrico por mallas	1	---	---	1
Contenido de finos por lavado	6	5	7	18
Densidad de sólidos	6	7	7	20
Contracción Lineal	1	1	---	2
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	4	4	4	12
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	4	5	4	13

Tabla 1.4.11 Resumen de resultados de pruebas triaxiales, sitio colonia El Molino Tezonco.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w %	S_s	e_0	G_w %	γ t/m^3	E_{50} kg/cm^2	c kg/cm^2	ϕ
SM-09	7.00	CH	79.08	2.44	1.99	97.10	1.46	47.00	0.36	0.00
	12.80	CH	151.44	2.45	3.90	95.10	1.26	66.00	0.49	0.00
	40.00	MH	98.59	2.38	2.36	99.40	1.41	86.00	0.70	8.80
	51.00	MH	96.41	2.46	2.41	99.10	1.42	175.00	1.25	11.70
SM-10	4.30	CH	213.47	2.48	5.57	94.90	1.18	28.00	0.20	0.00
	11.50	CH	205.06	2.33	4.79	99.98	1.23	60.00	0.44	0.00
	11.80	CH	96.49	2.49	2.42	99.40	1.43	40.00	0.25	24.80
	31.90	CH	236.33	2.31	5.63	96.90	1.17	51.00	0.44	0.00
	47.70	CH	162.17	2.29	3.80	99.10	1.25	84.00	1.00	0.00
SM-11	8.20	CH	163.60	2.37	3.91	99.46	1.28	62.00	0.20	18.00
	26.40	CH	162.48	2.35	3.89	98.30	1.26	80.00	0.65	12.00
	32.40	CH	157.90	2.41	3.98	95.70	1.25	78.00	0.70	6.60
	44.60	CH	128.93	2.43	3.25	96.00	1.31	149.00	1.45	4.40

Tabla 1.4.12 Resumen de resultados de pruebas de consolidación, sitio colonia El Molino Tezonco.

Sondeo	Mta	Prof. m	SUCS	w_0 %	γ t/m^3	e_0	σ_c kPa	C_c	C_r
SM-09	10PI	7	CH	83.43	1.463	2.058	125.43	0.394	0.108
	19PI	12.8	CH	134.53	1.261	3.78	136.97	1.89	0.138
	26PI	17.3	CH	256.12	1.194	6.018	193.03	5.324	0.246
	42PI	27.4	MH	65.29	1.552	1.642	283.65	0.507	0.058
SM-10	7PI	4.3	CH	213.47	1.182	5.574	154.04	3.355	0.325
	19PI B	12	CH	148.09	1.305	3.722	130.77	1.414	0.189
	35PI	22.3	CH	94.76	1.418	2.296	177.19	0.58	0.094
	50PI	31.9	CH	236.33	1.171	5.634	180.34	5.19	0.368
SM-11	6PI	4.4	MH	68.13	1.572	1.705	129.52	0.173	0.067
	12PI	8.2	CH	163.6	1.276	3.905	127.93	2.685	0.17
	18PS	11.6	CH	218.08	1.223	5.16	195.4	6.028	0.147
	81PI	50.9	CH	166.73	1.26	4.158	350.99	3.624	0.191

En la Figura 1.4.14, se presenta una sección estratigráfica construida a partir de los resultados de la exploración geotécnica, donde se observa que, superficialmente, se encuentran materiales de relleno predominantemente de tipo areno limoso de espesor variable (de hasta 2.5 m); bajo este relleno se encuentra una capa de arena fina de color negro de espesor variable de 1.0 a 2.0 m. Bajo la capa de arena, se encuentra una capa de arcilla, con intercalaciones de lentes de arena, con un espesor aproximado de 56.0 m (sondeos SM-09 y SM-10) y de 90 m (sondeo SM-11). Con base en los sondeos, fue posible definir de manera aproximada la configuración de los depósitos profundos y del basalto encontrados a una profundidad aproximada de 63.0m en los sondeos SM-09 y SM-10, y de 95.0 m en el sondeo SM.11. El basalto se encontró únicamente en el sondeo SM-09 a una profundidad de 65.0 m. Se observa que entre los sondeos SM-09 y SM-11 se forma un escalón en los materiales resistentes del orden de 35 m.

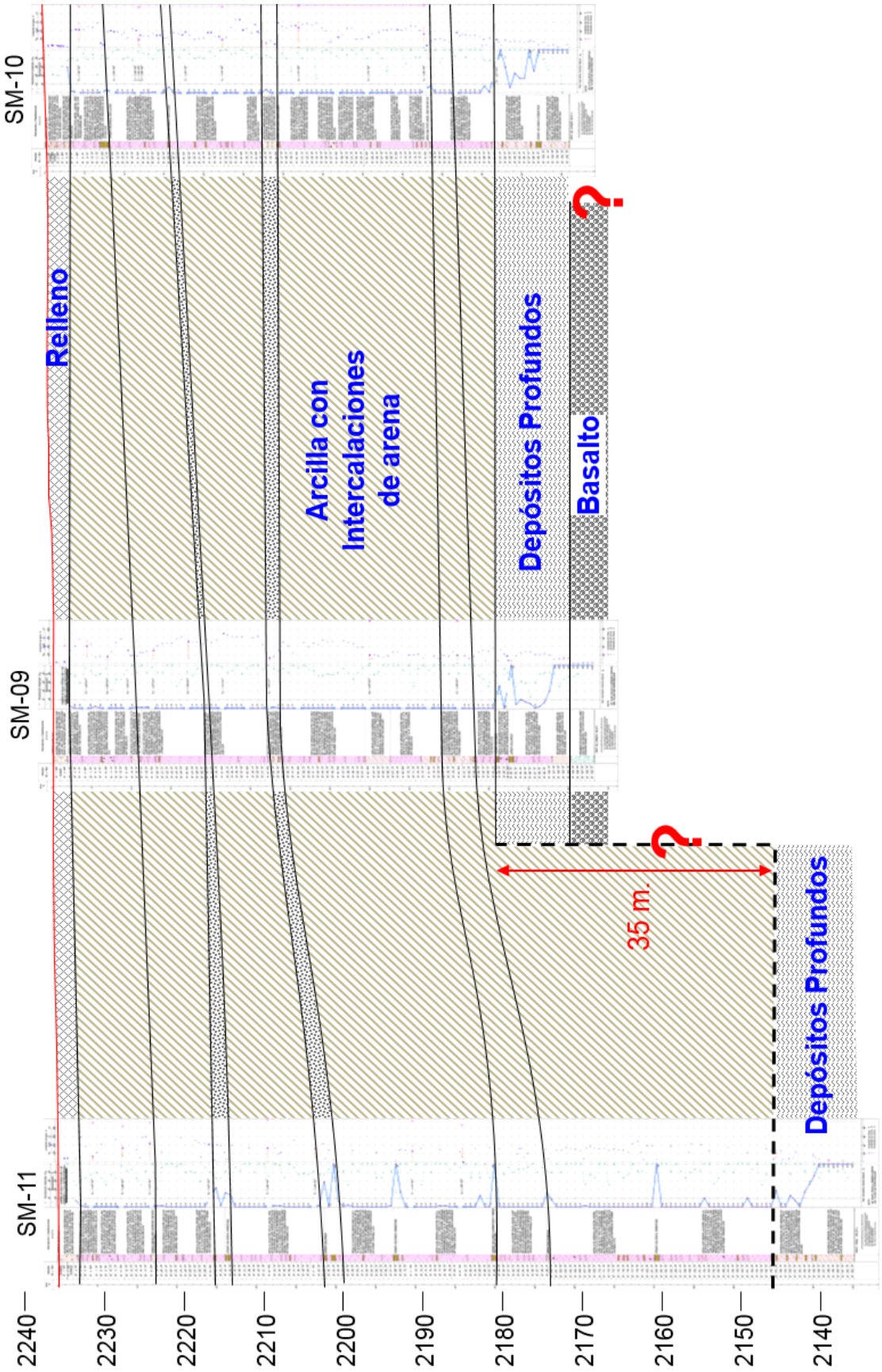
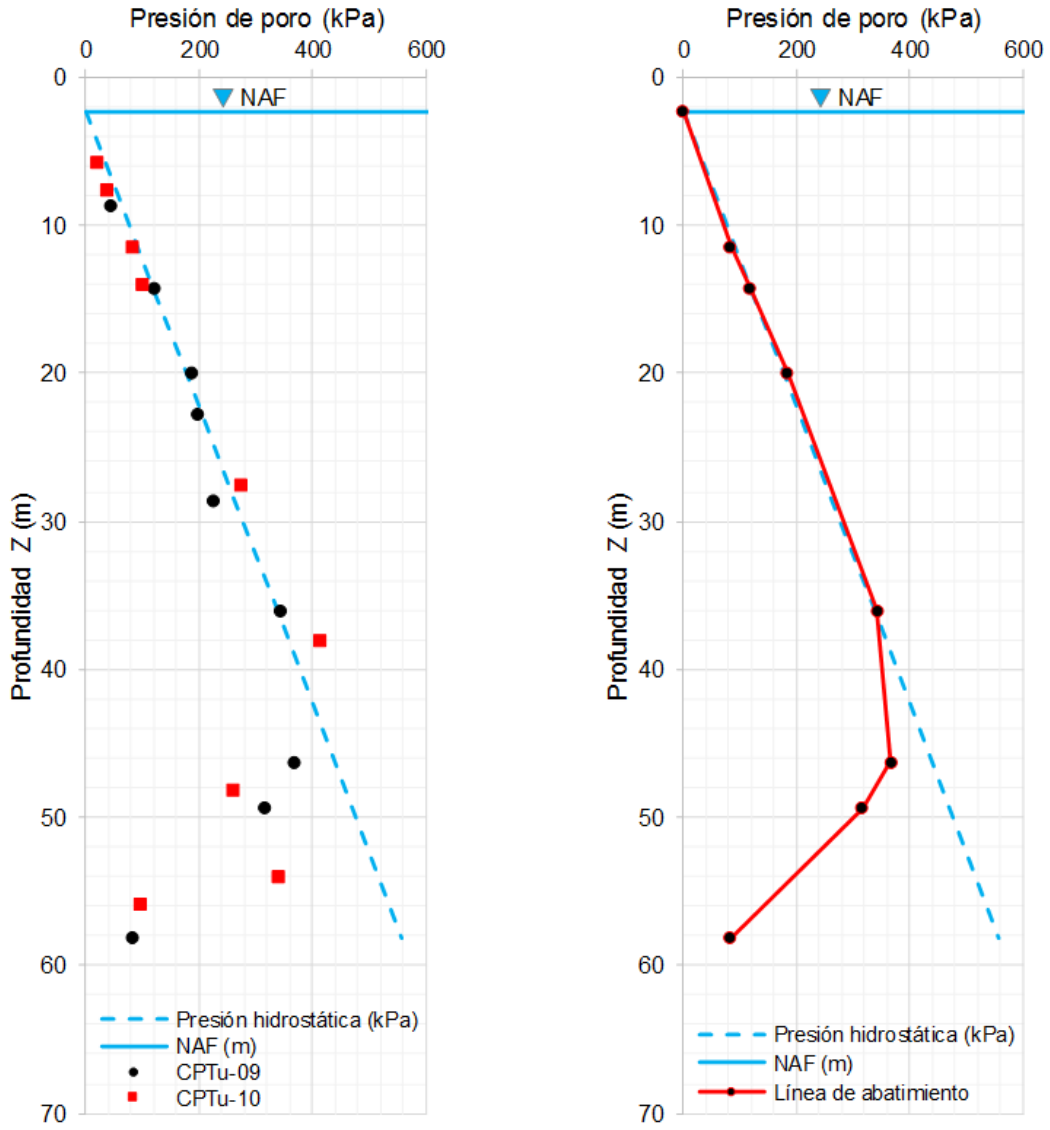


Figura 1.4.14 Perfil estratigráfico del sitio colonia Molino Tezonco.

La empresa ejecutora realizó 5 pruebas de disipación de presión de poro en los sondeos CPTu, en estratos permeables y arcillosos a diferentes profundidades. En la Figura 1.4.15, se presenta la interpretación de los resultados de las pruebas de disipación de presión de poro y el perfil de abatimiento piezométrico en el sitio.



a) Resultados de pruebas de disipación de presión de poro

b) Gráfica de abatimiento de presión de poro

Figura 1.4.15 Condiciones piezométricas en la colonia La Molino Tezonco.

Los comentarios derivados de la revisión del informe entregado por la empresa ejecutora, se presentan en la Nota técnica G-14 "*Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Molino Tezonco*" (Anexo D) elaborada por el II-UNAM.

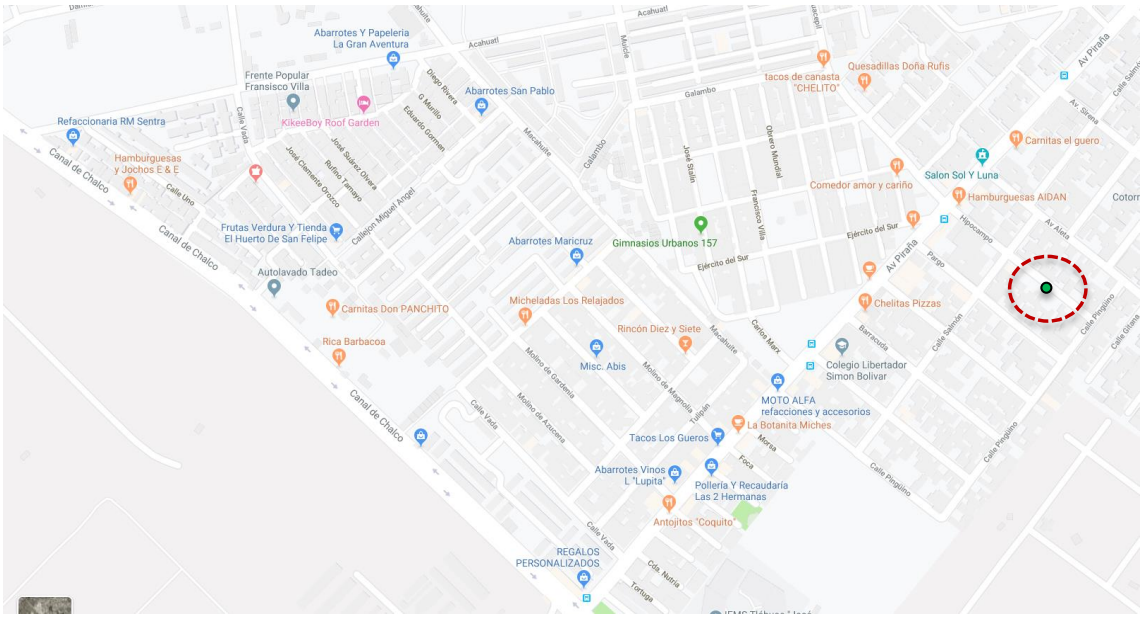
1.5 Ensaye de Sonda Suspendida en la colonia del Mar, Tláhuac, CDMX.

Con el propósito de complementar la exploración geotécnica profunda, el II-UNAM realizó un ensaye dinámico de tipo de Sonda Suspendida (SVs) en la colonia del Mar, Tláhuac, CDMX, para medir la velocidad de propagación de ondas de cortante (Vs) en el subsuelo (Biringen y Davie, 2010; Eslava, 2017; Ming-Hung, Kuo-Liang, Chin-Hsiung y Nigbor, 2008). El ensaye se realizó hasta una profundidad de 81.0 m.

En la figura 1.5.1, se indica la ubicación del sitio del ensaye y en la figura 1.5.2, se presenta el correspondiente perfil de Vs. El procedimiento detallado de la prueba y los resultados se presentan en el Anexo B.

De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos en campo, se pueden apreciar las siguientes variaciones de la velocidad con la profundidad:

- De 2.5 a 4.0 m, velocidades que van de 40 a 88 m/s.
- De 4 a 35 m, incremento de velocidad con la profundidad, de 40 a 75 m/s.
- De 35 a 40.5 m, incremento gradual, de 75 a 194 m/s.
- De 40.5 a 45 m, decremento de 194 m/s a 101 m/s.
- De 45 a 57 m, valores medios de velocidad de 103 m/s, con saltos de 187 a 76 m/s.
- De 57 a 81 m, valores medios de velocidad de 100 m/s, con dos picos, a 60 m con una velocidad de 161 m/s y a 75.5 m con una velocidad de 181 m/s.



Sitio de estudio

Figura 1.5.1 Ubicación del ensaye de sonda suspendida.

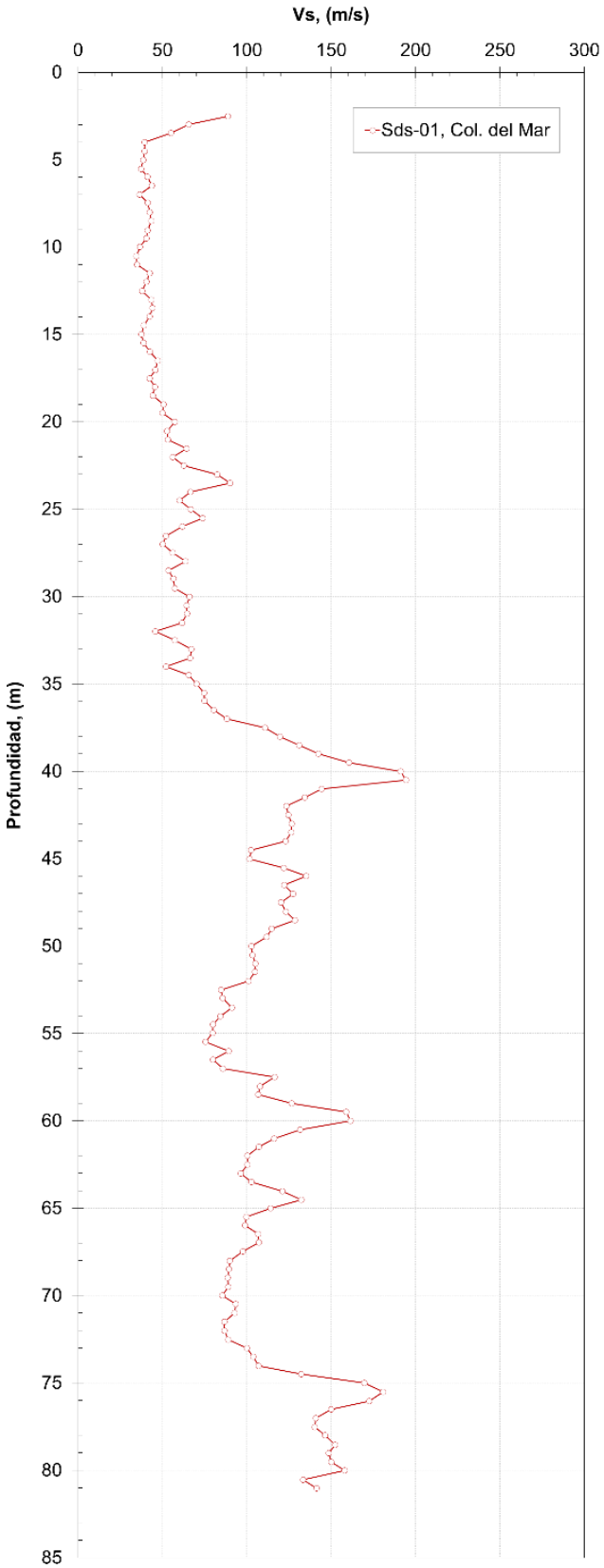


Figura 1.5.2 Perfil (Vs) en el subsuelo, sitio colonia del Mar.

1.6 Estudio geosísmico

1.6.1 Alcance y resultados del estudio geosísmico

Como parte de este proyecto, el II-UNAM realizó un estudio geosísmico en la zona de agrietamiento.

Los alcances del estudio fueron:
1. Obtener, mediante la técnica del cociente espectral *H/V*, los periodos de vibración del suelo y la amplificación relativa en la zona de estudio.
2. Realizar la microzonificación sísmica del área de estudio con la información de los periodos dominantes de vibración del suelo.
3. Estimar el espesor de la capa de arcilla (*H*) por medio de la ecuación *H=(T*Vs) /4*. Donde *T* es el periodo dominante del suelo, y Vs es la velocidad promedio de corte de la capa de arcilla
4. Realizar la inversión geofísica de los cocientes espectrales realizados en los 10 sitios de los sondeos geotécnicos propuestos.
5. Comparar la información de periodos, amplificación y espesor de la capa de arcilla mediante mapas y perfiles.

En el Anexo C, se presenta el informe completo del estudio geosísmico titulado "*Apoyo en la determinación de velocidades de propagación de ondas P y Vs, espesores (H), densidades y amortiguamientos en 10 áreas dentro de la zona de lago de la CDMX, con sísmica pasiva o la relación espectral de microtremores (MHVSR)*"

A continuación, se presentan los resultados principales.

En la Figura 1.6.1 se presenta el mapa de periodos de vibración del suelo determinado a partir del cociente espectral *H/V* obtenido en las 401 mediciones de ruido sísmico realizadas en toda la zona y un acercamiento al área de estudio seleccionada para el presente trabajo. Los valores de periodo de vibración del suelo varían de 0.0 s, al norte del área de estudio, hasta 5.5 s al suroeste. La parte norte central presenta valores menores a los 0.5 s, por lo que se considera zona de lomas. La zona de transición abarca una pequeña franja que recorre la parte norte y noreste, ampliándose en la parte central del área de estudio. Por último, la zona de lago abarca la parte sur, este y oeste, y los valores más grandes de periodo se ubican al suroeste, en los límites de la alcaldía Tláhuac y del antiguo lago de Xochimilco.

En la Figura 1.6.2 se presenta el mapa de amplificación relativa del suelo determinado a partir del cociente espectral *H/V*. Gran parte de la zona de estudio no presenta amplificaciones relativas mayores a 5, a excepción de la zona suroeste donde la amplificación llega a alcanzar valores de 30, justo en la misma zona donde los periodos de vibración son más grandes. Existen otras zonas poco extensas donde la amplificación es mayor que 5 y alcanza valores de 10 como la que se ubica en la colonia Del Mar, justo en la zona de grietas, y la que se ubica en el Bosque de Tláhuac.

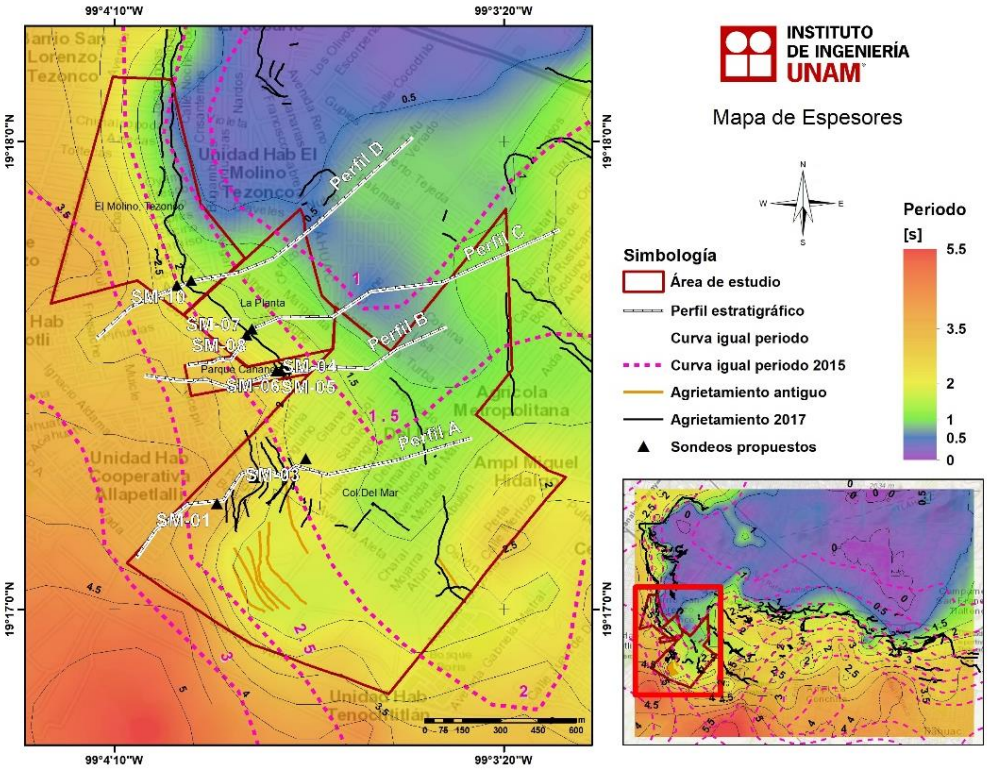


Figura 1.6.1. Mapa de periodos de vibración del suelo en el área de estudio. En color morado se aprecian las curvas de isoperiodos del estudio de Martínez-González *et al.* 2015.

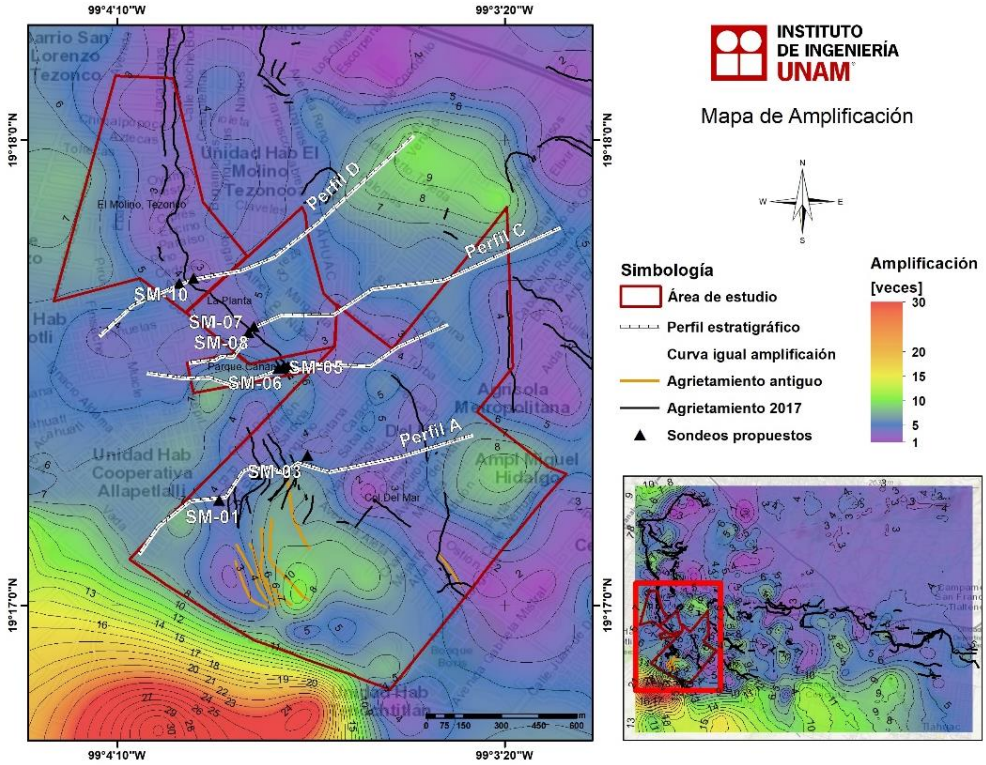


Figura 1.6.2. Mapa de amplificación relativa del suelo en el área de estudio.

Si se considera que la estratigrafía del lugar consiste de una capa de arcilla (suelo blando) sobre una capa de suelo duro denominado depósitos profundos, como en la mayor parte de la zona de lago del Valle de México, es posible obtener una estimación del espesor del estrato de arcilla mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{T_s * v_s}{4} \qquad (1.6.1)$$

Donde *H* es el espesor, T_s es el periodo de vibración del suelo y v_s es la velocidad de onda de corte de la capa de arcilla. El periodo de vibración del suelo se conoce para los 401 puntos de medición, mientras que la velocidad de onda de corte se estableció en 90 m/s como una aproximación de acuerdo a otros estudios realizados en el Valle de México.

En la Figura 1.6.3 se presenta el mapa de espesor de la capa de arcilla determinado a partir de la ecuación 1.6.1. Los menores valores del espesor de la capa de arcilla, inferiores a los 20 m, se encuentran en la parte centro y hacia el norte del área. Hacia el este, el espesor llega hasta los 70 m. Los mayores valores de espesor se ubican hacia el noroeste, oeste, y toda la parte sur, llegando a los 135 m al suroeste. Las grietas que van de la colonia Del Mar a San Lorenzo Tezonco se presentan en una zona donde el espesor de la capa de arcilla cambia de forma abrupta, al igual que el periodo, de 30 hasta los 90 m.

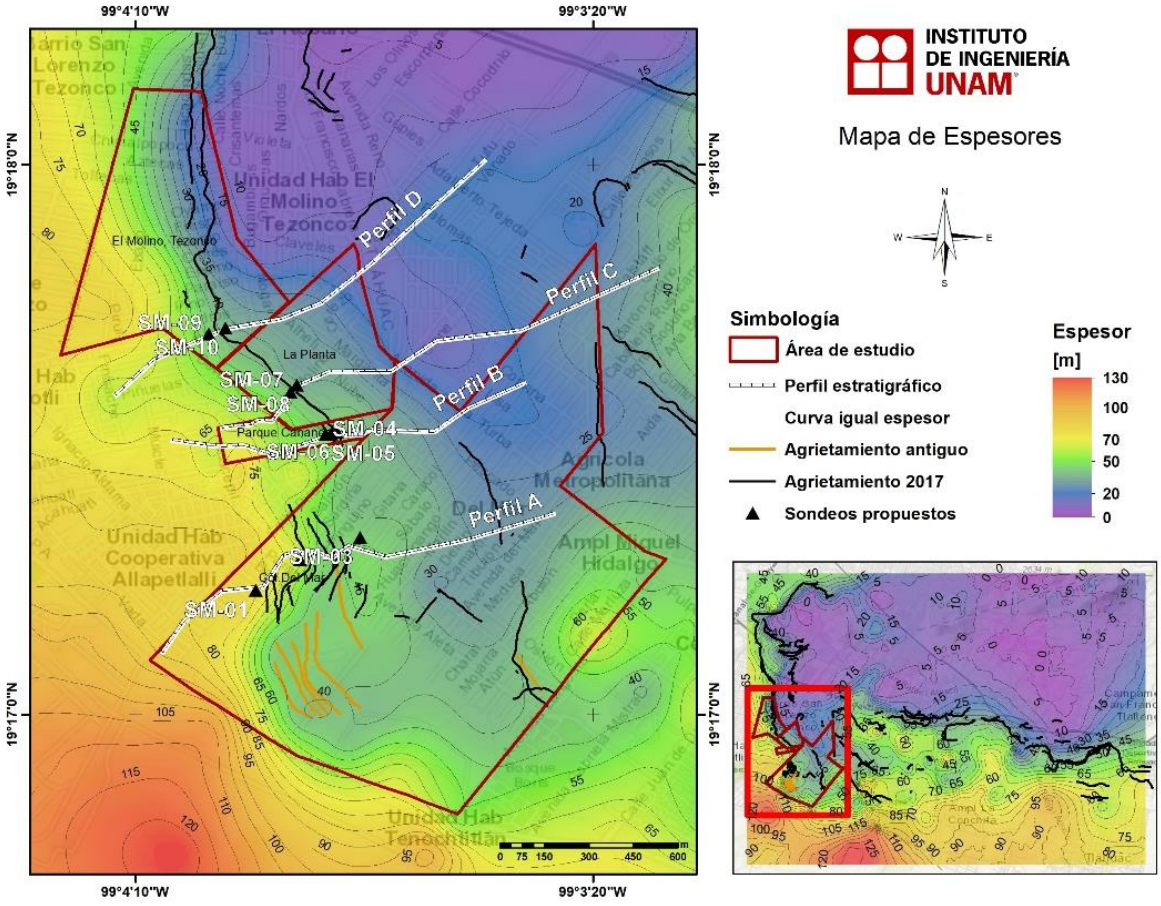


Figura 1.6.3. Mapa de espesor de la capa de arcilla en el área de estudio considerando una velocidad de onda de corte de 90 m/s.

Con los espesores de la capa de arcilla de los 401 puntos de medición de ruido sísmico ambiental se realizó un modelo 3D para observar las variaciones espaciales del espesor de la capa. También se realizaron perfiles, en dirección SW-NE, para observar con mayor detalle la zona en donde se realizarán los 10 sondeos geotécnicos.

En la Figura 1.6.4a, b se observa la variación del espesor de la capa de arcilla para la zona sur de la Sierra de Santa Catarina. En el modelo se aprecia que el espesor aumenta de manera significativa hacia el oeste y sur, en los límites con el antiguo lago de Xochimilco. También se aprecia un cuerpo bien definido que parte del volcán Yahualixqui hacia el sur hasta los límites de Tláhuac y Xochimilco. El cuerpo se considera como uno o varios derrames basálticos originados por este volcán de la Sierra de Santa Catarina que posteriormente fueron enterrados por las arcillas lacustres del Valle de México.

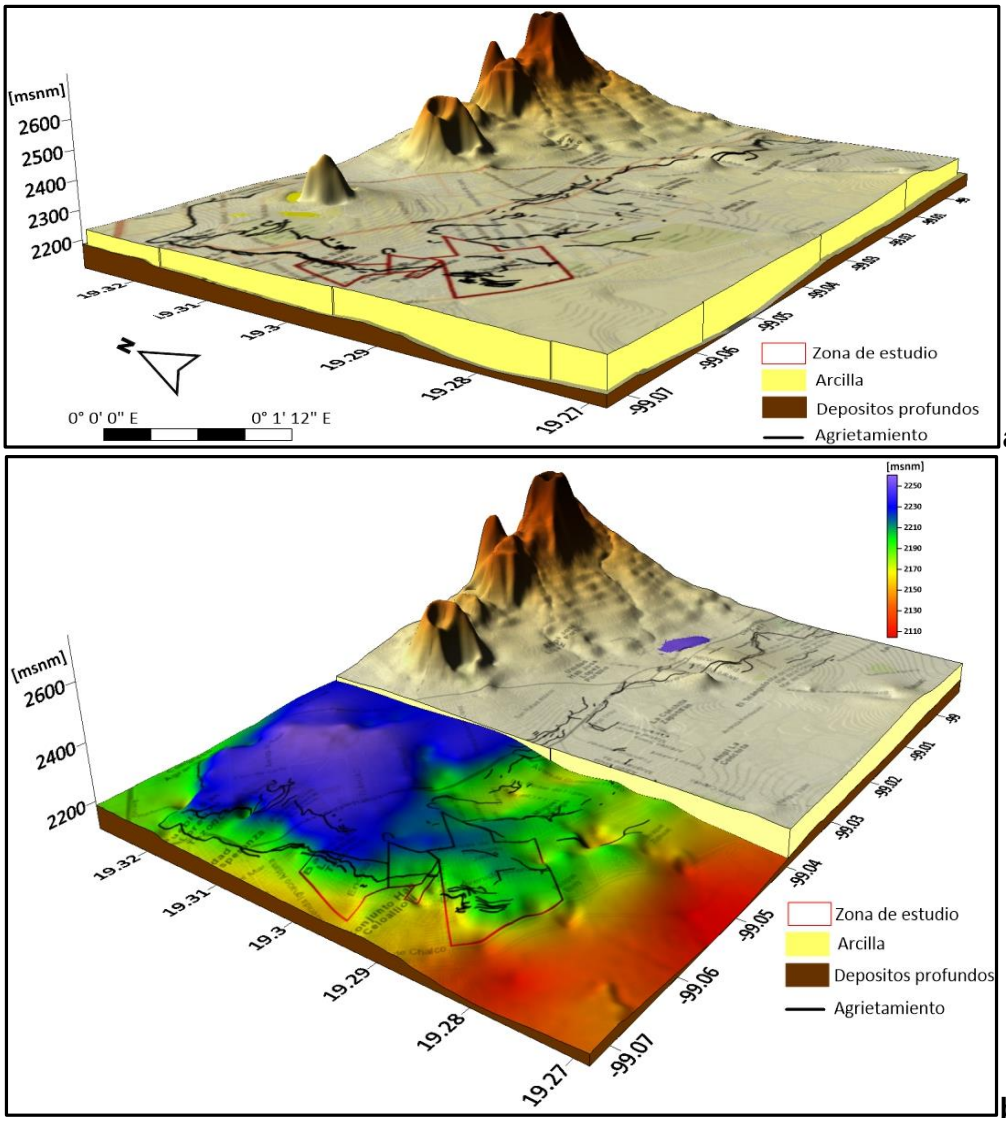


Figura 1.6.4. Modelos 3D de la zona de estudio a partir de los valores de espesor de la capa de arcilla obtenidos mediante el cociente espectral H/V. a) Modelo 3D de la Sierra de Santa Catarina y la zona de estudio. b) Modelo 3D con un corte de la capa de arcilla para mostrar la variación de su espesor en la zona de estudio.

En los perfiles se consideran tres estratos. El primero es la capa de arcilla blanda, cuyo espesor se obtuvo por medio de la ecuación 1.6.1. Para el caso de los depósitos profundos, este estrato se dividió en dos de acuerdo a la interpretación que considera un derrame basáltico en la zona proveniente del volcán Yahualixqui y al perfil de la línea 12 del metro; un estrato considerado como depósitos profundos y un estrato considerado como las lavas de la Sierra de Santa Catarina.

En la Figura 1.6.5, e*l* perfil A recorre la colonia Del Mar, pasa por los sondeos geotécnicos SM01, SM02 y SM03, y tiene una longitud mayor a los 1400 m. Justo donde se ubica el sondeo propuesto SM02 existe un desnivel mayor a los 40 m en los depósitos profundos. Por lo tanto, se considera que hasta este punto llegan las lavas de la Sierra de Santa Catarina y hacia el SW existe una zona de lago de mayor profundidad. Las grietas en esta zona se ubican encima de este desnivel, entre los sondeos SM02 y SM03, así que se considera que el mecanismo de agrietamiento es por transición abrupta o estructuras geológicas sepultadas. En este caso, los sondeos geotécnicos propuestos están suficientemente espaciados para observar la transición abrupta que provoca las grietas.

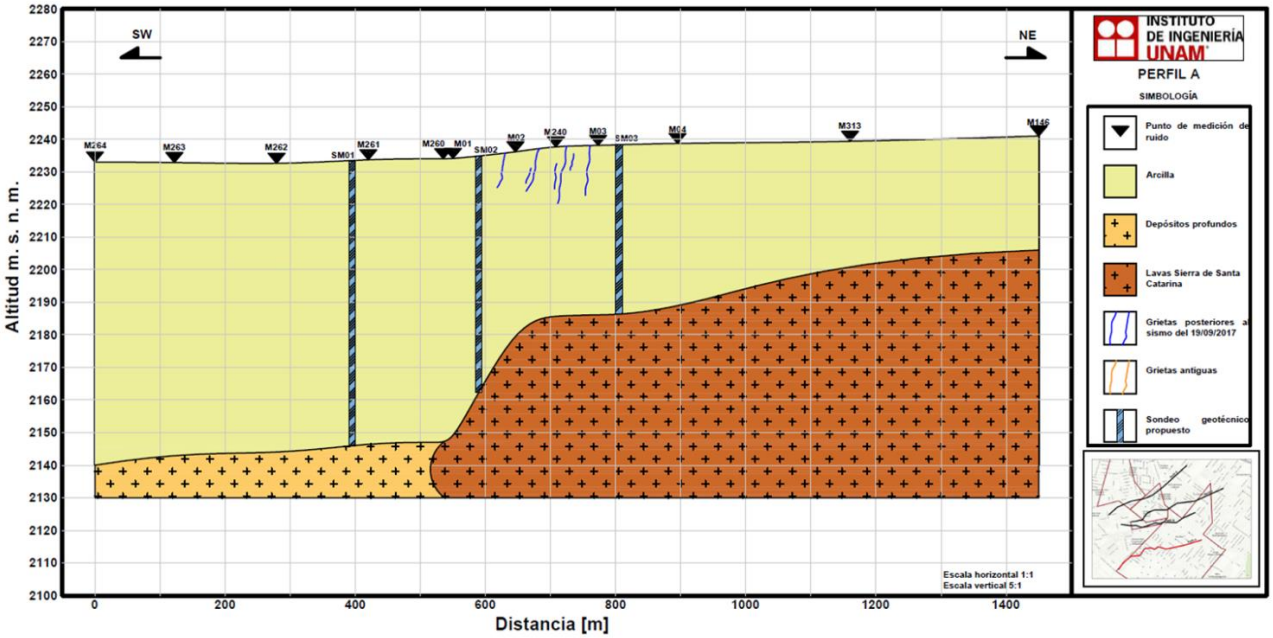


Figura 1.6.5. Perfil A en dirección SW-NE de la zona de estudio.

En la Figura 1.6.5, el perfil B parte del parque Cananea y llega hasta la colonia Del Mar; pasa por los sondeos geotécnicos SM04, SM05 y SM06. Tiene una longitud de casi 1200 m (Fig. 1.6.3). Este perfil también presenta un desnivel en los depósitos profundos, aunque es más suave en comparación con el desnivel del perfil A. La variación es de al menos 70 m desde el punto de medición M305, que se ubica al NE, hasta el punto de medición PC16 al SW. En este perfil se muestran las grietas que se volvieron más visibles después del sismo del 19 de septiembre de 2017 y grietas antiguas que habían sido mapeadas con anterioridad. Aquí también se considera que las grietas se deben a una transición abrupta de los depósitos profundos. Se considera que las lavas de la Sierra de Santa Catarina llegan hasta donde se presenta la última grieta en dirección SW. Se observa que la transición abrupta de los depósitos profundos no puede ser bien detectada por los sondeos geotécnicos debido a su cercanía, por lo que se considera que los sondeos SM04 y SM06 deberían realizarse dos sondeos adicionales al menos 200 m al SW y al NE respectivamente.

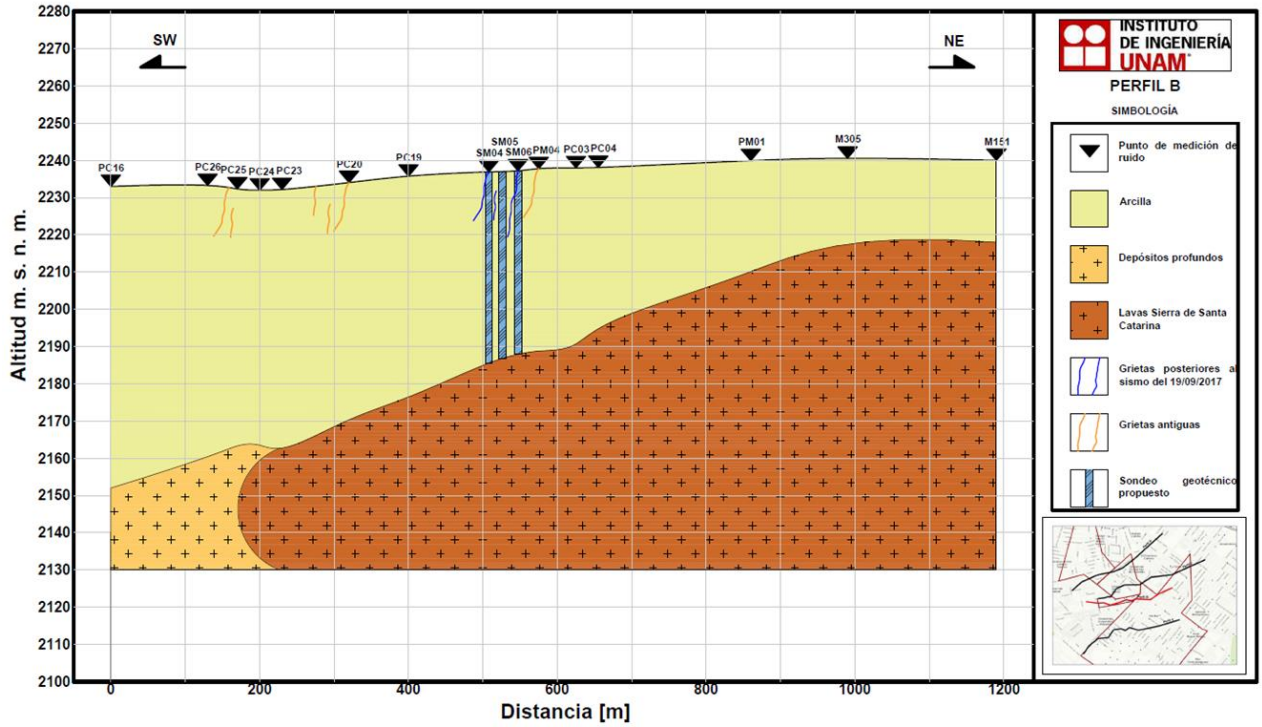


Figura 1.6.5. Perfil B en dirección SW-NE de la zona de estudio.

En la Figura 1.6.6. el perfil C recorre una parte del parque Cananea, la colonia La Planta y llega al límite norte de la colonia Del Mar, pasando por los sondeos geotécnicos SM07 y SM08. Tiene una extensión de casi 1600 m y es el perfil más largo de los cuatro (ver figura 1.6.3). En este perfil se aprecia claramente un cambio abrupto de la profundidad de los depósitos profundos justo en la zona de agrietamiento, de al menos 40 m entre los puntos de medición SM08 y PC15, y en donde se realizaron los sondeos geotécnicos. Se considera que hasta esta zona llegan las lavas de la Sierra de Santa Catarina. En este caso, los sondeos geotécnicos están muy cercanos por lo que se dificulta ver la gran diferencia de los depósitos profundos, así que se considera que el sondeo SM07 debería estar alejado al menos 100 m al SW del sondeo SM08.

Por último, en la Figura 1.6.7, el perfil D pasa por las colonias El Molino Tezonco y La Planta, considerando los sondeos geotécnicos SM09 y SM10. Tiene una longitud mayor a los 1400 m (ver figura 13 y figura 21). La variación de los depósitos profundos en esta zona es mayor a los 30 m entre los puntos de medición SM10 y M580. Se considera que esta variación de los depósitos profundos se debe a que las lavas de la Sierra de Santa Catarina llegan hasta esta zona. En esta transición se ubican las grietas (tanto las antiguas como las posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017), por lo que se considera también que se deben a esta causa. Los sondeos también se ubican en esta transición por lo que, al estar bastante cerca uno del otro no se apreciaría muy bien la diferencia en los depósitos profundos. Esta situación cambió al agregarse el sondeo SM11.

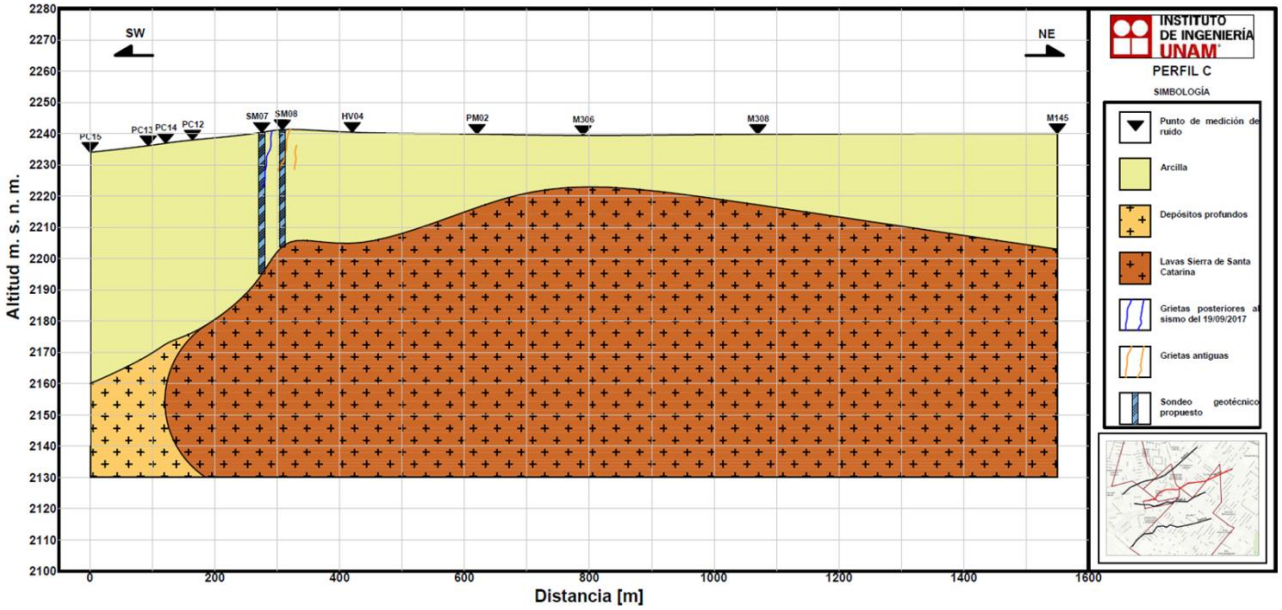


Figura 1.6.6. Perfil C en dirección SW-NE de la zona de estudio.

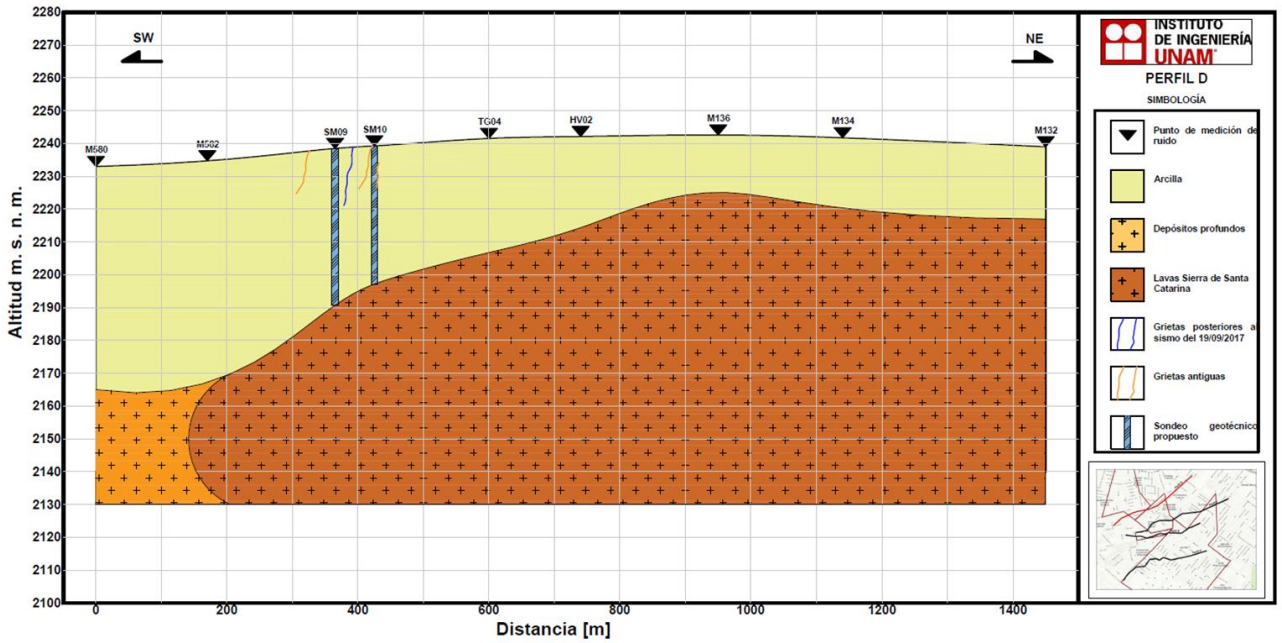


Figura 1.6.7. Perfil D en dirección SW-NE de la zona de estudio.

En general, los perfiles muestran los límites de los derrames basálticos o lavas de la Sierra de Santa Catarina, en especial del volcán Yahualixqui, hacia el SW y W de la zona de estudio. La característica de estos límites es que existe una transición abrupta, por lo que el espesor de la capa de arcilla blanda cambia de forma drástica siendo mayor hacia el SW. En todos los perfiles se puede apreciar que hay una relación directa entre estas transiciones abruptas y los agrietamientos, tanto los antiguos como los posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017.

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los cocientes espectrales H/V (periodo, amplificación y espesor de la capa de arcilla), así como con los perfiles realizados, se puede concluir lo siguiente:

- En la zona de estudio, el periodo dominante de vibración del suelo muestra valores considerados de loma, transición y lago. Hacia el norte, cerca del volcán Yahualixqui, los valores de periodo son menores que 0.5 s por lo que se considera zona de lomas. La zona de transición, es decir valores de periodo entre 0.5 y 1.0 s, es pequeña y se amplía hacia el centro. Los valores de zona de lago (periodos mayores a 1.0 s) dominan la mayor parte del área, siendo mayores hacia el SW (periodos de hasta 5.5 s). Existe una zona de transición abrupta de periodos entre 1.0 y 3.0 s al oeste, justo en donde se ubican los agrietamientos que recorren de sur a norte el área.
- La amplificación relativa no sobrepasa el valor de 5 para la mayor parte de la zona de estudio. Hay varias zonas pequeñas con amplificaciones entre 5 y 10 como las que se ubican en la colonia Del Mar y el Bosque de Tláhuac. Las mayores amplificaciones, que llegan hasta valores de 30, se ubican al SW en los límites con el antiguo lago de Xochimilco.
- Los valores de espesor de la arcilla muestran una tendencia similar a los valores de periodo dominante. Del centro hacia el norte de la zona de estudio los valores de espesor son menores a 30 m. Hacia el este hay una zona donde el espesor alcanza los 70 m. Hacia el sur y oeste el espesor es mayor a los 40 m, llegando a espesores de 135 m en dirección SW en los límites con el lago de Xochimilco. Al igual que el mapa de periodos, hay una zona al oeste en donde los espesores varían de forma drástica de 30 hasta 90 m, justo en la zona de los agrietamientos.
- En general, los perfiles muestran los límites de los derrames basálticos o lavas de la Sierra de Santa Catarina, en especial del volcán Yahualixqui, hacia el SW y W de la zona de estudio. La característica de estos límites es que existe una transición abrupta, por lo que el espesor de la capa de arcilla blanda cambia de forma drástica siendo mayor hacia el SW.
- La mayoría de las grietas se presentan entre los periodos 1.0 y 3.0 s. Las grietas que recorren la zona de estudio de sur a norte, desde la colonia Del Mar hasta San Lorenzo Tezonco se ubican en una transición abrupta de periodos. De acuerdo a los perfiles, dicha transición abrupta de periodos se debe a una variación muy grande del espesor de la capa de arcilla, siendo mayor hacia el SW y disminuyendo hacia el NE. Por lo tanto, el mecanismo que genera las grietas de esta zona es el de transición abrupta o estructuras geológicas sepultadas. Las demás grietas también están asociadas a cambios de periodo de vibración del suelo, aunque estos no son tan drásticos.

1.6.2 Validación del estudio geosísmico

Los resultados del estudio geosísmico pudieron validarse comparando las profundidades de depósitos profundos determinadas en este estudio con las profundidades de los depósitos profundos o del basalto encontrados en los sondeos geotécnicos (directos).

Como se observa en las figuras 1.6.8 a 1.6.11, existen diferencias significativas, que alcanzan a rebasar los 30m, entre las profundidades de depósitos profundos estimados en forma indirecta por el método geosísmico y las observaciones directas de estas profundidades.

Estos resultados muestran las limitaciones de los métodos indirectos y la necesidad de que sean calibrados por métodos directos. Es de esperarse que la confiabilidad de los métodos indirectos sea especialmente baja en presencia de variaciones importantes y bruscas de la profundidad del estrato resistente cuya posición se pretende determinar.

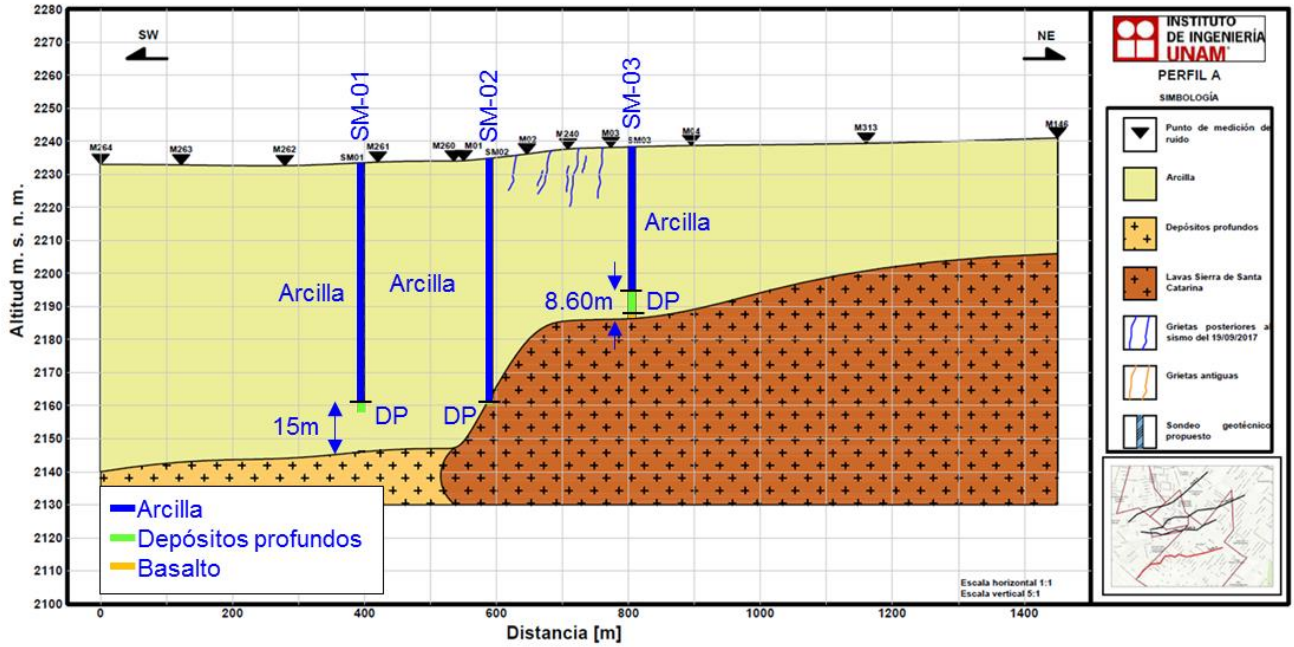


Figura 1.6.8. Perfil A en dirección SW-NE, colonia del Mar.

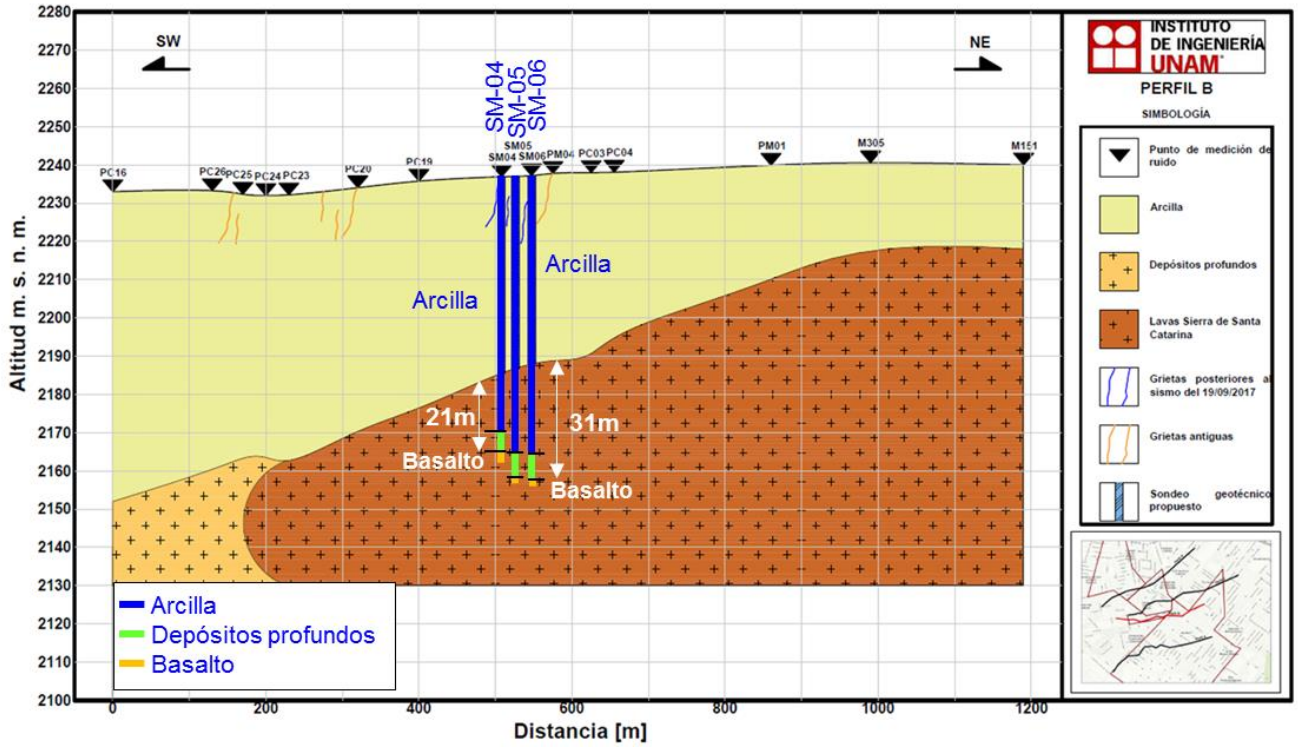


Figura 1.6.9. Perfil A en dirección SW-NE, Deportivo Cananea.

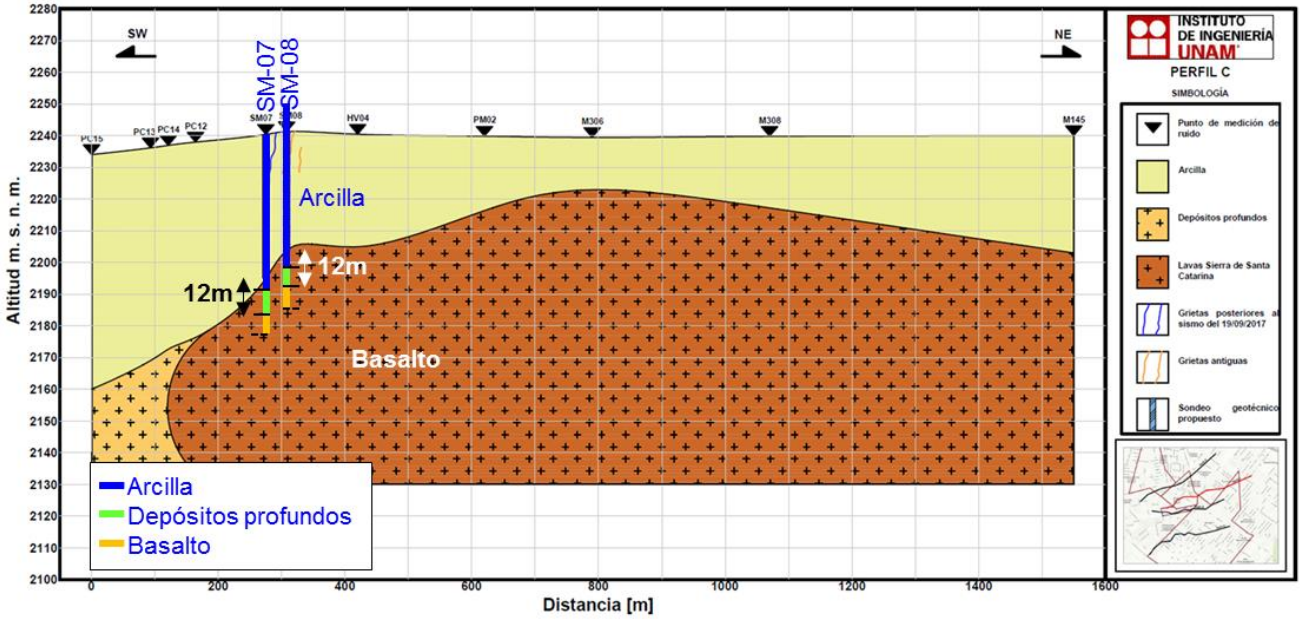


Figura 1.6.10. Perfil A en dirección SW-NE, colonia La Planta.

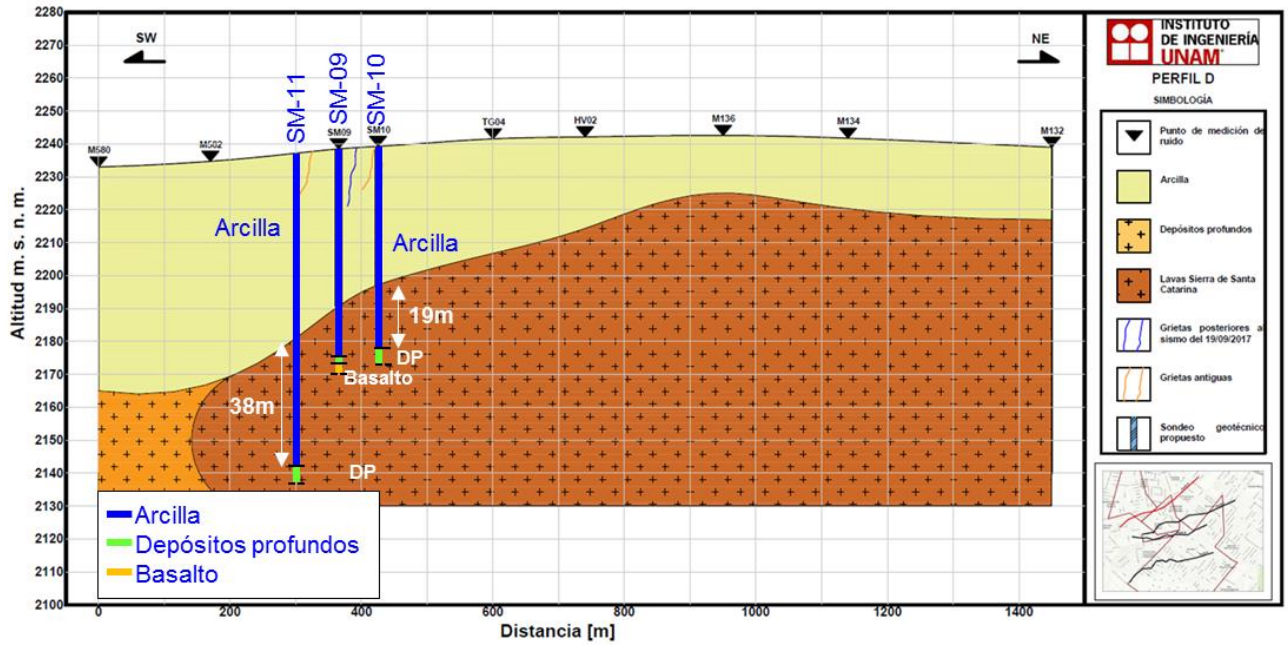


Figura 1.6.11. Perfil A en dirección SW-NE, Colonia Molino Tezonco.

1.7 Interpretación geoestadística de las exploraciones geotécnicas.

Para interpretar las investigaciones geotécnicas en el subsuelo realizadas para evaluar las zonas de agrietamiento, se recurrió a la metodología geoestadística para definir la estratigrafía del subsuelo. Esta teoría se ha aplicado con anterioridad y se han obtenido buenos resultados en el modelado de la distribución de las propiedades geotécnicas y geométricas del subsuelo, ya que permite describir la variación espacial de las propiedades del suelo mediante una técnica predictiva

(*Kriging* o alguna de sus variantes) y estimar valores de estas propiedades en puntos donde no se realizó exploración (Krige, 1962, Matheron, 1965, Auvinet, 2002).

1.7.1 Definición del dominio del campo aleatorio

El conjunto de valores de contenido de agua (w) y de resistencia q_c en CPT, se consideran como un campo aleatorio $V(X)$, con valores distribuidos dentro del dominio R^p con p=3 (caso 3D). Estos datos determinados dentro del dominio R^3 constituyen una muestra del campo aleatorio. La aplicación se realiza en distintos sitios de la zona de interés y se utilizan datos w de 47 sondeos mixtos (SM), de los cuales 11 son de la campaña de exploración 2019 y datos de resistencia q_c en CPT de 10 conos eléctricos, distribuidos como se muestra en las Figuras 1.7.1. y 1.7.2.

Figura 1.7.1. Área de estudio y distribución de los sondeos mixtos (SM).

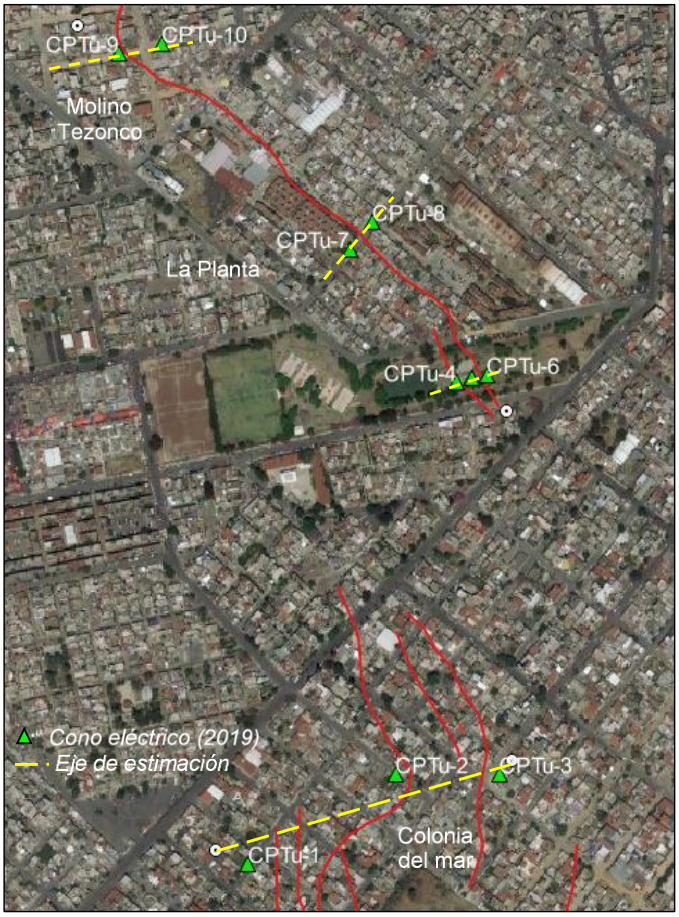


Figura 1.7.2. Área de estudio y distribución de los conos eléctricos (CPT).

Se recurre a la interpretación de estas dos propiedades porque particularmente para el subsuelo Valle de México, el contenido de agua es la propiedad índice que más destaca, especialmente para los materiales cohesivos, debido a las correlaciones que presenta con el tipo de material y con las propiedades mecánicas. También se recurre a la resistencia de punta de cono eléctrico porque permite caracterizar los materiales con base en su rigidez (Auvinet *et al.*, 2017).

1.7.2 Análisis estadístico

A partir de los datos experimentales (de contenido de agua y de resistencia q_c en CPT) y aceptando la hipótesis de ergodicidad de los campos aleatorios, se estiman los principales parámetros estadísticos de las dos propiedades. Los resultados se presentan en la Tabla 1.7.1.

Tabla 1.7.1 Descripción estadística del contenido de agua *w* y de la resistencia q_c en CPT.

Parámetro	Contenido de agua, *w (%)*	q_c en CPT (kPa)
Media	151.2	1444.8
Mediana	146.57	1197.7
Moda	165	5000.0
Desviación estándar	82.4	925.8
Valor mínimo	0.3	206.4
Valor máximo	417.8	5000.0

Los valores de la Tabla 1.7.1 con datos de contenido de agua con magnitud superior a 200% corresponden a las formaciones arcillosas, las magnitudes bajas se asocian a suelos rígidos constituidos por arena y limo. Asimismo, los valores de la tabla indican que los datos de q_c con magnitud inferior a 1000 kPa, corresponden a las formaciones arcillosas, las magnitudes más altas de resistencia, se asocian a suelos con mayor rigidez.

1.7.3 Análisis de tendencia

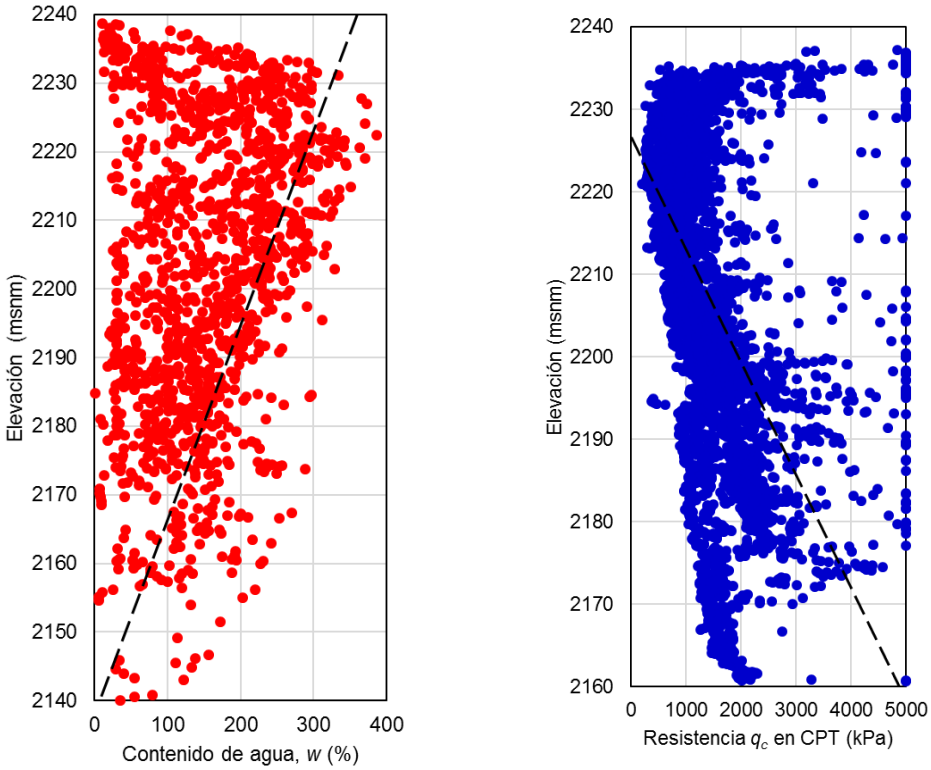
Se entiende por tendencia la variación de los parámetros de interés en planta y con la profundidad.

La tendencia de los campos se representa por un hiperplano con la ecuación lineal $V(X)=ax+by+cz+d$ donde "a, d, c y d" son los coeficientes de regresión lineal, cuyos valores resultantes se indican en la Tabla 1.7.2.

Tabla 1.7.2. Coeficientes de regresión lineal del contenido de agua w y de la resistencia q_c en CPT.

Propiedad	a	b	c	d
w	0.00251	-0.01	-0.76312	1070.549
q_c	0.94351	0.72632	11.3895	-20103350.004

Los coeficientes de la tabla anterior, permiten retirar la tendencia de los datos de w y q_c, es decir permiten transformar el campo original (con tendencia) a un campo residual (sin tendencia). En la Figura 1.7.3, se muestran los perfiles de los campos originales de contenido de agua y de la resistencia de q_c en CPT, donde se aprecia que los valores de w tienden a disminuir con la profundidad, mientras que los datos de resistencia q_c presentan una tendencia a aumentar con la profundidad.



a) Perfiles de contenido de agua b) Perfiles de resistencia q_c en CPT

Figura 1.7.3. Perfiles de las propiedades geotécnicas.

1.7.4 Análisis de correlación espacial

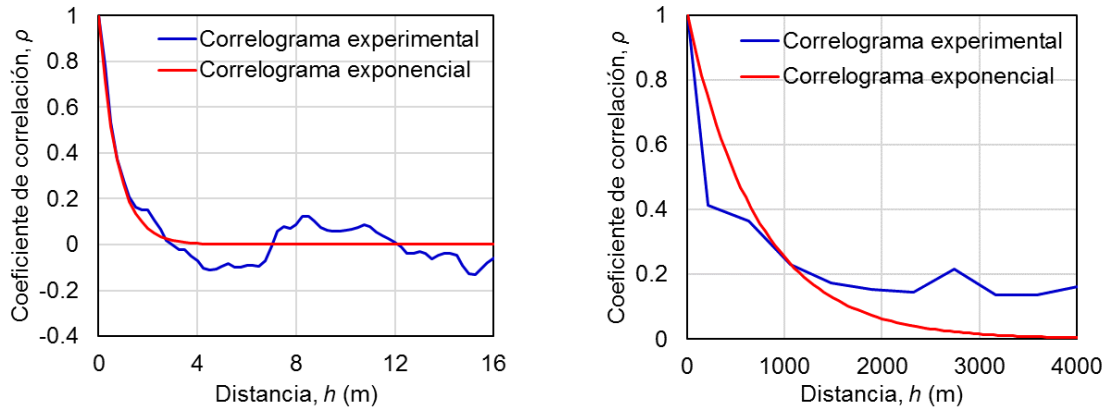
Considerando los datos del campo residual de los 47 sondeos mixtos y de los 10 conos eléctricos, se calcularon los correlogramas direccionales horizontal y vertical para el contenido de agua y para la resistencia q_c en CPT. Con base en estos correlogramas se calcularon las distancias de correlación indicadas en las Tabla 1.7.3.

Tabla 1.7.3. Distancias de correlación direccionales de *w* y de la resistencia q_c en CPT.

Propiedad	Distancia vertical, δ_v (m)	Distancia horizontal, δ_h (m)
Contenido de agua, (*w*)	1.5	1450
Resistencia q_c en CPT	3	350

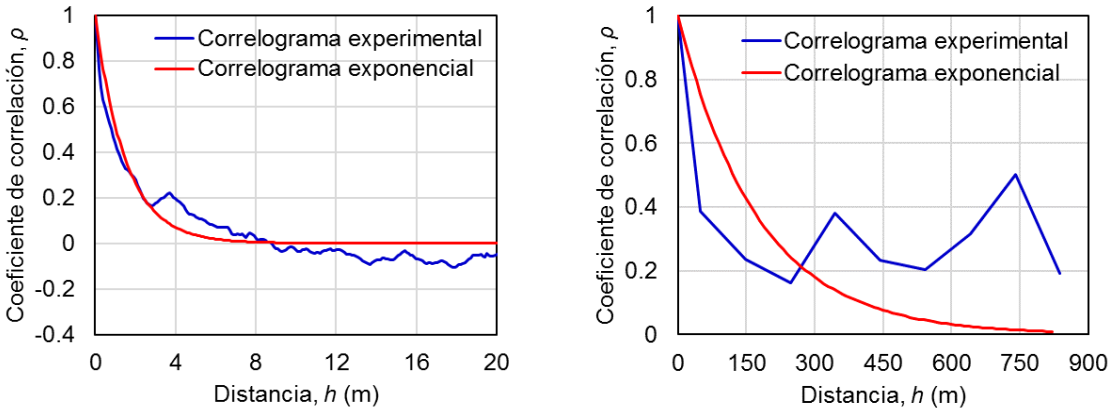
Con base en los valores de la Tabla 1.7.3 y adoptando el modelo exponencial simple de la ecuación (1.7.1), se determinaron los correlogramas direccionales (vertical y horizontal) para el contenido de agua y para la resistencia q_c en CPT, de las Figuras 1.7.4. y 1.7.5.

$$\rho = exp - \left({}^{2\delta}/_{h}\right) \qquad (1.7.1)$$



a) Correlograma vertical b) Correlograma horizontal

Figura 1.7.4. Modelos de correlación espacial de contenido de agua.



a) Correlograma vertical b) Correlograma horizontal

Figura 1.7.5. Modelos de correlación espacial de resistencia q_c en CPT.

1.7.5 Estimación

El contenido de agua y la resistencia q_c en CPT se estimaron de forma puntual empleando la técnica de Kriging, también conocido como del mejor estimador lineal sin sesgo, BLUE, por sus siglas en inglés (Deutsch y Journel, 1992), cuya expresión es la siguiente:

$$V^*(X) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i V(X_i) + \left[1 - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i\right] \mu_v \qquad (1.7.2)$$

donde λ_i son los pesos de influencia y μ_v es la esperanza el campo.

La variante del Kriging aquí empleada, para la estimación de las propiedades geotécnicas es el ordinario (KO), donde no es necesario conocer el valor de la media μ_v del campo (Deutsch y Journel, 1992) imponiendo la siguiente condición de $\sum\lambda_i=1$ en la ecuación (1.7.2). Por tanto, la ecuación de estimación del Kriging Ordinario se define como:

$$V^*(X) = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i V(X_i) \qquad (1.7.3)$$

El valor de la varianza del error minimizado asociado a la estimación ($\sigma^2_{EK}(X)$), se obtiene con la siguiente expresión:

$$\sigma^2_{EK}(X) = Var[V(X)] + \mu - \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \, C(X_n - X_i) \qquad (1.7.4)$$

donde *Var [V(X)] es la varianza del campo y μ es el multiplicador de Lagrange.*

La estimación de *w* y de la resistencia q_c en CPT S se realizó a lo largo de cuatro ejes preferenciales (Colonia del Mar, Deportivo Cananea, Colonia la Planta y Colonia Molino Tezonco) definidos en dirección perpendicular a la trayectoria de las grietas, como se indica en las Figuras 1.7.1 y 1.7.2. La malla de estimación de cada uno de los ejes está definida por un paso de cálculo vertical de 0.25 m para el *w* y 0.10 m para la resistencia q_c en CPT, la profundidad máxima de estimación fue de 100 m y 70 m, para el contenido de agua y la resistencia q_c en CPT respectivamente.

De acuerdo con trabajos recientes (Auvinet, 2019, Arthur Casagrande Lecture), en el caso del contenido de agua, es posible mostrar que la estimación realizada por esta técnica lleva a una sobrestimación del valor esperado que puede ser significativa. Este sesgo puede ser corregida, sin embargo, esta corrección no se ha aplicado en los resultados presentados a continuación.

1.7.6 Mapeo

Para facilitar la interpretación de los valores tabulares de contenido de agua *w* y de resistencia q_c en CPT obtenidos en el análisis geoestadístico, se recurre a técnicas de graficación avanzada para elaborar secciones transversales que facilitan la interpretación de la distribución espacial de ambas propiedades. En las Figuras 1.7.6 a 1.7.13 se muestran por sitio las secciones estimadas en cada uno los ejes preferenciales definidos en las distintas colonias de las Alcaldías de Iztapalapa y Tláhuac, en el siguiente orden:

I. Colonia del Mar
II. Deportivo Cananea
III. Colonia La Planta
IV. Colonia Molino Tezonco

En cada uno de los sitios se buscó complementar la interpretación de la estratigrafía del subsuelo, contrastando y comparando las distribuciones de contenido de agua y de la resistencia q_c en CPT. Adicionalmente, se incluye la sección transversal donde se indica la incertidumbre (desviación estándar) asociada a la estimación de cada una de las propiedades.

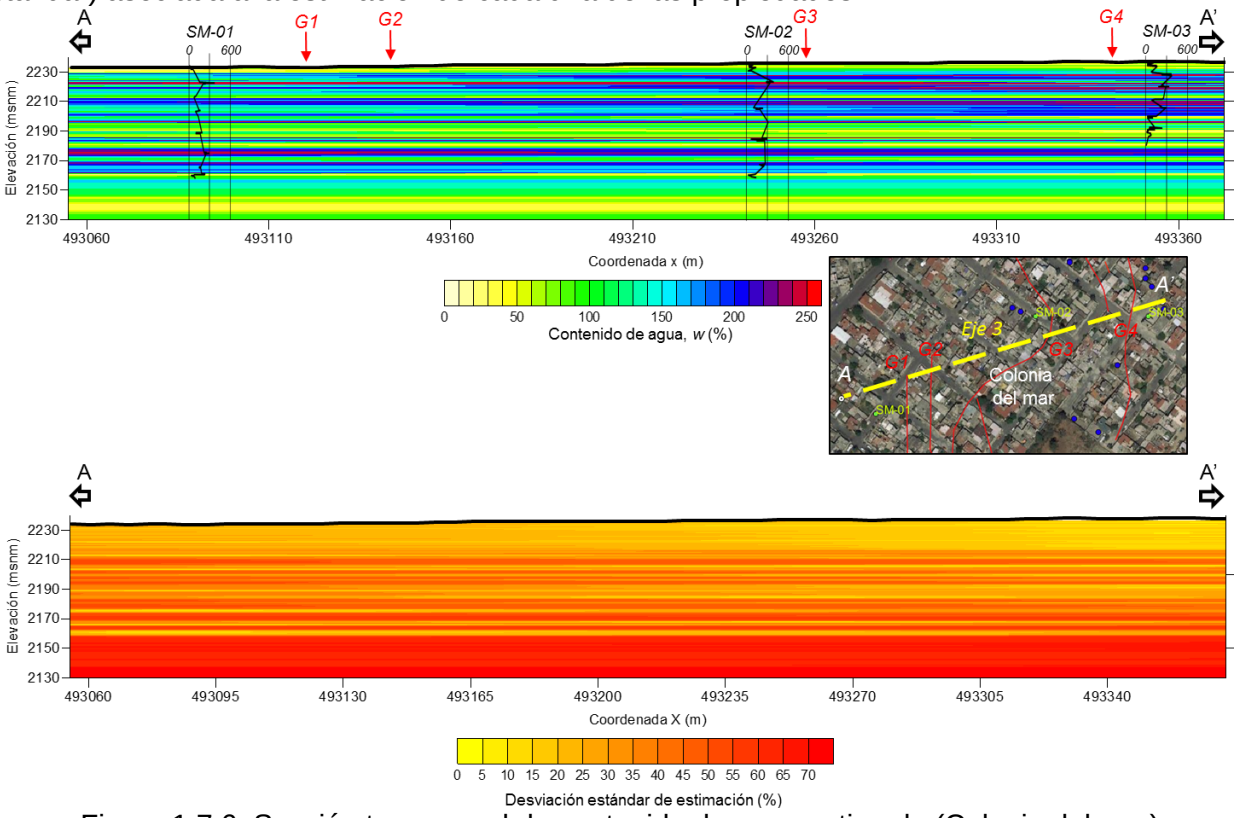


Figura 1.7.6. Sección transversal de contenido de agua estimado (Colonia del mar)

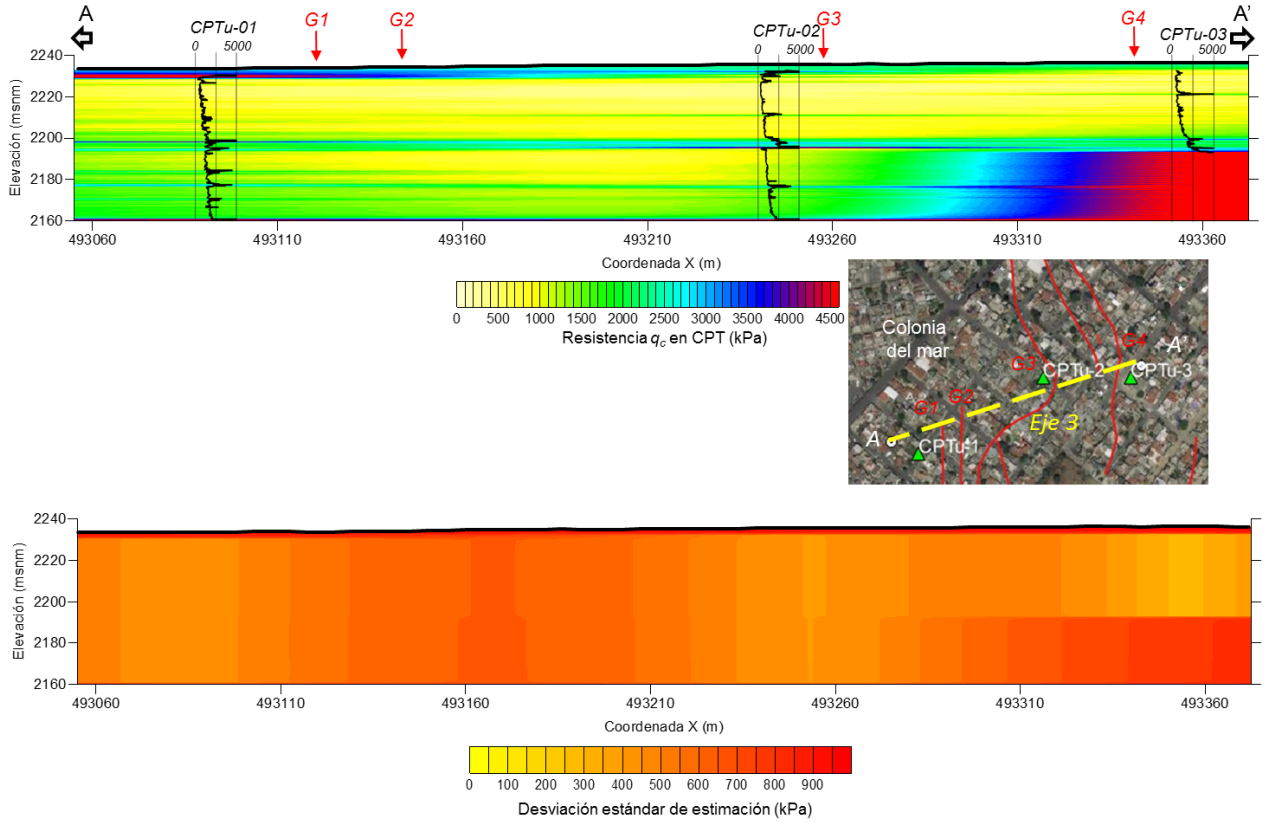


Figura 1.7.7. Sección transversal de resistencia q_c en CPT estimada (Colonia del Mar)

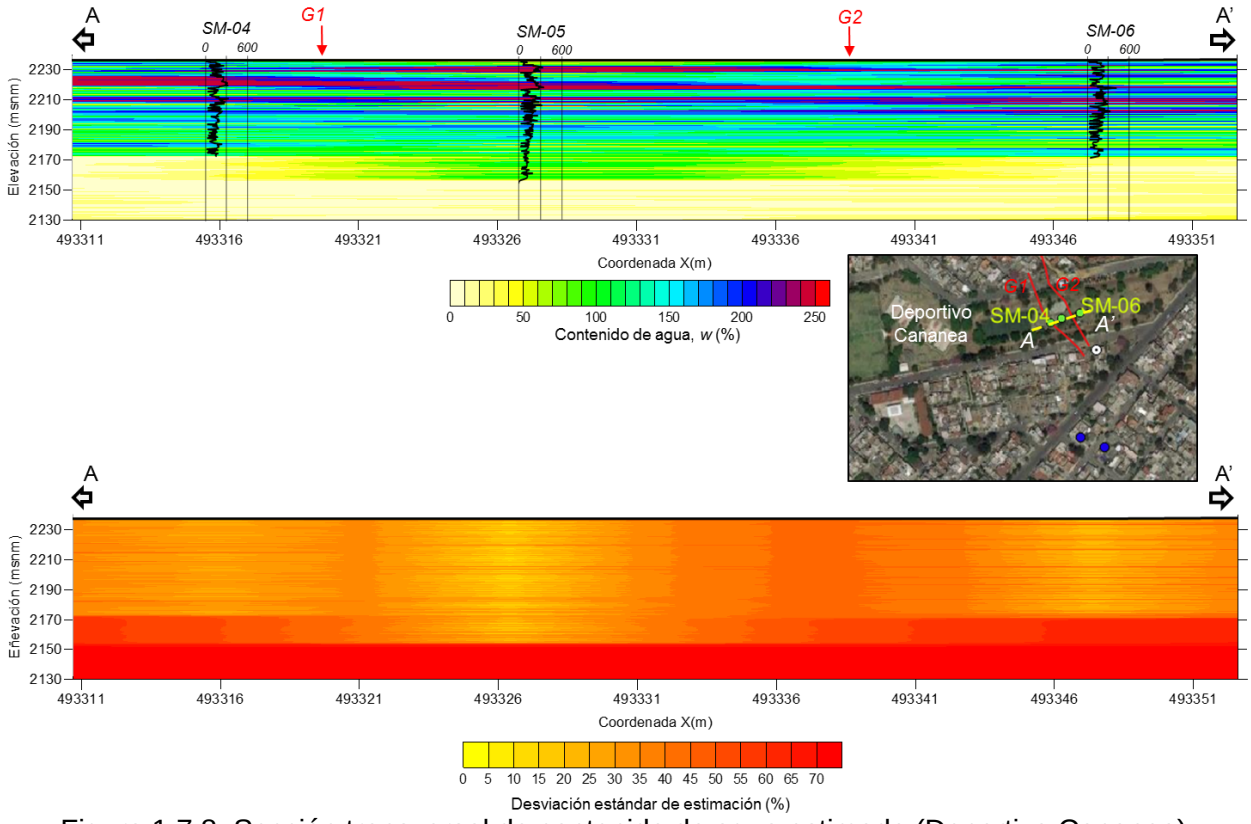


Figura 1.7.8. Sección transversal de contenido de agua estimado (Deportivo Cananea).

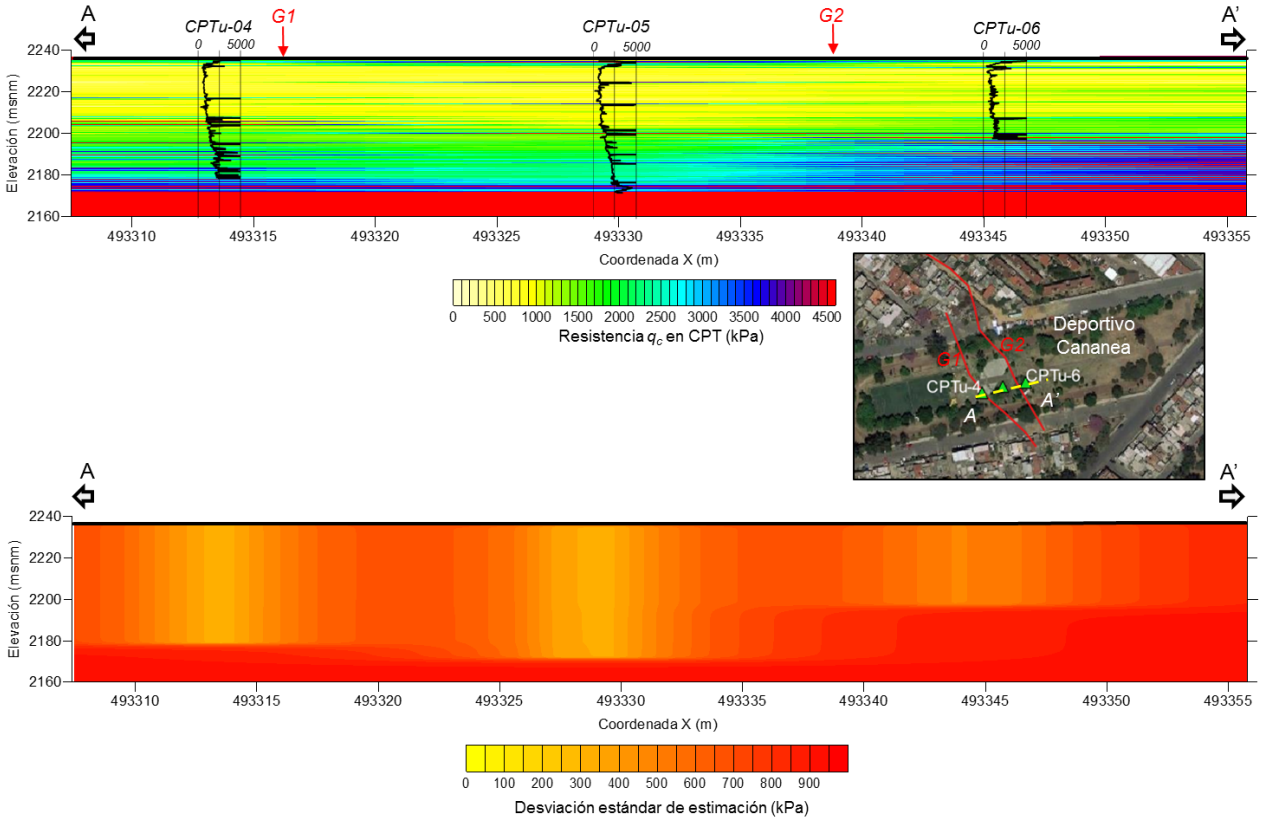


Figura 1.7.9. Sección transversal de resistencia q_c en CPT estimada (Deportivo Cananea).

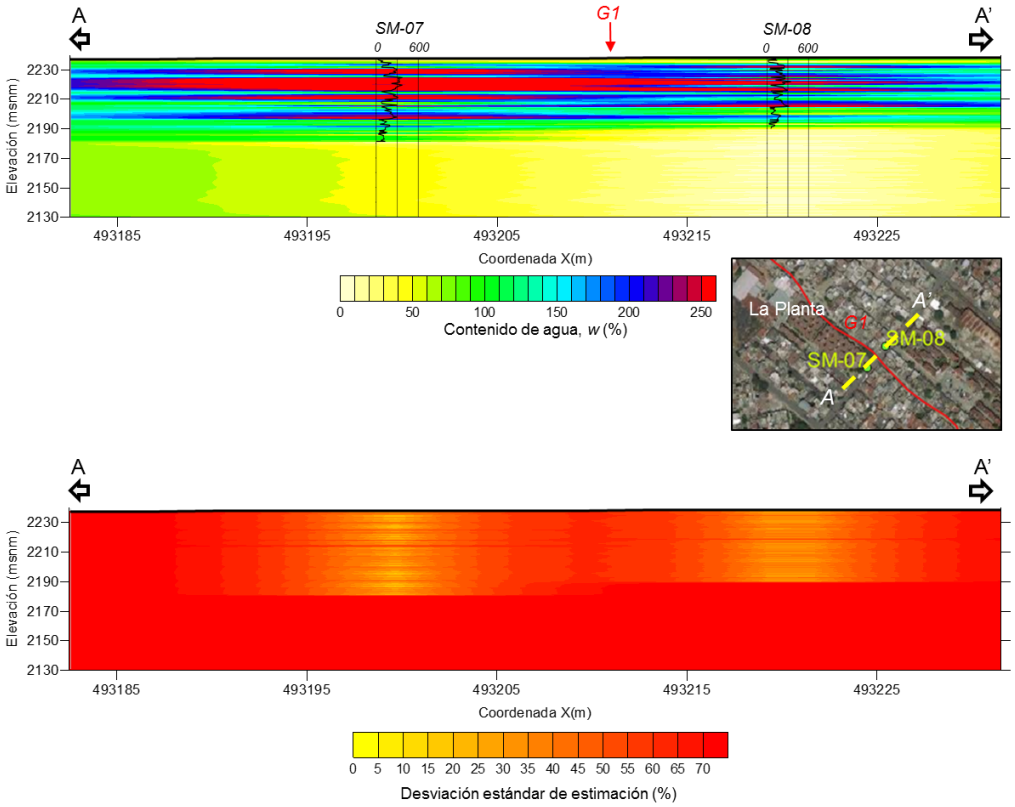


Figura 1.7.10. Sección trasversal de contenido de agua estimado (Colonia La Planta).

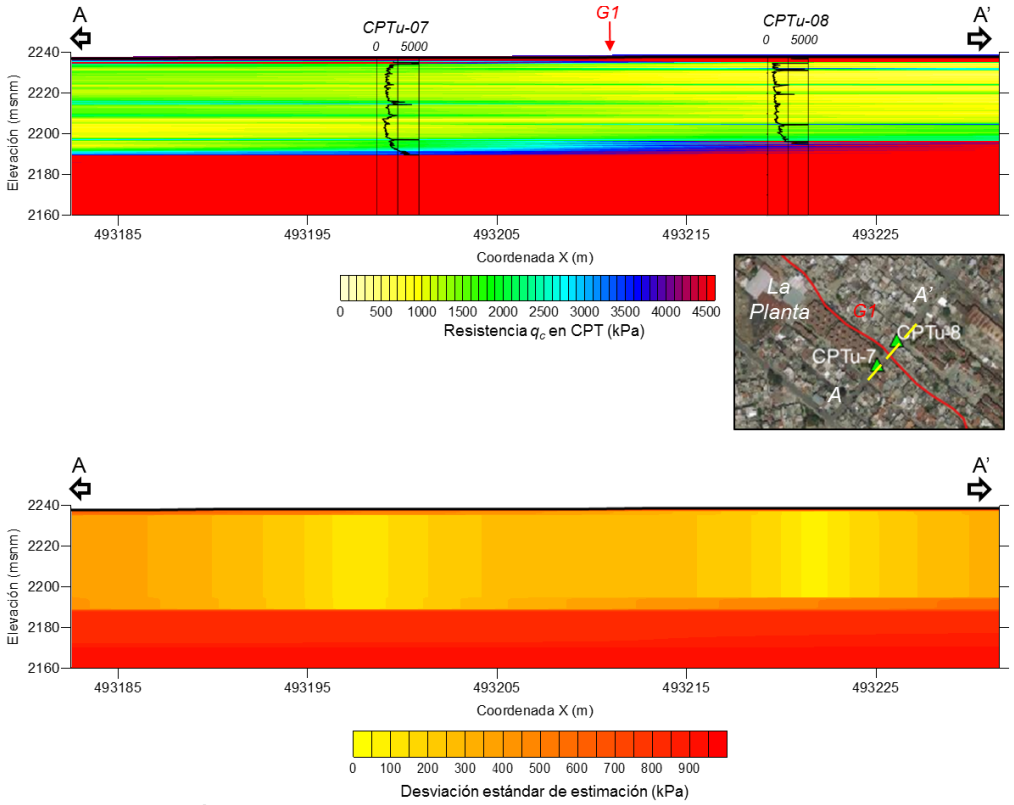


Figura 1.7.11. Sección trasversal de resistencia q_c en CPT estimada (Colonia La Planta).

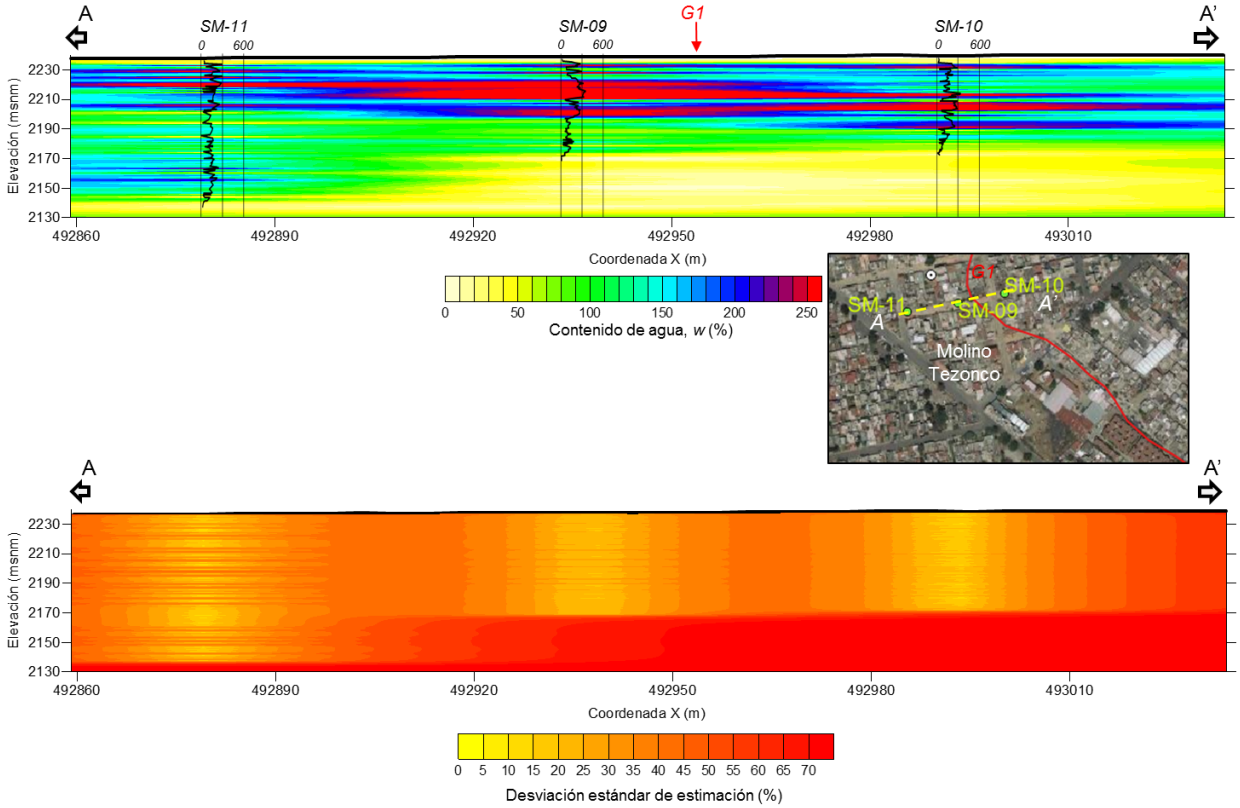


Figura 1.7.12. Sección transversal de contenido de agua estimado (Colonia Molino Tezonco).

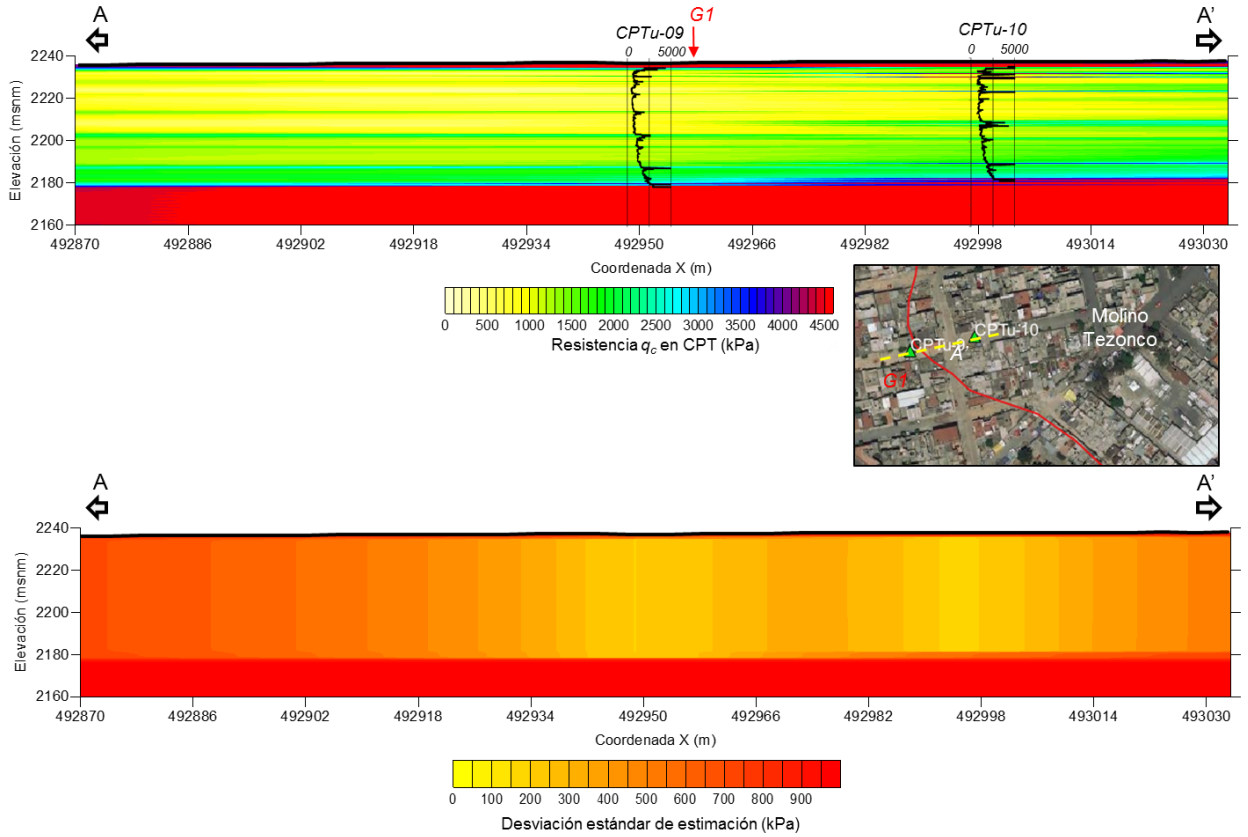


Figura 1.7.13. Sección transversal de resistencia q_c en CPT estimada (Colonia Molino Tezonco).

1.7.7 Interpretación

Con base en las secciones transversales estimadas de contenido de agua y de resistencia q_c en CPT y de acuerdo con la escala de colores, se observa lo siguiente:

Colonia del Mar

La sección transversal de contenido de agua (Figura 1.7.6.) no permite identificar claramente las distintas formaciones debido a que las mediciones de esta propiedad están concentradas en algunos intervalos del perfil, lo cual se ve reflejado en los altos valores de la desviación estándar. Sin embargo, puede observarse que en la parte superior hay una capa delgada con mayor espesor hacia la parte oeste que corresponde a la costra superficial (CS); bajo este material se encuentra los valores más altos de contenido de agua hacia la parte oeste que integran la Formación Arcillosa Superior (FAS) con algunas intercalaciones de materiales con bajo contenido de agua que pertenecen a lentes intercalados. No es posible definir con claridad la frontera de los depósitos profundos.

Con base en la distribución de la resistencia q_c en CPT (Figura 1.7.7), se puede apreciar la distribución de material altamente resistente únicamente en la parte noroeste (A'), mientras que en el resto de la sección únicamente se aprecian delgadas intercalaciones de materiales rígidos, y no se observa con claridad la configuración de los depósitos profundos a lo largo de los 100 m de profundidad estimados.

Deportivo Cananea

De acuerdo con los resultados obtenidos y con base en la escala de colores del contenido de agua, se aprecia en la parte superior de la sección transversal (Figura 1.7.8.) una capa delgada con mayor espesor en la parte central, integrada por materiales de bajo contenido de agua que corresponden a la Costra Superficial (CS); debajo de este material se encuentra la Formación Arcillosa Superior (FAS), conformada por materiales con contenido de agua del orden de 400 % que corresponden al estrato altamente compresible, con algunas intercalaciones de materiales con bajo contenido de agua que se asocian con la presencia de algunos lentes limo-arenosos. Finalmente, en la parte más profunda de la sección, se tienen los valores más bajos del contenido de agua que corresponden a los Depósitos Profundos (DP). Como se observa en la parte central de la sección, hay un desnivel del orden de 14 m en forma convexa.

La distribución de los valores de resistencia q_c en CPT (Figura 1.7.9), confirma lo observado en la distribución del contenido de agua, con un desnivel convexo en la configuración de los Depósitos Profundos en la parte central de la sección

Colonia La Planta

De acuerdo con los resultados obtenidos y con base en la escala de colores del contenido de agua, se aprecia en la parte superior de la sección (Figura 1.7.10.) una capa delgada de espesor variable con valores bajos de contenido de agua, que integran la Costra Superficial (CS), bajo este material se encuentra la Formación Arcillosa Superior (FAS) donde se tienen altos valores de contenido de agua, del orden de 400% con algunas intercalaciones de valores bajos que se asocian con la presencia de lentes limo-arenosos, esta formación presenta mayor espesor en la dirección noreste (A') y menores en la suroeste (A), bajo este material la configuración de tienen los Depósitos Profundos donde se puede ver un desnivel en forma de escalón del orden de 10 m en la parte central de la sección.

Por otra parte, la distribución espacial de la resistencia q_c en CPT (Figura 1.7.11) permite verificar la configuración de las distintas formaciones del subsuelo definidas con base en el contenido de agua.

Colonia Molino Tezonco

De acuerdo con los resultados obtenidos y con base en la escala de colores del contenido de agua, se observa en la parte superior de la sección transversal (Figura 1.7.12.) una capa de espesor aproximadamente constante con valores bajos de contenido de agua que corresponden a la Costra Superficial (CS), bajo esta formación se la Formación Arcillosa Superior (FAS) con valores de contenido de agua del orden de 400%, concentrados en la parte central de la sección, hacia la parte A' se aprecia que la FAS tiene el mayor espesor, del orden de 90 m. En la parte más profunda de la sección se tienen los valores más bajos de contenido de agua que integran los Depósitos Profundos (DP), esta formación tiende a disminuir con la profundidad de la dirección este a oeste (dirección A'-A) y se observa un desnivel de aproximadamente 25 m, con una pendiente del orden de 60° en el primer tercio de la sección.

Por otra parte, la sección con la distribución de resistencia q_c (Figura 1.7.13.) permite identificar de forma aproximada la frontera entre la parte arcillosa y el estrato más resistente que son los depósitos profundos (DP), esta última formación presenta una tendencia a disminuir en profundidad de dirección este a oeste, la transición de esta formación puede apreciarse con mayor detalle en la sección del contenido de agua.

1.7.8 Conclusiones

La aplicación de la metodología geoestadística es una herramienta útil para la interpretación de la distribución de las propiedades geotecnias del subsuelo de un sitio, con base en información proveniente de exploraciones geotécnicas como sondeos mixtos y cono eléctrico.

Finalmente contar con modelos (perfiles y secciones transversales) que describen la distribución espacial del contenido de agua (w) y de la resistencia q_c en CPT, permiten realizar una mejor caracterización del sitio, eliminando parte de la subjetividad introducida en las interpretaciones tradicionales. Asimismo, estos modelos permiten identificar de forma sencilla y clara la presencia de anomalías en el subsuelo.

En el caso que nos interesa, en la estratigrafía destaca la existencia de desniveles bruscos en la profundidad de los depósitos profundos (materiales piroclásticos o coladas de basalto) Las implicaciones mecánicas de estos desniveles se analizan en la sección 3.

2. EVALUACIÓN DETALLADA DEL FENÓMENO DE SUBSIDENCIA REGIONAL EN LAS ZONAS AFECTADAS

2.1 Objetivo e información disponible

La zona lacustre del valle de México está sometida a un proceso de hundimiento regional atribuible al bombeo de agua desde los acuíferos locales. Los trabajos realizados como parte de la operación del Sistema de Monitoreo del Hundimiento (SIMOH) por el II-UNAM en colaboración con CONAGUA, SACMEX, y CAEM han permitido elaborar un mapa de velocidades del hundimiento anual (Fig. 2.1.1).

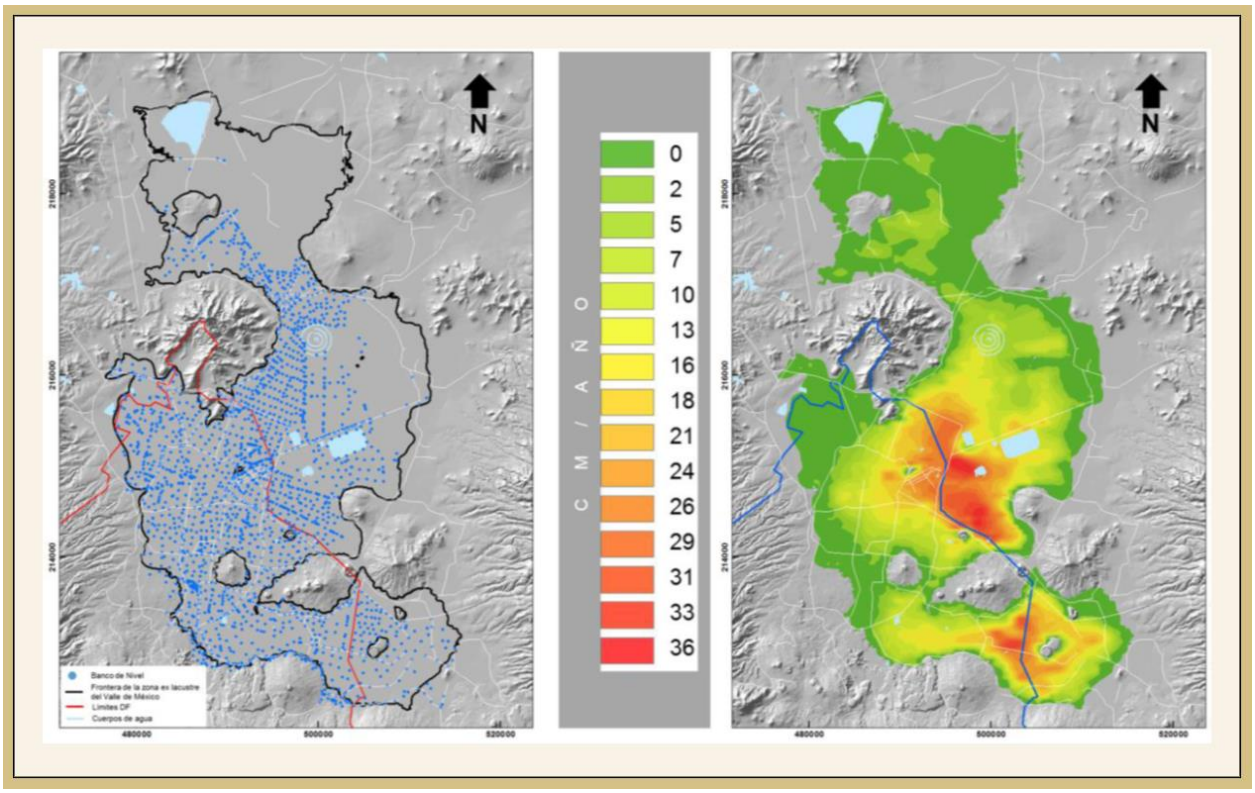


Fig. 2.1.1 Bancos de nivel y velocidad de hundimiento anual (periodo 1999-2008)

La figura 2.1.2 muestra a mayor escala la velocidad de hundimiento para la zona de interés. Se observa que la velocidad de hundimiento de la superficie del suelo lacustre alrededor de la sierra de Santa Catarina es del orden de 18cm/año.

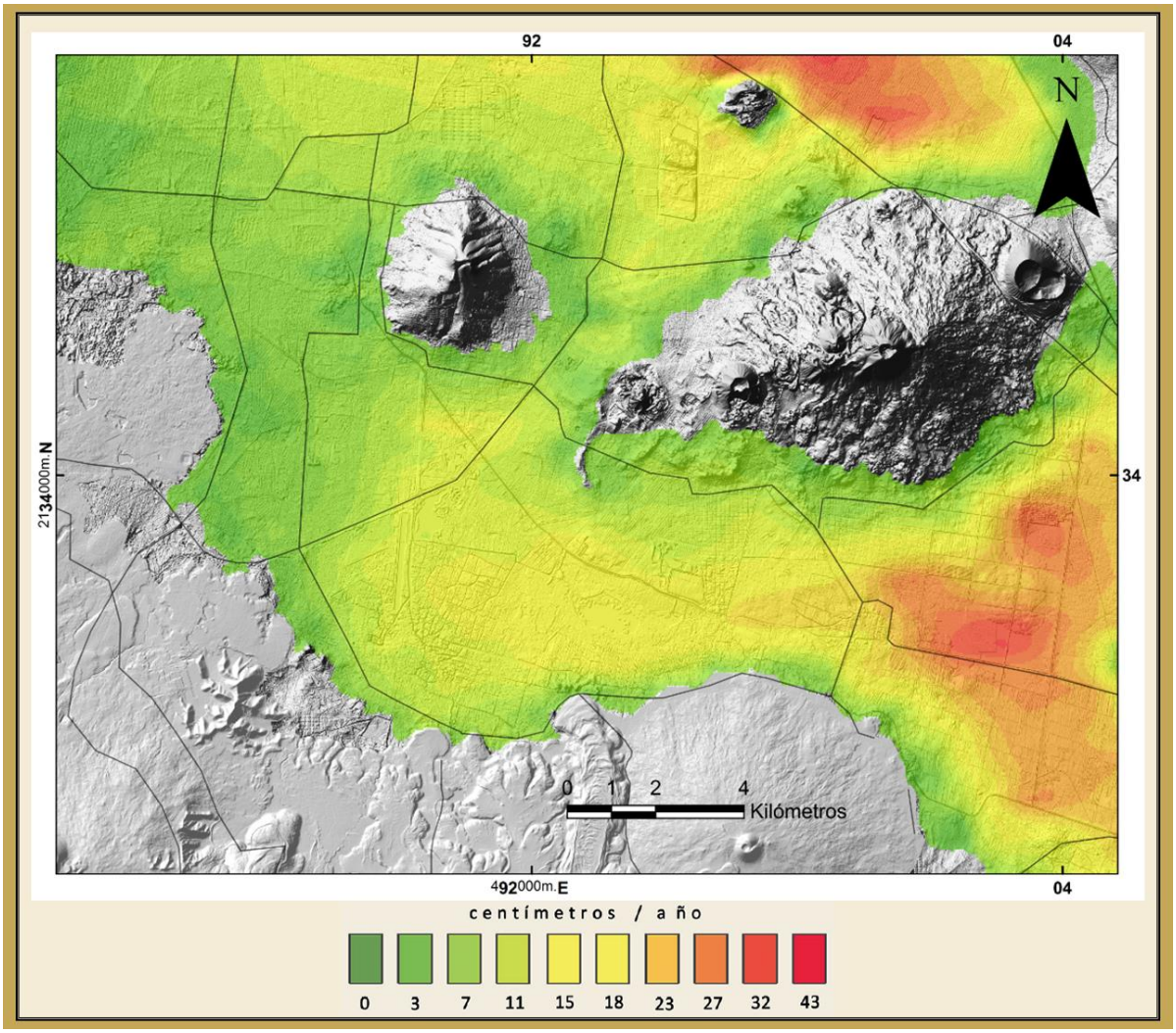


Fig. 2.1.2 Velocidad de hundimiento anual en la zona de interés (periodo 1999-2008)

Como parte del presente proyecto fue posible actualizar las tendencias en la velocidad de hundimiento en la zona de interés.

La evaluación actualizada del fenómeno de subsidencia regional en las zonas afectadas se basó en las nivelaciones topográficas de una red de 1014 Bancos de Nivel Superficiales (BN) realizadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) en diferentes fechas a lo largo de varios años (1983 – 2017).

2.2 Datos de Bancos de Nivel Superficiales

Se realizó una evaluación del hundimiento regional para la zona sur de la Ciudad de México que incluye la zona de suelo lacustre de las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta, afectadas por la presencia de grietas en el suelo. En la Figura 2.2.1, se indica la ubicación de los BN ubicados en el área de estudio, las coordenadas (x, y) definen la posición de los bancos en el sistema de referencia UTM, Datum WGS84, Zona 14 Norte. La mayoría de los BN se ubican dentro de la Ciudad de México y escasamente algunos en el Estado de México.

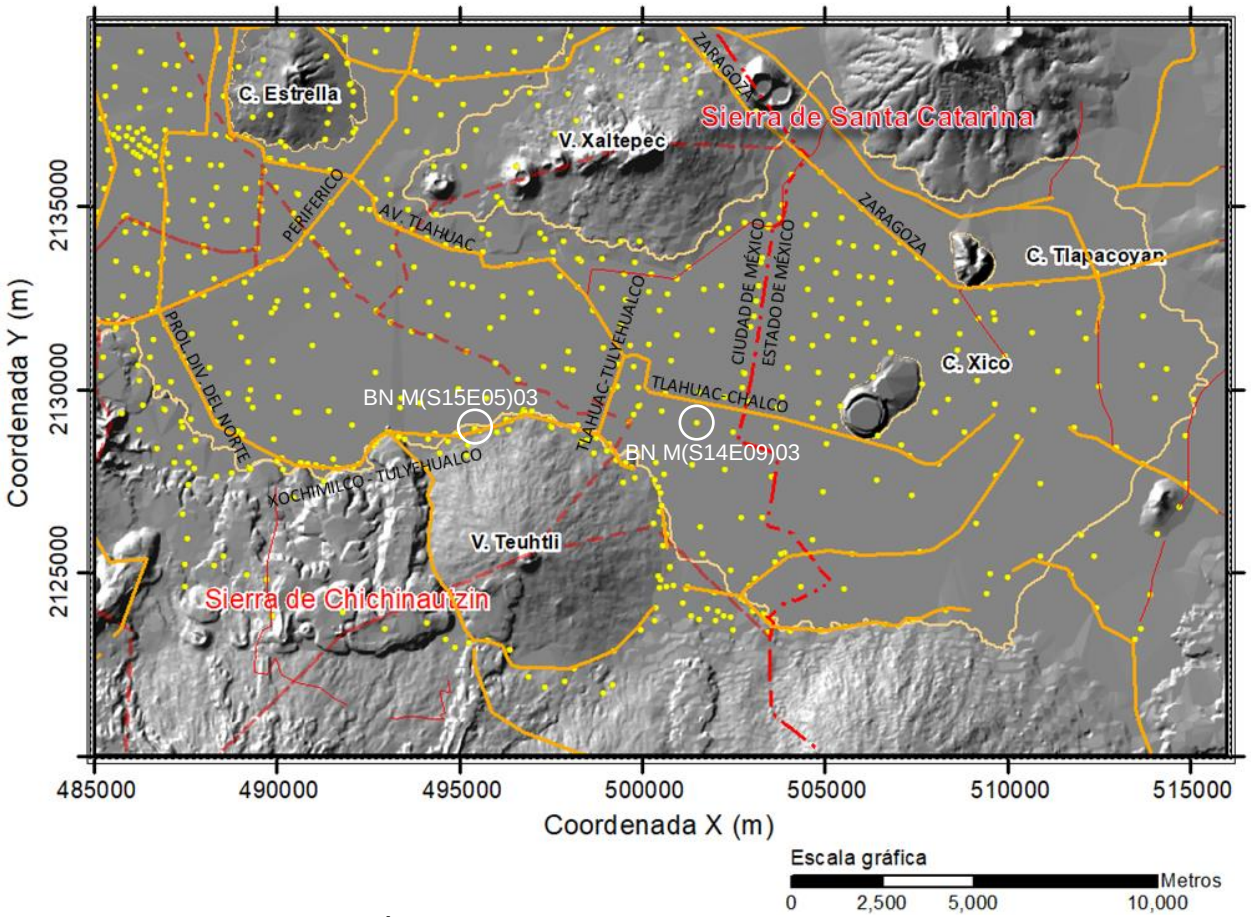


Figura 2.2.1 Área de estudio y ubicación de los bancos de nivel.

Cada BN cuenta con datos de elevaciones medidas en diferentes fechas a lo largo de varios años (1983 – 2017). En la Tabla 2.2.1, se presenta una muestra de los datos almacenados en la base de datos. Con base en los datos de elevación medida en diferentes fechas, es posible determinar la magnitud o velocidad de hundimiento para cualquier periodo de tiempo de interés.

La determinación de la velocidad de hundimiento se realizó por regresión lineal de mínimos cuadrados, donde la pendiente representa la velocidad de hundimiento. En las figuras 2.2.2 y 2.2.3, se ilustra la gráfica de evolución de elevaciones y de la velocidad de hundimiento determinada para los BN M(S14E09)03 y BN M(S15E05)03 respectivamente, la ubicación se indica en la Figura 2.2.1.

Tabla 2.2.1 Base de datos de elevaciones de los BN.

NÚMERO CONSECUTIVO	NOMBRE DEL BANCO	UTM (X)	UTM (Y)	1983	1985
1766	M(S14E09)02	499901.20	2129543.15	2236.18	2235.98
1767	M(S14E09)03	499660.22	2129137.61	2236.63	2236.31
1774	M(S15E03)02	490177.42	2128155.89	2240.17	2240.05
1781	M(S15E05)03	492106.63	2127892.51	2240.80	2240.70
680	B(S10E04)01	490575.81	2135364.22	2235.44	2235.13
758	B(S12E01)02	485831.58	2132571.85	2238.52	2238.44

1987	1989	1992	1994	1996	1998
2235.83	2235.42	2234.97	2234.62	2234.57	2234.14
2236.11	2235.82	2235.25	2234.82	2234.29	2233.81
2240.00	2239.79	2239.59	2239.43	2239.21	2239.04
2240.66	2240.54	2240.42	2240.32	2240.19	2240.09
2234.90	2234.55	2234.31	2234.13	2234.02	2233.88
2238.39	2238.18	2238.15	2238.08	2238.04	2238.00

2000	2002	2005	2007	2017	VELOCIDAD DE HUNDIMIENTO (cm/año)
2233.75	2233.29	2232.63	2232.15	2229.98	18.0
2233.40	2232.94	2232.30	2231.84	2229.73	20.8
2238.92	2238.81	2238.68	2238.60	2238.12	6.5
2240.01	2239.93	2239.82	2239.76	2239.46	4.2
2233.78	2233.67	2233.52	2233.38	2233.11	6.9
2237.95	2237.92	2237.90	2237.91	2237.79	2.2

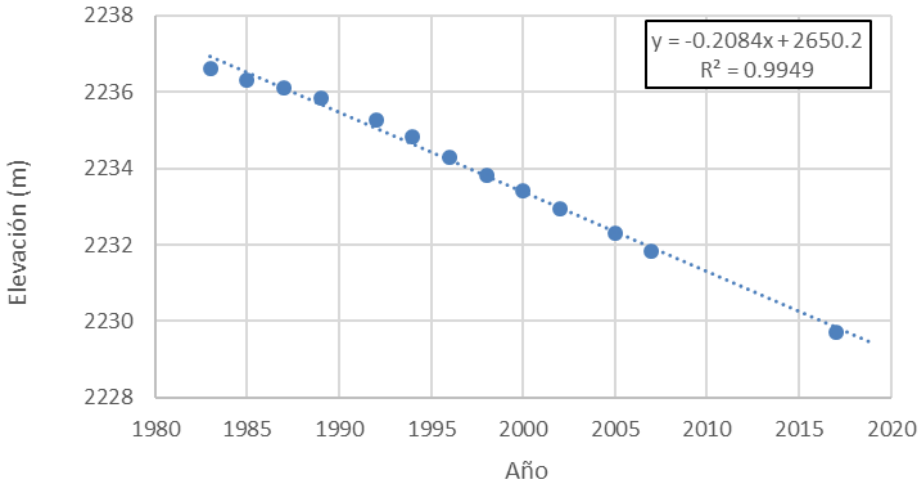


Figura 2.2.2 Evolución de elevaciones y de velocidad de hundimiento, BN M(S14E09)03.

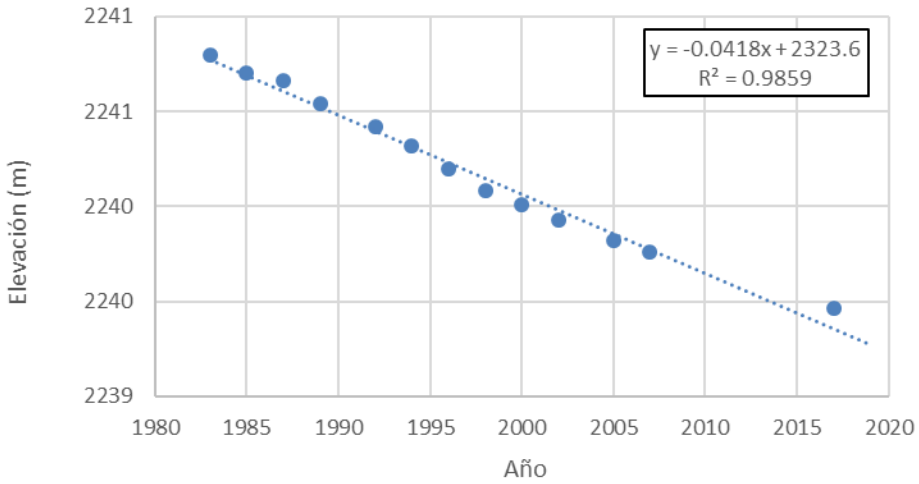


Figura 2.2.3 Evolución de elevaciones y de velocidad de hundimiento, BN M(S15E05)03.

2.3 Análisis de la distribución espacial de la velocidad de hundimiento

Con el propósito conocer la distribución espacial de la velocidad de hundimiento en la Ciudad de México, se ha empleado la metodología geoestadística para construir un mapa de contornos de la velocidad de hundimiento considerando los datos del periodo 1983-2017.

La velocidad de hundimiento representa un campo aleatorio *V(X)*, distribuido dentro de un espacio R^P, con $p = 2$ (área de estudio). El conjunto de valores medidos dentro del dominio R^P, constituye una muestra de ese campo aleatorio. La aplicación se realiza en un área aproximada de 450 km^2, en la zona sur de la ciudad de México, mostrada en la Figura 2.1.1.

2.3.1 Análisis estadístico

Aceptando las condiciones de homogeneidad y ergodicidad (es decir, que sus parámetros pueden ser estimados a partir de una sola realización del campo aleatorio en estudio), se estiman sus principales parámetros estadísticos (Tabla 2.3.1).

Tabla 2.3.1 Parámetros estadísticos de la velocidad de hundimiento.

PARÁMETRO	VALOR
No. de datos	1014
Media, (m)	-0.14
Varianza, σ^2(m^2)	0.009
Desviación estándar, σ(m)	0.094
Coeficiente de variación, CV	0.67

2.3.2 Análisis de correlación espacial

Un análisis de regresión lineal buscando ajustar a los datos un plano de ecuación $V = ax+by+c$, da los coeficientes siguientes:

a = -1.2768E-05 b = -5.5579E-06 c = 18.05

Con los anteriores coeficientes se representa la tendencia del campo aleatorio mediante una superficie de regresión lineal (Figura 2.2.1).

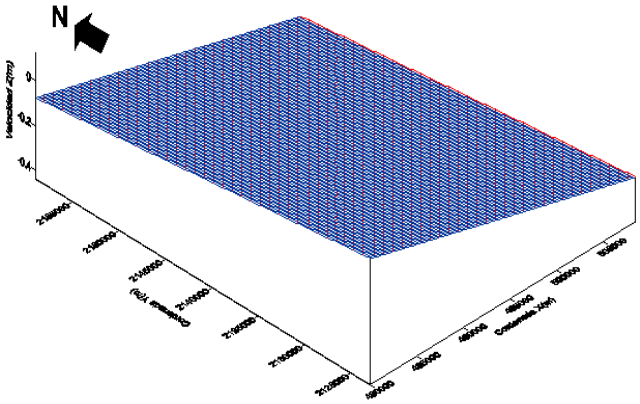


Figura 2.3.1 Superficie de regresión lineal de la velocidad de hundimiento.

La Figura 2.3.2 muestra que al poniente la velocidad de hundimiento es menor y aumenta hacia el centro de la ciudad de México. Esta tendencia es considerada en el análisis de correlación espacial y en la estimación.

En este caso en particular, existen dos opciones para estimar los correlogramas experimentales direccionales. La primera es considerar el campo aleatorio original (con tendencia) y la segunda es convertir el campo aleatorio no estacionario a uno que si lo sea. Esto puede lograrse eliminando la tendencia del campo original, obteniendo así un campo aleatorio estacionario, es decir sin tendencia. En ambos casos, las funciones de autocorrelación direccionales se estiman en cuatro direcciones principales, definidas como sigue: α_1 = Azimut 0° (N-S, eje *Y*); α_2 = Azimut 45° (NE-SW); α_3 = Azimut 90° (E-W, eje *X*); α_4 = Azimut 135° (SE-NW), con un paso de cálculo; Δh = 250 m. En la Figura 2.2.2 se presenta los correlogramas experimentales direccionales para el campo residual (estacionario).

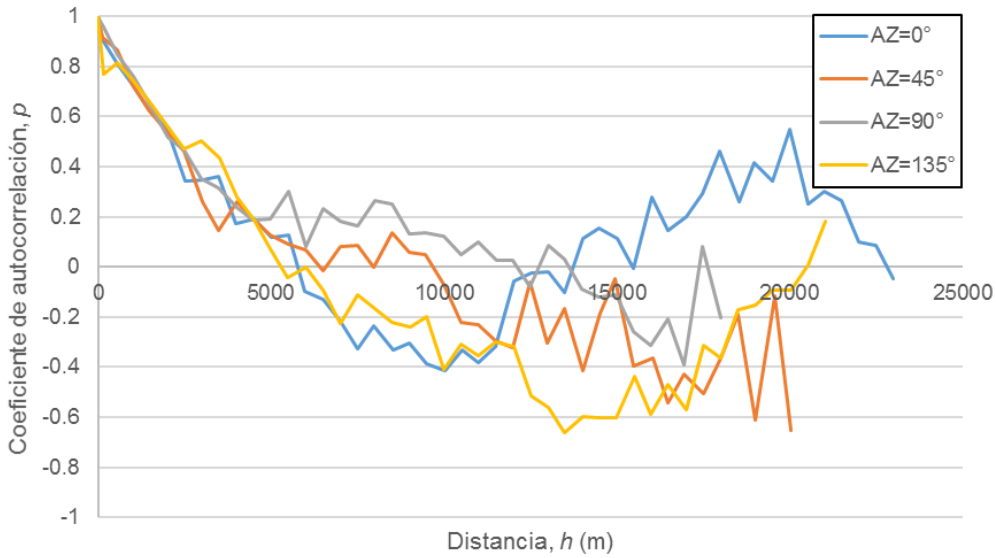


Figura 2.3.2 Correlogramas experimentales direccionales de la velocidad de hundimiento.

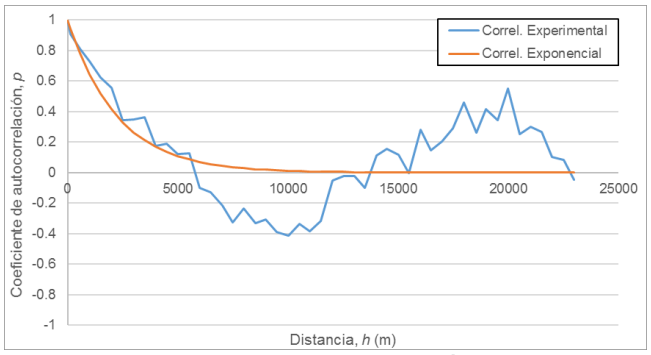
Las distancias de influencia o correlación direccionales (δ), presentadas en la Tabla 2.2.2, son estimadas a partir de los correlogramas experimentales direccionales de la Figura 2.2.2.

Tabla 2.3.2 Distancias de correlación direccionales de la velocidad de hundimiento.

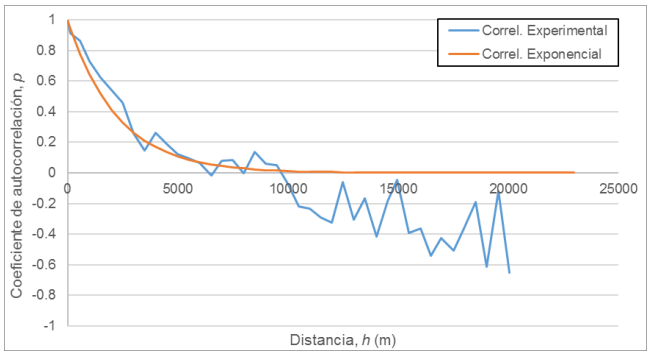
DIRECCIÓN (GRADOS)	δ (m)
AZ = 0°	4500
AZ = 45°	5000
AZ = 90°	6000
AZ = 135°	5500

Los correlogramas experimentales direccionales de la Figura 2.3.2 son ajustados a una función de tipo exponencial simple, los cuales se muestran en la Figura 2.3.3.

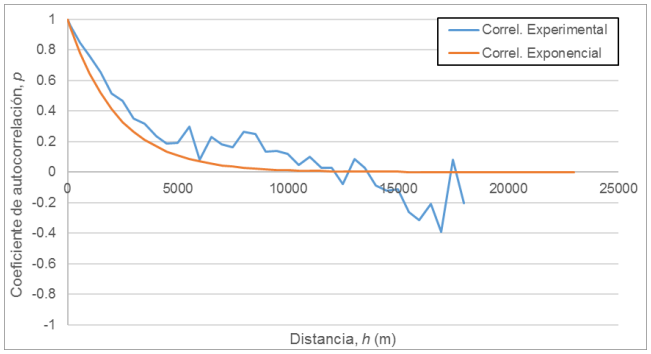
De acuerdo con los resultados de la Tabla 2.3.2, la mayor correlación de los datos se presenta en la dirección E-W y la menor en la dirección N-S. Para la estimación presentada a continuación se emplean conservadoramente la distancia de correlación correspondiente a las direccione Az = 45° y Az = 135°.



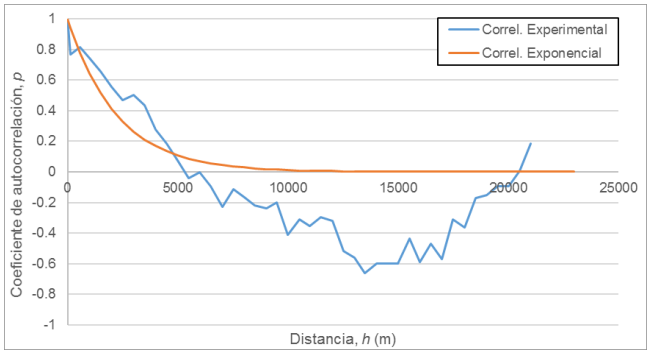
a) Correlograma dirección Az = 0°



b) Correlograma dirección Az = 45°



c) Correlograma dirección Az = 90°



d) Correlograma dirección Az = 135°

Figura 2.3.3 Correlogramas experimentales y exponenciales de la velocidad de hundimiento.

2.3.3 Estimación

La estimación de las esperanzas condicionales del campo aleatorio se realiza empleando la técnica del *Kriging Ordinario,* con los datos del campo residual y las distancias de correlación obtenidas. La estimación final se obtiene reincorporando la tendencia a los resultados de la estimación puntual.

Utilizando los modelos de correlación y los datos (Tabla 2.3.2), se genera la malla de estimación, la cual queda definida por puntos separados a cada 250 m. en las direcciones (X, Y).

Los resultados de la estimación consisten en un conjunto de valores tabulados ordenados en la forma: coordenada *X* e *Y,* el valor estimado *V*(X)* y la varianza de estimación, para cada punto de la malla. La varianza de estimación eventualmente puede sustituirse por la desviación estándar.

2.2.4 Visualización

La interpretación de los resultados numéricos obtenidos en la estimación no es sencilla, por lo que, conviene recurrir a la técnica de mapeo y construir un mapa de contornos a partir de los valores puntuales estimados que permita apreciar fácilmente, en forma visual, la distribución espacial de la velocidad de hundimiento dentro del área estudiada, Figura 2.3.4.

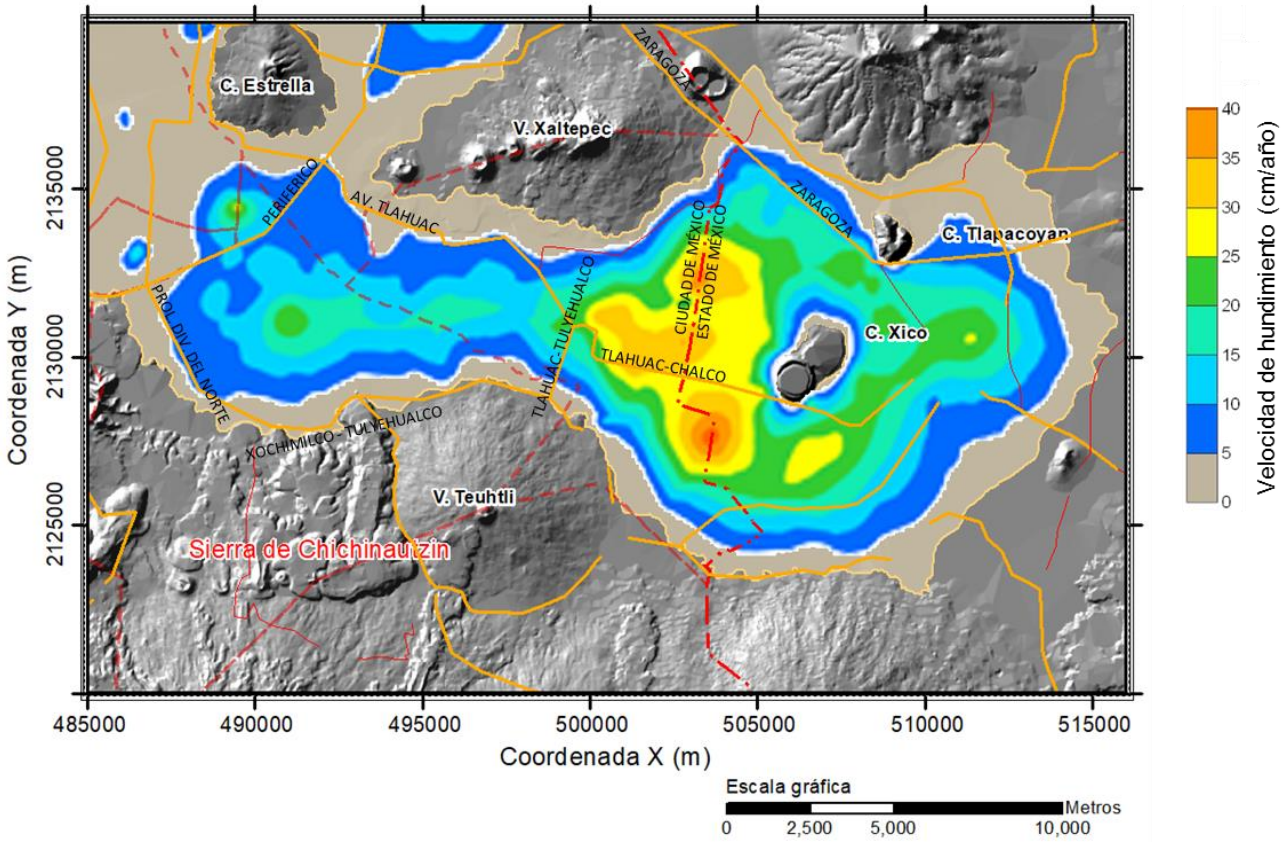


Figura 2.3.4 Mapa de velocidad de hundimiento regional en la Zona Sur de la CDMX (Periodo 1983-2017)

2.2.5 Interpretación de resultados

Las tendencias observadas en la Fig. 2.3.4 son similares a las de la Fig. 2.1.2. Se observa que las velocidades mínimas de hundimiento se localizan en la zona poniente del área de estudio, detectándose velocidad de hundimiento menor a 10 cm/año. Asimismo, se observa que, en la zona de lago y al oriente, se presentan la mayor velocidad de hundimiento, alcanzando valores de entre 30 y 36 cm/año aproximadamente. La velocidad de hundimiento en las zonas de agrietamiento que rodean la sierra de Santa Catarina puede considerarse del orden de 5 a 15cm/año.

3. DESARROLLO DE UN MODELO MECÁNICO DEL FENÓMENO DE FRACTURAMIENTO DEL SUELO

3.1 Evaluación de la generación de grietas por el método del elemento finito

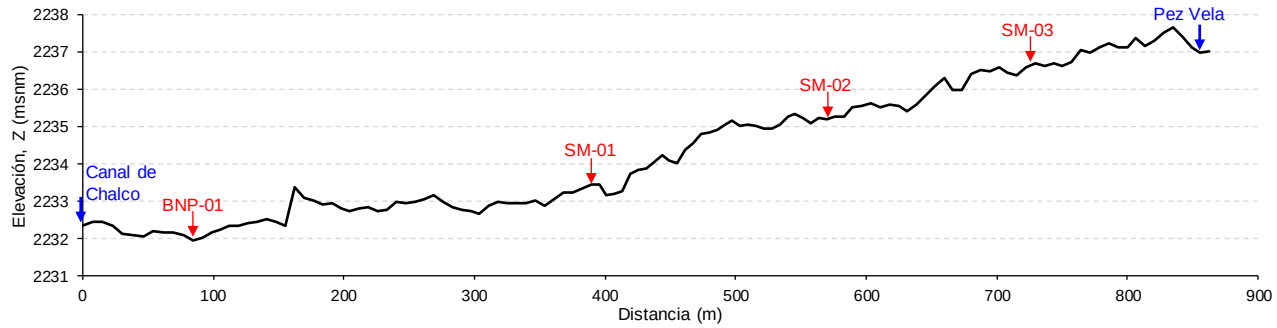
Se han desarrollado dos análisis, correspondientes respectivamente a los sitios colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco, para determinar las causas mecánicas que generan las grietas superficiales y sus posibles métodos de mitigación (propuestas conceptuales). Análisis similares se podrán realizar para la colonia del Mar y Parque Cananea.

Consideraciones:

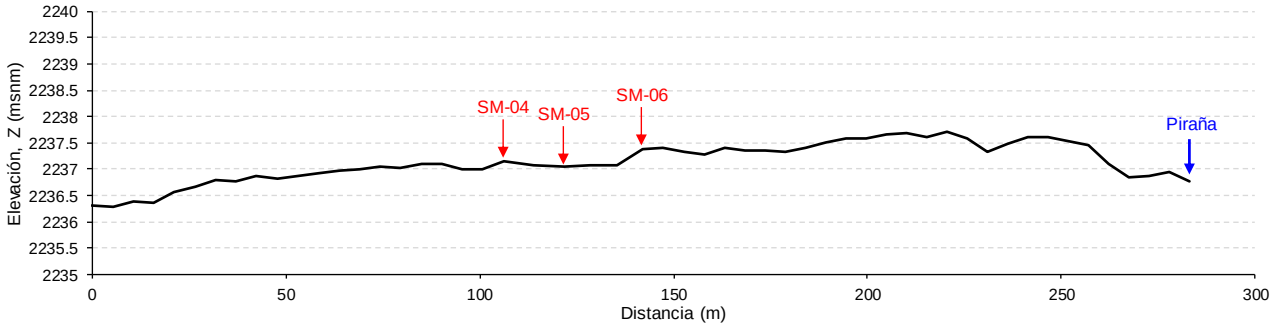
a) Existe hundimiento regional generado por la explotación de agua potable para consumo humano en toda la periferia de la Sierra de Santa Catarina
b) La estratigrafía está definida con base en los sondeos exploratorios de cada sitio.
c) El espesor del depósito de la formación de arcilla varía significativamente en longitud relativamente “corta”, a consecuencia de que los depósitos profundos rígidos forman escalones. La variación estratigráfica es determinada con la exploración geotécnica profunda de cada sitio.
d) En los sitios donde se encontró basalto, se considera que la colada de basalto forma un frente vertical característico de coladas de basalto con enfriamiento rápido en agua. La ubicación en longitud horizontal del frente de basalto es arbitraria.
e) La distribución de la presión de poro en profundidad es definida por los resultados de las mediciones de presión de poro en cada sitio.
f) La inducción del hundimiento regional es con base en perfiles de abatimiento definidos a partir de la condición hidrostática, y hasta el perfil de presión de poro definido en campo en cada sitio.
g) El análisis es con el método de elemento finito con el programa Plaxis 2D, el modelo de comportamiento del suelo es elasto-plástico con criterio de falla Mohr-Coulomb en términos de esfuerzos efectivos, por lo que los parámetros de resistencia y de compresibilidad están definidos en términos de esfuerzos efectivos. Estos parámetros permiten estimar de forma aproximada el perfil de elevación superficial del terreno en cada sitio de estudio, medido con la técnica LIDAR (2010), Figura 3.1.1.

Etapas de análisis de cada sitio de estudio:

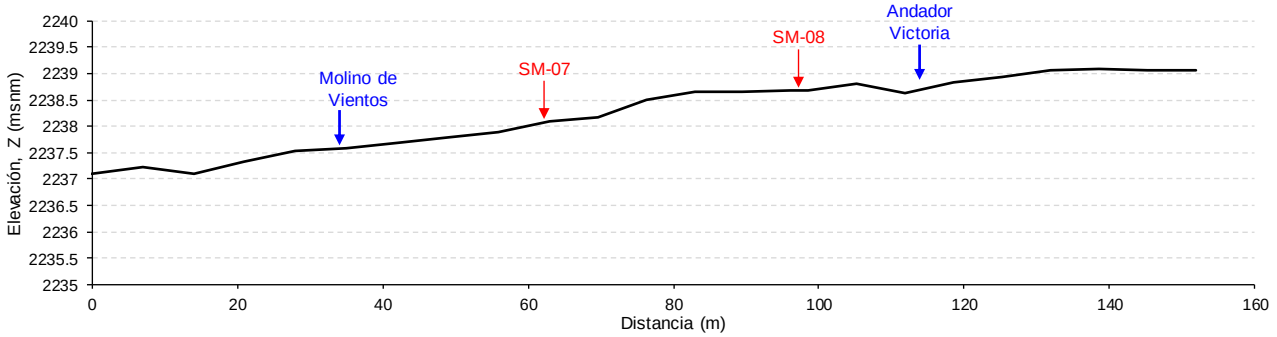
1. Condición inicial, cálculo del estado de esfuerzos de campo, debido al peso propio y al coeficiente de presión de tierra en reposo de los estratos de subsuelo, y a la condición piezométrica hidrostática a partir del nivel de agua freática (NAF).
2. Calculo del hundimiento regional, a partir de la etapa anterior y para el perfil de presión de poro actual, definido con las mediciones de campo.



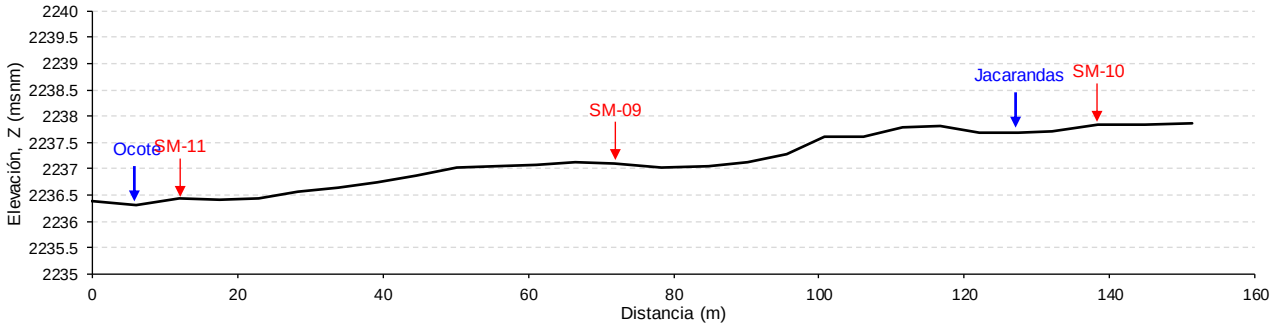
a) sitio colonia Del Mar.



b) sitio Deportivo Cananea.



c) sitio colonia La Planta.



d) sitio colonia El Molino Tezonco

Figura 3.1.1. Perfiles de elevación superficial del terreno, LIDAR (2010).

3.1.1 Colonia Del Mar

El análisis de la generación y propagación del agrietamiento superficial del terreno en la colonia Del Mar, se centra entre los sondeos SM-02 y SM-03, donde existen varias grietas y donde se detectó un escalón de basalto de 32 m de espesor. El análisis está en proceso de realización.

3.1.2 Deportivo Cananea

En el sitio Deportivo Cananea, la extensión horizontal de la exploración geotécnica profunda es corta, por lo que no es posible definir en profundidad y con claridad algún evento geológico que cause el agrietamiento en la superficie del terreno. Por lo anterior, convendrá esperar a tener resultados de exploraciones adicionales para modelar este sitio.

3.1.3 Colonia La Planta

Entre los sondeos SM-07 y SM-08 existe una grieta con escalón de 1.0 m, Figuras 1.4.9 y 1.4.10. La separación entre los sondeos SM-07 y SM-08 es de aproximadamente 33 m. El perfil estratigráfico de la Figura 1.4.11 indica que existe en profundidad entre los sondeos SM-07 y SM-08 un escalón de basalto de 8.2 m de espesor, que genera el diferencial en el espesor total de la formación de arcilla. El espesor es menor hacia el sondeo SM-08, es decir hacia el Nor-Oriente de la calle El Molino, colonia La Planta. Como resultado de la exploración geotécnica, la Figura 3.1.2 muestra la estratigráfica simplificada utilizada en el análisis, así como el diferencial del espesor de arcilla en el sitio de estudio.

La Figura 3.1.3 muestra el perfil piezométrico actual (al año 2019) de la zona Nor-Oriente, definido a partir de las mediciones de disipación de presión de poro en el sitio.

La Tabla 3.1.1 muestra los parámetros de resistencia y de compresibilidad utilizados en el análisis. Estos parámetros permiten estimar de forma aproximada el perfil de elevación superficial del terreno del sitio de estudio, medido con la técnica LIDAR (2010), ver Figura 3.1.1a.

La Figura 3.1.4 muestra que el modelo matemático de elemento finito tiene de extensión horizontal 250 m y en profundidad 60 m, también incluye en profundidad, el frente de basalto. El modelo está constituido por 14,434 elementos triangulares de 15 nodos y 12 puntos de integración cada elemento, y 116,085 puntos nodales totales.

La deformada calculada (Figura 3.1.5-a) para el abatimiento piezométrico profundo, definido a partir de la condición hidrostática y hasta el perfil de condición actual (2019), muestra mayor asentamiento hacia el Sur-Poniente de la calle el Molino, como es de esperarse por el relativo mayor espesor de la formación de arcilla. Los contornos de desplazamiento vertical (hundimiento) y de desplazamiento lateral calculados (Figura 3.1.5-b y c) permiten visualizar el movimiento de la formación de arcilla que genera la consolidación regional en el sitio de estudio, donde la misma arcilla somera vierte hacia la zona con espesor mayor de arcilla. En superficie, el hundimiento diferencial es 2.3 m, con pendiente similar al perfil de elevación superficial del terreno (Figura 3.1.1-a) y el desplazamiento lateral máximo es de 0.65 m, hacia el Sur-Poniente, Figuras 3.1.5-c y d.

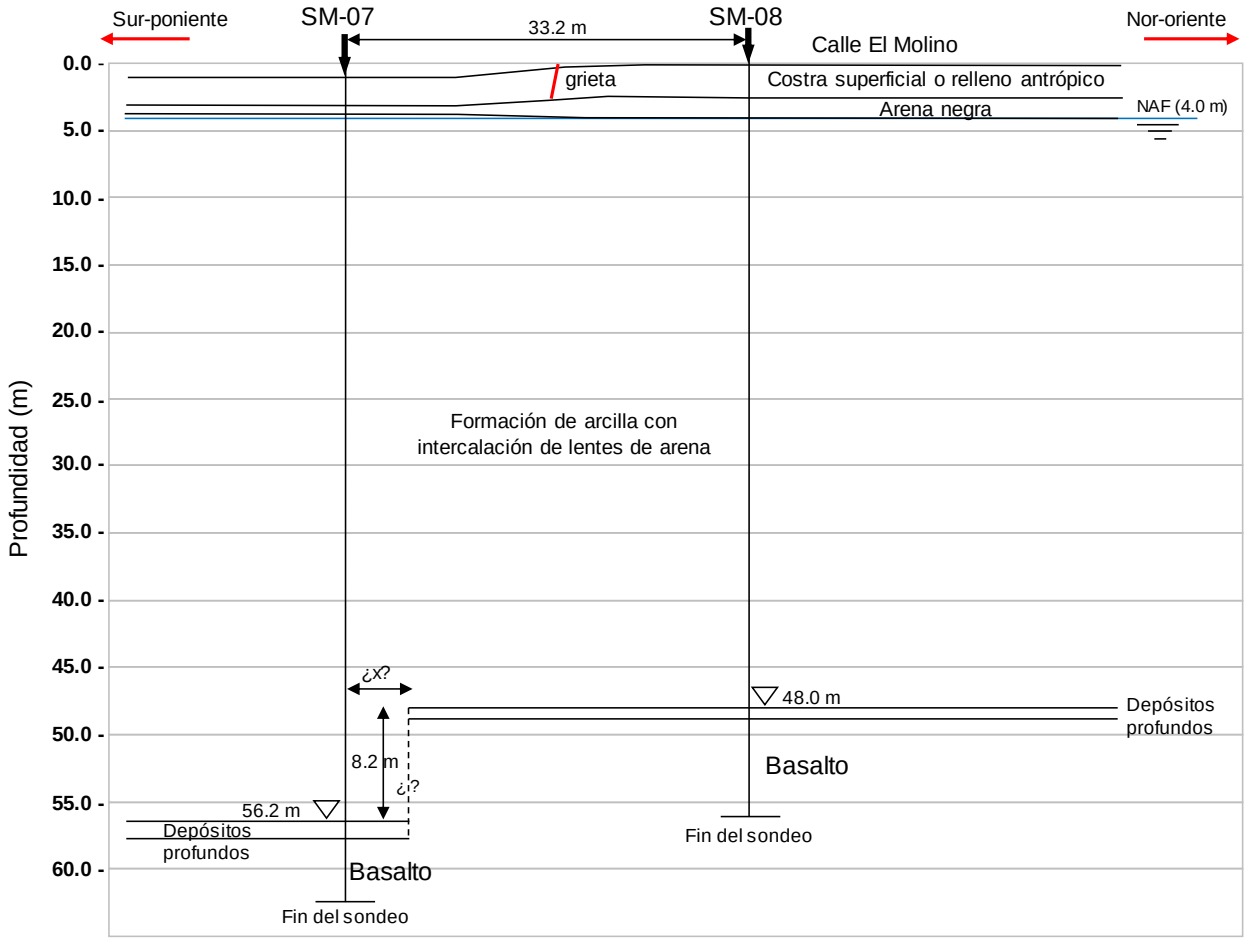


Figura 3.1.2. Perfil estratigráfico simplificado, sitio colonia La Planta.

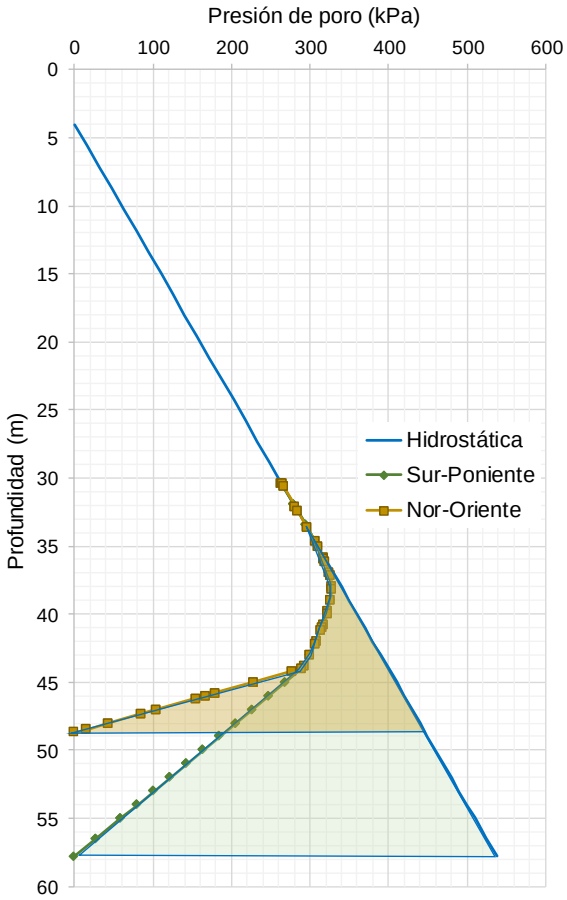


Figura 3.1.3. Perfil piezométrico actual (2019), sitio colonia La Planta.

Tabla 3.1.1. Parámetros de resistencia y compresibilidad de los estratos del subsuelo.

Unidad	γ	E	Poisson	c´	ϕ´	Rt
	kN/m^3	kPa	---	kPa	grados	kPa
A - CS	14.0	12,000.0	0.30	10.0	25.0	1.0
B - FA	12.0	894.4	0.30	0.0	22.0	1.0
C - FA	12.0	894.4	0.30	0.0	28.0	1.0
D - DP	20.0	50,000.0	0.30	---	---	---
E - Ba	22.0	50,000,000.0	0.30	---	---	---

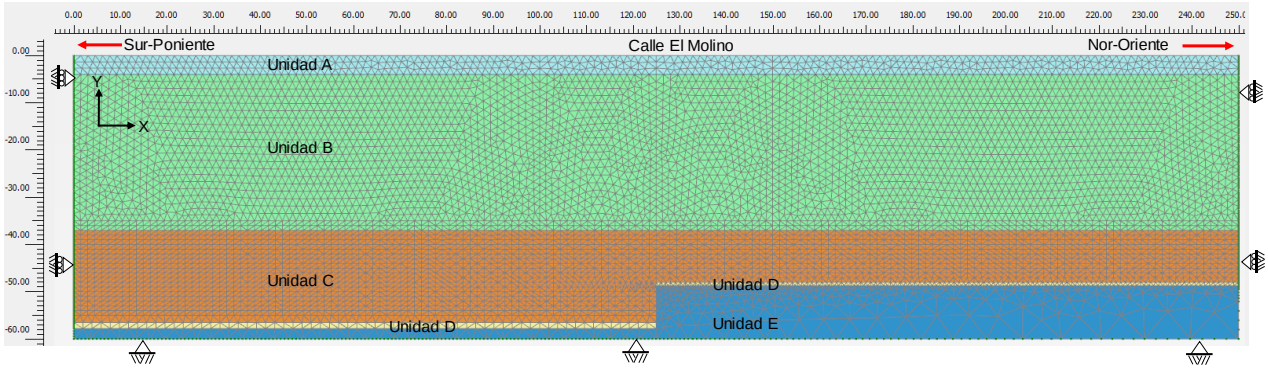


Figura 3.1.4. Modelo numérico de elemento finito, sitio colonia La Planta.

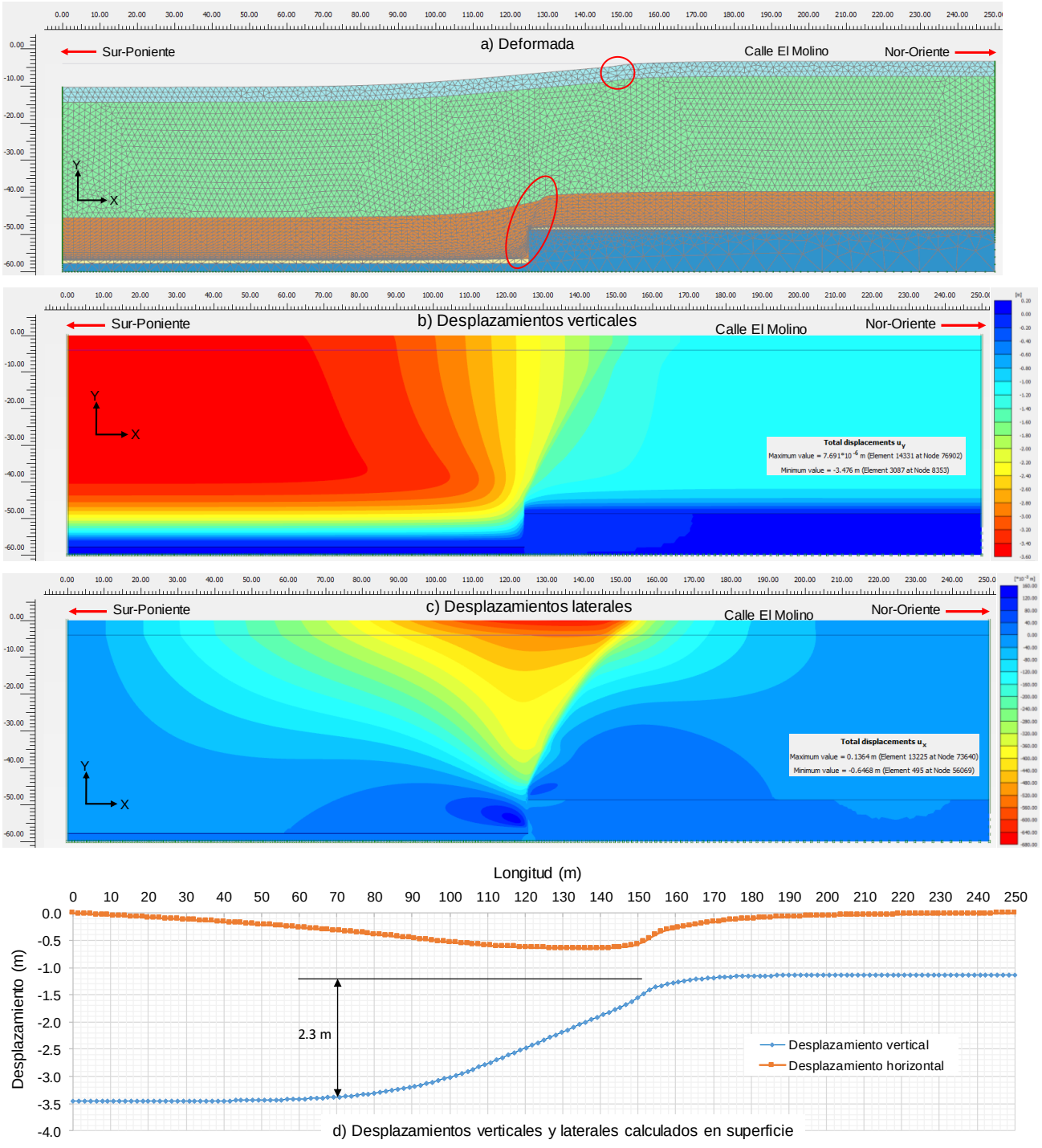


Figura 3.1.5. Desplazamientos calculados, sitio colonia La Planta.

Como consecuencia del mecanismo de desplazamiento de la formación de arcilla, que a su vez es consecuencia de la consolidación regional, los esfuerzos cortantes presentan la distribución indicada en la Figura 3.1.6-a, la tendencia indica planos cruzados de corte cerca de la superficie y; la costra superficial, que exhibe cohesión, muestra esfuerzos horizontales de tensión (Figura 3.1.6-b), en la

zona que presenta relativamente menor espesor de la formación de arcilla. Como consecuencia de la distribución de esfuerzos de corte y de tensión, la Figura 3.1.6-c muestra los puntos de plastificación correspondientes, por esfuerzos de corte y de tensión, donde se observa que la generación de grieta ocurre tanto en el fondo del depósito de arcilla, como en la zona somera y cercana a la superficie del terreno, donde los esfuerzos de tensión actúan.

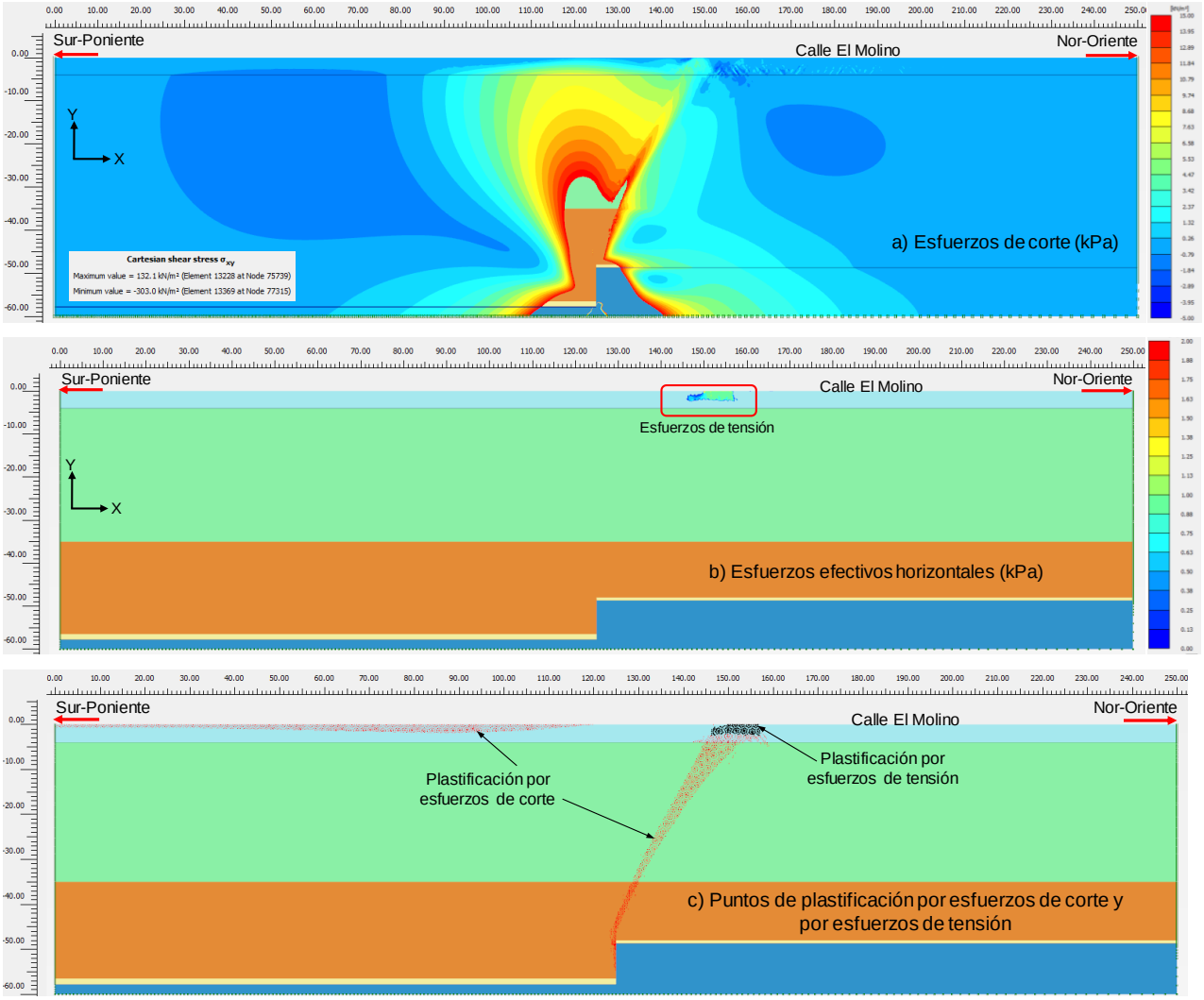


Figura 3.1.6. Mecanismo de generación de grietas, sitio colonia La Planta.

En conclusión, la generación de la grieta en el sitio colonia La Planta es consecuencia de un proceso combinado de esfuerzos: 1) la distribución de esfuerzos de corte que se desarrollan en el fondo de la formación de arcilla y en zona somera también en el depósito de arcilla en contacto con la costra superficial y; 2) esfuerzos de tensión que se desarrollan en la costra superficial.

3.1.4 Colonia El Molino Tezonco

Entre los sondeos SM-11 y SM-10 existen tres grietas, una de ellas con escalón de 0.6 m, Figura 1.4.13. La separación entre los sondeos SM-11 y SM-10 es de aproximadamente 115.0 m. El perfil estratigráfico de la Figura 1.4.14 indica que existe en profundidad, entre los sondeos SM-11 y SM-10, un escalón de basalto de 34.8 m de espesor, que genera el diferencial del espesor total de la formación de arcilla equivalente al espesor de basalto. El espesor es menor hacia la ubicación de los sondeos SM-09 y SM-10, es decir hacia el Nor-Oriente de la calle Alcanfor, colonia El Molino Tezonco. Como resultado de la exploración geotécnica, la Figura 3.1.7 muestra la estratigráfica simplificada utilizada en el análisis, así como el diferencial del espesor de arcilla en el sitio de estudio.

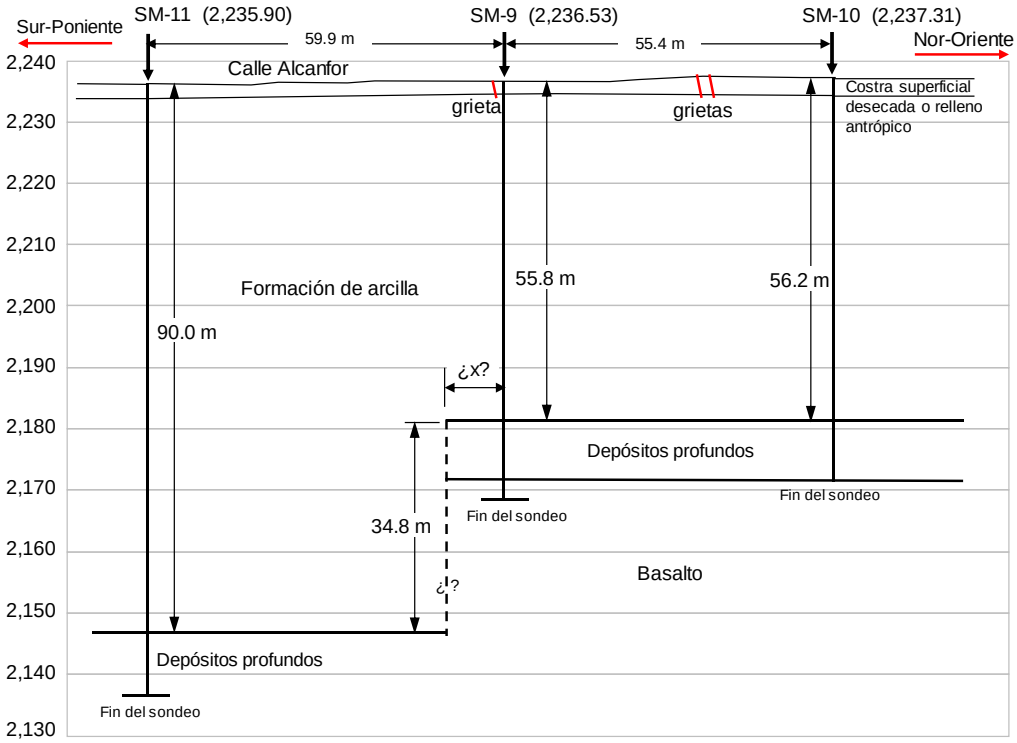


Figura 3.1.7. Perfil estratigráfico simplificado, sitio colonia El Molino Tezonco.

El perfil piezométrico utilizado en el análisis corresponde al perfil actual (2019) indicado en la Figura 1.4.15, definido a partir de las mediciones de disipación de presión de poro realizadas en los sondeos SM-9 y SM10, zona Nor-Oriente, Figura 3.1.8. El perfil piezométrico de la zona Sur-Poniente es definido como una proporción (1.75 veces) del abatimiento de la zona Nor-Oriente

Los parámetros de resistencia y de compresibilidad están indicados en la Tabla 3.1.2. Estos parámetros permiten estimar de forma aproximada el perfil de elevación superficial del terreno del sitio de estudio, medido con la técnica LIDAR (2010), ver Figura 3.1.1-b.

La Figura 3.1.9 muestra que el modelo matemático de elemento finito tiene de extensión horizontal 460 m y en profundidad 102 m, también incluye en profundidad, el frente de basalto. El modelo está constituido por 5,616 elementos triangulares de 15 nodos y 12 puntos de integración cada elemento, y 45,662 puntos nodales totales.

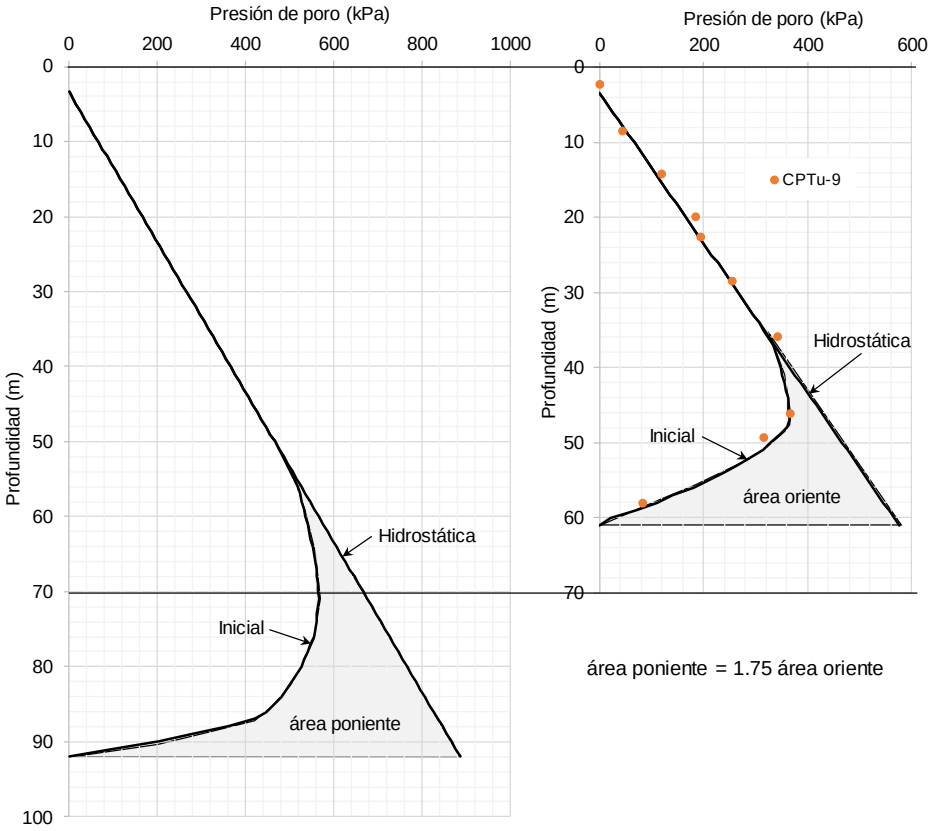


Figura 3.1.8. Perfil piezométrico actual (2019), sitio colonia El Molino Tezonco.

Tabla 3.1.2. Parámetros de resistencia y compresibilidad de los estratos del subsuelo.

Unidad	γ	E	Poisson	c´	ϕ´	Rt
	kN/m³	kPa	---	kPa	grados	kPa
A - CS	14.0	12,000.0	0.30	10.0	30.0	1.0
B - FA	12.0	891.1	0.30	0.0	35.0	1.0
C - DP	20.0	50,000.0	0.30	---	---	---
D - Basalto	22.0	50,000,000.0	0.30	---	---	---

Nota: CS: Costra superficial, FA: Formación de arcilla, DP: Depósitos Profundos.

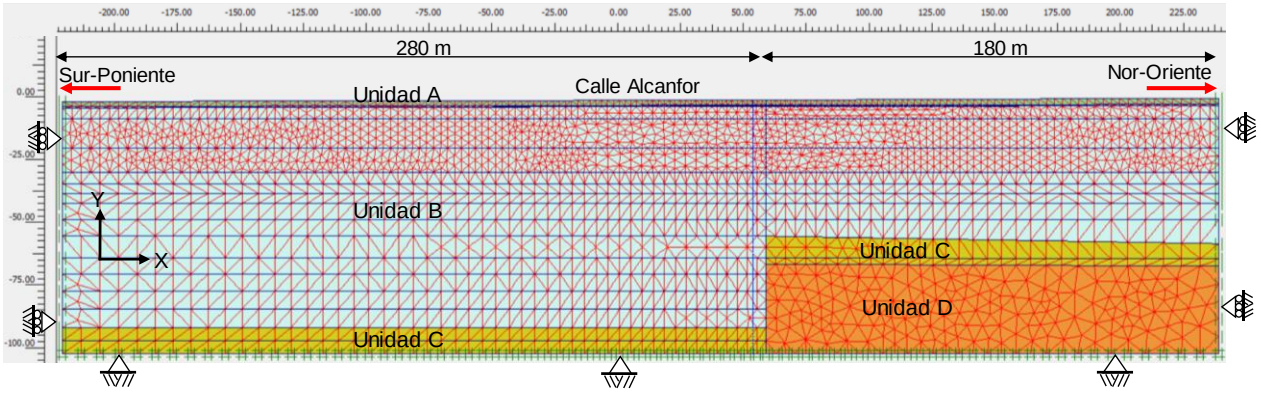


Figura 3.1.9. Modelo numérico de elemento finito, sitio colonia El Molino Tezonco.

La deformada calculada (Figura 3.1.10-a) para el abatimiento piezométrico profundo, definido a partir de la condición hidrostática y hasta los perfiles de condición actual (2019), muestra mayor asentamiento hacia la zona Sur-Poniente, como es de esperarse por el relativo mayor espesor de la formación de arcilla. Los contornos de desplazamiento vertical (hundimiento) y de desplazamiento lateral calculados (Figura 3.1.10-b y c) permiten visualizar el movimiento de la formación de arcilla que genera la consolidación regional en el sitio de estudio, donde la misma arcilla somera vierte hacia la zona con espesor mayor de arcilla. En superficie, el hundimiento diferencial es 4.9 m, con pendiente similar al perfil de elevación superficial del terreno (Figura 3.1.1-b), y el desplazamiento lateral máximo es de 1.85 m, hacia la zona Sur-Poniente (Figura 3.1.10-c y d).

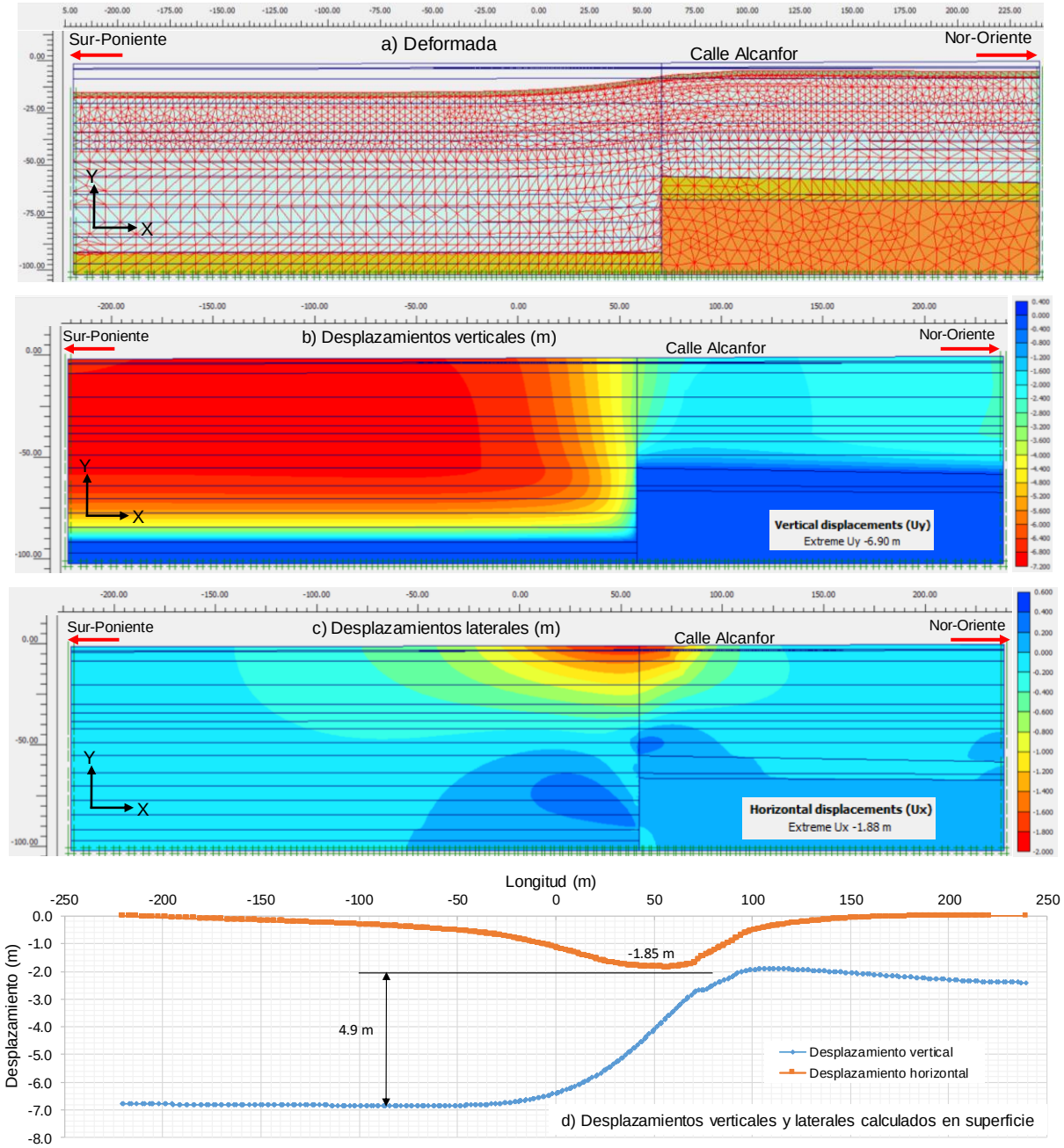


Figura 3.1.10. Desplazamientos calculados, sitio colonia El Molino Tezonco.

Como consecuencia del mecanismo de desplazamiento de la formación de arcilla, que a su vez es consecuencia de la consolidación regional, los esfuerzos cortantes presentan la distribución indicada en la Figura 3.1.11-a, la tendencia indica planos cruzados de corte cerca de la superficie y; la costra superficial, que exhibe cohesión, muestra esfuerzos horizontales de tensión (Figura 3.1.11-b) en la zona que presenta relativamente menor espesor de la formación de arcilla. Como consecuencia de la distribución de esfuerzos de corte y de tensión, la Figura 3.1.11-c muestra los puntos de plastificación correspondientes, por esfuerzos de corte y de tensión, donde se observa que la posible generación de grieta ocurre cerca de la superficie del terreno por esfuerzos de corte en la formación de arcilla y por esfuerzos de tensión en la costra superficial.

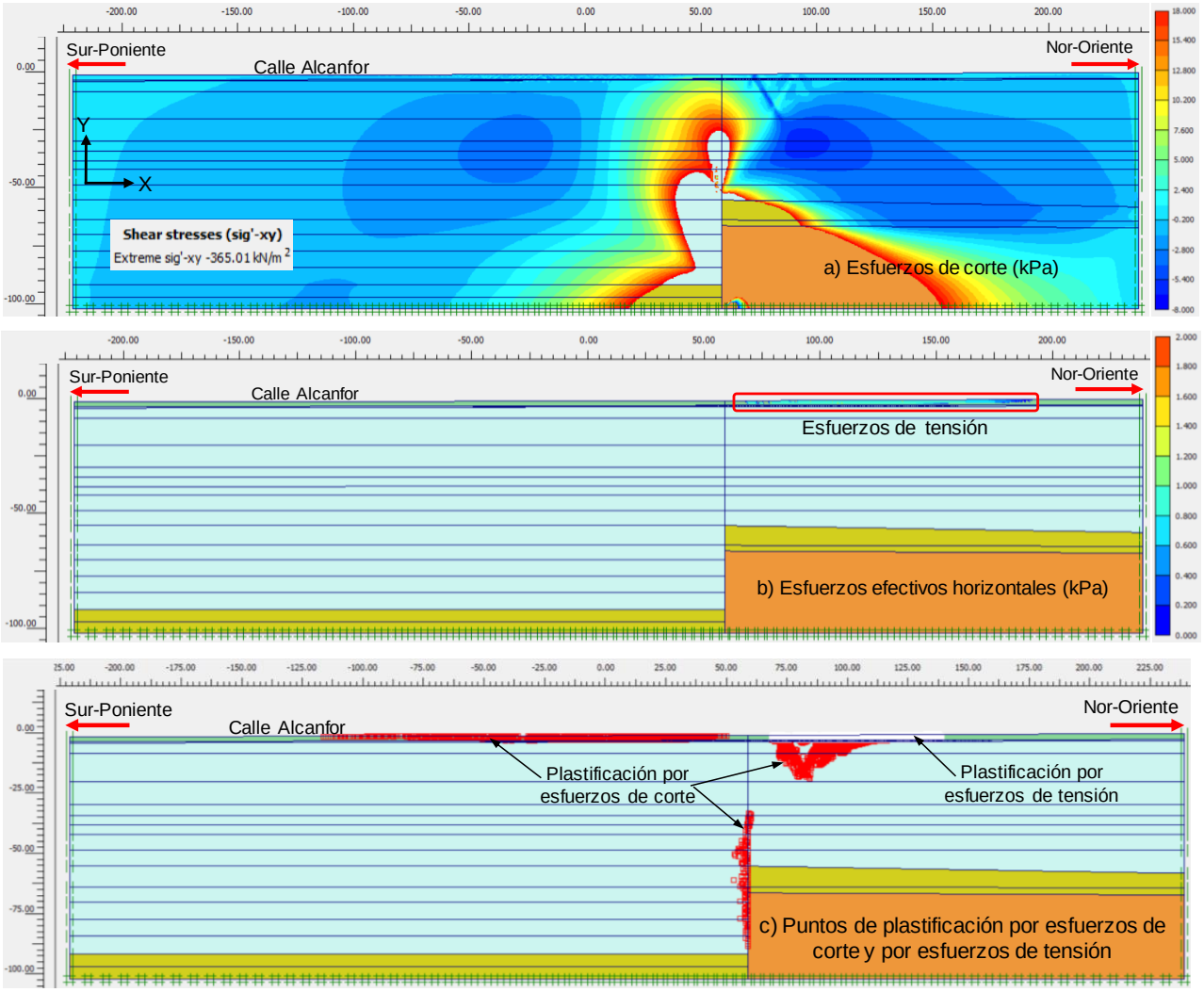


Figura 3.1.11. Mecanismo de generación de grietas, sitio colonia El Molino Tezonco.

En conclusión, la generación de las grietas en el sitio de la colonia El Molino Tezonco es consecuencia de un proceso combinado de esfuerzos: 1) la distribución de esfuerzos de corte que se desarrollan en la formación de arcilla y; 2) esfuerzos de tensión que se desarrollan en la costra superficial.

3.1.5 Evaluación de una medida de mitigación de los daños ocasionados por grietas en la superficie del terreno

Se analizó el efecto de la colocación de una trinchera longitudinal a la grieta rellena de arena con muro rígido-cohesivo de acompañamiento, en la generación y propagación de grietas superficiales. Se estudió el caso del sitio colonia La Planta. Cabe remarcar que la arena para rellenar la trinchera no debe presentar cohesión y el material rígido debe presentar más rigidez que la costra superficial y que la formación de arcilla y también presenta cohesión, por lo que podría construirse, por ejemplo, con mortero o suelo-cemento confinado con tablestaca metálica.

La evaluación del efecto de la trinchera implica la modelación de la propia trinchera para las condiciones deformadas actuales (2019) la consideración de hundimiento regional.

El mecanismo de generación de grietas, definido en las secciones anteriores, implica el movimiento horizontal y vertical de los depósitos de arcilla y la generación de esfuerzos de corte y de tensión en la zona cercana a la superficie del terreno.

Cabe mencionar que la heterogeneidad del subsuelo somero, la rigidez de las cimentaciones, el peso de las edificaciones, la presencia de instalaciones (tubos de drenaje, pozos de visita de drenaje, pavimentos, entre otros) y la erosión del subsuelo por el agua que fuga de instalaciones hidro-sanitarias fracturadas; condicionan y modifican la traza del agrietamiento y por consecuencia los daños a las edificaciones.

Consideraciones para la modelación de las trincheras de arena:

- En un entorno libre de estructuras e instalaciones someras, la colocación de trincheras verticales rellenas de arena sin finos, sin cohesión, en conjunto con un muro de suelo-cemento; podría permiti conducir las grietas por áreas pre-definidas donde no afecten a edificaciones y/o instalaciones. El esquema de la Figura 3.1.12 muestra el mecanismo de trabajo de la trinchera rellena de arena con muro, al tiempo de instalar la trinchera (a) y cuando la trinchera y la zona han sido afectadas por el hundimiento regional (b). Las zonas que separan la trinchera dejarían de afectarse por la propagación de grietas (b).

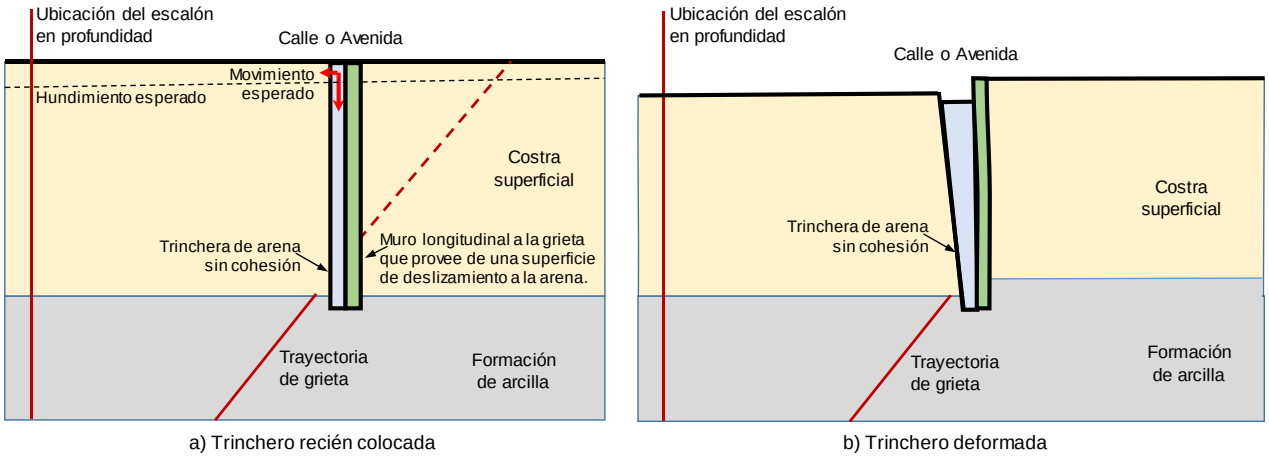


Figura 3.1.12. Esquema de mitigación de daños asociados a la generación y propagación de grietas en la superficie del terreno.

- El modelo de análisis corresponde al sitio colonia La Planta. El modelo incluye la estratigrafía, los perfiles de presión de poro y el modelo numérico indicados respectivamente en las Figuras 3.1.2, 3.1.3 y 3.1.4, así como los parámetros de resistencia y de compresibilidad indicados en la Tabla 3.1.1.

- El incremento de hundimiento regional considerado es de 40 cm y es aplicado mediante la proyección de abatimiento piezométrico profundo a partir del perfil de presión de poro inicial (2019), como lo muestra la Figura 3.1.13. Este hundimiento regional equivale a 3 años de abatimiento, de acuerdo con la velocidad de hundimiento del sitio en la colonia La Planta, de 12 cm/año.

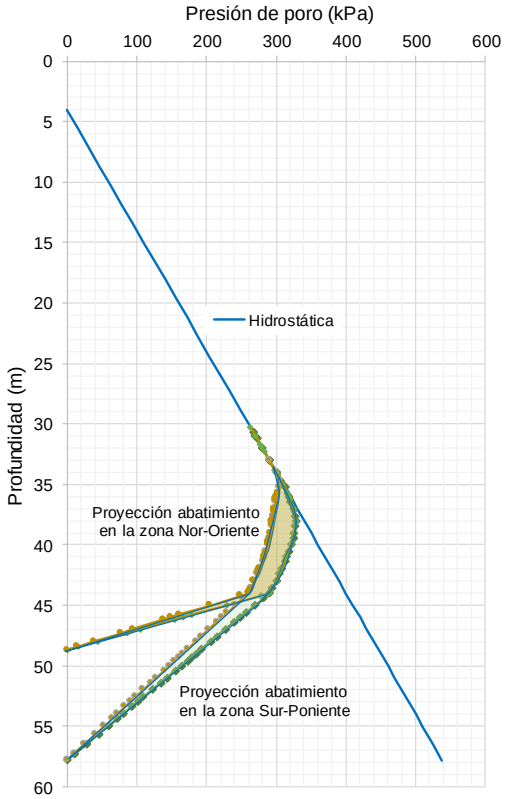


Figura 3.1.13. Proyección de abatimiento piezométrico a partir de la condición actual (2019), sitio colonia La Planta.

Resultados:

La Figura 3.1.14 muestra el modelo matemático de elemento finito, que incluye la trinchera de arena con muro de acompañamiento. La ubicación de la trinchera fue definida con base en el cálculo de los puntos de plastificación por esfuerzos de corte del proceso de hundimiento regional previo (Figura 3.1.6-c). La trinchera tiene 5 m de alto, con lo cual penetra 1.0 m en la formación de arcilla.

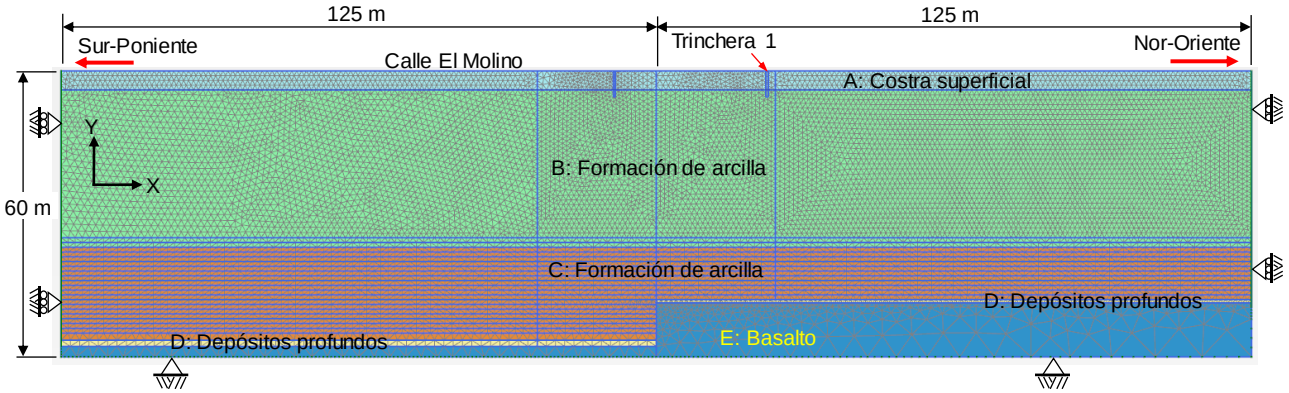


Figura 3.1.14. Modelo numérico de elemento finito que incluye la modelación de trincheras de arena, sitio colonia La Planta.

El perfil de hundimientos y de desplazamientos laterales, ambos calculados en la superficie del terreno, muestran la diferencia marcada en la Figura 3.1.15 con respecto al análisis sin trinchera. Es decir, estos desplazamientos son acumulados a partir de la condición sin trinchera. El cambio más significativo es en la tendencia de los hundimientos calculados en la zona Nor-Oriente, los cuales son uniformes y cerca de la trinchera, el desnivel de hundimiento es más brusco. Los desplazamientos laterales, en la zona Nor-Oriente, tienden a reducir de magnitud, con ligero incremento cerca de la trinchera. En la zona Sur-Poniente, la tendencia de hundimientos y desplazamientos laterales es similar al proceso de consolidación regional del sitio.

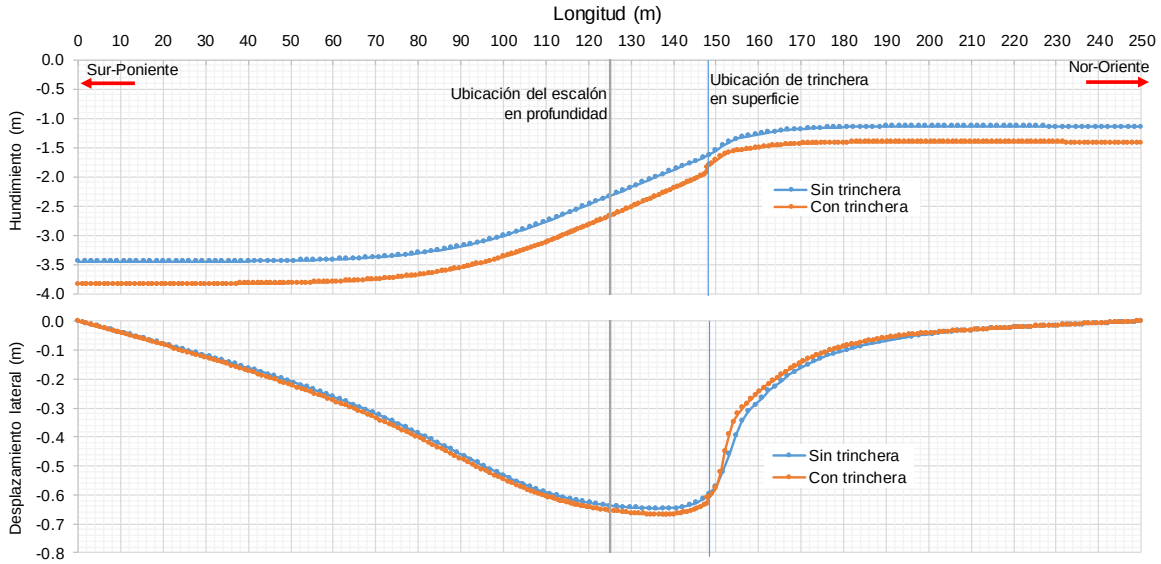


Figura 3.1.15. Hundimientos y desplazamientos laterales calculados en la superficie del terreno con y sin trinchera, sitio colonia La Planta.

La Figura 3.1.16 muestra los puntos de plastificación por esfuerzos de corte y por esfuerzos de tensión calculados para la etapa posterior a la colocación de las trincheras, los puntos de plastificación se concentran en la cercanía de la trinchera.

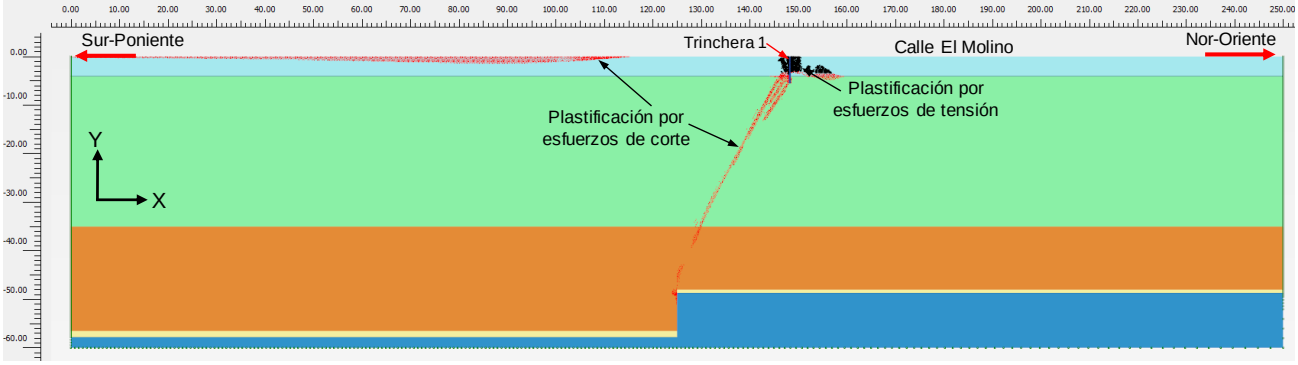


Figura 3.1.16. Puntos de plastificación por esfuerzos de corte y por esfuerzos de tensión generados posterior a la colocación de la trinchera, sitio colonia La Planta.

En conclusión, colocar trinchera rellena de arena con muro de acompañamiento paralelos a la grieta, permite concentrar los posibles incrementos de esfuerzos de corte y de tensión, y con ello confinar la traza de la grieta en áreas que no afecten significativamente instalaciones o edificaciones.

Esta técnica y sus variantes merecen ser analizadas con mayor profundidad y serán temas de investigaciones futuras.

3.2 Evaluación de la generación de grietas por la mecánica de la fractura

El agrietamiento del suelo se manifiesta en forma de discontinuidades en la superficie del terreno, formando una separación horizontal y eventualmente un desfasamiento vertical entre sus paredes, escalón. Para prevenir y mitigar los daños en las construcciones, es posible implementar soluciones robustas que disipan la altura del escalón y mantienen la continuidad de la superficie del terreno.

El estudio de la mitigación de daños requiere considerar explícitamente la naturaleza discontinua de los materiales granulares, para representar en forma realista los fenómenos que ocurren y para obtener conclusiones sustentadas. A continuación, se presenta el diseño de un modelo que será de utilidad para mitigar los daños ocasionados por el fracturamiento del suelo. Estas investigaciones se desprenden de un programa de estudio de los medios granulares con un enfoque de medios discontinuos que se desarrolla en el II-UNAM.

3.2.1 Introducción

En este apartado se analizó la generación y propagación de grietas en el suelo mediante el enfoque de la mecánica de fracturas. Los análisis se realizaron con el Método del Elemento Finito Extendido (X-FEM). Se utilizó el criterio de la Mecánica de Fracturas Elástica Lineal (LEFM) y un Modelo de Zona Cohesiva (CZM). El primero, se basa en un comportamiento elástico y el segundo considera la zona plástica formada al frente de la grieta. Se estudió mediante los modos de carga, que se consideran en la mecánica de fractura, el mecanismo de formación del escalón. Con los resultados de este análisis, se construyó un modelo numérico con el que se realizaron análisis paramétricos para conocer la influencia de los parámetros más importantes sobre la propagación de grietas en el suelo en estudio. Se evaluó la velocidad de crecimiento del escalón como una función del hundimiento regional. Se presentan las conclusiones de los resultados de los análisis realizados.

3.2.2 Métodos de modelación numérica de propagación de grietas

3.2.2.1 Método del Elemento Finito Extendido

El Método del Elemento Finito Extendido (X-FEM del inglés Extended Finite Element Method). permite resolver problemas de la mecánica de fracturas y solucionar los inconvenientes asociados con la regeneración de la malla al incorporar grados de libertad adicionales a los nodos (enriquecimiento de nodos) pertenecientes a los elementos que atraviesan la grieta. Esta solución permite que la simulación del crecimiento de la grieta sea independiente de la malla. En la Figura 3.2.1 se aprecia los nodos enriquecidos con grados de libertad. Los nodos marcados con círculos se enriquecen para representar la discontinuidad y los nodos marcados con cuadros se enriquecen para asociar la singularidad del vértice de la grieta que puede conducir a esfuerzos infinitos (González, 2012).

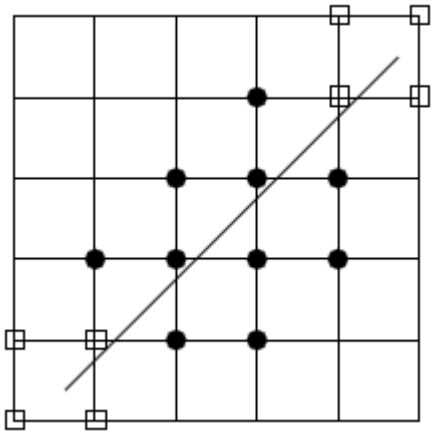


Figura 3.2.1. Nodos con enriquecimiento (Hattori *et al*., 2011).

3.2.2.2 Tipos de materiales

Desde el punto de vista de la mecánica fracturas existen dos tipos de materiales: frágiles y dúctiles. En los primeros la grieta se desarrolla rápidamente con poco o nada de deformación plástica, el crecimiento de la grieta está relacionado con la magnitud de la carga. En los materiales dúctiles existen tres estados para el crecimiento de la grieta: nucleación de vacíos, crecimiento y coalescencia. Las heterogeneidades del material nuclean vacíos que posteriormente crecen y se unen. En este tipo de materiales, la propagación de la grieta se presenta lentamente y ocurre después de una gran deformación plástica en la punta y cuando se incrementa la carga.

3.2.2.3 Mecánica de fracturas elástica lineal (LEFM)

La mecánica de fracturas elástica lineal se basa en el criterio de energía y en el factor de intensidad de esfuerzos (Benham y Crawford, 1987). Su objetivo principal es estudiar la capacidad de carga de elementos estructurales. Se utiliza en materiales frágiles.

Criterio energético

El criterio energético fue desarrollado por Griffith en 1921, en él se establece que una grieta puede propagarse da cuando la energía liberada G (N/m) es suficiente para superar la resistencia del material. La resistencia del material puede incluir energía de superficie, trabajo plástico o cualquier

otro tipo de disipación de energía asociado con la propagación de la grieta. La liberación de energía de deformación se expresa como una función de la variación del tamaño de la grieta:

$$G = -\frac{dU}{da} \tag{1}$$

donde *dU* es la energía total elástica contenida en un cuerpo.

Al establecer que la condición crítica de la extensión de una grieta ocurre en condiciones de equilibrio, se obtiene que la relación de liberación de energía de deformación se expresa como:

$$G = \frac{\pi a \sigma_L^2}{E'} \tag{2}$$

con:

$E' = E$: estado plano de esfuerzos

$E' = \frac{E}{(1-\nu^2)}$: estado plano de deformaciones

La propagación de la grieta ocurrirá cuando *G* alcanza un valor igual o mayor al crítico G_C, la cual es una propiedad de material.

Criterio de factor de intensidad de esfuerzos

Irwin (1957) tomó en cuenta que, bajo condiciones normales de carga, alrededor de la punta de la grieta se genera un campo de esfuerzos cuya intensidad elástica se cuantifica por el factor de intensidad de esfuerzos *K* (MN-m$^{-3/2}$). Irwin observó que los esfuerzos son proporcionales a $\sqrt{\pi a}$, a es la longitud de la grieta. El factor de intensidad de esfuerzos se expresa como:

$$K = K_c = \sigma\sqrt{\pi a} \tag{3}$$

donde σ es un esfuerzo de diseño que depende de la solicitación externa. Cuando *K* alcanza un valor igual o mayor al crítico K_C, la grieta se propaga.

Modos de fractura

La relación de liberación de energía de deformación *G* y el factor de intensidad de esfuerzos *K* están relacionados con tres condiciones de carga que pueden conducir a la generación y propagación de grietas, como se presenta en la Figura 3.2.2 El modo I es de abertura o tensión, ocurre cuando la carga aplicada es perpendicular a la superficie agrietada, la zona no agrieta está sujeta a esfuerzos normales. El modo II es de deslizamiento o cortante, la carga aplicada es paralela a las superficies agrietadas. El modo III se produce fuera del plano de cortante, es un modo de torsión. En los problemas ingenieriles la mayoría de las fracturas son provocadas por los modos I y II. Sin embargo, es común que se presenten situaciones en las que cualquier cuerpo puede estar sujeto a una combinación de cargas como la de los modos I y II (modo mixto) y conducirlo a la falla.

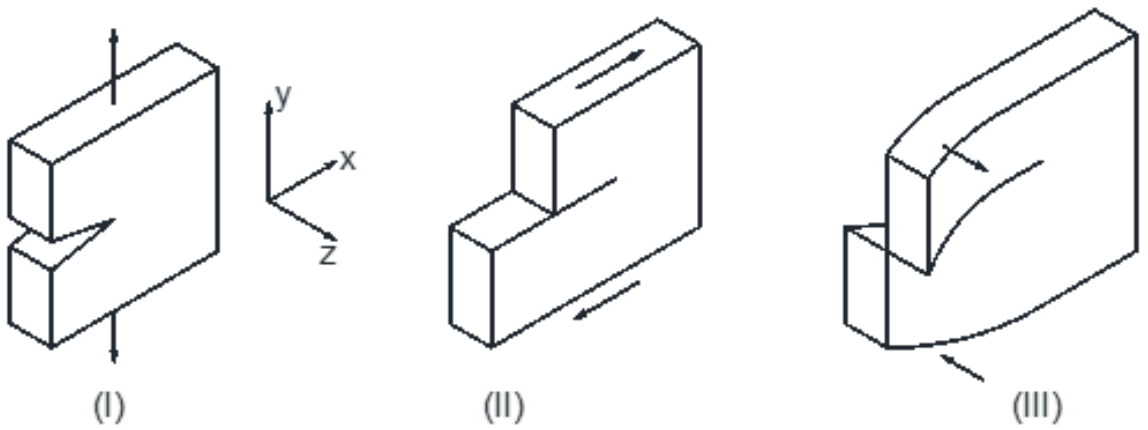


Figura 3.2.2 Modos de fractura (Benham y Crawford, 1987).

3.2.2.4 Modelos de Zona Cohesiva

Los Modelos de Zona Cohesiva (CZM) toman en cuenta en su formulación la zona plástica, llamada "zona cohesiva", formada alrededor de la punta de la grieta. Este método es adecuado para materiales frágiles y dúctiles, permite modelar la plasticidad y evaluar los efectos locales. La principal hipótesis de estos modelos se basa en que el esfuerzo que actúa perpendicular a la grieta es igual al esfuerzo de fluencia actuante en la zona cohesiva (Dugdale, 1960; Barenblatt, 1962). De esta forma se considera que la longitud de la grieta será una función del esfuerzo de fluencia, Figura 3.2.3. Para modelar el crecimiento de la grieta se utilizan leyes de Tracción-Separación que representan el esfuerzo resistente, llamado resistencia cohesiva σ_c (propiedad del material) y la separación entre dos superficies de la grieta δ. En la Figura 3.2.4, se presenta una ley de Tracción-Separación bilineal. El eje horizontal representa la separación δ y el eje vertical el esfuerzo cohesivo resistente σ_c. El área bajo la curva es la energía cohesiva G_C necesaria para propagar la grieta. Si σ_c, es menor al esfuerzo cohesivo crítico, la grieta no se propaga, δ=0. Cuando el esfuerzo resistente alcanza el valor crítico (límite elástico), la grieta comienza a generarse y el valor de δ aumenta. La longitud de la grieta será máxima cuando la energía cohesiva G_C se disipé totalmente y el esfuerzo cohesivo sea nulo. La precisión de los resultados dependerá del tipo de ley de Tracción-Separación utilizada.

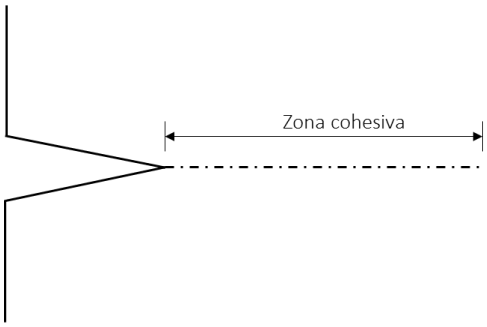


Figura 3.2.3. Zona cohesiva

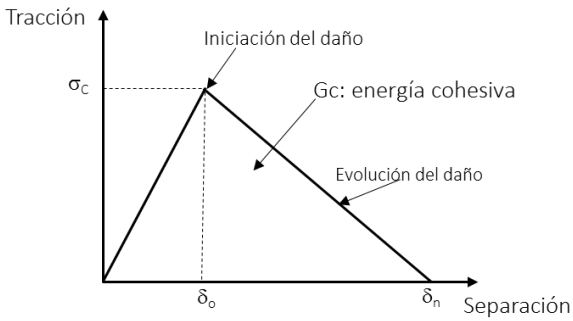


Figura 3.2.4. Ley de Tracción-Separación bilineal

3.2.3 Mecanismos de iniciación y propagación de grietas

El objetivo de estos análisis es mostrar los mecanismos de iniciación y propagación de grietas que conducen a la formación e incremento del escalón como resultado del hundimiento regional. Se analizaron dos modelos numéricos para estudiar la influencia de los modos puros de carga (I y II) y modo mixto sobre el agrietamiento del suelo. En el primer modelo, se consideraron dos estratos: el superior, rígido; el inferior, blando. En el segundo modelo, está contenido en la parte inferior un escalón de material rígido, con el fin de representar las condiciones del subsuelo en estudio. Todos los análisis se realizaron con las dimensiones que se muestran en modelo de la Figura 3.2.5. Se consideró un estado plano de deformaciones y una malla de elementos finitos conformada por 7638 elementos rectangulares. Se asignó una relación de Poisson ν=0.3, con los siguientes módulos de elasticidad:

- Módulo de elasticidad para el suelo blando Eb= 4000 kPa
- Módulo de elasticidad para el suelo rígido superior (costra superficial) Ers=17000 kPa
- Módulo de elasticidad para el suelo rígido inferior (basalto) Eri=50 000 kPa

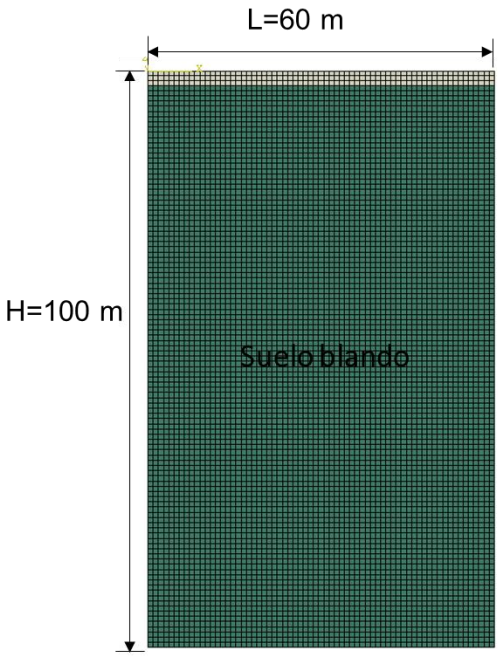


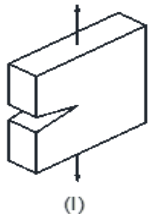
Figura 3.2.5 Modelo numérico y malla de elementos finitos.

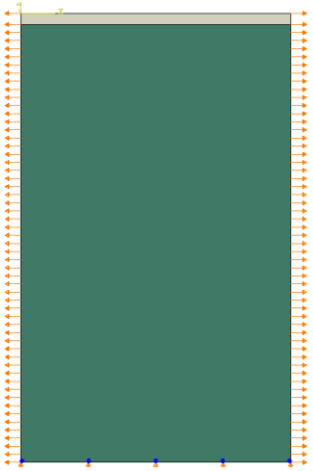
Las fuerzas actuantes en el modelo numérico, se representaron como desplazamientos. El modo I de carga está relacionado con desplazamientos horizontales que son provocados en el suelo por la presencia de la sierra ubicada en la zona de estudio. El modo II de carga es debido al hundimiento regional. El modo mixto es la combinación de los esfuerzos inducidos por la sierra y el hundimiento regional. Como el objetivo es analizar el efecto de los modos de carga sobre el agrietamiento y la generación del escalón, la magnitud asignada a dichos desplazamientos fue arbitraría.

En los siguientes incisos, se presentan los resultados de los análisis, los cuales se realizaron con LEFM

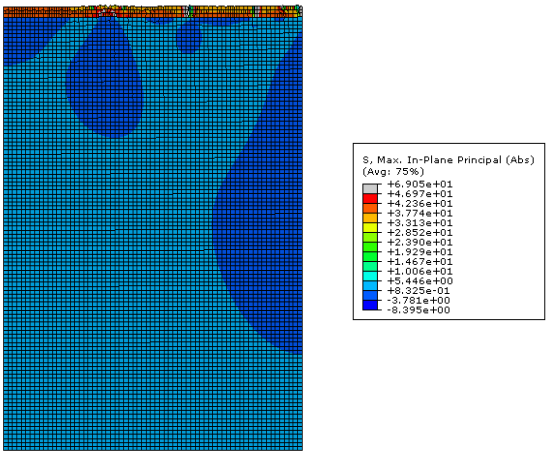
3.2.3.1 Modo I de fractura

En la Figura 3.2.6, se observa que al someter al modelo a las condiciones de carga del modo I, se generan esfuerzos de tensión en el estrato superior ocasionando agrietamiento vertical, sin que se extienda al estrato blando. La propagación al estrato blando dependerá de la magnitud de las fuerzas de tensión aplicadas. En la Figura 3.2.7a, se muestra el modelo numérico con un escalón de material rígido. En este análisis se observa que la presencia del escalón influye a que los esfuerzos de tensión se localicen en la zona más alta del material rígido. Si al mismo modelo se le imponen diferentes condiciones de frontera para representar el efecto de la sierra, y además se considera la existencia de una grieta en el estrato superior; la grieta se propaga verticalmente sin escalón, justamente de la forma del modo I, como se muestra en la Figura 3.2.8b.



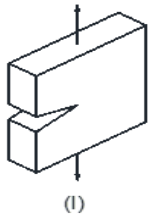


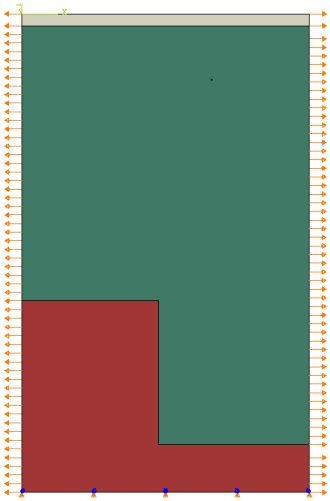
(a) Condiciones carga y frontera



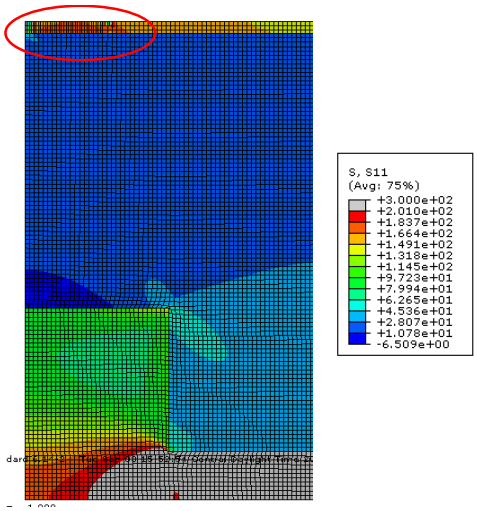
(b) Esfuerzos de tensión en el estrato superior

Figura 3.2.6. Agrietamiento vertical debido al modo I de carga, modelo sin escalón de material rígido.



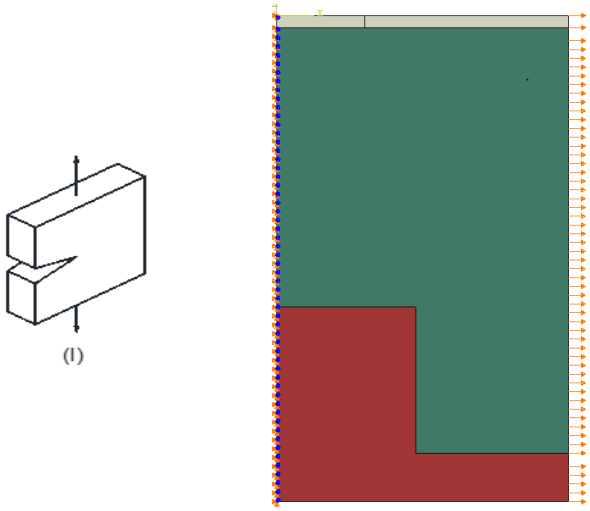


(a) Condiciones carga y frontera

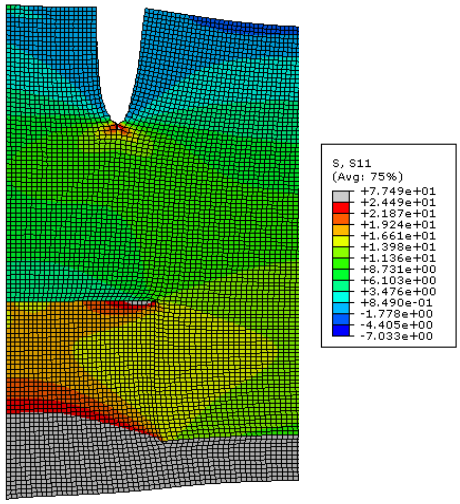


(b) Esfuerzos de tensión en el estrato superior

Figura 3.2.7 Agrietamiento vertical debido al modo I de carga, modelo con escalón de material rígido.



(a) Condiciones carga y frontera. Con grieta inicial

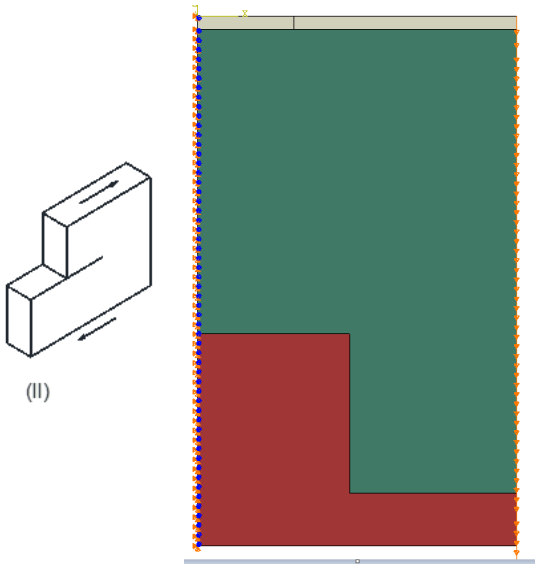


(b) Esfuerzos de tensión. Malla deformada con escalón=0

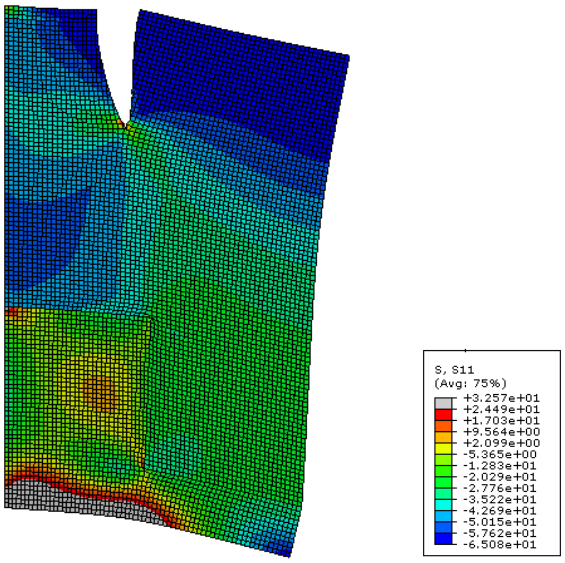
Figura 3.2.8 Propagación de grieta debido al modo I de carga, modelo con escalón de material rígido.

3.2.3 .2 Modo II de fractura

En la Figura 3.2.9a se muestra el modelo sujeto a esfuerzos de cortante como el modo II. Con este modo de carga la grieta se propaga de forma inclinada sin provocar escalón, Figura 3.2.9b.



(a) Condiciones carga y frontera

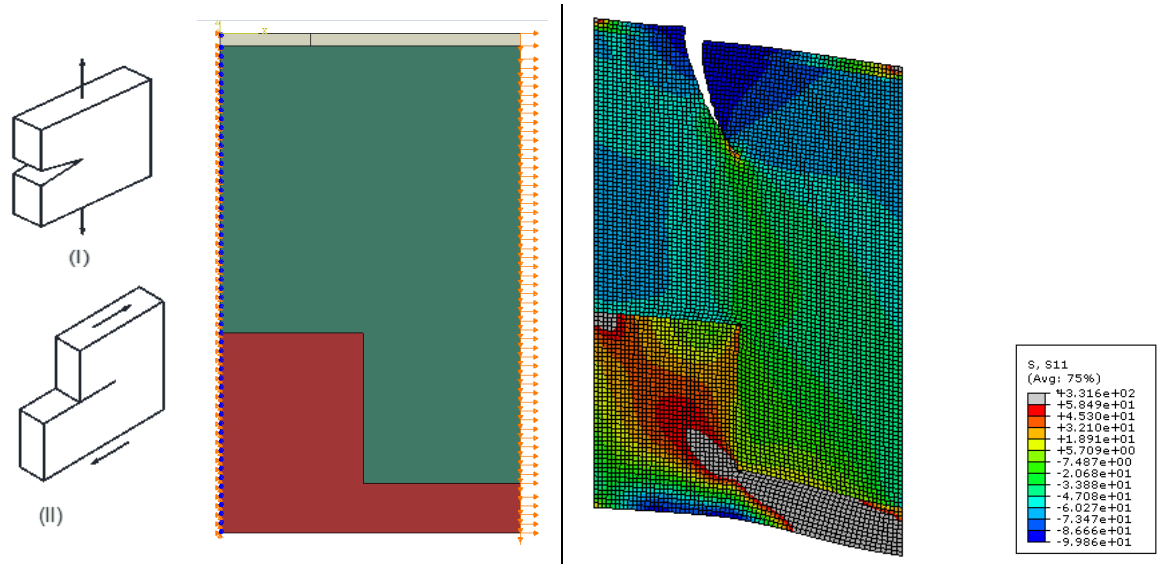


(b) Esfuerzos de tensión. Malla deformada con escalón=0

Figura 3.2.9 Propagación de grieta debido al modo II de carga, modelo con escalón de material rígido.

3.2.3.3 Modo mixto de fractura

Cuando el modelo se carga como el modo mixto, se forma un escalón en la parte superior del modelo, como se observa en la Figura 3.2.10b. De acuerdo con los resultados anteriores, los modos puros de carga I y II, propagan la grieta sin formar escalón; cuando ambos se combinan el escalón se genera. El modo I permite extender la grieta, pero al mismo tiempo contribuye a aumentar la acción del modo II que es el que provoca el escalón. Esta situación se puede comprender mejor en términos de energía de deformación que explica en el siguiente inciso.

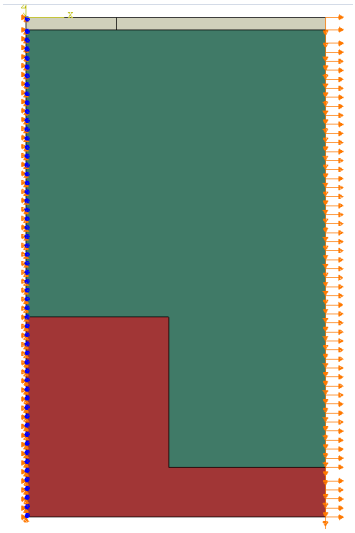


(a) Condiciones carga y frontera

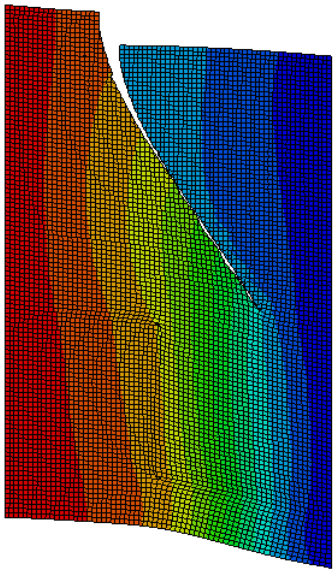
(b) Esfuerzos de tensión. Malla deformada con escalón

Figura 3.2.10 Propagación de grieta con escalón debido al modo mixto de carga, modelo con escalón de material rígido.

Una vez establecido que el modo mixto de carga es el que conduce a la generación del escalón, es importante puntualizar que la longitud de la grieta será función de la energía suministrada por el material (inciso 3.2.4) y que el tamaño del escalón dependerá de la magnitud de los desplazamientos verticales impuestos. Un ejemplo de esto se puede observar en las Figuras 3.2.11 y 3.2.12.

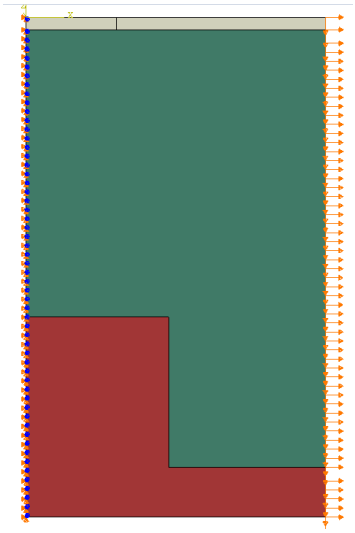


(a) Condiciones carga y frontera. δ_x=0.06 m, δ_y=-0.20 m

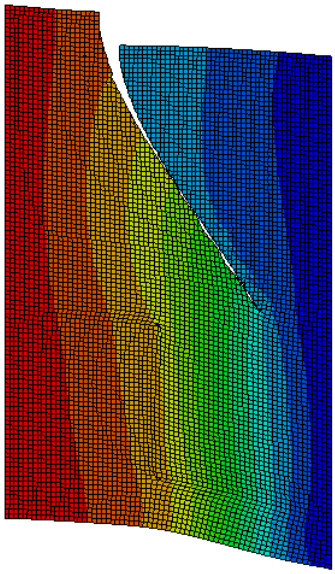


(b) Desplazamientos verticales. Escalón=4.0cm

Figura 3.2.11. Propagación de grieta con escalón debido al modo mixto de carga. δ_y=-0.20 cm.



(a) Condiciones carga y frontera. δ_x=0.30 m, δ_y=-1.00 m



(b) Desplazamientos verticales. Escalón=15.7cm

Figura 3.2.12. Propagación de grieta con escalón debido al modo mixto de carga. δ_y=-1.0 m.

3.2.4. Modelación del crecimiento del escalón

Para estudiar la velocidad de crecimiento del escalón se consideró un modo mixto de carga y una grieta existente en el estrato superior, como se muestra en el modelo de la Figura 3.2.13. El modo II de carga, se tomó como un desplazamiento vertical δ_y con variación de 0.20 m/año, de acuerdo al hundimiento regional presentado en la zona de estudio. Los análisis se realizaron con la Mecánica

de Fracturas Elástica Lineal (LEFM) y con un Modelo de Zona Cohesiva (CZM). Se analizó la variación del tamaño del escalón como una función de la longitud de la grieta.

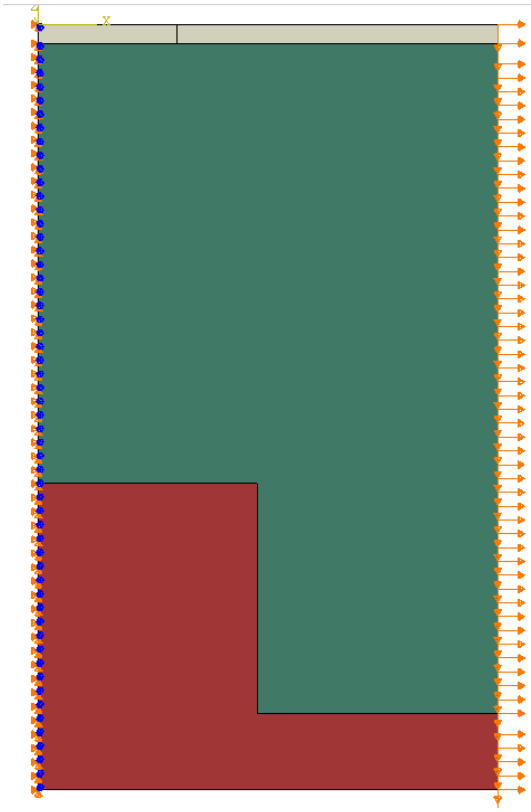
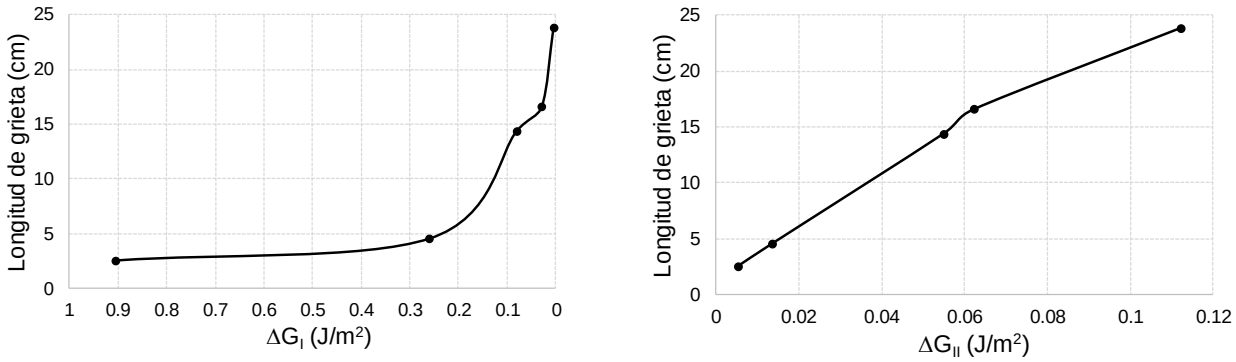


Figura 3.2.13. Modo mixto de carga.

3.2.4.1 Mecánica de Fracturas Elástica Lineal (LEFM)

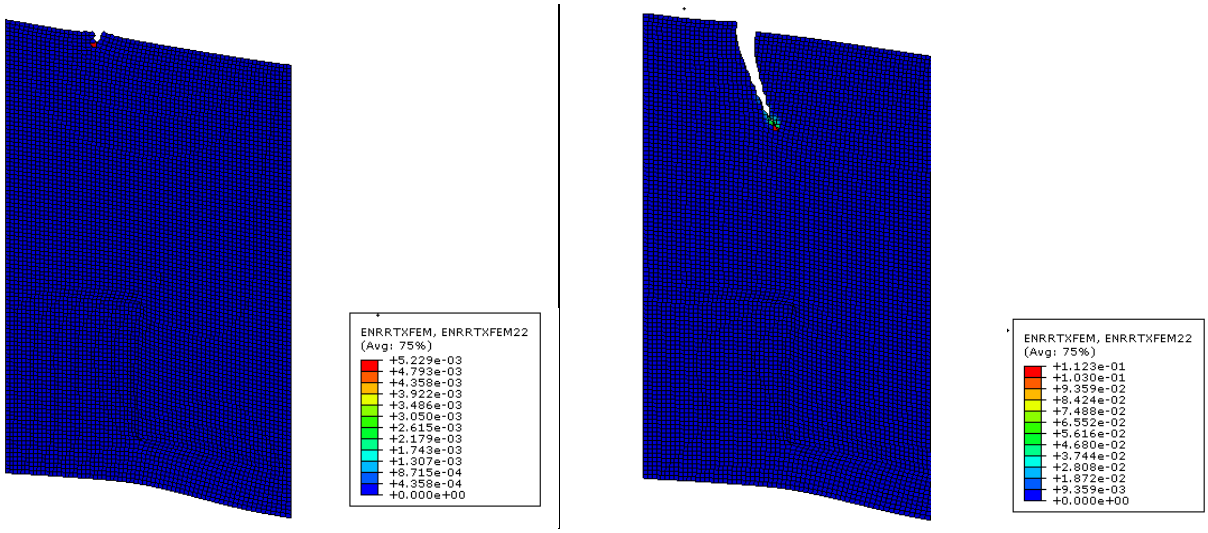
Influencia de G_I y G_{II} sobre la propagación de la grieta.

Estos análisis se realizaron con el criterio energético, donde el principal factor que influye en la extensión de una grieta es la relación de liberación de energía de deformación de cada modo, G_I y G_{II}. Para mostrar esta influencia, se consideró un valor constante de δ_y, se observó que al inicio de la grieta G_I es máximo y G_{II} es mínimo, la magnitud que tomen las energías dependerá del valor de δ_y. Al propagarse la grieta, la energía G_I en la punta disminuye, mientras la energía G_{II} se incrementa, Figura 3.2.14. La grieta se extenderá hasta que G_I se disipe. Si la energía G_I no cambia, no habrá aumento de cortante y la grieta no se propagará. En la Figura 3.2.15, se presenta el inicio y la propagación de una grieta, para un valor de δ_y=0.20 m. Al inicio de la grieta, las energías son generadas por δ_y y toman valores de G_I =0.9044 J/m^2 y G_{II} = 0.0053 J/m^2, el escalón es nulo, Figura 3.2.15a. Cuando la grieta se extiende a 23.78 m, se forma un escalón de 4.5 cm y las energías cambian a los valores siguientes: G_I=0.0286 J/m^2 y G_{II}=0.0523 J/m^2, Figura 3.2.15b.



(a) Longitud grieta para *GI*. (b) Longitud de grieta para *GII*.

Figura 3.2.14 Longitud de grieta en función de la relación de liberación de energía de deformación *G*.

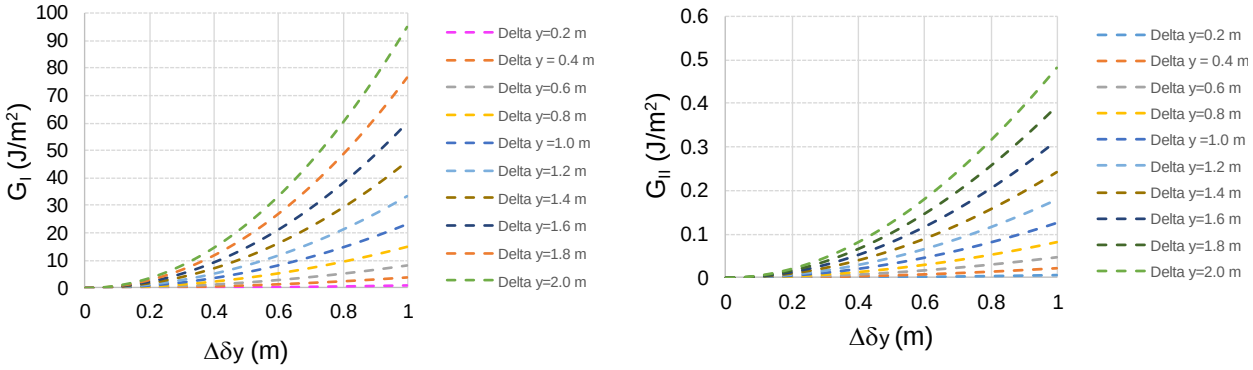


(a) Inicio de grieta (b) Extensión de la grieta

Figura 3.2.15 Relación de liberación de energía de deformación *GII* al inicio y al propagarse la grieta para $\Delta\delta_y$=0.20 m.

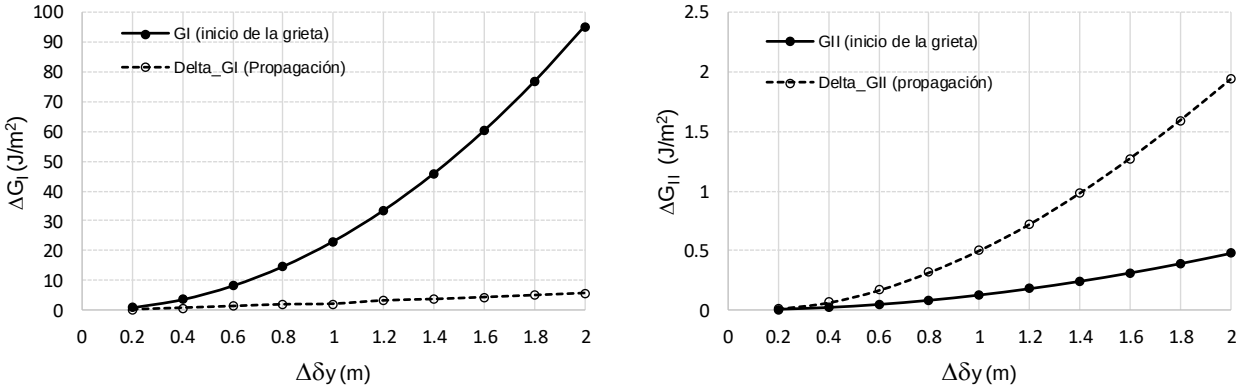
Influencia de $\Delta\delta_y$ sobre la propagación de la grieta.

La propagación de la grieta dependerá de la energía suministrada al sistema que se asocia al valor de δ_y, que se incrementa conforme el hundimiento regional es mayor. Si se considera que el hundimiento regional es de $\Delta\delta_y$=0.20 m/año, se tendrá, por ejemplo, que en 10 años δ_y=2.0 m. Considerando este tiempo, se obtuvieron las gráficas de las relaciones de energía de deformación *GI* y *GII*. En la Figura 3.2.16, se observa que a medida que δ_y aumenta, *GI* y *GII* también aumentan. De esta forma, si la energía que se suministra al sistema en un principio es muy grande, debido a un valor grande de δ_y, la grieta no se extenderá mientras que valor de δ_y sea menor que el que provocó la energía inicial. Las energías necesarias para la que la grieta se propague con una velocidad de $\Delta\delta_y$ = 0.20 m/año en 10 años, se presentan en la Figura 3.2.17. Se observa que *GI* disminuye y *GII* aumenta, en cada incremento de δ_y.



(a) Variación de *GI* para $\Delta\delta_y$ =0.20 m/año (b) Variación de *GII* para $\Delta\delta_y$ =0.20 m/año

Figura 3.2.16. Variación de la relación de liberación de energía de deformación *G* para varios valores de δ_y.

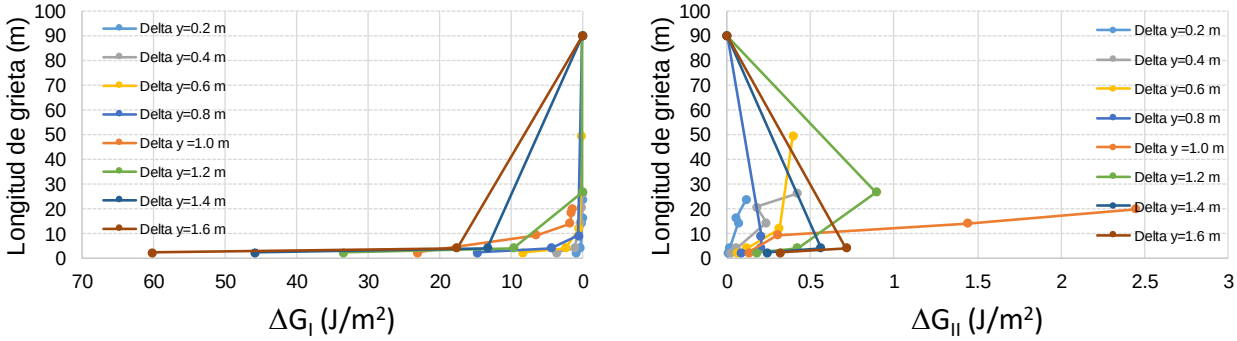


(a) ΔGI. (b) ΔGII.

Figura 3.2.17. Incremento de la relación de energía de liberación de deformación *G* en función de δ_y.

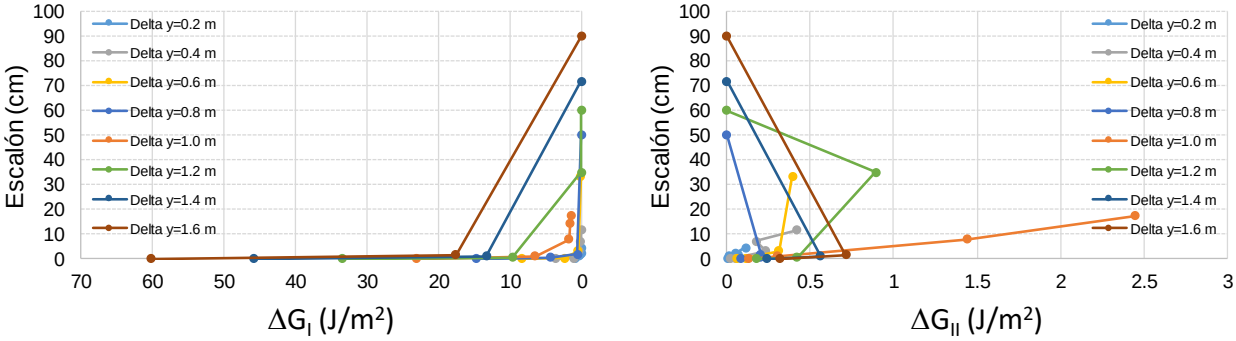
Longitud de grieta y crecimiento del escalón

Como se señaló en el párrafo anterior, la extensión de la grieta dependerá de la energía suministrada por el valor de δ_y. Entonces, la energía *G* tomará un valor, que puede propagar la grieta de forma estable o inestable atravesando todo el modelo. Por ejemplo, si el incremento del hundimiento regional conduce a que δ_y sea menor o igual que 1.0 m; cuando la grieta se propaga, manteniendo alguno de estos valores constantes, se observa que su longitud máxima se alcanza paulatinamente, hasta que *GI* se disipa, la grieta es estable. Sin embargo, cuando δ_y es mayor que 1.0 m, la grieta se propaga súbitamente en todo el modelo, provocando escalones máximos, como se muestra en las Figura 3.2.18 y 3.2.19. En la Figura 3.2.20, se observa que la longitud de la grieta para δ_y=1.0 m (extensión estable), es aproximadamente de 20m, con un escalón de 17.3 cm. Los tamaños subsecuentes del escalón son muy grandes, se generan por el crecimiento inestable de la grieta, incluso cundo δ_y=1.4m la grieta no avanza.



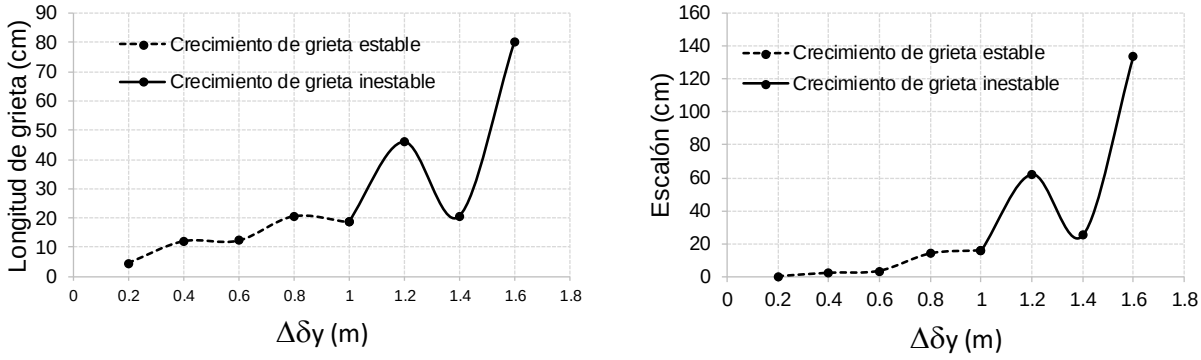
(a) Longitud de grieta en función de *GI*. (b) Longitud de grieta en función de *GII*.

Figura 3.2.18 Longitud de grieta en función de *G*



(a) Tamaño del escalón en función de *GI*. (b) Tamaño del escalón en función de *GII*.

Figura 3.2.19. Tamaño del escalón en función de *G*



(a) Longitud de grieta. (b) Tamaño del escalón.

Figura 3.2.20. Longitud de grieta y tamaño del escalón en función de δ_y

Los resultados de los análisis arrojados por LEFM, muestran que la longitud de la grieta es una función de la energía suministrada por el hundimiento regional δ_y. Cuando δ_y es menor de 1.0 m, es posible conocer una aproximación del tamaño del escalón. En este caso, la velocidad de crecimiento

del escalón no es proporcional a la longitud de la grieta, ella puede extenderse sin provocar un aumento significativo en el escalón. En cambio, si el hundimiento es mayor de 1.0 m, la energía suministrada es muy grande, lo que conduce a un crecimiento inestable de la grieta, propagándose en todo el modelo para generar escalones muy grandes. Este comportamiento puede estar relacionado con la influencia de la zona plástica que se desarrolla en la punta de la grieta, que no se puede tomar en cuenta con LEFM. Con el objetivo, de considerar la influencia de esta zona plástica sobre la longitud de la grieta y tamaño del escalón, se realizó un análisis con un Modelo de Zona Cohesiva (CZM), el cual considera que la zona plástica en la punta de la grieta es una zona cohesiva donde el esfuerzo perpendicular a la superficie de la grieta es igual al esfuerzo de fluencia, lo que permite aproximar el tamaño de la zona plástica como la longitud de la grieta. En el siguiente inciso se presentan los resultados de estos análisis.

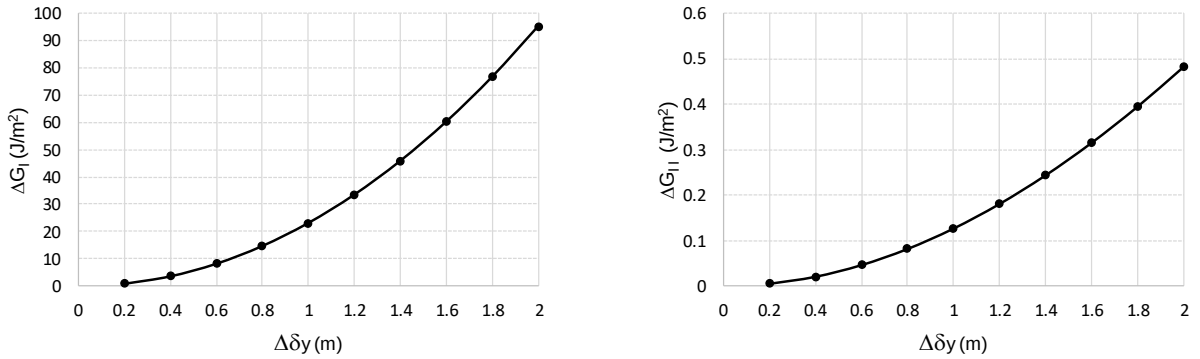
3.2.4.2 Modelo de zona cohesiva (CZM)

Este método establece una relación entre el esfuerzo resistente (llamado esfuerzo cohesivo σ_c) y la separación δ entre las dos superficies de la grieta. A esta relación se le llamada ley de Tracción-Separación, que también puede estar en términos de deformación. Estos análisis se realizaron considerando el criterio de esfuerzos principales máximos, conocido como criterio de Rankine. El modelo numérico utilizado en estos análisis es el de la Figura 3.2.13. En este análisis, también se consideró que el modo II de carga está representado por un desplazamiento vertical δ_y que varía de 0.20 a 2.0 m en 10 años, para una velocidad del hundimiento regional de $\Delta\delta_y$= 0.20 m/año.

Influencia del esfuerzo cohesivo σ_c sobre la longitud y tamaño de la grieta

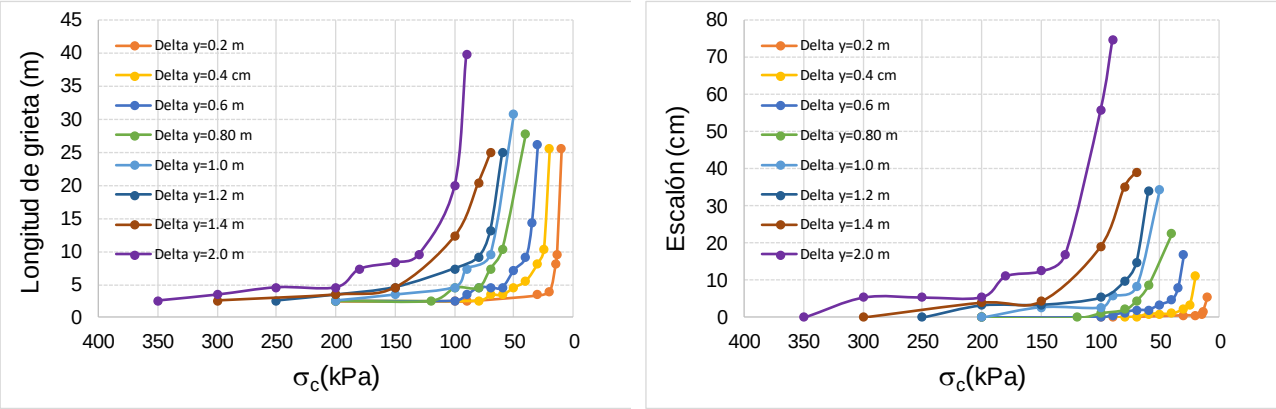
De acuerdo con la ley de Tracción-Separación (Figura 3.2.4), la separación máxima entre las superficies de la grieta se alcanza cuando σc es nulo y la energía cohesiva Gc, representada por el área bajo la curva, se disipa. Las energías Gc tomadas para este análisis son las obtenidas con el método de LEFM para cada incremento de δy , como las que se muestran en la gráficas de la Figura 3.2.21.

En este primer análisis, se evaluó la variación de la longitud de la grieta y el tamaño del escalón en función del esfuerzo cohesivo σc. La grieta se propagó variando, para cada valor de δy, la magnitud de σc. En la Figura 3.2.22, se observa que cuando δy toma un valor de 0.20 cm, el esfuerzo requerido para propagar la grieta es muy bajo, alrededor de 20 kPa, generando una longitud de grieta de 10m y un escalón de 3 cm. Conforme δy es mayor, el esfuerzo cohesivo σc, requerido para que la grieta comienza a extenderse, aumenta. Por ejemplo, en el caso de δy=2.0 m, con un valor de σc=150 kPa, la grieta se extiende hasta 8.2 m con un escalón de 12.5 cm, aproximadamente. En efecto, la grieta puede propagarse en todo el modelo, con un escalón máximo, si σc sigue disminuyendo. Con cada incremento δy, la resistencia cohesivo σc requerida (σc^* crítico) para iniciar la grieta es mayor. De esta forma, cada curva generada por el incremento de δy que se muestra en las gráficas de la Figura 3.2.22, representa un espacio de esfuerzos cohesivos σc con valores de σc^* variables que conduce a longitudes de grietas variables. De estas gráficas también se puede observar que para cada valor de δy, existe un valor de σc para el cual la longitud de grieta comienza a ser significativa, al provocar escalones visibles.



(a) *GI* (b) *GII*

Figura 3.2.21. Relación de liberación de energía de deformación *G*



(a) Longitud de grieta (b) Tamaño del escalón

Figura 3.2.22. Variación de la longitud de grieta y tamaño del escalón en función del esfuerzo cohesivo σ_c.

Influencia del hundimiento regional $\Delta\delta_y$ sobre la longitud y tamaño de la grieta.

De acuerdo con las gráficas de la Figura 3.2.22, una vez que se alcanza el valor crítico σc*, la grieta comienza avanzar; al ir disminuyendo σc, la longitud de la grieta va aumentando y puede extenderse en todo el modelo, sin que σc pueda llegar a ser nulo. En el subsuelo, la resistencia σc, se incrementa conforme la profundidad aumenta, la propagación de la grieta dependerá del valor de δy que se incrementa debido al hundimiento regional. En el modelo numérico, cuando la grieta no se ha propagado, δy y σc toman valores iniciales. Al aumentar δy, la grieta se extiende, entonces la punta de la grieta se encuentra a una profundidad mayor, donde el valor de σc del suelo pueden ser mayor que el valor tomado al inicio de la grieta. Si a la profundidad donde se encuentra la punta de la grieta, la resistencia del suelo está por encima del esfuerzo cohesivo crítico σc*, que provoca el incremento δy, la grieta no avanza; en caso contrario, la grieta se extiende con longitudes variables, incluso hasta propagarse en todo el modelo, cuando δy sigue aumentando y la resistencia del suelo con la profundidad no se incrementa.

Para visualizar la variación de la longitud de la grieta y del escalón en función de δ_y, se propuso una variación del esfuerzo cohesivo del suelo σ_c, también como una función de δ_y, como se muestra en la Figura 3.2.23. De acuerdo con esta variación propuesta de σ_c, se obtuvieron las gráficas de la Figura 3.2.24, donde se observa que en los primeros incrementos de δ_y, la grieta se extiende muy poco y el escalón que se genera es despreciable. A partir de δy=1.0 m, la propagación de la grieta provoca escalones apreciables, alrededor de 12 cm. Al incrementar δy, la extensión de la grieta es mayor; sin embargo, puede ocurrir que para algunos valores de δy, la longitud de la grieta puede permanecer sin cambio, incrementándose solamente el tamaño del escalón. También se puede observar, que la longitud de la grieta puede disminuir con respecto a su valor anterior, esto se debe simplemente a que para el valor específico δy, el esfuerzo cohesivo σc, no está muy lejos del esfuerzo σc^*, lo que significa en realidad que la grieta no avanza para tal incremento de δy. Con forme el valor de δy se incrementa, el escalón puede ser mayor o constante.

No es simple predecir el comportamiento de una grieta, debido a que las variaciones de la resistencia del suelo, puede conducir a variaciones en la longitud de la grieta y por tanto en el tamaño del escalón. Sin embargo, los resultados del análisis con CZM, caracterizan de forma adecuada el comportamiento de la grieta cuando se trata de materiales altamente deformables como el suelo en estudio. Se confirma también, que la extensión de la grieta no tiene una relación de proporción con el tamaño de la grieta. La longitud de la grieta y el tamaño del escalón son función de la resistencia del suelo.

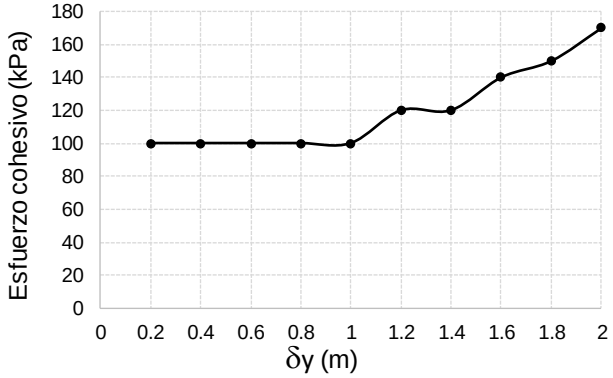
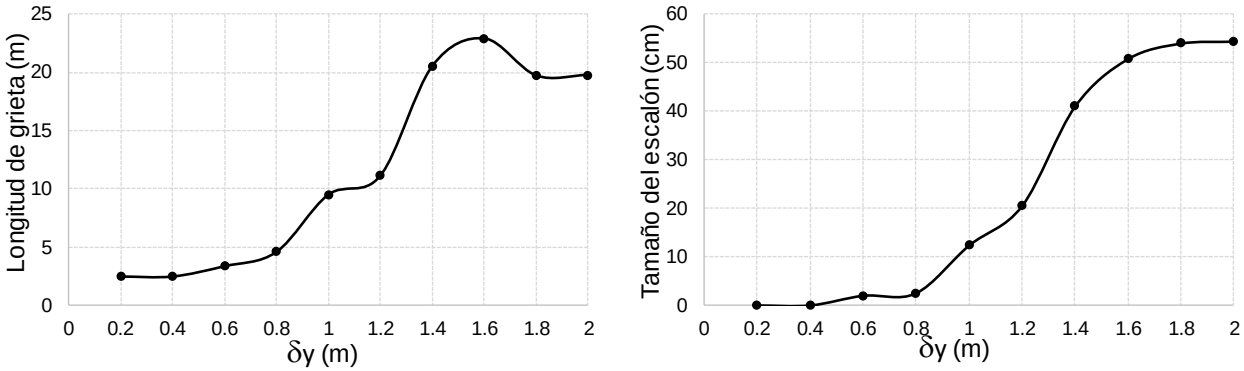


Figura 3.2.23 Variación del esfuerzo cohesivo σ_c propuesto en función del desplazamiento vertical δ_y.



(a) Longitud de grieta (b) Tamaño del escalón

Figura 3.2.24. Variación de la longitud de la grieta y tamaño del escalón en función del desplazamiento vertical δ_y.

3.2.5. Conclusiones

Con los análisis realizados en este inciso se pudieron conocer los factores más importantes que influyen en la iniciación y propagación de grietas en el subsuelo de la Ciudad de México. Para realizar la modelación numérica del problema de agrietamiento, se utilizó el enfoque de la mecánica de fracturas y el Método del Elemento Finito Extendido (X-FEM). El estudio se realizó con el criterio de la Mecánica de Fracturas Elástica Lineal (LEFM) y un con un Modelo de Zona Cohesiva (CZM).

El fenómeno de agrietamiento en suelos no es simple de modelar; la propagación de grietas es muy sensible a muchos factores; sin embargo, la mecánica de facturas permitió aportar conclusiones importantes para el entendimiento del mecanismo de iniciación y propagación de grietas.

Con base en los modos de carga considerados en la mecánica de fracturas, se concluyó que el modo I (tensión) y modo II (cortante) tienen un efecto combinado en la extensión de grietas y por tanto en el tamaño del escalón. Las grietas superficiales inician verticalmente por esfuerzos de tensión (modo I), que son provocados por la presencia de la sierra en la zona de estudio. De acuerdo con la estratigrafía del lugar, la existencia de una colada de basalto de frente vertical localizada bajo los depósitos profundos, conduce a que el agrietamiento vertical superficial se ubique solamente en dirección de la parte más alta de este material. Una vez que la grieta se inicia en la superficie, cada modo de carga por separado, propaga la grieta de forma distinta; el modo I vertical y el modo II con cierta inclinación, en ninguno de los casos se genera escalón. El escalón se forma, debido al efecto combinado de los modos I y II. El modo I, inicia la grieta en la superficie y suministra energía para que pueda avanzar, el modo II genera un cortante que propaga la grieta en dirección inclinada para formar el escalón.

En los análisis realizados mediante la LEFM y el CZM, se estudió la velocidad de crecimiento del escalón como una función de la longitud de la grieta. Se consideró un modo mixto de carga, en el que el modo II de cortante se tomó como un desplazamiento vertical δ_y que se incrementa, de acuerdo a la velocidad del hundimiento regional, a 0.20 cm/año. Las conclusiones de estos análisis se presentan en los siguientes párrafos.

De acuerdo con la Mecánica de Fracturas Elástica Lineal (LEFM), la propagación de una grieta depende de la energía suministrada G al suelo por el módulo de deformación E. La relación de liberación de energía de deformación G representa la resistencia del suelo y es el principal parámetro que afecta la longitud de la grieta, teniendo que:

- Para que una grieta se propague, la energía de deformación GI (modo I) debe disminuir, mientras GII (modo II) debe aumentar. Si no hay cambio en las energías; es decir, si el hundimiento regional δy no aumenta o la deformabilidad del material es mayor que la del inicio de la grieta, la grieta no avanza.

- La cantidad de energía que se puede suministrar al suelo está relacionada con el límite elástico, si la magnitud de δy rebasa este límite, se conduce a que GI se disipe al inicio de la grieta y cualquier incremento de δy propaga la grieta de forma inestable. Cuando el hundimiento regional δy es menor que 1.0 m, la propagación es estable, si δy es mayor que 1.0 m, la propagación es inestable.

- Para los casos en que la grieta es estable, la velocidad de crecimiento del escalón no es proporcional a la longitud de la grieta. Se observó que para algunos incrementos de δ_y las longitudes de la grieta son mayores que el tamaño del escalón, o la longitud permanece casi sin cambio y el escalón es mayor.

El problema del crecimiento inestable de la grieta, se debe a la formación de una zona de deformación plástica en la punta de la grieta que la LEFM no puede evaluar. Este problema se resolvió con un Modelo de Zona Cohesiva que aproxima el tamaño de la zona plástica en la punta de la grieta con la longitud de la grieta. En este criterio, el principal parámetro que influye en la propagación de la grieta es el esfuerzo cohesivo del suelo σ_c. De los resultados de los análisis se concluye lo siguiente:

- La longitud de la grieta y el tamaño del escalón son una función del esfuerzo cohesivo σc y del hundimiento regional δy. Para un mismo valor inicial de δy, la grieta se propaga al disminuir el esfuerzo cohesivo σc. Al incrementar δy, el esfuerzo cohesivo σc requerido para extender la grieta es mayor que el requerido para δy inicial. Cada incremento de δy conduce a diferentes esfuerzos cohesivos σc que provocan longitudes de grietas variables.

- Una vez que la grieta comienza a extenderse, solamente puede avanzar si al incrementar δy, el esfuerzo resistente del suelo σc en la punta de la grieta, se encuentra después de que se ha alcanzado el esfuerzo cohesivo σc^* crítico (correspondiente al incremento δy); de lo contrario la grieta no se extiende. Para valores muy grandes de δy la grieta puede propagarse en todo el modelo si la resistencia no es mayor con la profundidad. Si ésta aumenta con la profundidad, la longitud de la grieta se puede incrementar poco o nada, dependiendo del valor de δy.

- No existe una relación de proporción entre la longitud de la grieta y el tamaño del escalón. La grieta puede propagarse sin generar cambio en el tamaño del escalón, como sucede en los primeros valores de δy. Sin embargo, cuando la punta de la grieta se encuentra a profundidades mayores, puede no extenderse, dependiendo de σc, e incrementar el escalón.

Mediante estos análisis se presentó un panorama general de los factores más importantes que influyen en la generación y propagación de grietas. Sin embargo, el fenómeno de agrietamiento del suelo es un problema complejo de modelar y requiere realizar más análisis que permitan estudiar la influencia de otros aspectos sobre este fenómeno, como: tamaño de la grieta inicial, más de una grieta, dimensiones del modelo numérico, dimensiones y tipo de los elementos de la malla, etc. Esto con el fin de tener suficientes elementos para la comprensión de la generación y propagación de grietas.

4. INSTRUMENTACIÓN

En algunos sitios de las en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta, el impacto del problema del fenómeno de agrietamiento asociado a la consolidación regional en zonas de transición abrupta entre materiales firmes y suelos blandos ha ganado un peso sobresaliente por su continua pero moderada capacidad de destrucción; particularmente en: bardas y edificaciones de autoconstrucción que suelen ser muy precarias y en los servicios públicos de agua, drenaje, así como los ductos de Pemex y gas natural.

Por consiguiente, las grietas de transición abrupta preexistentes a los sismos de septiembre del 2017 constituyen un importante factor de riesgo que debe ser evaluado respecto a la celeridad tanto de la altura del escalón de la grita como de los movimientos verticales y horizontales de la superficie del terreno a partir de mediciones geodésicas satelitales de gran precisión provenientes de la tecnología del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS); y así, contribuir en la definición de medidas protectoras y de coexistencia requeridas, a fin de que se tome en cuenta la presencia real o potencial de grietas en el diseño de construcciones e instalaciones y para evitar o por lo menos disminuir el daño que puedan ocasionar a las edificaciones en general.

Al percatarnos de que las subdirecciones de protección civil de las alcaldías del Gobierno de la Ciudad de México y en particular, la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos de la Alcaldía Iztapalapa cuentan con una plantilla propia y permanente de recursos humanos; el grupo del Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM, juzgo conveniente proponerles la evaluación continua de la altura del escalón de cada grieta; así como capacitarlos para emprender dicha evaluación y proporcionales un par de reglas. Cabe destacar, que esta evaluación no requiere de equipos costosos, ni de compleja tecnología y mucho menos de personal altamente capacitado.

4.1 Estaciones de monitoreo continuo GNSS

Las Estaciones de Monitoreo Continúo GNSS (por sus siglas en inglés: Global Navigation Satellite System) son conocidas sobre todo por sus aplicaciones en las Ciencias de la Tierra, principalmente al área de la Geodesia; sin embargo, las más extendidas son las aplicaciones civiles que se instalan en los celulares, vehículos y otros. También se divisa como muy prometedor para aplicaciones en geotecnia y, particularmente, para evaluar la subsidencia de los suelos ocasionada por la extracción de agua, petróleo, gas, por la construcción de túneles y otras.

Una estación de monitoreo continúo GNSS consiste en un receptor y una antena, ambos de calidad geodésica; la antena es instalada permanentemente sobre un monumento como se ilustra en la figura 4.1.1, la cual es una estación GNSS tipo del consorcio universitario UNAVCO (University NAVstar COnsortium). Este consorcio opera sin fines de lucro y es administrado por universidades para facilitar la investigación geocientífica y la educación mediante la geodesia.

Figura 4.1.1 Estación GNSS de operación continúa Tipo UNAVCO.

Las estaciones GNSS de naturaleza geodésica recolectan datos a diferentes intervalos de tiempo (ejemplo: 1s, 5s, 15s o 30s) dependiendo de la aplicación o problema a resolver, las 24 horas del día, todos los días del año o según convenga de los 89 satélites artificiales que integran las constelaciones: GLONASS-Rusia; NAVSTAR GPS-EUA y Galileo-Comunidad Europea y que orbitan alrededor de nuestro planeta.

Actualmente, el empleo de estas herramientas tecnológicas se encamina a estudios tanto de meteorología como de caracterización sísmica para periodos largos. El grupo del Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM ha propuesto usarlo para la evaluación y monitoreo de la subsidencia y agrietamiento causada por la extracción de agua.

Cabe destacar, que con tan solo ocho de más de 36 estaciones GNSS contempladas para la Red de Operación Continua “SUBVAMEXNet” (Figura 4.1.2) tanto los investigadores como las autoridades locales y federales podrán emprender no solo estudios para evaluar el hundimiento regional; incluso, podrá obtener parámetros de temperatura, presión barométrica, humedad relativa y velocidad del viento superficial para emprender estudios sobre fenómenos atmosféricos; además, también obtendrá si así lo requiere estudios sobre sismicidad para periodos largos en la extensa y compleja región del Valle de México. La Red SUBVAMEXNet constituirá la base instrumental para reanudar y modernizar el Sistema de Monitoreo, Registro y Difusión de datos sobre el Hundimiento (SIMOH).

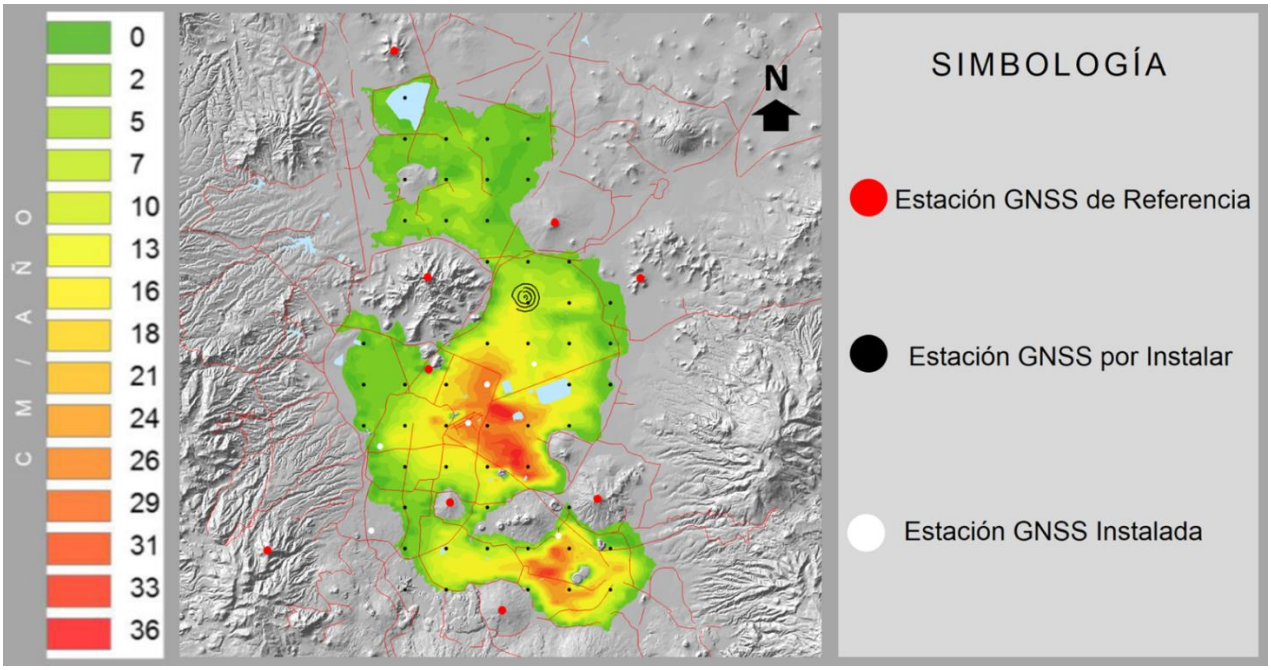


Figura 4.1.2 Red Geodésica de Operación Continua, SUBVAMEXNet.

Esta propuesta de instrumentación del Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM tiene como primera prioridad establecer un marco de referencia terrestre geoespacial consistente, estable y preciso, a través de mediciones geodésicas de alta resolución temporal y amplia cobertura espacial que se orientan al estudio de los fenómenos de agrietamiento; subsidencia; atmosféricos y sísmicos para el Valle México.

Este marco de referencia terrestre, se obtendrá a partir de las mediciones proporcionadas por la Red Geodésica de Operación Continua, SUBVAMEXNet que se plantea en este trabajo. Lo anterior, permitirá contribuir a evaluar la celeridad tanto la altura de escalón de las grietas como de los movimientos verticales y horizontales de la superficie del terreno a partir de ocho Estaciones de Monitoreo Continuo GNSS (Sistema Global de Navegación por Satélite).

Con la SUBVAMEXNet, se podrá interpretar de forma precisa los movimientos verticales y horizontales del terreno, causados por el fenómeno de subsidencia, complementados con información física y geométrica.

Además, se obtendrán parámetros de temperatura, presión barométrica, humedad relativa y velocidad del viento superficial para el estudio de los fenómenos atmosféricos y con las estaciones de la SUBVAMEXNet, se podrán emprender estudios de sismicidad para periodos largos. En las láminas de la figura Fig. 4.1.3, se muestran algunas de las Estaciones GNSS instaladas.

Figura 4.1.3 Estaciones instaladas de la Red Geodésica, SUBVAMEXNet.

Las herramientas tecnológicas de los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) presentan un extraordinario potencial para aplicaciones en ingeniería y particularmente para evaluar con menor incertidumbre la magnitud y celeridad del fenómeno de subsidencia. Combinado las mediciones realizadas con estos sistemas con los resultados obtenidos con otro tipo de sensores, se puede lograr mejores evaluaciones de dicho fenómeno. Estos sistemas permitirán además validar los resultados obtenidos con técnicas indirectas de medición que requieren de puntos de control GNSS bien establecidos (Figura 4.1.4).

Figura 4.1.4 Estaciones GNSS instalada en un sitio emblemático de agrietamiento.

El esfuerzo emprendido por diferentes grupos y en particular, por el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería para contar con mediciones sistemáticas y precisas sobre el fenómeno de subsidencia con objeto de establecer medidas que permitan controlar, por lo menos parcialmente, el fenómeno y mitigar sus efectos sobre la infraestructura del área urbana.

Estas herramientas tecnológicas ya han permitido obtener resultados útiles y prometedores, pero solamente se trata de la primera etapa de un enorme trabajo que deberá seguirse realizando en forma sistemática en el futuro (Figura 4.1.5). La continuidad en la voluntad para llevar a cabo estos estudios y en la movilización de los medios requeridos para su realización resultará esencial para que se logren frutos cada vez más satisfactorios.

Figura 4.1.5 Antenas, receptores y accesorios para las nuevas estaciones GNSS.

Los autores agradecen la valiosa colaboración de: Dr. Manuel E. Trejo Soto y G. Esteban Vázquez Becerra de la Universidad Autónoma de Sinaloa, John Galetzka del consorcio universitario UNAVCO, Efraín Ovando Shelley, Miguel Rodríguez González y de todo el personal de la Unidad de Instrumentación Sísmica del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

4.2 Medición de la altura del escalón de las grietas

En la Figura 4.2.1, se muestra el instrumento sencillo (reglas graduadas) que se rediseño para esta nueva etapa de mediciones sistemáticas de la altura del escalón de las grietas por parte de las subdirecciones de protección civil de las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta del Gobierno de la Ciudad de México. En la Tabla 4.2.1, se indican las fechas de entrega de reglas en las diferentes Alcaldías.

En las imágenes de las Figuras 4.2.2 a 4.2.5 se ilustra el día en que el grupo del Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería de la UNAM hace entrega de los instrumentos y capacitación en su empleo a los grupos de trabajo de las Alcaldías de Iztapalapa, Xochimilco, Tláhuac y Milpa Alta.

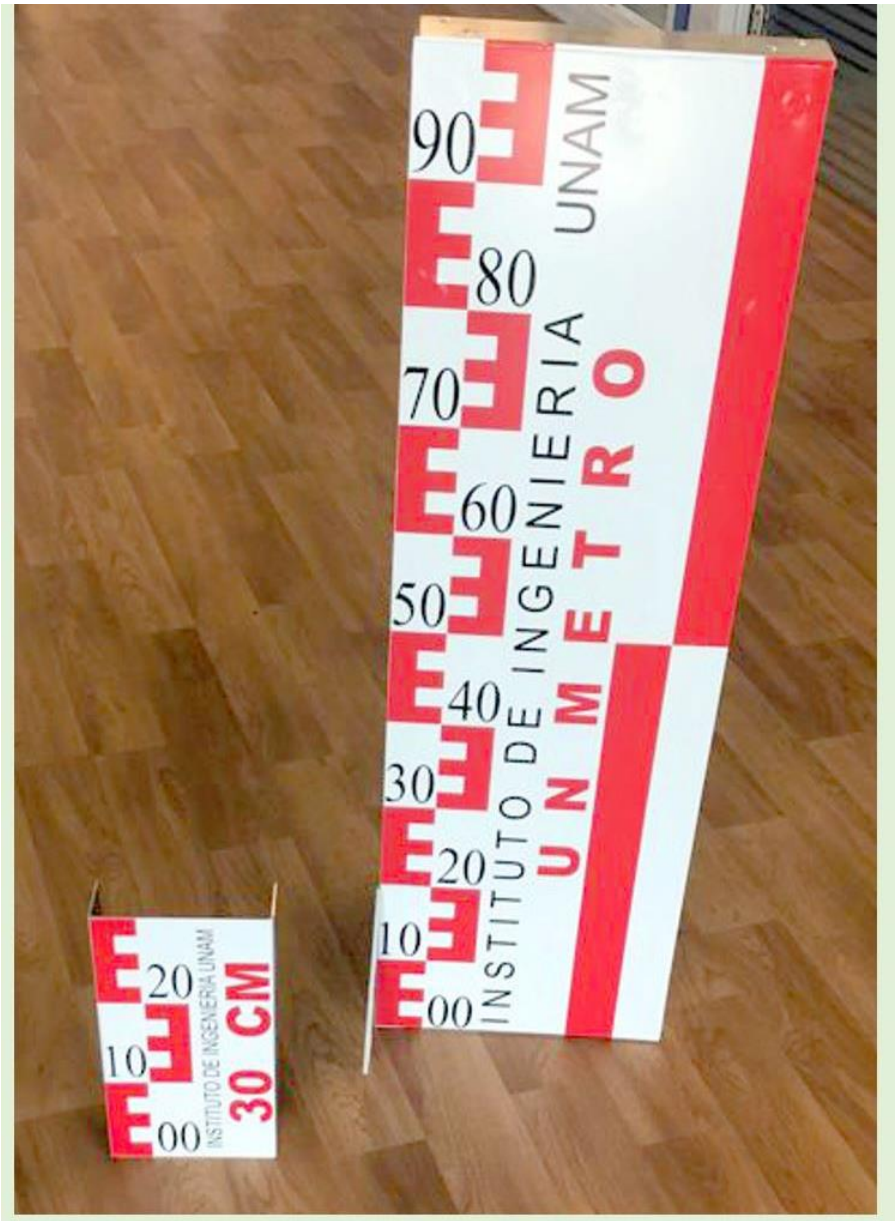


Figura 4.2.1 Reglas para emprender la nueva campaña de mediciones sistemáticas.

Tabla 4.2.1 Fechas de entrega de reglas.

Fecha	Alcaldía
06/06/2019	Iztapalapa
07/06/2019	Xochimilco
11/06/2019	Tláhuac
13/06/2019	Milpa Alta

Figura 4.2.2 Entrega de los instrumentos y capacitación en la evaluación para mediciones sistemáticas en la Alcaldía de Iztapalapa.

Figura 4.2.3 Entrega de los instrumentos y capacitación en la evaluación para mediciones sistemáticas en la Alcaldía de Xochimilco.

Figura 4.2.4 Entrega de los instrumentos y capacitación en la evaluación para mediciones sistemáticas en la Alcaldía de Tláhuac.

Figura 4.2.5 Entrega de los instrumentos y capacitación en la evaluación para mediciones sistemáticas en la Alcaldía de Milpa Alta.

4.3 Dispositivo teledirigido (dron) del Laboratorio de Geoinfomática del II-UNAM

Durante el periodo que cubre el pr3esente informe se han realizado pruebas de vuelo con el dispositivo teledirigido que se pretende usar para levantamientos de campo en las zonas de interés.

CARACTERÍSTICAS	INSPIRE 2 PRO
Peso	3.290 kg
Dimensiones	60.5 cm diagonal
Autonomía de vuelo	Aprox. 27 min.
Velocidad máxima	94 km/h
Cámara (Zenmuse X5S)	20.8 MP
Cámara FPV	Visión en primera persona
Rango de detección de obstáculos	0 a 5m
Memoria	16GB

Figura 4.3.1 Dispositivo teledirigido (dron) del Laboratorio de Geoinfomática del II-UNAM

5. EVALUACIÓN DE DAÑOS (ACOMPAÑAMIENTO A LAS AUTORIDADES)

5.1 Actualización del formulario de dictamen geo-estructural

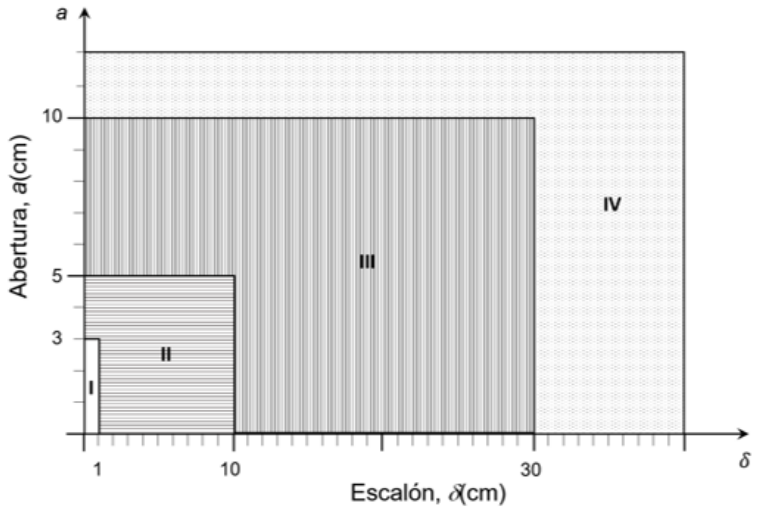
A principios del año 2019, la Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México inició los trabajos para la reparación de daños causados por el sismo de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de estos trabajos, la Comisión para la Reconstrucción consideró necesario realizar una revisión de predios afectados por grietas en el suelo.

Para lo anterior, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una cédula de revisión geotécnica-estructural que sería utilizada en esta nueva etapa de revisión de predios afectados. En respuesta a esta solicitud, el II-UNAM en conjunto con el ISC actualizaron la cédula de dictamen Geo-Estructural presentada en la Nota Técnica G-03 “Cédula de Dictamen Geo–Estructural” (Anexo D).

Para la elaboración de esta cédula, también se consideraron las valiosas opiniones de algunos grupos que intervienen en el comité de grietas (ISC, CERG Iztapalapa, Jefatura de Gobierno y Comisión para la Reconstrucción).

Con el propósito de clasificar adecuadamente las grietas detectadas dentro de los predios inspeccionados, el II-UNAM definió una clasificación de acuerdo con las dimensiones del escalón y abertura que pudiera presenta la grieta más crítica. La clasificación queda definida por la gráfica de la figura 5.1.1.

En la figura 5.1.2, se presenta el contenido de la Cédula de Dictamen Geo Estructural actualizada.



Clasificación de la grieta más crítica:

- **Nivel I:** $\delta < 1\text{cm}$ y $a < 3\text{cm}$
- **Nivel II:** $1 < \delta < 10\text{cm}$ y/o $3\text{cm} < a < 5\text{cm}$
- **Nivel III:** $10 < \delta < 30\text{cm}$ y/o $5\text{cm} < a < 10\text{cm}$
- **Nivel IV:** $\delta > 30\text{cm}$ y/o $a < 10\text{cm}$

Figura 5.1.1 Clasificación de grietas, de acuerdo con sus dimensiones.

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS
INSTITUTO PARA LA SEGURIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

DICTAMEN GEO–ESTRUCTURAL

Folio: _____

Clave catastral: _____

Fecha: _____ Cuadrante: _____

Elaboraron: _____ _____

En su calidad de: DRO ☐ CSE ☐ Camet No.: _____ Especialista en Geotecnica

Manifiesto estar vigente en el padrón de Auxiliares de la Administración Pública de la Ciudad de México y conforme a los artículos 32, 34 fracciones III, IV, V; 35 fracciones IV y X; 36 fracción I, a) y b) y 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal; de conformidad con las acciones de gobierno para atender las afectaciones provocadas por el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 encaminadas a la reconstrucción y resiliencia de la Ciudad de México, hemos llevado a cabo la revisión ocular del inmueble de referencia, obteniendo los siguientes resultados al momento de la visita:

- **Ubicación**

Calle y número: _____
Entre las calles: _____
Colonia: _____
Alcaldía: _____ C. P.: _____
Antigüedad del inmueble: _____

Localización del predio en vista aérea (google maps)

- **Coordenadas UTM (m):**

X = ☐ Y= ☐

- **Uso del inmueble**

Habitacional	☐	Educación	☐	Salud	☐	Otros	☐
Oficinas	☐	Industrias	☐	Centro de reunión	☐		
Comercio	☐	Recreativo	☐	Bodegas	☐		

Especificar: _____ Estado actual del inmueble: Ocupado ☐ Desocupado ☐

N° de niveles SNB: _____ N° de sótanos: _____ N° de viviendas: _____ N° de ocupantes: _____

- **Descripción de la estructura:**

Grupo (Art. 139 RCDF): A1 ☐ A2 ☐ B1 ☐ B2 ☐ Zonificación geotécnica: I, Lomas ☐ II, Transición ☐ III, Lago ☐

Tipo de cimentación del inmueble (inferida): _____
(Zapata corrida, Losa de cimentación, Cajón de cimentación, Pilotes, etc.)

No.	Tipo de Estructuración	Selección
1	Muros de mampostería de carga (adobe, sillar o tabique) con bóveda catalana.	
2	Muros de mampostería de carga (tabique o tabicón) con losa maciza. Confinados Sí ( ) No ( )	
3	Marcos de concreto de trabes y columnas con muros de mampostería diafragma y divisorios. a) losa maciza b) losa reticular c) vigueta y bovedilla d) ligera	
4	Marcos de concreto en planta baja y muros de mampostería de carga en niveles superiores losa maciza.	
5	Marcos de concreto de columnas con losa plana y muros diafragma y divisorios.	
6	Estructura metálica. a) losacero b) cubierta ligera	
7	Otros.	

- **Descripción de daños en elementos estructurales**

Página 1 de 2

Figura 5.1.1 Cédula de dictamen Geo Estructural (pag. 1).

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS
INSTITUTO PARA LA SEGURIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

DICTAMEN GEO–ESTRUCTURAL

- **Descripción de daños en elementos no estructurales**

- **Estado de la edificación (Instalaciones y mantenimiento)**

- **Daños asociados al subsuelo**

Desplomo del edificio (valor medido en cm) _____
Asentamientos diferenciales (valor medido en cm) _____
Emersión aparente (valor medido en cm) _____
Posible inestabilidad de talud (inclinación y altura del talud aprox.) _____
Oquedades o socavación (dimensiones aprox.) _____
Otros _____

- **Grietas en el suelo**

Sin escalón ☐ Con escalón ☐ Rumbo (°):_____ Longitud dentro del predio (m): _____

Escalón al interior del predio (cm): _____ Abertura (cm): _____ Profundidad (cm): _____

Escalón en calle o área colindante (cm): _____ Abertura (cm): _____ Profundidad (cm): _____

- **Clasificación de la grieta más crítica en el predio:**
  Nivel I (escalón < 1cm y abertura < 3cm) ☐
  Nivel II (1cm < escalón < 10cm y/o 3cm < abertura < 5cm) ☐
  Nivel III (10cm < escalón < 30cm y/o 5cm < abertura < 10cm) ☐
  Nivel IV (escalón > 30cm y/o abertura > 10cm) ☐

- **CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN:**

Posible Edificio catalogado ☐ **(consultar al INBA y/o al INAH antes de cualquier intervención)**

☐ **Mantenimiento**
La edificación al momento de la visita ***no presenta daños*** *por sismo o grietas en el subsuelo. Sin embargo, requiere Mantenimiento integral periódico.*

☐ **Rehabilitación**
La edificación presenta daños en elementos estructurales y/o en elementos arquitectónicos por lo que debe ser intervenida mediante un proyecto de rehabilitación en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel I o no presenta. El proyecto de rehabilitación incluirá tratamiento de la grieta en su caso.

☐ **Reconstrucción con tratamiento de grietas**
La edificación presenta daños graves por lo que requiere demolición parcial o total para proceder a la construcción de una nueva edificación de características similares en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel II o III. El diseño de la nueva estructura incluirá tratamiento de grietas y medidas especiales para minimizar sus posibles efectos en el futuro.

☐ **Reubicación**
La edificación presenta daños graves por lo que requiere demolición para proceder a la construcción de una nueva edificación de características similares en otro predio ya que este presenta anomalías graves en el subsuelo como grietas Nivel IV.

☐ **Otro** _____

Observaciones y recomendaciones

Nota importante: esta revisión se basa en las evidencias actuales respecto al estado del inmueble. Sin embargo, se debe considerar que el predio se encuentra ubicado en una zona afectada por el agrietamiento del subsuelo que puede aparecer con el tiempo. En el caso de que en el predio se detecten daños adicionales, se tendrá que dar aviso a la Alcaldía correspondiente para que se tomen las medidas de mitigación necesarias.

_____ _____
Nombre, Firma y No. de carnet del DRO/CSE ***Nombre, Firma del Especialista en Geotecnia***

Este dictamen deberá estar sustentado por un reporte fotográfico del exterior y del interior de la edificación, así como de los daños detectados en el subsuelo.

Página 2 de 2

Figura 5.1.1 Cédula de dictamen Geo Estructural (pag. 2).

5.2 Cursos de capacitación y difusión

Como parte del acompañamiento a las autoridades del Gobierno de la ciudad de México (GOBCDMX), el II-UNAM a través del Dr. Gabriel Auvinet dictó varios cursos de capacitación a los DRO e Ingenieros geotecnistas, quienes son los encargados de realizar la inspección a las edificaciones afectadas por sismo o grietas en el suelo y elaborar los dictámenes correspondientes. En la Tabla 5.2.1, se indica el número de conferencias de capacitación dictadas por el II-UANM a los DRO e Ingenieros geotecnistas.

Tabla 5.2.1. Conferencias de capacitación y difusión dictadas por el II-UANM.

Fecha	Conferencia
18/01/2019	Conferencias DRO, CSE (550 inscritos)
19/01/2019	Recorrido de campo DRO, CSE (90 participantes)
11/02/2019	Conferencia Empresas constructoras (450 inscritos)
28/02/2019	Conferencia Binomios DRO-Geotecnistas (31 participantes)
24/05/2019	Conferencia DRO.
25/06/2019	Conferencia DRO-Constructores
01/08/2019	Reunión en Ana Bolena No 270, Tláhuac
08/08/2019	Presentación Simposio internacional AMDROC
19/09/2019	Presentación Simp. Internacional “México a través de los sismos”
01/10/2019	Reunión de información a vecinos Iztapalapa, Tláhuac
04/10/2019	Informe resumido a Jefa de Gobierno
28/11/2019	Informe al Consejo Consultivo de la Comisión para la Reconstrucción

En la primera conferencia dictada por el Dr. Gabriel Auvinet, el día 18 de enero de 2019 en las oficinas del se tuvo una asistencia de 350 asistentes en el turno matutino y de 180 en el turno vespertino (Figura 5.2.1). En la conferencia dirigida a los Binomios DRO-Geotecnistas, el jueves 28 de febrero 2019, en las instalaciones del II-UNAM se tuvo una asistencia de 31 participantes (Fig. 5.2.2).

Figura 5.2.1. Conferencia de capacitación dirigida a los DROs, 18 de enero de 2019.

Figura 5.2.2. Conferencia Binomios DRO-Geotecnistas (31 participantes), Jueves 28 de febrero 2019.

En la Figura 5.2.3, se ilustra mediante fotografías la "*Reunión de los resultados de la exploración profunda con vecinos de la alcaldía de Iztapalapa*", realizada el 1 de octubre de 2019.

Figura 5.2.3 Reunión de presentación de los resultados de la exploración profunda con vecinos de la alcaldía de Iztapalapa, 1 de octubre de 2019.

5.3 Revisión de dictámenes Geoestructurales

Como parte del acompañamiento a las autoridades del Gobierno de la ciudad de México (GOBCDMX), el II-UNAM participó en la revisión de las cédulas de dictamen Geo estructural emitidas por las brigadas de especialistas (DRO-Ing. Geotecnista). En la tabla 5.3.1 se indica el número de dictámenes revisados por el personal del II-UNAM.

Tabla 5.3.1. Dictámenes revisados por el personal del II-UNAM.

Paquete	Fecha de recepción	Fecha de entrega	No. dictámenes
Primero	29-marzo-2019	11-abril-2019	61
Segundo	26-abril-2019	3-mayo-2019	21
Tercero	7-mayo-2019	29-mayo-2019	115
Cuarto	8-mayo-2019	7-junio-2019	100
Quinto	13-mayo-2019	19-junio-2019	184
Sexto	19-mayo-2019	27-junio-2019	200

A continuación, se presentan algunos comentarios derivados de la revisión de los dictámenes.

1. Errores u omisiones comunes:
   a) Clasificación errónea del grupo de acuerdo a la estructuración.
   b) Rubros sin datos.
   c) La clasificación de la edificación no es congruente con la descripción de los daños y sus observaciones.
   d) Fotografías mal orientadas.
   e) Escasas fotografías del interior del inmueble y calles colindantes.
   f) Mala redacción y faltas de ortografía.

2. Algunos dictámenes mencionan grietas (Fig. 5.3.1):
   g) Inferidas (no existen evidencias).
   h) mal clasificadas.
   i) no se indican sus datos completos.
   j) no se documentan con fotografías.

3. Croquis de ubicación del predio en el anexo fotográfico (Fig. 5.3.2):
   a) No incluido en el dictamen.
   b) Sin nombres de calles.
   c) Con alto alejamiento o alto acercamiento.
   d) No se indica la traza de las grietas o se infieren en predios vecinos.
   e) Croquis con predios mal ubicados.

4. En algunos dictámenes se solicitan estudios de mecánica de suelos, geofísicos y/o topográficos.
   Comentario: El dictamen es para las condiciones actuales de la construcción.

5. Existen nuevas construcciones en predios con presencia de grietas en el suelo.

Comentario: Las nuevas construcciones quedan fuera del alcance de los presentes dictámenes (Fig. 5.3.3).

6. Dictámenes duplicados de un mismo predio elaborados por diferentes brigadas de inspección Geo estructural con diferentes conclusiones. *Comentario: Algunos ya entregados a la Comisión para la Reconstrucción* (Fig. 5.3.4).

7. Diferentes fuentes empleadas para ubicar un mismo predio, induciendo incertidumbre en la ubicación correcta del predio dictaminado (Fig. 5.3.5).

8. Predios con coordenadas de ubicación alejadas del predio dictaminado (Fig. 5.3.6).

9. Fotografías de un predio aparecen en dictámenes de otros predios (Fig. 5.3.7).

10. En dictámenes diferentes, en el croquis de ubicación se indica un mismo predio (Fig. 5.3.8).

11. Dictámenes con fotografía de fachada tomada de Google Maps, que no corresponde a la vivienda dictaminada (Fig. 5.3.9).

12. Predios dictaminados desde el exterior del predio (Fig. 5.3.10).

Por lo anterior, el II-UNAM consideró conveniente que algunos dictámenes deberían ser corregidos, validados y/o complementados.

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS
INSTITUTO PARA LA SEGURIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

DICTAMEN GEO-ESTRUCTURAL

* **Descripción de daños en elementos estructurales**

No presenta

* **Descripción de daños en elementos no estructurales**

fisuras por falta de confinamiento en muros

* **Estado de la edificación (Instalaciones y Mantenimiento)**

Sin afectación

* **Daños asociados al subsuelo**

Desplomo del edificio (cm): *10*
Asentamientos diferenciales (cm): *5*
Emersión aparente (cm): *No aplica*
Hundimiento (cm): *No aplica*
Posible inestabilidad de talud (inclinación y altura del talud aprox.): *No*
Oquedades o socavación (dimensiones aprox.): *No aplica*
Otros:

* **Grietas en el suelo:**

Sin escalón [ ] Con escalón [X] Rumbo (°): *160* Longitud al interior del predio (m): *Sin dato*
Escalón al interior del predio (cm): *Sin dato*
Abertura (cm): *Sin dato* Profundidad (cm): *Sin dato*
~~Escalón en la calle colindante (cm): 50~~
Abertura (cm): *Sin dato* Profundidad (cm): *Sin dato*

* **Clasificación de la grieta más crítica en el predio:**

Nivel I (escalón < 1cm y abertura < 3cm)	[ ]
Nivel II (1cm < escalón < 10cm y/o 3cm < abertura < 5cm)	[ ]
Nivel III (10cm < escalón < 30cm y/o 5cm < abertura < 10cm)	[ ]
Nivel IV (escalón > 30cm y/o abertura > 10cm)	[X]

* **CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Posible Edificio Catalogado [ ] **(consultar al INBA y/o al INAH antes de cualquier intervención)**

[ ] Mantenimiento

La edificación al momento de la visita no presenta daños por sismo o grietas en el subsuelo. Sin embargo, requiere Mantenimiento integral periódico.

[ ] Rehabilitación

La edificación presenta daños en elementos estructurales y/o en elementos arquitectónicos por lo que debe ser intervenida mediante un proyecto de rehabilitación en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel I o no presenta; o la edificación presenta un alto nivel de precariedad por una autoconstrucción deficiente. Si es el caso el proyecto de rehabilitación incluirá tratamiento de la grieta.

[X] Reconstrucción con tratamiento de grietas

La edificación presenta daños graves por lo que requiere demolición parcial o total para proceder a la construcción de una nueva edificación de características similares en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel II o III. El diseño de la nueva estructura incluirá tratamiento de grietas y medidas especiales para minimizar sus posibles efectos en el futuro.

Figura 5.3.1 Predio sin daños por grieta o sismo y sin grieta al interior del predio, dictaminado en la categoría de Reconstrucción con tratamiento de grietas.

a) Con alto alejamiento b) Con alto acercamiento

Figura 5.3.2 Croquis de ubicación inadecuados.

Fachada principal del predio.

Fachada de construcción nueva al frente del predio. Muros de mampostería de tabicón sin confinar, con ligeros agrietamientos en muros.

Figura 5.3.3 Construcciones nuevas dictaminadas.

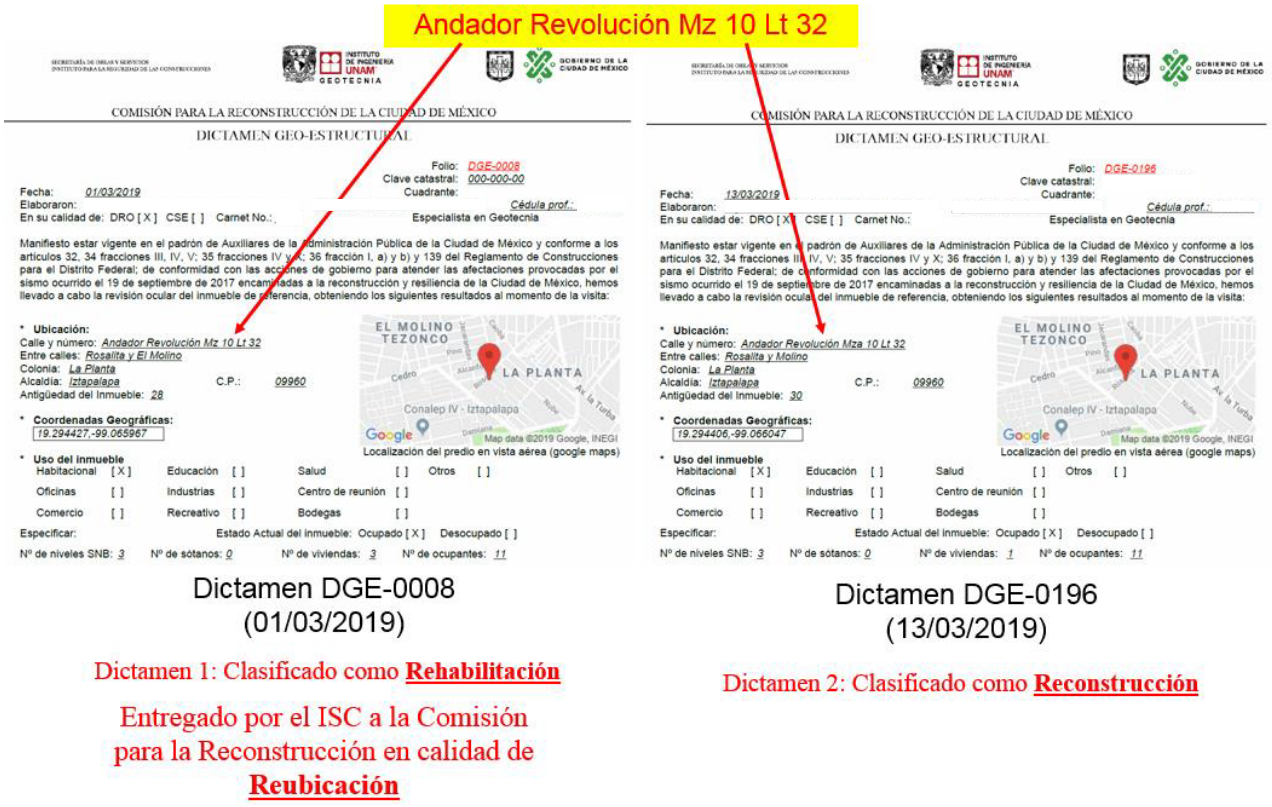


Figura 5.3.4 Dictámenes duplicados de un mismo predio elaborados por diferentes brigadas.

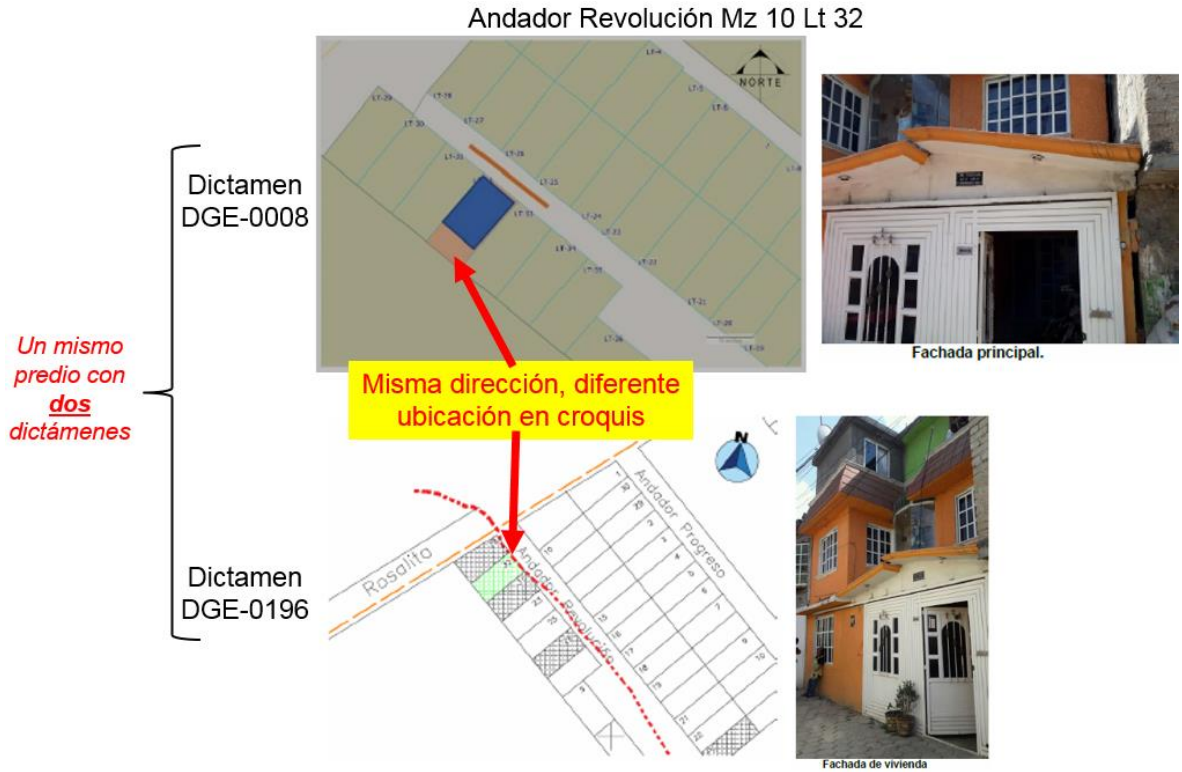


Figura 5.3.5 Diferentes fuentes empleadas para ubicar un mismo predio.

Figura 5.3.6 Dictámenes con coordenadas de ubicación alejadas del predio dictaminado.

Figura 5.3.7 Fotografías de un predio aparecen en dictámenes de otros predios.

Figura 5.3.8 En dictámenes diferentes, en el croquis de ubicación se indica un mismo predio.

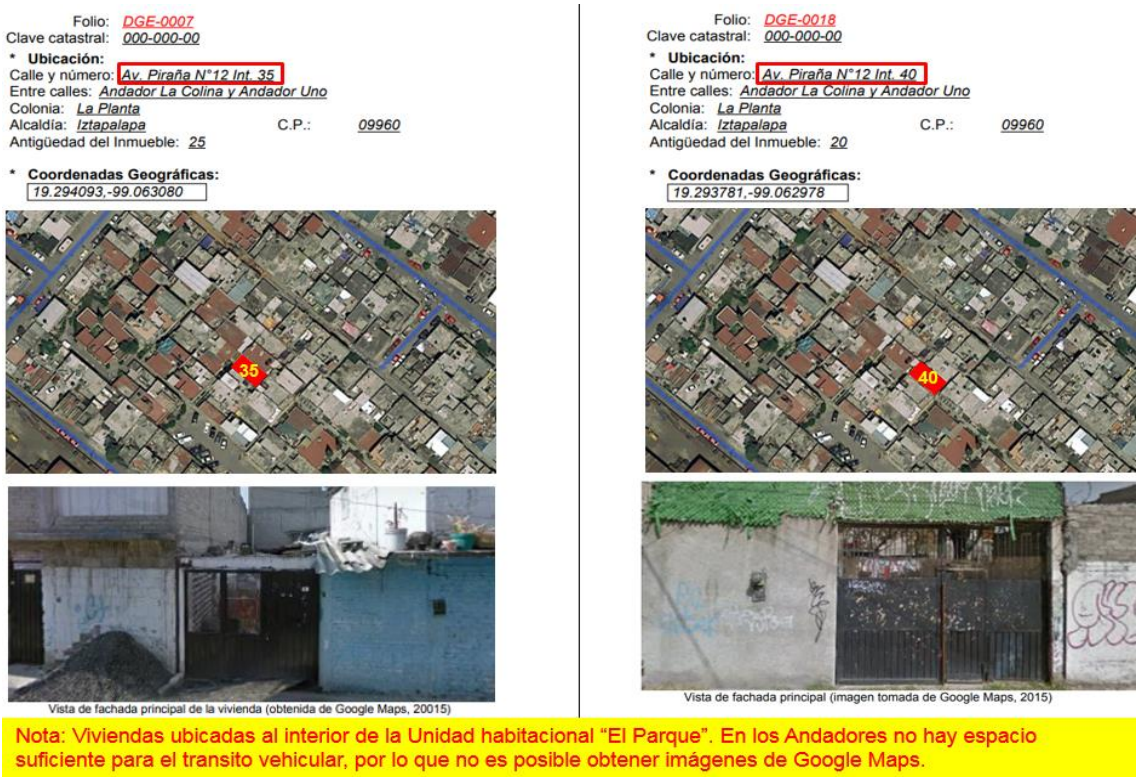


Figura 5.3.9 Dictámenes con fotografía de fachada tomadas de Google Maps, que no corresponde a la vivienda dictaminada.

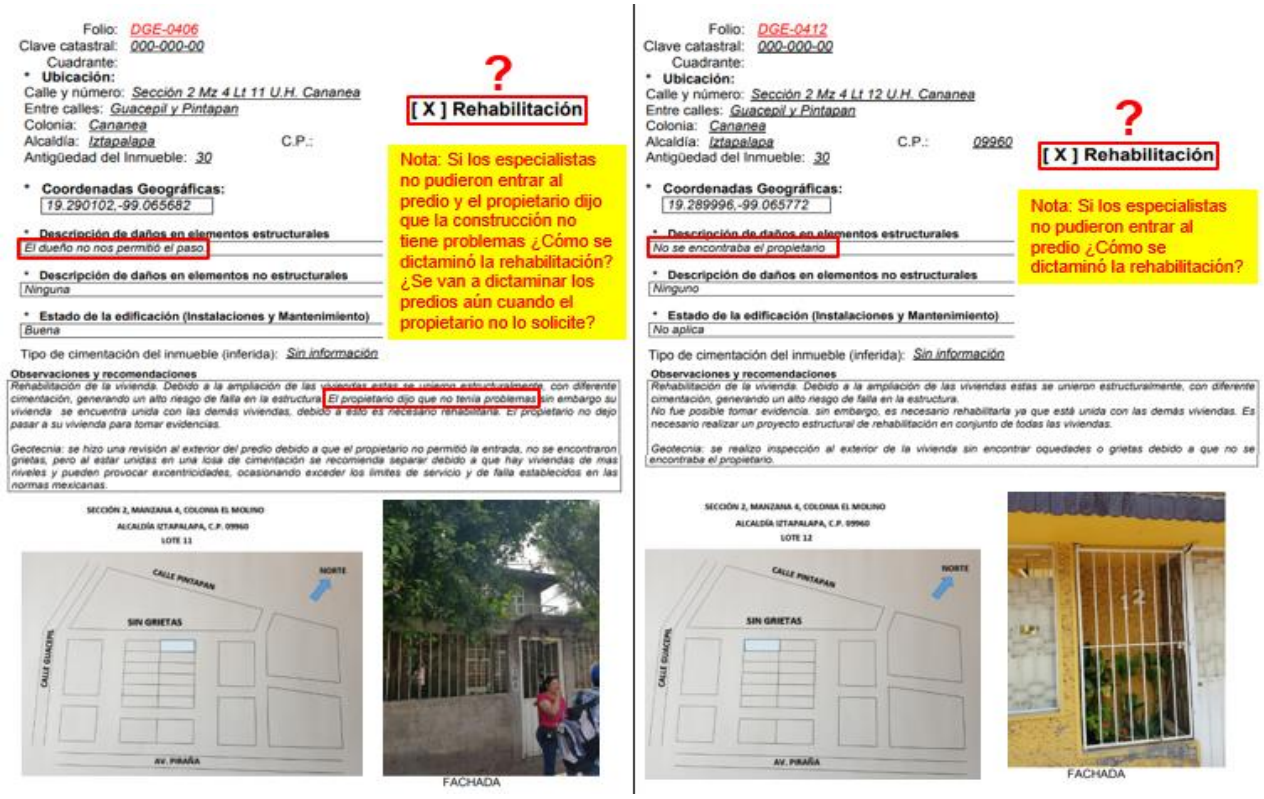


Figura 5.3.10 Predios dictaminados desde el exterior del predio.

Con base en las observaciones y comentarios anteriormente descritos, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-08 "*Aspectos a considerar para la revisión de los dictámenes Geo-Estructurales*" (Anexo D), el propósito de este documento es facilitar el escrutinio y homologar los criterios de revisión de los dictámenes por parte de los revisores.

Asimismo, con el propósito de orientar mediante un documento a los profesionales encargados de realizar la inspección visual a los predios afectados por sismo o grieta en el suelo, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-10 "*Guía para el llenado de la cédula de revisión Geotécnica-Estructural de las edificaciones dañadas por sismo o grieta*" (Anexo D), en la que se indican los principales aspectos a considerar para el llenado adecuado de la cédula de dictamen Geo-Estructural.

5.4 Reuniones de trabajo del Comité de Grietas

Por instrucciones de la Jefa de Gobierno de la Ciudad de México, Dra Claudia Sheinbaum, el Comisionado para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Lic. César Arnulfo Cravioto Romero, decidió instituir el Comité de Grietas para atender técnicamente el problema del agrietamiento del suelo y su incidencia de afectación en las construcciones existentes. La coordinación de este Comité fue encargada al Instituto de Ingeniería de la UNAM.

El objetivo del Comité de grietas es establecer una estrategia de trabajo permanente que dé continuidad al monitoreo de las grietas existentes en la Ciudad de México y las acciones de gobierno encaminadas a atender las posibles afectaciones ocasionadas por las grietas.

Durante el año 2019, el Comité de Grietas convocó a 13 reuniones ordinarias de trabajo, a las que asistió y participó activamente el personal del II-UNAM. En la Tabla 5. 4.1, se indican las reuniones ordinarias de trabajo del comité de grietas. En el Anexo E, se presentan las minutas generadas en cada una de las reuniones de trabajo.

Tabla 5.4.1. Relación de reuniones ordinarias de trabajo del comité de grietas.

Fecha	Sesión
16 de enero de 2019	Primera sesión ordinaria
30 de enero de 2019	Segunda sesión ordinaria
20 de febrero de 2019	Primera sesión extraordinaria
6 de marzo de 2019	Tercera sesión ordinaria
20 de marzo de 2019	Cuarta sesión ordinaria
10 de abril de 2019	Quinta sesión ordinaria
2 de mayo de 2019	Sexta sesión ordinaria
22 de mayo de 2019	Séptima sesión ordinaria
12 de junio de 2019	Octava sesión ordinaria
28 de junio de 2019	Novena sesión ordinaria
31 de julio de 2019	Decima sesión ordinaria
28 de agosto de 2019	Décimo primera sesión ordinaria
10 de octubre de 2019	Décimo segunda sesión ordinaria
3 de Diciembre de 2019	Décima tercera sesión ordinaria

5.5 Reuniones de trabajo con Alcaldías y otra dependencias gubernamentales.

Como parte del acompañamiento a las autoridades del Gobierno de la ciudad de México (GOBCDMX), el II-UNAM organizó distintas reuniones de trabajo con el personal técnico de las distintas alcaldías y otras dependencias del Gobierno de la Ciudad.

Tabla 5.5.1. Reuniones de Trabajo para revisión de información.

Fecha	Dependencia
25/enero/2019	Alcaldía Iztapalapa
06/febrero/2019	Alcaldía Xochimilco
13/febrero02/2019	Alcaldía Tláhuac
25/marzo/2019	SEDUVI
23/abril/2019	SEDUVI
29/julio/2019	SEDUVI
01/abril/2019	CENAPRED
24/abril/2019	SACMEX, Iztapalapa
29/abril/2019	SACMEX, Tláhuac, Xochimilco, Milpa alta, Venustiano Carranza
08/mayo/2019	Reunión de concertación con alcaldías
29/mayo/2019	Taller Atlas de Riesgo con SGIRPC, SACMEX, Iztapalapa, SEDUVI
05/agosto/2019	Alcaldía Iztapalapa

5.6 Recorridos de campo para la identificación de nuevas grietas

5.6.1 Detección de grietas

El personal del II-UNAM realizó varios recorridos de campo a diferentes sitios en la zona de agrietamiento en el suelo de las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta con el propósito de detectar y documentar grietas en el suelo. Los recorridos de campo permitieron actualizar la Base de Datos de grietas en el suelo para el valle de México. En las Figuras 5.6.1 a 5.6.4, se muestran algunas fotografías de grietas detectadas durante los recorridos de campo.

Figura 5.6.1. Grietas detectadas en la Alcaldía de Iztapalapa, diferentes sitios y fechas.

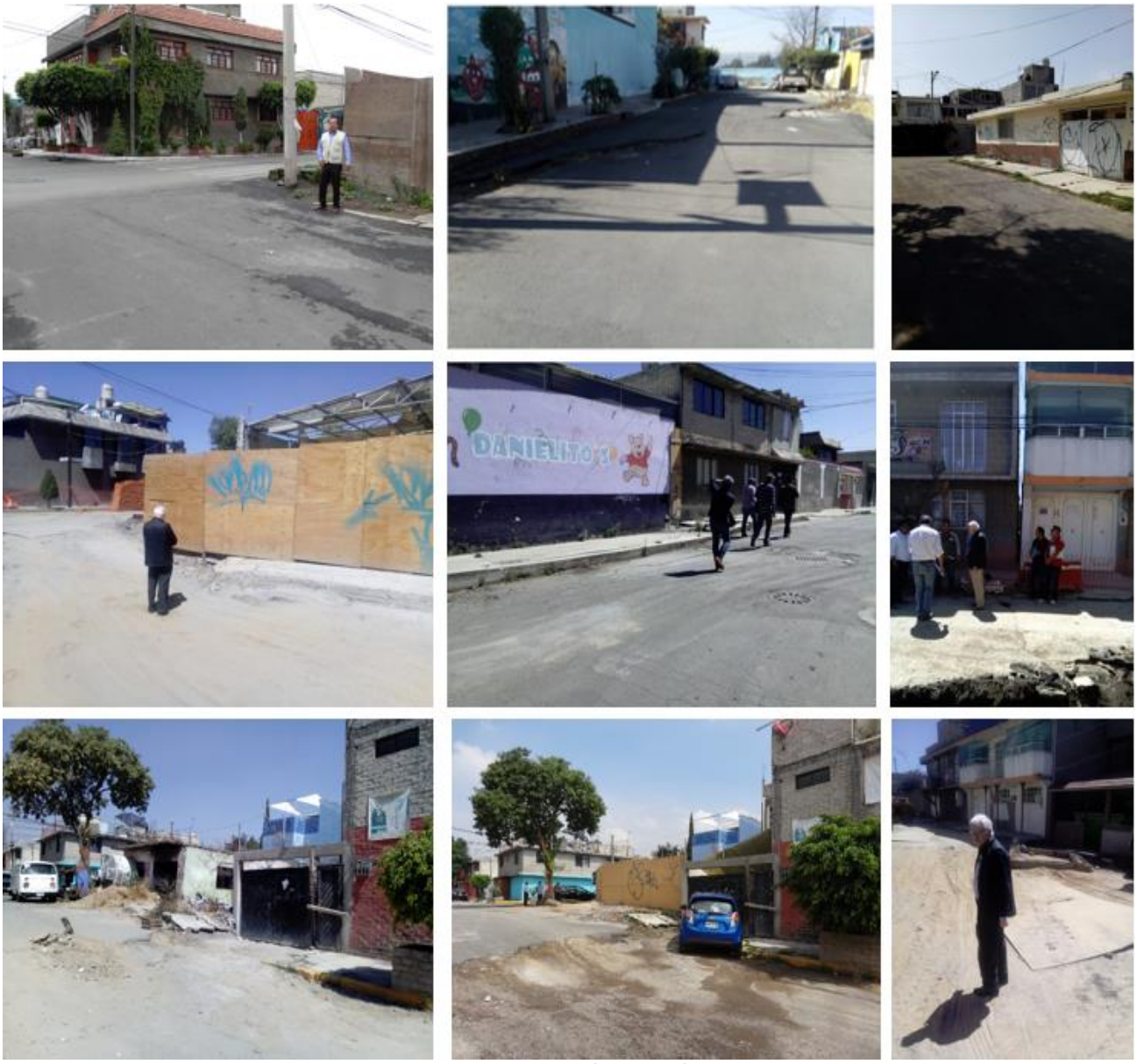


Figura 5.6.2 Grietas detectadas en la Alcaldía de Tláhuac, diferentes sitios y fechas.

Figura 5.6.3 Grietas detectadas en la Alcaldía de Xochimilco, diferentes sitios y fechas.

Figura 5.6.4 Grietas detectadas en la Alcaldía de Iztapalapa, diferentes sitios y fechas.

5.6.2 Trabajos de exploración geotécnica profunda

El personal del II-UNAM realizó varios recorridos de campo para dar seguimiento a la exploración geotécnica profunda realizada en las Alcaldías de Iztapalapa y Tláhuac. El propósito de estos recorridos fue:
- Definir la ubicación de los sitios de los sondeos a realizar
- Revisar la correcta ejecución de los sondeos geotécnicos
- Identificación de las muestras de suelo extraídos a lo largo de la profundidad

En las Figuras 5.6.5 a 5.6.8 se presentan algunas fotografías del aspecto de los trabajos de exploración geotécnica y en la Figura 5.6.9 se presentan fotografías de la prueba de sonda suspendida.

Figura 5.6.5 Exploración geotécnica profunda, sitio colonia Del Mar.

Figura 5.6.6 Exploración geotécnica profunda, sitio Deportivo Cananea.

Figura 5.6.7 Exploración geotécnica profunda, sitio colonia La Planta.

Figura 5.6.8 Exploración geotécnica profunda, sitio colonia Molino Tezonco.

Figura 5.6.9. Ensaye de sonda suspendida, sitio colonia Del Mar.

5.6.3 Avance en la reconstrucción de nuevas viviendas

El personal del II-UNAM realizó varios recorridos de campo en conjunto con la Comisión para la Reconstrucción a los predios en proceso de reconstrucción de nuevas viviendas con el propósito de revisar el cumplimiento, o no, de las recomendaciones emitidas por el II- UNAM en su Nota Técnica G-09 "*Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón*" (Anexo D) para la construcción de la cimentación. En las Figuras 5.6.10 a 5.6.13, se presentan algunas fotografías del proceso de construcción de las nuevas viviendas en diferentes etapas de construcción. Asimismo, realizó una inspección técnica al predio ubicado en Francisco Landino No. 24, Col. Miguel Hidalgo, Alcaldía de Tláhuac. Los comentarios correspondientes se presentan en la Nota Técnica G-06 (Anexo D). En la Figura 5.6.14, se muestran algunas vistas del edificio en construcción.

Figura 5.6.10 Preparación del suelo de apoyo para la cimentación, predio ubicado en Bartolomé de Escobedo Mz 5 Lt 6.

Figura 5.6.11 ´Construcción de losa de cimentación (Caracol Mz 125 Lt 20).

Figura 5.6.12 Casa en construcción (Gitana Mz 447 Lt 15).

Figura 5.6.13 Casas terminadas (Hipocampo Mz 146 Lt 09, 10 y 11).

Figura 5.6.14 Construcción de nuevas viviendas (Francisco Landino No. 24).

5.6.4 Inspección de predios para posible reubicación

Como parte de los trabajos de reconstrucción de la Ciudad de México, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario realizar una inspección de predios para la eventual reubicación de familias afectadas. Por tal motivo el II-UNAM elaboró tres Notas Técnicas donde se describen las condiciones encontradas en los sitios visitados.

En la Nota Técnica G-15 "*Inspección del predio ubicado en calzada Ignacio Zaragoza esquina con Sentimientos de la Nación, col. Santa Martha Acatitla Norte*" (Anexo D), se describen las condiciones actuales de un predio que fue utilizado como paradero muy cerca de la estación del Metro Acatitla, en la colonia Santa Martha Acatitla Norte, Alcaldía de Iztapalapa. En este predio se encontraron algunas grietas que deberán ser atendidas y consideradas en el proyecto. En las Figura 7.6.15 y 7.6.16 se muestran algunos aspectos de las grietas encontradas en el sitio.

En la Nota Técnica G-16 "*Inspección del predio ubicado en Canal de Chalco y Damiana, Alcaldía de Iztapalapa*" (Anexo D), se describen las condiciones actuales de un predio baldío muy próximo a la avenida Canal de Chalco, en la colonia Predio El Molino, Alcaldía de Iztapalapa.

En la Nota Técnica G-17 "*Inspección de los predios ubicados en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe, col. Villa Centroamericana, Tláhuac*" (Anexo D), se describen las condiciones actuales de dos predios ubicados en la colonia Villa Centroamericana, Alcaldía de Tláhuac. En este predio se encontraron algunas grietas que deberán ser atendidas y consideradas en el proyecto. En las Figura 5.6.15 y 5.6.18 se muestran algunos aspectos de las grietas encontradas en el sitio.

Figura 5.6.15 Aspectos del predio Paradero Santa Martha Acatitla.

Figura 5.6.16 Aspectos del predio Paradero Santa Martha Acatitla.

Figura 5.6.17 Aspectos del predio1 en la colonia Villa Centroamericana.

Figura 5.6.18 Aspectos del predio 2 en la colonia Villa Centroamericana.

6. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DAÑOS

El agrietamiento del suelo de la Ciudad de México induce diversos daños en las vialidades, edificaciones y servicios públicos. Este fenómeno pone en riesgo el bienestar de la población y causa importantes costos por mantenimiento.

Evitar el agrietamiento del suelo es una tarea compleja y difícil de lograr, por lo que las acciones se deben concentrar en implementar soluciones robustas para prevenir y mitigar los daños. Éstas se basan en la disipación del escalón que generan las grietas y en mantener la continuidad de la superficie del terreno.

En la práctica se tienen antecedentes empíricos de la instalación de juntas en las edificaciones que permiten el paso libre de las grietas y de la colocación de materiales discontinuos en las vialidades (como adoquín) para distribuir los desplazamientos que inducen las grietas.

El estudio de la mitigación de daños requiere considerar explícitamente la naturaleza discontinua de los materiales granulares, para representar en forma realista los fenómenos que ocurren y para obtener conclusiones sustentadas. A continuación, se presenta el diseño de un modelo que será de utilidad para mitigar los daños ocasionados por el fracturamiento del suelo. Estas investigaciones se desprenden de un programa de estudio de los medios granulares con un enfoque de medios discontinuos que se desarrolla en el II-UNAM, 2020.

Con base en un enfoque de medios discontinuos y retomando el concepto de la caja disipadora, a continuación, se presentan algunas medidas de prevención y mitigación de daños causados por el agrietamiento. Se presentan los resultados relevantes desde el punto de vista de aplicación práctica, a partir de las investigaciones del modelado numérico de las medidas de mitigación (II-UNAM, 2019).

6.1 Pavimentos

Diversas vialidades en la Ciudad de México son afectadas por el agrietamiento del suelo. La presencia de escalones dificulta la circulación de los vehículos e incluso ocasiona el cierre al tránsito (Figura 6.1.1).”.

Figura 6.1.1 Ejemplos de grietas con escalón en vialidades de la Alcaldía Iztapalapa

Para convivir con este problema, el II-UNAM ha propuesto utilizar un dispositivo de mitigación llamado “caja disipadora de deformaciones”. Se trata de una caja de forma trapecial excavada sobre el trazo de la grieta y rellenada con material arenoso sin finos. La arena sin finos no puede transmitir tensiones y, en caso de evolución del escalón de la grieta, disipa las deformaciones unitarias del suelo superficial evitan daños directos a los pavimentos (Nota Técnica G-09, Anexo D). El II-UNAM propuso cajas disipadoras tipo que se adaptan a las distintas condiciones que se presentan en obra (Figura 6.1.2).

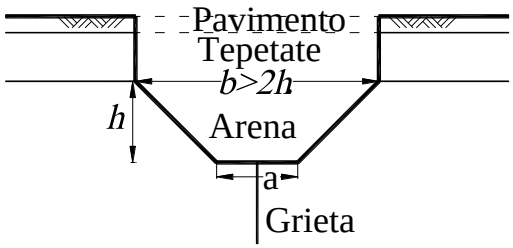


Figura 6.1.2 Geometría de una caja disipadora

De acuerdo con el reglamento vigente (GOBCDMX, 2017), la pendiente máxima admisible para rampas vehiculares es δ_z/L=0.15. Por tanto, se recomienda la colocación de cajas disipadoras sobre la traza de las grietas en las vialidades. Es necesario elegir una profundidad, *h*, adecuada del dentellón granular, tal que mantenga la pendiente en la superficie por debajo del valor máximo admisible durante un tiempo aceptable. Posteriormente será necesario realizar trabajos de mantenimiento para nivelar la superficie. En vialidades principales deben considerarse dentellones de mayor profundidad.

La Alcaldía Iztapalapa ha retomado ese concepto y ha iniciado el 1 de mayo 2019 un ambicioso programa de “*Acupunctura urbana*” consistente en el tratamiento a las vialidades afectadas por grietas,

Las recomendaciones para la instalación de cajas se presentan en la Nota Técnica G-09, de donde se retoman los siguientes casos:

a) Caja disipadora chica, con profundidad *h*=0.50m

- Vialidades poco transitadas o de tránsito lento, donde es admisible la presencia de una pendiente en la superficie del pavimento.
- El escalón crece a una velocidad relativamente baja.
- Se pueden realizar mantenimientos de nivelación de la vialidad en periodos de tiempo cortos.
- El escalón máximo admisible entre dos mantenimientos sucesivos es de 15cm.

b) Caja disipadora grande, con profundidad *h*=1m

- Vialidades importantes o de tránsito rápido, donde es importante mantener una velocidad de circulación de los vehículos y, por lo tanto, la pendiente en la superficie del pavimento debe ser baja.
- El escalón crece a una velocidad considerable.
- No se pueden realizar mantenimientos en forma frecuente.
- El escalón máximo admisible entre dos mantenimientos sucesivos es de 30cm.

c) Casos excepcionales

Debido a las diferentes condiciones que se han observado en las grietas presentes en Iztapalapa y otras alcaldías, se considera que cuando el escalón crece a una alta velocidad, cuando la altura del escalón rebasa 50cm o cuando se presentan varias grietas con escalón cercanas entre sí, es prudente cerrar definitivamente la vialidad al paso vehicular. En estos casos el tamaño de la caja disipadora sería tan grande que resultaría con un costo excesivo tanto en su construcción como en los mantenimientos posteriores. La profundidad requerida de la excavación sería considerable y demandaría procedimientos cuidadosos para evitar daños a la infraestructura aledaña.

Además de las recomendaciones propias para el control de los desplazamientos causado por las grietas, la Nota Técnica G-09 incluye recomendaciones constructivas que sirven como guía para el encargado de la obra. Se destaca la necesidad de compactar el dentellón granular en capas para satisfacer las necesidades de capacidad de carga de las vialidades y se recomienda supervisar la calidad de los materiales.

Durante el desarrollo del presente proyecto, el II-UNAM dio seguimiento a la construcción de las cajas disipadoras en la Alcaldía Iztapalapa. Se realizaron exposiciones para explicar los fundamentos de la caja disipadora al personal de la Alcaldía Iztapalapa, se realizaron diversos recorridos en obra y se discutieron las modificaciones al diseño de la caja disipadora que la misma alcaldía propuso para adaptarse a las condiciones particulares de cada caso.

La Figura 6.1.3 presenta algunas imágenes de la construcción de cajas disipadoras en las vialidades de la Alcaldía Iztapalapa.

Figura 6.1.3 Trabajos de construcción de cajas disipadoras en vialidades de la Alcaldía Iztapalapa (Créditos de imágenes: Centro de Evaluación de Riesgos, Iztapalapa)

6.1.2 Evaluación mediante modelo numérico del comportamiento de cajas disipadoras de deformación

Tomando en cuenta que los materiales granulares, como la arena y grava sin finos, no transmiten tensiones, sus partículas constitutivas se pueden reacomodar cuando se imponen desplazamientos o esfuerzos. La idea fundamental de la caja disipadora consiste en sustituir superficialmente el terreno natural sobre la traza de una grieta y reemplazarlo por un material granular. Cuando se produce un escalón en la grieta, las partículas del material granular presentan movimientos individuales que disipan el escalón (Figura 6.1.4).

Con base en simulaciones numéricas, principalmente de medios discontinuos se ha estudiado el funcionamiento de la caja disipadora y presentaron un diseño optimizado (Auvinet *et al*., 2019). El estudio concluye que el material granular distribuye los desplazamientos verticales de la grieta, en una longitud horizontal en la superficie del terreno. Así, el escalón de la grieta se transforma en una superficie inclinada. La deformación unitaria δ_z/L en la superficie disminuye cuando el dentellón de la caja disipadora es más profundo. Los estudios muestran que, dada la geometría de una caja disipadora, cuando aumenta la altura del escalón en la grieta, la longitud de la superficie inclinada permanece aproximadamente constante.

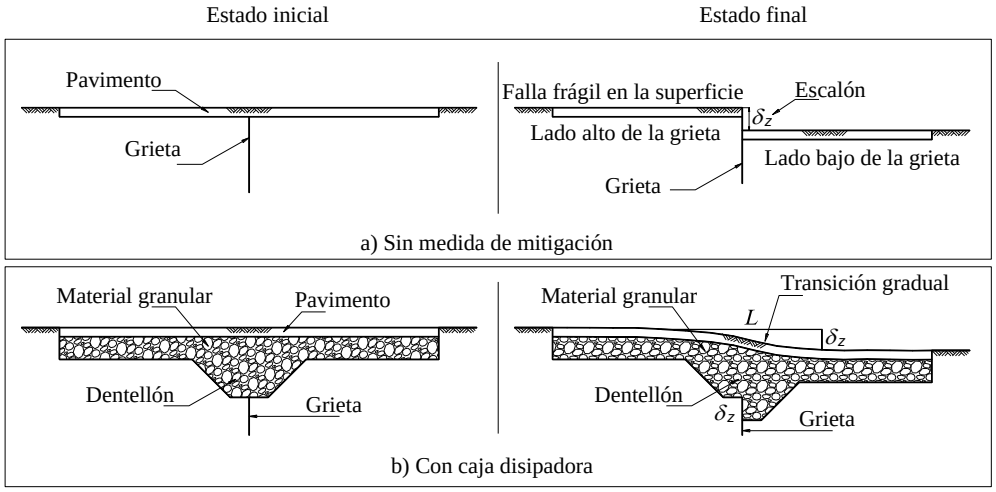


Figura 6.1.4 Efecto de la caja disipadora en la disipación de un escalón provocado por una grieta en el terreno.

La disipación del escalón se presenta en una región en forma de "*V*" en el material granular, que se localiza sobre el escalón de la grieta (Figura 6.1.5). El material alejado horizontalmente del plano de la grieta no presenta modificaciones, ya que las partículas conservan sus posiciones relativas. En el lado alto de la grieta, las partículas permanecen en reposo, mientras que en el lado bajo de la grieta las partículas descienden al igual que el terreno que las subyace.

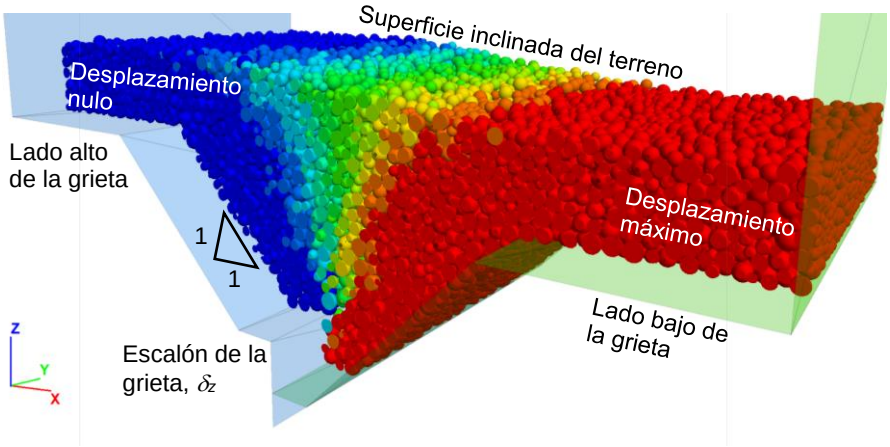


Figura 6.1.5 Desplazamientos verticales en una caja disipadora afectada por una grieta con escalón.

En la construcción de una caja disipadora, la profundidad del dentellón granular será mayor si la velocidad de crecimiento del escalón es grande, o si se requiere mantener una pendiente baja en la superficie del terreno.

La geometría del dentellón tiene por objetivo minimizar el volumen de excavación y relleno. El ancho del fondo puede ser el mínimo que permita la herramienta de excavación. Se recomiendan taludes 1:1 para que el suelo natural permita el libre reacomodo del material granular y el escalón sea distribuido en la mayor distancia horizontal posible en la superficie.

Dependiendo del lugar donde se utilice una caja disipadora, se deben tomar en cuenta las condiciones particulares de cada problema, por ejemplo, la compactación o el empleo de materiales adicionales.

6.2 Cimentaciones

En diversas zonas de la Ciudad de México se tiene la necesidad de construir viviendas en sitios afectados por grietas. Las edificaciones se pueden proteger en cierta medida insertando una caja disipadora (Auvinet *et al*., 2019) en la cimentación.

6.2.1 Diseño tipo

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México inició los trabajos para la reconstrucción de daños causados por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

El Instituto para la Seguridad de Construcciones (ISC) recibió un proyecto para construcciones unifamiliares y Duplex. A solicitud del ISC, el Instituto de Ingeniería presenta a continuación sus comentarios a la solución propuesta para la cimentación.

La solución propuesta de cimentación para un predio sin grieta se muestra en la Figura 6.2.1 y en la Figura 6.2.1 la solución propuesta de cimentación para un predio con grieta. En Nota Técnica G-02 "*Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento*" (Anexo D), se describe con detalle los diseños propuestos para la cimentación de nuevas viviendas.

La construcción de edificaciones en predios sin grieta es recomendable ajustar el diseño en la forma siguiente:

a) Es preferible sustituir el tezontle en greña por arena para concreto (ASTM C33)
b) En caso de usar el tezontle en greña, debe colocarse un geotextil no tejido en los contactos tezontle-suelo y tezontle-tepetate
c) La losa de cimentación debe tener un espesor de por lo menos 15cm
d) Su armado estará constituido por dos parrillas #3 @ 20cm para darle mayor ductilidad en caso de que surja alguna grieta

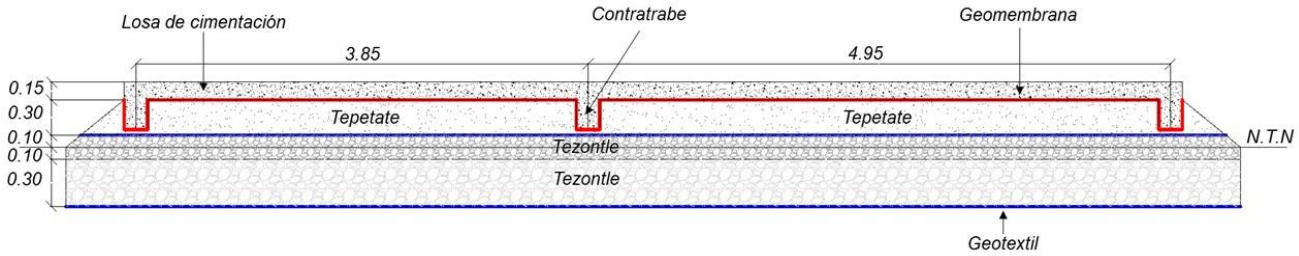


Figura 6.2.1 Diseño para predio sin agrietamiento.

La construcción de edificaciones en predios con grieta requiere una atención especial.

En el caso de grietas que presenten un escalón de más de 5cm, no será aceptable construir sobre la grieta. El proyecto deberá entonces ser adaptado (Figura 6.2.2). Si lo anterior no es posible, deberá considerarse que el terreno no es apto para la construcción.

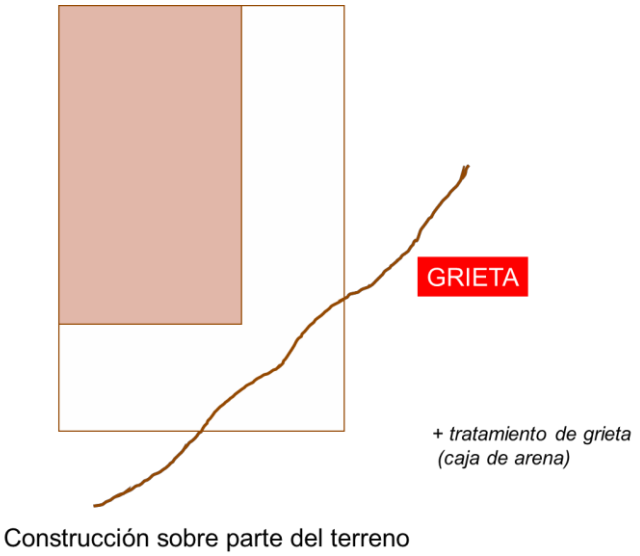


Figura 6.2.2 Adaptación del diseño arquitectónico a la presencia de una grieta.

En el caso de grietas que presenten un escalón inferior a 5cm, se considerará aceptable construir sobre la grieta a la condición de agregar al diseño anterior un dentellón de material granular como el mostrado en la Figura 6.2.3. Este tipo de dentellón permite mitigar el efecto de movimientos futuros de la grieta. El dentellón seguirá el trazo en planta de la grieta.

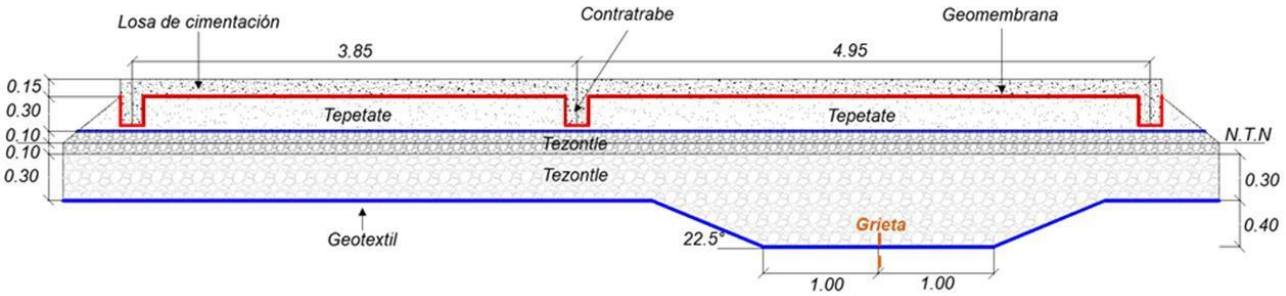


Figura 6.2.3 Diseño para predio con agrietamiento.

6.2.2 Evaluación del comportamiento de cajas disipadoras para cimentaciones mediante modelos numéricos

Para analizar esta propuesta de mitigación, en primer lugar, se revisan diversas situaciones que se presentan en la Ciudad. La Figura 5.2.1 presenta ejemplos de los daños en viviendas afectadas por grietas. Se observan distintas afectaciones dependiendo de las condiciones que la grieta impone.

Cuando la vivienda es de dimensiones pequeñas, los elementos estructurales de concreto reforzado le permiten moverse como un cuerpo rígido. En ocasiones no se observan daños, pero se presentan inclinaciones considerables (Figura 6.2.4a).

Con frecuencia se observa que los muros de mampostería son los primeros en fracturarse, como se observa en la Figura 6.2.4b. Las fracturas se propagan por las juntas entre los ladrillos con una trayectoria que cambia de dirección cuando alcanza un elemento estructural más resistente, sea un elemento de concreto reforzado o un muro perpendicular.

Cuando los escalones en las grietas alcanzan alturas considerables, se imponen desplazamientos a las viviendas tan grandes que los muros de mampostería no se pueden adaptar y se presenta un fracturamiento importante (Figura 6.2.4c).

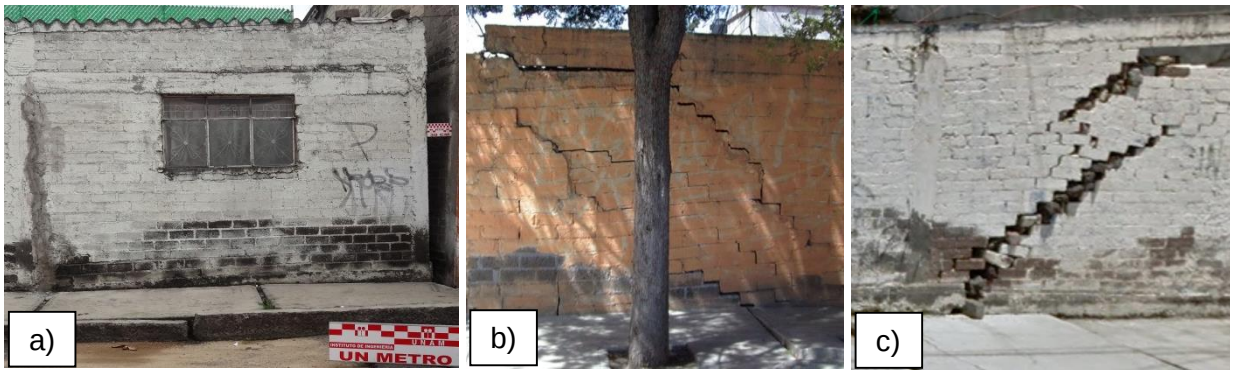


Figura 6.2.4 Daños causados por las grietas a las viviendas.

Por convención, en el presente trabajo se le denomina “grieta” a una discontinuidad en el terreno y “fractura” a una discontinuidad en los muros de las viviendas.

a) Efecto de la caja disipadora en el comportamiento de viviendas

Recurriendo a simulaciones numéricas con el Método de Elementos Discretos se construye un modelo simplificado de una vivienda de mampostería afectada por una grieta con escalón (Figura 6.2.5).

Los ladrillos son cuerpos independientes en forma de paralelepípedo que se construyen con un conjunto de esferas secantes de acuerdo con un algoritmo especial (Taghavi, 2011). Con otro algoritmo elaborado especialmente para construir el modelo de estudio, se genera el arreglo de ladrillos como el que se observa en la Figura 5.2.1. Se acepta que los ladrillos interactúan por fricción en sus contactos y se ignora la cohesión del mortero de unión. No se toman en cuenta los elementos estructurales de concreto reforzado.

Construido el modelo y en equilibrio inicial, se aplica un desplazamiento vertical en la grieta para observar el comportamiento de la vivienda cuando crece el escalón en el terreno subyacente.

Cuando crece el escalón de la grieta, se distinguen tres comportamientos diferentes en los muros de la vivienda. En el lado alto de la grieta, los ladrillos permanecen en sus posiciones originales. En el lado bajo de la grieta, los ladrillos siguen el movimiento impuesto por el terreno sin cambios en sus posiciones relativas. En la zona cercana a la grieta, se tienen desplazamientos relativos entre ladrillos en una región en forma de "*V*" y esta región se extiende principalmente hacia el lado bajo de la grieta.

Los muros cruzados por la grieta presentan una fractura con una abertura que es del mismo orden de magnitud que la altura del escalón, δ_z. Si la altura del escalón es grande, 0.2m, se observa una separación horizontal entre ladrillos y los muros se deforman considerablemente.

Comparando los resultados de la Figura 6.2.5 y con las fotografías de la Figura 6.2.4 se concluye que los modelos numéricos con medios discretos reproducen cualitativamente los mecanismos de fracturamiento de los muros de las viviendas de mampostería.

La Figura 6.2.6 muestra el comportamiento del mismo modelo cuando se tiene una base granular de 0.4m de espesor y una base granular con una caja disipadora de 0.5m de profundidad en la cimentación. En ambos casos la vivienda se comporta como un cuerpo rígido gracias a que el material granular se deforma. Los desplazamientos relativos entre ladrillos se distribuyen en una zona amplia de los muros, principalmente en el lado alto de la grieta.

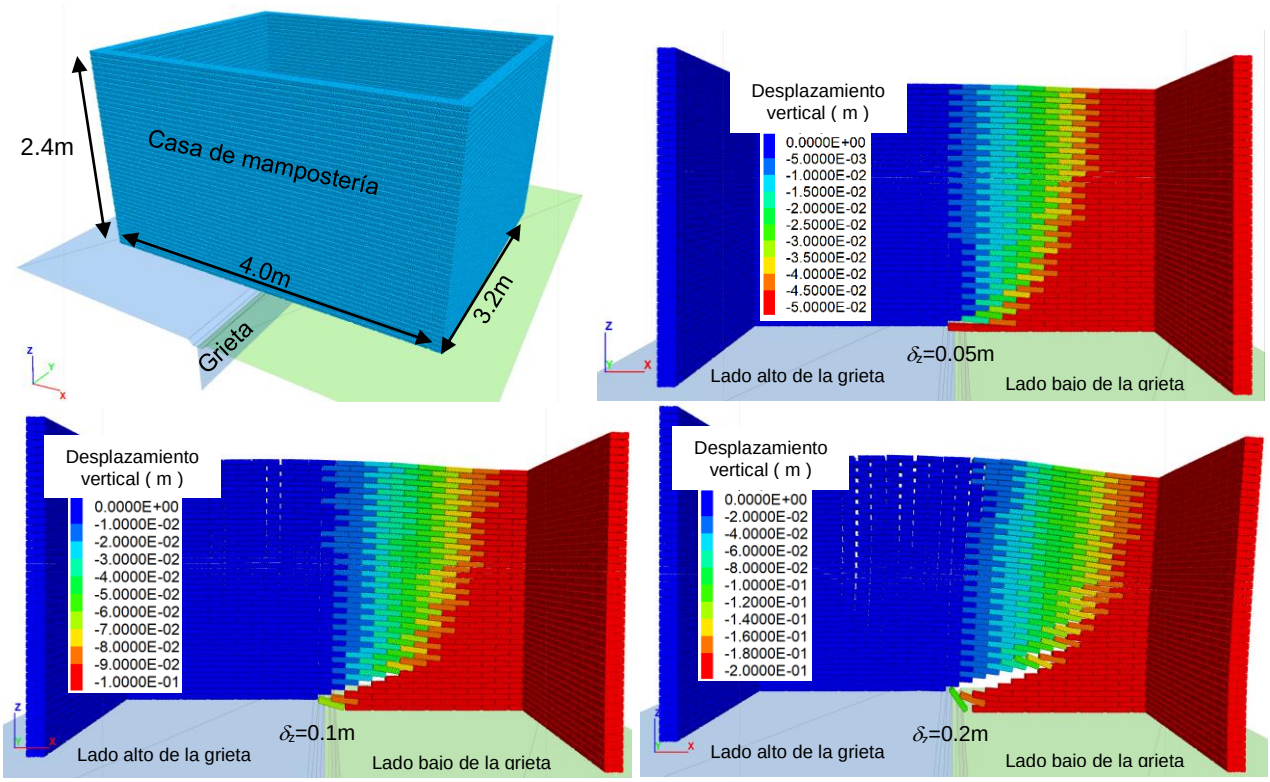


Figura 6.2.5 Desplazamientos verticales en modelo simplificado de una edificación de mampostería.

Cuando sólo se tiene la base granular se presenta una separación horizontal entre los ladrillos en la parte alta de la vivienda (región A) y en la cercanía a la grieta (región B). Si el escalón continúa creciendo, eventualmente los muros se fracturarán.

En el modelo que incluye la caja disipadora no se observa ninguna fractura en los muros, ni separación horizontal entre los ladrillos.

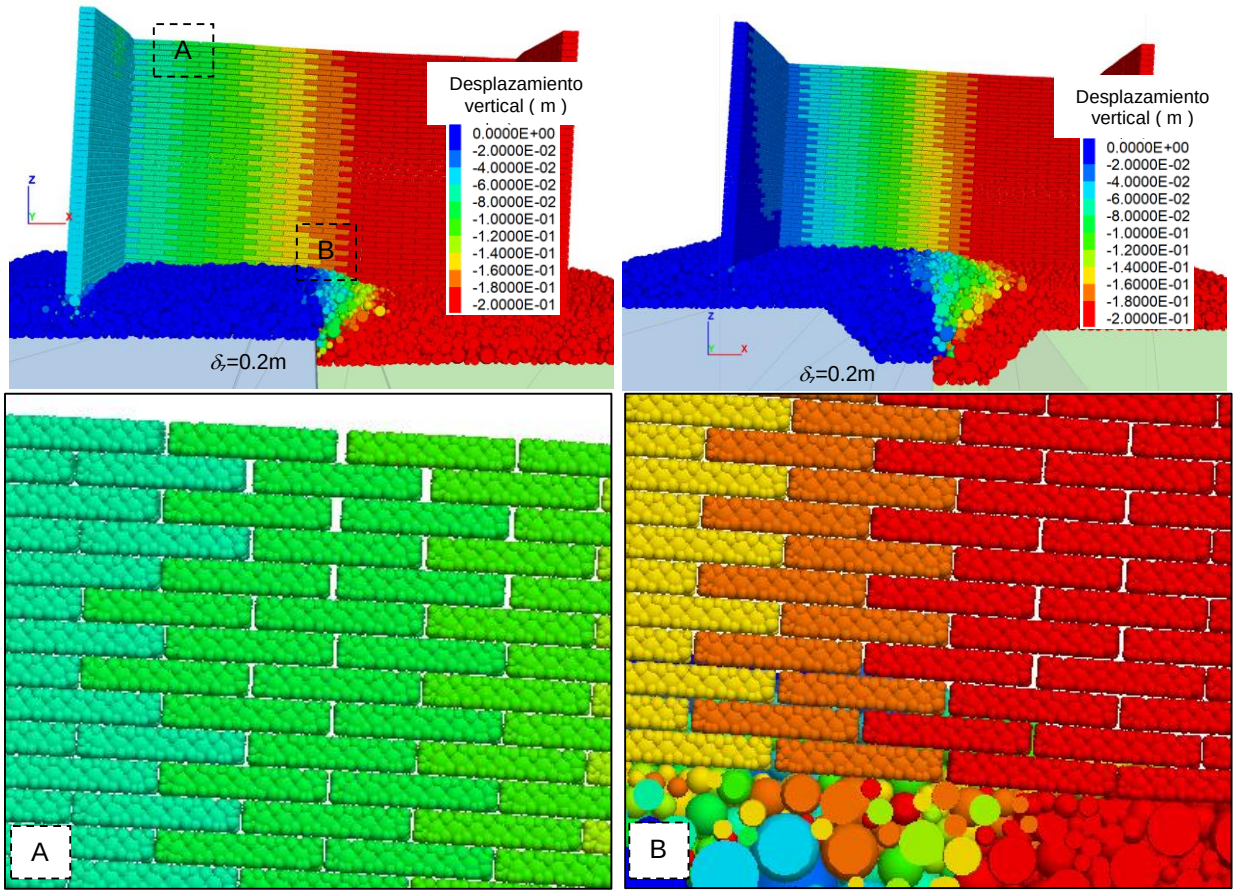


Figura 6.2.6 Vivienda con caja disipadora de deformaciones.

b) Comportamiento de una vivienda tipo

Tomando en cuenta que se tiene planeado construir viviendas tipo (MEXPRESA, 2019) en forma repetida, es importante analizar su comportamiento ante una grieta con escalón. La elaboración de modelos numéricos con medios discontinuos, que representen las condiciones particulares de las viviendas tipo, resulta laboriosa. Por tanto, el análisis se realiza en forma bidimensional como se muestra en el modelo de la Figura 6.2.7.

Se propone construir con cuatro materiales esencialmente distintos: tezontle, unicel, tepetate y concreto. El tezontle únicamente presenta fricción en los contactos entre sus partículas. El unicel también es puramente friccionante pero sus partículas son mucho menos rígidas que las de tezontle. En el tepetate, además de fricción, existe una cohesión baja en los contactos entre partículas. Las partículas que representan el concreto están fuertemente cementadas.

De acuerdo con el diseño estructural de la vivienda (MEXPRESA, 2019), la carga de diseño factorizada que ejerce la losa de cimentación al terreno de cimentación es Wu=18.8kPa, por lo que esta carga es incorporada al modelo.

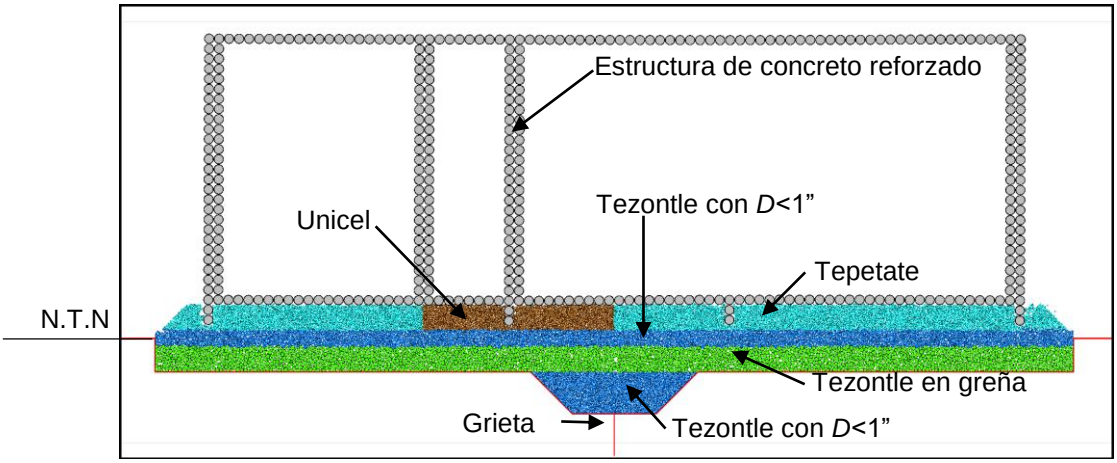


Figura. 6.2.7 Vivienda tipo con protección granular en la cimentación

En la Figura. 6.2.8 se observa la distribución de desplazamientos verticales en el caso sin unicel y con unicel en la cimentación. En ambos casos se observa que los desplazamientos verticales se distribuyen prácticamente en toda la longitud de la vivienda. El extremo izquierdo presenta un ligero ascenso, mientras que el extremo derecho desciende aproximadamente la misma magnitud que lo hace el terreno que subyace a la vivienda. Este comportamiento se debe al material granular en la cimentación.

Cuando no se tiene unicel, se observa un mayor diferencial de desplazamientos en la vivienda, en comparación con el caso en el que sí se incluye el unicel. El escalón ocasiona que la vivienda se apoye principalmente en una zona del lado alto de la grieta y que se pierda el contacto entre la losa de cimentación y el terreno a ambos lados de este apoyo (Figura 6.2.8). Este efecto es menos marcado cuando se incluye el unicel en la cimentación.

En la práctica deberá observarse el comportamiento del terreno de cimentación y dar el mantenimiento necesario para mantenerlo en condiciones adecuadas. Los modelos muestran una separación de la estructura y el suelo en el extremo izquierdo y la presencia de punzonamiento en el extremo derecho.

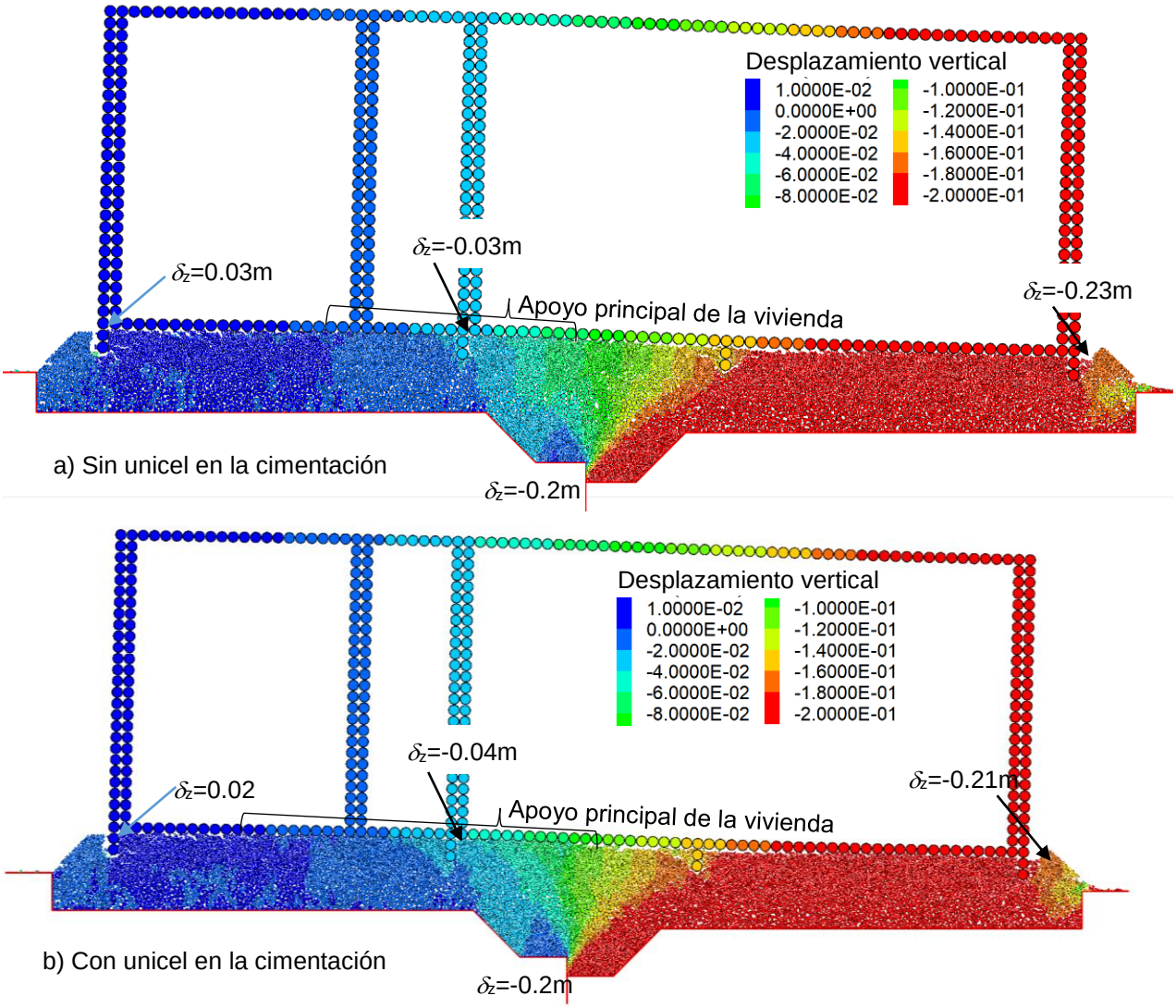


Figura. 6.2.8 Desplazamientos verticales en el modelo de la vivienda tipo.

Para observar con mayor claridad el efecto del unicel en la cimentación, la Figura 6.2.9 presenta las fuerzas de contacto entre partículas en los mismos modelos de la figura anterior. Cada línea indica la orientación de una fuerza, y su espesor, la magnitud.

Cuando no se incluye el unicel (Figura 6.2.9a), en las regiones de medición A, B y C, los esfuerzos verticales son respectivamente 4.2 *W**, 1.3*W** y 0.42*W**, donde *W** es la carga media ejercida en el fondo de la caja disipadora antes de producirse el escalón.

En el caso con unicel (Figura 6.2.9b), los esfuerzos correspondientes son 2.1*W**, 1.8*W** y 0.46*W**. Lo que muestra una distribución de esfuerzos más uniforme en el terreno de cimentación cuando se incluye el unicel.

En otras palabras, cuando el escalón crece, la vivienda se apoya en el lado alto de la grieta (región A de la Figura 6.2.9a). En esta zona se generan sobrecargas que pueden inducir flexión en la losa de cimentación. El unicel permite la deformación del terreno de cimentación en el lado alto de la grieta y contribuye una distribución más uniforme de las cargas en el terreno de cimentación (Figura 6.2.9b).

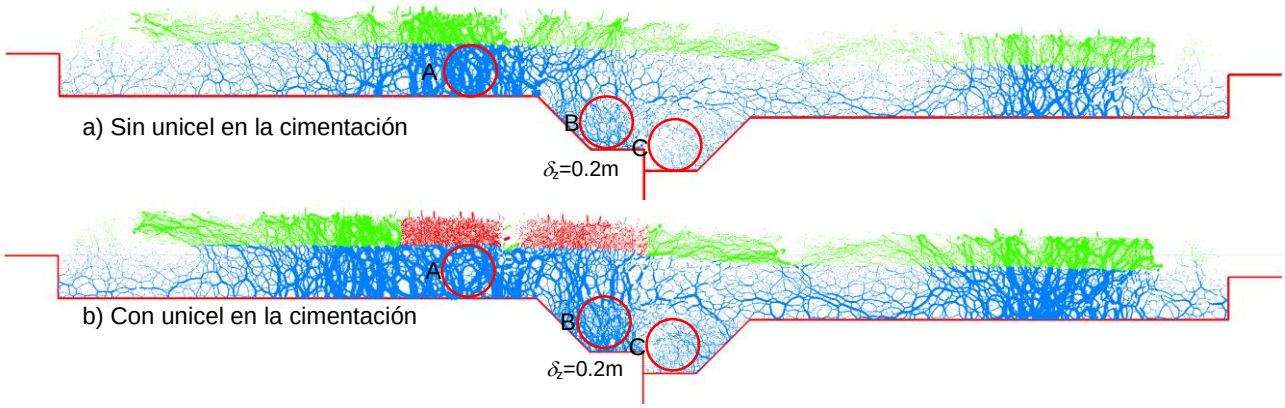


Figura. 6.2.9 Distribución de fuerzas de contacto en el terreno de cimentación de la vivienda tipo

6.2.3 Conclusiones y recomendaciones

En la medida de lo posible, se debe evitar construir sobre una grieta con escalón importante, ya que como se ha visto en el desarrollo del presente informe, se esperan diversos daños a las edificaciones. En caso contrario es factible construir una vivienda, tomando en cuenta los estudios antes discutidos y los comentarios que se expresan a continuación.

Los análisis presentados ponen en evidencia que los daños causados por el agrietamiento del suelo se pueden mitigar en forma eficiente. La caja disipadora evita la falla estructural de los muros de mampostería y permite un buen funcionamiento de las viviendas hasta que eventualmente se rebasan los límites de servicio admisibles en los reglamentos vigentes.

El modelado de la vivienda tipo indica que en el terreno de cimentación del lado alto de la grieta se generan sobrecargas cuando el escalón crece. Para evitar estas sobrecargas y la flexión que se induce en la losa de cimentación, se propone reemplazar parcialmente el tepetate por un material más deformable, por ejemplo, el unicel.

Para colocar el unicel correctamente se deberá identificar la posición de la grieta, así como el lado alto de la misma.

Se recomienda preparar la losa de cimentación, desde la construcción de la vivienda si es posible, para practicar inyecciones que eviten la pérdida del contacto entre la losa y el material subyacente. Esto eventualmente ayudará a nivelar la vivienda.

Para un óptimo funcionamiento de la caja disipadora es importante proteger los materiales con geotextiles como se recomienda en la Nota Técnica G-02 y otros cuidados aplicables desde el punto de vista práctico.

Los modelos con medios discretos permiten reproducir en forma realista los mecanismos de fracturamiento de las viviendas de mampostería, lo cual es imposible de obtener con los métodos tradicionales de medio continuo.

6.3 Instalaciones hidráulicas

6.3.1 Protección de tuberías contra los efectos del agrietamiento.

Dada la continuidad de las redes de agua potable y de drenaje, con frecuencia interactúan con las grietas del suelo de la Ciudad de México y se presentan afectaciones. Las tuberías dañadas causan flujo de agua no controlado en el suelo aledaño, lo que causa erosión y magnifica los daños de las grietas.

Se ha sugerido proteger las tuberías contra los efectos del agrietamiento usando una protección perimetral de arena que cumpla con la misma función que las cajas disipadoras de deformaciones.

En la Figura 6.3.1, se ilustra el concepto anterior. Por conveniencia en obra, el constructor decidió colocar el material granular (arena) envasado en sacos como se observa. Esta solución es aceptable en el sentido práctico siempre que los sacos permitan el reacomodo de la arena. Será importante monitorear el comportamiento de las obras realizadas.

Figura 6.3.1 Tubos de polietileno de alta densidad instalados en el drenaje de la alcaldía Tláhuac

6.3.2 Evaluación de la protección de tuberías contra los efectos del agrietamiento mediante modelos numéricos.

Los problemas causados por el agrietamiento del suelo en las instalaciones hidráulicas pueden ser variados. Por la premura de la solución práctica, los análisis se concentraron en un caso de análisis, pero será importante realizar un análisis que considere diferentes diámetros de los tubos de drenaje, diferentes alturas del escalón en la grieta, los efectos en las juntas entre tubos, la interacción de las tuberías con otras instalaciones.

La simulación de este problema fue motivada por la falla y rehabilitación de un tubo de drenaje en la alcaldía de Tláhuac. En este informe se presentan los principales resultados de utilidad práctica. Los aspectos detallados de estos modelos se pueden consultar en el proyecto de modelado numérico II-UNAM (2020).

Las características de los tubos considerados para rehabilitar el drenaje son: material polietileno de alta densidad, densidad 950 kg/m^3, espesor 0.04m, diámetro 2.44m y largo 6m. Tomando en cuenta estas características se elaboró un modelo para ilustrar cómo afectan las grietas con escalón a las instalaciones hidráulicas.

La Figura 6.3.2 muestra un tubo de polietileno representado por un arreglo regular de partículas cementadas entre sí de acuerdo con las propiedades del polietileno. El tamaño de las partículas que constituyen el tubo cumple tanto con el espesor como con el diámetro del tubo. El tramo completo de tubo se apoya sobre el suelo, donde una grieta cruza en dirección perpendicular al eje longitudinal del tubo.

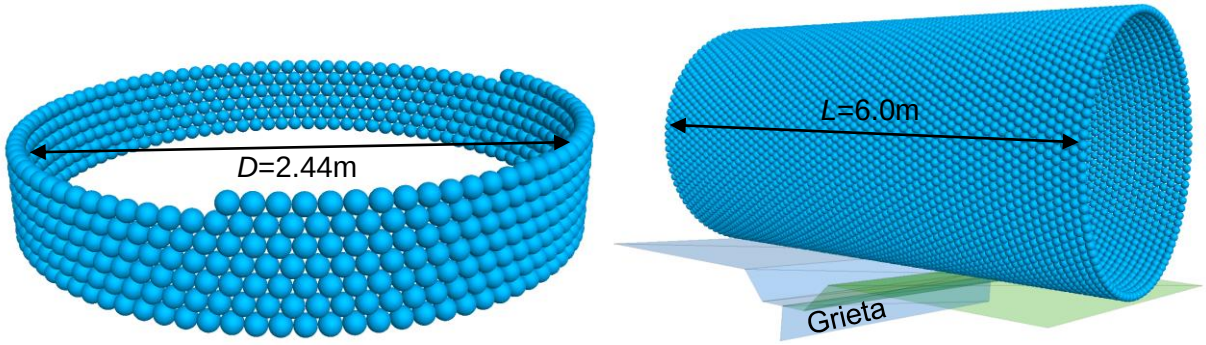


Figura 6.3.2 Efecto de una grieta en el suelo sobre un tubo de drenaje

Al activar el movimiento vertical en la grieta, el tubo se apoya puntualmente en el lado alto de la grieta y se generan fuerzas concentradas en una pequeña región del tubo, como era de esperarse. Esto se observa en la red de contactos entre las partículas del tubo y la magnitud de las fuerzas de contacto que se muestran la Figura 6.3.3. la concentración de fuerzas es la que propicia la falla del tubo y los posteriores problemas asociados a un mal funcionamiento.

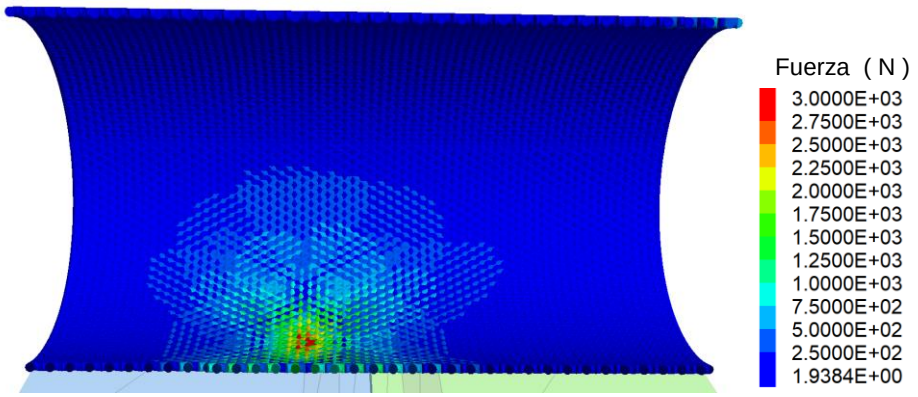


Figura 6.3.3 Magnitud de fuerzas en un tubo apoyado sobre suelo con grieta y con escalón

En forma análoga a los casos anteriores, el concepto de la caja disipadora se puede aplicar a la protección de las instalaciones hidráulicas. Tomando en cuenta que la grieta del suelo actúa por ambos lados y por la parte inferior del tubo, se propone colocar una protección de material granular de 0.5m de espesor en todo alrededor, como se muestra en la Figura 6.3.4.

El material granular de protección se caracteriza por tener una granulometría con Cu=2.2 y la escala de los granos es aumentada intencionalmente para mejorar el desempeño numérico del modelo.

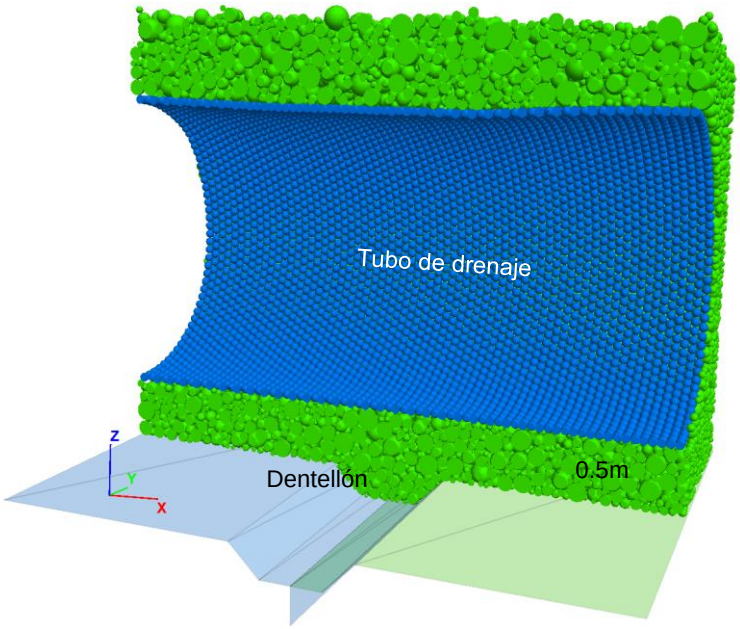


Figura 6.3.4 Corte longitudinal por el eje del tubo de drenaje con protección granular

En la Figura 6.3.5 se presentan cortes longitudinales por el centro del tubo de drenaje mostrando los resultados relevantes. El inciso a) muestra la magnitud de las fuerzas en los contactos del tubo de drenaje antes del desplazamiento en la grieta. El inciso b) presenta la magnitud de las fuerzas de contacto cuando el escalón es δ_z =0.1m. No se observan diferencias significativas en la distribución de las fuerzas de contacto, lo cual indica que la protección granular evita la concentración de esfuerzos en el tubo. Los valores máximos en el tubo se presentan en la bóveda e indican que el tubo trabaja como un puente que soporta el peso del material granular que se encuentra por encima.

Los desplazamientos inducidos por la grieta se presentan en la Figura 6.3.6. Se observa que el material granular de protección distribuye los asentamientos diferenciales en una longitud horizontal considerable. De observa también que el tubo permanece en contacto con el material que lo circunda y por tanto se evita la aparición de fuerzas concentradas.

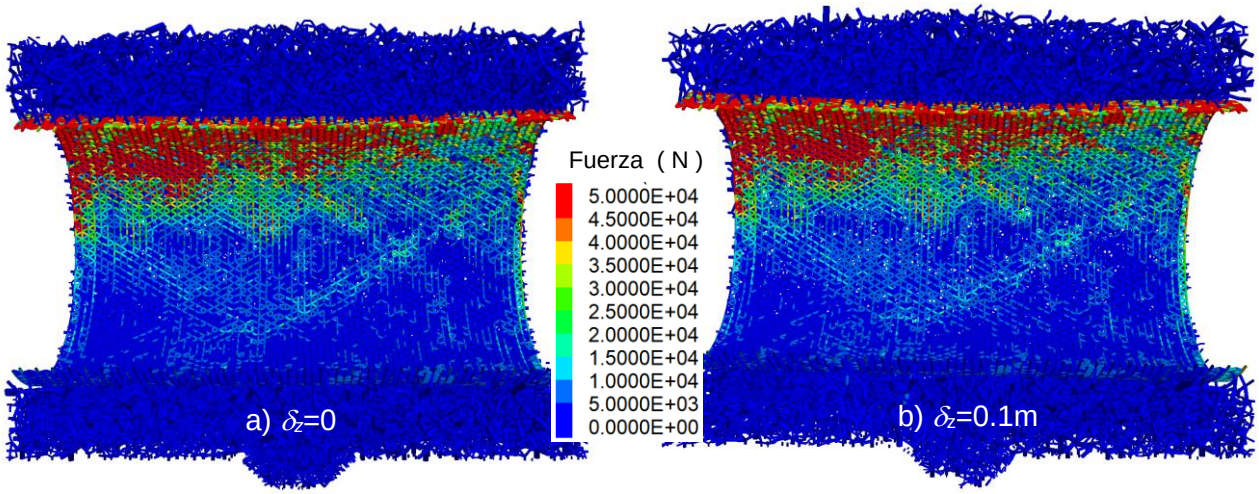


Figura 6.3.5 Fuerzas de contacto en el tubo de drenaje protegido con material granular

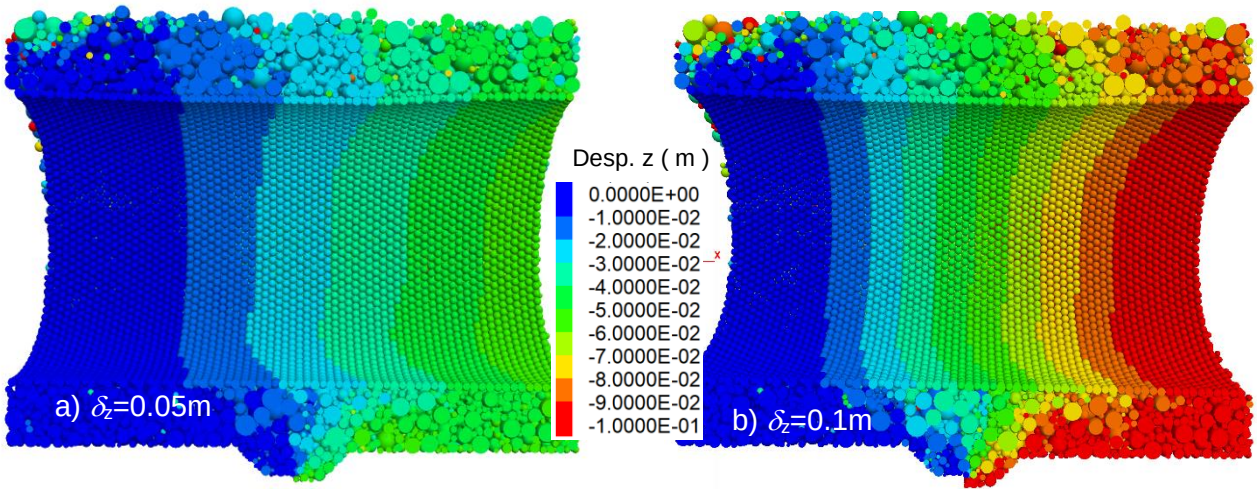


Figura 6.3.6 Desplazamientos verticales en tubo de drenaje afectado por una grieta con escalón

Es de esperarse que la flexibilidad del tubo y del material granular ayuden a convivir con el problema del agrietamiento del suelo, manteniendo en operación el sistema de drenaje por un tiempo mucho mayor con respecto a las condiciones que se presentarían sin protección granular. La protección granular también puede funcionar al mismo tiempo como filtro, retener las partículas de suelo y evitar la erosión que causan los flujos de agua no controlados.

Los análisis anteriores fueron de utilidad en la solución al problema presentado en la alcaldía de Tláhuac.

6.5 Conclusiones sobre las medidas de mitigación

El principio básico de las medidas de mitigación presentadas en este apartado consiste en interponer un material granular entre las grietas y las obras que se desean proteger. El material granular no transmite tensiones y permiten disipar las deformaciones unitarias del suelo que inducen las grietas.

Para estudiar el comportamiento mecánico de medios discontinuos, se ha recurrido a modelos numéricos como el Método de Elementos Discretos y se elaboraron modelos para cada caso en particular. En algunos casos, se pone en evidencia la validez de los modelos al comparar los resultados con observaciones de la práctica.

Los resultados de las investigaciones han sido de gran utilidad para obtener recomendaciones prácticas en la construcción de cajas disipadoras para atender los problemas en las vialidades, principalmente en la alcaldía Iztapalapa. En repetidas ocasiones, los resultados de los modelos numéricos fueron presentados y discutidos con las personas responsables de las obras.

En cuanto a la reconstrucción de viviendas, se ha mostrado que es posible evitar la falla estructural de las edificaciones hasta cierto punto, insertando una caja disipadora en la cimentación. Se analizaron algunas medidas complementarias que contribuyen a un mejor comportamiento de las viviendas. Las medidas de mitigación permitirán extender la vida útil de las viviendas.

Por otra parte, se dio seguimiento a la rehabilitación del drenaje en la alcaldía Tláhuac en tiempo real. Las recomendaciones obtenidas de los análisis numéricos fueron tomadas en cuenta durante la construcción de las nuevas instalaciones hidráulicas.

7. ELABORACIÓN DE UNA MONOGRAFÍA SOBRE EL TEMA DEL AGRIETAMIENTO

Con base en la experiencia adquirida durante este proyecto y tomando en cuenta las contribuciones de los diferentes miembros del comité de grietas, ha sido posible preparar una una monografía sobre el tema del agrietamiento en el valle de México. Este documento, que se presenta en el Anexo F, podrá ser distribuido por a las personas que deseen tener una información general sobre el fenómeno.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar-Pérez, L.A., Ortega-Guerrero, A., Lugo-Hubp, J. y Ortiz-Zamora, D., 2006, "*Análisis numérico acoplado de los desplazamientos verticales y generación de fracturas por extracción de agua subterránea en las proximidades de la Ciudad de México*", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 23, No. 3, 2006, pp. 247-261.
2. Aguilar, R., 2009, "*Deformaciones inducidas en el subsuelo de la ciudad de México por hundimiento regional*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.77-88. Ciudad de México, México.
3. Aguilar Ortega, R., 2001, "*Zonificación geotécnica del Cerro de la Estrella y sus alrededores*", Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.
4. Alberro J. y Hernández R., 1990. "*Génesis de las grietas de tensión en el valle de México". En el volumen El subsuelo de la cuenca del valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo*", editado por la SMMS (SMIG); pp. 95-106.
5. Alberro J. y Hernández, R., 1991, "*Evaporación y agrietamiento*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.13-19, CDMX
6. ASCE, 1994, "*Fracture mechanics applied to Geotechnical Engineering*", Geotechnical Special Publication No 43. New York.
7. Auvinet, G., 1981, "*Agrietamiento de las arcillas del valle de México*", Informe técnico del Instituto de Ingenierías, UNAM, a la Comisión del Lago de Texcoco, México, D.F.
8. Auvinet, G. y Arias, A., 1991, "*Propagación de grietas*", Memoria, Simposio sobre "Agrietamiento del suelo", SMMS (SMIG), pp. 21-31, agosto, CDMX, México.
9. Auvinet, G., 1993, "*Cours de mécanique des milieux continus*", Notes de cours, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France.
10. Auvinet, A, 2002, "*Uncertainty in Geotechnical Engineering*" Sixteenth Nabor Carrillo Lecture. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
11. Auvinet, G., 2008, "*Fracturamiento de suelos, estado del arte*", Volumen especial "Conferencias temáticas: Avances recientes", Memoria, XXIV[a] Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, México, pp. 299-318.
12. Auvinet, G., 2009, "*Land subsidence in Mexico City*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence; the cases of Mexico City, Bangkok and other large cities", pp. 3-11. CDMX, México.
13. Auvinet, G., 2010, "*Soil fracturing induced by land subsidence*", in "Land subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development", IAHS Publication 339, ISSN 0144-7815: pp. 20-26.
14. Auvinet, G., Méndez, E. and Lermo, J., 2010, "*Advances in geotechnical characterization of soil fracturing in Mexico City basin*" in "Land subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development", IAHS Publication 339, ISSN 0144-7815: pp. 33-38.
15. Auvinet, G., Méndez, E. and Juárez, M., 2013, "*Soil fracturing induced by land subsidence in Mexico City*", Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and

Geotechnical Engineering, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France.

16. Auvinet, G., Méndez Sánchez, E. and Juárez Camarena, M., 2015a. "*Evaluation of regional subsidence and soil fracturing in Mexico City Valley*", Proceedings, Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, Argentina.
17. Auvinet, G., Méndez Sánchez, E. and Juárez Camarena M., 2015b, "*New information on regional subsidence and soil fracturing in Mexico City Valley*", Proc. IAHS, 92, 1-6.
18. Auvinet, G., Méndez Sánchez E. y Juárez Camarena M., 2016, "*Hundimiento regional en el valle de México*", Revista H2O-Gestión del Agua, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), Núm. 9, enero-marzo 2016, pp. 16-21, Ciudad de México, México.
19. Auvinet, G., Méndez, E. y Juárez, M., 2017, "*El subsuelo de la Ciudad de México, Vol.* 3", Complemento a la Tercera Edición del libro de R.J. Marsal y M. Mazari: Volumen adicional (Vol.3) sobre avances en el conocimiento del subsuelo 1959-2016, publicado con motivo del 60 aniversario de la fundación del Instituto de Ingeniería, UNAM. ISBN Vol. 3 978-607-02-8198.
20. Auvinet, G., Juárez Camarena, M., Vázquez Guillen, F., 2018, "*Análisis de riesgo y confiabilidad en Geotecnia*", Capítulo B.6.2; Sección B. Geotecnia, Tema 6. Control de calidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. Comisión Federal de Electricidad.
21. Auvinet, G. *et al*., 2018a, "*Vulnerabilidad de edificaciones con base a la caracterización del agrietamiento del suelo en las alcaldías Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y su impacto en las edificaciones de dichas demarcaciones*", Informe final, elaborado por el II-UNAM para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal, CDMX, México.
22. Auvinet, G. *et al.,* 2018b, "*Acompañamiento para la evaluación y remediación de daños en las construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco por agrietamiento del subsuelo*", Informe final, elaborado por el II-UNAM para la Secretaría de Obras del gobierno de la Ciudad de México (SOBSE), CDMX, México.
23. Auvinet, G, y Sánchez, J, 2019, "*Mitigación de deformaciones inducidas por las grietas del suelo de la ciudad de México*", Gaceta del Instituto de Ingeniería, UNAM, No 138, CDMX, México.
24. Auvinet, G., 2019, "*Geotechnical engineering in spatially variable soft soils The case of Mexico City*" (9th Arthur Casagrande Lecture), Proceedings XVIth Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cancún, Mexico, November 18th.
25. Auvinet G., Sánchez-Guzmán J. y Pineda A., 2019, "*Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo*", Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XX, Núm. 4, octubre-diciembre, ISSN 2594-0732 FI-UNAM.
26. Ayala G. and Rourke, M.J., 1989, "*Effects of the 1985 Michoacan Earthquake on water systems and other buried lifelines in Mexico*", Technical Report NCEER-89-0009, National Center for Earthquake Engineering Research, University of New York at Buffalo, USA.
27. Ayala, G., 2018, "*Resiliencia sísmica de los sistemas de agua de la ciudad de México*", Conferencia dictada en la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM, Sociedad mexicana de Ingeniería Sísmica, CDMX (Presentación Power Point)
28. Barranco Eyssautier, A., 2016, "*Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona sur del valle de México con aplicación a una obra de infraestructura*", tesis profesional para obtener el título

de Ingeniero Civil, presentada en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

29. Benham, P.P. y Crawford, R.J., 1987, "*Mechanics of Engineering Materials*", Longman Scientific & Technical, USA.
30. Barenblatt, G.I., 1962, "*The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture*", Advances in Applied Mechanics, vol. 7, pp. 55–129.
31. Biringen Emre, y Davie John (2010). *Suspension P-S Logging for Geophysical Investigation of Deep Soil and Bedrock*. Advances in Analysis, Modeling & Design
32. Cabral Cano, E., Cifuentes-Nava, O. Díaz-Molina, E. Hernández-Quintero, A. Hurtado-Díaz, 2004. "*Investigación del Proceso de Subsidencia, Fracturas y las Estructuras del Subsuelo en Diversas Líneas del Metro, con el Objeto de Identificar y Caracterizar Cavidades, Fallas, Fracturas, y Zonas de Hundimiento y Deformación que Originan la Presencia de Asentamientos Diferenciales, Problemas de Estabilidad Estructural y Deterioran la Seguridad en la Operación del Material Rodante*". Reporte Interno Reservado para la Gerencia de Proyectos del Sistema de Transporte Colectivo, METRO. Gobierno de la Ciudad de México.
33. Cabral-Cano, E., Dixon, T. H., Miralles-Wilhelm, F., Díaz-Molina, O., Sánchez-Zamora, O, Molina, O.D. and Carande, R. E., 2008. "*Space geodetic imaging of rapid ground subsidence in Mexico City*", Geological Society of America Bulletin; November/December 2008; Vol. 120; No. 11/12; p. 1556–1566; doi: 10.1130/B26001.1.
34. Cabral-Cano, E., Osmanoglu, B. Dixon, T. Wdowinski, S., Demets, C., Cigna, F. and Díaz-Molina, O., 2010. "*Subsidence and fault hazard maps using PSI and permanent GPS networks in central Mexico*", Proceedings of EISOLS 2010, 17–22 October 2010. IAHS Publ. 339, Querétaro, México.
35. Cabral-Cano, E., Díaz Molina, O., y Delgado Granados, H., 2011. "*Subsidencia y sus mapas de peligro: Un ejemplo en el área nororiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.
36. Calderhead, A.I., Therrien, R., Rivera, A., Martel, R. and Garfias, J., 2011. "*Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico*", Advances in Water Resources, 34, pp. 83–97.
37. Calderhead, A.I., Martel, R., Garfias, J., Rivera, A. and Therrien, R., 2012, "*Sustainable Management for Minimizing Land Subsidence of an Over-Pumped Volcanic Aquifer System*": Tools for Policy Design, Water Resources Management, 26:1847–1864. DOI 10.1007/s11269-012-9990-7.
38. Carrillo, N., 1948, "*Influence of Artesian Wells on the Sinking of Mexico City*", Proceedings, Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 156-159, Rotterdam, Netherlands.
39. Carreón, D.C., Cerca L.M. y Ochoa, H., 2009, "*Estudios de propagación de fracturamiento por subsidencia en dos áreas urbanas geológicamente contrastantes de México: las ciudades de México y Querétaro*". Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.49-58. CDMX, México.
40. Cerca, M., Carreón-Freyre, D., López-Quiroz, P., Ovando-Shelley, E., Doin, M. P., Gutiérrez-Calderón, R., González-Hernández, M., Jiménez-Sánchez, A. and Blancas-Domínguez, D.,

2012. "*Engineering Geology Approach to the effects of land subsidence in Mexico City"*. In Aranda-Gómez, J. J., Tolson G., and Molina-Garza. R. S. eds., The Southern Cordillera and Beyond: Geological Society of America Field Guide 25, p 115-134, doi: 10.1130/2012.0025 (06).

41. Chaosheng Tang, Bin Shi, Chun Li, Lizgheng Zhao, Baojun Wang, 2008, "*Influencing factors of geometrical structure of surface shrinkage cracks in clayey soils*", Engineering Geology 101, pp. 204-217.
42. Chaussard, E., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. and Amelung, F., 2014. "*Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series*", Remote Sensing of Environment 140, pp. 94–106.
43. Covarrubias, S.W., "*Cracking of Earth and Rockfill dams*", Harvard Soil mechanics Series, 82.
44. Deutsch, C. y Journel, A. 1992, GSLIB Geostatistical software library and user's guide: Oxford University Press, New York, Pp 340.
45. Der Kiureghian, A., 1996, "*A coherency model for spatially varying ground motions*", Earthquake Engineering ans Structural Dynamics; 25 pp. 99-111.
46. Dineva, P.S. y Manolis, G.D., 2001, "*Scattering of seismic waves by cracks in multi-layered geological regions, I. Mechanical model*", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 21, pp. 615-625.
47. Dugdale, D. S., 1960, "*Yielding of steel sheets containing slits*", Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 8, no. 2, pp. 100–104.
48. Enbeita Basterrechea, I., 2006, "*Inestabilidades térmicas. Células de Bénard*", Trabajo de fin de grado, Universidad del País Vasco, España.
49. Eslava, R. (2017). Exploración geotécnica realizada. Información personal. Diciembre.
50. Espinosa Villalpando Luis Ángel, 2011, "*Mediciones de microtremores para estimar el origen de agrietamiento en la Delegación Iztapalapa, CDMX*", Tesis para obtener el grado de ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, CDMX
51. Flores Tapia, L. I. N., 2000, "*Contribución a la zonificación geotécnica de la zona sur de la cuenca de México*", tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.
52. GEOVISA, 2019, "*Exploración geotécnica del subsuelo en la col. El Molino Tezonco, Alcaldía de Iztapalapa, CDMX.*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México
53. Gobierno de la Ciudad de México, 2017, "*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones*", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 15 de diciembre, Ciudad de México, México.
54. Gobierno de la Ciudad de México, 2017, "*Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico*", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 15 de diciembre, Ciudad de México, México.
55. González, F., 2012, "*Estudio de las singularidades de frente de grieta y de esquina de grieta en grietas tridimensionales mediante el método de los elementos finitos*". Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

56. Gutiérrez S. C., Cuevas R., A., Sánchez M. B., 1991, "*Soluciones geotécnicas para el agrietamiento de suelos*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.95-109, CDMX.

57. Hattori, G., Rojas-Díaz, R., Sáez, A., García-Sánchez, F. y Sukumar, N., 2011, "*El método de los elementos finitos extendidos (X-FEM) para medios bidimensionales fisurados totalmente anisótropos*". Anales de Mecánica de la Fractura 28, Vol. 2. https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Garcia-Sanchez/publication/266504423

58. Hernández Cruz G.B., 2007, "*Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la delegación Tláhuac, Distrito Federal*", Tesis de licenciatura en geografía, Facultas de Filosofía y letras, Colegio de geografía, UNAM.

59. Herrera, I. *et al.*, 1989, "*Contribución para la administración científica del agua subterránea de la cuenca de México*", Geofísica Internacional, Vol. 28-2, pp. 297-334.

60. Hinojosa Marín, J., 2010, "*Comportamiento del suelo en la zona próxima al Cerro del Marqués y sus efectos en obras de infraestructura*", Tesis de Maestría SEPI, ESIA-IPN, Ciudad de México, México.

61. IEC, 2019, "*Exploración geotécnica en la colonia la planta, Iztapalapa*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

62. InGeum, 2019, "*Exploración geotécnica del subsuelo, "Deportivo Cananea", colonia Predio El molino, Alcaldia Iztapalapa, Ciudad de México*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

63. Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Geoinfomática, UNAM, 2015, "SIMOH, *Sitio internet*: http://proyectos2.iingen.unam.mx/SIMOH/"

64. II-UNAM (Instituto de Ingeniería- UNAM), 2019, "*Modelado numérico del agrietamiento del suelo y de algunas medidas de mitigación. Aplicación a la problemática de las alcaldísa Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta*", Convenio de colaboración entre el II-UNAM y la Secretaría de Educación, Ciencia y Tecnología e Innovación de la Ciudad de México.

65. Irwin, G., 1957, " *Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate*" , Journal of Applied Mechanics, 24, 361– 364.

66. ISSMGE TC36, 2009, Proceedings, Workshop on "*Geotechnical Engineering in urban areas affected by land subsidence*", ISSMGE, Instituto de Ingeniería, UNAM, and SMMS, CDMX, México.

67. Juárez Badillo E., 1959, "*Teoría de grietas de tensión*". I Congreso Panamericano de Mecánica de suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Memorias, pp. 65-76. CDMX, México.

68. Juárez Badillo E., 1991, "*Grietas por fuerzas de filtración*". Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.39-42, CDMX, México

69. Juárez Luna G., 2002, "*Aplicación de la mecánica de fracturas a problemas de geotecnia*", Tesis de maestría, ESIA; IPN, CDMX, México

70. Kezdi, A., 1976 "*Problemas de física de los suelos*", SMMS, CDMX.

71. Krige, D, 1962, "*Statistical Application in mine valuating*". Institute Mine Survey, South Africa.

72. Lermo, J., Ovando, E., Espinosa-Villalpando, L., 2010, "*Microtremor Measurements to Detect Zones of Potential Cracking In the Basin of Mexico*", IAHS Publication 339 ISSN 0144-7815,

Land Subsidence, Associated Hazards and the role of natural resources development, México, pp 51-53.

73. López-Acosta, N.P., Auvinet, G. and Rodríguez, J.F., 2009, "*Effects of regional subsidence on subway structures*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.65-76. Ciudad de México, México.

74. López-Acosta, N.P., Auvinet, G. and Rodríguez, J.F., 2009, "*Damages on linear structures induced by regional subsidence of Mexico City*," Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. (October 5, 2009), Vol. 3 pp. 2064-2067, IOS Press. DOI: 10.3233/978-1-60750-031-5-2064. ISBN 978-1-60750-031-5, Alexandria, Egypt.

75. Lugo Hubp, J., Pérez Vega, A., Rojas Salas, M., 1991. "*Formación de grietas en la margen de antiguo lago al oriente de la cuenca de México*". Geofísica Internacional, Vol. 30, Núm. 2, pp. 87-95.

76. Lugo Hubp J., Mooser, F., Pérez, A., Zamorano, J., 1994, "*Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina*", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Vol. 13, Núm 2, pp. 240-251

77. Manríquez Hernández, L: J: y Osorio Rosales E.R., 2007, "*Sistema de Información geográfica de los agrietamientos en el suelo de la cuenca de México*", Tesis de Ingeniero topógrafo y geodesta, Facultad de Ingeniería, UNAM, CDMX, México.

78. Matheron, G, 1965, "*Les variables généralisées et leur estimation*", Masson et Cie", France.

79. Mayoral J.M. y Flores F, 2010, "*Effects of soil cracking on the seismic response of soil-structure systems*", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, pp. 509-523.

80. Mazari, M., Alberro, J., Mazari, M. y Gonzáles, S. (2000). "Agrietamiento de arcillas lacustres y su relación con el uso y reuso del agua", En: Hacia el tercer milenio, El Colegio Nacional.

81. Mazari, M, *et al.,* 1994 "*Deformaciones inducidas por chinampas en depósitos lacustres de la Cuenca de México*", Antropológicas No. 3, pp. 107-121, CDMX, México.

82. Mejía Cisneros, M., 2012, "*Análisis del agrietamiento y los procesos de remoción en masa para la Sierra Santa Catarina en el Distrito Federal y zonas aledañas del Estado de México*", Tesis para obtener el título de Maestro en Cincias en Geología. Opción riesgos geológicos, ESIA Unidad Ticoman, IPN, CDMX.

83. Melgoza A. Carlos., 1978. "*Descripción, evolución y origen de los agrietamientos*". Simposio "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en al área urbana del valle de México". Vol. editado por la SMMS.

84. Méndez, E., Auvinet, G. & Lermo, J., 2008, "*Avances en la caracterización geotécnica del agrietamiento del subsuelo de la Cuenca de México*", Memoria, XXIV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, Vol. 2, pp. 495-502.

85. Méndez, E., Matus, U., Auvinet, G., Juárez, M., 2010, "*Caracterización de anomalías geotécnicas en las zonas lacustre y de transición de la ciudad de México*", Memoria, XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Acapulco, Guerrero, México, pp. 311-321.

86. MEXPRESA, 2019, "*Casa habitación unifamiliar prototipo de 65m^2, que puede ser construida en suelos de la zona lacustre en las alcaldías Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, Ciudad de México*", Mexicana de Presfuerzo, S. A. de C. V.

87. Millán, J., 2005, "*Estudio de mecánica de suelos para un conjunto habitacional por construir en la calle el Molino No. 114 colonia La Planta de la delegación Iztapalapa del Distrito Federal*", CDMX, México.

88. Ming-Hung Chen, Kuo-Liang Wen, Chin-Hsiung Loh, y Robert L. Nigbor (2008). Experience of Suspension P-S Logging Method and Empirical Formula of Shear Wave Velocities in Taiwan. Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering.

89. Mooser, F., 2018, "*Geología del valle de México y otras regiones del país*", Colegio de Ingenieros Civiles de México, CDMX, México.

90. Morales de la Cruz, M. A., 2001, "*Zonificación geotécnica de la zona sur-oriente de la cuenca de México*", tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

91. Murillo R.F., *et al*., 1991, "*Agrietamiento lacustre al oriente de la ciudad de México*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.39-42, CDMX, México.

92. Ovando, E., Montiel, J., 1989, "*Estudio sobre el problema del agrietamiento en la unidad habitacional Cananea Iztapalapa, D.F.*", Unión de Colonos UCISV Libertad, CDMX, México.

93. Ovando E., Lermo J., Auvinet, G., y Méndez E., 2012, "*Microtremors measurements to identify zones of potential fissuring in the basin of Mexico*", Geofísica Internacional, 2012, 51-2: pp. 143-156.

94. Pacheco, J., 2007, "*Modelo de subsidencia del Valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales*", Tesis doctoral, Centro de Geociencias, UNAM, pp. 253.

95. Reséndiz, D., Auvinet, G. y Méndez, E., 2016, "*Subsidencia de la Ciudad de México, un proceso centenario insostenible*", Serie Investigación y Desarrollo, mayo, Instituto de Ingeniería, UNAM. ISBN: 978-607-02-7818-1.

96. Reséndiz, D. y Auvinet, G., 2017, "*Confusiones surgidas a partir de los sismos del 2017 en la ciudad de México*", Revista Geotecnia, SMIG, Num. 246, CDMX. México.

97. Reséndiz, D., Auvinet, G., Juárez, M. and Méndez, E., 2019, "*Saving the valley of Mexico from disaster: the need and the method*", Controlling land subsidence water extraction and recharge throughout an extensive underground basin, Serie del Instituto de Ingeniería, SID 703, Enero, UNAM, ISBN 978-607-30-1426-7.

98. Rojas, E., Romo, M. y Saldívar, E., 1994. "*Un modelo para explicar el agrietamiento en la Ciudad de Aguascalientes*". XVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos "La geotecnia y su relación con el medio ambiente", Xalapa, Veracruz. Vol. I, pp. 269-274.

99. Sánchez Guzmán, J., 2017, "*Estudio de los medios granulares por el método de elementos discretos*", Tesis doctoral de Jesús Sánchez Guzmán. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Ingeniería Civil, Geotecnia, UNAM.

100. Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F., León, E., 2005, "*Esquema geotécnico de la cuenca de México*", México: TGC Geotecnia. ISBN: 968-5571-06-6. CDMX, México.

101. Santoyo, E., 2010, "*Exploración del suelo*", Métodos directos e indirectos, muestreo y pruebas de campo", Vigésima Conferencia Nabor Carrillo, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécncia, Acapulco. México.

102. Siles, G., Alcérreca-Huerta, J.C., López-Quiroz, P. and Carrera-Hernández, J., 2015. "*On the potential of time series InSAR for subsidence and ground rupture evaluation: application to Texcoco and Cuautitlan–Pachuca subbasins, northern Valley of Mexico*", Natural Hazards, 79, pp. 1091–1110. DOI 10.1007/s11069-015-1894-4.

103. Taghavi R., 2011, "*Automatic clump generation based on mid-Surface*", Proceedings of second international FLAC/DEM symposium. Melbourne, Australia.

104. TGC-Geotecnia, 2007, "*Reporte preliminar para la renivelación del edificio "H" de la unidad habitacional Benito Juárez, Iztapalapa*", PGI-2007-P009-I052, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

105. TGC-Geotecnia, 2007, "*Ejecución de seis (6) sondeos de muestreo ambiental en las zonas de grietas de la delegación Iztapalapa*", TGC 2007-3342, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

106. TGC-Geotecnia, 2007, "*Reporte parcial de los sondeos de exploración profunda en la colonia Lomas de San Lorenzo, Iztapalapa*", TGC 2007-3335, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

107. TGC-Geotecnia, 2007, "*Proyecto para la renivelación de los edificios 1 y 2 de la escuela primaria José Romero y Fuentes, Iztapalapa*", PGI-2007-P009-I052, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

108. TGC-Geotecnia, 2019, "*Exploración geotécnica y pruebas de laboratorio para sitios con presencia de grietas en la colonia Del Mar, Tláhuac, CDMX*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

109. Vázquez, F. y Auvinet, G. 2018, "*Influencia de la profundidad de bombeo sobre los esfuerzos inducidos en el subsuelo*", Informe interno II-UNAM y publicación sometida a Revista del IMTA:

110. Vietez-Uteza, L. *et al*., "*Investigación sobre fallas y hundimientos que produzcan movimientos diferenciales y agrietamientos en la superficie del Valle de México significativos para el proyecto de red de distribución de gas en el Distrito Federal*", Informe técnico final, CDMX, México.

111. Waitz, P., 1910, "*Excursión a la Sierra de Santa Catarina*", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo VII:

112. Zeevaert, L., 1988, "*Sismo-geodinámica de la superficie del suelo y cimentación de edificios en la Ciudad de México*". Edición Privada. CDMX, México.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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
CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

ANEXO A

SECCIONES GEOLÓGICAS EN LAS ZONAS AFECTADAS POR AGRIETAMIENTO DEL SUELO

SECCIONES GEOLÓGICAS EN LAS ZONAS AFECTADAS POR AGRIETAMIENTO DEL SUELO

En este anexo se presentan secciones geológicas que pretenden definir con mayor detalle las complejas condiciones de interacción entre los materiales volcánicos de la Sierra de santa Catarina y los materiales lacustres circundantes.

En la Fig. A.1 se presenta la ubicación de las secciones estudiadas que se presentan en las figuras A.2 a A.6.

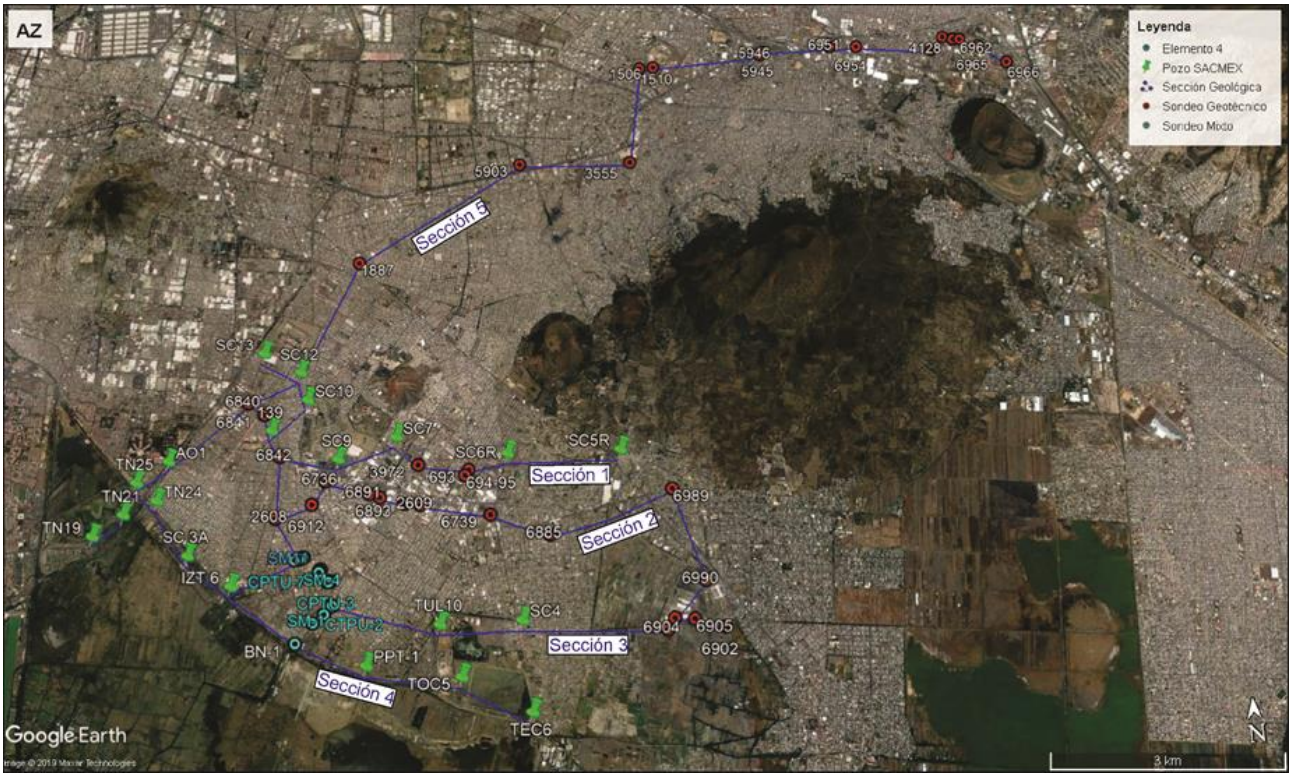


Figura A.1. Ubicación del área de estudio y de las secciones geológicas

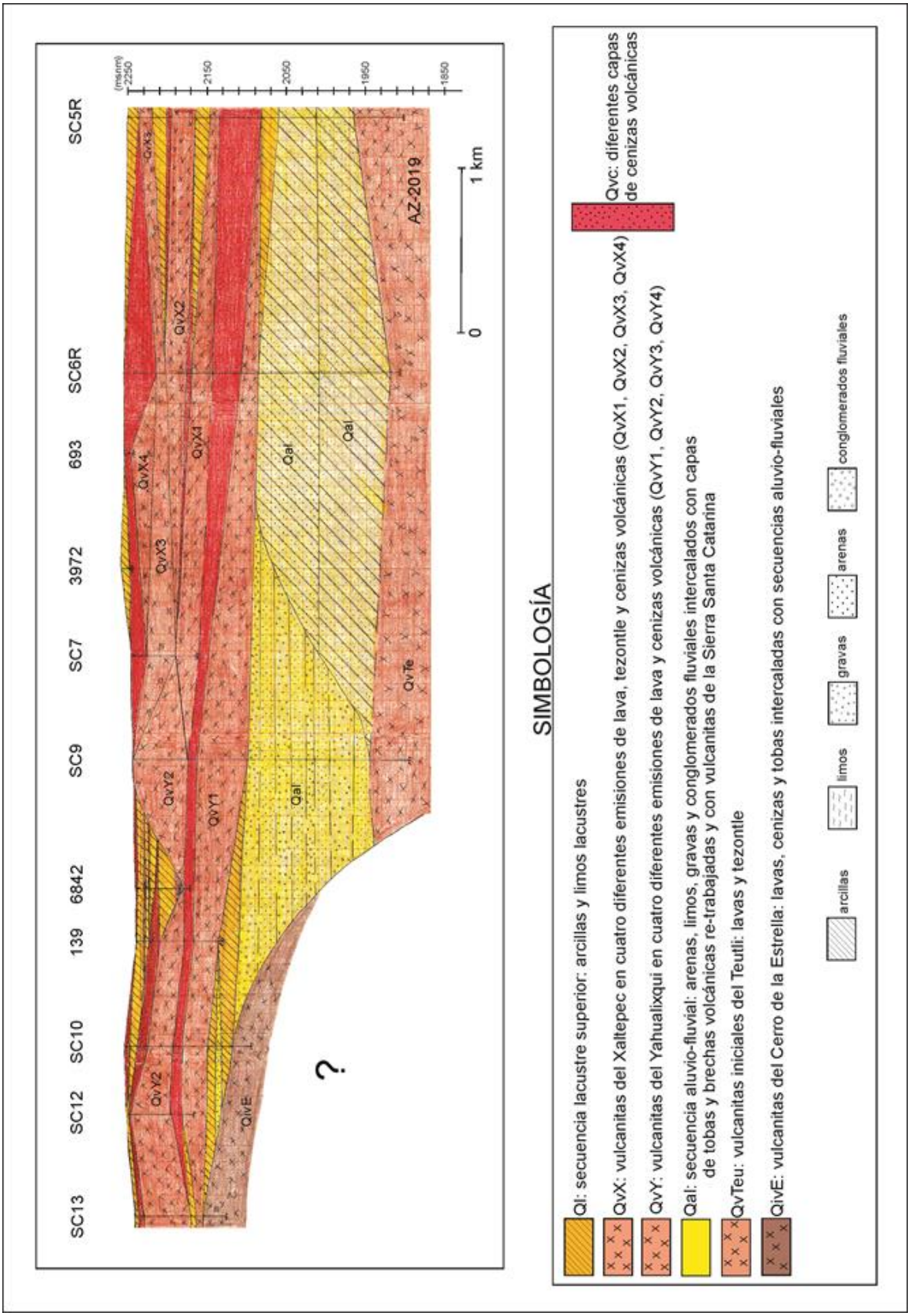


Figura A.2. Sección Geológica 1.

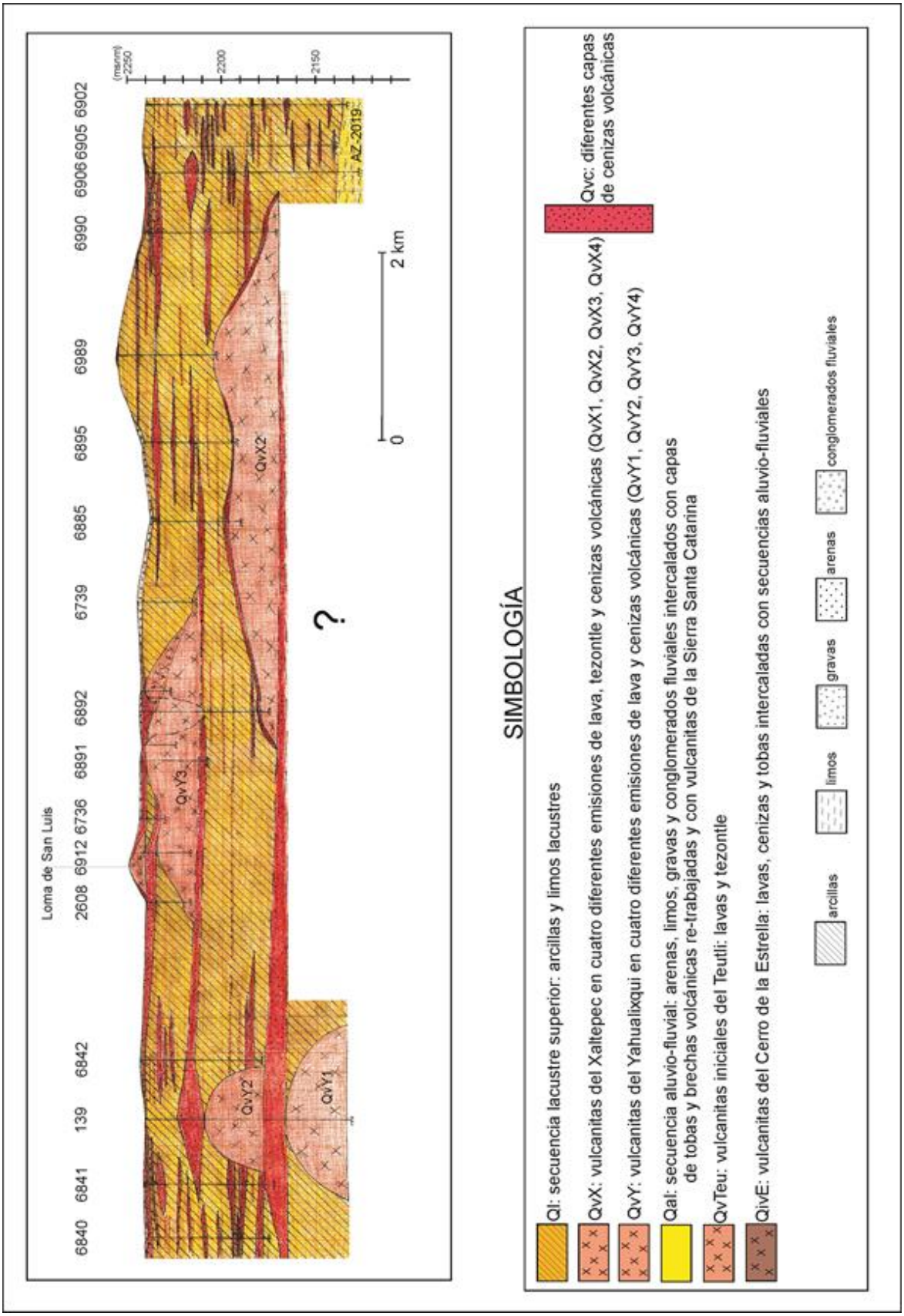


Figura A.3. Sección Geológica 2.

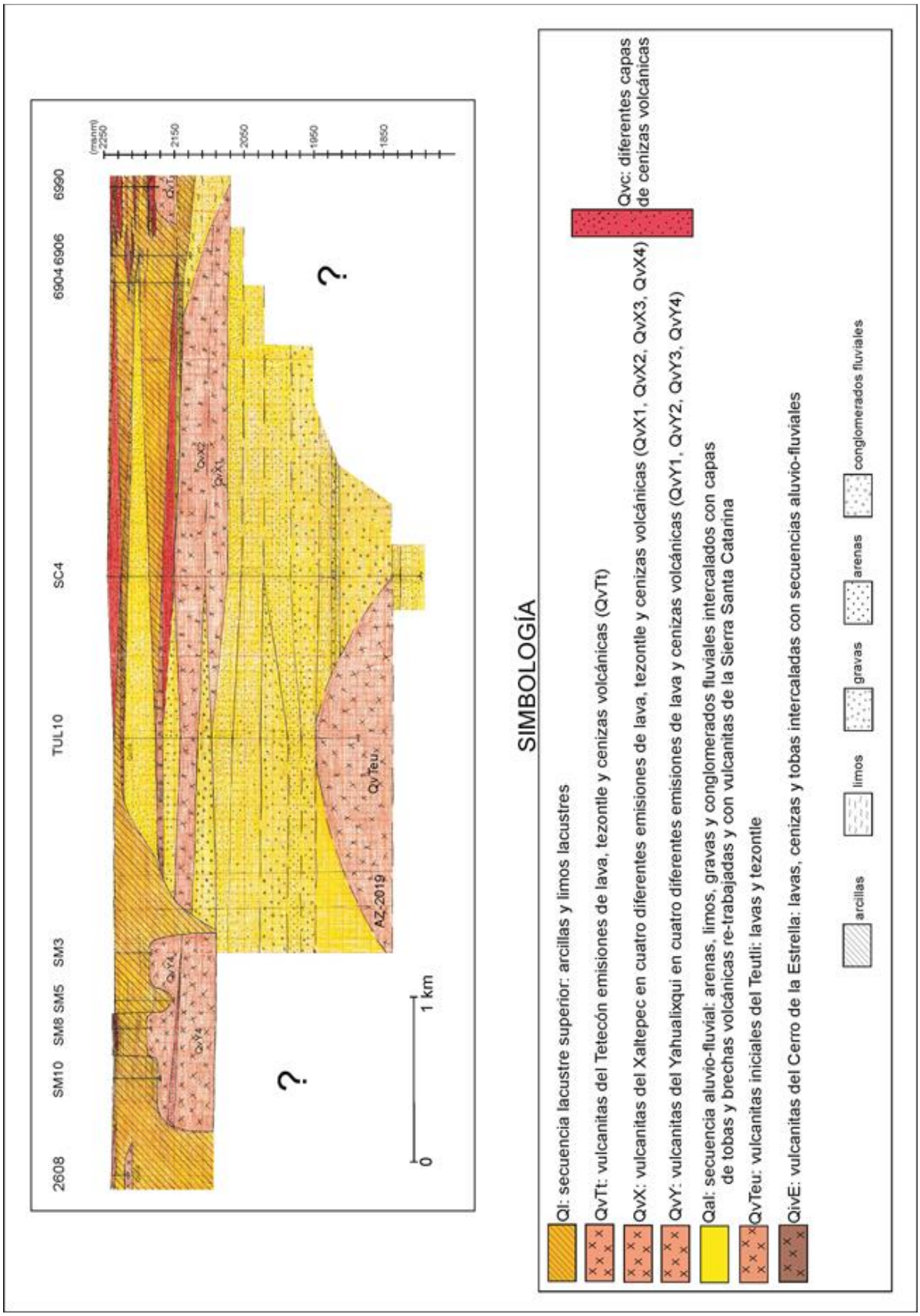


Figura A.4. Sección Geológica 3.

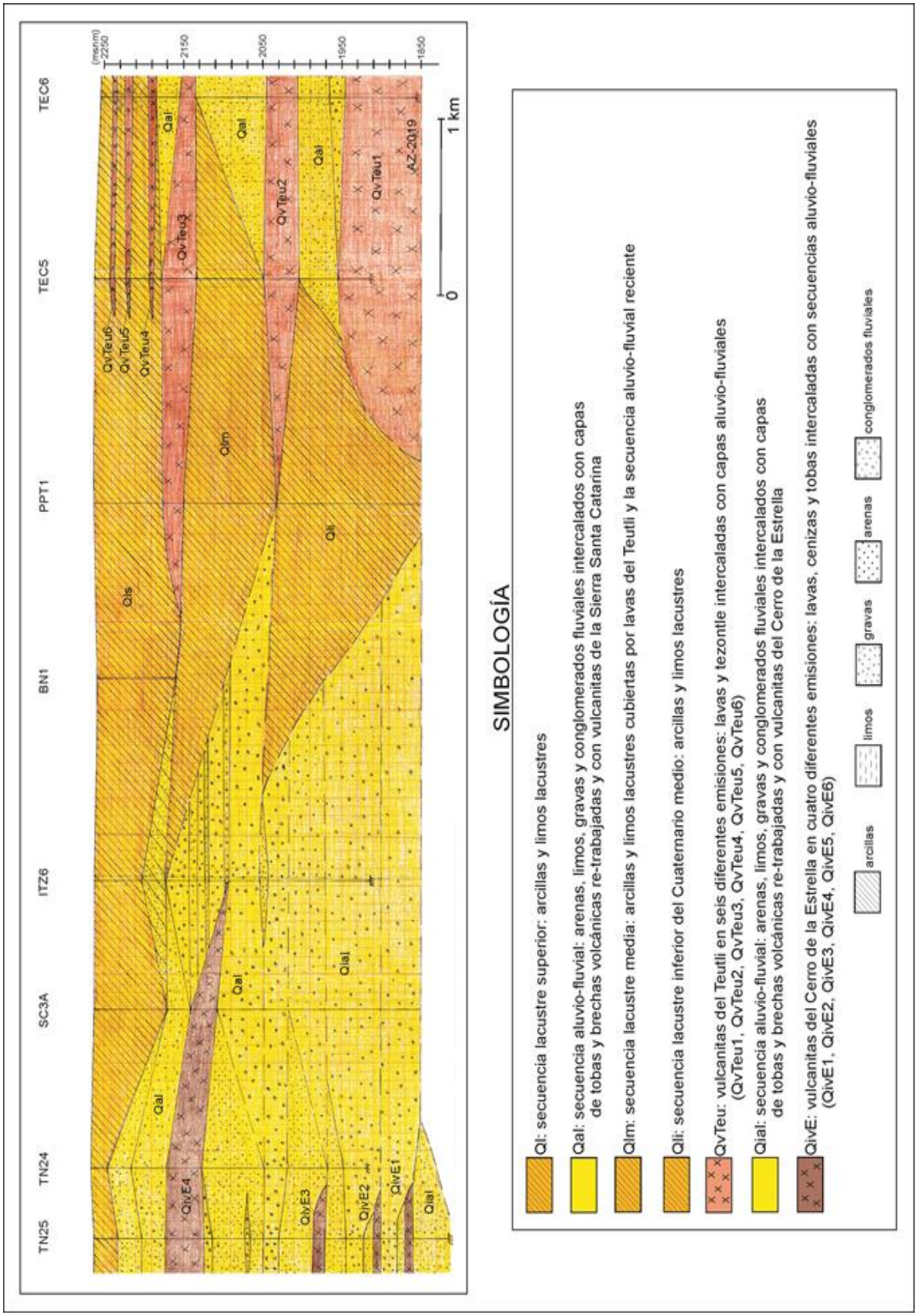


Figura A.5. Sección Geológica 4.

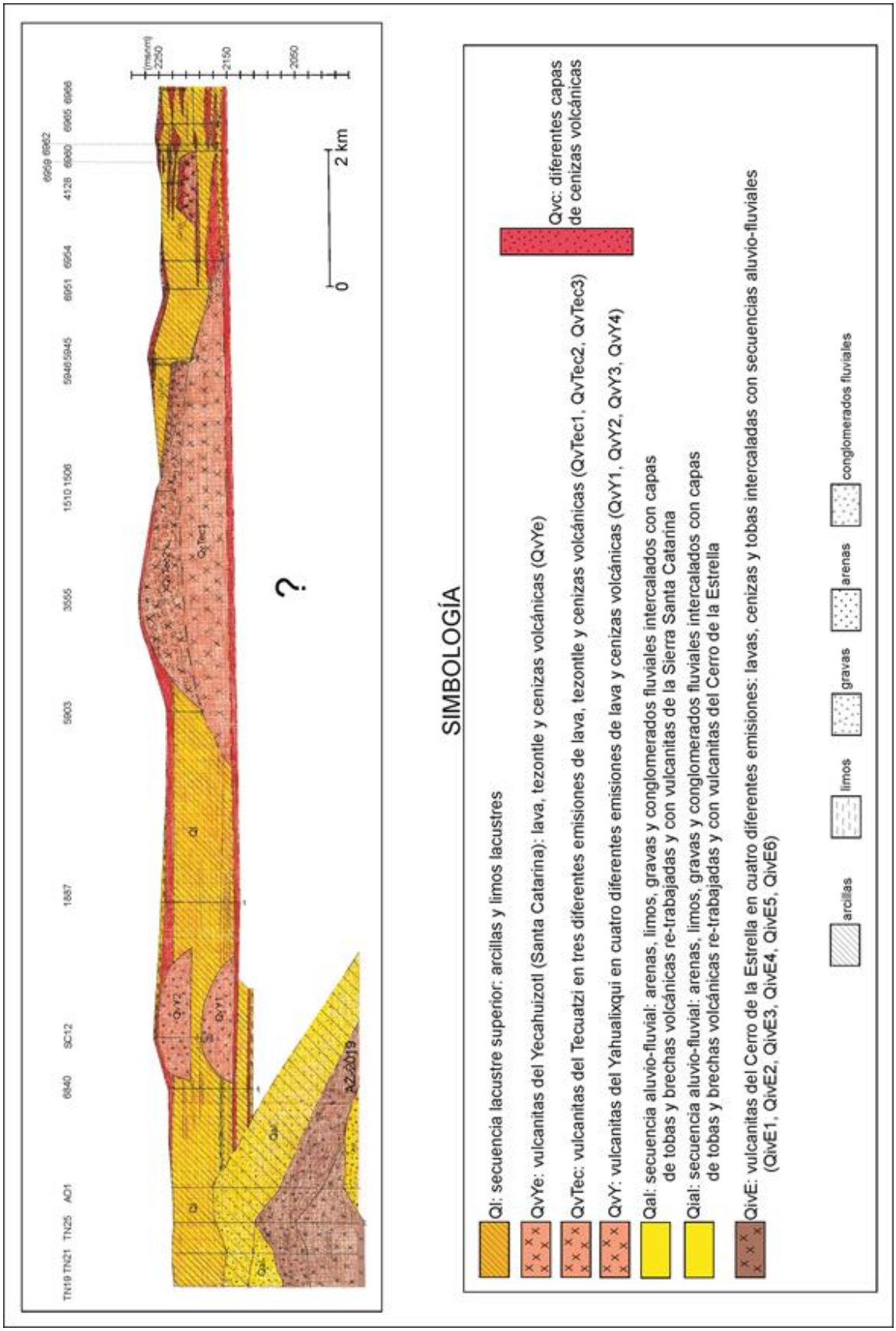


Figura A.6. Sección Geológica 5.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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
CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

ANEXO B
ENSAYE DE SONDA SUSPENDIDA
EN LA COLONIA DEL MAR, TLÁHUAC, CDMX

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

ENSAYE DE SONDA SUSPENDIDA EN LA COLONIA DEL MAR, TLÁHUAC, CDMX

Elaborado para:

Instituto para la Seguridad de las Consrucciones, GOBCDMX

Por:

Dr. Osvaldo Flores Castrellón

Dr. Mario Flores Guzmán

Ciudad de México, julio 23 de 2019.

ÍNDICE

Pág.

1 Determinación en campo de las velocidades de cortante y compresión 1

1.1 Resumen 1

1.2 Objetivos y alcances 1

1.3 Descripción del equipo y procedimiento de ensaye 1

1.3.1 Procedimiento del ensaye 5

1.3.1.1 Descripción de la sonda suspendida 6

1.3.1.2 Micrologger 7

1.3.1.3 Winch o malacate 7

1.3.1.4 Tripié 8

1.3.1.5 Orden de ensamblaje de la sonda suspendida 8

1.3.2 Procedimiento para armar la sonda suspendida y su operación .10

1.3.3 Análisis de las señales obtenidas con la sonda suspendida (suspension p-s logging system) 12

1.4 Presentación y análisis de resultados 14

1.6 Referencias 17

Anexo A. Definición gráfica de los tiempos de arribo para el cálculo de las velocidades. 18

Anexo B. Reporte fotográfico 20

Sonda suspendida en el pozo Sds-01. 20

Calle Hipocampo, Colonia del Mar, Tlahuac 20

Anexo C. Señales experimentales obtenidas en los geófonos "superior" e "inferior" para cada profundidad. 23

Anexo D. Resultados del sondeo realizado en el sitio. 29

1 Determinación en campo de las velocidades de cortante y compresión

1.1 Resumen

Se presenta un informe final de los trabajos correspondientes a la determinación de las propiedades dinámicas en campo con sonda suspendida, Sds. Se realizó un ensaye de sonda suspendida, Sds-01, que corresponde al sondeo mixto SCE-2 (los resultados se muestran en el Anexo D), en el sitio ubicado en la Calle Hipocampo, entre las calles Salmón y Pinguino, Col. Del Mar, Delegación Tláhuac de la Ciudad de México (figura 1).

Se hicieron determinaciones a cada medio metro y se obtuvieron perfiles de velocidad de onda de cortante, Vs. Las mediciones se realizaron en una perforación de 4" de diámetro, sin ademe.

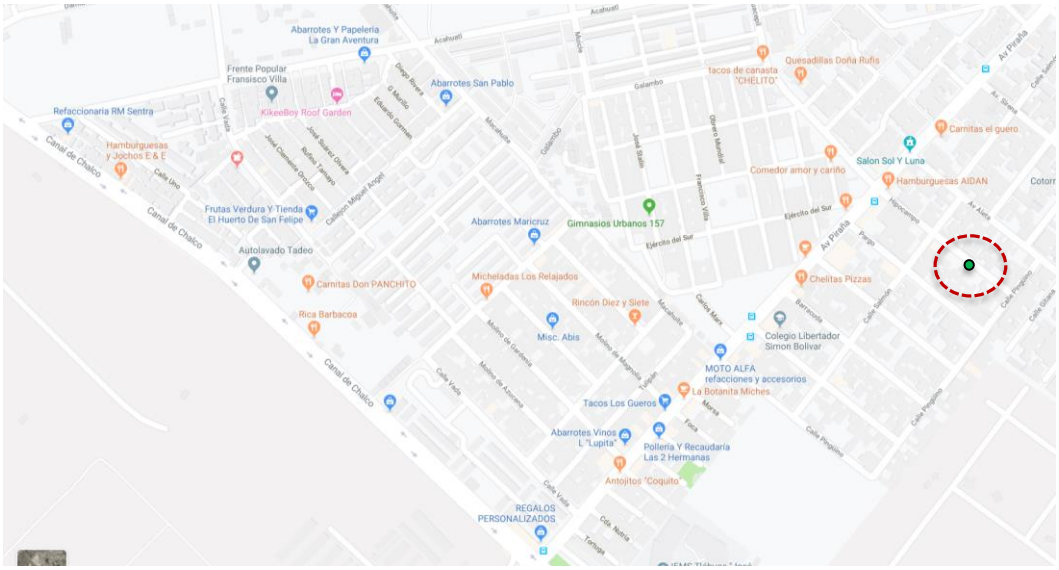


Fig 1. Ubicación del ensaye de sonda suspendida.

1.2 Objetivos y alcances

Ejecución de un ensaye de sonda suspendida, a una profundidad de 81 m, con mediciones a cada 0.50 m, con el fin de definir el perfil de velocidades de transmisión de ondas de cortante, Vs.

1.3 Descripción del equipo y procedimiento de ensaye

La sonda suspendida es uno de los ensayes de campo disponibles para determinar las velocidades de onda de cortante y compresión (V_s y V_p, respectivamente) en perfiles de suelo y roca. La medición se puede hacer en sondeos sin ademe, llenos de mezcla de bentonita con agua o con un ademe de PVC con un relleno de bentonita-cemento entre el suelo y el ademe. Este equipo permite determinar las velocidades en un segmento de 1 m de columna de suelo que rodea a una perforación en la que se miden las velocidades de onda de arribo.

Para la ejecución del ensayes se requiere la perforación, la sonda (con la instrumentación), el cable, el winch o malacate y el sistema de control y adquisición de datos. La prueba consiste en un golpe (transmisor) y dos geófonos biaxiales (superior e inferior) separados por unos filtros físicos (elemento flexible). La figura 2 muestra los elementos básicos que conforman la sonda.

En la prueba, el sistema genera ondas que viajan a través del suelo y son registradas por los geófonos. La sonda se mueve por la perforación en sentido ascendente o descendente, produciendo una señal con amplitud aproximadamente constante en toda la perforación. El sistema excitador consiste en dos solenoides con polarización reversible para generar ondas horizontales de cortante (SH) y de compresión (SP). En otro punto se encuentran los receptores (R_1 y R_2) separados 1 m, los que registran las vibraciones emitidas con el martillo. Estas señales se registran y amplifican para luego mandarlas al sistema de adquisición de datos. Los cables conductores están envueltos por un cable metálico, el que soporta el peso de la sonda y que se enreda en el malacate o winch.

La sonda completa es soportada por el cable, de tal forma que el cuerpo del equipo no hace contacto directo con la perforación. Las ondas de compresión que viajan por el líquido (agua o la mezcla de bentonita-agua) se convierten en ondas S y P en el suelo o roca periféricos. La separación de estas ondas se hace de la siguiente forma:

- La orientación de los receptores horizontales se mantienen paralelos al eje de la excitación, maximizando la amplitud de la señal receptora.
- Para cada profundidad, las ondas S son obtenidas con la excitación generada en la dirección opuesta, produciendo ondas S con polaridad opuesta, proveyendo una característica de las ondas S, distinta que el signo de la onda P.
- En suelos saturados los valores de las ondas P son suficientemente altos que permiten una razonable separación con el arribo en las ondas S.
- El arribo directo de las ondas del fluido por el cual se transmiten las ondas no se detectan en los sensores porque la longitud de onda del pulso en el fluido es significativamente alta respecto a las dimensiones del anillo alrededor de la sonda (escala de metros versus centímetros), evitando la transmisión importante de energía a través del fluido.

Los datos para cada receptor son almacenados en diferentes canales del sistema de adquisición de datos. La sonda cuenta con 6 canales, con adquisición simultanea de dos canales, con 1024 muestras en cada uno. Aunque los filtros digitales se pudieran utilizar durante la adquisición, éstos se aplican, si el usuario lo desea, en el análisis posterior a la ejecución del ensaye.

La interpretación de los datos en general es relativamente sencilla, pero una pobre adquisición lleva a una interpretación ambigua. La calidad de los datos generalmente está ligada con la calidad de la perforación. El mejor método de perforación corresponde a un pozo obtenido por rotación y lavado. Además, la calidad de la perforación se deteriora con el tiempo, luego de haber sido concluida. Cuando existe la posibilidad de que el material que conforma el perfil de suelo tenga caídos o se cierre, se pude ademar con PVC, pero no con acero. Los resultados a profundidades someras (≤ 5 m) no siempre son de buena calidad, debido a que está poco confinado el suelo.

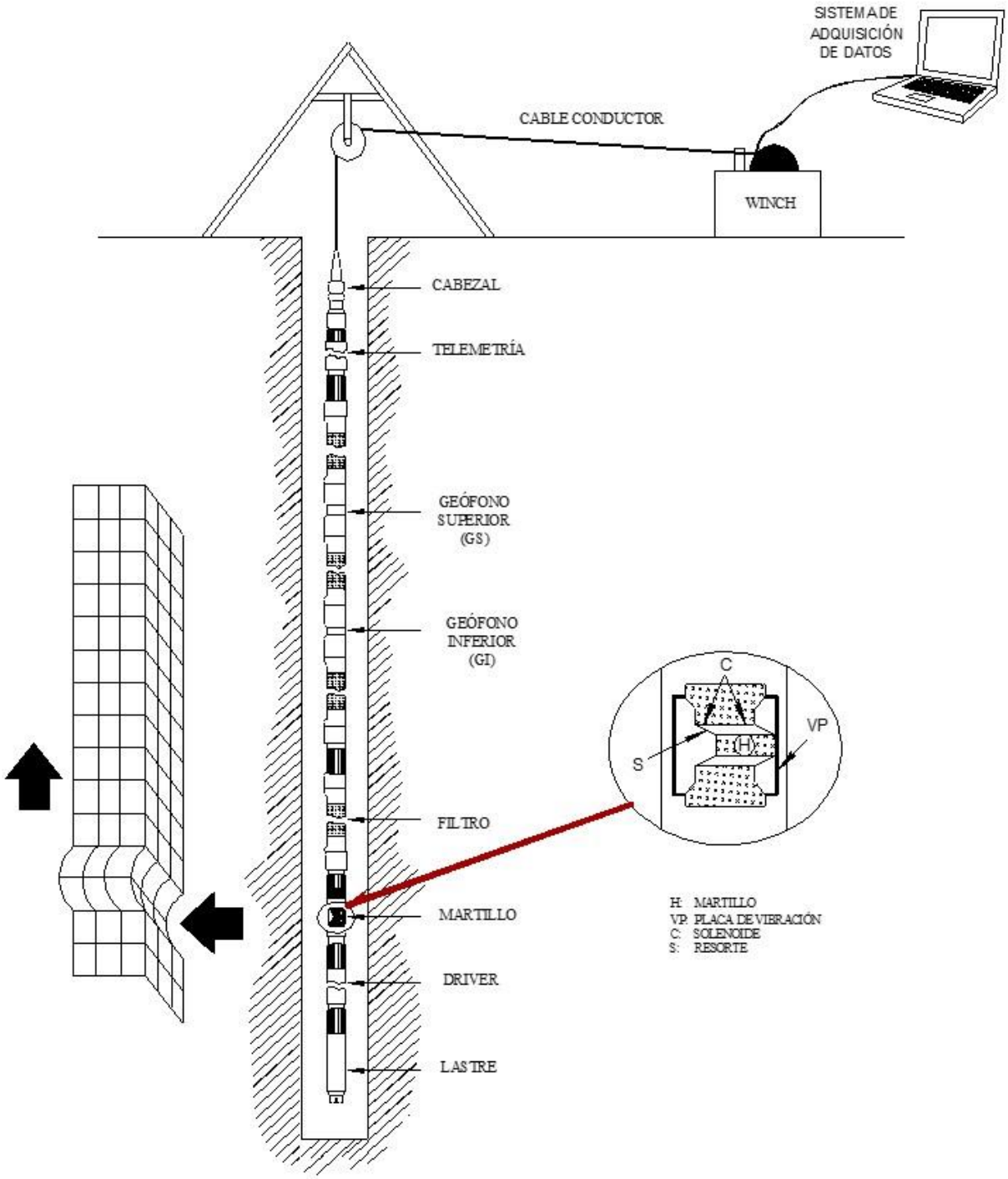


Fig 2. Esquema general del sistema perforación-sonda suspendida (Modificado de Bringen y Davie, 2010).

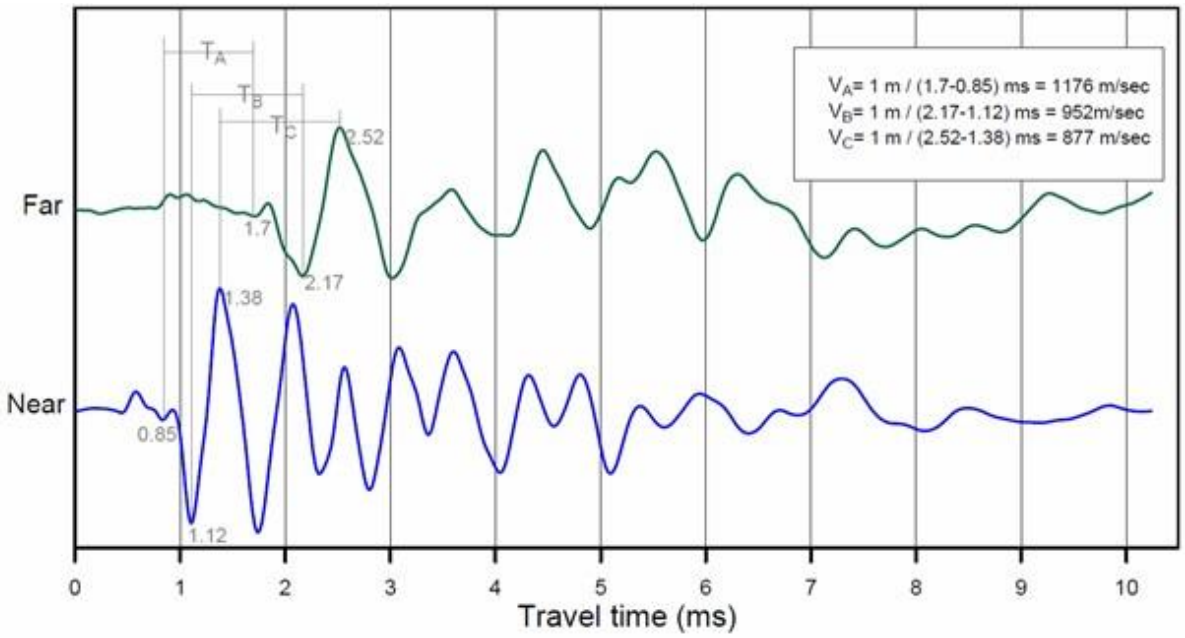


Fig 3. Criterios para definir los tiempos de arribo de las ondas S (Chen *et al*., 2008).

Chen, *et al.* (2008) comentan y ejemplifican que al tomar dos señales de arribo se puede definir el punto de llegada de las ondas S en más de un punto, pero con diferentes resultados. La figura 3 muestra señales en las que se define el tiempo considerando el momento en el que se aprecia el arribo de las ondas S (TA), el segundo intervalo de tiempo para el primer valle (TB) y el tercero para la primera cresta (TC). En apariencia, pudiera parecer un procedimiento apropiado, pero al realizar el cálculo de la velocidad se observa que ésta disminuye al pasar de la condición A a C. Lo que recomiendan estos autores es tomar como tiempo de arribo de las ondas S el punto donde se aprecia que éstas aparecen, es decir TA.

Estos mismos autores hacen la observación de que en algunos casos las señales emitidas para determinar las ondas S pueden apoyar para obtener los tiempos de arribo de las ondas P y viceversa, lo cual se ejemplifica en la figura 4. Se aprecia que en las señales H_1 y H_2, de los geófonos lejanos y cercanos para determinar las ondas S, respectivamente, se puede definir el arribo de las ondas P (punto I de las señales H_2), mientras que en las señales V_1 y V_2 para determinar las ondas P (putos III y II de las señales V_1 y V_2, respectivamente), se pueden definir los arribos de las S. Este ejercicio puede ayudar a definir cualquiera de los arribos de las dos ondas cuando la señal que le corresponde no es muy clara o bien para corroborar que el punto de arribo asignado es el correcto.

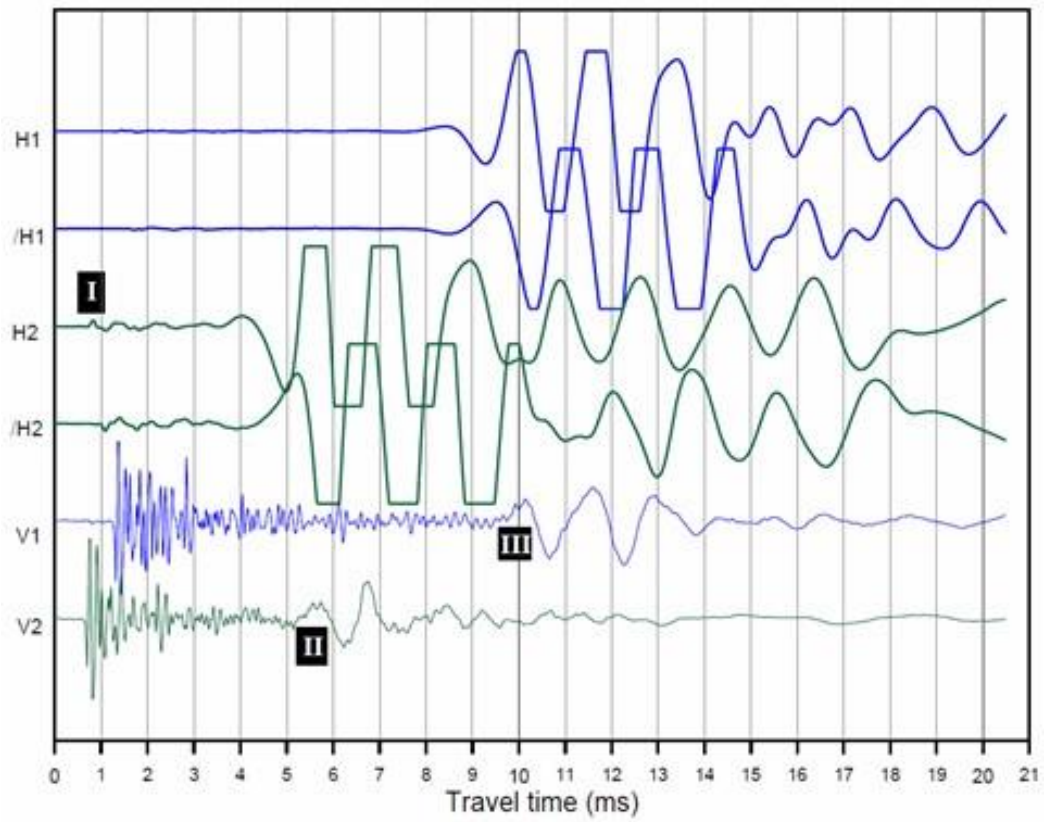


Fig 4. Identificación del arribo de las ondas P y S (Chen *et al*., 2008).

1.3.1 Procedimiento del ensaye

Es importante que se cubran los siguientes requerimientos para ayudar a que los resultados de los ensayes sean exitosos:

- Permisos para ingresar al sito donde se realizará el estudio.
- Condiciones físicas adecuadas del camino para ingresar en vehículo hasta donde se hará el estudio.
- El grupo de perforación dará aviso al personal del Instituto de Ingeniería responsable de la ejecución de los ensayes con al menos de 24 hrs de anticipación sobre el término de la perforación de cada pozo, de tal forma que al momento de que se saquen las barras de perforación, se tenga el equipo se sonda suspendida armado para iniciar el ensaye.
- Los sondeos deben estar perforados en un diámetro de 4” y se deben mantener rellenos durante la prueba con una mezcla de bentonita con agua (fluido de perforación), para retardar el cierre de la perforación.
- En casos específicos donde las condiciones del subsuelo lo requieran y el personal del Instituto lo defina, se deberá ademar la perforación con tubo de PVC reforzado de 4” de diámetro, para lo cual será necesario ampliar la perforación a 6” y rellenar el espacio entre el tubo y el suelo con una mezcla de bentonita con cemento y agua.
- Durante la ejecución de los ensayes no puede estar en operación equipo que genere vibraciones en el terreno, para evitar que las mediciones experimentales se pueden ver afectadas.

1.3.1.1 Descripción de la sonda suspendida

La medición de las velocidades de onda en el suelo se realiza con la sonda suspendida (fabricado por OYO Corporation en Japón y distribuida por su subsidiaria, Robertson Geologging). Esta técnica determina directamente la velocidad promedio a cada metro a lo largo de la perforación de interés, mediante la medición del tiempo transcurrido entre la fuente y los geófonos receptores.

La sonda suspendida se introduce en un pozo lleno de una mezcla de bentonita y agua para estabilizar la perforación, o en su caso, ademado con tubería de PVC, lleno de agua, y una mezcla de bentonita con cemento y agua entre el tubo y el suelo. La sonda queda suspendida de un cable a través de una polea. El cable lleva en el centro la conexión que transmite la señal eléctrica de la fuente a la unidad de control y medición colocada en la superficie (Micrologger). Con esta técnica se miden las velocidades de onda de compresión y de cortante en el suelo.

El equipo de sonda suspendida consiste en un sistema de adquisición de datos, un malacate mecánico, un tripié y la propia sonda. Esta última cuenta en su parte inferior con una fuente de excitación, un filtro y dos unidades de medición con dos geófonos colocados en dos direcciones (uno horizontal y otro vertical), dichos geófonos están separados un metro por filtros de neopreno para atenuar la vibración entre ellos. Las mediciones de ondas de compresión y cortante son obtenidas mediante la generación de una excitación dinámica en dirección transversal al eje de la perforación, que se propagan al suelo circundante. Tanto la excitación como la respuesta se transmiten a través del agua o lodo bentonítico y son registradas por los geófonos horizontales alineados con la fuente de cada estación, y guardadas para su posterior análisis. Se produce otra onda en dirección opuesta a la primera, con objeto de verificar que la onda generada sea de cortante S. Luego se produce otra onda que se detecta con los geófonos verticales, para estimar las ondas de compresión. Las señales de respuesta son analizadas posteriormente para calculas las V_s y V_p.

El procedimiento general de operación es como sigue:

1. La sonda se suspende a la profundidad a la que se desea hacer la medición. La profundidad registrada corresponde a la distancia entre la superficie y el valor medio entre los dos geófonos receptores.
2. Se activa el martillo en una dirección horizontal y se registra la señal en ambas direcciones horizontales en los geófonos (SH).
3. Se aplica una excitación en la dirección horizontal opuesta, produciendo una polaridad opuesta a la primera (SH).
4. Finalmente, se aplica la señal en la primera dirección y se activa el geófono vertical, el cual representa la señal de las ondas P (SP).
5. La fuente de excitación es un martillo solenoide electromagnético, que al ser activado produce en el agua una onda perpendicular al eje largo del sondeo, la que a su vez se transmite a la pared del pozo, así, el pozo es excitado indirectamente a través del agua.

A continuación se presenta los componentes de la sonda suspendida.

1.3.1.2 Micrologger

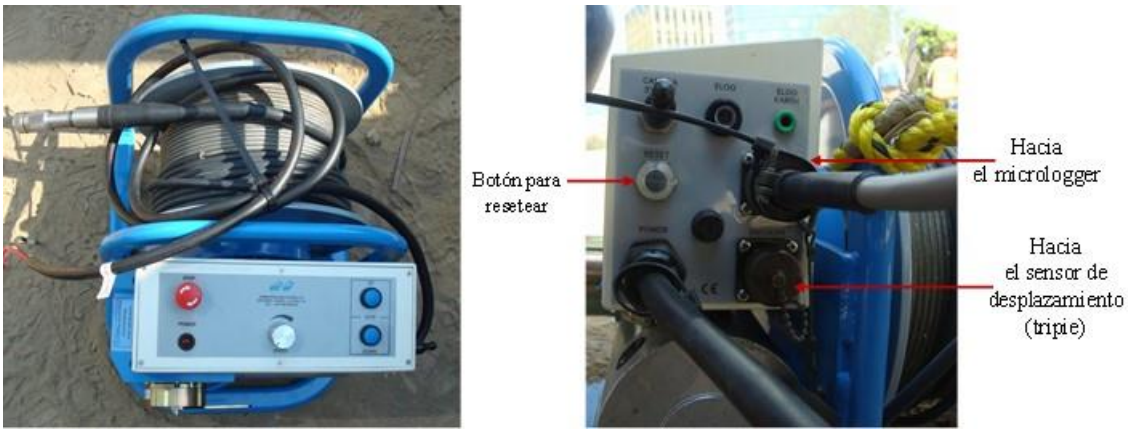
Es una unidad donde se conecta a la PC, con sistema operativo XP o Windows vista, a 32 ó 64 bits. Los conectores con que cuenta son para la entrada de la señal del sensor de profundidad instalado en el tripié, para la PC donde se visualizan las señales experimentales y para el suministro de corriente a los acondicionadores (Figura 5).

La función del micrologger es el acondicionamiento de la señal de los sensores (geófonos y sensor de desplazamiento) y la adquisición de los datos de éstos y como interfaz con la PC para la visualización gráfica de las señales. Para el análisis de las señales, se cargan los archivos generados experimentalmente y se interpretan mediante el software instalado en la PC.

Fig 5. Sistema de adquisición de datos (Micrologger)

1.3.1.3 Winch o malacate

El carrete del winch tiene un cable de 3/16” con 175 m de longitud. El cable de acero que soporta la sonda aloja en su alma los cables por las que viaja la información de la PC al martillo, para generar la excitación dinámica y de los geófonos a los acondicionadores de señal, razón por la cual se debe tener el debido cuidado para operarlo correctamente. El malacate, donde se aloja el cable, cuenta con un botón de control de velocidad (mínimo y máximo), para subir o bajar la sonda (botones up y down, respectivamente), además del de paro de emergencia (stop), tal como se muestra en la figura 6.



a) Vista general, b) conexiones

Fig 6. Winch o malacate de la sonda suspendida.

1.3.1.4 Tripié

El tripié soporta la polea de 500 mm de perímetro (dos vueltas equivalen a un metro de desplazamiento) por la que corre el cable que soporta la sonda. A esta polea se encuentra adosado un sensor que registra el desplazamiento axial de la sonda durante el ensaye. El tripié debe quedar bien fijo y alineado con la perforación (figura 7), en sentido vertical, y al malacate, en sentido horizontal.

Fig 7. Conexión del tripié hacia el malacate.

1.3.1.5 Orden de ensamblaje de la sonda suspendida

Las partes que componen la sonda suspendida, en el orden que se ensambla en el campo, es la siguiente:

- Telemetría. Ésta va conectada a un cable de acero que viene del malacate, por el cual viajan las señales de excitación al martillo y respuesta de los geófonos (figura 8).

- Geófonos. Como se ha comentado, éstos tienen una distancia de separación entre ellos de 1 m y se encuentran separados por filtros físicos de plástico flexible, como se observa en dicha figura 9.
- Filtros en sus tramos largo y corto. Éstos tienen la función específica de amortiguar al máximo la señal que genera el martillo y evitar que viaje por la propia sonda y llegue a los geófonos antes que la que viaja por el suelo (figura 10).
- Martillo. Este dispositivo genera las ondas de propagación que viajan a través del suelo (figura 11).
- Driver y el lastre de la sonda suspendida. Esta última tiene la función de mantener alineada la sonda a lo largo de la perforación (figura 12).

Fig 8. Telemetría

Fig 9. Geófonos

Filtro en su tramo largo b) filtro en su tramo corto

Fig 10. Filtro de diferentes longitudes.

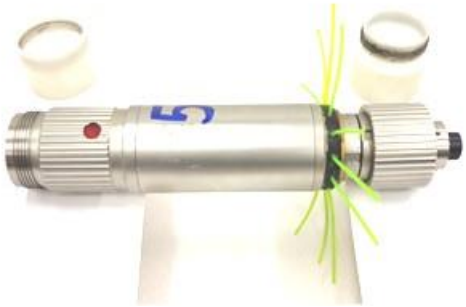


Fig 11. Martillo

a) Driver b) Lastre

Fig 12. Componentes de la sonda suspendida.

1.3.2 Procedimiento para armar la sonda suspendida y su operación

1. Se arma el tripié, se debe tener cuidado que el transductor quede por la parte baja de la placa metálica, sobre la que está montada la polea.
2. Se alinea el winch o malacate, con respecto a la polea y la perforación para hacer la prueba, a una distancia mínima entre el tripié y el malacate de 5 m. La alimentación del winch debe ser de 12 volts. Se conecta a la batería (rojo a "+" y negro a "-").
3. Se conecta el inversor de corriente a la batería. Ésta alimenta de corriente a la computadora y a la fuente de poder que suministra de energía al micrologger.
4. Se conecta el micrologger a la fuente de poder. Se verifica que la fuente de poder tenga 12 Volts, para evitar que se quemen las tarjetas de adquisición del micrologger.
5. Se conecta el cable que va del micrologger hacia la laptop (USB).
6. Se realiza la conexión de la sonda en el siguiente orden: telemetría, geófonos, filtro en su tramo largo (2 m), filtro en su tramo corto (1 m), martillo, driver y lastre.
7. Durante el armado de la sonda suspendida se requerirá engrasar los arosellos con grasa silicón, para evitar que el agua llegue a la parte eléctrica.
8. Checar la configuración del software. Verificar que corresponda el malacate con el que se tiene físicamente (polea de 500 mm de diámetro), ya que comercialmente existen de

otros diámetros. Se verifica el funcionamiento del martillo que va a generar las ondas que viajan a través de las paredes de la perforación.

9. Se ubica la posición inicial de la sonda suspendida dentro de la perforación del sondeo a realizar.
10. El ensaye se inicia moviendo la sonda en sentido ascendente o descendente en el sondeo, según se escoja, y midiendo las velocidades de onda a cada 50 cm (distancia mínima más común en la práctica). En la figura 13 se observan las partes que componen la sonda suspendida y la colocación de éstas en la perforación a donde se realizará las mediciones de las velocidades de onda.

En las figura 14 se muestra la sonda ya ensamblada, en proceso de colocación en la perforación y en la figura 15, operando.

Fig 13. Colocación de la sonda suspendida en el pozo.

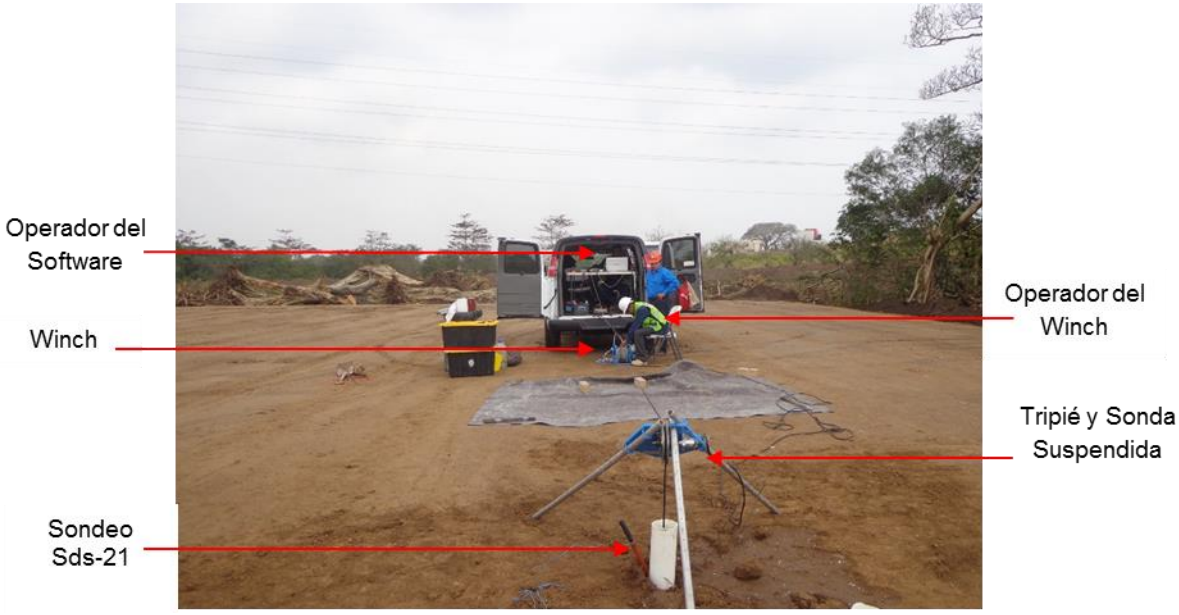


Fig 14. Sonda suspendida operando

Fig 15. Sonda suspendida operando

1.3.3 Análisis de las señales obtenidas con la sonda suspendida (suspension p-s logging system)

Se utiliza el programa PS Logger application versión 1.2, para analizar las señales que se obtuvieron en campo y determinar los tiempos de arribo de las ondas P y S. El criterio utilizado es definir la primera deflexión de cada una de las señales sobre el eje vertical, lo que nos indica el arribo del frente de las ondas P y S.

Los geófonos utilizados para detectar ondas de corte son del tipo libremente suspendido y se mueven en fase con el agua. La fuente y los detectores están conectados por un tubo flexible y elástico para evitar la incidencia del ruido o de algunas otras interferencias, aunque para ello la sonda cuenta con un sistema de filtros. El impulso generado en la fuente se detecta en los sensores superiores que están a una separación constante de un metro.

El martillo de la sonda suspendida funciona como fuente y aplica tres golpes, el primero genera los frentes de onda P (señales en color azul), el segundo golpe genera los frentes de ondas para determinar las señales S (señales en color rojo), y el tercer golpe tiene la finalidad de verificar el arribo de las ondas S (señales en color verde).

La figura 16 muestra un ejemplo de las mediciones realizadas con la sonda suspendida. Con los registros de los geófonos inferior y superior se determinó los tiempos de arribo de cada una de las señales.

Las velocidades de onda se calculan mediante la siguiente expresión:

$$V_{p,s} = \frac{1}{t_{p,s2} - t_{p,s1}} \qquad (5.e.1)$$

donde:
$t_{p,s1}$: Tiempos de arribo de las ondas P y S en el geófono 1, en s.
$t_{p,s2}$: Tiempos de arribo de las ondas P y S en el geófono 2, en s.
$V_{p,s}$: Velocidades de la onda P o S, en m/s.

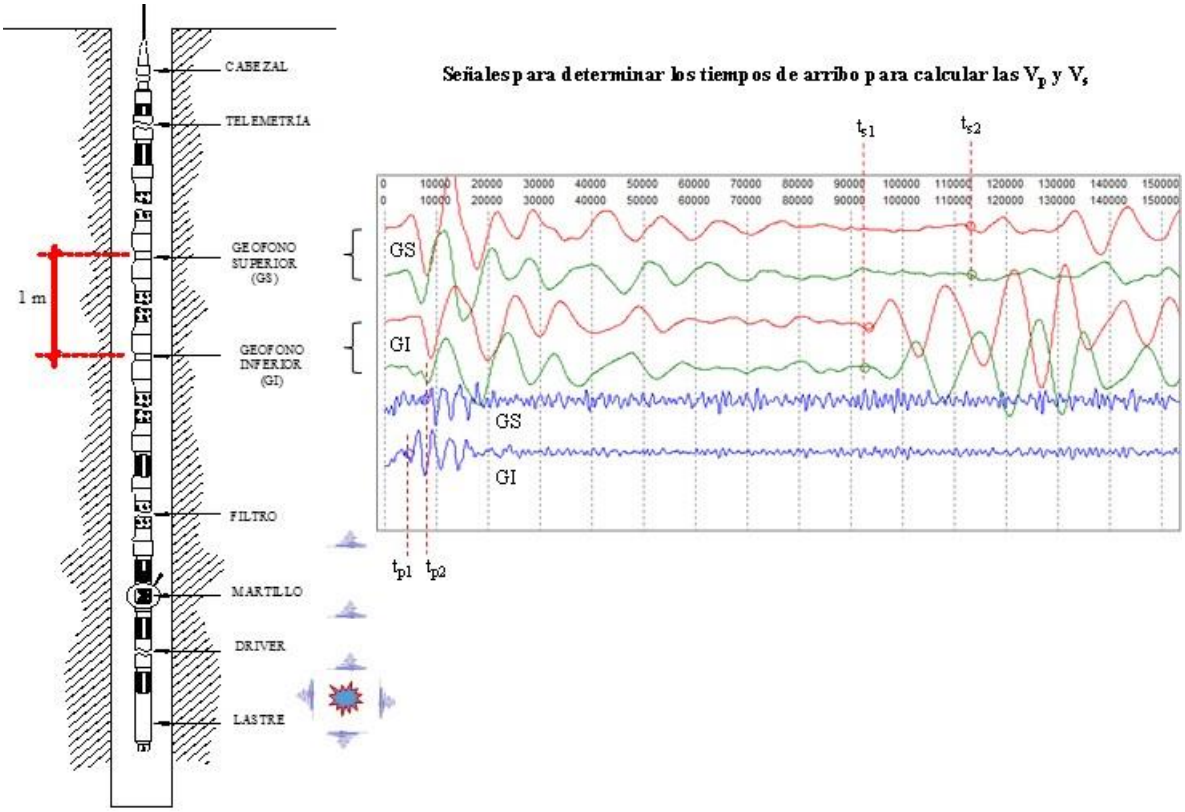


Fig 16. Determinación de los tiempos de arribo

1.4 Presentación y análisis de resultados

Para el ensaye la medición se realizó de 2.5 a 81 m de profundidad. En la figura 17 se muestra los resultados de forma tabular y en la figura 18 de forma gráfica.

De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos en campo, se puede apreciar las siguientes variaciones de la velocidad con la profunidad:

- De 2.5 a 4.0 m, muestra velocidades que van de 88 a 40 m/s.
- De 4 a 35 m, muestra un incremento de velocidad con la profunidad, de 40 a 75 m/s.
- De 35 a 40.5 m, se incrementa de forma gradual, de 75 a 194 m/s.
- De 40.5 a 45 m, decrece de 194 m/s a 101 m/s.
- De 45 a 57 m, muestra valores poromedio de velocidad de 103 m/s, con saltos de 187 a 76 m/s.
- De 57 a 81 m, muestra valores poromedio de velocidad de 100 m/s, con dos picos, a 60 m con una velocidad de 161 m/s y a 75.5 m con una velocidad de 181 m/s.

Estos resultados podrán tomarse en cuenta en las modelaciones dinámicas que se realicen para simular el efecto de sismos en la zona de interés.

Profundidad h *m*	Velocidad de Cortante Vs *m/s*
2.51	88.81
2.99	65.65
3.48	55.05
4.01	39.42
4.50	39.53
5.02	38.66
5.52	37.37
5.97	41.07
6.49	43.74
7.00	36.41
7.47	41.38
8.01	42.35
8.50	43.42
9.04	41.15
9.50	40.43
9.98	36.72
10.51	34.58
11.00	35.01
11.50	42.43
11.99	40.43
12.51	37.98
13.01	43.36
13.49	44.05
13.98	42.31
14.49	38.91
14.99	37.57
15.49	38.86
16.00	42.55
16.49	47.17
17.03	45.73
17.52	42.43
18.00	45.59
18.49	44.38
19.00	50.59
19.49	50.04
20.01	57.25
20.53	52.73
21.01	53.15
21.52	64.40
22.01	56.13
22.50	62.64
23.01	82.42
23.50	90.10
24.01	66.67
24.50	60.07
25.01	66.82
25.51	73.81
25.98	61.86
26.53	52.08
27.01	50.08
27.50	56.03
27.99	63.70
28.50	53.58

Profundidad h *m*	Velocidad de Cortante Vs *m/s*
28.98	56.61
29.52	57.36
30.02	66.08
30.50	64.24
30.97	64.52
31.50	61.61
32.00	45.80
32.49	57.25
33.00	67.11
33.51	66.38
34.00	51.99
34.49	65.50
35.00	70.26
35.52	74.63
35.96	74.92
36.48	80.43
37.00	88.25
37.50	110.72
38.01	119.54
38.50	131.01
38.99	142.34
39.50	160.54
40.01	191.08
40.50	194.34
41.01	144.24
41.50	134.38
41.99	123.46
42.49	124.56
43.00	126.60
43.49	126.33
44.00	122.97
44.51	102.40
45.01	101.70
45.52	121.82
45.99	135.14
46.50	122.12
47.02	127.40
47.50	120.26
48.03	123.27
48.51	128.51
49.01	114.73
49.47	111.74
50.00	102.74
50.51	103.29
51.01	105.08
51.48	104.92
52.00	101.01
52.51	84.75
52.98	85.72
53.53	91.19
54.02	84.27
54.49	80.03
54.98	79.81

Profundidad h *m*	Velocidad de Cortante Vs *m/s*
55.49	75.57
56.01	89.30
56.50	80.01
57.00	85.85
57.49	116.42
58.03	107.72
58.49	106.77
59.00	126.59
59.50	158.74
60.00	161.31
60.50	131.58
61.02	116.18
61.49	107.15
62.00	100.34
62.50	100.34
63.01	96.47
63.50	102.76
64.02	120.97
64.52	132.16
65.00	114.08
65.50	99.67
65.99	99.01
66.47	106.76
66.97	107.15
67.47	97.72
68.02	89.82
68.48	89.42
68.98	88.50
69.50	89.02
70.00	85.47
70.49	93.47
71.00	92.88
71.49	86.58
72.00	86.71
72.51	89.03
73.00	100.00
73.49	103.81
74.02	106.95
74.49	132.16
75.01	169.50
75.51	180.72
76.03	172.44
76.51	150.00
77.01	140.86
77.52	140.19
78.00	146.35
78.54	152.29
79.01	148.52
79.51	150.00
80.01	157.90
80.54	133.34
81.02	141.30

Fig 17. Resultados tabulados del ensaye de sonda suspendida Sds-01.

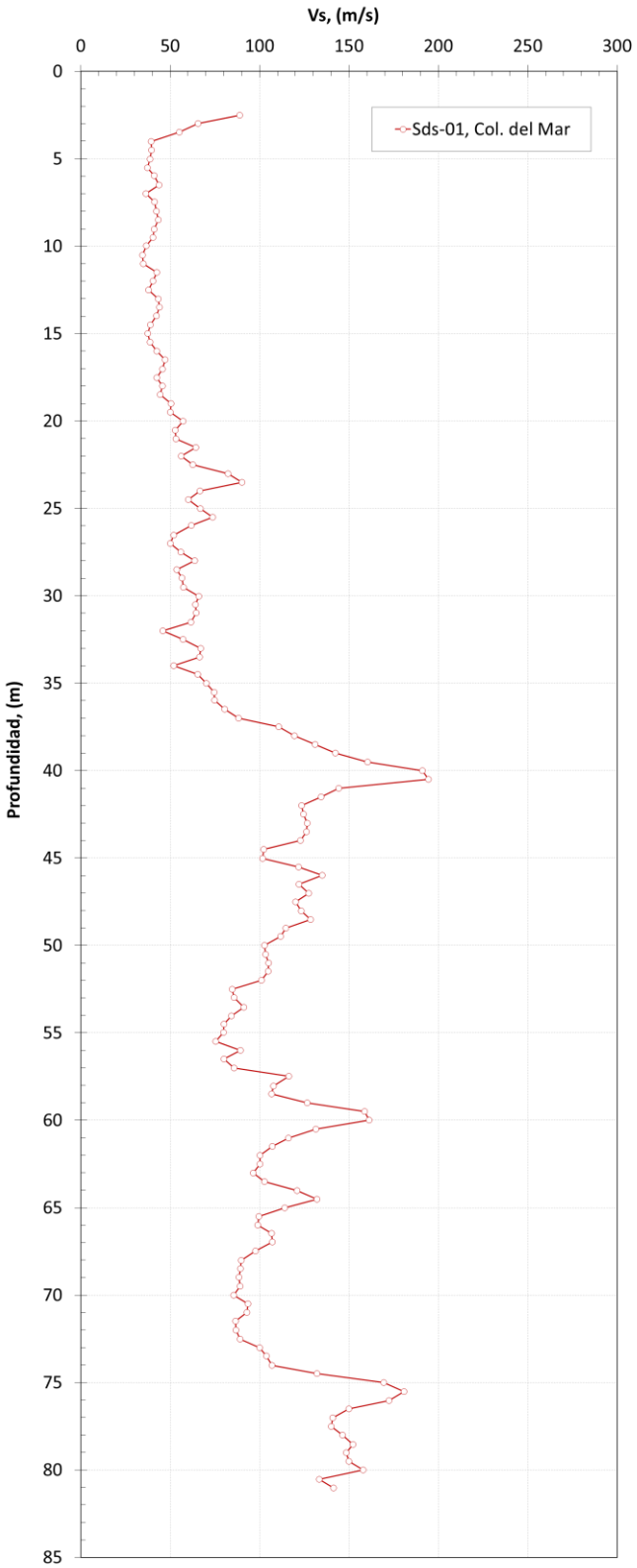


Fig 18. Perfil de velocidad del ensaye de sonda suspendida Sds-01.

1.6 Referencias

Biringen Emre, y Davie John (2010). "*Suspension P-S Logging for Geophysical Investigation of Deep Soil and Bedrock*". Advances in Analysis, Modeling & Design

Eslava, R. (2017). Exploración geotécnica realizada. Información personal. Diciembre.

Ming-Hung Chen, Kuo-Liang Wen, Chin-Hsiung Loh, y Robert L. Nigbor (2008). "*Experience of Suspension P-S Logging Method and Empirical Formula of Shear Wave Velocities in Taiwan*". Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering.

Anexo A. Definición gráfica de los tiempos de arribo para el cálculo de las velocidades.

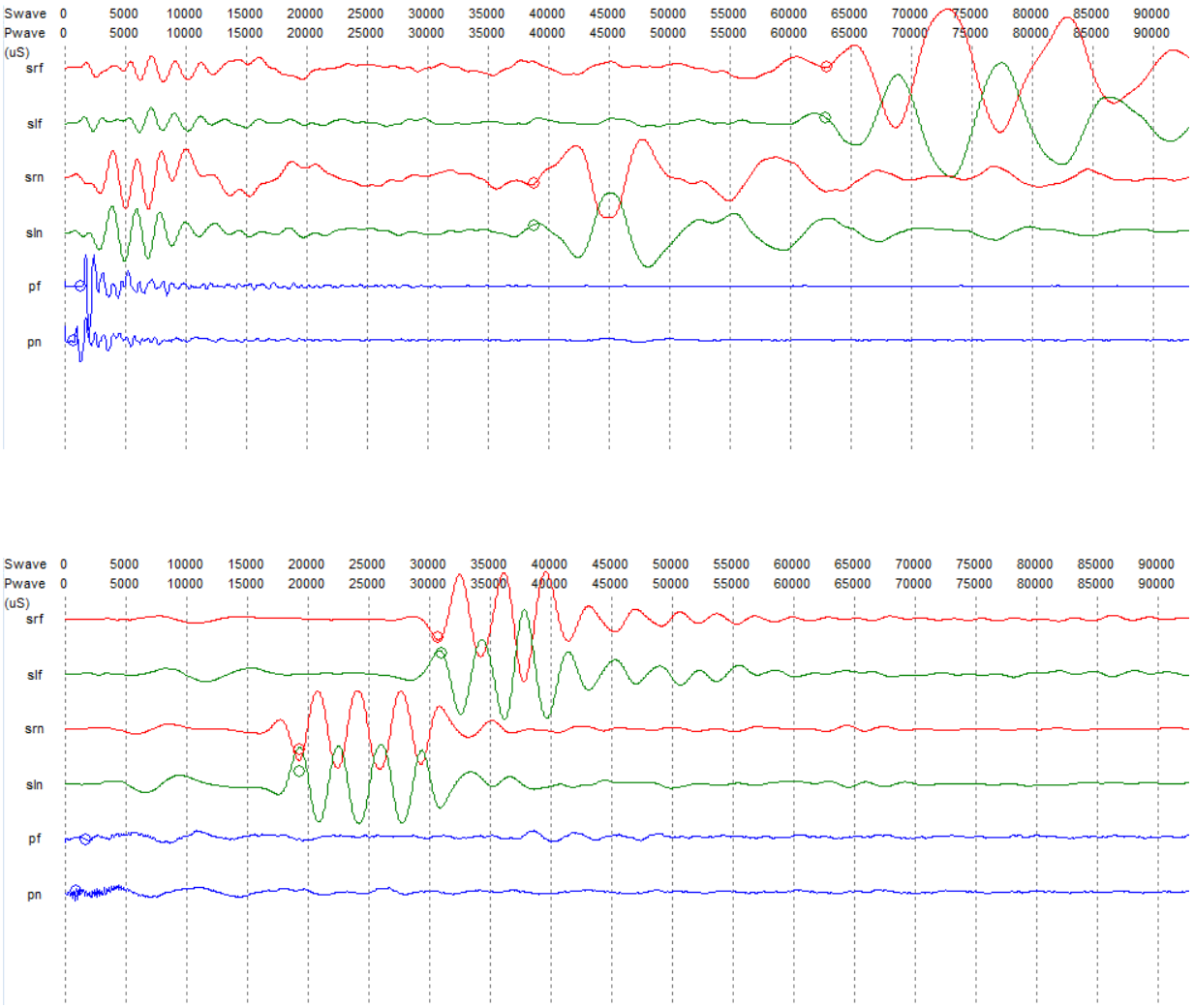


Fig A.1. Forma de las señales experimentales registradas en el Sds-01, Calle Hipocampo, Colonia del Mar, Tlahuac.

Anexo B. Reporte fotográfico.

Sonda suspendida en el pozo Sds-01.

Calle Hipocampo, Colonia del Mar, Tlahuac

Foto B.1.Vista general del ensaye de sonda suspendida en el pozo Sds-01.

Foto B.2. Colocación de la sonda suspendida en el pozo Sds-01.

Foto B.3. Tripie con Sonda suspendida del ensaye en Sds-01.

Foto B.4.Medición de velocidade de onda en el pozo Sds-01.

Anexo C. Señales experimentales obtenidas en los geófonos "superior" e "inferior" para cada profundidad.

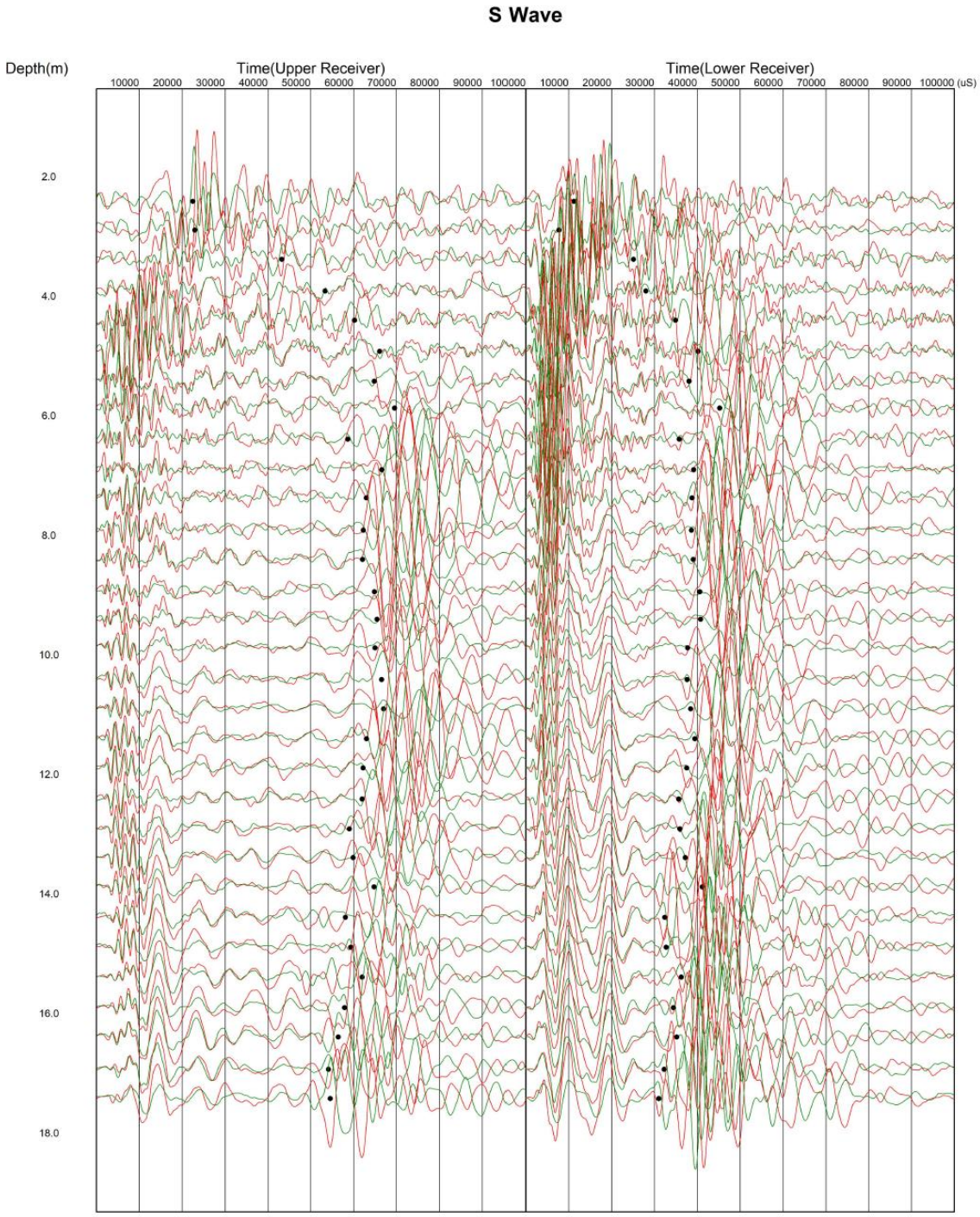


Fig C.1. Sondeo Sds-01, ondas S de la profundidad 2.50 a 18.00 m.

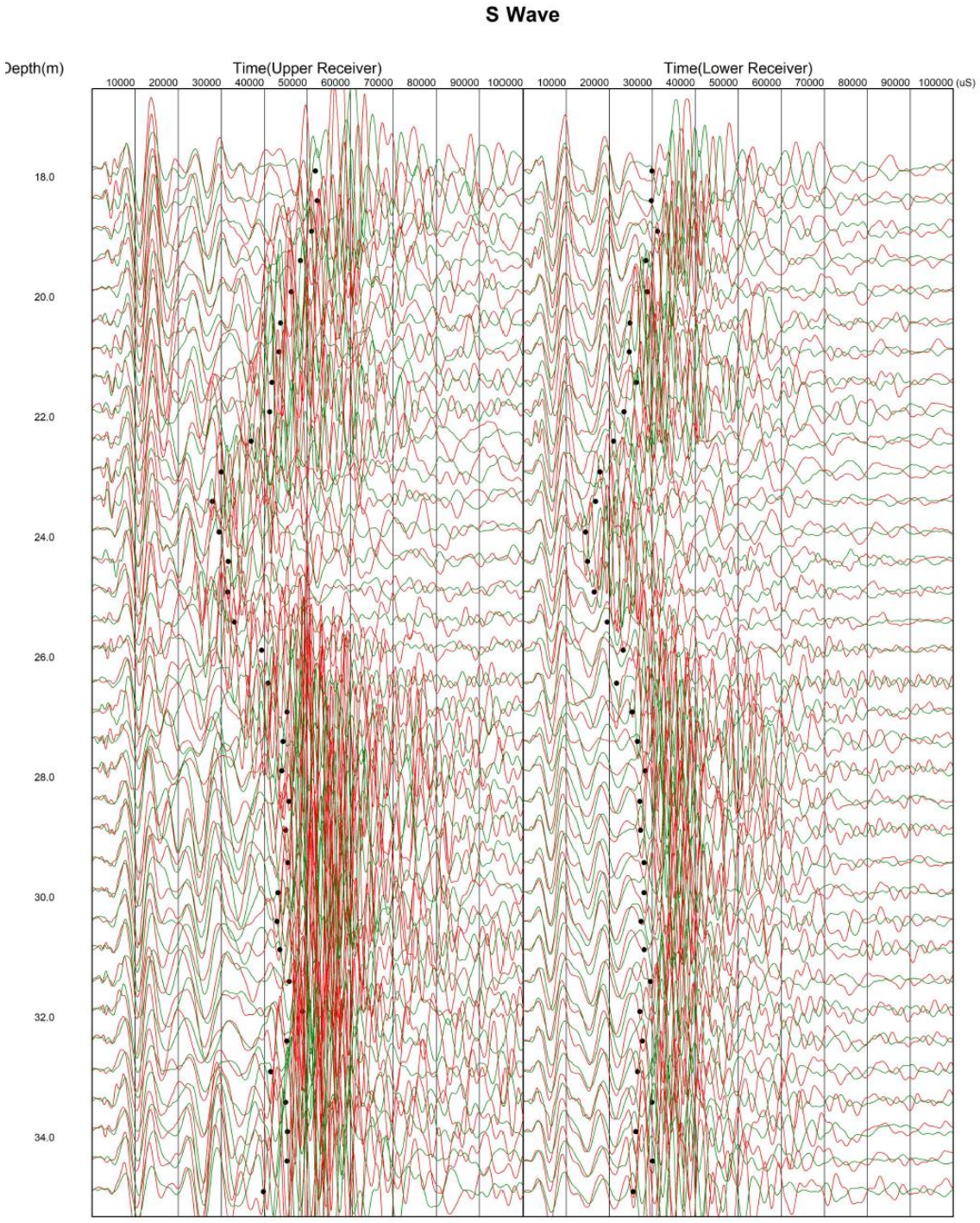


Fig C.2. Sondeo Sds-01, ondas S de la profundidad 18.00 a 36.00 m.

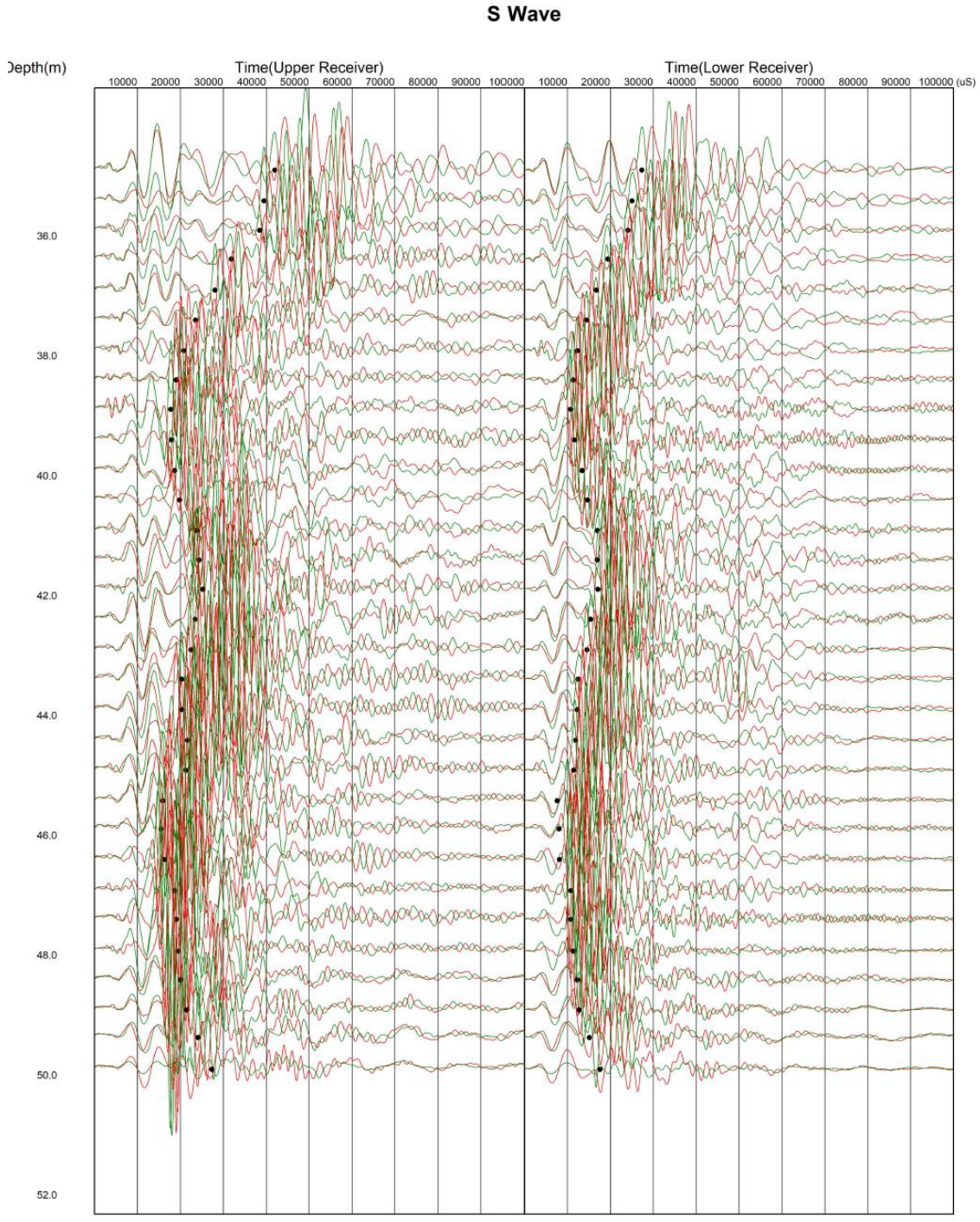


Fig C.3. Sondeo Sds-01, ondas S de la profundidad 35.00 a 50.00 m.

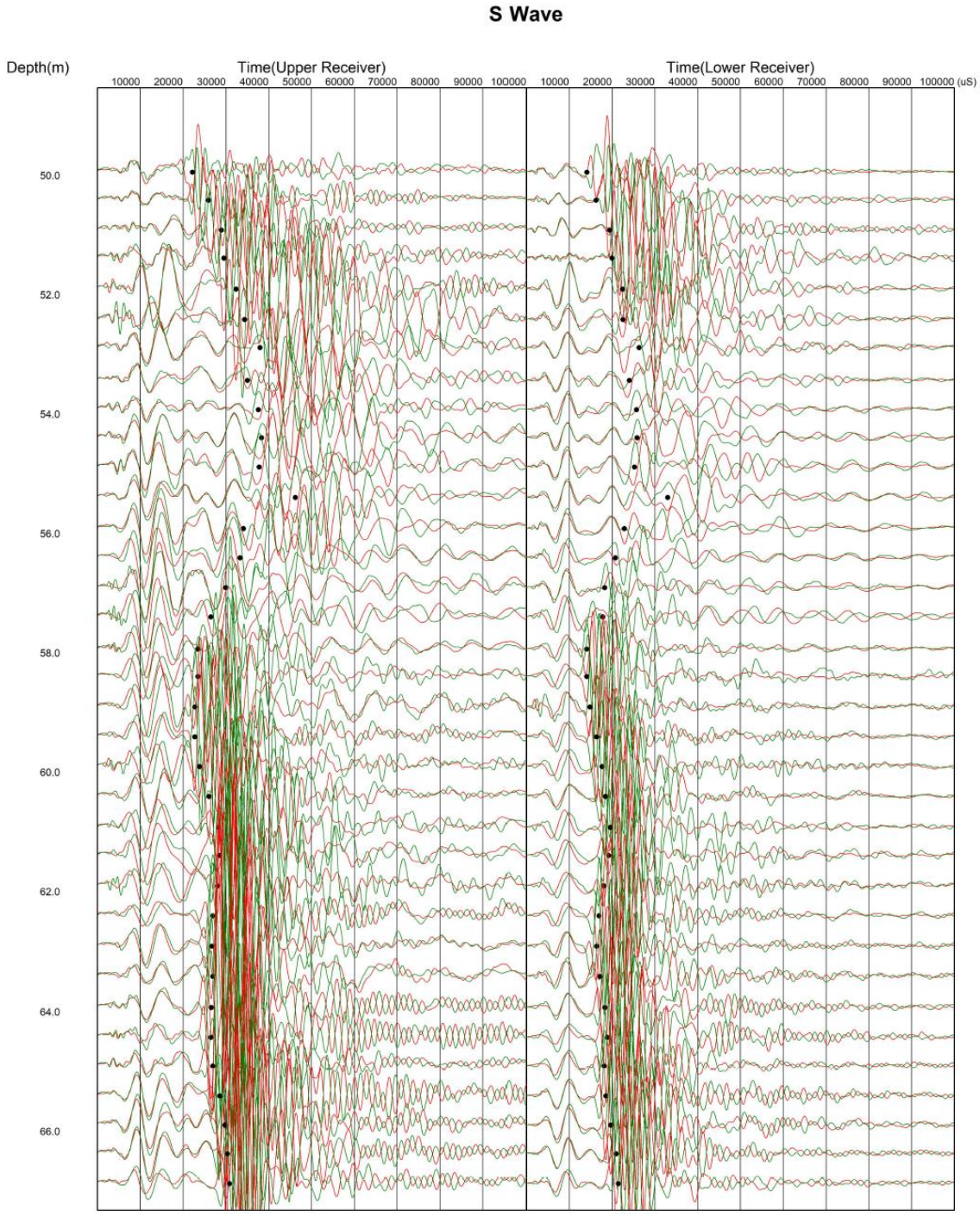


Fig C.4. Sondeo Sds-01, ondas S de la profundidad 50.00 a 67.00 m.

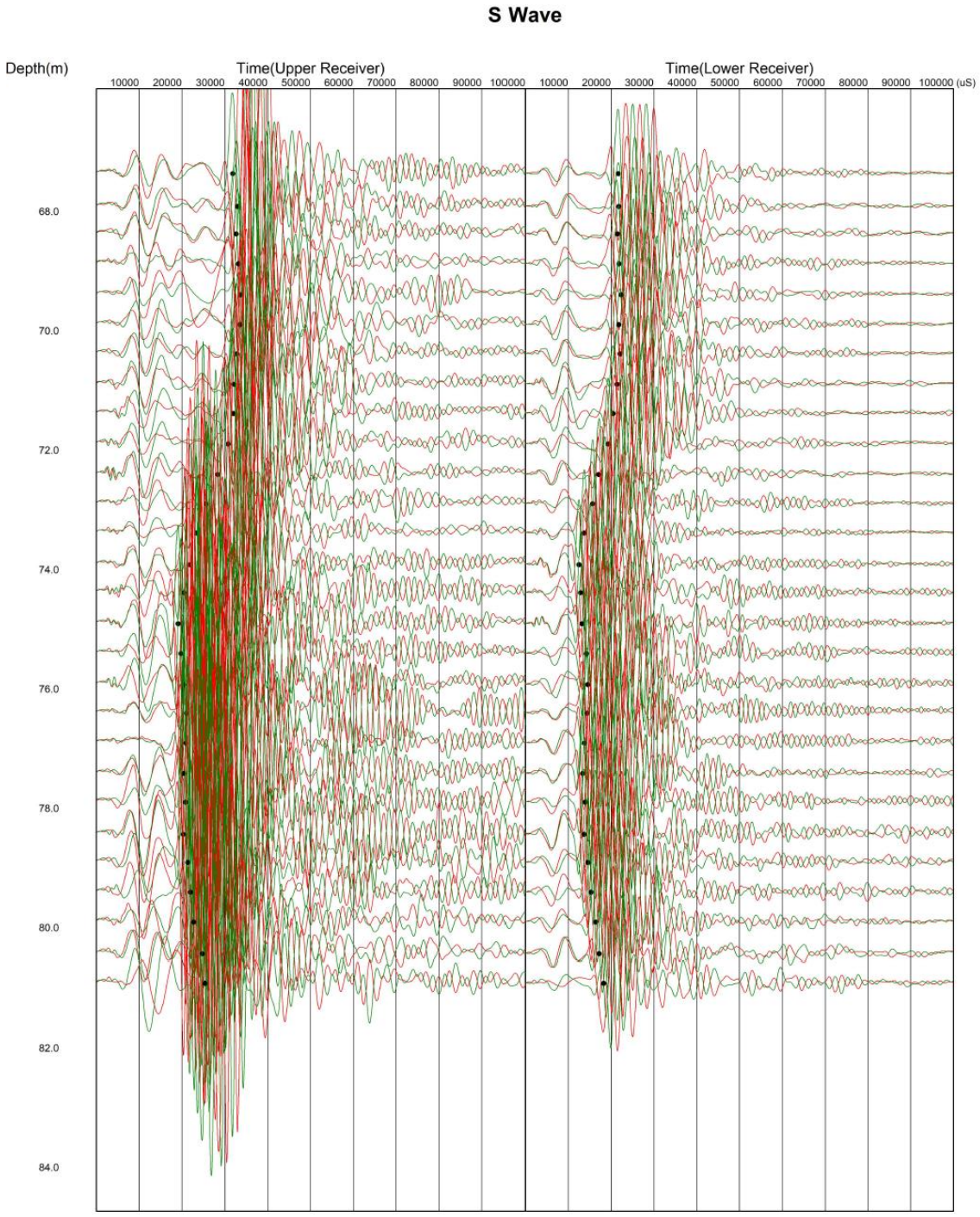


Fig C.5. Sondeo Sds-01, ondas S de la profundidad 67.50 a 81.00 m.

Anexo D. Resultados del sondeo realizado en el sitio.

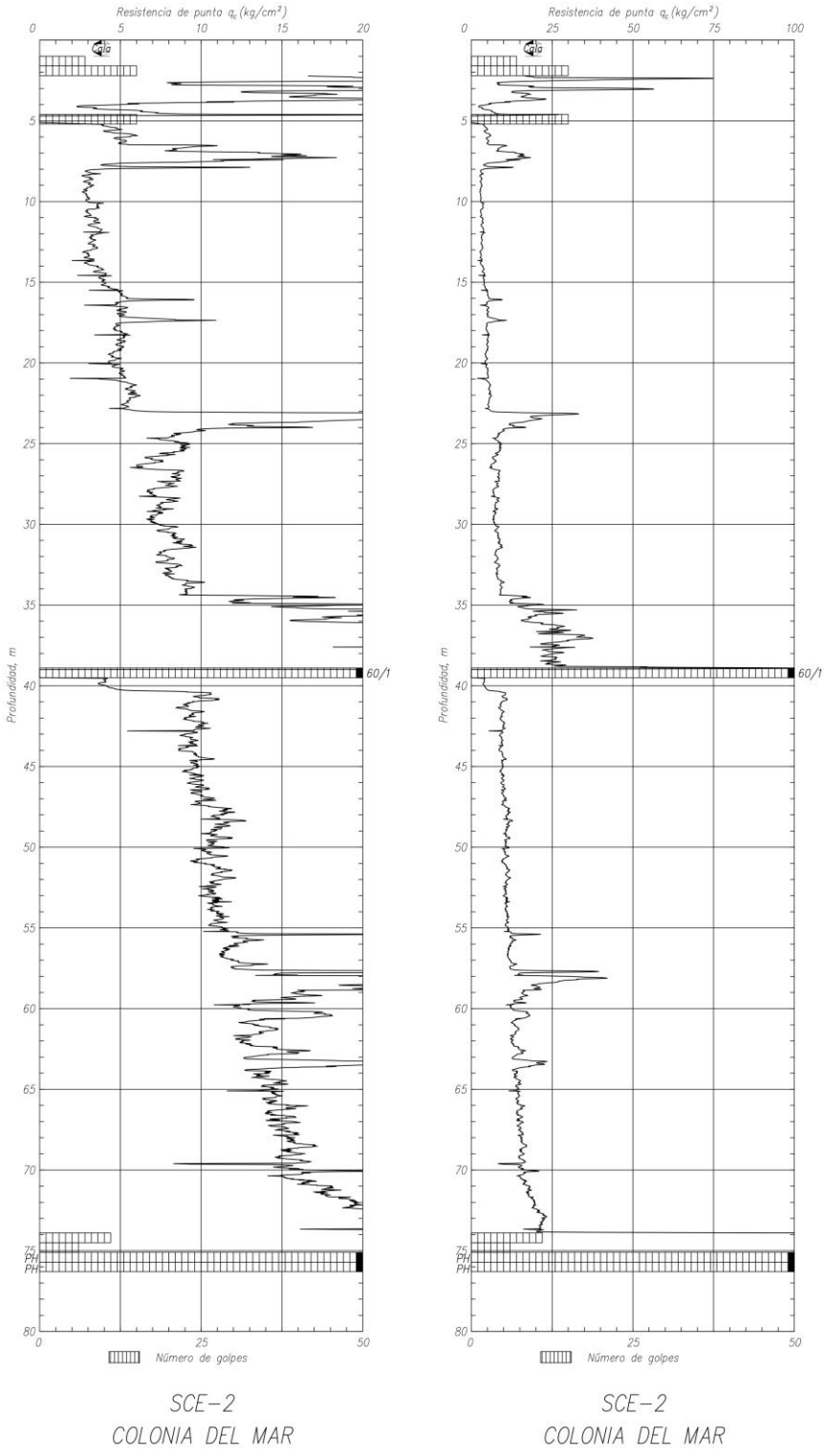


Fig D.1. SCE – 2, Colonia del Mar

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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

ANEXO C

ESTUDIO GEOSÍSMICO

Instituto de Ingeniería (UNAM)

Subdirección de Estructuras y Geotecnia

Ingeniería Sismológica

Informe:

Apoyo en la determinación de velocidades de propagación de ondas P y Vs, espesores (H), densidades y amortiguamientos en 10 áreas dentro de la zona de lago de la CDMX, con sísmica pasiva o la relación espectral de microtremores (MHVSR)".

Responsable: Javier Francisco Lermo Samaniego

Colaboradores: Erick Ramos Pérez

Iván Álvarez Monroy

Nallely Jiménez Méndez

Juan Israel Luna Cruz

Omar Rodrigo Machado González

Navil Annahí Téllez Rodríguez

junio, 2019

Índice

1 INTRODUCCIÓN 5
1.1 Ubicación de la zona de estudio 5
1.2 Objetivos específicos 5
2 ANTECEDENTES 6
2.1 Geología 8
2.1.1 Geología de la Cuenca del Valle de México 8
2.1.2 Geología de la zona de estudio 10
3 TRABAJO DE CAMPO 16
3.1 Medición de microtremores o ruido sísmico ambiental 16
4 COCIENTE ESPECTRAL H/V 17
4.1 Procesamiento del ruido sísmico para obtener el cociente espectral H/V 19
4.2 Periodo de vibración, amplificación relativa y espesor de la arcilla 21
5 INVERSIÓN DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V 24
5.1 Modelo estratigráfico para la inversión del cociente H/V 26
5.2 Resultado de la inversión del H/V 28
6 MODELO 3D Y PERFILES A, B, C y D 29
7 CONCLUSIONES 33
8 RECOMENDACIONES 34
9 BIBLIOGRAFÍA 35
10 Anexo A 36

1 INTRODUCCIÓN

La cuenca del Valle de México es endorreica y se ubica dentro del eje neo-volcánico, el cual se extiende en dirección este-oeste por la zona centro del territorio mexicano. Está rodeada por altas montañas, limitada al norte por las sierras de Pachuca, Tepotzotlán, Guadalupe, Patlachique y Tepozán. Al sur está limitada por la sierra de Chichinautzin. Al este limita con la sierra Nevada, con sus picos Iztaccíhuatl y Popocatépetl. Al oeste la cuenca limita con las sierras de monte alto y las cruces. Dentro de la cuenca existen estructuras monogenéticas como el Peñón del Marqués, la Sierra de Santa Catarina y el Cerro de la Estrella (Díaz-Rodríguez, 2006).

La cuenca del valle de México estuvo formada por cinco lagos someros: Zumpango, Xaltocán, Texcoco, Xochimilco y Chalco. A principios del siglo XIX se tomó la decisión de secar los grandes cuerpos de agua del valle de México con el objetivo de evitar las inundaciones y proveer de sitios para el asentamiento de la creciente población. A principios del siglo XX se incrementó la perforación de pozos para la extracción de agua y satisfacer la demanda de la población. Esto, aunado a la poca recarga de los mantos acuíferos, ha dado lugar al fenómeno de subsidencia que se refiere a los hundimientos graduales o súbitos de la superficie. Tales hundimientos han propiciado la generación de grietas en el valle, principalmente en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco (Martínez-González, 2010).

Este trabajo forma parte del estudio que se lleva a cabo en la alcaldía de Tláhuac, por parte del Instituto de Ingeniería de la UNAM, para el análisis de las grietas que lleva como título “Estudios Geotécnicos, Geofísicos y Geológicos en diferentes colonias y pueblos de la delegación Tláhuac”. Tiene como objetivo realizar un estudio geosísmico en diferentes colonias de la alcaldía Tláhuac para brindar información acerca de las causas de los agrietamientos suscitados después del sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw 7.1. Por la cercanía, el estudio se ha extendido a varias colonias de la alcaldía Iztapalapa, que limitan al oeste con Tláhuac, y a la parte norte de la alcaldía Xochimilco que limita con Tláhuac. En particular, este trabajo analiza un área pequeña ubicada en los límites de las alcaldías Tláhuac, Iztapalapa y Xochimilco debido a que se realizarán 10 sondeos geotécnicos a gran profundidad en esta zona y el objetivo es brindar información sobre la estratigrafía del lugar antes de realizar tales sondeos, así como evaluar las causas de los agrietamientos.

1.1 Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio se localiza al sur de la cuenca del Valle de México, entre la Sierra de Chichinautzin y la Sierra de Santa Catarina. Se ubica en los límites de las alcaldías Tláhuac, Iztapalapa y Xochimilco. El área de estudio abarca un área de aproximadamente 2 km^2 y se localiza en las colonias Del Mar, La Planta y El Molino Tezonco, además del parque Cananea (Figura 1).

1.2 Objetivos específicos

Los objetivos del presente estudio técnico para evaluar los aspectos geosísmicos de la zona de agrietamiento en las colonias antes mencionadas son los siguientes:

1. Obtener, mediante la técnica del cociente espectral H/V, los periodos de vibración del suelo y la amplificación relativa en la zona de estudio.
2. Realizar la microzonificación sísmica del área de estudio con la información de los periodos dominantes de vibración del suelo.
3. Estimar el espesor de la capa de arcilla (*H*) por medio de la ecuación *H=(T*Vs) /4*. Donde *T* es el periodo dominante del suelo, y *Vs* es la velocidad promedio de corte de la capa de arcilla
4. Realizar la inversión geofísica de los cocientes espectrales realizados en los 10 sitios de los sondeos geotécnicos propuestos.
5. Comparar la información de periodos, amplificación y espesor de la capa de arcilla mediante mapas y perfiles.

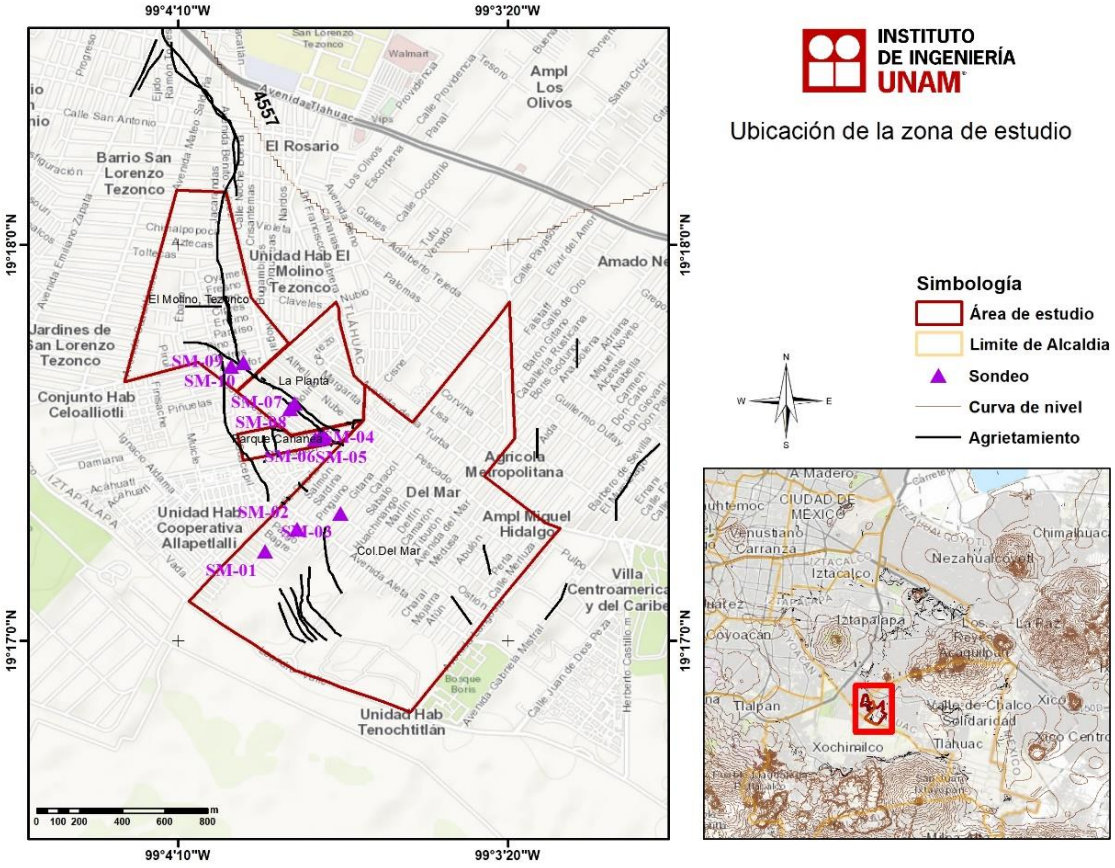


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en los límites de las alcaldías Tláhuac, Iztapalapa y Xochimilco.

2 ANTECEDENTES

La explotación de los acuíferos del Valle de México, para satisfacer la demanda de agua potable de los habitantes de la Ciudad de México, ha causado una disminución de la presión en el subsuelo generando el fenómeno de subsidencia y agrietamientos en el suelo. La subsidencia ha causado hundimientos diferenciales que afectan a las estructuras coloniales y modernas de

la Ciudad de México. Además, durante las últimas décadas se ha observado un aumento en el número de agrietamientos en el Valle de México. Ambos problemas deben ser estudiados con mayor detalle para prevenir y mitigar los riesgos que puedan ocasionar (Auvinet, 2013).

Recientemente, los Atlas de Peligros y Riesgos de la alcaldía de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco, etc. desarrollada en 2011 y actualizada en el 2014, argumentan que los orígenes de estos agrietamientos son:

1. La sobre explotación de los acuíferos, lo que provoca el hundimiento regional de la zona del lago;

2. Los rellenos superficiales de estos suelos, que fueron antiguos basureros, y el contenido de agua y el grado de saturación de los materiales en el subsuelo, principalmente arcillas, basura y/o estratos de tobas que sobreyacen las arcillas en proceso de consolidación (Auvinet et al., 2017); provoca que aumenten su grado de plasticidad y su compresibilidad. Este comportamiento genera daños en las construcciones, debido a que una construcción de mayor peso afecta a una vivienda de menor proporción, además de provocar fracturamiento y deformación de las vialidades y banquetas.

Por otro lado, Auvinet et al, 2017 clasifica el origen del agrietamiento en a). Agrietamiento por fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamiento; b). Agrietamiento asociado a la consolidación regional en zona de transición abrupta; c) Agrietamiento atribuible a anomalías estratigráficas; d) Grietas atribuibles a la evapo-transpiración; y e). Grietas atribuibles a estructuras geológicas sepultadas.

Sin embargo, estas clasificaciones e interpretaciones sobre el origen de estos hundimientos verticales, se olvidan de dos causas que no lo han enumerado:

a). La presencia en la zona del lago de derrames basálticos de la Sierra de Santa Catarina, Sierra de Chichinautzin, Sierra de Las Cruces, Sierra de Guadalupe, Cerro de la Estrella, Peñón de los Baños, Peñón del Márquez, etc.; que se prolongan en algunos sitios hasta más de 1 kilómetros, llegando a profundidades entre 30 a 70 metros. Como se muestra en la figura 13 los derrames de los volcanes monogenético Yuhualixqui y Xaltepec de la Sierra de Santa Catarina.

b). La presencia de terremotos de diferentes fuentes (subducción, intraplaca, cortical, etc) que mueven grandes volúmenes de sedimentos (tanto superficiales como profundos) con aceleración mayores a los 200 a 400 cm/s^2 a un lado de las grietas y su contraste hasta de 10 veces menos al otro lado de la grieta. Esta aceleración con diferente energía provocada durante el movimiento sísmico, en los límites de los derrames basálticos han provocado la aparición de grietas como se puede demostrar con las líneas verdes cuando se comparan los dos mapas mostrados en la figura 2, antes y después del terremoto del 19 de septiembre del 2017 (Mw7.1) de fuente intraplaca a 120 kilómetros de la ciudad de México

Por lo tanto, se tiene que cuantificar esta respuesta del suelo con la presencia de los rellenos superficiales, rellenos profundos y los derrames basálticos ante la presencia de terremotos de diferente fuente, ya que estos depósitos superficiales y profundos responde de diferente manera a la energía que trae cada una de estos terremotos. Me refiero a las propuestas de tipos de cimentación que se están proponiendo para las reconstrucciones de viviendas o inmuebles de diferentes usos.

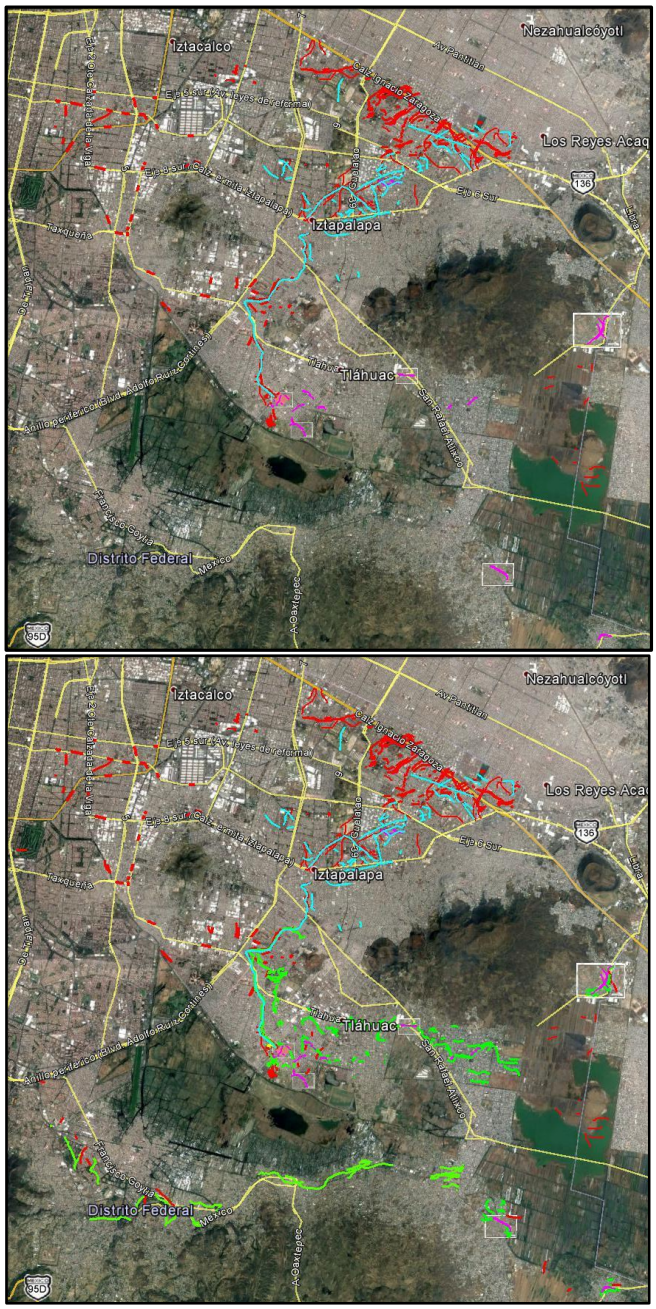


Figura 2. Parte izquierda, mapa alrededor de la Sierra de Santa Catarina y Chichinautizin con líneas de agrietamientos (líneas rojas, azules y violetas) antes del terremoto del 19 septiembre del 2017. Parte derecha, mapa con grietas después del terremoto (líneas verdes).

2.1 Geología

2.1.1 Geología de la Cuenca del Valle de México

La base de la Cuenca del Valle de México está formada por depósitos marinos del Mesozoico superior, a profundidades que oscilan entre los 1500 y 3000 m, además de calizas y lutitas del Cretácico superior intensamente plegadas. Al norte de la cuenca obedecen a pliegues laramídicos, mientras que las del sur obedecen a anticlinales formados en el Terciario inferior por empujes de la masa Xolapa (Mooser, 2018).

Sobre el basamento marino fueron acumulándose, desde la emersión de la masa continental a principios del Terciario hasta la actualidad, productos del vulcanismo que consiste en lavas, tobas, cenizas, brechas, lahares, depósitos fluviales y aluviales, paleosuelos y arcillas lacustres con un espesor total de 1500 a 3000 m. Las erupciones volcánicas fueron irrumpiendo a través de un gran número de fracturas y fallas que rompieron la corteza desde profundidades de 5, 10 y hasta 15 km, donde se localizan las cámaras magmáticas (Mooser, 2018). Estudios tectónicos han comprobado la existencia de al menos cinco sistemas de fallas en el espacio de la Cuenca de México (Figura 3).

1. Sistema Chichinautzin-Santa Catarina WSW-ENE.
2. Sistema Grandes Sierras y Fosas NNW-SSE.
3. Sistema Tláloc-Apan SW-NE.
4. Sistema Tarasco-Acambay-Zumpango WNW-ESE.

A. Pliegues Laramídicos.
B. Pliegues Xolapa.

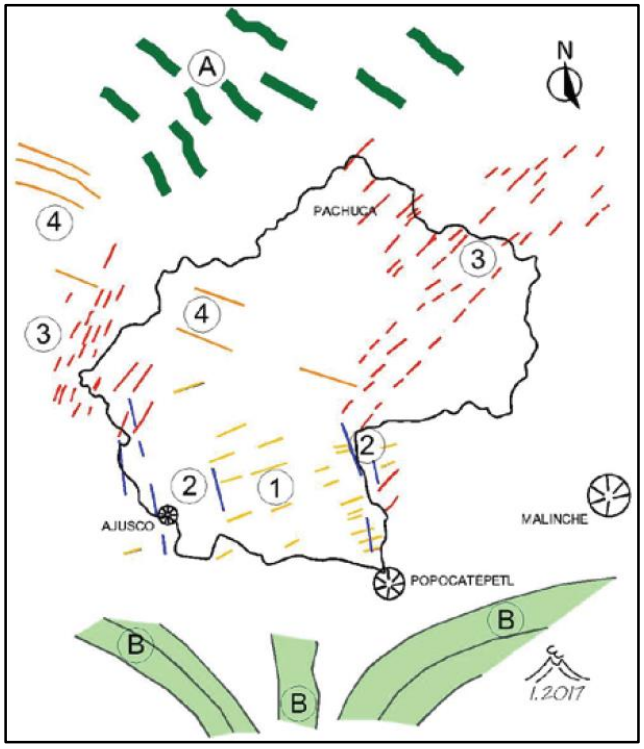


Figura 3. Principales sistemas de fallas de la Cuenca de México (Mooser et al., 2018).

Entre el conjunto de eventos geológicos de naturaleza volcánica, destacan también aquellos que forman lagos. Cuando fluyen lavas y estas rellenan los fondos de los valles, las aguas detrás de dichas lavas forman a menudo lagos en los que se depositan subsecuentemente sedimentos de arcillas. Así, en la historia de la formación de la Cuenca de México hubo tres eventos importantes de formación de lagos: el primero sucedió después de la erupción de una formidable cantidad de lavas y lahares del Tepozteco, cuyas masas obstruyeron las salidas aluviales de la cuenca al sur a fines del Mioceno. Es cuando se formó un grueso estrato de arcillas (~100 m)

en el subsuelo de la cuenca a unos 1000 m debajo de la superficie. Algo después en el norte de la cuenca, por Tula, otras erupciones volcánicas obstruyeron importantes cauces fluviales durante el Terciario superior, creando así los potentes depósitos de arcillas lacustres Taxhimay de 50 a 100 m de espesor. Finalmente, en el cuaternario superior, al crecer la Sierra de Chichinautzin se cerró la cuenca por segunda vez formándose sobre toda su extensión desde Xochimilco hasta Huehuetoca las arcillas blandas del extenso valle (Mooser, 2017). En la Figura 4 se observa el modelo geológico de la Cuenca del Valle de México realizado por Mooser (2018).

2.1.2 Geología de la zona de estudio

La referencia más importante acerca de la geología de la zona, corresponde al estudio realizado para el proyecto de la línea 12 del metro de la Ciudad de México, la cual va de la alcaldía Tláhuac hasta Mixcoac en la alcaldía Benito Juárez, con una longitud de 25.1 km. La sección descrita se basa en unos 150 barrenos de exploración. Unos 80 fueron sondeos de cono eléctrico (SCE). El resto fueron sondeos mixtos SM (combinados de sondeos SPT con algunos tramos de tubo Shelby). Se trata así de 5 sondeos por kilómetro aproximadamente (Mooser, 2018).

El trazo de la línea 12 del metro, mostrados en las figura 5 (planta) y figura 6 (perfil geológico) comprende siete unidades morfológicas, tres de las cuales son de mayor relevancia para este estudio: la planicie lacustre de Tezonco Xochimilco que comprende arcillas lacustres de las series lacustres superior e inferior; los pies meridionales de la Sierra de Santa Catarina en donde se presentan tres cuerpos de lavas de la Sierra de Santa Catarina y entre ellas tramos de tobas y arcillas lacustres de las dos series; por último, la planicie lacustre de Tláhuac-Tláloc compuesta de arcillas de las dos series lacustres a una mayor profundidad (Mooser,2018).

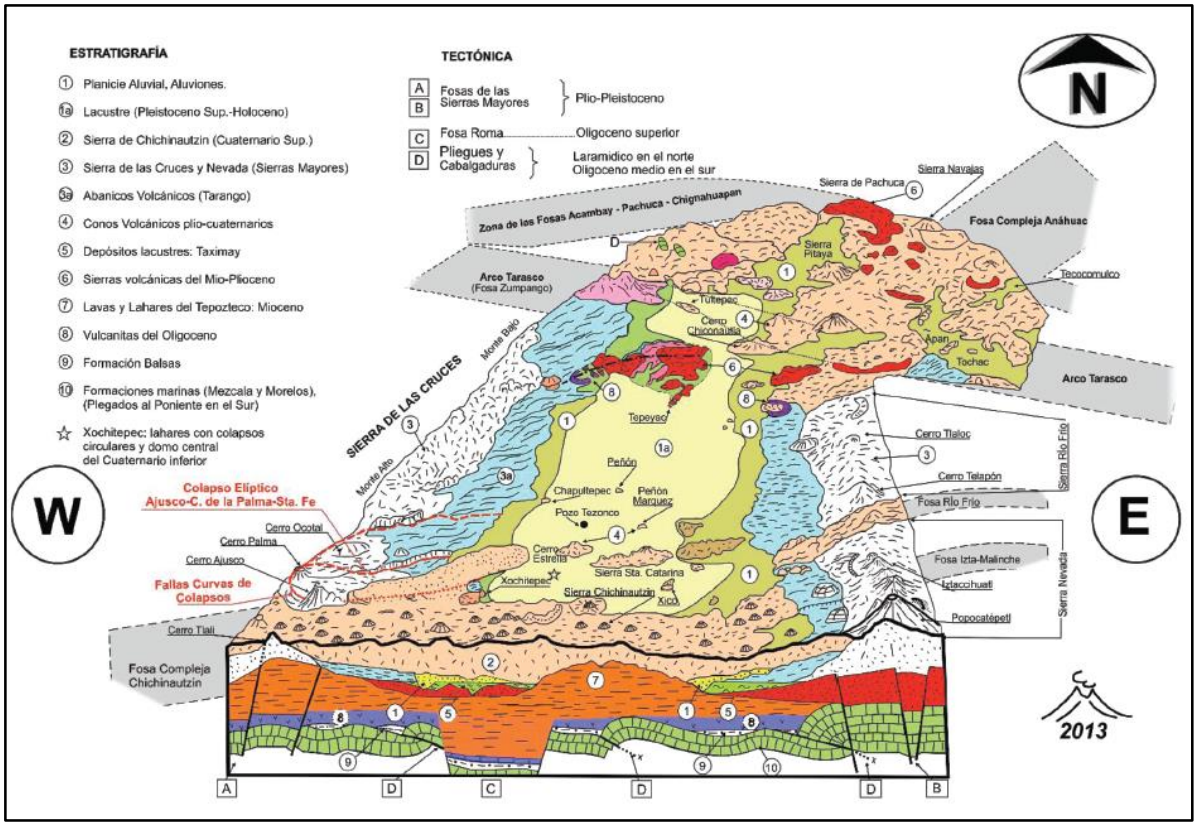


Figura 4. Modelo geológico de la Cuenca del Valle de México. Tomada de Mooser (2017).

Se reconocen tres erupciones de ceniza o pómez (horizontes tefracronológicos), bien definidas y diferenciadas entre el conjunto de la multitud de erupciones que han caído y rellenado la Cuenca meridional de México. Dentro de la serie lacustre superior se ubica un estrato de ceniza volcánica denominada “La Negra Durazo”. Aparece con regularidad y con espesor grueso (10 a 20 cm) en el centro del llamado Valle de México. Más al norte hasta El Caracol, en el oriente hasta Texcoco y en el sur hasta Chalco. Su edad fue determinada por radio-carbón en 28,690 ± 200 años bp. Otro horizonte tefracronológico destacado está representado por la capa dura. A través de barrenos con buena recuperación pudo comprobarse que esta capa, que mide aproximadamente unos 4 m de espesor debajo del centro de la Ciudad de México; consiste de 7 a 8 erupciones de pómez interestratificadas en arcillas lacustres. Su origen se calculó estar en el volcán del Cerro de La Palma. El tercer horizonte tefracronológico lo representa una capa de pómez granular de unos 10 a 20 cm de espesor, que se detectó dentro del conjunto de suelos que cubren la formación Tarango y que yacen debajo de la serie lacustre inferior. Esta formación se originó, probablemente, por una erupción del volcán Ajusco debido a que se detecta con toda claridad en el suroeste de la cuenca (Mooser, 2018).

La sección (Figura 6) nos da una idea de los acontecimientos finales del relleno de la Cuenca de México, producido por su cierre por parte de la Sierra de Chichinautzin que inició su crecimiento hace algo más de medio millón de años, según mediciones geomagnéticas. El elemento más antiguo de la sección lo representa el volcán fenobasáltico del Cerro de la Estrella que ocupa su centro. Sus bases se extienden hasta unos 300 m de profundidad, yaciendo sobre rellenos tobáceos profundos de acuerdo a exploraciones recientes con pozos en la Ciudad de

México. Segunda en edad geológica aparece en el poniente la formación Tarango, fechada por biotita en sus lahares en unos 270,000 años bp. Sus pies profundos chocan contra las lavas del Cerro de la Estrella. La Tarango está cubierta por una potente secuencia de suelos que se extienden hasta el flanco poniente del Cerro de la Estrella. Geológicamente aún más joven siguen las lavas de la Sierra de Santa Catarina, una hilera volcánica dirigida de WSW a ENE siguiendo el sistema de fracturamiento tectónico del Chichinautzin; está compuesta de seis conos cineríticos y un domo central. Su prominencia más elevada es el cono escoriáceo Santa Catarina (Mooser, 2018).

Los elementos volcánicos anteriores (Tarango, Cerro de la Estrella y Sierra de Santa Catarina) con sus suelos y tobas que los cubren están rodeados por depósitos lacustres, con espesores que oscilan entre 65 m al poniente y 100 m al oriente según la sección. En estos depósitos lacustres aparecen interestratificados numerosos horizontes de cenizas y pómeces, testigos de las erupciones volcánicas en el centro de la Cuenca de México. Estos depósitos se dividen en dos partes por la capa dura. Arriba de la capa dura yacen las arcillas poco consolidadas de la Serie Lacustre Superior y debajo las arcillas de la Serie Lacustre Inferior (Mooser, 2018).

Son de resaltar las diferencias que existen entre las arcillas superiores en el poniente y oriente de la sección. En el poniente, que representa el llamado Valle de México, donde prevalecían originalmente aguas salobres, arcillas y cenizas mantienen un comportamiento sedimentario regular y uniforme. Esto cambia drásticamente en el oriente de la sección: resulta aquí que a los pies meridionales de la Sierra de Santa Catarina, los estratos de cenizas y pómeces obedecen a ondulaciones, a cambios repentinos de espesor y a duplicaciones junto con fallas curvas del tipo falla de talud. Esto último es sorprendente, pero se explica como consecuencia de deslizamientos de los sedimentos arcillosos hacia partes más bajas en el sur, mecanismo que explica su duplicación por superposición. El análisis de la secuencia de estos hundimientos permite concluir que no son modernos; al contrario, son antiguos y han ocurrido a partir de la formación del horizonte de la Capa Dura. Hoy siguen activos estos movimientos como lo revelan los agrietamientos que sufren actualmente los edificios construidos sobre arcillas en los flancos meridionales de la Sierra de Santa Catarina. Naturalmente, estos deslizamientos superficiales se han acelerado aquí por la importante extracción de agua entre Chalco y Xochimilco, causando hundimientos extensos en el centro del área lacustre, que originalmente yacía algo arriba del nivel del Valle de México. La sección revela el hundimiento del área de Tláhuac que hoy supera al del Valle de México (Mooser, 2018).

Hay que señalar que entre el sur del Cerro de la Estrella y la población de Tláhuac, nos encontramos en el espacio Xochimilco-Chalco, donde regían aguas dulces y se formaban arcillas de muy elevado contenido de agua. Nótese que en la serie inferior de arcillas no aparecen ya irregularidades, ni en el oriente ni en el poniente de la sección. En la mitad oriental de la sección los espesores de las cenizas y pómeces oscilan, a veces hasta drásticamente: ello se debe a que después de una lluvia normal de cenizas en el lago sus depósitos reciben al poco tiempo aportaciones de cenizas deslavadas de los flancos de los cerros. Estas aportaciones adquieren máximos valores hacia la Isla de Tláhuac donde se acumulan cenizas de las erupciones del Chichinautzin además de las cenizas de la Sierra de Santa Catarina (Mooser, 2018).

Muy interesante resulta el fenómeno de la Isla de Mexicaltzingo. Este Tlatel original, situado a la entrada del lago de Xochimilco al del lago del Valle de México, fue ocupado por los aztecas y subsecuentemente rellenado de tierra para sobresalir más al lago y poder cargar edificaciones. El resultado de ello fueron hundimientos que se notan con claridad en la sección. Al oriente de Mexicaltzingo, las exploraciones fueron llevadas a cabo con gran detalle a través de numerosos conos eléctricos, debido a que aquí saldría el túnel del metro a la superficie de las lavas del Cerro de la Estrella. Estas exploraciones revelaron fallamientos formando un pequeño graben o fosa. Se trata aquí de la primera vez que se logra detectar tectónica activa (penecontemporánea) en el sur de la Cuenca de México dentro de las arcillas lacustres superiores (Mooser, 2018).

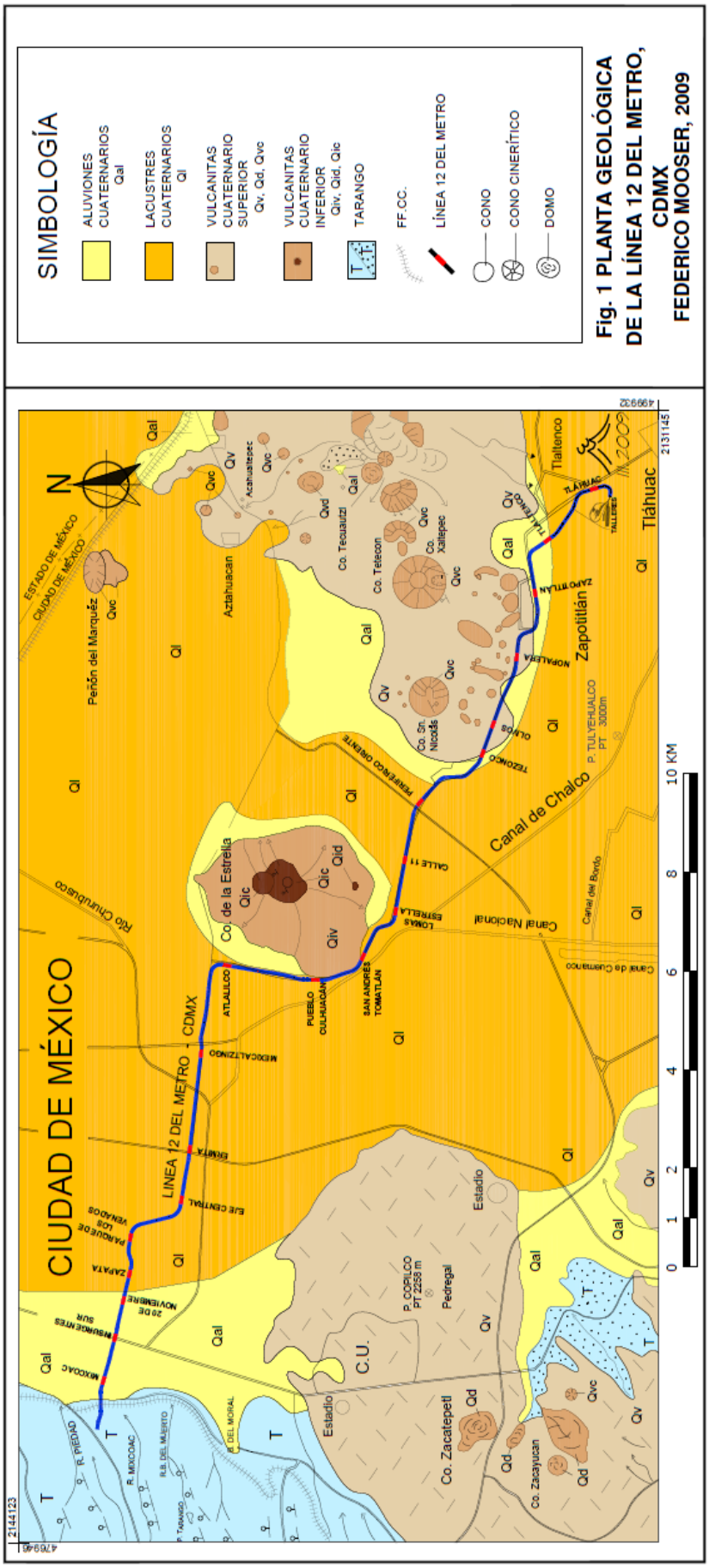


Figura 5. Vista en planta de la sección geológica de la línea 12 del metro. Tomada de Mooser (2018).

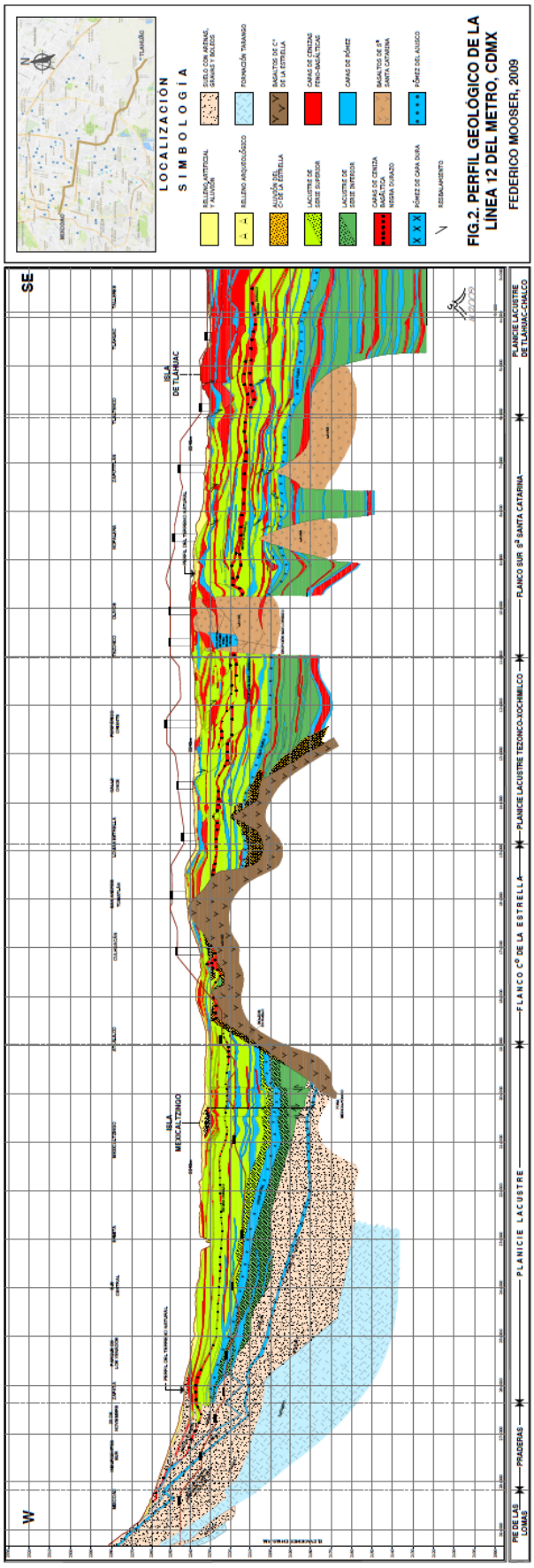


Figura 6. Sección geológica de la línea 12 del metro. Tomada de Mooser (2018).

3 TRABAJO DE CAMPO

3.1 Medición de microtremores o ruido sísmico ambiental

El cociente espectral H/V es una técnica para evaluar algunas características de los depósitos sedimentarios. Debido al bajo costo de las mediciones en campo y del análisis, la técnica H/V ha sido frecuentemente adoptada en la microzonificación sísmica (SESAME, 2004). Para realizar las mediciones de ruido sísmico ambiental o microtremores, el proyecto de investigación europeo SESAME (Site EffectS assessment using AMbient Excitations, por sus siglas en inglés) ha publicado una serie de recomendaciones prácticas, basadas en una investigación detallada, para realizar las mediciones en campo (SESAME, 2004), las cuales se han seguido en el presente proyecto. Las más importantes son las siguientes:

1) Para observar una frecuencia de vibración del suelo de 0.2 Hz es necesario un tiempo de registro de 60 minutos como mínimo.
2) Colocar el sensor directamente en el suelo.
3) Una frecuencia de muestreo de 50 Hz es suficiente.

El equipo empleado para medir el ruido sísmico ambiental fue un sismógrafo Guralp GMG-6TD triaxial, de banda ancha y alta resolución, ideal para este tipo de mediciones por su practicidad, peso y dimensiones. Este sismógrafo tiene un periodo natural de 30 s y una respuesta en frecuencia de 0.03 a 100 Hz, que abarca el rango de interés de un estudio de ingeniería sísmica (0.1 a 20 Hz). Una vez localizado el punto en donde se requiere medir el ruido sísmico ambiental, la instalación del sensor se realiza de forma rápida mediante 3 pasos: orientar el sensor hacia el norte geográfico, nivelar el sensor y, por último, conectar el equipo a una batería y revisar mediante una computadora que la señal se registre de forma adecuada (Figura 7).

Figura 7. Instalación de los sensores Guralp CMG-6TD para la medición de ruido sísmico ambiental.

En total se han realizado en las alcaldías Tláhuac, Iztapalapa y Xochimilco 401 mediciones de ruido sísmico ambiental (Figura 8). La duración de los registros de ruido sísmico ambiental fue mayor a 120 minutos para evitar el ruido transitorio y tener información de mejor calidad. Las señales se registraron con 100 muestras por segundo. En el área que corresponde al presente estudio se realizaron más de 100 mediciones de ruido sísmico ambiental.

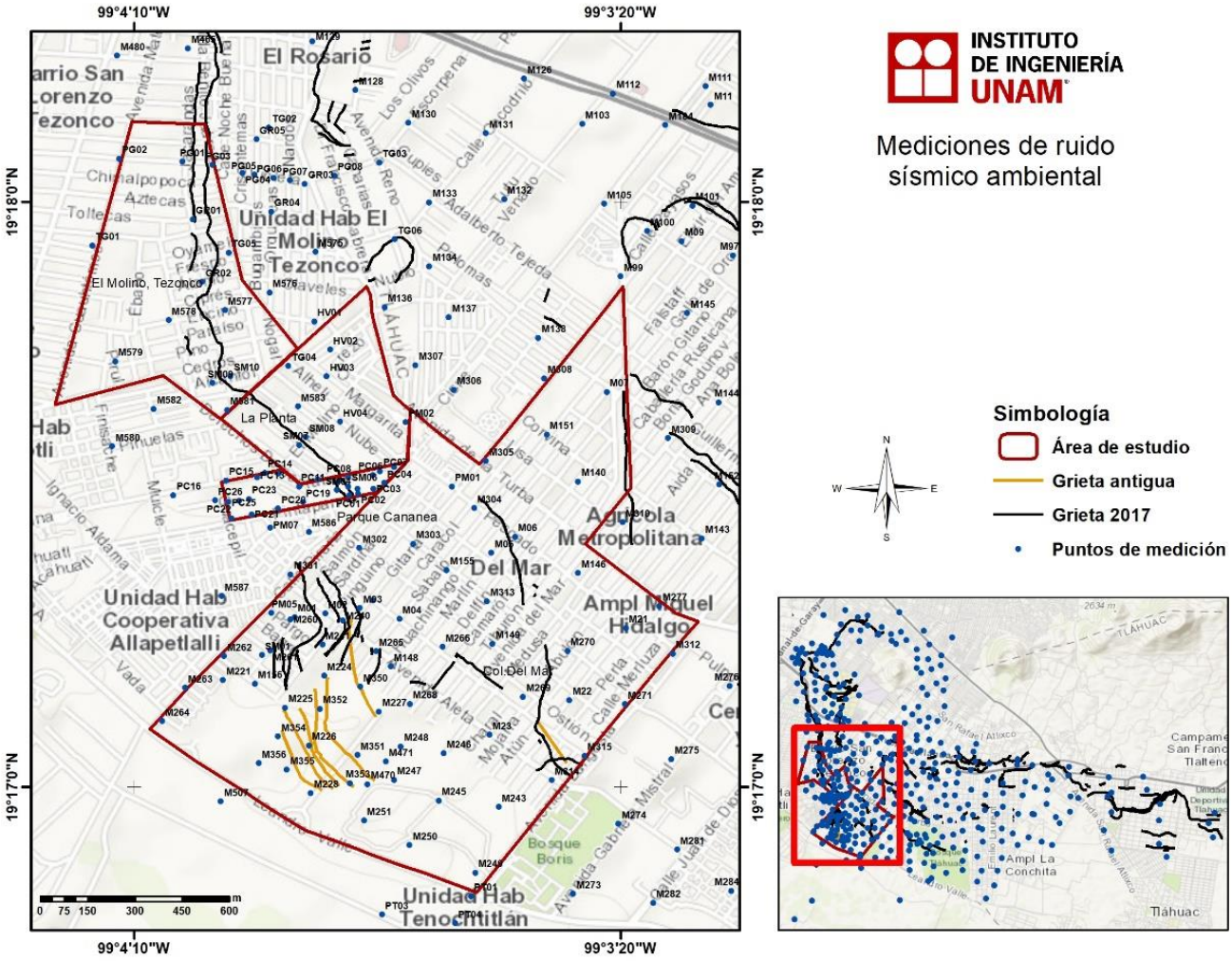


Figura 8. Mediciones de ruido sísmico ambiental en las alcaldías de Tláhuac, Iztapalapa y Xochimilco, así como en el área de estudio de este trabajo.

4 COCIENTE ESPECTRAL H/V

El método, también llamado la técnica de Nakamura o HVSR, fue introducido por Nogoshi e Igarashi en 1971 basado en los estudios iniciales de Kanai y Tanaka (1961). Este método presenta un alto atractivo para la caracterización de la respuesta de sitio, tanto por su sencillez de operación y su bajo costo como por la rapidez con que permite obtener resultados (SESAME, 2004).

En el trabajo de Lermo y Chávez-García (1993 y 1994), en el cual compararon el cociente espectral estándar que utiliza registros de sismos (SSR) con el cociente espectral utilizando registros de microtremores, se concluyó que el cociente espectral utilizando microtremores determina de forma precisa el periodo dominante (To) de sedimentos sujetos a amplificación dinámica en un intervalo de frecuencias entre 0.3 y 10 Hz, además de estimar de forma preliminar la amplificación.

La metodología propuesta por Nakamura en 1989 y, Lermo y Chavez-Garcìa (1993), parte de la hipótesis de que la energía de los microtremores o ruido sísmico ambiental consiste principalmente de ondas Rayleigh y que la amplificación del efecto de sitio se debe a la presencia en la superficie de una capa de suelo blando sobre un semiespacio.

En estas condiciones se tienen cuatro componentes del movimiento del suelo: las componentes horizontales del semiespacio y de la superficie, y la componente vertical del semiespacio y de la superficie. De acuerdo con Nakamura, es posible estimar el efecto de la fuente en la amplitud A_S, por medio del siguiente cociente.

$$A_S = \frac{V_S}{V_B} \tag{4.1}$$

Donde V_S es el espectro de Fourier de la componente vertical del movimiento en la superficie y V_B es el espectro de Fourier de la componente vertical del movimiento en el semiespacio. Entonces, se define como estimación del efecto de sitio, S_E, el siguiente cociente espectral.

$$S_E = \frac{H_S}{H_B} \tag{4.2}$$

Donde H_S es el espectro de Fourier de la componente horizontal del movimiento en la superficie y H_B el espectro de Fourier de la componente horizontal del movimiento en el semiespacio. Para compensar S_E por el efecto de la fuente se calcula la función del efecto de sitio modificada S_M.

$$S_M = \frac{S_E}{A_S} = \frac{\frac{H_S}{V_S}}{\frac{H_B}{V_B}} \tag{4.3}$$

Si se acepta que el cociente H_B/V_B es igual a la unidad, la función del efecto de sitio, corregida por la fuente, se puede escribir mediante la siguiente ecuación.

$$S_M = \frac{H_S}{V_S} \tag{4.4}$$

La suposición H_B/V_B es igual a la unidad fue verificada experimentalmente por Nakamura usando mediciones de microtremores a profundidad en un pozo.

El cociente espectral H/V proporciona información relevante del suelo como el periodo de vibración y la amplificación relativa, además puede ser considerado como una función de transferencia empírica.

4.1 Procesamiento del ruido sísmico para obtener el cociente espectral H/V

El procesamiento de las señales de ruido sísmico ambiental para obtener el cociente espectral H/V se realizó con el software Geopsy, desarrollado por el proyecto SESAME (2004). El proceso para obtener el cociente espectral H/V es el siguiente (Figura 9):

- Primero, se seleccionan N ventanas de ruido estacionario, eliminando mediante un algoritmo “anti-trigger” el ruido transitorio producido por fuentes muy cercanas.
- Para cada ventana de ruido estacionario seleccionada se calcula el espectro de amplitud de Fourier y se realiza un suavizamiento. Este procedimiento se realiza para las tres componentes.
- Posteriormente, se promedian las componentes horizontales N y E para cada ventana.
- Con el espectro de amplitud de Fourier de la componente vertical (V) y del promedio de las componentes horizontales (H) se realiza el cociente espectral H/V para cada ventana.
- Por último, se calcula el promedio del cociente H/V.

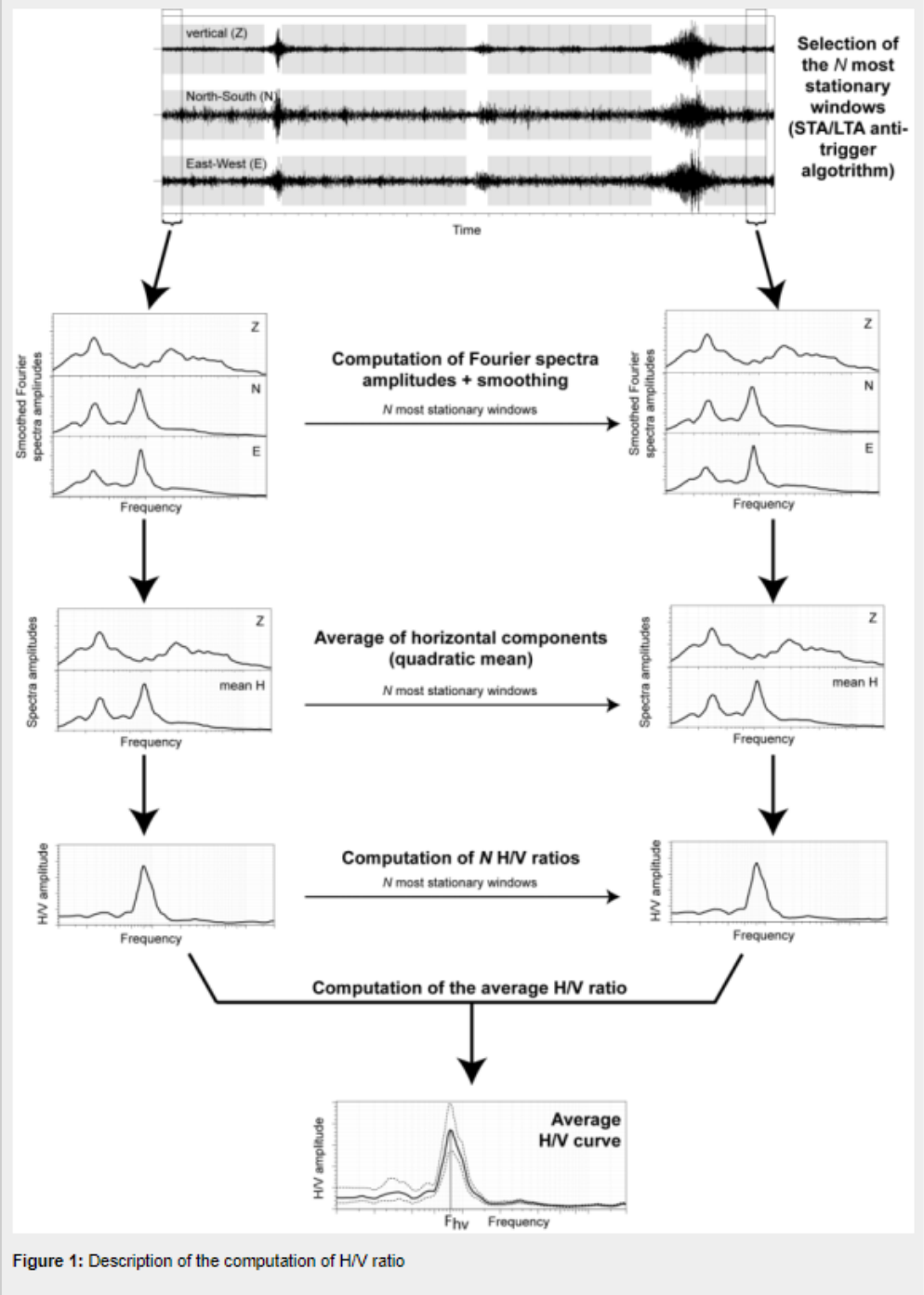


Figure 1: Description of the computation of H/V ratio

Figura 9. Diagrama del proceso para obtener el cociente espectral H/V. Tomada de SESAME (2004)

Para el procesamiento de las señales de ruido sísmico se utilizaron los siguientes parámetros: ventanas de 100 s, se utilizó un traslape entre ventanas de 50 % y para el cálculo del promedio de las componentes horizontales se utilizó la ecuación

$$H(f) = \sqrt{\frac{N^2(f) + E^2(f)}{2}} \tag{4.5}$$

Para identificar la frecuencia de vibración del suelo y la amplificación relativa mediante el cociente espectral H/V se toma en cuenta el pico de mayor amplitud de la curva. Para el ejemplo de la Figura 10, la frecuencia de vibración es 0.35 Hz (periodo de 2.86 s) y la amplitud relativa es 6.06.

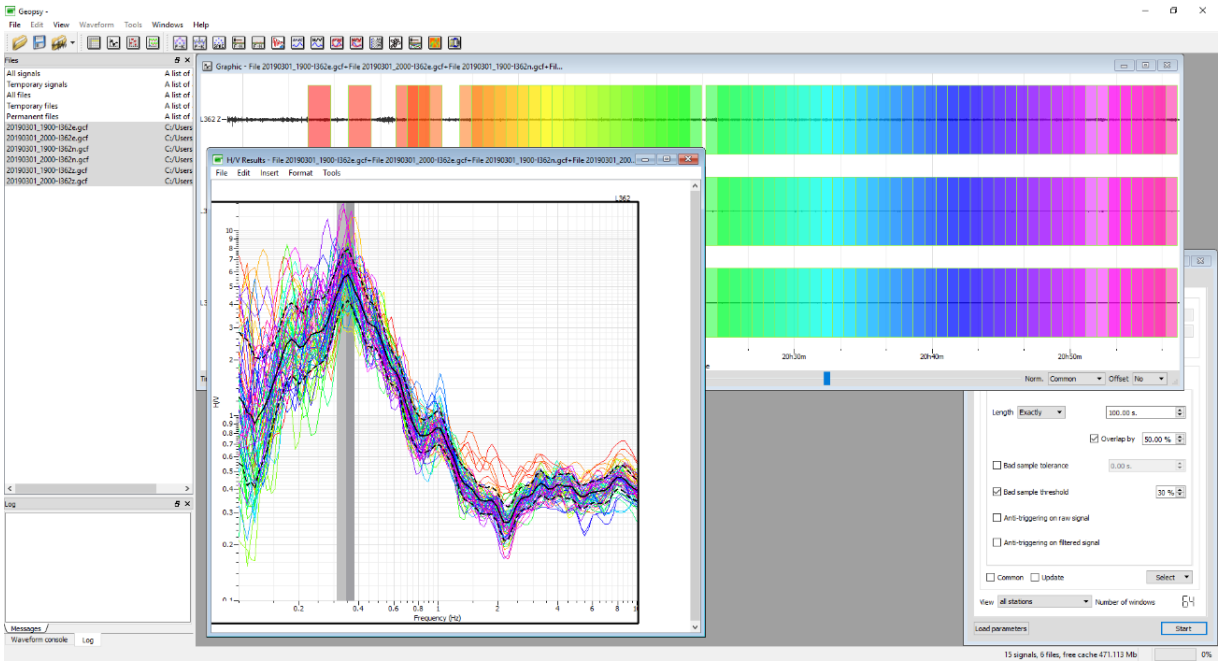


Figura 10. Ejemplo de procesamiento de ruido sísmico ambiental con el programa Geopsy para obtener el H/V. La señal pertenece al punto de medición M362. Se pueden apreciar las 3 componentes, así como las ventanas que se utilizaron para realizar el cociente espectral. El periodo es de 2.86 s (0.35 Hz).

4.2 Periodo de vibración, amplificación relativa y espesor de la arcilla

El cociente espectral H/V permite evaluar el efecto de sitio de forma precisa. Se considera que el suelo se amplifica a determinada frecuencia (o periodo) cuando la amplitud del cociente espectral H/V es mayor a 2 veces. Además, se considera que los periodos delimitan las zonas de loma, transición y lago de acuerdo a sus valores: 0.0-0.5 s para zona de loma, 0.5-1.0 s para zona de transición y >1.0 s para zona de lago.

En la Figura 11 se presenta el mapa de periodos de vibración del suelo determinado a partir del cociente espectral H/V. Se puede observar el mapa de periodos obtenido a partir de las 401 mediciones de ruido sísmico en toda la zona y un acercamiento al área de estudio seleccionada para el presente trabajo. Los valores de periodo de vibración del suelo varían de 0.0 s, al norte del área de estudio, hasta los 5.5 s al suroeste. La parte norte central presenta valores menores a los 0.5 s, por lo que se considera zona de lomas de acuerdo a lo establecido anteriormente. La zona de transición abarca una pequeña franja que recorre la parte norte y noreste, ampliándose en la parte central del área de estudio. Por último, la zona de lago abarca la parte sur, este y

oeste, y los valores más grandes de periodo se ubican al suroeste, en los límites de la alcaldía Tláhuac y el antiguo lago de Xochimilco.

La mayoría de las grietas se presentan entre los periodos de 1.0 s y 3.0 s, a excepción de una grieta al norte que se ubica en periodos menores a 0.5 s y las grietas del Bosque de Tláhuac que se presentan en periodos mayores a los 3.0 s. Las grietas de la parte oeste, que recorren la zona de norte a sur desde San Lorenzo Tezonco hasta la colonia Del Mar, se presentan en donde el periodo cambia de forma abrupta de valores de 1.0 s hasta los 3.0 s.

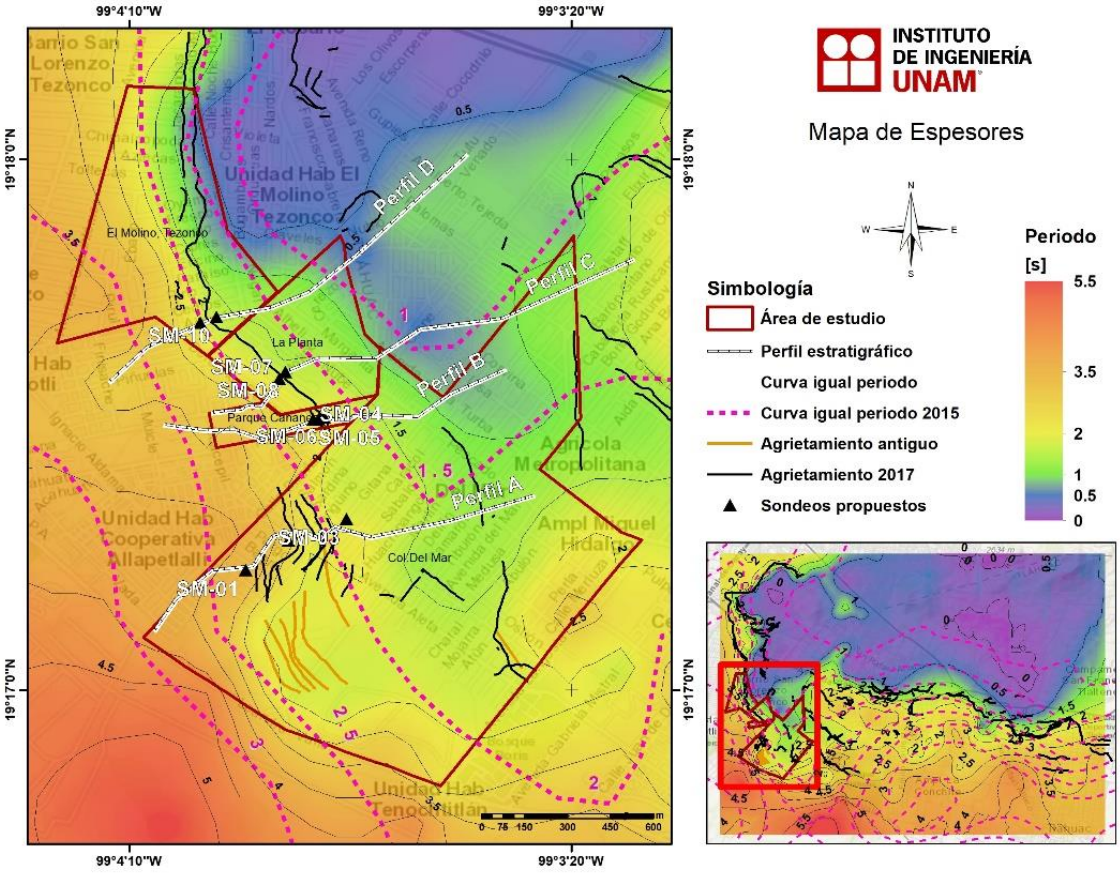


Figura 11. Mapa de periodos de vibración del suelo en el área de estudio. En color morado se aprecian las curvas de isoperiodos del estudio de Martínez-González et al. 2015.

En la Figura 12 se presenta el mapa de amplificación relativa del suelo determinado a partir del cociente espectral H/V. Gran parte de la zona de estudio no presenta amplificaciones relativas mayores a 5, a excepción de la zona suroeste donde la amplificación llega a alcanzar valores de 30, justo en la misma zona donde los periodos de vibración son más grandes. Hay otras zonas pequeñas donde la amplificación es mayor a 5 y alcanza valores de 10 como la que se ubica en la colonia Del Mar, justo en la zona de grietas, y la que se ubica en el Bosque de Tláhuac.

Si se considera que la estratigrafía del lugar consiste de una capa de arcilla (suelo blando) sobre una capa de suelo duro denominado depósitos profundos, como en la mayor parte de la zona de

lago del Valle de México, es posible obtener una estimación del espesor del estrato de arcilla mediante la siguiente ecuación:

$$H = \frac{T_s * v_s}{4} \qquad (4.4)$$

Donde H es el espesor, T_s es el periodo de vibración del suelo y v_s es la velocidad de onda de corte de la capa de arcilla. El periodo de vibración del suelo se conoce para los 401 puntos de medición, mientras que la velocidad de onda de corte se estableció en 100 m/s como una aproximación de acuerdo a los estudios realizados en el Valle de México.

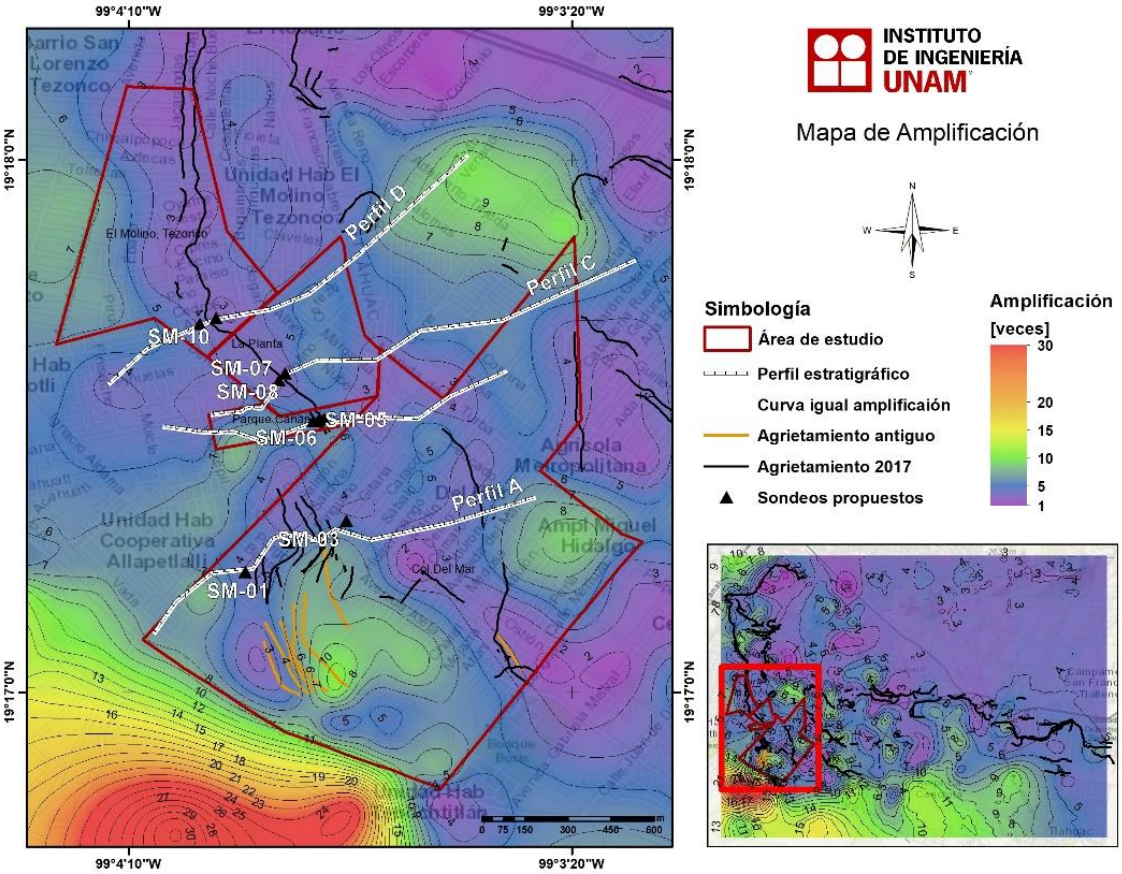


Figura 12. Mapa de amplificación relativa del suelo en el área de estudio.

En la Figura 13 se presenta el mapa de espesor de la capa de arcilla determinado a partir de la ecuación 4.4. Los menores valores de espesor de la capa de arcilla, inferiores a los 20 m, se encuentran en la parte centro y hacia el norte del área. Hacia el este el espesor llega hasta los 70 m. Los mayores valores de espesor se ubican hacia el noroeste, oeste, y toda la parte sur, llegando a los 135 m al suroeste. Las grietas que van de la colonia Del Mar a San Lorenzo Tezonco se presentan en una zona donde el espesor de la capa de arcilla cambia de forma abrupta, al igual que el periodo de 30 hasta los 90 m.

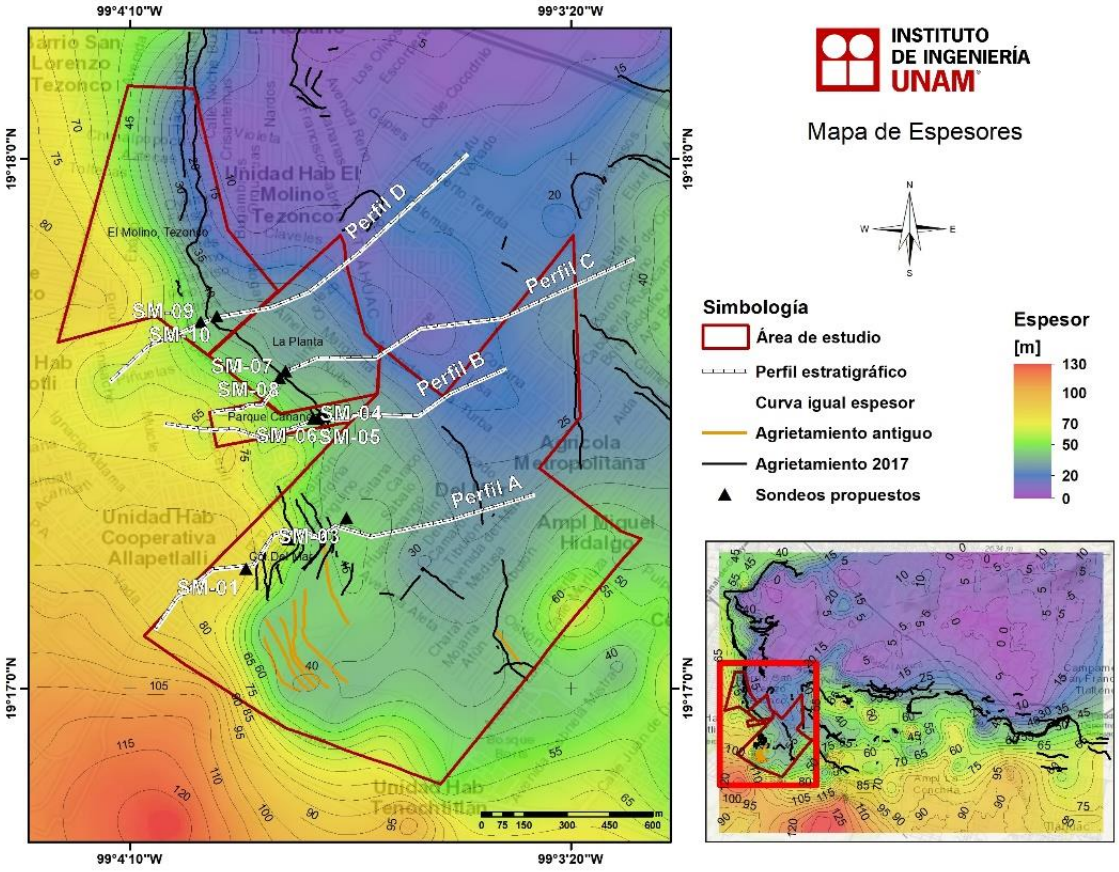


Figura 13. Mapa de espesor de la capa de arcilla en el área de estudio considerando una velocidad de onda de corte de 90 m/s.

5 INVERSIÓN DEL COCIENTE ESPECTRAL H/V

Con el uso de las correlaciones cruzadas de ruido ambiental entre pares de estaciones, Claerbout en 1968 demostró que se pueden recuperar los coeficientes de reflexión y de transmisión de la estructura. Weaver y Lobkis en 2001 encontraron resultados similares usando la correlación de los campos difusos Considerando estos resultados, la función de Green entre dos lugares para un medio dado se recupera mediante el promedio de las correlaciones cruzadas de sus respectivos registros (Piña-Flores et al., 2017).

Con las aplicaciones prácticas de la técnica y junto con la teoría establecida se demostró la posibilidad de recuperar las funciones de Green bajo la teoría de los campos difusos haciendo relación de energías de cada tipo de onda, derivado del principio de equipartición (Piña-Flores et al., 2017).

Sánchez-Sesma en 2008 y Perton en 2009 demostraron que la frecuencia dominante de la función de Green para un receptor y fuente coincidentes mide la potencia inyectada al sistema por la unidad de carga, contabilizando tanto las ondas propagadas como las que regresan a la fuente (Piña-Flores et al., 2017). Por lo tanto la densidad de energía dimensional al punto x_A a lo largo de la dirección *m* puede expresarse como:

$$E_m(x_A,\omega) = \rho\omega^2\left(u_m(x_A,\omega)u_m^*(x_A,\omega)\right) \qquad (5.1)$$
$$= -2\pi\mu E_s k^{-1} Im(G_{mm}(x_A,x_A,\omega)$$

En donde la función de Green ($G_{mm}(x_A,x_A,\omega)$ es el desplazamiento de x_A en dirección m producido por una unidad que actúa en la misma dirección m y el mismo punto x_A; $\left(u_m(x_A,\omega)u_m^*(x_A,\omega)\right)$ es la autocorrelaciòn promedio del desplazamiento en dirección m; ω es la frecuencia angular; $k = \omega/\beta$ es el número de onda cortante, β es la velocidad de propagación de la onda cortante; $Es = \rho\omega^2 S^2$ se refiere a la densidad de energía promedio de las ondas cortantes; ρ es la densidad de la masa y $\rho\beta^2 = \mu$ (Piña-Flores et al., 2017).

El ruido sísmico ambiental es el resultado de la dispersión de ondas sísmicas producidas por varias fuentes, conforme a lo anterior, Sánchez-Sesma en 2011 asumió que el ruido sísmico es difuso y consideró el HVSR como (Piña-Flores et al., 2017):

$$(H/V)(\omega) = \sqrt{\frac{E_1(x,\omega) + E_2(x,\omega)}{E_3(x,\omega)}} \qquad (5.2)$$

Donde E_1, E_2 y E_3 son la energías de densidades sobre una dirección, los subíndices 1 y 2 se refieren al desplazamiento horizontal y el 3 al desplazamiento vertical. De las ecuaciones (5.1) y (5.2) se puede expresar el HVSR como (Piña-Flores et al., 2017):

$$(H/V)(\omega) = \sqrt{\frac{Im\left(G_{11}(x,x;,\omega)\right) + Im\left(G_{22}(x,x;,\omega)\right)}{Im\left(G_{33}(x,x;,\omega)\right)}} \qquad (5.3)$$

Kawase en 2011 observó que las componentes verticales y horizontales se describen en la ecuación (5.3) usando la parte imaginaria de la función de Green para fuentes distribuidas que propagan una onda plana con incidencia vertical. Con esto es posible ajustar el mejor modelo de velocidades de la capa de roca a la superficie para cada interacción resolviendo el problema inverso (Piña-Flores et al., 2017).

Cuando se tiene un cociente espectral (H/V) teórico en términos de las funciones de Green, es necesario buscar una comparación con los valores medidos y la inversión a realizar. La curva H/V teórica, depende del espesor de las capas y sus propiedades que surgen de los parámetros elásticos (Piña-Flores, 2017).

Para la solución es conveniente definir límites superiores e inferiores de los valores objetivo, usando información a priori como sondeos, perfiles estratigráficos, geológicos, etc., o analizando la misma forma del H/V experimental, estas características realizan la inversión, usando modelos simplificados que imitan al H/V experimental. El modelo teórico para la simulación del H/V asume que las capas son horizontales y de carácter infinito, esta configuración permite el cálculo de las funciones de Green que son las que ajustan a la inversión (Piña-Flores, 2017).

5.1 Modelo estratigráfico para la inversión del cociente H/V

Se realizó la inversión de los cocientes espectrales SM01, SM02, SM03, SM04, SM05, SM06, SM07, SM08, SM09 y SM10, los cuáles se midieron sobre los respectivos sondeos propuestos. El modelo estratigráfico utilizado para la inversión consta de 4 capas: la costra superficial, la arcilla blanda característica del Valle de México, intercalaciones de lavas y tobas provenientes de la Sierra de Santa Catarina y, por último, el semiespacio (Tabla 1).

Tabla 1. Modelo estratigráfico y parámetros utilizados para realizar la inversión de los 10 cocientes espectrales H/V.

	Espesor [m]		**Vp [m/s]**		**Vs [m/s]**		**Densidad [kg/m^3]**		**Coeficiente de Poisson**	
Capa	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
1	1	10	200	1200	100	500	1300	2000	0.1	0.45
2	20	80	80	400	40	120	1200	1600	0.1	0.45
3	50	200	600	2000	200	800	1500	2300	0.1	0.45
-	-	-	1000	3500	400	1500	1700	2800	0.1	0.30

La inversión de los cocientes espectrales se realizó con un método global y un método local de inversión; Monte Carlo para el primer caso y Simplex Downhill para el segundo. En las figuras 14, 15 y 16 se puede apreciar la inversión que se realizó para el punto de medición SM09, así como las aproximaciones realizadas de acuerdo al misfit y los perfiles obtenidos de Vs, Vp y densidad. De acuerdo al espacio de parámetros resultado del proceso de inversión, el modelo inicial se ajusta para obtener un mejor modelo. Es por esto que los parámetros de la Figura 14 difieren un poco de los valores iniciales de la Tabla 2.

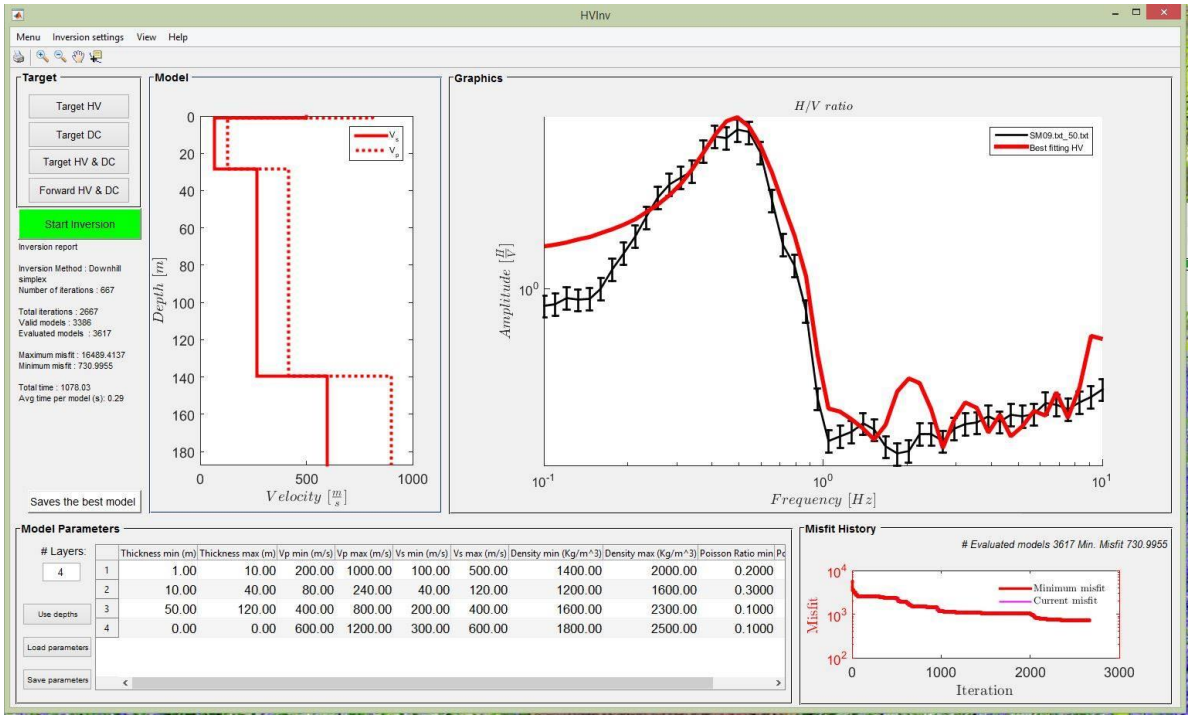


Figura 14. Proceso de inversión del cociente espectral SM09 mediante el software HV inv. En la parte izquierda se muestran los perfiles de Vp y Vs. En la parte derecha se observa el ajuste del cociente espectral. En la parte baja se ubican los parámetros utilizados para la inversión y el misfit.

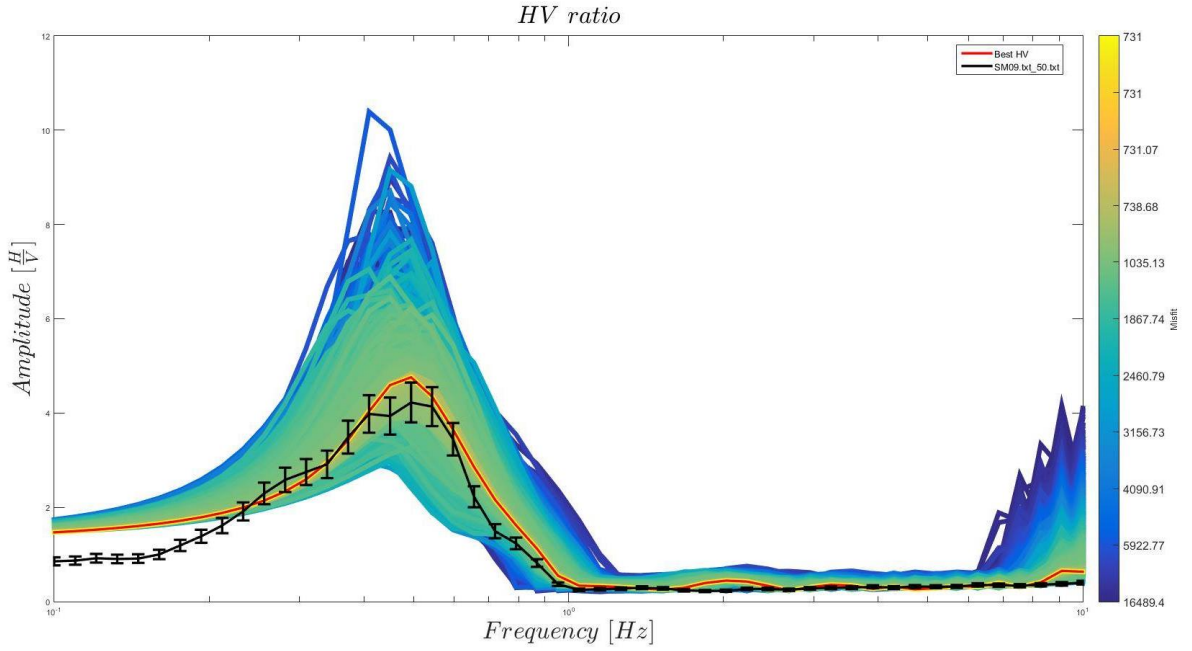


Figura 15. Iteraciones del proceso de inversión de acuerdo al misfit, En color rojo se muestra el mejor ajuste para el cociente espectral SM09.

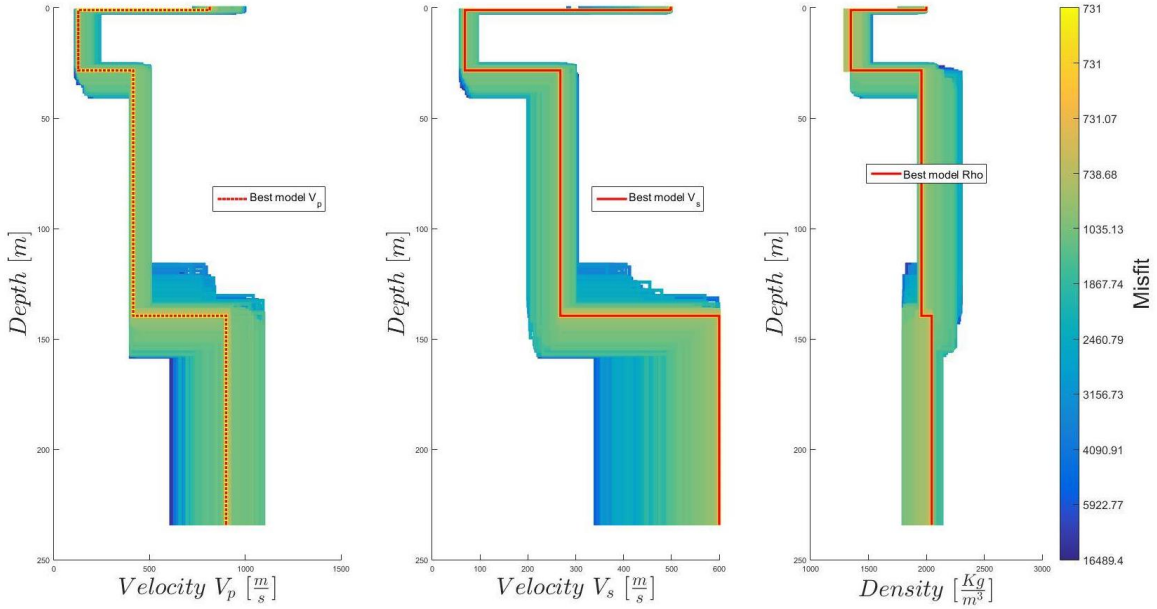


Figura 15. Perfiles de Vp, Vs y densidad obtenidos a partir de la inversión. En color rojo se muestra el mejor modelo.

5.2 Resultado de la inversión del H/V

El resultado de las inversiones del cociente espectral H/V de los 10 puntos se puede consultar en el Anexo A. Para todos los casos el ajuste de la curva del cociente es bueno.

Tabla 2. Variación de la estimación del espesor de la arcilla con la fórmula 4.4 e inversión.

		Profundidad a los depósitos profundos [m]	
Punto	**Periodo [s]**	**Fórmula Vs=100 m/s**	**Inversión H/V**
SM01	3.13	78.13	62.06
SM02	2.38	59.52	63.14
SM03	1.89	47.17	49.43
SM04	2.04	51.02	60.81
SM05	2.04	51.02	57.54
SM06	1.96	49.02	62.14
SM07	1.96	49.02	51.56
SM08	1.30	32.47	46.01
SM09	1.96	49.02	28.35
SM10	1.64	40.98	42.15

6 MODELO 3D Y PERFILES A, B, C y D

Con los espesores de la capa de arcilla de los 401 puntos de medición de ruido sísmico ambiental se realizó un modelo 3D para observar las variaciones espaciales del espesor de la capa. También se realizaron perfiles, en dirección SW-NE, para observar con mayor detalle la zona en donde se realizarán los 10 sondeos geotécnicos.

En la Figura 17 a, b se observa la variación en el espesor de la capa de arcilla para la zona sur de la Sierra de Santa Catarina. En el modelo se aprecia que el espesor aumenta de manera significativa hacia el oeste y sur, en los límites con el antiguo lago de Xochimilco. También se aprecia un cuerpo bien definido que parte del volcán Yuhualixqui hacia el sur hasta los límites de Tláhuac y Xochimilco. El cuerpo se considera como uno o varios derrames basálticos originados por este volcán de la Sierra de Santa Catarina que posteriormente fueron enterrados por las arcillas lacustres del Valle de México.

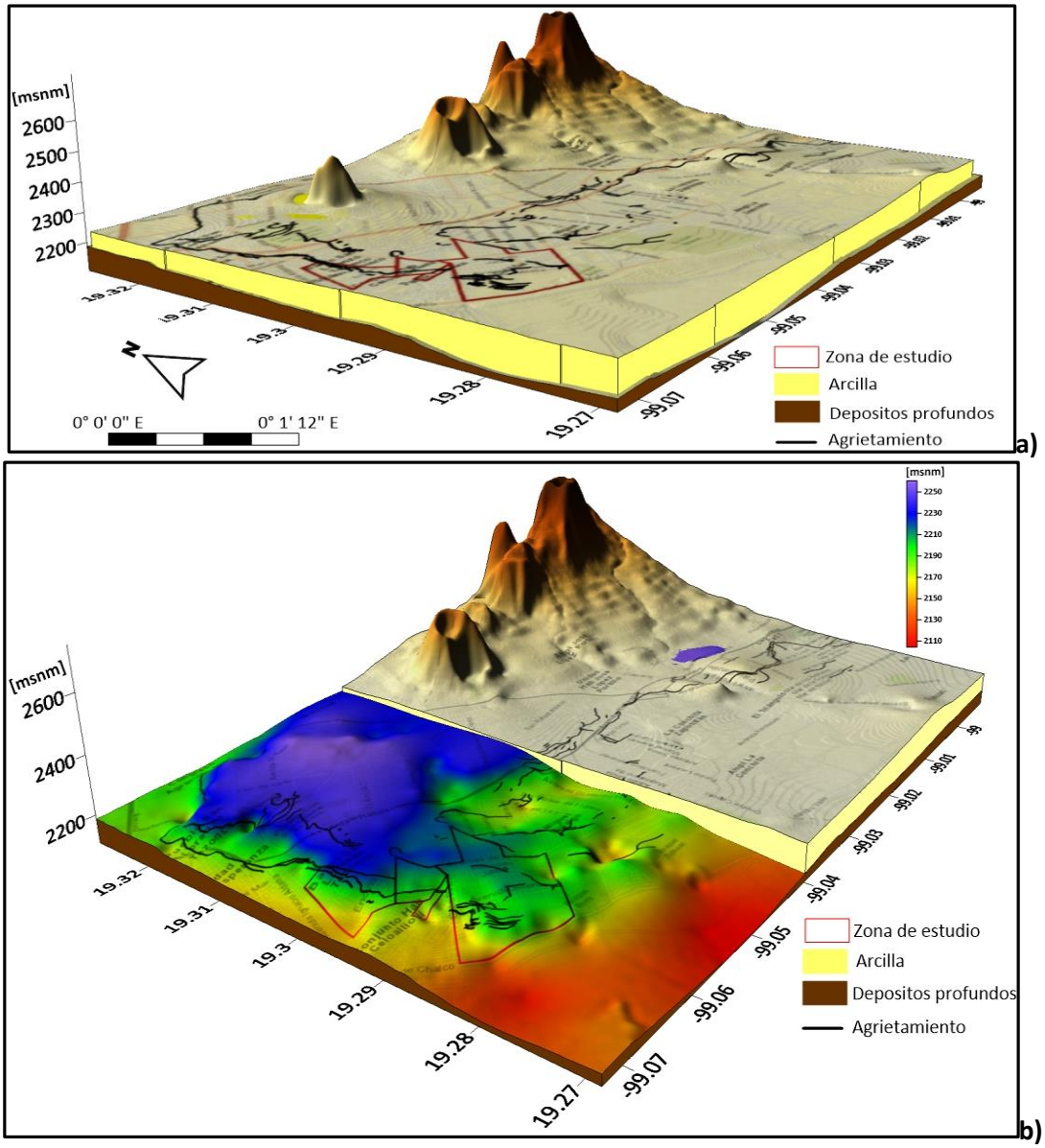


Figura 17. Modelos 3D de la zona de estudio a partir de los valores de espesor de la capa de arcilla obtenidos mediante el cociente espectral H/V. a) Modelo 3D de la Sierra de Santa

Catarina y la zona de estudio. b) Modelo 3D con un corte de la capa de arcilla para mostrar la variación de su espesor en la zona de estudio.

En los perfiles se consideran tres estratos. El primero es la capa de arcilla blanda, cuyo espesor se obtuvo por medio de la ecuación 4.4. Para el caso de los depósitos profundos, este estrato se dividió en dos de acuerdo a la interpretación que considera un derrame basáltico en la zona proveniente del volcán Yuhualixqui y al perfil de la línea 12 del metro; un estrato considerado depósitos profundos y un estrato considerado como las lavas de la Sierra de Santa Catarina.

El perfil A recorre la colonia Del Mar, pasa por los sondeos geotécnicos propuestos SM01, SM02 y SM03, y tiene una longitud mayor a los 1400 m (ver figura 13 y figura 18). Justo en donde se ubica el sondeo propuesto SM02 existe un desnivel mayor a los 40 m en los depósitos profundos. Por lo tanto, se considera que hasta este punto llegan las lavas de la Sierra de Santa Catarina y hacia el SW existe una zona de lago de mayor profundidad. Las grietas en esta zona se ubican encima de este desnivel, entre los sondeos propuestos SM02 y SM03, así que se considera que el mecanismo de agrietamiento es por transición abrupta o estructuras geológicas sepultadas. En este caso, los sondeos geotécnicos propuestos están suficientemente espaciadas para observar la transición abrupta que provoca las grietas.

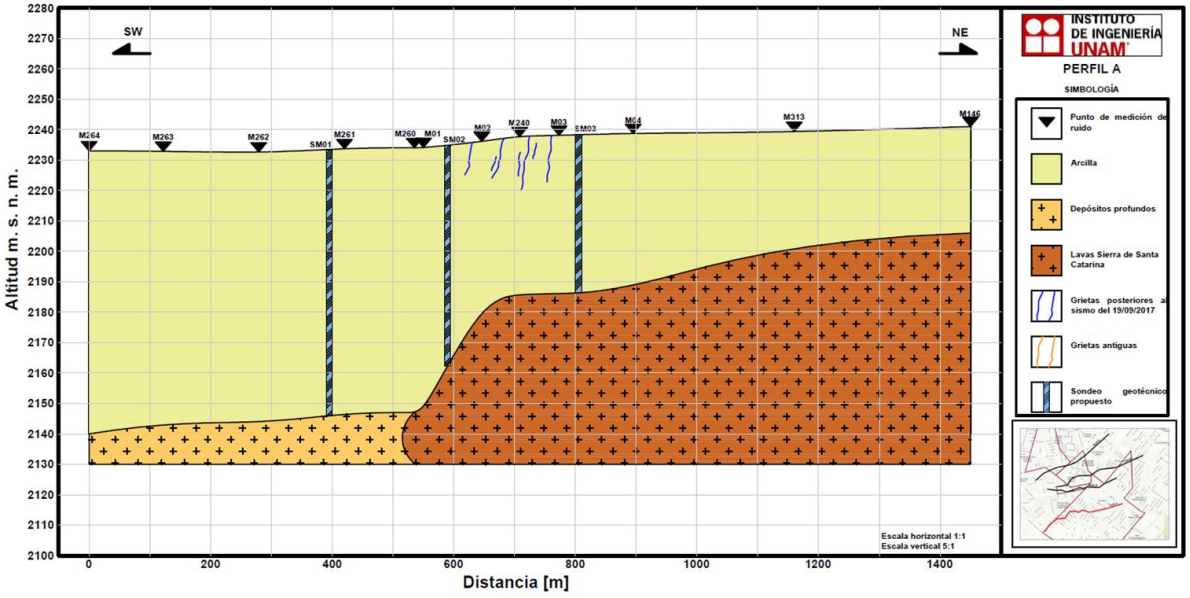


Figura 18. Perfil A en dirección SW-NE de la zona de estudio.

El perfil B parte del parque Cananea y llega hasta la colonia Del Mar; pasa por los sondeos geotécnicos propuestos SM04, SM05 y SM06. Tiene una longitud de casi 1200 m (ver figura 13 y figura 19). Este perfil también presenta un desnivel en los depósitos profundos, aunque es más suave en comparación con el desnivel del perfil A. La variación es de al menos 70 m desde el punto de medición M305, que se ubica al NE, hasta el punto de medición PC16 al SW. En este perfil se muestran las grietas aparecidas después del sismo del 19 de septiembre de 2017 y grietas antiguas que habían sido mapeadas con anterioridad. Aquí también se considera que las grietas se deben a una transición abrupta de los depósitos profundos. Se considera que las lavas de la Sierra de Santa Catarina llegan hasta donde se presenta la última grieta en dirección SW.

Se observa que la transición abrupta de los depósitos profundos no sería bien analizada por los sondeos geotécnicos propuestos debido a su cercanía, por lo que se considera que los sondeos SM04 y SM06 deberían de alejarse del sondeo SM05 al menos 200 m al SW y al NE respectivamente.

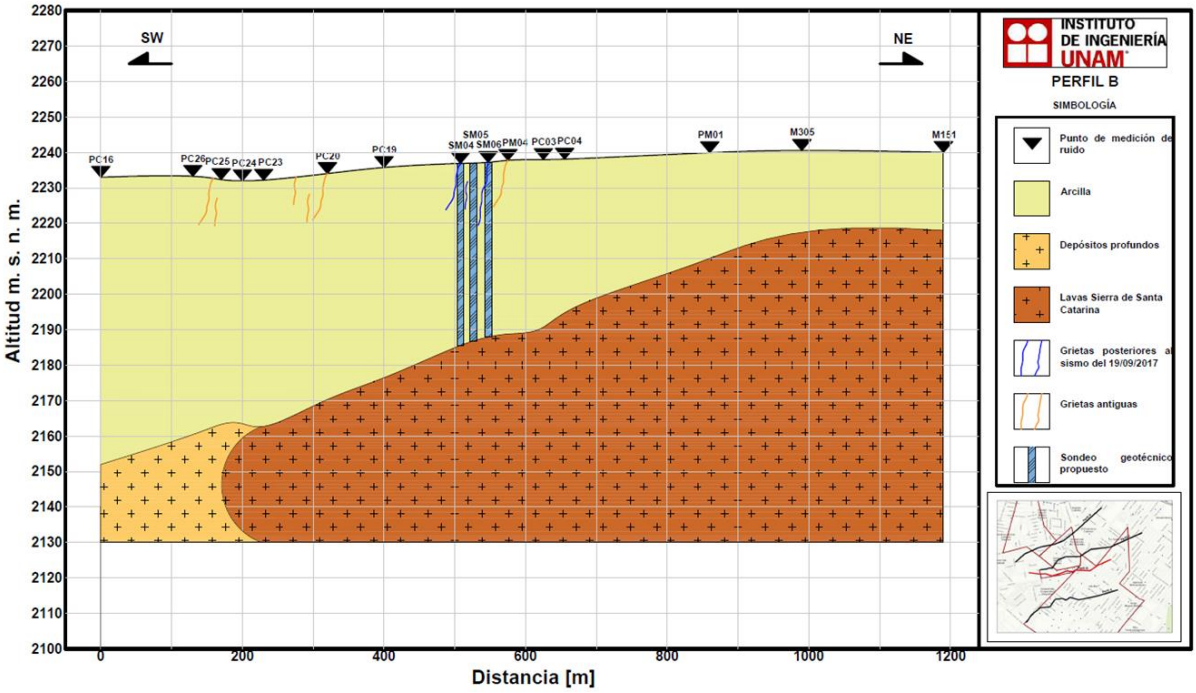


Figura 19. Perfil B en dirección SW-NE de la zona de estudio.

El perfil C recorre una parte del parque Cananea, la colonia La Planta y llega al límite norte de la colonia Del Mar, pasando por los sondeos geotécnicos propuestos SM07 y SM08. Tiene una extensión de casi 1600 m y es el perfil más largo de los cuatro (ver figura 13 y figura 20). En este perfil se aprecia claramente un cambio abrupto de los depósitos profundos justo en la zona de agrietamiento, de al menos 40 m entre los puntos de medición SM08 y PC15, y en donde se propusieron los sondeos geotécnicos. Se considera que hasta esta zona llegan las lavas de la Sierra de Santa Catarina. En este caso, los sondeos geotécnicos están muy cercanos por lo que se dificultaría ver la gran diferencia de los depósitos profundos, así que se considera que el sondeo SM07 debería estar alejado al menos 100 m al SW del sondeo SM08.

Por último, el perfil D pasa por las colonias El Molino Tezonco y La Planta, considerando los sondeos geotécnicos propuestos SM09 y SM10. Tiene una longitud mayor a los 1400 m (ver figura 13 y figura 21). La variación de los depósitos profundos en esta zona es mayor a los 30 m entre los puntos de medición SM10 y M580. Se considera que esta variación de los depósitos profundos se debe a que las lavas de la Sierra de Santa Catarina llegan hasta esta zona. En esta transición se ubican las grietas (tanto las antiguas como las posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017), por lo que se considera también que se deben a esta causa. Los sondeos propuestos también se ubican en esta transición por lo que, al estar bastante cerca uno del otro no se apreciaría muy bien la diferencia en los depósitos profundos. El sondeo SM09 debería alejarse hacia el SW hasta donde se ubica el punto de medición de ruido sísmico ambiental M582 para apreciar mejor la estratigrafía de la zona.

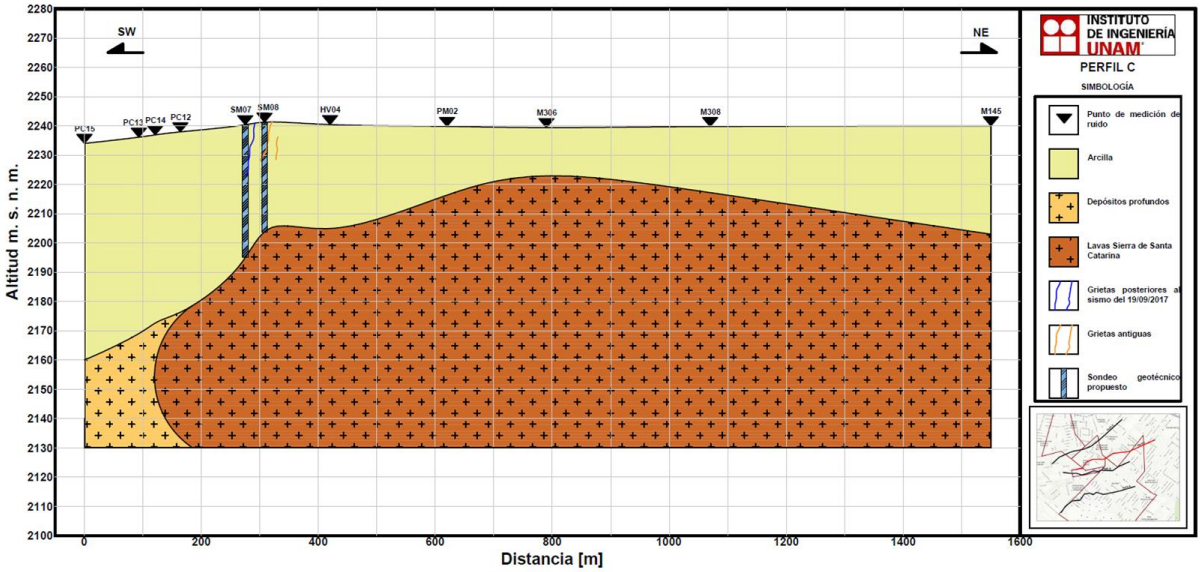


Figura 20. Perfil C en dirección SW-NE de la zona de estudio.

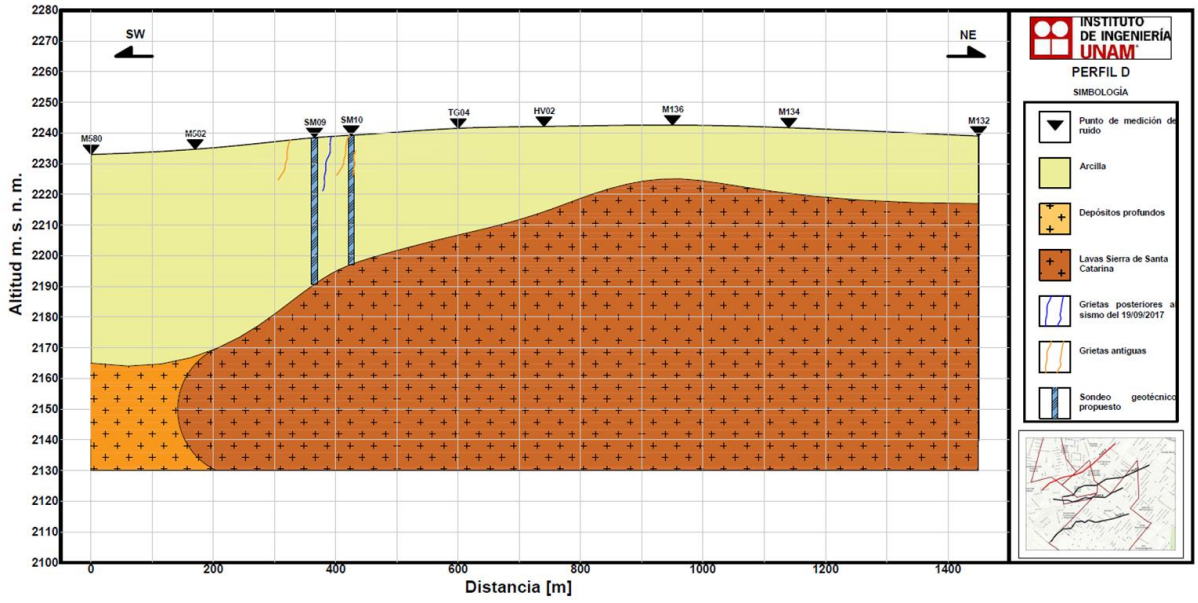


Figura 21. Perfil D en dirección SW-NE de la zona de estudio.

En general, los perfiles muestran los límites de los derrames basálticos o lavas de la Sierra de Santa Catarina, en especial del volcán Yuhualixqui, hacia el SW y W de la zona de estudio. La característica de estos límites es que existe una transición abrupta, por lo que el espesor de la capa de arcilla blanda cambia de forma drástica siendo mayor hacia el SW. En todos los perfiles se puede apreciar que hay una relación directa entre estas transiciones abruptas y los agrietamientos, tanto los antiguos como los posteriores al sismo del 19 de septiembre de 2017.

7 CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos mediante los cocientes espectrales H/V (periodo, amplificación y espesor de la capa de arcilla), así como con los perfiles realizados, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En la zona de estudio el periodo dominante de vibración del suelo muestra valores considerados de loma, transición y lago. Hacia el norte, cerca del volcán Yuhualixqui, los valores de periodo son menores a 0.5 s por lo que se considera zona de lomas. La zona de transición, es decir valores de periodo entre 0.5 y 1.0 s, es pequeña y se amplía hacia el centro. Los valores de zona de lago (periodos mayores a 1.0 s) dominan la mayor parte del área, siendo mayores hacia el SW (periodos de hasta 5.5 s). Existe una zona de transición abrupta de periodos entre 1.0 y 3.0 s al oeste, justo en donde se ubican los agrietamientos que recorren de sur a norte el área.
- La amplificación relativa no sobrepasa el valor de 5 para la mayor parte de la zona de estudio. Hay varias zonas pequeñas con amplificaciones entre 5 y 10 como las que se ubican en la colonia Del Mar y el Bosque de Tláhuac. Las mayores amplificaciones, que llegan hasta valores de 30, se ubican al SW en los límites con el antiguo lago de Xochimilco.
- Los valores de espesor de la arcilla muestran una tendencia similar a los valores de periodo dominante. Del centro hacia el norte de la zona de estudio los valores de espesor son menores a 30 m. Hacia el este hay una zona donde el espesor alcanza los 70 m. Hacia el sur y oeste el espesor es mayor a los 40 m, llegando a espesores de 135 m en dirección SW en los límites con el lago de Xochimilco. Al igual que el mapa de periodos, hay una zona al oeste en donde los espesores varían de forma drástica de 30 hasta 90 m, justo en la zona de los agrietamientos.
- En general, los perfiles muestran los límites de los derrames basálticos o lavas de la Sierra de Santa Catarina, en especial del volcán Yuhualixqui, hacia el SW y W de la zona de estudio. La característica de estos límites es que existe una transición abrupta, por lo que el espesor de la capa de arcilla blanda cambia de forma drástica siendo mayor hacia el SW.
- La mayoría de las grietas se presentan entre los periodos 1.0 y 3.0 s. Las grietas que recorren la zona de estudio de sur a norte, desde la colonia Del Mar hasta San Lorenzo Tezonco se ubican en una transición abrupta de periodos. De acuerdo a los perfiles, dicha transición abrupta de periodos se debe a una variación muy grande del espesor de la capa de arcilla, siendo mayor hacia el SW y disminuyendo hacia el NE. Por lo tanto, el mecanismo que genera las grietas de esta zona es el de transición abrupta o estructuras geológicas sepultadas. Las demás grietas también están asociadas a cambios de periodo de vibración del suelo, aunque estos no son tan drásticos.

8 RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis de los cocientes espectrales H/V se sugieren las siguientes recomendaciones para la realización de los sondeos geotécnicos en la zona de estudio:

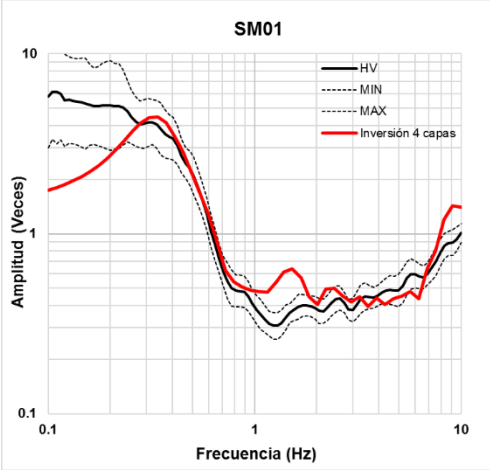
- De acuerdo al perfil A realizado, que pasa por los sondeos propuestos SM01, SM02 y SM03, la transición abrupta que existe sería bien observado por los sondeos en su posición actual por lo que no sería necesario cambiar la ubicación de la propuesta.
- De acuerdo al perfil B, que pasa por los sondeos propuestos SM04, SM05 y SM06, la variación del espesor de la capa de arcilla o la profundidad a los depósitos profundos no estaría bien definida por los sondeos debido a la cercanía entre ellos. Se recomienda en este caso recorrer los sondeos SM04 y SM06 al menos 200 hacia el SW y NE, respectivamente, para observar las características estratigráficas deseadas.
- De acuerdo al perfil C, que pasa por los sondeos propuestos SM07 y SM08, la variación del espesor de la arcilla, aunque se podría apreciar con la actual ubicación de los sondeos, no sería del todo clara. Se recomienda recorrer el sondeo SM07 al menos 100 m hacia el SW para apreciar de mejor forma las variaciones de la arcilla.
- Por último, de acuerdo al perfil D, que pasa por los sondeos propuestos SM09 y SM10, se debería de recorrer el sondeo SM09 hacia el SW al menos 100 m para apreciar de mejor manera la variación en el espesor de la capa de arcilla.

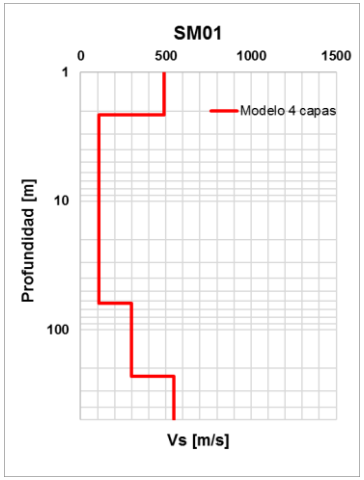
Para realizar estas recomendaciones se considera que, aparte del sismo del 19 de septiembre de 2017 Mw 7.1, la causa de las grietas es la transición abrupta de los depósitos profundos debido a los derrames basálticos provenientes de la Sierra de Santa Catarina y que generan una variación del espesor de la arcilla muy pronunciada.

9 BIBLIOGRAFÍA

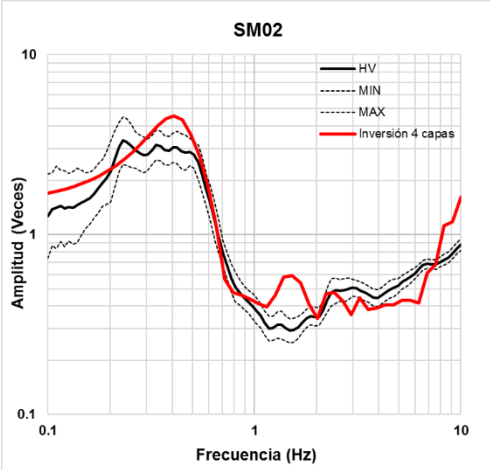
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Tláhuac, CDMX, 2014.
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Xochimilco, CDMX, 2014.
- Atlas de Peligro y/o Riesgos de la Delegación Xochimilco 2015, SEDATU, PRAH, I Geofísica, UNAM, junio 2016.
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Iztapalapa, CDMX, 2014.
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Milpa Alta, CDMX, 2014.
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Tlalpan, CDMX, 2014.
- Atlas de Peligro y Riesgos de la Ciudad de México, Actualización de los Mapas de Riesgo, Delegación Coyoacán, CDMX, 2014.
- Auvinet, G., Méndez, E., y Juárez, M. 2013. *Soil fracturing induced by land subsidence in Mexico City*. Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. París.
- Auvinet, G., Méndez, E., y Juárez, M. 2017. *El subsuelo de la Ciudad de México. Vol. III.*
- Díaz-Rodríguez, J. A. 2011. *Los suelos lacustres de la Ciudad de México*. Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil. Vol. 6(2).
- IINGEN. 2017. *Parámetros del movimiento del suelo sismo de Puebla-Morelos (Mw 7.1) 19 de septiembre de 2017.* Reporte preliminar del Instituto de Ingeniería.
- Lermo, J., Chávez-García, F. J. 1993. *Site effect evaluation using spectral ratios with only one station*. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 83, No. 5, pp. 1574-1594.
- Lermo, J., Chávez-García, F. J. 1994. *Are microtremors useful in site response evaluation?* Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No. 5, pp. 1350-1364.
- Lermo, J., Santoyo, M. A., Jaimes, M. A., Antayhua, Y., y Chavacan, M. 2016. *Local Earthquakes of the Mexico Basin in Mexico City: κ, Q, Source Spectra, and Stress Drop.* Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 106, No.4, pp. 1423-1437.
- Martínez-González, J. A. 2011. *Evaluación de las grietas de la Cuenca de México originadas por la morfología de la roca basal usando mediciones de microtremores*. Tesis de Licenciatura para obtener el grado de Ingeniero Geofísico.
- Martínez-González, J. A. 2015. *Avances en la zonificación sísmica de la Ciudad de México y zona de Chalco, Edo. De Méx., propuesta de nuevo mapa de periodos dominantes para las NTC para diseño por sismo del reglamento del D.F.* XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Mooser, F. 2018. *Geología del Valle de México y otras regiones del país.* Colegio de Ingenieros Civiles de México.
- SESAME. 2004. *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation*. European Research Project.
- SSN. 2017. *Sismo del día 19 de septiembre de 2017, Puebla-Morelos (M 7.1).* Reporte especial.

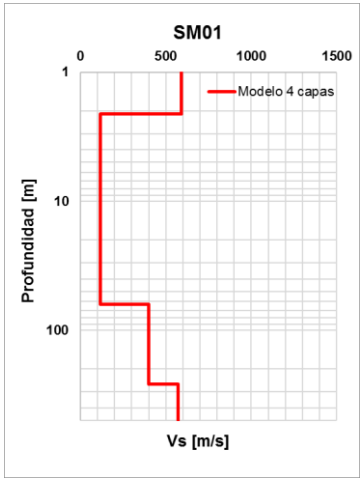
10 Anexo A



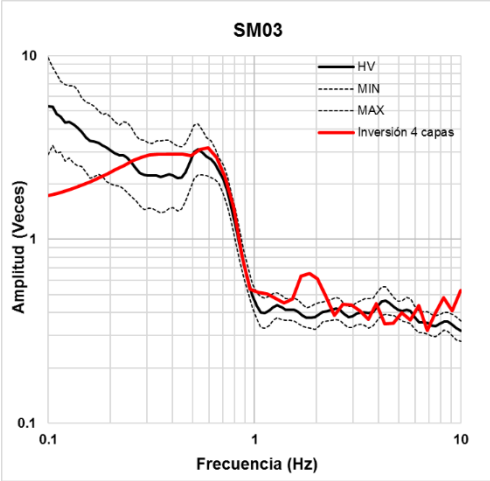


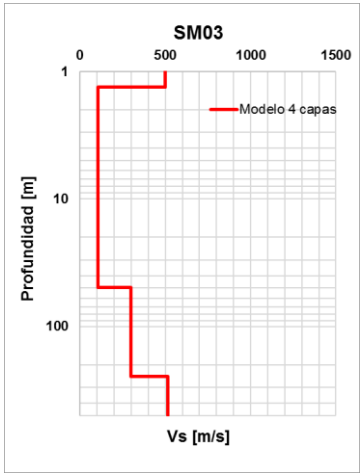
Modelo 4 capas SM01		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	2.14	499.93
2	59.92	109.17
3	167.38	300.08
4	-	546.75



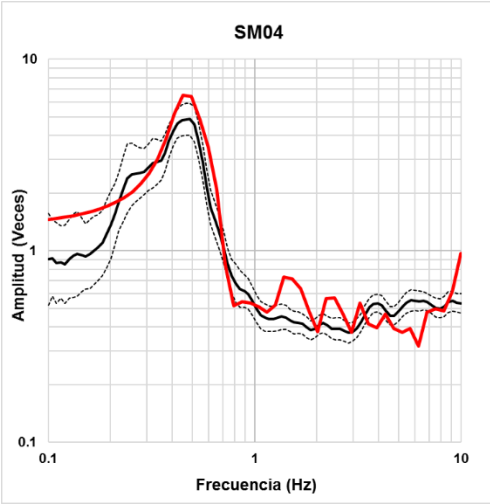


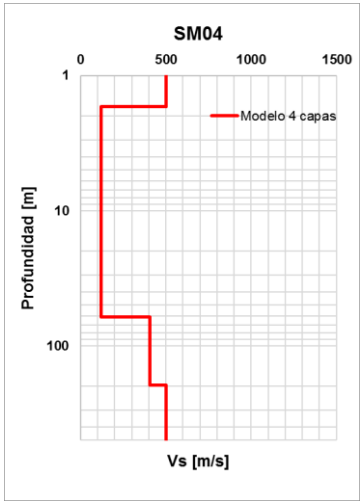
Modelo 4 capas SM02		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	2.11	590.74
2	61.03	117.16
3	199.87	300
4	-	572.49



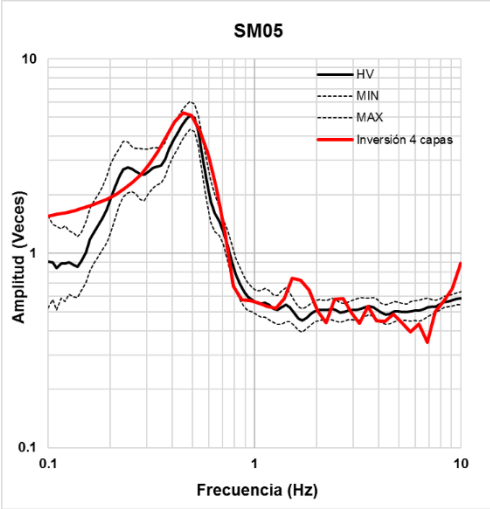


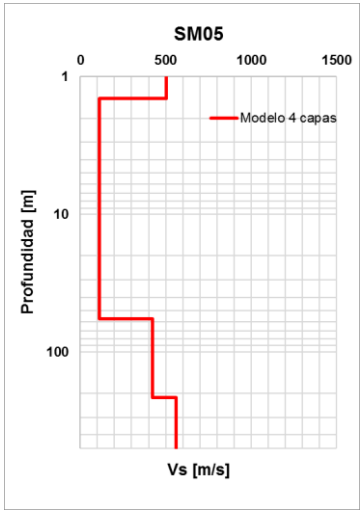
Modelo 4 capas SM03		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	1.13	499.24
2	48.3	106.24
3	198.0	300
4	-	503.14



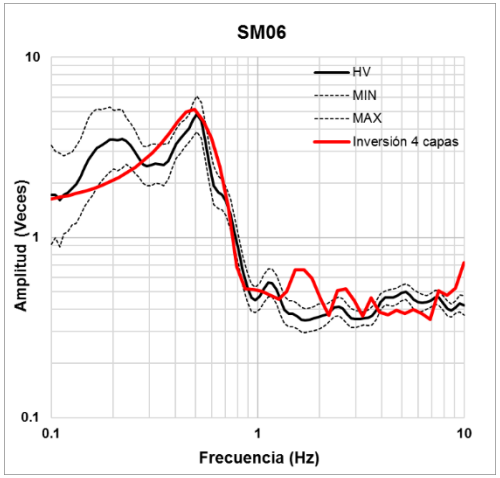


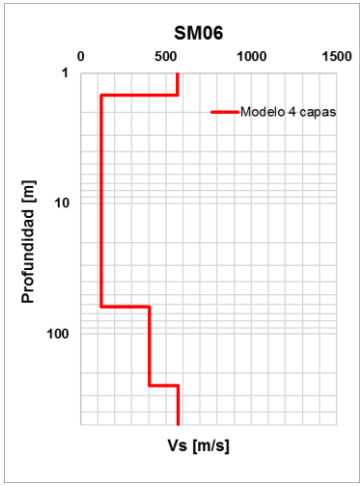
Modelo 4 capas SM04		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	1.7	499.97
2	59.11	118.28
3	134.39	407.54
4	-	500



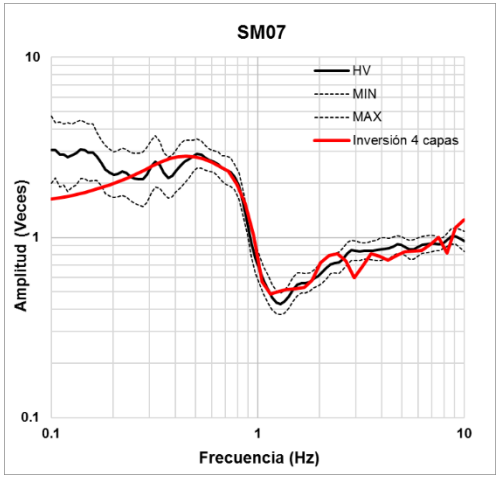


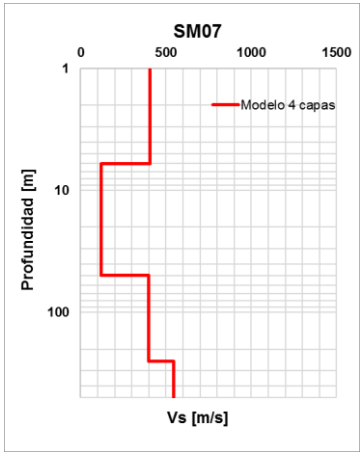
Modelo 4 capas SM05		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	1.44	503.97
2	56.1	111.02
3	157.25	423.84
4	-	599.38



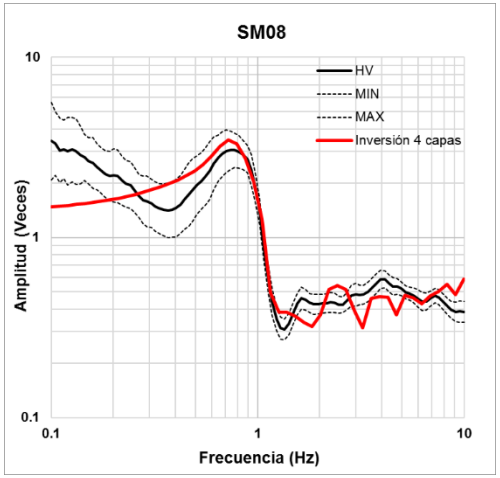


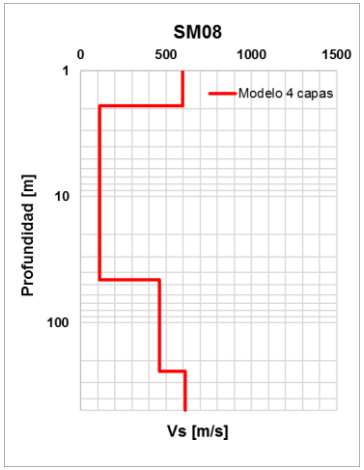
Modelo 4 capas SM06		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	1.48	568.81
2	60.66	119.6
3	186.84	402.89
4	-	570.59



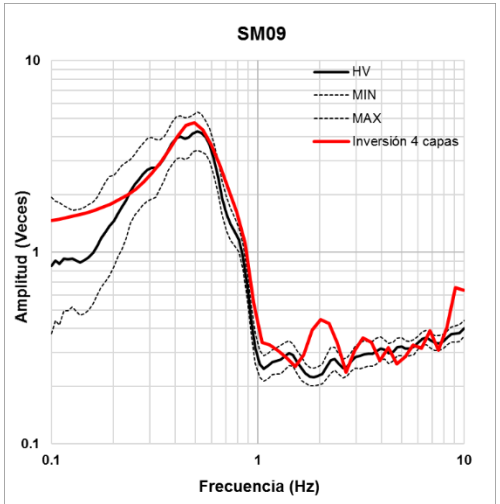


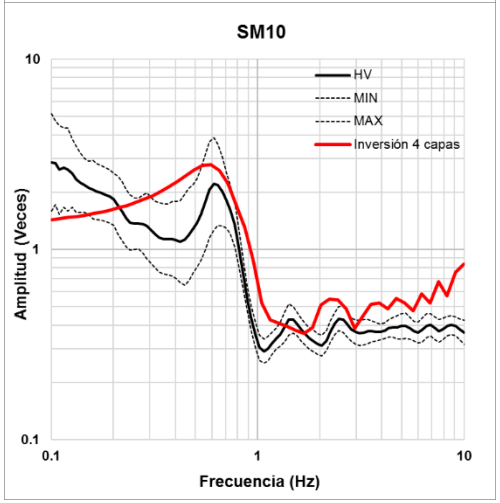
Modelo 4 capas SM07		
Capa	Espesor [m]	Vs [m/s]
1	6.01	406.55
2	45.55	119.83
3	199.54	400.03
4	-	544.09

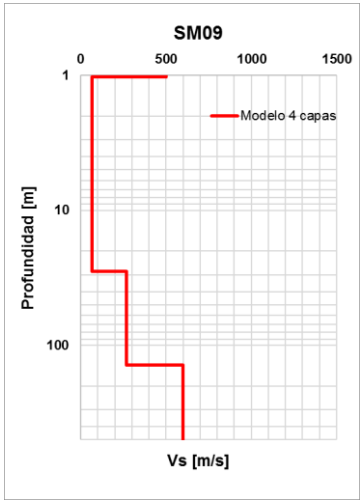


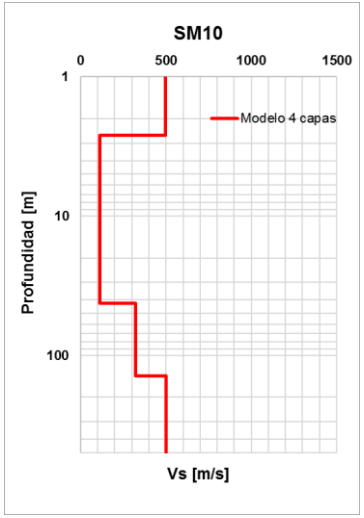


Modelo 4 capas SM08		
Capa	Espesor [m]	Vs [m/s]
1	1.9	596.84
2	44.11	110.57
3	198.11	460.91
4	-	614.21









Modelo 4 capas SM09		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	1.03	498.64
2	27.32	68.33
3	111.18	267.91
4	-	599.96

Modelo 4 capas SM10		
Capa	**Espesor [m]**	**Vs [m/s]**
1	2.63	498.73
2	39.52	112.84
3	99.11	323.45
4	-	499.82

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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
CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

ANEXO D

NOTAS TÉCNICAS

Relación de Notas Técnicas elaboradas por el II-UNAM.

Nota Técnica	Título	Fecha de entrega
NT G-01	Propuesta de exploración en sitios con presencia de grietas en el suelo	01/02/2019
NT G-02	Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento	27/02/2019
NT G-03	Cédula de revisión Geotécnica-Estructural	26/02/2019
NT G-04	Propuesta de predios a revisar en la colonia La Planta	26/02/2019
NT G-05	Predios para revisión geotécnica – estructural en la colonia Del Mar	19/03/2019
NT G-06	Visita Técnica al predio ubicado en Francisco Landino No. 24	19/03/2019
NT G-07	Predios para revisión geotécnica – estructural en la colonia Villa Centroamericana, Alcaldía de Tláhuac	31/07/2019
NT G-08	Aspectos a considerar para la revisión de los dictámenes Geo-Estructurales	02/08/2019
NT G-09	Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón	03/10/2019
NT G-10	Guía para el llenado de la cédula de revisión Geotécnica-Estructural de las edificaciones dañadas por sismo o grieta	18/09/2019
NT G-11	Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Del Mar	06/11/2019
NT G-12	Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en el Deportivo Cananea	06/11/2019
NT G-13	Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia La Planta	06/11/2019
NT G-14	Revisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Molino Tezonco	06/11/2019
NT G-15	Inspección del predio ubicado en calzada Ignacio Zaragoza esquina con Sentimientos de la Nación, col. Santa Martha Acatitla Norte	23/10/2019
NT G-16	Inspección del predio ubicado en Canal de Chalco y Damiana, Alcaldía de Iztapalapa	23/10/2019
NT G-17	Inspección de los predios ubicados en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe, col. Villa Centroamericana, Tláhuac	11/11/2019
NT G-18	Ampliación de los alcances de la Nota Técnica G-01	pendiente

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 01 de febrero de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Propuesta de exploración geotécnica para las zonas afectadas por grietas.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-01 "*Propuesta de exploración en sitios con presencia de grietas en el suelo*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-01, se detallan los trabajos de campo y laboratorio relativos a los trabajos de exploración e instrumentación geotécnica propuestos.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
06 / febrero / 2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-01
PROPUESTA DE EXPLORACIÓN EN SITIOS CON PRESENCIA DE GRIETAS EN EL SUELO

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Febrero, 2019

PROPUESTA DE EXPLORACIÓN EN SITIOS CON PRESENCIA DE GRIETAS EN EL SUELO

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causado por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario, como primera etapa, realizar una exploración geotécnica del subsuelo que permita un mejor entendimiento del fenómeno a gran escala y su modelación numérica para evaluación de su evolución a mediano y corto plazo. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una propuesta de exploración geotécnica. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se plantea una propuesta de exploración e instrumentación geotécnica para varios sitios con presencia de grietas consideradas como representativas de las existentes en las zonas afectadas.

2. PROGRAMA DE EXPLORACIÓN E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Con el propósito de conocer con detalle las características estratigráficas y propiedades del subsuelo es necesario realizar una campaña de exploración e instrumentación geotécnica de detalle en los sitios donde se ubican las grietas consideradas como representativas en las Alcaldías de Tláhuac (col. Del Mar) e Iztapalapa (Deportivo Cananea, col. La Planta y col. El Molino Tezonco). Para tal fin, se propone el siguiente programa de exploración e instrumentación geotécnica.

2.1 Colonia Del Mar

Para la colonia del Mar se propone realizar los siguientes trabajos de exploración e instrumentación geotécnica.

a) Trabajos de campo

Se propone realizar tres sondeos tipo mixto (SM-1, SM-2 y SM-3), con recuperación de muestras inalteradas en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades, y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu-1, CPTu-2 y CPTu-3) con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro en los principales estratos del subsuelo, Los sondeos CPTu se realizarán a un costado de los sondeos de tipo mixto para poder establecer correlaciones entre ambos tipos de sondeos. La profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). La ubicación propuesta de los sondeos se indica en Figura 1. En campo deberá determinarse la ubicación precisa de cada sondeo, así como, la elevación del brocal y del NAF.

Por otra parte, con el propósito de conocer la evolución del hundimiento regional, se propone instalar, dentro del predio del *Instituto de Educación Media superior Plantel José María Morelos y Pavón*, un Banco de Nivel Profundo (BNP) desplantado en los DP e instalar Bancos de Nivel Superficiales (BNS) y referencias superficiales a lo largo de los ejes definidos por los sondeos, los cuales deberán ser nivelados periódicamente tomando como referencia el BNP. Las referencias deberán además permitir la evaluación detallada de los movimientos verticales de la superficie del suelo en el cruce de este eje con las grietas.

Se realizarán además pruebas de medición del periodo natural de vibración del subsuelo a aplicando la técnica de Nakamura en puntos ubicados a lo largo del eje de exploración por lo menos a cada 50m y en forma sistemática a ambos lados de los labios de las grietas que cruzan dicho eje.

Se sugiere también, en la medida de lo posible, realizar una prueba dinámica de tipo Sonda Suspendida (SVs) para medir la velocidad de propagación de ondas de cortante en el subsuelo.

b) Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio tienen por objeto conocer las propiedades índice y mecánicas de los suelos, a partir de las muestras recuperadas en los sondeos de muestreo. Los trabajos necesarios que deberán considerarse son:

- *Clasificación e identificación de los suelos,* permitirá obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterados e inalterados).

- *Determinación del contenido de agua*, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.

- *Límites de consistencia*, junto con el contenido de agua, se determinarán el límite líquido y límite plástico a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Peso volumétrico natural*, a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Pruebas de consolidación unidimensional*, a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles.

- *Ensayes triaxiales en muestras inalteradas*, se determinará a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles. Estas pruebas permitirán obtener los parámetros de resistencia del suelo en ensayes tipo UU. De cada muestra inalterada se ensayará una serie de tres probetas en condiciones UU.

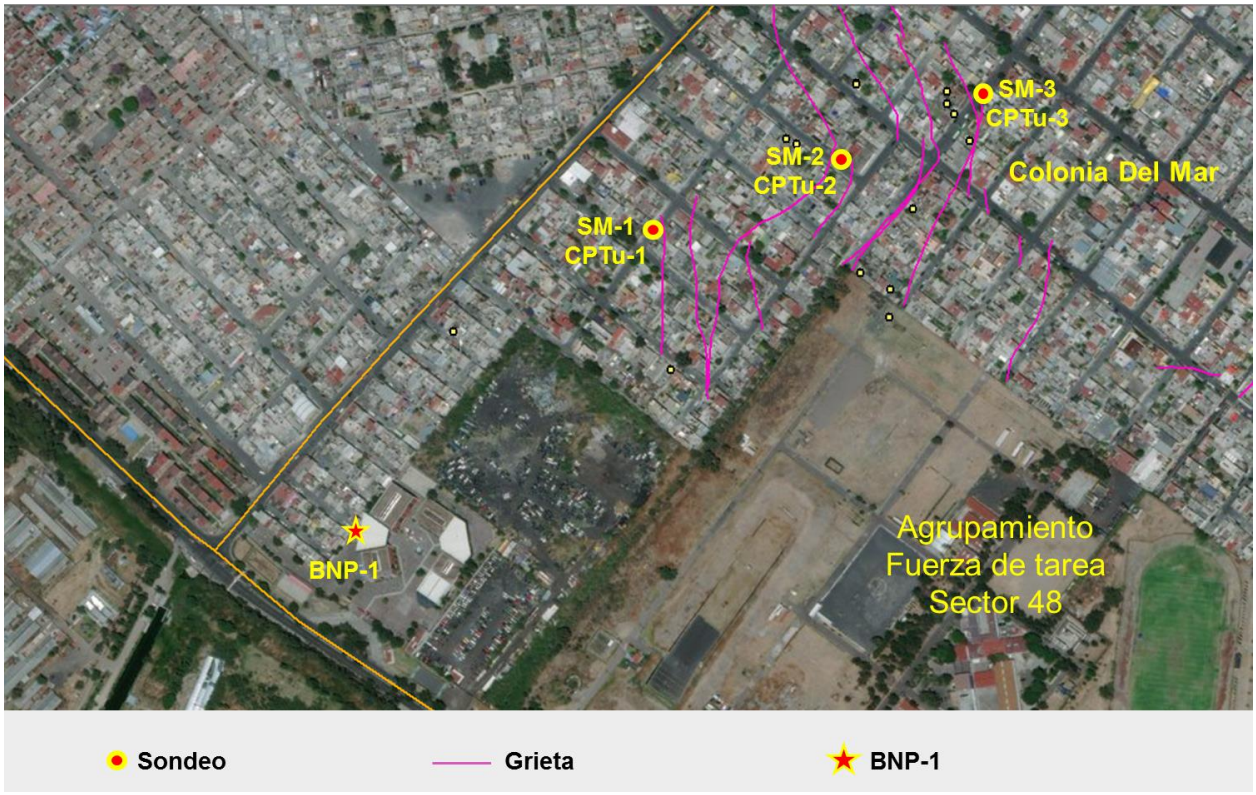


Fig. 1 Ubicación aproximada de los sondeos y BNP en la colonia *Del Mar.*

2.2 Deportivo Cananea

Para el sitio del Deportivo Cananea, se propone realizar los siguientes trabajos de exploración e instrumentación geotécnica.

a) Trabajos de Campo

Se propone realizar tres sondeos tipo mixto (SM-4, SM-5 y SM-6) con recuperación de muestras inalteradas en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades, y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu-4, CPTu-5 y CPTu-6) con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro en los principales estratos del subsuelo, Los sondeos CPTu se realizarán a un costado de los sondeos de tipo mixto para poder establecer correlaciones entre ambos tipos de sondeos. La profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). La ubicación propuesta de los sondeos se indica en Figura 2. En campo deberá determinarse la ubicación precisa de cada sondeo, así como, la elevación del brocal y del NAF.

Por otra parte, con el propósito de conocer la evolución del hundimiento regional, se propone instalar, Bancos de Nivel Superficiales (BNS) y referencias superficiales en los sitios donde se ubiquen los sondeos, los cuales deberán ser nivelados periódicamente tomando como referencia el BNP que se instalará dentro del predio *Instituto de Educación Media superior Plantel José María Morelos y Pavón*. Las referencias deberán además

permitir la evaluación detallada de los movimientos verticales de la superficie del suelo en el cruce de este eje con las grietas.

Se realizarán además pruebas de medición del periodo natural de vibración del subsuelo aprovechando el ruido ambiental y aplicando la técnica de Nakamura en puntos ubicados a lo largo del eje de exploración por lo menos a cada 50m y, en forma sistemática, a ambos lados de los labios de las grietas que cruzan dicho eje.

Se sugiere también, en la medida de lo posible, realizar una prueba dinámica de tipo Sonda Suspendida (SVs) para medir la velocidad de propagación de ondas de cortante en el subsuelo.

b) trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio tienen por objeto conocer las propiedades índice y mecánicas de los suelos, a partir de las muestras recuperadas en los sondeos de muestreo. Los trabajos necesarios que deberán considerarse son:

- *Clasificación e identificación de los suelos,* permitirá obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterados e inalterados).

- *Determinación del contenido de agua*, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.

- *Límites de consistencia*, junto con el contenido de agua, se determinarán el límite líquido y límite plástico a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Peso volumétrico natural*, a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Pruebas de consolidación unidimensional*, a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles.

- *Ensayes triaxiales en muestras inalteradas*, se determinará a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles. Estas pruebas permitirán obtener los parámetros de resistencia del suelo en ensayes tipo UU. De cada muestra inalterada se ensayará una serie de tres probetas en condiciones UU.

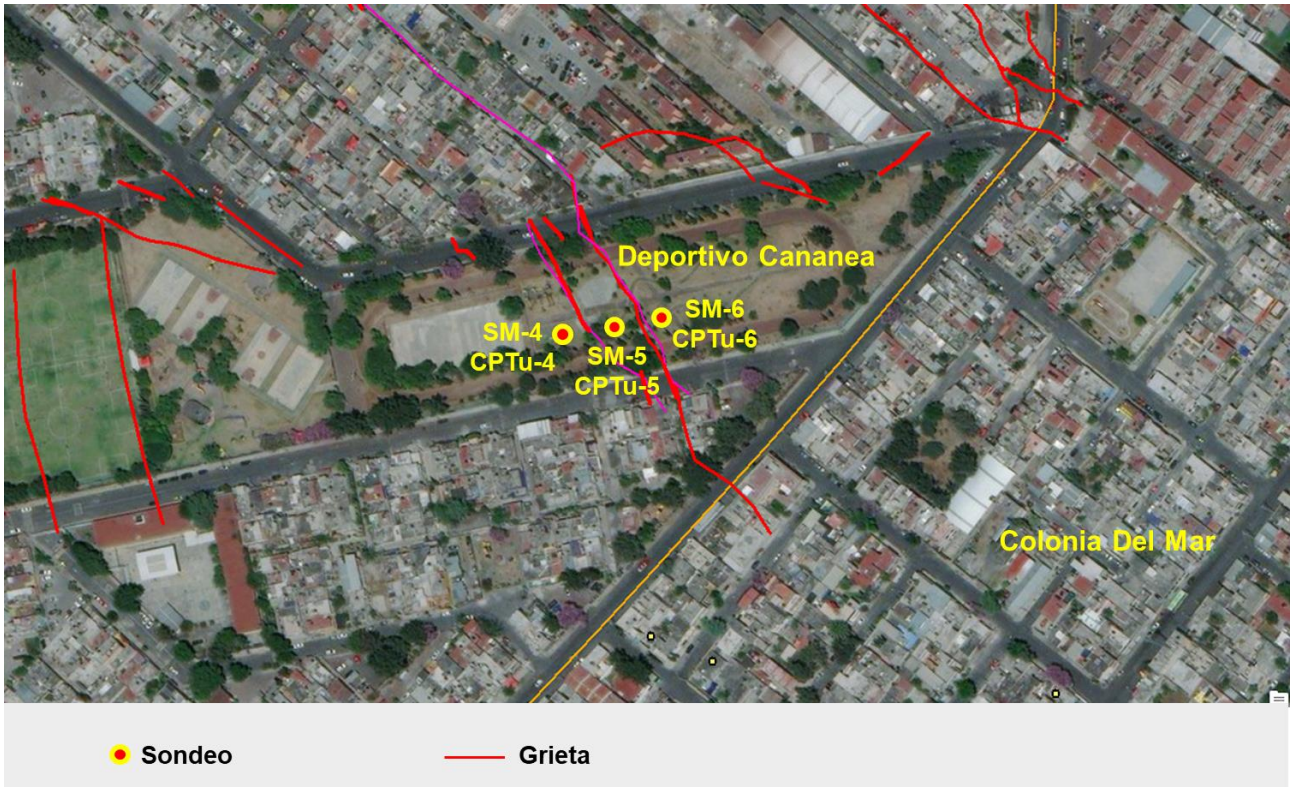


Figura 2. Ubicación aproximada de los sondeos en el *Deportivo Cananea*.

2.3 Colonia La Planta

Para el sitio de la colonia *La Planta*, se propone realizar los siguientes trabajos de exploración e instrumentación geotécnica.

a) Trabajos de Campo

Se propone realizar tres sondeos tipo mixto (SM-7 y SM-8) con recuperación de muestras inalteradas en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades, y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu-7 y CPTu-8) con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro en los principales estratos de subsuelo, Los sondeos CPTu se realizarán a un costado de los sondeos de tipo mixto para poder establecer correlaciones entre ambos tipos de sondeos. La profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). La ubicación propuesta de los sondeos se indica en Figura 3. En campo deberá determinarse la ubicación precisa de cada sondeo, así como, la elevación del brocal y del NAF.

Por otra parte, con el propósito de conocer la evolución del hundimiento regional, se propone instalar, dentro del predio del *Instituto de Educación Media superior Plantel José María Morelos y Pavón*, un Banco de Nivel Profundo (BNP) desplantado en los DP e instalar Bancos de Nivel Superficiales (BNS) y referencias superficiales a lo largo de los ejes definidos por los sondeos, los cuales deberán ser nivelados periódicamente tomando como

referencia el BNP. Las referencias deberán además permitir la evaluación detallada de los movimientos verticales de la superficie del suelo en el cruce de este eje con las grietas.

Se realizarán además pruebas de medición del periodo natural de vibración del subsuelo aprovechando el ruido ambiental y aplicando la técnica de Nakamura en puntos ubicados a lo largo del eje de exploración por lo menos a cada 50m y, en forma sistemática, a ambos lados de los labios de las grietas que cruzan dicho eje.

Se sugiere también, en la medida de lo posible, realizar una prueba dinámica de tipo Sonda Suspendida (SVs) para medir la velocidad de propagación de ondas de cortante en el subsuelo.

b) trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio tienen por objeto conocer las propiedades índice y mecánicas de los suelos, a partir de las muestras recuperadas en los sondeos de muestreo. Los trabajos necesarios que deberán considerarse son:

- *Clasificación e identificación de los suelos,* permitirá obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterados e inalterados).

- *Determinación del contenido de agua*, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.

- *Límites de consistencia*, junto con el contenido de agua, se determinarán el límite líquido y límite plástico a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Peso volumétrico natural*, a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Pruebas de consolidación unidimensional*, a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles.

- *Ensayes triaxiales en muestras inalteradas*, se determinará a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles. Estas pruebas permitirán obtener los parámetros de resistencia del suelo en ensayes tipo UU. De cada muestra inalterada se ensayará una serie de tres probetas en condiciones UU.

Figura 3. Ubicación aproximada de los sondeos en la colonia *La Planta*.

2.4 Colonia Molino Tezonco

Para el sitio de la col. *Molino Tezonco*, se propone realizar los siguientes trabajos de exploración e instrumentación geotécnica.

a) Trabajos de Campo

Se propone realizar tres sondeos tipo mixto (SM-9 y SM-10) con recuperación de muestras inalteradas en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades, y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu-9 y CPTu-10) con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro en los principales estratos de subsuelo, Los sondeos CPTu se realizarán a un costado de los sondeos de tipo mixto para poder establecer correlaciones entre ambos tipos de sondeos. La profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). La ubicación propuesta de los sondeos se indica en Figura 4. En campo deberá determinarse la ubicación precisa de cada sondeo, así como, la elevación del brocal y del NAF.

Por otra parte, con el propósito de conocer la evolución del hundimiento regional, se propone instalar, dentro del predio del *Instituto de Educación Media superior Plantel José María Morelos y Pavón*, un Banco de Nivel Profundo (BNP) desplantado en los DP e instalar Bancos de Nivel Superficiales (BNS) y referencias superficiales a lo largo de los ejes definidos por los sondeos, los cuales deberán ser nivelados periódicamente tomando como referencia el BNP. Las referencias deberán además permitir la evaluación detallada de los movimientos verticales de la superficie del suelo en el cruce de este eje con las grietas.

Se realizarán además pruebas de medición del periodo natural de vibración del subsuelo aprovechando el ruido ambiental y aplicando la técnica de Nakamura en puntos ubicados a lo largo del eje de exploración por lo menos a cada 50m y, en forma sistemática, a ambos lados de los labios de las grietas que cruzan dicho eje.

b) Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio tienen por objeto conocer las propiedades índice y mecánicas de los suelos, a partir de las muestras recuperadas en los sondeos de muestreo. Los trabajos necesarios que deberán considerarse son:

- *Clasificación e identificación de los suelos,* permitirá obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterados e inalterados).

- *Determinación del contenido de agua*, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.

- *Límites de consistencia*, junto con el contenido de agua, se determinarán el límite líquido y límite plástico a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Peso volumétrico natural*, a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.

- *Pruebas de consolidación unidimensional*, a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles.

- *Ensayes triaxiales en muestras inalteradas*, se determinará a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles. Estas pruebas permitirán obtener los parámetros de resistencia del suelo en ensayes tipo UU. De cada muestra inalterada se ensayará una serie de tres probetas en condiciones UU.

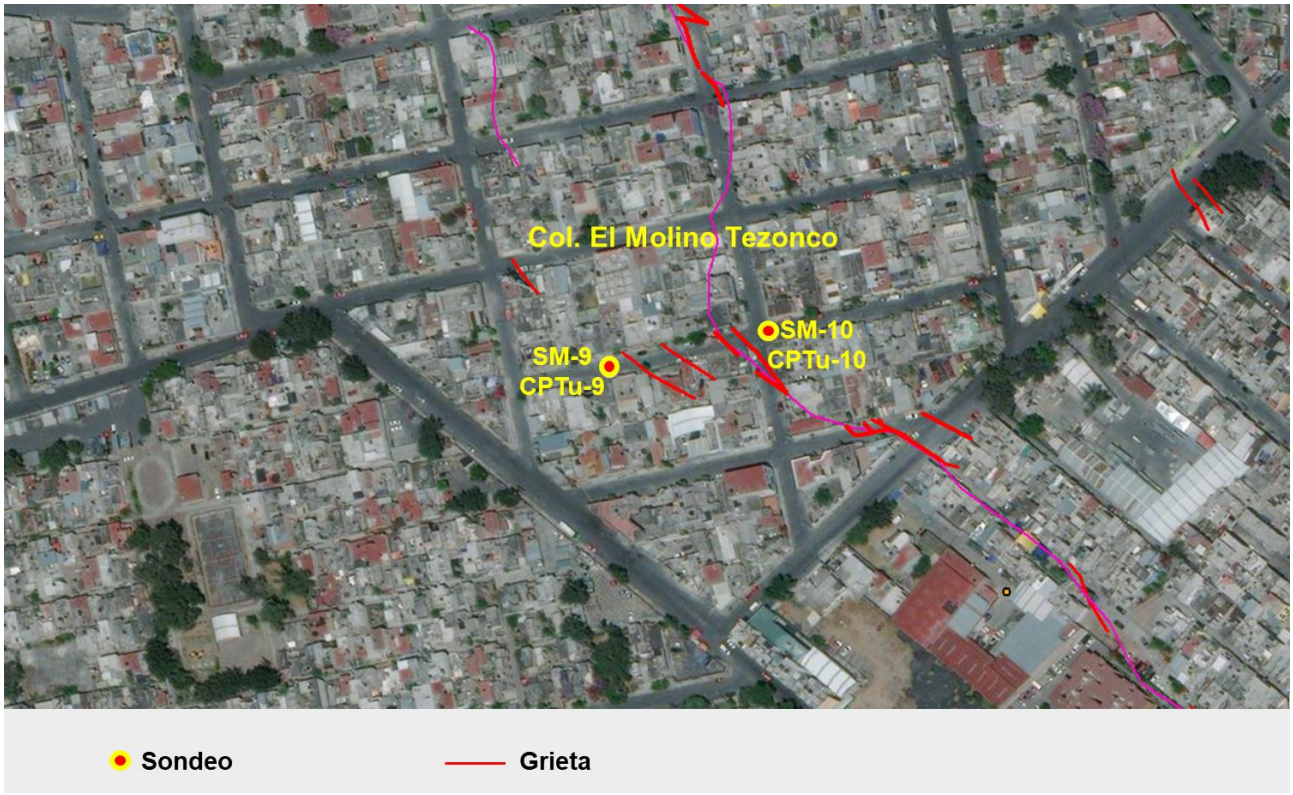


Figura 4. Ubicación aproximada de los sondeos en el *Molino Tezonco*.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 27 de febrero de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Propuestas de cimentación para edificaciones en zonas de agrietamiento.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "V*ulnerabilidad de edificaciones con base a la caracterización geotécnica del agrietamiento del suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y su impacto en las edificaciones de dichas demarcaciones*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-02 "*Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-02, se evalúan las soluciones de cimentación para nuevas edificaciones en presencia de grietas en el suelo.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
06/marzo/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-02
Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento

Elaborada para:
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Jesús Sánchez Guzmán

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

19 de febrero, 2019

Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento

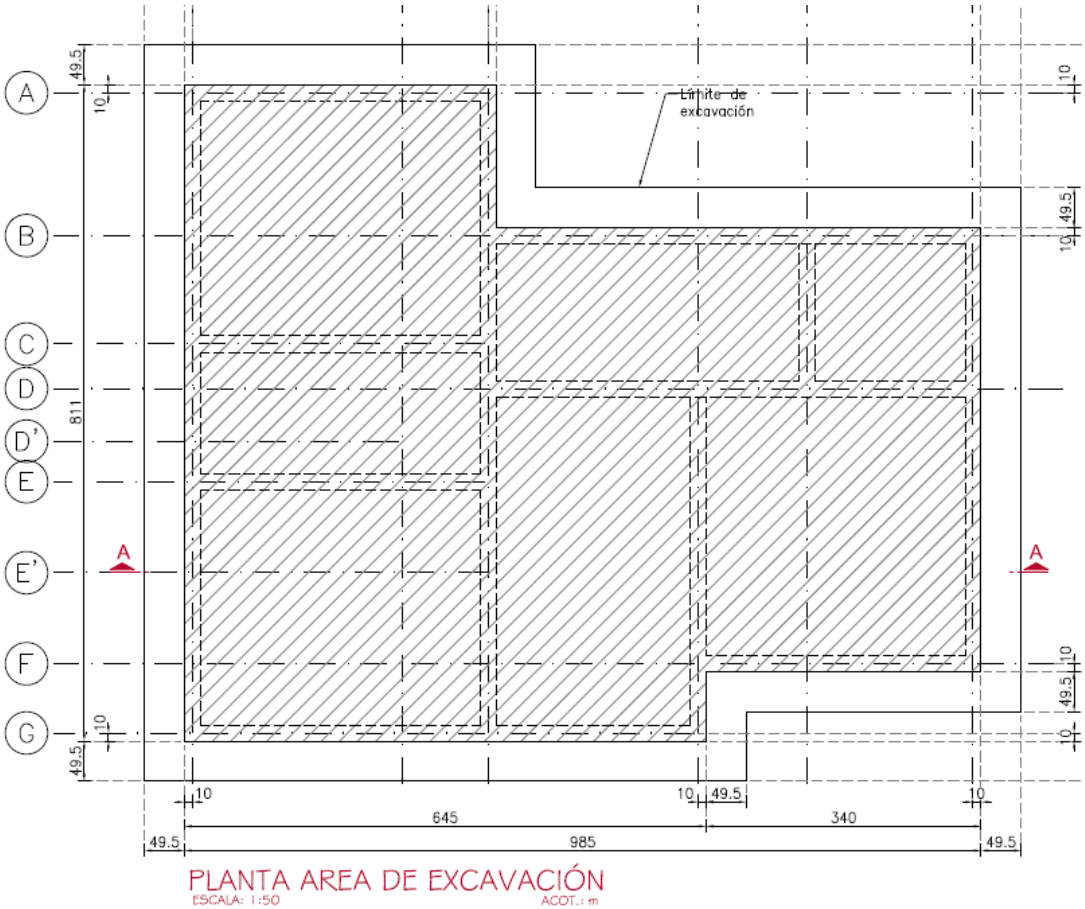
1. Antecedentes

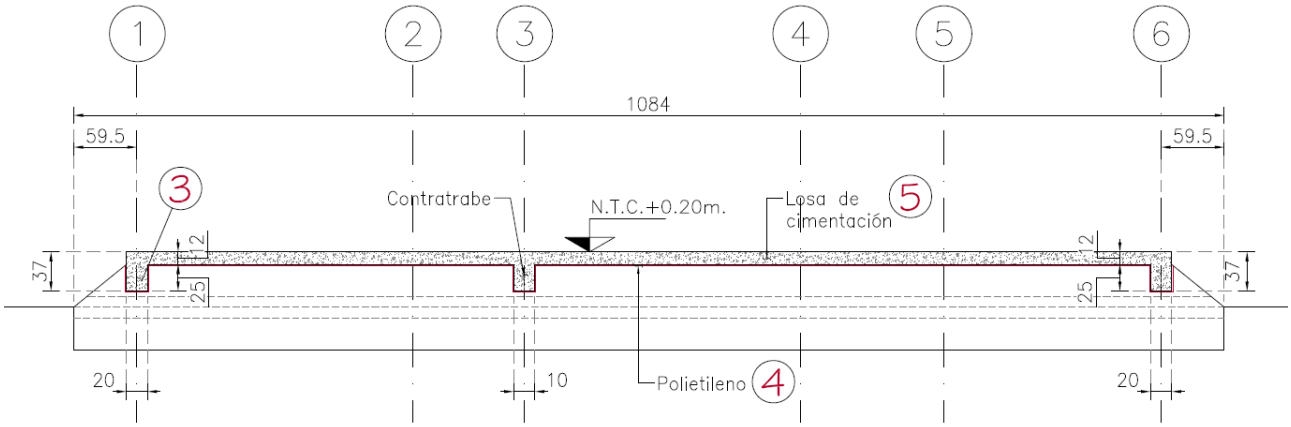
La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

El Instituto para la Seguridad de Construcciones ha recibido un proyecto para construcciones unifamiliares y Duplex (Ref. 1 y 2). A solicitud del ISC, el Instituto de Ingeniería presenta a continuación sus comentarios a la solución propuesta para la cimentación

2. Solución de cimentación propuesta

La solución propuesta en las Ref 1 y 2 se muestra en la Fig. 1





(2) Mejoramiento de suelo;
Capa 1.– colocación y compactación de tezontle en greña, espesor de capa 30 cm.
Capa 2.– colocación y compactación de tezontle tamaño máximo 1", espesor de capa 20 cm.
Capa 3.– colocación y compactación de tepetate arenoso (menos del 40% de finos plásticos), espesor de capa 30 cm.

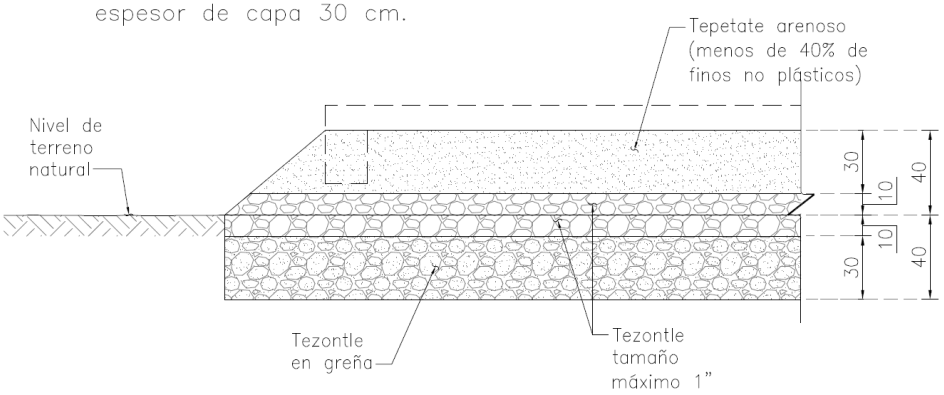


Fig. 1 Solución de cimentación propuesta (Ref. 1 y 2)

3. Comentarios

El concepto de cimentación propuesto parece en general adecuado. En efecto, la capa de material granular de la cimentación ayudará a mitigar los efectos de una grieta potencial o ya existente. Sin embargo, se sugieren algunos ajustes. Debe distinguirse entre terrenos sin grieta y con grieta.

3.1 Predio sin grieta (Fig. 2)

En este caso es recomendable ajustar el diseño en la forma siguiente:

a) Es preferible sustituir el tezontle en greña por arena para concreto (ASTM C33)
b) En caso de usar el tezontle en greña, debe colocarse un geotextil no tejido en los contactos tezontle-suelo y tezontle-tepetate
c) La losa de cimentación deberá tener un espesor de por lo menos 15cm
d) Su armado estará constituido por dos parrillas #3 @ 20cm para darle mayor ductilidad en caso de que surja alguna grieta

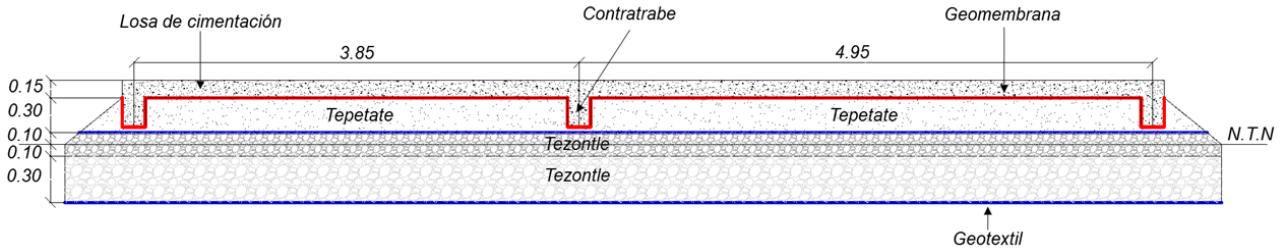
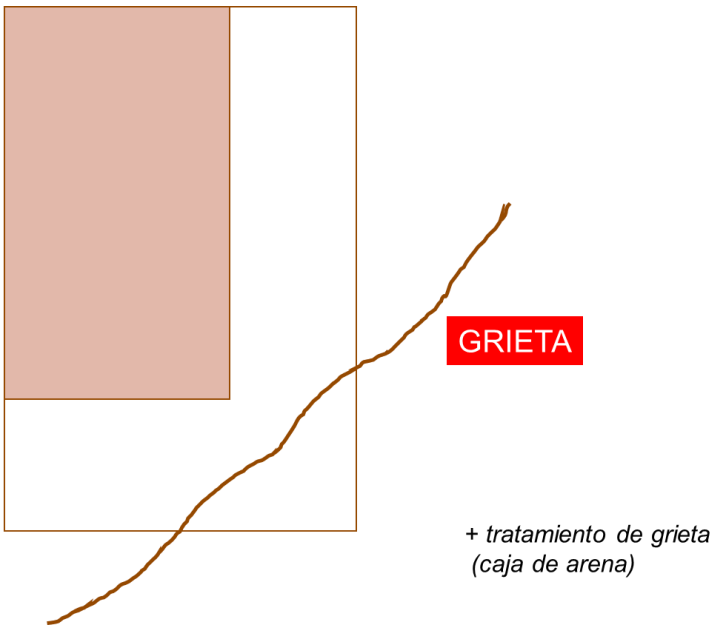


Fig. 2 Diseño para predio sin agrietamiento

3.1 Predio con grieta (Fig. 3)

La construcción de edificaciones en predios con grieta requiere una atención especial.

En el caso de grietas que presenten un escalón de más de 5cm, no será aceptable construir sobre la grieta. El proyecto deberá entonces ser adaptado (Fig.3). Si lo anterior no es posible, deberá considerarse que el terreno no es apto para la construcción.



Construcción sobre parte del terreno

Fig. 3 Adaptación del diseño arquitectónico a la presencia de una grieta.

En el caso de grietas que presenten un escalón inferior a 5cm, se considerará aceptable construir sobre la grieta a la condición de agregar al diseño anterior un dentellón de material granular como el mostrado en la figura 4. Este tipo de dentellón permite mitigar el efecto de movimientos futuros de la grieta (Ref. 3). El dentellón seguirá el trazo en planta de la grieta.

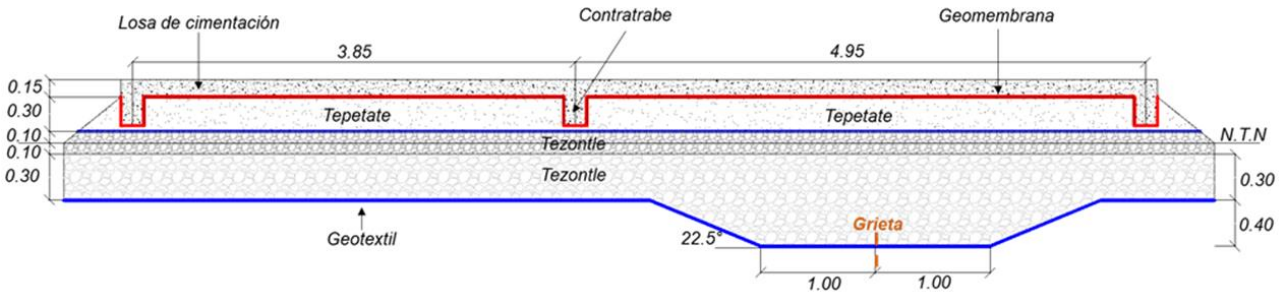


Fig. 4 Diseño para predio con agrietamiento

REFERENCIAS

MexPresa, enero de 2019, “Casa habitación unifamiliar prototipo de 65 m^2, que puede ser construida en suelos de zona lacustre en las alcaldías Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac, y Xochimilco, Ciudad de México”.

MexPresa, febrero de 2019, “Casa habitación tipo dúplex prototipo de 65 m^2, que puede ser construida en suelos de zona lacustre en las alcaldías Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac, y Xochimilco, Ciudad de México”.

Auvinet, G., Méndez Sánchez, E. y Juárez Camarena, M., Hernández Vizcarra, Colunga Becerra, D., Pineda, A.R. y Sánchez Guzmán, J , diciembre de 2018, “*Vulnerabilidad de edificaciones con base a la caracterización geotécnica del agrietamiento del suelo en las alcaldías Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y su impacto en las edificaciones de dichas demarcaciones*”, Informe final elaborado para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal, Convenio de Colaboración No. ISCDF/CEC-04/2018-13, Ciudad de México, México.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 26 de febrero de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Cédula de revisión Geotécnica-Estructural.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-03 "C*édula de revisión Geotécnica-Estructural*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-03, se presenta un formulario que servirá de base para la revisión Geotécnica-Estructural de estructuras afectadas por sismo o grietas en el suelo.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibí original
06/marzo/2019.

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-03

CEDULA DE DICTAMEN GEO – ESTRUCTURAL

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Febrero, 2019

CEDULA DE DICTAMEN GEO – ESTRUCTURAL

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causado por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario, realizar una revisión de predios afectados por grietas en el suelo. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una cédula de revisión geotécnica-estructural que será utilizada en esta nueva etapa de revisión de predios afectados. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica anexa.

Para la elaboración de esta cédula se consideraron las valiosas opiniones de algunos grupos que intervienen en el comité de grietas (ISC, CERG Iztapalapa, Jefatura de Gobierno y Comisión para la Reconstrucción).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

SECRETARÍA DE OBRAS Y SERVICIOS
INSTITUTO PARA LA SEGURIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

DICTAMEN GEO–ESTRUCTURAL

Folio: _____

Clave catastral: _____

Fecha: _____ Cuadrante: _____

Elaboraron:_____ _____

En su calidad de: DRO ☐ CSE ☐ Carnet No.: _____ Especialista en Geotecnica

Manifiesto estar vigente en el padrón de Auxiliares de la Administración Pública de la Ciudad de México y conforme a los artículos 32, 34 fracciones III, IV, V; 35 fracciones IV y X; 36 fracción I, a) y b) y 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal; de conformidad con las acciones de gobierno para atender las afectaciones provocadas por el sismo ocurrido el 19 de septiembre de 2017 encaminadas a la reconstrucción y resiliencia de la Ciudad de México, hemos llevado a cabo la revisión ocular del inmueble de referencia, obteniendo los siguientes resultados al momento de la visita:

- **Ubicación**

Calle y número:_____
Entre las calles:_____
Colonia:_____
Alcaldía:_____ C. P.: _____
Antigüedad del inmueble:_____

Localización del predio en vista aérea (google maps)

- **Coordenadas UTM (m):**

X = ☐ **Y=** ☐

- **Uso del inmueble**

Habitacional	☐	Educación	☐	Salud	☐	Otros	☐
Oficinas	☐	Industrias	☐	Centro de reunión	☐		
Comercio	☐	Recreativo	☐	Bodegas	☐		

Especificar:_____Estado actual del inmueble: Ocupado ☐ Desocupado ☐

N° de niveles SNB:_____N° de sótanos:_____N° de viviendas:_____N° de ocupantes: _____

- **Descripción de la estructura:**

Grupo (Art. 139 RCDF): A1 ☐ A2 ☐ B1 ☐ B2 ☐ Zonificación geotécnica: I, Lomas ☐ II, Transición ☐ III, Lago ☐

Tipo de cimentación del inmueble (inferida): _____
(*Zapata corrida, Losa de cimentación, Cajón de cimentación, Pilotes, etc.*)

No.	Tipo de Estructuración	Selección
1	Muros de mampostería de carga (adobe, sillar o tabique) con bóveda catalana.	
2	Muros de mampostería de carga (tabique o tabicón) con losa maciza. Confinados Sí ( ) No ( )	
3	Marcos de concreto de trabes y columnas con muros de mampostería diafragma y divisorios. a) losa maciza b) losa reticular c) vigueta y bovedilla d) ligera	
4	Marcos de concreto en planta baja y muros de mampostería de carga en niveles superiores losa maciza.	
5	Marcos de concreto de columnas con losa plana y muros diafragma y divisorios.	
6	Estructura metálica. a) losacero b) cubierta ligera	
7	Otros.	

- **Descripción de daños en elementos estructurales**

COMISIÓN PARA LA RECONSTRUCCIÓN DE LA CIUDAD DE MÉXICO

DICTAMEN GEO–ESTRUCTURAL

- **Descripción de daños en elementos no estructurales**

- **Estado de la edificación (Instalaciones y mantenimiento)**

- **Daños asociados al subsuelo**

Desplomo del edificio (valor medido en cm) _____
Asentamientos diferenciales (valor medido en cm) _____
Emersión aparente (valor medido en cm) _____
Posible inestabilidad de talud (inclinación y altura del talud aprox.) _____
Oquedades o socavación (dimensiones aprox.) _____
Otros_____

- **Grietas en el suelo**

Sin escalón ☐ Con escalón ☐ Rumbo (°):_____ Longitud dentro del predio (m): _____

Escalón al interior del predio (cm): _____ Abertura (cm): _____ Profundidad (cm): _____

Escalón en calle o área colindante (cm): _____ Abertura (cm): _____ Profundidad (cm): _____

- **Clasificación de la grieta más crítica en el predio:**
  Nivel I (escalón < 1cm y abertura < 3cm) ☐
  Nivel II (1cm < escalón < 10cm y/o 3cm < abertura < 5cm) ☐
  Nivel III (10cm < escalón < 30cm y/o 5cm < abertura < 10cm) ☐
  Nivel IV (escalón > 30cm y/o abertura > 10cm) ☐

- **CLASIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN:**

Posible Edificio catalogado ☐ **(consultar al INBA y/o al INAH antes de cualquier intervención)**

☐ **Mantenimiento**

*La edificación al momento de la visita **no presenta daños** por sismo o grietas en el subsuelo. Sin embargo, requiere Mantenimiento integral periódico.*

☐ **Rehabilitación**

La edificación presenta daños en elementos estructurales y/o en elementos arquitectónicos por lo que debe ser intervenida mediante un proyecto de rehabilitación en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel I o no presenta. El proyecto de rehabilitación incluirá tratamiento de la grieta en su caso.

☐ **Reconstrucción con tratamiento de grietas**

La edificación presenta daños graves por lo que requiere demolición parcial o total para proceder a la construcción de una nueva edificación de características similares en el mismo predio ya que este presenta anomalías en el subsuelo como grietas Nivel II o III. El diseñó de la nueva estructura incluirá tratamiento de grietas y medidas especiales para minimizar sus posibles efectos en el futuro.

☐ **Reubicación**

La edificación presenta daños graves por lo que requiere demolición para proceder a la construcción de una nueva edificación de características similares en otro predio ya que este presenta anomalías graves en el subsuelo como grietas Nivel IV.

☐ **Otro**

_____

Observaciones y recomendaciones

Nota importante: El inmueble en análisis está ubicado en una zona que presenta deformaciones del subsuelo que evolucionan a través del tiempo en función de la subsidencia y en donde además pueden existir anomalías no detectables a simple vista (como socavones, cavernas generadas por fugas en las redes de agua potable y/o drenaje, etc.) que pudieran manifestarse en el futuro, en cuyo caso se tomarán las medidas pertinentes para solventar dichas anomalías.

_____ _____

Nombre, Firma y No. de carnet del DRO/CSE ***Nombre, Firma del Especialista en Geotecnia***

Este dictamen deberá estar sustentado por un reporte fotográfico del exterior y del interior de la edificación, así como de los daños detectados en el subsuelo.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 26 de febrero de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Predios a revisar en la colonia La Planta.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-04 "*Propuesta de predios a revisar en la colonia La Planta*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-04, se presenta una relación de predios afectados por sismo o grietas en el suelo que deben revisarse en forma prioritaria en la colonia La Planta.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

recibi original
06/marzo/2019

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-04
PREDIOS PARA REVISIÓN GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA LA PLANTA, ALCALDÍA DE ÍZTAPALAPA

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Febrero, 2019

PREDIOS PARA REVISIÓN GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA LA PLANTA, ALCALDÍA DE ÍZTAPALAPA

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por sismos recientes y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario, realizar una revisión de predios afectados. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una lista de predios afectados con base en información proporcionada por la Secretaría de Obras (SOBSE) de la Ciudad de México en 2018. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se presenta una primera lista de predios afectados que deben revisarse en forma prioritaria. En la presente nota técnica se incluyen únicamente predios de la Colonia La Planta de la Alcaldía de Iztapalapa.

2. PREDIOS POR REVISAR

La relación de predios adjunta se definió con base en la información proporcionada por la Secretaría de Obras del Gobierno de la Ciudad de México al Instituto de Ingeniería UNAM como fuente información para el desarrollo del proyecto "*Acompañamiento para la evaluación y remediación de daños en las construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco por agrietamiento del subsuelo*" realizado en el año 2018.

La relación de predios afectados se basa en las solicitudes de revisión presentadas por los poseedores de los inmuebles ante la SOBSE, en la administración anterior.

De las 174 edificaciones registradas con solicitud de revisión en la Colonia La Planta, 82 han sido revisadas y cuentan con un dictamen estructural emitido por un Director Responsable de Obra o por un Corresponsable en Seguridad Estructural, que debe ser complementado con una revisión geotécnica utilizando la nueva cédula de revisión geotécnico-estructural que ha sido definida por el Comité de Grietas (Nota G-03). La relación de estos predios se presenta en la Tabla 1, su ubicación en planta se presenta en la Figura 1.

Las 92 edificaciones restantes no han sido revisadas. La relación de estos predios se presenta en la Tabla 2, su ubicación en planta se presenta en la Figura 2.

Tabla 1. Predios registrados con dictamen estructural emitido por un DRO.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Andador 1 Lt 36	Molino y Piraña	19.29422947	-99.0628572	493396	2133385		
Andador 2 Lt 82	Molino y Piraña	19.29431094	-99.06245747	493438	2133394		
Andador Progreso Mz 10 Lt 7	Rosalita y Molino	19.29438215	-99.06556039	493112	2133402		
Andador Progreso Mz 10 Lt 8	Rosalita y Molino	19.29434602	-99.06551278	493117	2133398		
Andador Revolución Mz 10 Lt 14	Rosalita y Molino	19.29409309	-99.06519859	493150	2133370		
Andador Revolución Mz 10 Lt 17	Rosalita y Molino	19.29409302	-99.06539847	493129	2133370		
Andador Revolución Mz 10 Lt 18	Rosalita y Molino	19.29434602	-99.06551278	493117	2133398		
Andador Revolución Mz 10 Lt 19	Rosalita y Molino	19.29413817	-99.06550318	493118	2133375		
Andador Revolución Mz 10 Lt 20	Rosalita y Molino	19.29417429	-99.06556031	493112	2133379		
Andador Revolución Mz 10 Lt 21	Rosalita y Molino	19.29421042	-99.06561743	493106	2133383		
Andador Revolución Mz 10 Lt 22	Rosalita y Molino	19.29423751	-99.06568406	493099	2133386		
Andador Revolución Mz 10 Lt 25	Rosalita y Molino	19.29441819	-99.06586498	493080	2133406		
Andador Revolución Mz 10 Lt 32	Rosalita y Molino	19.29429163	-99.06596963	493069	2133392		
Andador Revolución Mz 10 Lt 68-B	Rosalita y Molino	19.29374982	-99.06477014	493195	2133332		
Andador Revolución Mz 10 Lt 69	Rosalita y Molino	19.29373176	-99.06472254	493200	2133330		
Andador Unión Mz 10 Lt 36	Rosalita y Molino	19.29408385	-99.06576967	493090	2133369		
Andador Unión Mz 10 Lt 37	Rosalita y Molino	19.29400255	-99.06565542	493102	2133360		
Andador Unión Mz 10 Lt 38	Rosalita y Molino	19.29393932	-99.06556973	493111	2133353		
Andador Unión Mz 10 Lt 39	Rosalita y Molino	19.2936052	-99.06508418	493162	2133316		
Andador Unión Mz 10 Lt 40	Rosalita y Molino	19.2935961	-99.06501755	493169	2133315		
Andador Unión Mz 10 Lt 40	Rosalita y Molino	19.2935961	-99.06501755	493169	2133315		
Andador Unión Mz 10 Lt 41	Rosalita y Molino	19.29354189	-99.06496994	493174	2133309		
Andador Unión Mz 10 Lt 42	Rosalita y Molino	19.29349672	-99.06492233	493179	2133304		
Andador Unión Mz 10 Lt 70	Rosalita y Molino	19.29366852	-99.06467493	493205	2133323		
Andador Unión Mz 10 Lt 75	Rosalita y Molino	19.29360529	-99.06457972	493215	2133316		
Andador Victoria Mz 10 Lt 35	Rosalita y Molino	19.2941742	-99.06582681	493084	2133379		
Andador Victoria Mz 10 Lt 48	Rosalita y Molino	19.29374975	-99.06495098	493176	2133332		
Andador victoria Mz 10 Lt 64	Rosalita y Molino	19.29392146	-99.06497009	493174	2133351		
Cda. Molino Mz 1 Lt 10	Molino y Prolongación la Turba	19.29320728	-99.06558847	493109	2133272		
Cda. Molino Mz 22 Lt 26	Molino y Prolongación la Turba	19.29410247	-99.06421823	493253	2133371		
Cda. Molino Mz 25 Lt 46	Molino y Prolongación la Turba	19.29302668	-99.06518865	493151	2133252		
Cda. Molino Mz 5 Lt 21	Molino y Prolongación la Turba	19.29290902	-99.06568353	493099	2133239		
Cda. Molino Mz 5 Lt 24	Molino y Prolongación la Turba	19.29317101	-99.06593111	493073	2133268		
Cda. Molino Mz 5 Lt 25	Molino y Prolongación la Turba	19.29318025	-99.06537907	493131	2133269		
Cda. Molino Mz 5 Lt 29	Molino y Prolongación la Turba	19.29295435	-99.06526476	493143	2133244		

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Cda. Molino Mz 5 Lt 33	Molino y Prolongación la Turba	19.29331567	-99.06575032	493092	2133284		
Cda. Molino Mz 5 Lt 33	Molino y Prolongación la Turba	19.29331567	-99.06575032	493092	2133284		
Cda. Molino Mz 5 Lt 34	Molino y Prolongación la Turba	19.2932886	-99.06565513	493102	2133281		
Cda. Molino Mz 5 Lt 37	Molino y Prolongación la Turba	19.29345119	-99.06587411	493079	2133299		
Cda. Molino Mz 5 Lt 42	Molino y Prolongación la Turba	19.29303549	-99.06580732	493086	2133253		
Cda. Molino Mz 5 Lt 42	Molino y Prolongación la Turba	19.29303549	-99.06580732	493086	2133253		
Cda. Molino Mz 5 Lt 49	Molino y Prolongación la Turba	19.2926019	-99.06523607	493146	2133205		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 3	Derechos Democráticos y Molino	19.29305407	-99.06439867	493234	2133255		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 6	Derechos Democráticos y Molino	19.29294567	-99.06425585	493249	2133243		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 7	Derechos Democráticos y Molino	19.29292762	-99.0641797	493257	2133241		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 9	Derechos Democráticos y Molino	19.29285536	-99.06407498	493268	2133233		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 10	Derechos Democráticos y Molino	19.29278308	-99.06403688	493272	2133225		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 11	Derechos Democráticos y Molino	19.29267464	-99.06400828	493281	2133207		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 12	Derechos Democráticos y Molino	19.29264754	-99.06397972	493313	2133183		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 13	Derechos Democráticos y Molino	19.29259333	-99.06392259	493287	2133209		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 13	Derechos Democráticos y Molino	19.29285536	-99.06407498	493268	2133233		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 14	Derechos Democráticos y Molino	19.2925753	-99.06378933	493298	2133202		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 15	Derechos Democráticos y Molino	19.29253917	-99.06373221	493304	2133198		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 15	Derechos Democráticos y Molino	19.29253917	-99.06373221	493304	2133198		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 16	Derechos Democráticos y Molino	19.29251208	-99.06368461	493309	2133195		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 17	Derechos Democráticos y Molino	19.29239461	-99.06363697	493307	2133187		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 19	Derechos Democráticos y Molino	19.29237646	-99.06360841	493317	2133180		
Molino Arrocero Mz 1 Lt 21	Derechos Democráticos y Molino	19.2923042	-99.06347513	493331	2133172		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 1	Derechos Democráticos y Molino	19.29303585	-99.06455095	493218	2133253		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 10	Derechos Democráticos y Molino	19.2926203	-99.06407489	493268	2133207		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 11	Derechos Democráticos y Molino	19.29258417	-99.06401776	493274	2133203		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 12	Derechos Democráticos y Molino	19.29254804	-99.06397016	493279	2133199		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 14	Derechos Democráticos y Molino	19.29245771	-99.06385591	493291	2133189		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 16	Derechos Democráticos y Molino	19.29237641	-99.06375118	493302	2133180		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 17	Derechos Democráticos y Molino	19.29231317	-99.06368453	493309	2133173		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 18	Derechos Democráticos y Molino	19.29225897	-99.06361788	493316	2133167		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 2	Derechos Democráticos y Molino	19.29297262	-99.0644843	493225	2133246		
Molino Arrocero Mz 2 Lt 5	Derechos Democráticos y Molino	19.29282808	-99.06431292	493243	2133230		
Molino de viento Mz 2 Lt 19	Derechos Democráticos y Molino	19.29221368	-99.06391292	493285	2133162		
Molino de viento Mz 2 Lt 20	Derechos Democráticos y Molino	19.29223172	-99.06398907	493277	2133164		
Molino de viento Mz 2 Lt 22	Derechos Democráticos y Molino	19.29233109	-99.06411285	493264	2133175		

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Molino de viento Mz 2 Lt 23	Derechos Democráticos y Molino	19.29237626	-99.06416045	493259	2133180		
Molino de viento Mz 2 Lt 24	Derechos Democráticos y Molino	19.29242143	-99.06421758	493253	2133185		
Molino de viento Mz 2 Lt 29	Derechos Democráticos y Molino	19.29264727	-99.06448417	493225	2133210		
Molino de viento Mz 2 Lt 30	Derechos Democráticos y Molino	19.2926834	-99.06455081	493218	2133214		
Molino de viento Mz 3 Lt 1	Derechos Democráticos y Molino	19.29274656	-99.06481734	493190	2133221		
Molino de viento Mz 3 Lt 12	Derechos Democráticos y Molino	19.29224983	-99.06414137	493261	2133166		
Molino de viento Mz 3 Lt 13	Derechos Democráticos y Molino	19.29217756	-99.06405568	493270	2133158		
Molino de viento Mz 3 Lt 4	Derechos Democráticos y Molino	19.29262009	-99.06467452	493205	2133207		
Molino de viento Mz 3 Lt 6	Derechos Democráticos y Molino	19.29250266	-99.06452218	493221	2133194		
Molino de viento Mz 3 Lt 7	Derechos Democráticos y Molino	19.29247557	-99.06446507	493227	2133191		
Molino Mz 3 Lt 24	Molino de Café y Molino de Viento	19.29255673	-99.06496003	493175	2133200		
Molino Mz 4 Lt 1	Molino de Café y Derechos Democráticos	19.29247546	-99.06501711	493169	2133191		

Figura 1. Ubicación de predios registrados con dictamen estructural emitido por un DRO.

Tabla 2. Predios registrados sin dictamen estructural emitido por un DRO.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	BARRIO	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Andador Revolución No. 16	Rosalita y El Molino		19.29399361	-99.06536987	493132	2133359		
Andador Victoria No. 60	Rosalita y El Molino		19.29383105	-99.06506523	493164	2133341		
Andador Victoria No. 63	Rosalita y El Molino		19.2939847	-99.06502722	493168	2133358		
Andador Victoria No. 63	Rosalita y El Molino		19.2939847	-99.06502722	493168	2133358		
Molino de viento Mz 31 Lt 2	Molino y Derechos Democráticos		19.29277374	-99.06464602	493208	2133224		
Molino de viento Mz 32 Lt 2	Molino y Derechos Democráticos		19.29282793	-99.06472219	493200	2133230		3
Piraña # 12 Int. CASA 01	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.294431	-99.06336709	493342	2133407		
Piraña # 12 Int. CASA 02	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29437706	-99.06340256	493339	2133401		
Piraña # 12 Int. CASA 03	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29434138	-99.06343978	493335	2133397		
Piraña # 12 Int. CASA 05	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29425106	-99.06354515	493324	2133387		
Piraña # 12 Int. CASA 06	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29415037	-99.0636448	493313	2133376		
Piraña # 12 Int. CASA 07	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29433658	-99.06326423	493353	2133397		
Piraña # 12 Int. CASA 08	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29429405	-99.06331086	493348	2133392		
Piraña # 12 Int. CASA 09	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29424796	-99.06333674	493346	2133387		
Piraña # 12 Int. CASA 10	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29421517	-99.06337549	493342	2133383		
Piraña # 12 Int. CASA 11	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29417096	-99.06341659	493337	2133379		
Piraña # 12 Int. CASA 12	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29426326	-99.06318699	493361	2133389		
Piraña # 12 Int. CASA 13	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29422833	-99.06321457	493358	2133385		
Piraña # 12 Int. CASA 14	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29417484	-99.06326514	493353	2133379		
Piraña # 12 Int. CASA 15	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2941478	-99.06330573	493349	2133376		
Piraña # 12 Int. CASA 17	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29418863	-99.06308732	493372	2133380		
Piraña # 12 Int. CASA 18	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29414105	-99.06311954	493368	2133375		
Piraña # 12 Int. CASA 19	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29410557	-99.06316537	493364	2133371		
Piraña # 12 Int. CASA 20	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29406965	-99.06320852	493359	2133367		
Piraña # 12 Int. CASA 21	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29402912	-99.06324385	493355	2133363		
Piraña # 12 Int. CASA 22	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29398886	-99.06328854	493351	2133358		
Piraña # 12 Int. CASA 23	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29395021	-99.06335469	493344	2133354		
Piraña # 12 Int. CASA 24	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29391391	-99.06340353	493339	2133350		
Piraña # 12 Int. CASA 25	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29412231	-99.06301951	493379	2133373		
Piraña # 12 Int. CASA 27	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29403623	-99.06309454	493371	2133364		
Piraña # 12 Int. CASA 29	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29395946	-99.06317057	493363	2133355		
Piraña # 12 Int. CASA 31	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2938923	-99.06328161	493351	2133348		
Piraña # 12 Int. CASA 34	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29401277	-99.06298297	493383	2133361		
Piraña # 12 Int. CASA 35	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29397131	-99.06300684	493380	2133356		

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	BARRIO	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Piraña # 12 Int. CASA 38	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29384953	-99.06311978	493368	2133343		
Piraña # 12 Int. CASA 40	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29393916	-99.06288528	493393	2133353		
Piraña # 12 Int. CASA 41	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29390267	-99.06292621	493389	2133349		
Piraña # 12 Int. CASA 42	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29385763	-99.06296144	493385	2133344		
Piraña # 12 Int. CASA 44	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29378097	-99.06303771	493377	2133335		
Piraña # 12 Int. CASA 48	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29373618	-99.06292517	493389	2133330		
Piraña # 12 Int. CASA 49	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29369859	-99.06296892	493384	2133326		
Piraña # 12 Int. CASA 50	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29386435	-99.06273764	493409	2133345		
Piraña # 12 Int. CASA 54	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29371834	-99.06256523	493427	2133328		
Piraña # 12 Int. CASA 55	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2936821	-99.06252514	493431	2133324		
Piraña # 12 Int. CASA 56	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29364982	-99.06249259	493434	2133321		
Piraña # 12 Int. CASA 57	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29361662	-99.06244653	493439	2133317		
Piraña # 12 Int. CASA 58	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2935765	-99.06240349	493444	2133313		
Piraña # 12 Int. CASA 59	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29352568	-99.0623646	493448	2133307		
Piraña # 12 Int. CASA 60	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29348728	-99.06231776	493453	2133303		
Piraña # 12 Int. CASA 62	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29342544	-99.06222772	493462	2133296		
Piraña # 12 Int. CASA 63	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29337988	-99.06218756	493466	2133291		
Piraña # 12 Int. CASA 64	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29335	-99.06214619	493471	2133288		
Piraña # 12 Int. CASA 67	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29325219	-99.06202875	493483	2133277		
Piraña # 12 Int. CASA 70	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29313214	-99.06188729	493498	2133264		
Piraña # 12 Int. CASA 73	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29302736	-99.06176275	493511	2133252		
Piraña # 12 Int. CASA 75	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29370631	-99.06280097	493402	2133327		
Piraña # 12 Int. CASA 76	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29366208	-99.06284063	493398	2133322		
Piraña # 12 Int. CASA 77	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29362543	-99.06287886	493394	2133318		
Piraña # 12 Int. CASA 79	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29362801	-99.06271428	493411	2133318		
Piraña # 12 Int. CASA 81	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29354569	-99.06279192	493403	2133309		
Piraña # 12 Int. CASA 83	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29355322	-99.06263203	493420	2133310		
Piraña # 12 Int. CASA 84	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29351441	-99.06266377	493416	2133306		
Piraña # 12 Int. CASA 86	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29352355	-99.06250669	493433	2133307		
Piraña # 12 Int. CASA 87	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29348485	-99.06254412	493429	2133303		
Piraña # 12 Int. CASA 88	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29344646	-99.06258618	493424	2133298		
Piraña # 12 Int. CASA 90	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29346058	-99.06243105	493441	2133300		
Piraña # 12 Int. CASA 92	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29337626	-99.06250562	493433	2133291		
Piraña # 12 Int. CASA 93	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2933361	-99.06253754	493430	2133286		
Piraña # 12 Int. CASA 94	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29338018	-99.0623364	493451	2133291		
Piraña # 12 Int. CASA 95	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29334397	-99.06237117	493447	2133287		

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	BARRIO	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)	PROPIETARIO	TELÉFONO
Piraña # 12 Int. CASA 97	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29325766	-99.06244337	493439	2133277		
Piraña # 12 Int. CASA 98	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29330793	-99.06225097	493460	2133283		
Piraña # 12 Int. CASA 99	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29326656	-99.06228899	493456	2133278		
Piraña # 12 Int. CASA 100	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2932308	-99.06232981	493451	2133274		
Piraña # 12 Int. CASA 102	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29324262	-99.06216318	493469	2133276		
Piraña # 12 Int. CASA 103	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29319621	-99.06220243	493465	2133271		
Piraña # 12 Int. CASA 104	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29315644	-99.06223349	493461	2133266		
Piraña # 12 Int. CASA 105	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29311559	-99.06228396	493456	2133262		
Piraña # 12 Int. CASA 106	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29316493	-99.06209197	493476	2133267		
Piraña # 12 Int. CASA 107	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29313081	-99.06212203	493473	2133263		
Piraña # 12 Int. CASA 108	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29308702	-99.06215302	493470	2133259		
Piraña # 12 Int. CASA 109	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.2930422	-99.06219869	493465	2133254		
Piraña # 12 Int. CASA 110	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29310458	-99.06199435	493487	2133260		
Piraña # 12 Int. CASA 111	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29305849	-99.06203817	493482	2133255		
Piraña # 12 Int. CASA 112	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29301144	-99.06207445	493478	2133250		
Piraña # 12 Int. CASA 113	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29296122	-99.06211706	493474	2133245		
Piraña # 12 Int. CASA 114	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29302761	-99.06191439	493495	2133252		
Piraña # 12 Int. CASA 115	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29298358	-99.06195898	493490	2133247		
Piraña # 12 Int. CASA 116	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29294678	-99.06199054	493487	2133243		
Piraña # 12 Int. CASA 117	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29290206	-99.06202801	493483	2133238		
Piraña # 12 Int. CASA 118	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29296298	-99.06182672	493504	2133245		
Piraña # 12 Int. CASA 119	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29290827	-99.06186476	493500	2133239		
Piraña # 12 Int. CASA 120	Andador Uno y Nube	U.H. El Parque	19.29286455	-99.06190314	493496	2133234		

Figura 2. Ubicación de predios registrados sin dictamen estructural emitido por un DRO.

Los resultados de las revisiones realizadas por un Director Responsable de Obra o Corresponsable en Seguridad Estructural, asistidos en su caso por un geotecnista, deberán ser transmitidas al Comité de Grietas para su revisión técnica y transferencia posterior al Instituto para la Seguridad de las Construcciones.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 19 de marzo de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Predios a revisar en la colonia Del Mar.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-05 "P*redios para revisión geotécnica – estructural en la colonia Del Mar*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-05, se presenta una relación de predios afectados por sismo o grietas en el suelo que deben revisarse en forma prioritaria en la colonia Del Mar.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

recibi original
21/marzo/2019

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-05
PREDIOS PARA REVISIÓN GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA DEL MAR, ALCALDÍA DE TLÁHUAC

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Marzo, 2019

PREDIOS PARA REVISIÓN GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA DEL MAR, ALCALDÍA DE TLÁHUAC

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por sismos recientes y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario, realizar una revisión de predios afectados. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una lista de predios afectados con base en información proporcionada por la Secretaría de Obras (SOBSE) de la Ciudad de México en 2018. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se presenta una lista de predios afectados que deben revisarse en forma prioritaria. En la presente nota técnica se incluyen únicamente predios de la Colonia Del Mar de la Alcaldía de Tláhuac.

2. PREDIOS POR REVISAR

La relación de predios adjunta se definió con base en la información proporcionada por la Secretaría de Obras del Gobierno de la Ciudad de México al Instituto de Ingeniería UNAM como fuente información para el desarrollo del proyecto "*Acompañamiento para la evaluación y remediación de daños en las construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco por agrietamiento del subsuelo*" realizado en el año 2018.

La relación de predios afectados se basa en las solicitudes de revisión presentadas por los poseedores de los inmuebles ante la SOBSE, en la administración anterior.

De las 195 edificaciones registradas con solicitud de revisión en la Colonia Del Mar, 97 han sido revisadas y cuentan con un dictamen estructural emitido por un Director Responsable de Obra o por un Corresponsable en Seguridad Estructural, que debe ser complementado con una revisión geotécnica utilizando la nueva cédula de revisión geotécnico-estructural que ha sido definida por el Comité de Grietas (Nota G-03). La relación de estos predios se presenta en la Tabla 1, su ubicación en planta se presenta en la Figura 1.

Las 98 edificaciones restantes no han sido revisadas. La relación de estos predios se presenta en la Tabla 2, su ubicación en planta se presenta en la Figura 2.

En las Tablas 1 y 2, aparecen celdas vacías, esto se debe a que con la información existente no fue posible ubicar los predios.

Tabla 1. Predios registrados con dictamen estructural emitido por un DRO.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Abulón MZ 1 LT 5	La turba y Pulpo	19.28901	-99.05579	494138	2132807
Abulón MZ 52 LT 14	Esturión y Pulpo	19.28826	-99.05642	494072	2132724
Abulón MZ 199 LT 10	Estrella de Mar y Perca	19.28689	-99.05753	493939	2132546
Aleta 482	Gitana y Caracol	19.28786	-99.06324	493355	2132680
Aleta No. 176 Mz. 125 Lote 1					
Aleta MZ 447 LT 11-B	Sirena y Aleta	19.28769	-99.06303	493378	2132661
Almeja MZ 121 LT 4	Sirena y Aleta	19.28389	-99.05667	494014	2132257
Atún MZ 118 LT 5	Sirena y Aleta	19.28493	-99.05814	493891	2132356
Caballo de Mar MZ 52 LT 3	Pulpo y Esturión	19.28887	-99.05637	494077	2132792
Caballo de Mar MZ 52 LT 7	Pulpo y Esturión	19.28871	-99.0565	494064	2132774
Caballo de Mar MZ 69 LT 9	Oceano y Jaiba	19.28751	-99.05762	493946	2132641
Camarón MZ 65 LT 15	Oceano y Jaiba	19.28847	-99.05893	493808	2132748
Camarón MZ 93 LT 8	Sirena y Pez Vela	19.28739	-99.05992	493694	2132632
Camarón MZ 93 LT 10	Sirena y Pez Vela	19.28736	-99.06008	493687	2132625
Cangrejo MZ 10 LT 5	Estrella de Mar y Perca	19.28659	-99.05716	493994	2132540
Cangrejo MZ 18 LT 9	Cangrejo y Perca	19.28617	-99.05725	493985	2132493
Cangrejo MZ 19 LT 9	a 50 mts. de Perca	19.28594	-99.05767	493941	2132468
Cda. de Morsa MZ 247 LT 25	Piraña y Cda. de Morsa	19.2866	-99.06712	492948	2132541
Curel 23	Aleta y Sirena	19.28448	-99.05741	493968	2132306
Curel MZ 119 LT 12	Aleta y Sirena	19.2843	-99.05757	493951	2132286
Curel MZ 120 LT 11	Aleta y Sirena	19.28415	-99.05751	493957	2132269
Del Mar 35	Jaiba y Pescado	19.28918	-99.05735	493974	2132826
Del Mar MZ 49 LT 14	Jaiba y Pescado	19.28897	-99.05764	493944	2132803
Delfín MZ 79 LT 5	Pez Vela y Oceano	19.28855	-99.05959	493739	2132756
Gitana MZ 73 LT 6 Int. 337	Oceano y Pez Vela	19.29012	-99.06164	493524	2132930
Gitana MZ 87 LT 10	Pez Vela y Sirena	19.28914	-99.06246	493438	2132822
Gitana MZ 125 LT 5	Aleta y Gitana	19.28757	-99.0635	493328	2132648
Gitana Mz. 105 Lote 4	Aleta y Sirena	19.28866	-99.06285	493396	2132769
Gitana Mz. 105 Lote 6	Aleta y Sirena	19.28859	-99.06292	493389	2132761
Gitana Mz. 105 Lote 10 (469) y Lote 12					
Gitana Mz. 105 Lote 14	Aleta y Sirena	19.28821	-99.06324	493356	2132719
Gitana MZ 105 LT 16 Int. 446	Aleta y Sirena	19.28812	-99.06326	493353	2132709
Gitana Mz. 105 Lote 20	Aleta y Sirena	19.28806	-99.06337	493342	2132702
Gitana Mz. 106 Lote 9					
Gitana Mz. 106 Lote 11	Aleta y Sirena	19.28814	-99.06294	493387	2132711
Gitana Mz 106 LT 113 y 114 Int. 480	Aleta y Sirena	19.28794	-99.0632	493360	2132689
Gitana Mz. 124 Lote 1	Pingüino y Caracol	19.28786	-99.06354	493325	2132680
Gitana Mz. 124 Lote 2	Pingüino y Caracol	19.28779	-99.06356	493322	2132673
Gitana Mz. 124 Lote 3	Pingüino y Caracol	19.28771	-99.06366	493312	2132664
Gitana Mz. 125 Lote 2					
Gitana Mz. 125 Lote 3	Pingüino y Caracol	19.28763	-99.06341	493338	2132655
Gitana Mz. 125 Lote 9	Pingüino y Caracol	19.28741	-99.06361	493317	2132630
Gitana Mz. 125 Lote 11	Pingüino y Caracol	19.2872	-99.06375	493302	2132607
Gitana Mz. 125 Lote 19					
Gitana No. 446 Mz. 105					
Gitana Mz. 447 Lote 15	Aleta y Sirena	19.28801	-99.06307	493373	2132697

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Gitana Mz. 447 Lote 16	Aleta y Sirena	19.28809	-99.063	493380	2132706
Huachinango MZ 34 LT 14	La Turba y Pescado	19.29116	-99.05888	493814	2133045
Huachinango MZ 62 LT 7	Océano y Jaiba	19.28972	-99.05987	493710	2132886
Jaiba MZ 45 LT 20	Marlin y Huachinango	19.28988	-99.05937	493762	2132904
Jaiba MZ 65 LT 2	Camarón y Tiburon	19.28901	-99.05844	493860	2132807
Langosta MZ 121 LT 6	Sirena y Aleta	19.28386	-99.05718	494012	2132220
Langosta MZ 57 LT 12	C. Esturión y C. Pulpo	19.2868	-99.05449	494275	2132563
Langosta No. 37 MZ 57 LT 37	C. Esturión y C. Pulpo	19.28689	-99.05444	494280	2132573
Marlín 132	Pescado y Jaiba	19.29021	-99.05887	493815	2132940
Marlín MZ 129 LT 7	Aleta y Cda. de Policia	19.28636	-99.06197	493489	2132514
Merluza MZ 3 LT 5	Av. La Turba y C. Pulpo	19.28777	-99.05435	494290	2132670
Merluza MZ 4 LT 17	C. Estrella de Mar y C. Esturión	19.28645	-99.05521	494199	2132524
Merluza MZ 56 LT 10	C. Esturión y C. Pulpo	19.28711	-99.05488	494234	2132597
Océano 117	C. Gitana y Cda. de Pinguino	19.29057	-99.06169	493519	2132980
Océano MZ 72 LT 4	Esq. Av. Océano y C. Pingüino	19.29061	-99.06195	493491	2132984
Océano MZ 73 LT 1	Esq. Av. Océano y C. Pingüino	19.29045	-99.06176	493511	2132967
Océano MZ 75 LT 4	Esq. Av. Océano y C. Sábalo	19.2897	-99.06077	493615	2132884
Océano MZ 77 LT 03	C. Huachinango y C. Marlín	19.28914	-99.06004	493692	2132822
Océano MZ 82 LT 2	Av. del Mar y C. Medusa	19.28774	-99.05816	493889	2132667
Pámpano MZ 119 LT 14	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28452	-99.05783	493924	2132311
Pámpano MZ 138 LT 4	Priv. C. Pámpano a 40 mts. de Av. Aleta	19.28374	-99.05848	493855	2132224
Perla MZ 56 BIS LT 11	C. Estrella de Mar y C. Esturión	19.28667	-99.05565	494153	2132548
Pescado MZ 35 LT 19	C. Huachinango y C. Marlín	19.2907	-99.05875	493827	2132994
Pez Vela MZ 76 LT 18	C. Huachinango y C. Sábalo	19.2888	-99.06106	493585	2132784
Pingüino MZ 104 LT 8	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28859	-99.06353	493337	2132772
Pingüino MZ 105 LT 13	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28841	-99.06353	493331	2132744
Pingüino MZ 105 LT 7-1	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28862	-99.06332	493351	2132769
Pingüino MZ 105 LT 7-2	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28876	-99.06357	493347	2132765
Pingüino MZ 149 LT 18	C. Bagre y C. Barracuda	19.28678	-99.0647	493194	2132555
Pingüino MZ 152 LT 18	C. Barracuda y C. Tintorera	19.28634	-99.06245	493164	2132515
Pingüino MZ 153 LT 2	C. Barracuda y C. Tintorera	19.2863	-99.06483	493148	2132473
Pingüino MZ 73 LT 9	Av. Océano y Av. Sirena	19.29013	-99.06207	493486	2132942
Pingüino MZ 87 LT 9	Av. Pez Vela y Av. Sirena	19.28935	-99.06255	493412	2132848
Pingüino MZ 104 LT 12	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28858	-99.06351	493327	2132760
Pingüino MZ 104 LT 8-A	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28873	-99.0634	493339	2132776
Pingüino MZ 73 LT 5	Av. Océano y Av. Sirena	19.29033	-99.06191	493495	2132954
Pingüino MZ 87 LT 7	Av. Pez Vela y Av. Sirena	19.28943	-99.06266	493417	2132854
Priv. De Océano MZ 196 LT 2 - I	Priv. Océano a 35 mts. de Av. Océano	19.29073	-99.06153	493534	2133002
Priv. De Océano MZ 196 LT 2 F	Priv. Océano a 35 mts. de Av. Océano	19.29089	-99.06156	493530	2133015
Pulpo MZ 1 LT 6	Esq. C. Abulón y C. Pulpo	19.28893	-99.05612	494130	2132795
Salmón MZ 122 LT 03	Av. Aleta y Av. Sirena	19.2891	-99.06436	493238	2132818
Salmón MZ 70 LT 3	Av. Pez Vela y Av. Océano	19.29098	-99.06281	493401	2133025
Salmón MZ 70 LT 5	Av. Pez Vela y Av. Océano	19.29075	-99.063	493381	2133000
Salmón MZ 102 LT 4	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28943	-99.06421	493262	2132847
Salmón MZ 103 LT 1	Esq. C. Salmón y Av. Sirena	19.28969	-99.064	493284	2132853

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Sardina MZ 72 LT 1	Esq. C. Sardina y Av. Océano	19.29076	-99.0622	493465	2133001
Sirena MZ 100 LT 5	C. Pámpano y C. Mojarra	19.2853	-99.05803	493903	2132397
Sirena No. 194 MZ 104 LT 2	C. Pingüino y C. Sardina	19.2891	-99.06339	493340	2132817
Tiburón MZ 113 LT 5	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28637	-99.0601	493685	2132515
Tintorera 8	C. Pingüino y C. Salmón	19.28631	-99.0654	493129	2132509
Tintorera MZ 152 LT 5	C. Pingüino y C. Salmón	19.28683	-99.0656	493099	2132550

Figura 1. Ubicación de predios registrados con dictamen estructural emitido por un DRO.

Tabla 2. Predios registrados sin dictamen estructural emitido por un DRO.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Abulón MZ 19 LT 10					
Abulón MZ 19 LT 5	Ostión y Perca	19.28619	-99.05784	493923	2132495
Aleta #193	Sardína y Pingüino	19.2886	-99.06361	493293	2132741
Aleta MZ 104 LT 18	Sdardina y Salmón	19.28853	-99.06416	493259	2132754
Aleta MZ 123 LT 10	Salmón y Pingüino	19.28866	-99.0638	493258	2132727
Aleta MZ 125 LT 3	Gitana y Caracol	19.28762	-99.06317	493363	2132654
Aleta MZ 14 LT 3					
Aleta MZ 141 LT 3	Salmón y Piraña	19.28896	-99.06435	493186	2132785
Esq. Aleta y Langosta #1	Langosta y Almeja	19.28348	-99.05723	493987	2132195
Almeja MZ 120 LT 14	Aleta y Sirena	19.28412	-99.05697	493977	2132244
Atún MZ 118 LT 1	Aleta y Sirena	19.28525	-99.05792	493906	2132368
Caballo de Mar MZ 163 LT 9	La Turba y Pulpo	19.28952	-99.05568	494114	2132825
Caballo de Mar MZ 52 LT 11	Pulpo y Esturión				
Caballo de Mar MZ 52 LT 7	Pulpo y Esturión	19.28871	-99.0565	494064	2132774
Caballo de Mar MZ 69 LT 5					
Caballo de Mar MZ 9 LT 15	Perca y Estrella de Mar	19.28738	-99.05741	493957	2132621
Camarón #89	Oceáno y Jaiba	19.28899	-99.058	493806	2132794
Cangrejo MZ 5 LT 10	Perca y Estrella de Mar	19.28699	-99.0568	493994	2132552
Cangrejo MZ 10 LT 6	Perca y Estrella de Mar	19.28676	-99.0567	493989	2132543
Cangrejo MZ 7 LT 6	Estrella de Mar y Esturión	19.28731	-99.05662	494051	2132619
Cda. Cangrejo MZ 18 LT 12	Perca	19.28613	-99.05723	493958	2132454
Esq. Cangrejo y Esturión #40	Coral y Abulón	19.28782	-99.05582	494107	2132648
Caracol MZ 74 LT 16	Pez vela y Oceáno	19.2896	-99.0614	493529	2132858
Caracol MZ 88 LT 8	Pez Vela y Sirena	19.2889	-99.06198	493488	2132795
Caracol MZ 106 LT 16	Aleta y Sirena	19.28798	-99.06258	493394	2132680
Caracol MZ 125 LT 20					
Caracol MZ 188 LT 14					
Coral MZ 255 LT 17	Estrella de Mar y Esturión	19.287	-99.0561	494094	2132553
Del Mar MZ 49 LT 14	Jaiba y Pescado	19.28918	-99.05736	493944	2132803
Del Mar No. 35	Jaiba y Pescado	19.28932	-99.05728	493969	2132835
Delfín 93 LT 9	Sirena y Pez Vela	19.28758	-99.05991	493665	2132645
Delfín 93 BIS LT 7	Sirena y Pez Vela	19.28775	-99.06018	493672	2132654
Esq. Delfín y Pez Vela MZ 79 LT 17	Delfín y Camarón	19.28802	-99.05999	493697	2132698
Estrella de Mar MZ 12 LT 17	Coral y Perla	19.28658	-99.05633	494082	2132538
Esturión MZ 52 LT 16	Abulón y Caballo de Mar	19.28831	-99.05637	494046	2132730
Esturión MZ 52 LT 17	Abulón y Caballo de Mar	19.2879	-99.05624	494091	2132684
Esturión MZ 8 LT 1	Caballo de Mar y Esturión				
Esturión MZ 8 LT 18	Caballo de Mar y Esturión	19.28809	-99.05683	494029	2132706
Esturión MZ 8 LT 2	Caballo de Mar y Esturión				
Gitana #387	Oceáno y Pez Cardenal	19.29061	-99.06127	493563	2132985
Gitana #395	Oceáno y Pez Cardenal	19.2904	-99.06144	493545	2132961
Gitana MZ 59 LT 5	Oceáno y Jaiba	19.29061	-99.06095	493596	2132984
Gitana MZ 73 LT 4	Oceáno y Pez Vela	19.2902	-99.06159	493529	2132939
Gitana MZ 73 LT 8	Oceáno y Pez Vela	19.29003	-99.06173	493514	2132920
Gitana MZ 73 LT 16	Oceáno y Pez Vela	19.28973	-99.06197	493489	2132887
Gitana MZ 125 LT 15	Aleta y Canal de Chalco	19.28715	-99.06377	493300	2132602
Gitana MZ 447 LT 15	Aleta y Sirena	19.28798	-99.06308	493372	2132694

Hipocampo MZ 123 LT 15	Salmón y Pingüino	19.28815	-99.06438	493236	2132712
Hipocampo MZ 143 LT 6	Salmón y Pingüino	19.28804	-99.06459	493214	2132700
Hipocampo MZ 143 LT 8	Salmón y Pingüino	19.28797	-99.06452	493221	2132693
Huachinango MZ 90 LT 12	Sirena y Pez Vela	19.28818	-99.06132	493557	2132716
Langosta No. 61 MZ 121 LT 4	Aleta y Sirena	19.2839	-99.05686	494026	2132242
Marlín MZ 129 LT 9	Aleta y Canal de Chalco	19.2862	-99.06204	493482	2132497
Marlín MZ 46 LT 15	Jaiba y Pescado	19.28978	-99.05929	493799	2132905
Marlín MZ 78 LT 5	Pez vela y Oceáno	19.28878	-99.05994	493702	2132782
Medusa MZ 95 LT 20 #131	Sirena y Pez Vela	19.28616	-99.05921	493779	2132492
Merluza MZ 7 LT 58					
Océano #115	Pez Ángel y Gitana	19.29053	-99.06162	493526	2132976
Océano MZ 72 LT 2	Sardina y Pingüino	19.29064	-99.0621	493475	2132988
Océano MZ 73 LT 2	Pingüino y Gitana	19.29034	-99.06171	493516	2132955
Océano MZ 73 LT 3	Pingüino y Gitana	19.29029	-99.06164	493524	2132949
Ostión MZ 99 LT 6	Mojarra y Medusa	19.28614	-99.05872	493830	2132490
Pargo MZ 10 LT 12	Pingüino y Salmón	19.28787	-99.06441	493221	2132663
Pargo MZ 143 LT 13	Pingüino y Salmón	19.28758	-99.06443	493231	2132649
Pargo MZ 146 LT 14	Pingüino y Salmón	19.28757	-99.06423	493214	2132632
Pargo MZ 146 LT 8 Y 10	Pingüino y Salmón	19.28755	-99.06479	493193	2132646
Perla MZ 55 LT 4	Estrella de Mar y Esturión	19.28707	-99.05553	494166	2132593
Pez Gurami MZ 6 LT 80	Océano y Pez Cardenal	19.29144	-99.06149	493540	2133076
Pez Lima MZ 6 LT 85	Océano y Pez Cardenal	19.29141	-99.06175	493512	2133073
Pez Vela MZ 73 LT 17	Pingüino y Gitana	19.28977	-99.0623	493454	2132891
Pez Vela MZ 85 LT 2	Salmón y Sardina	19.29013	-99.06315	493365	2132931
Pingüino MZ 152 LT 18	Tintorera y Barracuda	19.28637	-99.06509	493161	2132515
Pingüino MZ 55 LT 18 #165	Tintorera y Pingüino	19.28618	-99.06521	493128	2132479
Pingüino MZ 73 LT 13	Pez vela y Oceáno	19.28996	-99.06213	493472	2132913
Pingüino MZ 9 LT 7	Bagre y Pargo	19.28727	-99.06438	493236	2132615
Sábalo MZ 34 LT 11	Pescado y La Turba	19.29141	-99.05906	493795	2133073
Sábalo MZ 61 LT 9	Jaiba y Océano	19.28987	-99.0603	493665	2132902
Sábalo MZ 75 LT 12	Pez vela y Oceáno	19.28926	-99.06107	493584	2132835
Sábalo MZ 76 LT 15	Pez vela y Oceáno	19.28902	-99.06102	493589	2132808
Sábalo MZ 89 LT 6	Sirena y Pez Vela	19.28869	-99.06153	493535	2132772
Sábalo MZ 90 LT 7	Sirena y Pez Vela	19.2885	-99.06143	493546	2132751
Salmón MZ 70 LT 5	Océano y Pez Vela	19.29082	-99.06294	493387	2133008
Salmón MZ 81 LT 17 #52					
Salmón MZ 102 LT 1-A					
Salmón MZ 103 LT 9	Aleta y Sirena	19.2891	-99.06412	493263	2132817
Sardina MZ 72 LT 15	Pez vela y Oceáno	19.2902	-99.06258	493425	2132939
Sardina MZ 86 LT 11	Sirena y Pez Vela	19.28954	-99.06311	493369	2132866
Sardina MZ 439 LT 14 #54	Sirena y Pez Vela	19.28938	-99.06331	493344	2132837
Sirena No. 19	Langosta y Pámpano	19.2846	-99.05705	494006	2132319
Sirena No 21	Langosta y Pámpano	19.28466	-99.05712	493998	2132326
Sirena No. 197	Sardina y Pingüino	19.28916	-99.06322	493349	2132830
Sirena MZ 100 LT 5	Mojarra y Pámpano	19.28533	-99.05804	493902	2132400
Sirena MZ 100 LT 9	Mojarra y Pámpano	19.28521	-99.05789	493918	2132387
Sirena MZ 101 LT 15	Langosta y Pámpano	19.28439	-99.05674	494038	2132296
Sirena MZ 118 LT 3	Atún y Pámpano	19.28499	-99.0579	493916	2132362
Tiburón #169	Océano y Jaiba	19.2886	-99.05847	493857	2132762
Tiburón MZ 65 LT 16	Océano y Jaiba	19.28839	-99.05864	493839	2132739
Tiburón MZ 81 LT 7	Oceáno y Pez Vela	19.28843	-99.05893	493783	2132720

Figura 2. Ubicación de predios registrados sin dictamen estructural emitido por un DRO.

2. RUTAS DE REVISIÓN GEO-ESTRUCTURAL

A partir de la información anterior, se definieron las rutas asignadas a las brigadas de revisión Geo-estructural (Tablas 3 a 20).

Los resultados de las revisiones realizadas por un Director Responsable de Obra o Corresponsable en Seguridad Estructural, asistidos en su caso por un geotecnista, deberán ser transmitidas al Comité de Grietas para su revisión técnica y transferencia posterior al Instituto para la Seguridad de las Construcciones.

Tabla 3. Relación de predios a revisar por la brigada No. 1

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	1				
GEOTECNISTA	1				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Cda. de Morsa MZ 247 LT 25	Piraña y Cda. de Morsa	19.2866	-99.06712	492948	2132541
Pargo MZ 146 LT 14	Pingüino y Salmón	19.28757	-99.06423	493214	2132632
Pargo MZ 146 LT 8 Y 10	Pingüino y Salmón	19.28755	-99.06479	493193	2132646
Pingüino MZ 149 LT 18	C. Bagre y C. Barracuda	19.28678	-99.0647	493194	2132555
Pingüino MZ 152 LT 18	C. Barracuda y C. Tintorera	19.28634	-99.06245	493164	2132515
Pingüino MZ 153 LT 2	C. Barracuda y C. Tintorera	19.2863	-99.06483	493148	2132473
Pingüino MZ 55 LT 18 #165	Tintorera y Pingüino	19.28618	-99.06521	493128	2132479
Pingüino MZ 9 LT 7	Bagre y Pargo	19.28727	-99.06438	493236	2132615
Tintorera 8	C. Pingüino y C. Salmón	19.28631	-99.0654	493129	2132509
Tintorera MZ 152 LT 5	C. Pingüino y C. Salmón	19.28683	-99.0656	493099	2132550

Tabla 4. Relación de predios a revisar por la brigada No. 2

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	2				
GEOTECNISTA	2				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Aleta #193	Sardina y Pingüino	19.2886	-99.06361	493293	2132741
Aleta MZ 104 LT 18	Sardina y Salmón	19.28853	-99.06416	493259	2132754
Aleta MZ 123 LT 10	Salmón y Pingüino	19.28866	-99.0638	493258	2132727
Aleta MZ 141 LT 3	Salmón y Piraña	19.28896	-99.06435	493186	2132785
Hipocampo MZ 123 LT 15	Salmón y Pingüino	19.28815	-99.06438	493236	2132712
Hipocampo MZ 143 LT 6	Salmón y Pingüino	19.28804	-99.06459	493214	2132700
Hipocampo MZ 143 LT 8	Salmón y Pingüino	19.28797	-99.06452	493221	2132693
Pargo MZ 10 LT 12	Pingüino y Salmón	19.28787	-99.06441	493221	2132663
Pargo MZ 143 LT 13	Pingüino y Salmón	19.28758	-99.06443	493231	2132649
Salmón MZ 122 LT 03	Av. Aleta y Av. Sirena	19.2891	-99.06436	493238	2132818

Tabla 5. Relación de predios a revisar por la brigada No. 3

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	3				
GEOTECNISTA	3				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Caracol MZ 125 LT 20	Aleta y Canal de Chalco	19.286864	-99.063673	493310	2132570
Gitana Mz. 124 Lote 1	Aleta y Canal de Chalco	19.28786	-99.06354	493325	2132680
Gitana Mz. 124 Lote 2	Aleta y Canal de Chalco	19.28779	-99.06356	493322	2132673
Gitana Mz. 124 Lote 3	Aleta y Canal de Chalco	19.28771	-99.06366	493312	2132664
Gitana MZ 125 LT 5	Aleta y Canal de Chalco	19.28757	-99.0635	493328	2132648
Gitana Mz. 125 Lote 2	Aleta y Canal de Chalco	19.287831	-99.063445	493319	2132673
Gitana Mz. 125 Lote 9	Aleta y Canal de Chalco	19.28741	-99.06361	493317	2132630
Gitana Mz. 125 Lote 11	Aleta y Canal de Chalco	19.2872	-99.06375	493302	2132607
Gitana Mz. 125 Lote 19	Aleta y Canal de Chalco	19.287093	-99.0638	493290	2132585
Gitana MZ 125 LT 15	Aleta y Canal de Chalco	19.28715	-99.06377	493300	2132602

Tabla 6. Relación de predios a revisar por la brigada No. 4

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	4				
GEOTECNISTA	4				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Aleta 482	Gitana y Caracol	19.28786	-99.06324	493355	2132680
Aleta Mz. 125 Lote 1 No. 176	Gitana y Caracol	19.287863	-99.063577	493345	2132664
Aleta MZ 125 LT 3	Gitana y Caracol	19.28762	-99.06317	493363	2132654
Aleta MZ 447 LT 11-B	Sirena y Aleta	19.28769	-99.06303	493378	2132661
Caracol MZ 106 LT 16	Aleta y Sirena	19.28798	-99.06258	493394	2132680
Gitana Mz. 106 Lote 11	Aleta y Sirena	19.28814	-99.06294	493387	2132711
Gitana Mz. 106 Lote 9	Aleta y Sirena	19.288379	-99.063299	493395	2132730
Gitana Mz. 125 Lote 3	Pingüino y Caracol	19.28763	-99.06341	493338	2132655
Gitana Mz. 447 Lote 15	Aleta y Sirena	19.28801	-99.06307	493373	2132697
Gitana Mz. 447 Lote 16	Aleta y Sirena	19.28809	-99.063	493380	2132706

Tabla 7. Relación de predios a revisar por la brigada No. 5

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	5				
GEOTECNISTA	5				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Gitana Mz. 105 Lote 10 (469) y Lote 12	Aleta y Sirena	19.28825	-99.0633	493364	2132730
Gitana Mz. 105 Lote 14	Aleta y Sirena	19.28821	-99.06324	493356	2132719
Gitana MZ 105 LT 16 Int. 446	Aleta y Sirena	19.28812	-99.06326	493353	2132709
Gitana Mz. 105 Lote 20	Aleta y Sirena	19.28806	-99.06337	493342	2132702
Gitana Mz. 105 Lote 4	Aleta y Sirena	19.28866	-99.06285	493396	2132769
Gitana Mz. 105 Lote 6	Aleta y Sirena	19.28859	-99.06292	493389	2132761
Gitana No. 446 Mz. 105	Aleta y Sirena	19.288218	-99.063346	493349	2132716
Pingüino MZ 105 LT 13	Aleta y Sirena	19.28841	-99.06353	493331	2132744
Pingüino MZ 105 LT 7-1	Aleta y Sirena	19.28862	-99.06332	493351	2132769
Pingüino MZ 105 LT 7-2	Aleta y Sirena	19.28876	-99.06357	493347	2132765

Tabla 8. Relación de predios a revisar por la brigada No. 6

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	6				
GEOTECNISTA	6				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Pingüino MZ 104 LT 8	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28859	-99.06353	493337	2132772
Pingüino MZ 104 LT 12	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28858	-99.06351	493327	2132760
Pingüino MZ 104 LT 8-A	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28873	-99.0634	493339	2132776
Salmón MZ 102 LT 1-A	Av. Aleta y Av. Sirena	19.289514	-99.06387	493271	2132865
Salmón MZ 102 LT 4	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28943	-99.06421	493262	2132847
Salmón MZ 103 LT 1	Esq. C. Salmón y Av. Sirena	19.28969	-99.064	493284	2132853
Salmón MZ 103 LT 9	Aleta y Sirena	19.2891	-99.06412	493263	2132817
Sardina MZ 439 LT 14 #54	Sirena y Pez Vela	19.28938	-99.06331	493344	2132837
Sirena No. 194 MZ 104 LT 2	C. Pingüino y C. Sardina	19.2891	-99.06339	493340	2132817
Sirena No. 197	Sardina y Pingüino	19.28916	-99.06322	493349	2132830

Tabla 9. Relación de predios a revisar por la brigada No. 7

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	7				
GEOTECNISTA	7				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Gitana MZ 87 LT 10	Pez Vela y Sirena	19.28914	-99.06246	493438	2132822
Pez Vela MZ 73 LT 17	Pingüino y Gitana	19.28977	-99.0623	493454	2132891
Pez Vela MZ 85 LT 2	Salmón y Sardina	19.29013	-99.06315	493365	2132931
Pingüino MZ 87 LT 9	Av. Pez Vela y Av. Sirena	19.28935	-99.06255	493412	2132848
Pingüino MZ 87 LT 7	Av. Pez Vela y Av. Sirena	19.28943	-99.06266	493417	2132854
Salmón MZ 70 LT 3	Av. Pez Vela y Av. Océano	19.29098	-99.06281	493401	2133025
Salmón MZ 70 LT 5	Av. Pez Vela y Av. Océano	19.29075	-99.063	493381	2133000
Salmón MZ 70 LT 5	Océano y Pez Vela	19.29082	-99.06294	493387	2133008
Sardina MZ 72 LT 15	Pez vela y Océano	19.2902	-99.06258	493425	2132939
Sardina MZ 86 LT 11	Sirena y Pez Vela	19.28954	-99.06311	493369	2132866

Tabla 10. Relación de predios a revisar por la brigada No. 8

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	8				
GEOTECNISTA	8				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Gitana #387	Océano y Pez Cardenal	19.29061	-99.06127	493563	2132985
Gitana #395	Océano y Pez Cardenal	19.2904	-99.06144	493545	2132961
Gitana MZ 59 LT 5	Océano y Jaiba	19.29061	-99.06095	493596	2132984
Océano MZ 72 LT 2	Sardina y Pingüino	19.29064	-99.0621	493475	2132988
Océano MZ 72 LT 4	Esq. Av. Océano y C. Pingüino	19.29061	-99.06195	493491	2132984
Pez Gurami MZ 6 LT 80	Océano y Pez Cardenal	19.29144	-99.06149	493540	2133076
Pez Lima MZ 6 LT 85	Océano y Pez Cardenal	19.29141	-99.06175	493512	2133073
Priv. De Océano MZ 196 LT 2 - I	Priv. Océano a 35 mts. de Av. Océano	19.29073	-99.06153	493534	2133002
Priv. De Océano MZ 196 LT 2 F	Priv. Océano a 35 mts. de Av. Océano	19.29089	-99.06156	493530	2133015
Sardina MZ 72 LT 1	Esq. C. Sardina y Av. Océano	19.29076	-99.0622	493465	2133001

Tabla 11. Relación de predios a revisar por la brigada No. 9

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	9				
GEOTECNISTA	9				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Gitana MZ 73 LT 4	Oceáno y Pez Vela	19.2902	-99.06159	493529	2132939
Gitana MZ 73 LT 6 Int. 337	Oceano y Pez Vela	19.29012	-99.06164	493524	2132930
Gitana MZ 73 LT 8	Oceáno y Pez Vela	19.29003	-99.06173	493514	2132920
Océano #115	Pez Ángel y Gitana	19.29053	-99.06162	493526	2132976
Océano 117	C. Gitana y Cda. de Pinguino	19.29057	-99.06169	493519	2132980
Océano MZ 73 LT 1	Esq. Av. Océano y C. Pingüino	19.29045	-99.06176	493511	2132967
Océano MZ 73 LT 2	Pingüino y Gitana	19.29034	-99.06171	493516	2132955
Océano MZ 73 LT 3	Pingüino y Gitana	19.29029	-99.06164	493524	2132949
Pingüino MZ 73 LT 9	Av. Océano y Av. Sirena	19.29013	-99.06207	493486	2132942
Pingüino MZ 73 LT 5	Av. Océano y Av. Sirena	19.29033	-99.06191	493495	2132954

Tabla 12. Relación de predios a revisar por la brigada No. 10

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	10				
GEOTECNISTA	10				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Caracol MZ 74 LT 16	Pez vela y Océano	19.2896	-99.0614	493529	2132858
Caracol MZ 88 LT 8	Pez Vela y Sirena	19.2889	-99.06198	493488	2132795
Gitana MZ 73 LT 16	Océano y Pez Vela	19.28973	-99.06197	493489	2132887
Huachinango MZ 90 LT 12	Sirena y Pez Vela	19.28818	-99.06132	493557	2132716
Pez Vela MZ 76 LT 18	Huachinango y Sábalo	19.2888	-99.06106	493585	2132784
Pingüino MZ 73 LT 13	Pez vela y Océano	19.28996	-99.06213	493472	2132913
Sábalo MZ 75 LT 12	Pez vela y Océano	19.28926	-99.06107	493584	2132835
Sábalo MZ 76 LT 15	Pez vela y Océano	19.28902	-99.06102	493589	2132808
Sábalo MZ 89 LT 6	Sirena y Pez Vela	19.28869	-99.06153	493535	2132772
Sábalo MZ 90 LT 7	Sirena y Pez Vela	19.2885	-99.06143	493546	2132751

Tabla 13. Relación de predios a revisar por la brigada No. 11

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	11				
GEOTECNISTA	11				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Huachinango MZ 34 LT 14	La Turba y Pescado	19.29116	-99.05888	493814	2133045
Huachinango MZ 62 LT 7	Océano y Jaiba	19.28972	-99.05987	493710	2132886
Jaiba MZ 45 LT 20	Marlín y Huachinango	19.28988	-99.05937	493762	2132904
Marlín 132	Pescado y Jaiba	19.29021	-99.05887	493815	2132940
Marlín MZ 46 LT 15	Jaiba y Pescado	19.28978	-99.05929	493799	2132905
Océano MZ 75 LT 4	Esq. Océano y Sábalo	19.2897	-99.06077	493615	2132884
Océano MZ 77 LT 03	Huachinango y Marlín	19.28914	-99.06004	493692	2132822
Pescado MZ 35 LT 19	Huachinango y Marlín	19.2907	-99.05875	493827	2132994
Sábalo MZ 34 LT 11	Pescado y La Turba	19.29141	-99.05906	493795	2133073
Sábalo MZ 61 LT 9	Jaiba y Océano	19.28987	-99.0603	493665	2132902

Tabla 14. Relación de predios a revisar por la brigada No. 12

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	12				
GEOTECNISTA	12				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Camarón MZ 65 LT 15	Océano y Jaiba	19.28847	-99.05893	493808	2132748
Camarón #89	Océano y Jaiba	19.28899	-99.058	493806	2132794
Del Mar 35	Jaiba y Pescado	19.28918	-99.05735	493974	2132826
Del Mar MZ 49 LT 14	Jaiba y Pescado	19.28897	-99.05764	493944	2132803
Delfín MZ 79 LT 5	Pez Vela y Océano	19.28855	-99.05959	493739	2132756
Jaiba MZ 65 LT 2	Camarón y Tiburón	19.28901	-99.05844	493860	2132807
Marlín MZ 78 LT 5	Pez vela y Océano	19.28878	-99.05994	493702	2132782
Tiburón #169	Océano y Jaiba	19.2886	-99.05847	493857	2132762
Tiburón MZ 65 LT 16	Océano y Jaiba	19.28839	-99.05864	493839	2132739
Tiburón MZ 81 LT 7	Océano y Pez Vela	19.28843	-99.05893	493783	2132720

Tabla 15. Relación de predios a revisar por la brigada No. 13

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	13				
GEOTECNISTA	13				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Camarón MZ 93 LT 10	Sirena y Pez Vela	19.28736	-99.06008	493687	2132625
Camarón MZ 93 LT 8	Sirena y Pez Vela	19.28739	-99.05992	493694	2132632
Delfín 93 LT 9	Sirena y Pez Vela	19.28758	-99.05991	493665	2132645
Delfín 93 BIS LT 7	Sirena y Pez Vela	19.28775	-99.06018	493672	2132654
Esq. Delfín y Pez Vela MZ 79 LT 17	Delfín y Camarón	19.28802	-99.05999	493697	2132698
Marlín MZ 129 LT 7	Aleta y Canal de Chalco	19.28636	-99.06197	493489	2132514
Marlín MZ 129 LT 9	Aleta y Canal de Chalco	19.2862	-99.06204	493482	2132497
Medusa MZ 95 LT 20 #131	Sirena y Pez Vela	19.28616	-99.05921	493779	2132492
Ostión MZ 99 LT 6	Mojarra y Medusa	19.28614	-99.05872	493830	2132490
Tiburón MZ 113 LT 5	Aleta y Sirena	19.28637	-99.0601	493685	2132515

Tabla 16. Relación de predios a revisar por la brigada No. 14

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	14				
GEOTECNISTA	14				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Abulón MZ 1 LT 5	La turba y Pulpo	19.28901	-99.05579	494138	2132807
Abulón MZ 52 LT 14	Esturión y Pulpo	19.28826	-99.05642	494072	2132724
Caballo de Mar MZ 163 LT 9	La Turba y Pulpo	19.28952	-99.05568	494114	2132825
Caballo de Mar MZ 52 LT 3	Pulpo y Esturión	19.28887	-99.05637	494077	2132792
Caballo de Mar MZ 52 LT 7	Pulpo y Esturión	19.28871	-99.0565	494064	2132774
Caballo de Mar MZ 52 LT 11	Pulpo y Esturión	19.288512	-99.056573	494057	2132752
Esturión MZ 52 LT 16	Abulón y Caballo de Mar	19.28831	-99.05637	494046	2132730
Esturión MZ 8 LT 1	Caballo de Mar y Esturión	19.288068	-99.056716	494041	2132703
Esturión MZ 8 LT 2	Caballo de Mar y Esturión	19.288023	-99.056678	494045	2132698
Esturión MZ 8 LT 18	Caballo de Mar y Esturión	19.28809	-99.05683	494029	2132706
Pulpo MZ 1 LT 6	Esq. C. Abulón y C. Pulpo	19.28893	-99.05612	494130	2132795

Tabla 17. Relación de predios a revisar por la brigada No. 15

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	15				
GEOTECNISTA	15				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Coral MZ 255 LT 17	Estrella de Mar y Esturión	19.287	-99.0561	494094	2132553
Esq. Cangrejo y Esturión #40	Coral y Abulón	19.28782	-99.05582	494107	2132648
Estrella de Mar MZ 12 LT 17	Coral y Perla	19.28658	-99.05633	494082	2132538
Esturión MZ 52 LT 17	Abulón y Caballo de Mar	19.2879	-99.05624	494091	2132684
Langosta MZ 57 LT 12	C. Esturión y C. Pulpo	19.2868	-99.05449	494275	2132563
Langosta No. 37 MZ 57 LT 37	C. Esturión y C. Pulpo	19.28689	-99.05444	494280	2132573
Merluza MZ 3 LT 5	Av. La Turba y C. Pulpo	19.28777	-99.05435	494290	2132670
Merluza MZ 4 LT 17	C. Estrella de Mar y C. Esturión	19.28645	-99.05521	494199	2132524
Merluza MZ 56 LT 10	C. Esturión y C. Pulpo	19.28711	-99.05488	494234	2132597
Perla MZ 55 LT 4	Estrella de Mar y Esturión	19.28707	-99.05553	494166	2132593
Perla MZ 56 BIS LT 11	C. Estrella de Mar y C. Esturión	19.28667	-99.05565	494153	2132548

Tabla 18. Relación de predios a revisar por la brigada No. 16

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	16				
GEOTECNISTA	16				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Abulón MZ 19 LT 5	Ostión y Perca	19.28619	-99.05784	493923	2132495
Abulón MZ 199 LT 1	Estrella de Mar y Perca	19.28689	-99.05753	493939	2132546
Caballo de Mar MZ 69 LT 5	Océano y Jaiba	19.28777	-99.057449	493964	2132670
Caballo de Mar MZ 69 LT 9	Océano y Jaiba	19.28751	-99.05762	493946	2132641
Caballo de Mar MZ 9 LT 15	Perca y Estrella de Mar	19.28738	-99.05741	493957	2132621
Cangrejo MZ 10 LT 5	Estrella de Mar y Perca	19.28659	-99.05716	493994	2132540
Cangrejo MZ 10 LT 6	Perca y Estrella de Mar	19.28676	-99.0567	493989	2132543
Cangrejo MZ 18 LT 9	Cangrejo y Perca	19.28617	-99.05725	493985	2132493
Cangrejo MZ 5 LT 10	Perca y Estrella de Mar	19.28699	-99.0568	493994	2132552
Cangrejo MZ 7 LT 6	Estrella de Mar y Esturión	19.28731	-99.05662	494051	2132619
Océano MZ 82 LT 2	Av. del Mar y C. Medusa	19.28774	-99.05816	493889	2132667

Tabla 19. Relación de predios a revisar por la brigada No. 17

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	17				
GEOTECNISTA	17				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Atún MZ 118 LT 1	Aleta y Sirena	19.28525	-99.05792	493906	2132368
Atún MZ 118 LT 5	Sirena y Aleta	19.28493	-99.05814	493891	2132356
Cangrejo MZ 19 LT 9	a 50 mts. de Perca	19.28594	-99.05767	493941	2132468
Cda. Cangrejo MZ 18 LT 12	Perca y Ostión	19.28613	-99.05723	493958	2132454
Curel MZ 119 LT 12	Aleta y Sirena	19.2843	-99.05757	493951	2132286
Pámpano MZ 119 LT 14	Av. Aleta y Av. Sirena	19.28452	-99.05783	493924	2132311
Pámpano MZ 138 LT 4	Priv. C. Pámpano a 40 mts. de Av. Aleta	19.28374	-99.05848	493855	2132224
Sirena MZ 100 LT 5	C. Pámpano y C. Mojarra	19.2853	-99.05803	493903	2132397
Sirena MZ 100 LT 9	Mojarra y Pámpano	19.28521	-99.05789	493918	2132387
Sirena MZ 118 LT 3	Atún y Pámpano	19.28499	-99.0579	493916	2132362

Tabla 20. Relación de predios a revisar por la brigada No. 18

ESPECIALIDAD	No.	NOMBRE	EMPRESA / PERSONA FÍSICA	TEL. DE CONTACTO	CORREO ELECTRÓNICO
DRO	18				
GEOTECNISTA	18				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
Almeja MZ 121 LT 4	Sirena y Aleta	19.28389	-99.05667	494014	2132257
Almeja MZ 120 LT 14	Aleta y Sirena	19.28412	-99.05697	493977	2132244
Curel 23	Aleta y Sirena	19.28448	-99.05741	493968	2132306
Curel MZ 120 LT 11	Aleta y Sirena	19.28415	-99.05751	493957	2132269
Esq. Aleta y Langosta #1	Langosta y Almeja	19.28348	-99.05723	493987	2132195
Langosta No. 61 MZ 121 LT 4	Aleta y Sirena	19.2839	-99.05686	494026	2132242
Langosta MZ 121 LT 6	Sirena y Aleta	19.28386	-99.05718	494012	2132220
Sirena MZ 101 LT 15	Langosta y Pámpano	19.28439	-99.05674	494038	2132296
Sirena No 21	Langosta y Pámpano	19.28466	-99.05712	493998	2132326
Sirena No. 19	Langosta y Pámpano	19.2846	-99.05705	494006	2132319

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 19 de marzo de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Visita al predio de Francisco Landino No. 24.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-06 "*Visita Técnica al predio ubicado en Francisco Landino No. 24*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-06, se presentan los comentarios sobre la posible existencia de grietas en el suelo que pudieran afectar a la construcción.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibí original
21/marzo/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-06

VISITA TÉCNICA AL PREDIO UBICADO EN FRANCISCO LANDINO No. 24, Col. MIGUEL HIDALGO, TLÁHUAC

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Febrero, 2019

VISITA TÉCNICA AL PREDIO UBICADO EN FRANCISCO LANDINO No. 24, Col. MIGUEL HIDALGO, TLÁHUAC

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por sismos y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los alcances, la Comisión para la Reconstrucción ha iniciado la construcción de viviendas multifamiliares en un predio ubicado en la calle de Francisco Landino No. 24, que podrá ser ocupado por 136 familias reubicadas en caso de ser necesario. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) para realizar una visita técnica al sitio y emitir sus comentarios sobre la posible existencia de grietas en el suelo que pudieran afectar a la construcción. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica.

2. VISITA TÉCNICA

El día 27 de febrero de 2019, el II-UNAM visitó el predio (actualmente en construcción). Se realizó tanto una inspección visual de las construcciones colindantes a la obra en construcción como una consulta a nuestro robusto banco de datos sobre las grietas en la zona. Este banco ha sido reforzado por los trabajos de inspección que fueron realizados por el II-UNAM antes y después de la construcción de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo (metro).

Con base tanto en la inspección como en la consulta, se concluye que no hay grietas en el predio ubicado que se ubica en la calle de Francisco Landino No. 24, Col. Miguel Hidalgo, Alcaldía de Tláhuac.

En la Figura 1 se muestra la ubicación del sitio bajo el contexto del programa *Google Earth* y en la Figura 2 se presentan algunos aspectos de la obra en construcción.

Figura 1. Ubicación del predio (*Google Earth*,2018)

Figura 2. Aspectos de la obra en construcción.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 31 de julio de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Predios a revisar en la colonia Villa Centroamericana.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-07 "P*redios para revisión geotécnica – estructural en la colonia Villa Centroamericana, Alcaldía de Tláhuac*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-07, se presenta una relación de predios afectados por sismo o grietas en el suelo que deben revisarse en forma prioritaria en la colonia Villa Centroamericana.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
06 / agosto / 2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-07
PREDIOS PARA REVISIÓN GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA VILLA CENTROAMERICANA, ALCALDÍA DE TLÁHUAC

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Marzo, 2019

PREDIOS PARA REVISIÓN
GEOTÉCNICA – ESTRUCTURAL EN LA COLONIA VILLA CENTROAMERICANA, ALCALDÍA DE TLÁHUAC

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por sismos recientes y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario, realizar una revisión de predios afectados. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto de Ingeniería de la UNAM para elaborar una lista de predios afectados con base en información proporcionada por la Secretaría de Obras (SOBSE) de la Ciudad de México en 2018. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se presenta una lista de predios afectados que deben revisarse en forma prioritaria. En la presente nota técnica se incluyen únicamente predios de la Colonia Villa Centroamericana de la Alcaldía de Tláhuac, donde se tienen predios de dos unidades habitacionales (U.H. Villa de los Trabajadores y U.H. Villa Centroamericana y del Caribe).

2. PREDIOS POR REVISAR

La relación de predios adjunta se definió con base en la información proporcionada por la Secretaría de Obras del Gobierno de la Ciudad de México al Instituto de Ingeniería UNAM como fuente información para el desarrollo del proyecto "*Acompañamiento para la evaluación y remediación de daños en las construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco por agrietamiento del subsuelo*" realizado en el año 2018 y fue complementada con información recientemente proporcionada por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC).

La relación de predios afectados se basa en las solicitudes de revisión presentadas por los poseedores de los inmuebles ante la SOBSE, en la administración anterior y ante el ISC en la presente administración.

De las 281 solicitudes de revisión de la Unidad habitacional Villa Centroamericana y del Caribe, se cuenta con coordenadas de ubicación de 108 edificios, de los 173 edificios restantes no se cuenta con sus coordenadas de ubicación, por lo tanto, deberán ubicarse en campo. La relación de estos predios se presenta en las Tablas 1 y 2, su ubicación en planta se indica con círculos de color amarillo en la Figura 1.

Asimismo, de las 147 solicitudes de revisión de la Unidad habitacional Villa de los Trabajadores, únicamente se cuenta con coordenadas de ubicación de 40 edificios, de los 107 edificios restantes no se cuenta con sus coordenadas de ubicación, por lo tanto, deberán ubicarse en campo. La relación de estos predios se presenta en las Tablas 3 y 4, su ubicación en planta se indica con círculos de color verde en la Figura 1.

Figura 1. Ubicación de predios registrados con dictamen estructural emitido por un DRO.

Tabla 1. Predios registrados para su revisión por un DRO asistido por un geotecnista, en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.281958	-99.057666	493941	2132027
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.281768	-99.058027	493903	2132006
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.282356	-99.057304	493979	2132071
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.282157	-99.057028	494008	2132049
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281877	-99.057247	493985	2132018
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.282871	-99.057066	494004	2132128
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28119	-99.057561	493952	2131942
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281588	-99.057247	493985	2131986
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.281705	-99.056942	494017	2131999
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.281877	-99.056761	494036	2132018
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.281787	-99.056647	494048	2132008
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.281669	-99.056495	494064	2131995
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.282103	-99.056628	494050	2132043
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.28195	-99.056029	494113	2132026
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.283468	-99.055962	494120	2132194
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.283323	-99.056077	494108	2132178
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28345	-99.0564	494074	2132192
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283468	-99.056572	494056	2132194
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.283522	-99.056886	494023	2132200
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283703	-99.056743	494038	2132220
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.283875	-99.05661	494052	2132239
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.284218	-99.055982	494118	2132277
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.284019	-99.055706	494147	2132255
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283929	-99.055601	494158	2132245
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28364	-99.055829	494134	2132213
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283721	-99.055944	494122	2132222
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284092	-99.056429	494071	2132263
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.283586	-99.05542	494177	2132207
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283613	-99.05561	494157	2132210
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283757	-99.055239	494196	2132226
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.283712	-99.05484	494238	2132221
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.283821	-99.055011	494220	2132233
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.283902	-99.055125	494208	2132242
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284029	-99.055268	494193	2132256
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284065	-99.054773	494245	2132260
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.283975	-99.054659	494257	2132250
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.28411	-99.054545	494269	2132265
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284201	-99.054659	494257	2132275
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28439	-99.054773	494245	2132296

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284417	-99.054963	494225	2132299
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.284679	-99.054754	494247	2132328
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.284562	-99.054602	494263	2132315
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284481	-99.054478	494276	2132306
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.284363	-99.054316	494293	2132293
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.284707	-99.05445	494279	2132331
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284824	-99.054611	494262	2132344
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285059	-99.054412	494283	2132370
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284942	-99.054259	494299	2132357
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284472	-99.053964	494330	2132305
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285692	-99.054145	494311	2132440
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285538	-99.054526	494271	2132423
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285656	-99.054669	494256	2132436
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285655	-99.054859	494236	2132436
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285764	-99.055059	494215	2132448
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.286098	-99.054802	494242	2132485
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.286496	-99.054441	494280	2132529
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.286342	-99.054564	494267	2132512
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.286315	-99.054184	494307	2132509
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286207	-99.054031	494323	2132497
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285864	-99.054069	494319	2132459
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.285981	-99.054222	494303	2132472
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.286605	-99.053708	494357	2132541
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.286478	-99.053546	494374	2132527
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28627	-99.053746	494353	2132504
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286496	-99.05406	494320	2132529
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.286686	-99.054298	494295	2132550
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286831	-99.054165	494309	2132566
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.287301	-99.053813	494346	2132618
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.287111	-99.053556	494373	2132597
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.287002	-99.053394	494390	2132585
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286876	-99.053232	494407	2132571
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.28665	-99.053413	494388	2132546
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286767	-99.053575	494371	2132559
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285068	-99.053479	494381	2132371
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284924	-99.053593	494369	2132355
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285104	-99.05386	494341	2132375
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285222	-99.054031	494323	2132388
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285339	-99.054183	494307	2132401
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285556	-99.054003	494326	2132425
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285611	-99.053717	494356	2132431

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.285719	-99.053879	494339	2132443
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285954	-99.053689	494359	2132469
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285846	-99.053527	494376	2132457
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285719	-99.053365	494393	2132443
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285529	-99.053108	494420	2132422
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.285376	-99.053241	494406	2132405
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285855	-99.052851	494447	2132458
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.285701	-99.052965	494435	2132441
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285891	-99.053232	494407	2132462
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286008	-99.053394	494390	2132475
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286117	-99.053555	494373	2132487
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286225	-99.053213	494409	2132499
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28674	-99.053051	494426	2132556
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286623	-99.052889	494443	2132543
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286506	-99.052728	494460	2132530
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.286316	-99.05247	494487	2132509
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286162	-99.052585	494475	2132492
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285702	-99.051966	494540	2132441
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.280802	-99.056323	494082	2131899
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.281444	-99.05579	494138	2131970
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.281227	-99.055495	494169	2131946
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.281616	-99.055153	494205	2131989
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281363	-99.055381	494181	2131961
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.281489	-99.055562	494162	2131975
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.282149	-99.055029	494218	2132048
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.281932	-99.054734	494249	2132024
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28176	-99.054839	494238	2132005
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281498	-99.054163	494309	2131976

Tabla 2. Predios registrados para su revisión por un DRO asistido por un geotecnista, que deberán ser ubicados en campo, en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-F	Gabriela Mistral y Langosta				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-E	Gabriela Mistral y Langosta				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-E	Gabriela Mistral y Langosta				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-G	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-H	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-I	Gabriela Mistral y Langosta				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-J	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-E	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-F	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-A	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-B	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-C	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-D	Gabriela Mistral y Langosta				
La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-F	Gabriela Mistral y Langosta				

Tabla 3. Predios registrados para su revisión por un DRO asistido por un geotecnista, en la Unidad Habitacional de los trabajadores.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280658	-99.052897	494442	2131883
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280541	-99.052726	494460	2131870
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280378	-99.052469	494487	2131852
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280116	-99.052297	494505	2131823
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.28046	-99.052611	494472	2131861
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280595	-99.052821	494450	2131876
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279917	-99.052468	494487	2131801
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279809	-99.052554	494478	2131789
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279719	-99.052763	494456	2131779
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-D, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279872	-99.052973	494434	2131796
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-E, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279953	-99.053087	494422	2131805
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280161	-99.053734	494354	2131828
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280116	-99.053668	494361	2131823
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-D, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280089	-99.053877	494339	2131820
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280052	-99.054153	494310	2131816
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280251	-99.054439	494280	2131838
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280378	-99.054324	494292	2131852
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280513	-99.05422	494303	2131867
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.281155	-99.053697	494358	2131938
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.281092	-99.053497	494379	2131931
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280975	-99.053316	494398	2131918
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280875	-99.053183	494412	2131907
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280993	-99.053344	494395	2131920
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279195	-99.050888	494653	2131721
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279285	-99.051022	494639	2131731
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.27886	-99.050869	494655	2131684
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-D, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.278779	-99.051145	494626	2131675
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-E, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.278878	-99.051307	494609	2131686
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279005	-99.051488	494590	2131700
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279041	-99.051583	494580	2131704
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279999	-99.051945	494542	2131810

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279863	-99.051831	494554	2131795
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279728	-99.051659	494572	2131780
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279592	-99.051469	494592	2131765
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279122	-99.051707	494567	2131713
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.27914	-99.05184	494553	2131715
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279231	-99.051992	494537	2131725
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279366	-99.05223	494512	2131740
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-I, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279583	-99.05223	494512	2131764
La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-J, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279791	-99.052326	494502	2131787

Tabla 4. Predios registrados para su revisión por un DRO asistido por un geotecnista, que deberán ser ubicados en campo, en la Unidad Habitacional Villa de los Trabajadores.

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 3-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 3-E, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 16-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-H, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-H, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-H, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-D, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-E, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-I, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-J, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-K, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-L, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-M, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-N, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-I, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-J, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-K, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-L, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-D, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-I, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-J, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-K, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-H, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-I, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-J, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-F, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-G, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-I, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-A, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-B, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-C, (Edif. 1 y 2 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-F, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-G, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-H, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-A, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-B, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-C, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-D, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-E, (Edif. 3 y 4 Niv.)	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

2. RUTAS DE REVISIÓN GEO-ESTRUCTURAL

A partir de la información anterior, se definieron las rutas anexas que se asignarán a las brigadas de revisión Geo-estructural.

Los resultados de las revisiones realizadas por un Director Responsable de Obra o Corresponsable en Seguridad Estructural, asistidos por un geotecnista, deberán ser transmitidas al Comité de Grietas para su revisión técnica y transferencia posterior al Instituto para la Seguridad de las Construcciones.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

Relación de predios a revisar por la brigada No. 1

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 1-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.281958	-99.057666	493941	2132027
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 2-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.281768	-99.058027	493903	2132006
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.282356	-99.057304	493979	2132071
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.282157	-99.057028	494008	2132049
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281877	-99.057247	493985	2132018
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 3-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.282871	-99.057066	494004	2132128
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 4-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-A	Gabriela Mistral y Langosta				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 2

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28119	-99.057561	493952	2131942
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 5-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281588	-99.057247	493985	2131986
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 6-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.281705	-99.056942	494017	2131999
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.281877	-99.056761	494036	2132018
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.281787	-99.056647	494048	2132008
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 7-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.281669	-99.056495	494064	2131995
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.282103	-99.056628	494050	2132043
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 1 Edif. 8-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.28195	-99.056029	494113	2132026
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.283468	-99.055962	494120	2132194
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.283323	-99.056077	494108	2132178

Relación de predios a revisar por la brigada No. 3

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28345	-99.0564	494074	2132192
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283468	-99.056572	494056	2132194
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.283522	-99.056886	494023	2132200
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283703	-99.056743	494038	2132220
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 9-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.283875	-99.05661	494052	2132239
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.284218	-99.055982	494118	2132277
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.284019	-99.055706	494147	2132255
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283929	-99.055601	494158	2132245
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28364	-99.055829	494134	2132213
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283721	-99.055944	494122	2132222
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284092	-99.056429	494071	2132263
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 10-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 11-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 12-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-D	Gabriela Mistral y Langosta				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 4

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 13-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.283586	-99.05542	494177	2132207
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.283613	-99.05561	494157	2132210
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.283757	-99.055239	494196	2132226
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 14-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.283712	-99.05484	494238	2132221
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.283821	-99.055011	494220	2132233
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.283902	-99.055125	494208	2132242
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284029	-99.055268	494193	2132256
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284065	-99.054773	494245	2132260
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 15-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.283975	-99.054659	494257	2132250
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.28411	-99.054545	494269	2132265
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284201	-99.054659	494257	2132275
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28439	-99.054773	494245	2132296
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284417	-99.054963	494225	2132299
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.284679	-99.054754	494247	2132328
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.284562	-99.054602	494263	2132315
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284481	-99.054478	494276	2132306
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 16-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.284363	-99.054316	494293	2132293
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.284707	-99.05445	494279	2132331
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284824	-99.054611	494262	2132344
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285059	-99.054412	494283	2132370
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.284942	-99.054259	494299	2132357
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 2 Edif. 17-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.284472	-99.053964	494330	2132305
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285692	-99.054145	494311	2132440

Relación de predios a revisar por la brigada No. 5

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285538	-99.054526	494271	2132423
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285656	-99.054669	494256	2132436
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285655	-99.054859	494236	2132436
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285764	-99.055059	494215	2132448
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 18-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.286098	-99.054802	494242	2132485
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.286496	-99.054441	494280	2132529
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.286342	-99.054564	494267	2132512
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.286315	-99.054184	494307	2132509
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286207	-99.054031	494323	2132497
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285864	-99.054069	494319	2132459
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 19-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.285981	-99.054222	494303	2132472
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.286605	-99.053708	494357	2132541
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.286478	-99.053546	494374	2132527
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28627	-99.053746	494353	2132504
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286496	-99.05406	494320	2132529
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.286686	-99.054298	494295	2132550
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 20-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286831	-99.054165	494309	2132566
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.287301	-99.053813	494346	2132618
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.287111	-99.053556	494373	2132597
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.287002	-99.053394	494390	2132585
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286876	-99.053232	494407	2132571
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.28665	-99.053413	494388	2132546
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 21-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286767	-99.053575	494371	2132559
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285068	-99.053479	494381	2132371
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.284924	-99.053593	494369	2132355
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285104	-99.05386	494341	2132375
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285222	-99.054031	494323	2132388
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285339	-99.054183	494307	2132401
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285556	-99.054003	494326	2132425

Relación de predios a revisar por la brigada No. 6

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 22-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285611	-99.053717	494356	2132431
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.285719	-99.053879	494339	2132443
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285954	-99.053689	494359	2132469
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.285846	-99.053527	494376	2132457
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.285719	-99.053365	494393	2132443
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285529	-99.053108	494420	2132422
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 23-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.285376	-99.053241	494406	2132405
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.285855	-99.052851	494447	2132458
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.285701	-99.052965	494435	2132441
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.285891	-99.053232	494407	2132462
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286008	-99.053394	494390	2132475
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286117	-99.053555	494373	2132487
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 24-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286225	-99.053213	494409	2132499
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.28674	-99.053051	494426	2132556
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.286623	-99.052889	494443	2132543
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.286506	-99.052728	494460	2132530
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.286316	-99.05247	494487	2132509
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 3 Edif. 25-G	Gabriela Mistral y Langosta	19.286162	-99.052585	494475	2132492
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 26-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-E	Gabriela Mistral y Langosta				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 7

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 27-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.285702	-99.051966	494540	2132441
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 28-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 29-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 30-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 4 Edif. 31-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 51-E	Gabriela Mistral y Langosta				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 8

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 52-H	Gabriela Mistral y Langosta	19.280802	-99.056323	494082	2131899
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-A	Gabriela Mistral y Langosta	19.281444	-99.05579	494138	2131970
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-C	Gabriela Mistral y Langosta	19.281227	-99.055495	494169	2131946
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 53-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.281616	-99.055153	494205	2131989
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281363	-99.055381	494181	2131961
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 54-F	Gabriela Mistral y Langosta	19.281489	-99.055562	494162	2131975
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-B	Gabriela Mistral y Langosta	19.282149	-99.055029	494218	2132048
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-D	Gabriela Mistral y Langosta	19.281932	-99.054734	494249	2132024
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.28176	-99.054839	494238	2132005
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 55-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-E	Gabriela Mistral y Langosta				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 9

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-G	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-H	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-I	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 56-J	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-E	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 57-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-A	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-B	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-C	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-D	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-E	Gabriela Mistral y Langosta	19.281498	-99.054163	494309	2131976
U.H. Villa Centroamericana	La Turba No. 595 Mz. 10 Edif. 58-F	Gabriela Mistral y Langosta				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280658	-99.052897	494442	2131883
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280541	-99.052726	494460	2131870
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280378	-99.052469	494487	2131852
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280116	-99.052297	494505	2131823
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.28046	-99.052611	494472	2131861
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 15-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280595	-99.052821	494450	2131876
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279917	-99.052468	494487	2131801
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279809	-99.052554	494478	2131789
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279719	-99.052763	494456	2131779
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279872	-99.052973	494434	2131796
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 16-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279953	-99.053087	494422	2131805
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280161	-99.053734	494354	2131828
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280116	-99.053668	494361	2131823
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280089	-99.053877	494339	2131820
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280052	-99.054153	494310	2131816

Relación de predios a revisar por la brigada No. 10

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280251	-99.054439	494280	2131838
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280378	-99.054324	494292	2131852
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 1-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280513	-99.05422	494303	2131867
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.281155	-99.053697	494358	2131938
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.281092	-99.053497	494379	2131931
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280975	-99.053316	494398	2131918
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280875	-99.053183	494412	2131907
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 2-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.280993	-99.053344	494395	2131920
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 3-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 1 Cond. 3-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 16-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 17-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 3-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 11

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 4-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 2 Cond. 5-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-J	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-K	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-L	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-M	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 6-N	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-J	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 12

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-K	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 7-L	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-J	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 8-K	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 3 Cond. 9-J	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 10-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				

Relación de predios a revisar por la brigada No. 13

UNIDAD HABITACIONAL	CALLE Y NUMERO	ENTRE CALLES:	LATITUD	LONGITUD	COORD. ESTE (m)	COORD. NTE. (m)
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 11-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 12-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 4 Cond. 18-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo				
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279195	-99.050888	494653	2131721
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279285	-99.051022	494639	2131731
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.27886	-99.050869	494655	2131684
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.278779	-99.051145	494626	2131675
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.278878	-99.051307	494609	2131686
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279005	-99.051488	494590	2131700
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 13-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279041	-99.051583	494580	2131704
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-A	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279999	-99.051945	494542	2131810
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-B	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279863	-99.051831	494554	2131795
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-C	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279728	-99.051659	494572	2131780
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-D	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279592	-99.051469	494592	2131765
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-E	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279122	-99.051707	494567	2131713
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-F	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.27914	-99.05184	494553	2131715
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-G	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279231	-99.051992	494537	2131725
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-H	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279366	-99.05223	494512	2131740
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-I	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279583	-99.05223	494512	2131764
U.H. Villa de los Trabajadores	La Turba No. 595 Mz. 5 Cond. 14-J	Juan de Dios Peza y Heberto Castillo	19.279791	-99.052326	494502	2131787

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 02 de septiembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Aspectos a considerar para la revisión de los dictámenes Geo-Estructurales.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-08 "*Aspectos a considerar para la revisión de los dictámenes Geo-Estructurales*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-08, se presentan los criterios que deberán seguir los revisores de los dictámenes Geo-Estructurales emitidos por las brigadas (DRO-Especialista en Geotecnia).

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

recibi original
05/septiembre/2019

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-08
ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA REVISIÓN DE LOS DICTÁMENES GEO-ESTRUCTURALES

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Sergio A. Martínez Galván
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos E. Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

Agosto, 2019.

ASPECTOS A CONSIDERAR PARA LA REVISIÓN DE LOS DICTÁMENES GEO-ESTRUCTURALES

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la rehabilitación o reconstrucción de las edificaciones dañadas por el sismo de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha conformado brigadas de inspección geo-estructural, conformadas por un DRO y un especialista en Geotecnia, encargadas de realizar una revisión de los predios afectados. Para la inspección y documentación de daños, se emplea la cédula de revisión geotécnica-estructural presentada en la Nota técnica G-01 propuesta por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) y avalada por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal (ISC-GOBCDMX).

La Comisión para la Reconstrucción solicitó la participación del II-UNAM en la revisión y validación de los dictámenes establecidos para cada predio afectado. Durante el proceso de revisión, el II-UNAM detectó algunos dictámenes con información incompleta o no satisfactoria. Por tal motivo, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica en la que se indican los principales aspectos a considerar para la revisión de los dictámenes geo-estructurales.

2. ASPECTOS BÁSICOS PARA LA REVISIÓN DE LOS DICTÁMENES GEO-ESTRUCTURALES

Sin profundizar en cada tema ni considerar casos específicos, a continuación, se señalan algunos aspectos importantes para la revisión de los dictámenes geo-estructurales. Los comentarios se agrupan de acuerdo con la estructura del formato.

Datos de ubicación del predio:

- Revisar que la dirección indicada corresponda con la del predio en revisión.
- Verificar que la dirección del predio no este repetida en la base de datos.
- Verificar que el número de folio asignado al dictamen corresponda al registrado en la base de datos.
- Verificar que la identificación del predio incluya el folio del dictamen, la fotografía de la fachada y el croquis de ubicación del predio.

Datos de quienes conforman la brigada de inspección:

- Verificar que el dictamen incluya (sin excepción) los nombres del Director Responsable de Obra (DRO) y su número de carnet, del especialista en Geotecnia y su número de cédula. En caso de faltar los datos de algunos de ellos, el dictamen deberá considerarse como *no valido*.

Uso del inmueble:

- Revisar que se indique la clasificación del uso del inmueble en una o más de las categorías, asimismo que se indique si el predio está ocupado o desocupado.

Descripción de la estructura:

- Verificar el grupo al que pertenece la construcción y la zona geotécnica donde se ubica el predio con base en las Normas Técnicas Complementarias vigentes (2017). En caso de que el predio se ubique en la frontera de dos zonas geotécnicas, asignar en la zona geotécnica más crítica.
- Verificar que se indique el tipo de cimentación (eventualmente inferido).
- Verificar que se indique el tipo de estructuración de la edificación. Si la construcción presenta un sistema estructural distinto a los contenidos en la *Tabla*, clasificar en otro y describir dicho sistema.

Descripción de daños en elementos estructurales:

- Verificar que se haya incluido una descripción clara de los daños o anomalías detectados en elementos estructurales de la construcción (trabes, vigas, columnas, muros de carga y losas), y que los daños hayan sido documentados mediante fotografías (en su Anexo 2) claramente descritas.

Descripción de daños en elementos no estructurales:

- verificar que se haya incluido una descripción clara de los daños o anomalías detectados en elementos no estructurales de la construcción (firmes de concreto, pisos, plafones, aplanados y acabados), con su justificación y documentación con fotografías (en su Anexo 2) claramente descritas.

Estado de la edificación (Instalaciones y mantenimiento):

- Verificar que se haya incluido una descripción clara y breve del estado general de las instalaciones y condiciones de mantenimiento de la construcción, con su justificación y documentación con fotografías (en su Anexo 2) claramente descritas.

Daños asociados al subsuelo:

- Verificar que se hay incluido información de daños en la edificación asociados con las condiciones del subsuelo (desplomo, asentamientos diferenciales, emersión aparente, inclinación de talud, presencia de socavones y oquedades), con su justificación y documentación con fotografías (en su Anexo 2) claramente descritas.

Grietas en el suelo:

Verificar que se haya incluido:

- Información que evidencie la presencia de la grieta en el suelo dentro del predio con información actual y previa al dictamen. Pueden integrarse fotografías anteriores al dictamen para mostrar la existencia de grietas en el suelo dentro del predio.
- Clasificación de la grieta en el suelo dentro del predio (con escalón o sin escalón) y datos de la grieta (abertura, profundidad, rumbo). En caso de no existir grieta en el suelo dentro del predio, quedarán sin llenar los datos asociados a las grietas. Es conveniente que el

dictamen incluya la descripción de eventuales grietas ubicadas en la calle colindante. Sin embargo, la clasificación del predio deberá basarse exclusivamente en las características de la o las grietas que se manifiesten dentro del mismo.
- Exclusivamente información de las grietas en el suelo, no de fisuras o grietas en elementos estructurales, pisos o firmes de la construcción.

Clasificación de la edificación:
- Verificar que se haya incluido la clasificación de la edificación: *mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción o reubicación*.

Observaciones y recomendaciones:
- Verificar que se haya incluido una descripción clara del estado estructural y geotécnico de la construcción y de las instalaciones. Esta información sustenta la clasificación de la edificación.

ANEXOS
- Deben incluir imágenes y fotografías que indiquen la ubicación del predio y muestren los daños en la construcción asociados a sismos y por la presencia de grietas en el suelo. La descripción de cada fotografía o imagen debe ser clara y congruente con lo que se muestra.
- Es recomendable que las fotografías y esquemas aparezcan siguiendo el orden en que se describen los daños dentro del predio. Asimismo, las fotografías deben quedar en posición vertical para la correcta identificación de daños.

ANEXO 1 Ubicación del predio:
El croquis de la ubicación del predio revisado debe ser legible, con nombres de calles, la orientación del norte, la trayectoria de las grietas en el suelo sólo dentro del predio y en calles aledañas. Es recomendable que se indique la distancia medida del predio a la esquina más próxima de la manzana.

ANEXO 2 Reporte fotográfico:
Debe incluir:
- Fotografía de la fachada del predio en revisión.
- Fotografías de los daños en elementos estructurales, no estructurales y de instalaciones de la construcción.
- Fotografías mostrando la existencia o ausencia de grietas en el suelo dentro del predio y en las calles colindantes.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 03 de octubre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Recomendaciones para cajas de arena.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-09 "*Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-09, se presentan las recomendaciones generales para la construcción de las cajas de arena.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
08 / octubre / 2019

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-09
Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón

Elaborada para:
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Jesús Sánchez Guzmán

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

29 de mayo, 2019

Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformación para grietas con escalón

1. Antecedentes

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México realiza diversas acciones para la reparación de daños causados por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

La alcaldía de Iztapalapa ha tomado la iniciativa en la rehabilitación de vialidades afectadas por grietas con escalón, las cuales son de las más conflictivas. Para lo anterior se están usando “Cajas de arena disipadoras de deformaciones”, técnica que fue propuesta por el II-UNAM para mitigar los daños ocasionados por las grietas mencionadas.

Como guía para la implementación de esta solución, el II-UNAM elaboró las recomendaciones generales que se presentan a continuación para la construcción de las cajas de arena.

2. Caja disipadora

La caja disipadora de deformaciones unitarias tiene por finalidad eliminar el escalón en la superficie de una vialidad (Fig. 1) y reemplazarlo por una superficie inclinada tolerable (Fig. 2). Lo anterior se consigue colocando por debajo de los materiales típicos de un pavimento, un dentellón de material granular. Este dentellón granular constituye el cuerpo de la caja disipadora.

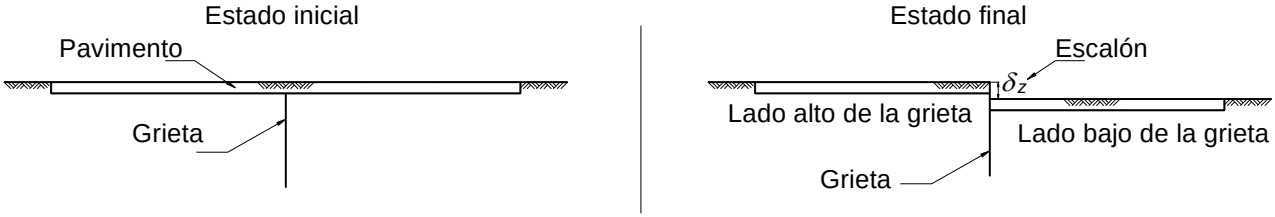


Fig. 1 Falla frágil del pavimento de una vialidad en presencia de una grieta con escalón

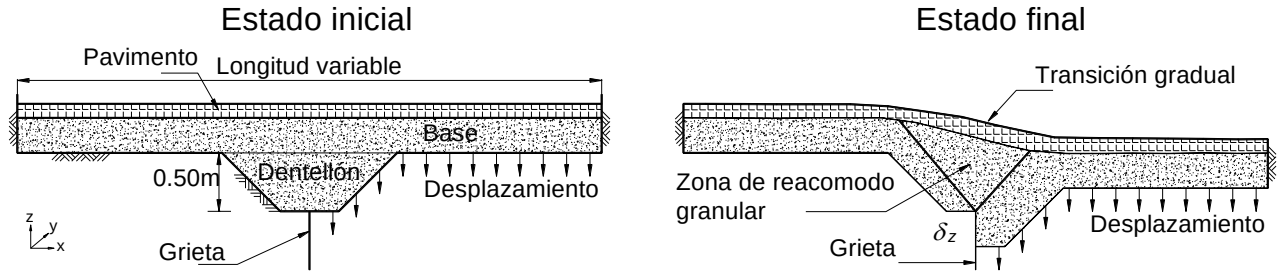


Fig. 2 Caja disipadora de deformaciones

Un material granular, como la arena o la grava no soporta tensiones. Por tanto, el escalón vertical se distribuye en una distancia horizontal que depende principalmente de la profundidad del dentellón. La caja debe tener un ancho suficiente para permitir el libre reacomodo del material granular como se indica en la Fig. 2.

3. Tamaño de la caja disipadora

Para construir una caja disipadora es necesario tomar en cuenta las características de la vialidad y de la grieta. A continuación, se distinguen tres grupos de situaciones a partir de las cuales se puede elegir el tamaño de la caja.

3.1 Caja disipadora chica

Construir una caja disipadora con profundidad de 0.50m tomando en cuenta las siguientes condiciones:

- Vialidades poco transitadas o de tránsito lento, donde es admisible la presencia de una pendiente en la superficie del pavimento.
- El escalón crece a una velocidad relativamente baja.
- Se pueden realizar mantenimientos de nivelación de la vialidad en periodos de tiempo cortos.
- El escalón máximo admisible entre dos mantenimientos sucesivos es de 15cm.

3.2 Caja disipadora grande

Se recomienda construir una caja disipadora con profundidad de 1m en los siguientes casos:

- Vialidades importantes o de tránsito rápido, donde es importante mantener una velocidad de circulación de los vehículos y, por lo tanto, la pendiente en la superficie del pavimento debe ser baja.
- El escalón crece a una velocidad considerable.
- No se pueden realizar mantenimientos en forma frecuente.
- El escalón máximo admisible entre dos mantenimientos sucesivos es de 30cm.

3.3 Casos excepcionales

Debido a las diferentes condiciones que se han observado en las grietas presentes en Iztapalapa y otras alcaldías, se considera que cuando el escalón crece a una alta velocidad, cuando la altura del escalón rebasa 50cm o cuando se presentan varias grietas con escalón cercanas entre sí, es prudente cerrar definitivamente la vialidad al paso vehicular.

En estos casos el tamaño de la caja disipadora sería tan grande que resultaría con un costo excesivo tanto en su construcción como en los mantenimientos posteriores. La

profundidad requerida de la excavación sería considerable y demandaría procedimientos cuidadosos para evitar daños a la infraestructura aledaña.

4. Recomendaciones constructivas

Se sugiere tomar en cuenta las siguientes recomendaciones durante la construcción de una caja disipadora:

- Identificar la traza de la grieta en la superficie.
- Retirar el pavimento de la vialidad en una franja de ancho suficiente para la excavación requerida.
- Realizar una excavación en forma de trapecio (Fig. 3) con la base centrada en la grieta.
- El ancho, *a*, de la base de la caja puede ser el que permita la herramienta de excavación, por ejemplo, el ancho del bote de una retroexcavadora.
- El ancho, *b*, de la parte superior de la caja debe ser al menos dos veces la profundidad, *h*, de la caja.
- La forma de la caja puede ser rectangular, pero respetando siempre $b>2h$.
- La profundidad, *h,* de la caja disipadora será de acuerdo con el inciso 3 de esta nota técnica. La profundidad puede variar, pero nunca ser menor de 50cm.
- En caso de existir una abertura horizontal de la grieta, se deberá rellenar con arena para concreto (ASTM C33) y compactar con varilla.
- Rellenar la excavación con capas de arena de 20 a 25cm de espesor y compactar.
- Agregar sobre la arena una capa de tepetate de 20cm.
- Colocar la capa de pavimento para restablecer la continuidad de la vialidad.
- Si existen dos o más grietas cercanas, se puede hacer una sola excavación de acuerdo a la facilidad constructiva que considere el Líder Coordinador de Proyecto (residente).

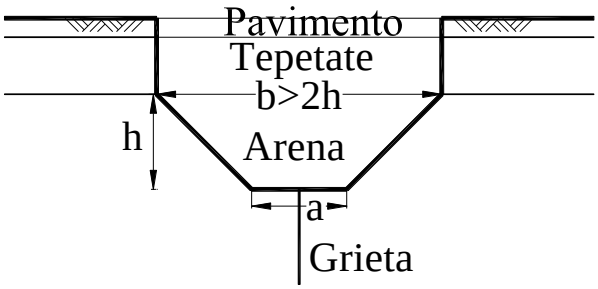


Fig. 3 Geometría de la excavación para la caja disipadora

5. Recomendaciones adicionales

Para llevar un control de los materiales y de las cajas disipadoras se recomienda realizar muestreos aleatorios para:

- Obtener la granulometría y en particular el contenido de finos (que pasan la malla #200) de la arena. Los muestreos pueden ser por banco de material.
- Evaluar los límites de consistencia de los finos en laboratorio.
- Realizar calas volumétricas para medir el peso volumétrico de la arena colocada en las cajas disipadoras.
- Se recomienda además realizar unas cuantas pruebas piloto para evaluar la rigidez de la arena compactada:
  Pruebas de placa para determinar el comportamiento de deformación de la arena colocada en las cajas disipadoras, de acuerdo con las normas existentes (ASTM D1194, ASTM D1195, ASTM D1196 u otra).

REFERENCIAS

Auvinet G., Sánchez J., Pineda A. 2019. "*Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo*". Artículo sometido a arbitraje en: Ingeniería Investigación y Tecnología.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 18 de septiembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Guía para el llenado de la cédula de revisión Geotécnica-Estructural.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-10 "*Guía para el llenado de la cédula de revisión Geotécnica-Estructural de las edificaciones dañadas por sismo o grieta*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-10, se describen algunos aspectos a considerar para el llenado adecuado de las cédulas de dictamen Geo-estructural de los predios dañados por sismo y/o grieta.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
24/septiembre/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-10
GUÍA PARA EL LLENADO DE LA CÉDULA DE REVISIÓN GEOTÉCNICA-ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES DAÑADAS POR SISMO O GRIETA

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Sergio A. Martínez Galván
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos E. Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México.

Agosto, 2019.

GUÍA PARA EL LLENADO DE LA CÉDULA DE REVISIÓN GEOTÉCNICA-ESTRUCTURAL DE LAS EDIFICACIONES DAÑADAS POR SISMO O GRIETA

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la rehabilitación o reconstrucción de las edificaciones dañadas por el sismo de 2017 y/o por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha conformado brigadas de inspección geo-estructural, conformadas por un DRO y un especialista en Geotecnia, encargadas de realizar una revisión de los predios afectados. Para la inspección y documentación de daños, se emplea la cédula de revisión geotécnica-estructural presentada en la Nota técnica G-03 propuesta por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) y avalada por el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal (ISC-GOBCDMX).

Con el propósito de contribuir a la elaboración de dictámenes Geo-Estructurales, la Comisión para la Reconstrucción solicitó el apoyo al II-UNAM para orientar mediante un documento a los profesionales encargados de realizar la inspección visual a los predios afectados por sismo o grieta en el suelo. Por tal motivo, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica en la que se indican los principales aspectos a considerar para el llenado adecuado de la cédula de dictamen geo-estructural.

2. GUÍA PARA EL LLENADO DE LAS CÉDULAS DE DICTÁMEN GEO-ESTRUCTURAL

A continuación, se describen algunos aspectos a considerar para el llenado adecuado de las cédulas de dictamen Geo-estructural de los predios dañados por sismo y/o grieta. Para tal propósito, se toma como base la cédula de Dictamen Geo-estructural.

Datos de quienes conforman la brigada de inspección:

- Se deberá indicar (sin excepción) los nombres del Director Responsable de Obra (DRO) y su número de carnet, y los del especialista en Geotecnia y su número de cédula profesional.

  En caso de faltar los datos de alguno de los dos especialistas, el dictamen no será válido.

Datos de ubicación del predio:

- Escribir la dirección completa del predio en revisión indicando claramente: nombre de la calle, clave catastral, número exterior, número interior, entre calles, colonia, alcaldía, código postal y la distancia del centro (aproximado) de la fachada a la esquina de la manzana más cercana.

  La distancia del centro de la fachada a la esquina más próxima se realizará preferentemente con cinta. El
  Anexo 1 de la cédula debe incluir el croquis de ubicación del predio y de la grieta en caso de encontrarse, sus características se indican más adelante en el presente documento.

- Registrar las coordenadas geográficas (latitud, longitud) de ubicación del predio.

Se podrá emplear un sistema de navegación para determinar las coordenadas geográficas, en tal caso, el equipo receptor permanecerá inmóvil por lo menos 5 minutos dentro del predio. El sitio deberá estar libre de obstáculos (árboles, cables de alta tensión, techumbres, entre otros) que impidan la correcta recepción de la señal satelital.

- Registrar la antigüedad del inmueble

La antigüedad del edificio podrá obtenerse con base en el registro catastral o consultando al poseedor.

Uso del inmueble:

- Indicar la clasificación del uso del inmueble en una o más de las categorías que aparecen en el formulario.

En caso de que el inmueble tenga un uso distinto a los que aparecen en el formulario, se deberá clasificar en otros y describir su uso.

- Indicar:
  - Si el predio se encuentra ocupado o desocupado.
  - número de niveles sobre el nivel de banqueta (SNB).
  - número de sótanos.
  - número de viviendas al interior del predio.
  - número de ocupantes.

No deberá omitirse algún dato, a excepción de que la construcción haya sido demolida.

Descripción de la estructura:

- Seleccionar el grupo al que pertenece la construcción de acuerdo con el Artículo 139 del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal vigente.

El Reglamento de Construcciones en su artículo 139, establece la siguiente clasificación:

"Grupo A: Edificaciones cuya falla estructural podría causar un número elevado de pérdidas de vidas humanas, o constituir un peligro significativo por contener sustancias tóxicas o explosivas, y edificaciones cuyo funcionamiento es esencial ante una emergencia urbana, las que se subdividen en:

Subgrupo A1: Construcciones para las que se requiere mantener mayores niveles de seguridad:
a) Edificios que es necesario mantener en operación aún después de un sismo de magnitud importante, como: hospitales, aeropuertos, terminales y estaciones de transporte, instalaciones militares, centros de operación de servicios de emergencia, subestaciones eléctricas y nucleares, estructuras para la transmisión y distribución de electricidad, centrales telefónicas y repetidoras, estaciones de radio y televisión, antenas de transmisión y los inmuebles que las soportan o contienen, estaciones de bomberos, sistemas de almacenamiento, bombeo, distribución y abastecimiento de agua potable, estructuras que alojen equipo cuyo funcionamiento sea esencial para la población, tanques de agua, puentes vehiculares y pasarelas peatonales;
b) Construcciones o depósitos cuya falla puede implicar un severo peligro para la población, por contener cantidades importantes de sustancias tóxicas, inflamables o explosivas.

Subgrupo A2: Estructuras cuya falla podría causar:
a) Un impacto social importante, como estadios, salas de reuniones, templos, auditorios y otras, que puedan albergar más de 1000 personas.

b) Una afectación a la población particularmente vulnerable, como: escuelas de educación preescolar, primaria y secundaria.

c) La pérdida de material de gran valor histórico o cultural: museos, monumentos y estructuras que contengan archivos jurídicos o registros públicos.

Para fines de aplicación de las Normas Técnicas Complementarias para la Revisión de la Seguridad Estructural de las Edificaciones, las construcciones del Grupo A se subdividen en:

Caso 1: Edificaciones con altura de entre 30 y 70 m o con área total construida de entre 6,000 y 15,000 m2, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento;

Caso 2: Construcciones con más de 70 m de altura o con más de 15,000 m^2 de área total construida, ubicadas en las zonas I y II; y

Caso 3: Edificaciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m^2 de área total construida, en la zona III; en ambos casos las áreas se refieren a cada cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo e incluyen las áreas de anexos. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje.

Grupo B: Edificaciones comunes destinadas a viviendas, oficinas y locales comerciales, hoteles y construcciones comerciales e industriales no incluidas en el Grupo A, las que se subdividen en:

Subgrupo B1:

a) Edificaciones de más de 30 m de altura o con más de 6,000 m2 de área total construida, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento, y construcciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m^2 de área total construida, en la zona III; en ambos casos las áreas se refieren a cada cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo e incluyen las áreas de anexos. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje;

b) Edificaciones anexas a los hospitales, aeropuertos o terminales de transporte, como estacionamientos, restaurantes, así como edificios destinados a educación media superior y superior.

c) Derogado;

Caso 4: Edificaciones con altura de entre 30 y 70 m o con área total construida de entre 6,000 y 15,000 m2, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento;

Caso 5: Construcciones con más de 70 m de altura o con más de 15,000 m2 de área total construida, ubicadas en las zonas I y II;

Caso 6: Edificaciones de más de 15 m de altura o más de 3,000 m2 de área total construida, en la zona III; en ambos casos las áreas se refieren a cada cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo e incluyen las áreas de anexos. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje;

Caso 7: Construcciones anexas a los hospitales, aeropuertos o terminales de transporte, como estacionamientos, restaurantes, así como edificios destinados a educación media superior y superior.

Subgrupo B2:

Caso 8: Edificaciones con una altura de entre 15 y 30 m o con un área total construida entre 3,000 y 6,000 m2, ubicadas en las zonas I y II a que se aluden en el artículo 170 de este Reglamento;

Caso 9: Construcciones con una altura de entre 10 m y 15 m o con un área total construida entre 1,500 y 3,000 m2, en la zona III; en ambos casos las áreas se refieren a cada cuerpo de edificio que cuente con medios propios de desalojo e incluyen las áreas de anexos. El área de un cuerpo que no cuente con medios propios de desalojo se adicionará a la de aquel otro a través del cual se desaloje; y

Caso 10: Las demás de este grupo."

- Indicar la zona geotécnica en la que se ubica el predio.

La zona geotécnica (lomas, transición o lago) se indicará con base en el mapa que aparece en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones vigentes (GOBCDMX. 2017). En caso de que el predio se ubique cerca de las fronteras entre dos de las zonas, se supondrá ubicado en la más desfavorable.

- Indicar el tipo de cimentación de la edificación (eventualmente inferida).

Podrá preguntarse a los habitantes del inmueble por el tipo de cimentación de la edificación. Debe tenerse presente que la cimentación es parte de la estructura que generalmente no se observa, sin embargo, puede indicarse el tipo de cimentación eventualmente inferido de acuerdo con las características de la estructura.

- Incluir el tipo de estructuración de la edificación.

En caso de que la construcción presente un sistema estructural distinto a los contenidos en la Tabla 1 de la cédula de Dictamen Geo-estructural, se deberá clasificar en otro y describirlo.

Descripción de daños en elementos estructurales:

- Describir de forma clara y precisa los daños encontrados en los elementos estructurales de la construcción (trabes, vigas, columnas, muros de carga y losas), indicando la ubicación de los mismos dentro de la vivienda mediante un croquis (Anexo 1). Los daños estructurales deberán documentarse en el Anexo 2, mediante fotografías acompañadas de una clara y breve descripción.

La descripción de los daños podrá complementarse con fotografías anteriores a la revisión del predio con el propósito de mostrar los daños estructurales severos del inmueble ocasionados por los sismos de septiembre de 2017 (fotografías tomadas momentos después de los sismos), en caso de que la estructura ya esté demolida y/o reconstruida.

Descripción de daños en elementos no estructurales:

- Describir de forma clara y precisa los daños encontrados en elementos no estructurales de la construcción (firmes de concreto, pisos, plafones, aplanados y acabados). Los daños deberán documentarse en el Anexo 2, mediante fotografías, acompañadas de una clara y breve descripción.

La descripción de los daños podrá complementarse con fotografías anteriores a la revisión del predio con el propósito de mostrar los daños no estructurales severos del inmueble ocasionados por los sismos de septiembre de 2017 (fotografías tomadas momentos después de los sismos), en caso de que la estructura ya esté demolida y/o reconstruida.

Estado de la edificación (Instalaciones y mantenimiento):

- Incluir una clara descripción del estado general sobre las condiciones de las instalaciones y de mantenimiento que guarda la construcción. Deberán documentarse, en el Anexo 2, las condiciones de las instalaciones y de la edificación mediante fotografías acompañadas de una clara y breve descripción.

  Las instalaciones a las que se refiere son particularmente la acometida de agua potable y drenaje dentro del predio. En cuanto al mantenimiento se pondrá especial cuidado en los elementos estructurales y en segundo término a los elementos no estructurales.

Daños asociados al subsuelo:

- Indicar la magnitud de los daños que presenta la edificación asociados con las condiciones del subsuelo (desplomo, asentamientos diferenciales, emersión aparente, hundimiento, inclinación de talud, presencia de socavones y oquedades), de acuerdo con las unidades indicadas en el formulario. Los daños encontrados deberán documentarse, en el Anexo 2, mediante fotografías acompañadas de una clara y breve descripción.

  En este apartado se debe indicar la magnitud de los daños encontrados en la edificación tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales, puesto que, son importantes para la toma de decisiones. A manera de ejemplo se presentan las siguientes descripciones:
  - *"se presenta una grieta en posición diagonal (45°) en el muro, de aproximadamente 2.5m de longitud y una abertura aproximada de 3mm".*
  - *"en el área de estacionamiento dentro del predio se encuentra un socavón de aprox. 0.6m de ancho y altura de 0.5m, aparentemente provocada por una fuga en la instalación de agua potable".*

Grietas en el suelo:

En caso de encontrarse grietas en el suelo que crucen al interior del predio se deberá:

- Seleccionar la casilla correspondiente a la condición de la grieta (sin escalón o con escalón).

  En caso de no existir grietas en el suelo dentro del predio, las opciones deberán dejarse en blanco.

- Asentar los datos de la grieta ubicada dentro del predio (rumbo, longitud, abertura y profundidad), de acuerdo con las unidades indicadas en el formulario.

  En caso de seleccionar la existencia de una grieta en el suelo dentro del predio (con o sin escalón), se deberán registrar los datos correspondientes a la grieta. Se considera que el dictamen tiene inconsistencias al indicar que existe grieta en el suelo dentro del predio y dejar en blanco los datos que la describen. Asimismo, no es aceptable registrar datos de una grieta en el suelo dentro del predio y no indicar su existencia.

- Indicar la clasificación de la grieta en el suelo más crítica ubicada dentro del predio con base los datos de la grieta registrados.

  Los datos de las grietas en el suelo ubicadas en la calle colindante sirven únicamente de apoyo para la correcta clasificación de la grieta en el suelo dentro del predio, por tanto, en ningún caso deberá clasificarse la grieta ubicada en la calle colindante. En esta sección debe aparecer exclusivamente información de las grietas en el suelo, las fisuras en pisos y firmes se excluyen.

Las grietas deberán documentarse mediante fotografías, en el Anexo 2, acompañadas de una clara y breve descripción, asimismo, se deberá trazar su trayectoria en el croquis de ubicación del predio (Anexo 1).

Es aceptable integrar, en el Anexo 2, fotografías anteriores al dictamen para mostrar la existencia de grietas en el suelo ubicadas dentro del predio. Además, deberán incluirse incluir fotografías después de los sismos de septiembre de 2017, en los casos en los que las grietas en el subsuelo se hicieron más evidentes.

Observaciones y recomendaciones:

- Debe describirse de forma clara el estado estructural y geotécnico que guarda la construcción y las instalaciones al momento de realizar la inspección.

La información de este apartado debe sustentar la clasificación del dictamen de la edificación. Asimismo, los especialistas deben emitir una recomendación encaminada a dar solución al problema del inmueble. Las observaciones y recomendaciones emitidas en este apartado deben ser coherentes con los daños que presente la edificación, deberá indicarse particularmente si los daños son causados por: sismo o grieta en el suelo, falta de mantenimiento del inmueble, ampliaciones al inmueble, mala calidad de los materiales, proceso constructivo deficiente, hundimiento diferencial, exceso de niveles o peso de la estructura, inducidos por construcciones vecinas, instalaciones en calles colindantes, entre otros.

Clasificación de la edificación:

- Indicar la clasificación de la edificación (*mantenimiento, rehabilitación, reconstrucción con tratamiento de grietas, reubicación u otro)*.

Se deberá seleccionar una sola opción, la cual estará justificada por los datos, descripciones, comentarios y fotografías incluidas en el dictamen.
*Se podrá clasificar en la categoría de "**Mantenimiento**", al inmueble que presente daños menores (fisuras o cuarteaduras, desprendimiento de acabados o recubrimientos y humedad), asociados o no a sismo o a grietas en el suelo. El inmueble es habitable.*
*Se podrá clasificar en la categoría de "**Rehabilitación**", al inmueble que presente daños en algunos de sus elementos estructurales y no estructurales, asociados a sismo, a mal procedimiento constructivo, con daños por influencia de viviendas vecinas o por la presencia de una grieta nivel I, a la cual se le tendrá que dar tratamiento en caso necesario. El inmueble es habitable.*
*Se podrá clasificar en la categoría de "**Reconstrucción con tratamiento de grietas**", al inmueble que presente daños graves en sus elementos estructurales y no estructurales, asociados a sismo, asentamientos diferenciales, con daños graves por influencia de viviendas vecinas, a la existencia de una grieta nivel II o III en el predio dictaminado o a la presencia de socavación u oquedades en el suelo, que impidan que el inmueble sea habitable. Por estas condiciones, el inmueble se deberá demoler parcial o totalmente, para ello, se requerirá del planteamiento de un proyecto de reconstrucción en el mismo predio, basado en el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México vigente.*
*Se podrá clasificar en la categoría de "**Reubicación**", al inmueble que presente daños graves en sus elementos estructurales y no estructurales, asociados a la existencia de una grieta nivel IV en el predio, cuando debido a la trayectoria y magnitud de la grieta no sea viable la reconstrucción en el mismo predio.*
*Se podrá clasificar en la categoría de "**Otro**", en el caso que la edificación no presente daños asociados a sismo o grieta y se trate de una vivienda precaria, por falta de mantenimiento, ampliaciones al inmueble, mala calidad de los materiales, proceso constructivo deficiente, hundimiento diferencial, exceso de niveles o peso de la estructura, los inducidos por construcciones vecinas, o bien, las edificaciones construidas posterior a los sismos de septiembre 2017.*

ANEXOS

- Deben incluir imágenes y fotografías que indiquen la ubicación del predio y muestren los daños en la construcción asociados a sismos y por la presencia de grietas en el suelo. La descripción de cada fotografía o imagen debe ser clara y breve de acuerdo con lo mostrado en las fotografías.

- Es recomendable que el orden de aparición de las fotografías y esquemas que muestran los daños dentro del predio sea de acuerdo como se presentan el formulario. Asimismo, en todos los casos, las fotografías deben quedar en posición vertical para la correcta identificación de daños.

  La inadecuada posición de las fotografías puede confundir a los pisos con muros, muros con losas o viceversa.

ANEXO 1 Croquis del predio con ubicación de la vivienda y grieta:

El croquis de ubicación del predio debe ser legible, tanto en el trazo como en el texto, indicando y resaltando la ubicación del predio y su nomenclatura, ubicación de los daños en la vivienda, orientación del norte, nombres de calles y trayectoria de las grietas en el suelo solamente dentro del predio y en calles colindantes. Adicionalmente se deberá indicar la distancia del centro de la fachada a la esquina de entrecalles más cercana. Se debe describir la simbología incluida en el croquis.

ANEXO 2 Reporte fotográfico:

Debe incluir:
- Fotografía de la fachada del predio en revisión, esta fotografía no debe dejar dudas del predio en revisión.
- Fotografías de los daños en elementos estructurales, no estructurales y de instalaciones de la construcción.
- Fotografías que evidencien la existencia de grietas en el suelo dentro del predio y en las calles colindantes.

3. COMENTARIOS GENERALES

Adicionalmente a las observaciones particulares sobre cada una de las secciones de la cédula de revisión, es conveniente que los especialistas encargados de realizar la inspección de las edificaciones, tomen en consideración los siguientes comentarios generales:

- En caso de faltar algún dato, el dictamen será regresado para ser completado.

- Los comentarios emitidos por los habitantes y vecinos deberán tomarse con reserva, puesto que, debe prevalecer el criterio técnico de los especialistas.

- Los casos no considerados en la presente nota técnica quedarán a consideración del Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal (Ciudad de México).

- Un caso particular relevante, es el caso de vivienda nueva, reconstruida después de los sismos de septiembre de 2017, donde el dictamen quedará a consideración del Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal (Ciudad de México).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 06 de noviembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Revisión del Informe de exploración geotécnica, colonia Del Mar.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-11 "R*evisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Del Mar*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-11, se describen los comentarios derivados de la revisión del Informe entregado por la empresa ejecutora de la exploración geotécnica profunda en la colonia Del Mar.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

recibi original
13/noviembre/2019

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-11
REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN LA COLONIA DEL MAR

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Noviembre, 2019

REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN LA COLONIA DEL MAR

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reparación de daños causados por los sismos de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como primera etapa de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción consideró necesario, realizar una campaña de exploración e instrumentación geotécnica de detalle en los sitios donde se ubican las grietas consideradas como más representativas en la Alcaldía Tláhuac (colonia Del Mar) y en la Alcaldía Iztapalapa (Deportivo Cananea, colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco). Los alcances de la exploración geotécnica para la Colonia Del Mar quedaron establecidos en la Nota técnica (NT) G-01.

Una vez concluidos los trabajos de campo y laboratorio, la empresa ejecutora de los trabajos en la colonia del Mar entregó un informe final a la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, quien a su vez solicitó al II-UNAM la revisión de dicho informe. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se plantean los comentarios derivados de dicha revisión.

La información entregada por la empresa TGC-Geotecnia consta de un *Informe* impreso y copia en formato digital "*pdf*", y de diez archivos electrónicos editables (*.*dwg*) que contienen los perfiles de los sondeos geotécnicos realizados.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DE LOS SONDEOS

Como lo indica el informe, el sitio de estudio se ubica al poniente de la colonia Del Mar, Alcaldía de Tláhuac, donde se encuentran algunas de las grietas en la superficie del terreno más representativas. Los trabajos de campo realizados constan de tres sondeos mixtos (SM-01, SM-02 y SM-03), la instalación de un banco de nivel profundo (BNP-1) y de la perforación de un pozo para realización de una prueba de sonda suspendida (SVs-1), a cargo del Instituto de Ingeniería, UNAM.

En la Tabla 1 se indican las coordenadas de ubicación de los sondeos, banco del nivel profundo (BNP). Asimismo, en la Figura 1 se muestra la localización en planta en el contexto de una fotografía satelital de *Google Earth*.

Tabla 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos de exploración en la Colonia del Mar.

Sondeo	Calle	Entre calles	Coordenadas UTM, WGS 84, 14 N		
			Este-X (m)	Norte-Y (m)	Elevación del brocal (m.s.n.m)
SM-01	Salmón	Tintorera y Barracuda	493088.912	2132591.726	2232.054
SM-02	Hipocampo	Salmón y Pingüino	493247.170	2132688.182	2234.513
SM-03	Pingüino	Aleta y Sirena	493358.665	2132793.259	2236.404
BNP-1	Canal de Chalco	Canal de Chalco esquina Piraña	*492871.488	*2132365.999	*2231.462
SVs-01	Hipocampo	Salmón y Pingüino	493244.736	2132689.897	2234.434

* Datos obtenidos del estudio topográfico realizado por la CFE, en el informe los datos son diferentes.

Figura 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos, Colonia Del Mar.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1 Trabajos de campo

De acuerdo con los alcances de exploración geotécnica indicados en la NT G-01, la profundidad máxima de exploración se definió hasta alcanzar los depósitos profundos (DP).

3.1.1 Sondeos mixtos

Se realizaron tres sondeos mixtos (SM-01, SM-02 y SM-03) con la aplicación de las técnicas de cono eléctrico (CPTu, con lectura de tres parámetros: presiones de punta, de fuste y de presión poro), de la prueba de penetración estándar (SPT) y del muestreo selectivo (SS) con tubo de pared

delgada, hasta llegar a los estratos resistentes (depósitos profundos o basamento rocoso). En la Tabla 2 se indica la longitud explorada con cada técnica de exploración.

Tabla 2. Técnicas de exploración utilizadas en los sondeos mixtos (SM).

Sondeo	Profundidad del NAF (m)	Longitud explorada (m)			Longitud total de exploración (m)
		Cono eléctrico	Penetración estándar	Muestreo selectivo inalterado	
SM-01	2.90	68.10	6.90	8.00	83.00
SM-02	2.90	70.30	6.00	6.00	82.30
SM-03	2.70	38.70	12.60	6.00	57.30
Total		177.10	25.50	20.00	222.60

En el informe entregado por la empresa ejecutora, en los tres perfiles de los sondeos mixtos se indica el número de golpes en los tramos (cortos y espaciados) donde se empleó la técnica SPT con la extracción de muestras alteradas representativas y los tramos donde se midió la resistencia q_c, con la técnica de CPTu. Adicionalmente, se incluye tres perfiles de sondeos de muestreo selectivo inalterado a diferentes profundidades (SMS-1, SMS-2 y SMS-3).

3.1.2 Sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro

Se realizaron mediciones de piezocono en los sondeos SM-01, SM-02 y SM-03, con obtención de parámetros de resistencia de punta, fricción lateral y presión de poro dinámica. En estos sondeos aparecen tramos de mediciones realizadas con la técnica CPTu y tramos con número de golpes de la prueba de penetración estándar (SPT), por lo que, se concluye que se realizaron solamente tres sondeos mixtos (SM).

En los tramos donde se empleó la técnica CPTu se realizaron algunas pruebas de disipación de presión de poro. La Tabla 3 muestra los resultados de las pruebas de disipación de presión de poro realizadas en cada sondeo.

Tabla 3. Pruebas de disipación de la presión de poro realizadas.

Sondeo	No. de prueba	Profundidad (m)	Presión de poro (kg/cm^2)
SM-1	1	7.2	0.71
	2	20.0	2.03
	3	25.4	2.48
	4	35.9	3.55
	5	52.0	5.3
	6	55.0	5.33
	7	62.0	5.39
SM-2	1	8.5	0.85
	2	23.5	2.22
	3	36.0	3.81
	4	39.0	3.83
	5	58.0	5.23
SM-3	1	10.0	0.48
	2	18.0	1.32
	3	41.0	0.02
	4	42.0	0.79

3.1.3 Instalación de un Banco de Nivel Profundo (BNP)

Se instaló un banco de nivel profundo, BNP-01, en el interior del predio del Instituto de Educación Media Superior, plantel Tláhuac "*José María Morelos y Pavón*", desplantado a 100 m de profundidad en los depósitos profundos. La perforación fue realizada por medio de la técnica de avance controlado (Tabla 4).

Tabla 4. Banco de nivel profundo (BNP).

Sondeo	Avance controlado (m)	Longitud total de exploración (m)
BNP-01	100.00	100.00

3.1.4 Perforación para prueba dinámica de tipo Sonda Suspendida (SVs).

Se realizaron dos perforaciones próximas al sitio del sondeo SM-02, mediante la técnica de avance continuo sin recuperación de muestras, con objeto de realizar ensayes dinámicos de sonda suspendida en toda la profundidad, hasta el contacto con los depósitos profundos (Tabla 5). Los ensayes de sonda suspendida (*SVs*) permiten medir la velocidad de propagación de ondas de corte en los diversos estratos del subsuelo.

Tabla 5. Perforación y ensayes dinámicos de sonda suspendida.

Sondeo	Longitud perforada (m)	Longitud protegida con ademe de PVC (m)
SVs-01	40	--
	80	35
Total	120	35

3.2 Trabajos de laboratorio

En la Tabla 6 muestra un resumen de los ensayes del laboratorio realizados y las Tablas 7 y 8 muestran los parámetros de resistencia y compresibilidad obtenidos de las pruebas de laboratorio.

Tabla 6. Resumen de pruebas de laboratorio, colonia Del Mar.

PRUEBAS DE LABORATORIO	SM-01	SM-02	SM-03	No. Total de pruebas	Observaciones
Clasificación e identificación de los suelos	16	14	21	51	El informe no incluye las caratulas de las pruebas. Estos datos se obtuvieron de los perfiles.
Determinación del contenido de agua	57	50	74	181	La prueba se determinó a cada 10 ó 20 cm en un total 60 muestras
Límites de consistencia	2	1	2	5	En el informe se presentan 5 carátulas de pruebas. Los perfiles muestran 33 determinaciones
Peso volumétrico natural	6	5	6	17	Determinaciones incluidas en los ensayes triaxiales
Pruebas de consolidación unidimensional	6	5	6	17	Los resultados muestran que algunos ensayes se realizaron con muestras poco deformables no representativas.
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	6	5	6	17	Los resultados muestran que algunos ensayes se realizaron con muestras poco representativas.

Tabla 7. Resultados de ensayes triaxiales.

Sondeo	Prof. m	SUCS	w %	S_s	e_0	G_w %	γ t/m^3	E_{50} kg/cm^2	c kg/cm^2	ϕ
SMS-1	11.3	CH	339	2.46	8.27	100	1.15	44	0.32	-
	20.5	MH	80	2.79	2.47	100	1.45	56	0.67	-
	44.5	MH	114	2.45	2.87	100	1.36	77	0.70	-
	57.5	CH	232	2.31	5.42	100	1.20	128	1.04	-
	58.5	CH	247	2.40	6.20	100	1.16	84	0.88	-
	67.10	MH	204	2.27	4.57	100	1.24	79	0.80	-
SMS-2	2.50	MH	76	2.22	1.89	90	1.35	96	0.16	21°
	30.0	CH	153	2.24	3.34	100	1.29	38	0.44	-
	50.0	CH	281	2.22	6.29	100	1.16	61	0.65	-
	51.4	CH	178	2.23	4.10	100	1.23	64	0.72	-
	67.9	MH	208	2.25	4.66	100	1.22	101	1.10	-
SMS-3	1.30	MH	79	2.43	2.39	81	1.29	335	1.34	23°
	6.80	MH	87	2.54	2.29	100	1.45	64	0	31°
	8.80	MH	333	2.58	8.71	100	1.15	66	0.54	-
	16.70	MH	264	2.54	6.1	100	1.31	33	0.38	-
	25.20	MH	257	2.39	5.52	100	1.31	69	0.60	-
	31.30	CH	251	2.49	6.31	100	1.20	97	0.98	-

Prof., profundidad de la muestra

SM, sondeo mixto

SUCS, clasificación según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos

w, contenido natural de agua

S_s, densidad de sólidos

e_0, relación de vacíos inicial

G_w, grado de saturación

γ, peso volumétrico

E_{50} módulo elástico

c, resistencia no drenada

ϕ, ángulo de fricción

Tabla 8. Resultados de pruebas de consolidación

Sondeo	Prof. m	SUCS	w_0 %	γ t/m^3	m_r cm^2/kg	m_v cm^2/kg	κ	λ	σ_c kg/cm^2	σ'_0 kg/cm^2	OCR
SM-1	11.3	CH	339	1.26	0.0489	0.1917	0.30	3.24	1.18	0.45	2.62
	20.5	MH	82	1.60	0.0210	0.0372	0.03	0.33	1.55	0.54	2.87
	44.5	MH	151	1.42	0.0237	0.0919	0.07	1.29	1.84	0.80	2.30
	57.5	CH	234	1.30	0.0278	0.0849	0.14	1.93	1.82	0.95	1.92
	58.5	CH	251	1.30	0.0222	0.1140	0.21	2.95	2.50	0.96	2.60
	67.10	MH	195	1.35	0.0386	0.0503	0.09	1.23	1.90	1.07	1.78
SMS-2	2.50	MH	76	1.53	-	-	-	-	0.48	0.28	1.71
	30.0	CH	235	1.29	0.0875	0.1037	0.13	1.39	0.96	0.57	1.68
	50.0	CH	281	1.28	0.0471	0.1102	0.21	2.25	1.48	0.89	1.66
	51.4	CH	239	1.30	0.0576	0.1372	0.20	2.02	1.51	0.91	1.66
	67.9	MH	214	1.31	0.0620	0.0991	0.16	2.10	2.25	1.13	1.99
SMS-3	1.30	MH	108	1.29	0.0038	0.0171	0.04	0.38	1.86	0.29	6.41
	6.80	MH	86	1.57	0.0039	0.0185	0.04	0.22	1.75	0.34	5.14
	8.80	MH	286	1.30	0.0331	0.1591	0.11	2.80	1.50	0.36	4.16
	16.70	MH	125	1.49	0.0063	0.0464	0.05	0.64	1.27	0.44	2.54
	25.30	MH	233	1.29	0.0476	0.0972	0.14	1.68	1.05	0.53	2.89
	31.30	CH	232	1.31	0.0441	0.1109	0.18	2.61	2.22	0.59	3.76

4. COMENTARIOS

En la NT G-01 se indica:

a) Realizar tres sondeos de tipo mixto (SM) con recuperación de muestras inalteradas en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades, y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu).
b) En los trabajos de laboratorio se deberán considerar pruebas que permitan:
- La clasificación e identificación de los suelos, que permitirán obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterado e inalterado).
- Determinar el contenido de agua, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.

En la Colonia del Mar, la empresa ejecutora de la exploración geotécnica realizó tres sondeos Mixtos (SM), combinado las técnicas de CPT y SPT. La obtención de muestras con la técnica SPT no fue continua, por lo que, el perfil de contenido de agua no es continuo y sistemático a lo largo de la profundidad. Lo anterior no permite correlacionar este

parámetro con datos de CPTu. Por tanto, con los resultados presentados en el informe final no es posible definir un modelo geotécnico completo que sirva de base para los modelos numéricos. El informe correspondiente a la colonia Del Mar cubre solamente de manera parcial los alcances y los objetivos indicados en la NT G-01.

En el perfil de cada sondeo mixto, conviene incluir los resultados de las pruebas realizadas con las muestras alteradas e inalteradas, a fin de facilitar la interpretación de manera conjunta. Asimismo, es conveniente presentar en los perfiles de CPTu únicamente los datos correspondientes a esta técnica.

Los entregables consisten en:

- Informe impreso y en formato electrónico.
- Perfiles de cada sondeo, perfil estratigráfico del sitio y carátulas de los ensayes de laboratorio en formato digital editable.

Con base en la revisión, se considera que falta:

- Indicar las coordenadas de ubicación del BNP-01 con base en los resultados del estudio topográfico realizado por la CFE.

- Complementar las carátulas de los ensayes de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados.

- En algunos estratos del perfil geotécnico, indicar la clasificación (SUCS). En otros estratos no coincide la descripción del suelo con la clasificación, por tanto, debe esta información debe corregirse y complementarse.

- Falta reportar los resultados de las mediciones de la profundidad del NAF en caso de haber instalado tubos de observación.

- Los archivos electrónicos de pruebas de laboratorio deben presentarse en formato fuente (editable).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 06 de noviembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Revisión del Informe de exploración geotécnica, Deportivo Cananea.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-12 "R*evisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en el Deportivo Cananea*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-12, se describen los comentarios derivados de la revisión del Informe entregado por la empresa ejecutora de la exploración geotécnica profunda en el deportivo Cananea.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

recibi original
13/noviembre/2019

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-12
REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN EL DEPORTIVO CANANEA

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Noviembre, 2019

REVISIÓN DE LOS TRABAJOS DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA EN EL DEPORTIVO CANANEA

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reparación de daños causados por los sismos de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como primera etapa de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción consideró necesario realizar una campaña de exploración e instrumentación geotécnica de detalle en los sitios donde se ubican las grietas consideradas como más representativas en la Alcaldía Tláhuac (colonia Del Mar) y en la Alcaldía Iztapalapa (Deportivo Cananea, colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco). Los alcances de la exploración geotécnica quedaron establecidos en la Nota técnica (NT) G-01.

Una vez concluidos los trabajos de campo y laboratorio, la empresa ejecutora de los trabajos en el deportivo Cananea entregó un informe final a la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, quien a su vez solicitó al II-UNAM la revisión de dicho informe. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se plantean los comentarios derivados de dicha revisión.

La información entregada por la empresa INGEUM Ingeniería SA, consta de un *Informe* impreso, 41 archivos en formato digital "*pdf*", tres archivos en formato digital editable "*dwg*" y 33 archivos en formato digital editable "*xlsx*".

2. UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se ubica dentro del Deportivo Cananea, entre las calles Pintapan (al sur) y Derechos Democráticos (al norte), en la colonia La Planta, alcaldía de Iztapalapa, donde se encuentran dos grietas paralelas en dirección suroriente-norponiente con una separación entre sí del orden de 23 m. Entre ambas grietas se presenta una zona baja con un escalón del orden de 70cm. Los trabajos de campo realizados constan de tres sondeos mixtos (SM-04, SM-05 y SM-06), tres sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro (CPTu-04, CPTu-05 y CPTu-06) y la instalación de dos tubos de observación (TO) en pozos previamente perforados, para medir el nivel de agua freática (NAF) durante el periodo de ejecución de los sondeos.

La Tabla 1 muestra las coordenadas de ubicación de los sondeos, la Figura 1 (también incluida en el informe) muestra esquemáticamente la localización de los sondeos en el contexto de una fotografía satelital de Google Earth.

Tabla 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos de exploración.

Sondeo	Entre calles	Coordenadas UTM		
		Este, *X* (m)	Norte, *Y* (m)	Elevación del brocal, Z (m.s.n.m)
SM-04	Pintapan y Derechos Democráticos	493314.48	2133109.57	2236.63
SM-05		493326.65	2133114.71	2236.13
SM-06		493348.55	2133121.25	2237.02
CPTu-04		*493313.43	*2133110.00	----
CPTu-05		*493329.00	*2133115.00	----
CPTu-06		*493345.00	*2133118.00	----
TO-SM-04		**493314.48	**2133109.57	----
TO-SM-05		**493326.65	**2133114.71	----

***** Datos obtenidos de los perfiles de sondeos CPTu.

****** Coordenadas repetidas con los sondeos SM.

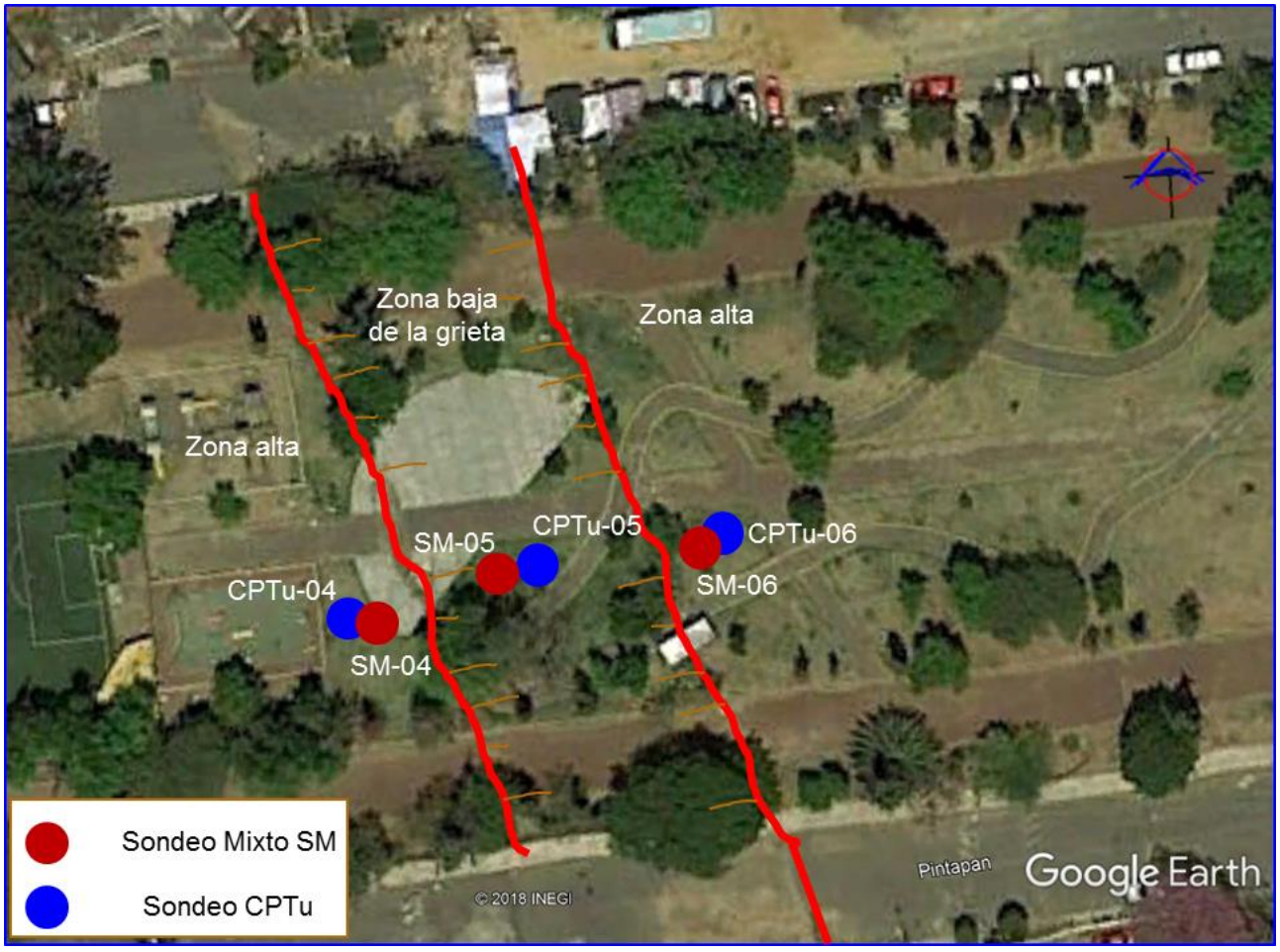


Figura 1. Ubicación de los sondeos de exploración geotécnica, sitio Deportivo Cananea.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1 Trabajos de campo

De acuerdo con los alcances de exploración geotécnica indicados en la NT G-01, la profundidad máxima de exploración se definió hasta alcanzar los depósitos profundos (DP).

Los trabajos de campo realizados son:

3.1.1 Sondeos mixtos

Se realizaron tres sondeos mixtos (SM-04, SM-05 y SM-06) con recuperación de muestras inalteradas en la formación de arcilla a diferentes profundidades mediante tubo de pared delgada tipo Shelby y tipo TGC, y de muestras alteradas mediante el ensaye de la prueba de penetración estándar (SPT), con registro de la resistencia a la penetración de acuerdo con la norma ASTM-D-1586, hasta llegar a los depósitos profundos o basamento rocoso. En la Tabla 2 se indica el número de muestras obtenidas por cada técnica de perforación, así como la longitud total de exploración y la profundidad del nivel de agua freática (NAF) reportada en cada sondeo.

Tabla 2. Técnicas de exploración utilizadas en los sondeos mixtos (SM).

Sondeo	Profundidad del Nivel de Aguas Freáticas (m)	Tipo de muestreo		Longitud de exploración (m)
		Penetración estándar (muestras)	Muestreo selectivo inalterado (muestras)	
SM-04	2.9	111	8	75.00
SM-05	2.2	137	0	82.80
SM-06	2.8	119	10	81.4
Total		367	18	239.2

3.1.2 Sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de presión de poro

Se realizaron tres sondeos de cono eléctrico con medición de presión de poro (CPTu-4, CPTu-5 y CPTu-6) en los que se obtuvieron parámetros de resistencia de punta, fricción lateral y presión de poro. Adicionalmente, se ejecutaron pruebas de disipación de la presión de poro a diferentes profundidades con la finalidad de obtener un perfil de abatimiento. En la Tabla 3 se indica el número de pruebas de disipación de la presión poro realizadas en cada sondeo y la máxima profundidad de exploración alcanzada.

Tabla 3. Pruebas de disipación de presión de poro realizadas en los sondeos CPTu.

Sondeo	Número de pruebas de disipación de presión de poro	Longitud total de exploración (m)
CPTu-04	4	57.78
CPTu-05	3	63.00
CPTu-06	3	39.28
Total	10	160.06

3.1.3 Tubos de observación

Se instalaron dos tubos de observación T.O.-SM-04 y T.O.-SM-05 en las perforaciones de los sondeos mixtos SM-04 y SM-05, ambos a 6 m de profundidad. El objetivo de los tubos de observación es registrar la profundidad del NAF durante la campaña de exploración. La Tabla 4 muestra las mediciones de profundidad del NAF y la fecha en que fueron realizadas en cada uno de los pozos de observación.

Tabla 4. Medición del NAF en tubos de observación.

Fecha	TO-SM-04 Profundidad del NAF (m)	TO-SM-05 Profundidad del NAF (m)
25-jun-19	2.42	1.78
26-jun-19	2.58	92*

Nota: En el informe se reporta la profundidad del NAF a 92m para el día 26/06/2019, debe verificarse y en su caso corregirse este dato.

3.2 Trabajos de laboratorio

La Tabla 5 muestra el número y tipo de ensayes de laboratorio realizados con muestras obtenidas en el sitio Deportivo Cananea.

Tabla 5. Resumen de pruebas de laboratorio realizadas en muestras de suelo del deportivo Cananea.

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-04	SM-05	SM-06	No. total de pruebas	Observaciones
Clasificación e identificación de los suelos	33	36	35	104	Datos obtenidos de los perfiles de los sondeos. Incluir carátulas de la clasificación.
Determinación del contenido de agua	177	278	229	684	
Límites de consistencia	17	28	20	65	
Peso volumétrico natural	---	---	---	---	No se reportan ensayes de peso volumétrico natural.
Contenido de finos por lavado	30	41	35	106	
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	3	5	3	11	
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	3	6	4	13	

4. COMENTARIOS

Con base en los sondeos y trabajos de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados por la empresa INGEUM en el Deportivo Cananea, en el informe se presenta el perfil estratigráfico del sitio y el perfil de presión de poro del sitio. Los resultados de las pruebas de laboratorio (índice, de resistencia y compresibilidad) se presentan por separado. Es conveniente que se incluyan en los perfiles geotécnicos.

Los entregables del trabajo consisten en:

- Informe impreso y en formato electrónico.
- Perfiles de cada sondeo, perfil estratigráfico del sitio y carátulas de los ensayes de laboratorio en formato digital editable.

Con base en la revisión, se considera que falta:

- Verificar y corregir la referencia del mapa de zonificación geotécnica de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones vigente (GOBCDMX, 2017).

- Verificar la referencia de las Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo, las vigentes (GOBCDMX, 2017) no contienen un mapa de Profundidad de Depósitos Profundos (firmes) ni un mapa de Isoperiodos.

- Verificar, corregir y/o completar las coordenadas de ubicación de los sondeos y tubos de observación con base en los resultados del estudio topográfico realizado por la CFE.

- Corregir el dato de profundidad del NAF (92m) del TO-SM-05 del 26/06/2019.

- Presentar una tabla resumen con las longitudes exploradas por cada técnica de perforación: ensaye de penetración estándar y muestreo selectivo inalterado por sondeo, así como la longitud de exploración total.

- Presentar una tabla resumen con las propiedades mecánicas y de deformabilidad obtenidas de las pruebas triaxiales y de consolidación.

- Complementar las carátulas de los ensayes de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados.

- Incluir en los perfiles geotécnicos los datos de las propiedades del suelo obtenidas en laboratorio.

- Presentar el informe actualizado (archivo impreso y electrónico).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 06 de noviembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Revisión del Informe de exploración geotécnica, colonia La Planta.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-13 "R*evisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia La Planta*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-13, se describen los comentarios derivados de la revisión del Informe entregado por la empresa ejecutora de la exploración geotécnica profunda en la colonia La Planta.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibí original
13/noviembre/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-13
REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN LA COLONIA LA PLANTA

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Noviembre, 2019

REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA EN LA COLONIA LA PLANTA

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reparación de daños causados por los sismos de2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como primera etapa, la Comisión para la Reconstrucción consideró necesario realizar una campaña de exploración e instrumentación geotécnica de detalle en los sitios donde se ubican las grietas consideradas como más representativas en la Alcaldía Tláhuac (colonia Del Mar) y en la Alcaldía Iztapalapa (Deportivo Cananea, colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco). Los alcances de la exploración geotécnica para la Colonia La Planta quedaron establecidos en la Nota técnica (NT) G-01.

Una vez concluidos los trabajos de campo y laboratorio, la empresa ejecutora de los trabajos en la colonia La Planta entregó un informe final a la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, quien a su vez solicitó al II-UNAM la revisión de dicho informe. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se plantean los comentarios derivados de dicha revisión.

La información entregada por la empresa Ingenieros Especialistas en Cimentaciones SC (IEC SC), consta de un *Informe* impreso y copia en formato digital "*pdf*".

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El sitio de estudio se ubica sobre la calle Molino, entre las calles Molino de Viento y Nube en la colonia La Planta, alcaldía Iztapalapa, donde se encuentran algunas de las grietas en la superficie del terreno más representativas. Los trabajos de campo realizados constan de dos sondeos mixtos (SM-07 y SM-08) y dos sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro (CPTu-07 y CPTu-08), así como la instalación de dos tubos de observación (PO) en pozos previamente perforados, para medir el nivel de agua freática (NAF) durante el periodo de ejecución de los sondeos.

En la Tabla 1 se indican las coordenadas de ubicación de los sondeos. Asimismo, en la Figura 1 se muestra la localización en planta en el contexto de una fotografía satelital de Google Earth.

Tabla 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos y tubos de observación.

Sondeo	Calle	Entre calles	Coordenadas UTM, WGS 84, 14 N		
			Este-X (m)	Norte-Y (m)	Elevación del brocal (msnm)
SM-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493,199.56	2,133,255.26	2,237.73
SM-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493,220.74	2,133,280.77	2,238.86
CPTu-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493,198.13	2,133,253.50	2,237.71
CPTu-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493,222.22	2,133,282.54	2,238.90
PO-07	Molino	Molino de Viento y Nube	493,199.16	2,133,254.69	2,237.72
PO-08	Molino	Molino de Viento y Nube	493,221.81	2,133,282.11	2,238.86

Figura 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos, colonia La Planta.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1 Trabajos de campo

De acuerdo con los alcances de exploración geotécnica indicados en la NT G-01, la profundidad máxima de exploración se definió hasta alcanzar los depósitos profundos (DP).

Los trabajos de campo realizados son:

3.1.1 Sondeos Mixtos

Se realizaron dos sondeos mixtos (SM-07 y SM-08) con recuperación de muestras inalteradas en la formación de arcilla a diferentes profundidades mediante tubo de pared delgada tipo Shelby y con recuperación de muestras alteradas representativas mediante la prueba de penetración estándar (SPT), con registro de la resistencia a la penetración de acuerdo con la norma ASTM-D-1586, hasta llegar a los depósitos profundos o basamento rocoso. Adicionalmente, a las profundidades donde se encontró roca se empleó barril NXL y NQ.

En la Tabla 2, se indica el número de muestras obtenidas por técnica de exploración y la máxima profundidad alcanzada en cada sondeo.

Tabla 2. Técnicas de exploración utilizadas en los sondeos mixtos (SM).

Sondeo	Tipo de muestreo			Profundidad máxima de exploración (m)
	Penetración estándar (muestras)	Muestreo inalterado (muestras)	Barril (muestras)	
SM-07	81	7	4	61.50
SM-08	72	6	6	55.90
Total	153	13	10	117.40

3.1.2 Sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro

Se realizaron dos sondeos de cono con medición de la presión de poro (CPTu-07 y CPTu-08) en los que se obtuvieron parámetros de resistencia de punta, fricción lateral y presión de poro. Adicionalmente, se ejecutaron pruebas de disipación de la presión de poro a diferentes profundidades con la finalidad de obtener un perfil de abatimiento. La Tabla 3 indica el número de pruebas de disipación de la presión poro realizadas en cada sondeo y la máxima profundidad de exploración alcanzada.

Tabla 3. Número de pruebas de disipación de presión de poro y máxima profundidad de exploración.

Sondeo	Prueba de disipación de la presión de poro	Profundidad máxima de exploración (m)
CPTu-07	7	48.40
CPTu-08	7	44.10
Total	14	92.50

3.1.3 Tubos de observación

Se instalaron dos tubos de observación (TO-07 y TO-08), junto a los sondeos SM-07 y SM-08. Ambos TO alcanzan 10.0 m de profundidad con relación al nivel de piso. La Tabla 4 presenta los niveles del NAF medidos en tres diferentes fechas.

Tabla 4. Medición del NAF en tubos de observación.

Fecha	TO-07 Profundidad del NAF (m)	TO-08 Profundidad del NAF (m)
05-jul-19	2.90	3.91
10-jul-19	3.07	4.09
11-jul-19	3.30	4.10

3.2 Trabajos de laboratorio

De la revisión de los resultados de pruebas de laboratorio, se observa que los parámetros obtenidos son típicos de los suelos explorados y la cantidad de ensayes permite definir un modelo geotécnico confiable del sitio de estudio. En la Tabla 5 se muestra el resumen de los ensayes del laboratorio realizados y la Tabla 6 muestra los parámetros de resistencia obtenidos de las pruebas de laboratorio (triaxiales tipo UU).

Tabla 5. Resumen de pruebas de laboratorio realizadas en muestras de suelo de la colonia La Planta.

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-07	SM-08	No. Total de pruebas	Observaciones
Clasificación e identificación de los suelos	92	84	166	La clasificación reportada es visual y al tacto.
Determinación del contenido de agua	88	78	166	
Límites de consistencia	21	15	36	
Peso volumétrico natural	8	7	15	
Densidad de sólidos	7	6	13	
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	7	6	13	Se presentan curvas de compresibilidad
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	6	7	12	

Tabla 6. Resumen de resultados de pruebas triaxiales.

	Muestra	*w* (%)	*Ss*	γ (t/m^3)	*c* (t/m^2)	ϕ (°)
SM-7	4	96.64	2.401	1.34		
	13	294.97	2.398	1.11	1.4	10
	23	331.09	2.485	1.12	2	7
	36	220.07	2.456	1.17	2.7	8
	45	74.79	2.473	1.5	5.6	8
	57	195.8	2.399	1.19	3.4	11
	72	135.88	2.437	1.26	8.8	12
SM-8	8	156.58	2.566	1.55	5.8	17
	21	242.23	2.435	1.19	1	18
	33	227.56	2.493	1.19	2.7	8
	42	175.14	2.417	1.19	2.3	9
	55	111.44	2.444	1.28	9.3	8
	67	147.53	2.464	1.26	9	7

4. COMENTARIOS

Con base en los sondeos y trabajos de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados por la empresa IEC SC en la colonia La Planta, se presenta el perfil estratigráfico del sitio, el perfil de presión de poro y se determinan los parámetros índice, de resistencia y compresibilidad de los estratos de suelo del sitio en estudio.

Los entregables consisten en:

- Informe impreso y en formato electrónico.
- Perfiles de cada sondeo, perfil estratigráfico del sitio y carátulas de los ensayes de laboratorio en formato digital editable.

Con base en la revisión, se considera que falta:

- Una tabla resumen con las longitudes exploradas por cada técnica de perforación: ensaye de penetración estándar y muestreo selectivo inalterado por sondeo, así como la longitud de exploración total.

- Una tabla resumen con las propiedades de compresibilidad obtenidas de las pruebas de consolidación.

- Complementar las carátulas de los ensayes de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados.

- Presentar archivos electrónicos de pruebas de laboratorio en formato fuente (editable).

- Indicar la clasificación (SUCS) en los perfiles de sondeos y corregir la descripción en los estratos que corresponda.

- Entregar el informe actualizado (archivo impreso y electrónico).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 06 de noviembre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Revisión del Informe de exploración geotécnica, colonia Molino Tezonco.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-14 "R*evisión del Informe de exploración geotécnica profunda realizada en la colonia Molino Tezonco*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-14, se describen los comentarios derivados de la revisión del Informe entregado por la empresa ejecutora de la exploración geotécnica profunda en la colonia Molino Tezonco.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

reabi original
13/noviembre/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-14
REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN LA COLONIA MOLINO TEZONCO

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Noviembre, 2019

REVISIÓN DEL INFORME DE EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA PROFUNDA REALIZADA EN LA COLONIA MOLINO TEZONCO

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reparación de daños causados por el sismo de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como primera parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción consideró necesario realizar una campaña de exploración e instrumentación geotécnica de detalle en los sitios donde se ubican las grietas consideradas como representativas en la Alcaldía Tláhuac (colonia Del Mar) y en la Alcaldía Iztapalapa (Deportivo Cananea, colonia La Planta y colonia El Molino Tezonco). Los alcances de la exploración geotécnica para la colonia El Molino Tezonco quedaron establecidos en la Nota técnica (NT) G-01.

Una vez concluidos los trabajos de campo y laboratorio, la empresa ejecutora de los trabajos en la colonia Molino Tezonco entregó un informe final a la Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, quien a su vez solicitó al II-UNAM la revisión de dicho informe. Por lo anterior, el II-UNAM elaboró la presente Nota Técnica donde se plantean los comentarios derivados de dicha revisión.

La información entregada por la empresa GEOVISA consta de un *Informe* impreso y copia en formato digital “pdf”.

2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y DE LOS SONDEOS

Como lo indica el informe, el sitio de estudio se ubica en calle Alcanfor, entre las calles Ocote y Benito Juárez, colonia El Molino Tezonco, alcaldía Iztapalapa, donde se encuentran algunas de las grietas en la superficie del terreno más representativas. Los trabajos de campo realizados constan de tres sondeos mixtos (SM-09, SM-10 y SM-11) y dos sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro (CPTu-09 y CPTu-10).

En la Tabla 1 se indican las coordenadas de ubicación de los sondeos. Asimismo, en la Figura 1 se muestra la localización en planta en el contexto de una fotografía satelital de Google Earth.

Tabla 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos.

Sondeo	Calle	Entre calles	Coordenadas UTM, WGS 84, 14 N		
			Este-X (m)	Norte-Y (m)	Elevación del brocal (msnmm)
SM-09	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492,937.94	2,133,461.38	2,236.53
SM-10	Alcanfor	Jacarandas y Benito Juárez	492,991.99	2,133,473.67	2,237.31
SM-11	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492,878.92	2,133,451.17	2,235.90
CPTu-09	Alcanfor	Ocote y Jacarandas	492,950.48	2,133,463.81	2,236.62
CPTu-10	Alcanfor	Jacarandas y Benito Juárez	492,996.38	2,133,474.58	2,237.36

Figura 1. Ubicación de los sondeos geotécnicos, colonia El Molino Tezonco.

3. TRABAJOS REALIZADOS

3.1 Trabajos de campo

De acuerdo con los alcances de exploración geotécnica indicados en la NT G-01, la profundidad máxima de exploración se definió hasta alcanzar los depósitos profundos (DP).

Los trabajos de campo realizados son:

3.1.1 Sondeos Mixtos

Se realizaron tres sondeos mixtos (SM-09, SM-10 y SM-11) con recuperación de muestras inalteradas en la formación de arcilla a diferentes profundidades mediante tubo de pared delgada de tipo Shelby y con recuperación de muestras alteradas representativas mediante la prueba de penetración estándar (SPT), con registro de la resistencia a la penetración de acuerdo con la norma ASTM-D-1586, hasta llegar a los depósitos profundos o basamento rocoso.

En la Tabla 2, se indica el número de muestras obtenidas por técnica de exploración y la máxima profundidad alcanzada en cada sondeo, así como la profundidad del nivel de agua freática (NAF).

Tabla 2. Técnicas de exploración utilizadas en los sondeos mixtos (SM).

Sondeo	Profundidad del NAF (m)	Tipo de muestreo		Profundidad máxima de exploración (m)
		Penetración estándar (muestras)	Muestreo inalterado (muestras)	
SM-09	2.35	91	18	68.30
SM-10	3.10	83	22	66.00
SM-11	2.25	153	10	100.20
Total		327	50	234.50

3.1.2 Sondeos de cono eléctrico con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro

Se realizaron dos sondeos de cono con medición de la presión de poro (CPTu-09 y CPTu-10) en los que se obtuvieron parámetros de resistencia de punta, fricción lateral y presión de poro. Adicionalmente, se ejecutaron pruebas de disipación de la presión de poro a diferentes profundidades con la finalidad de obtener un perfil de abatimiento. La Tabla 3 indica el número de pruebas de disipación de presión de poro realizadas en cada sondeo, la profundidad del NAF y la máxima profundidad de exploración alcanzada en cada sondeo.

Tabla 3. Profundidad del NAF y máxima profundidad de exploración.

Sondeo	Profundidad del NAF (m)	Prueba de disipación de la presión de poro	Profundidad máxima de exploración (m)
CPTu-09	2.35	9	58.14
CPTu-10	3.10	10	55.86
Total		19	114.00

3.2 Trabajos de laboratorio

En el informe se incluyen tres tablas con los parámetros de propiedades índice, mecánicas y de deformación obtenidos de los ensayes de laboratorio, triaxiales tipo UU y de consolidación unidimensional. Los parámetros son típicos de los suelos explorados y la cantidad de ensayes permite definir un modelo geotécnico confiable del sitio de estudio. En la Tabla 4 se muestra el resumen de los ensayes del laboratorio realizados.

Tabla 4. Resumen de pruebas de laboratorio realizadas en muestras de suelo de la colonia El Molino Tezonco

TRABAJOS DE LABORATORIO	SM-09	SM-10	SM-11	No. total de pruebas
Clasificación e identificación de los suelos	110	133	107	350
Determinación del contenido de agua	110	133	107	350
Límites de consistencia	10	8	9	27
Peso volumétrico seco	9	11	8	28
Peso volumétrico natural	9	11	8	28
Análisis granulométrico por mallas	1	---	---	1
Contenido de finos por lavado	6	5	7	18
Densidad de sólidos	6	7	7	20
Contracción Lineal	1	1	---	2
Pruebas de consolidación unidimensional en muestras inalteradas	4	4	4	12
Ensayes triaxiales en muestras inalteradas	4	5	4	13

4. COMENTARIOS

Con base en los sondeos y trabajos laboratorio de Mecánica de Suelos realizados por la empresa GEOVISA SA de CV en la colonia El Molino Tezonco, se presenta el perfil estratigráfico del sitio, el perfil de presión de poro del sitio y se determinan los parámetros índice, de resistencia y compresibilidad de los estratos de suelo del sitio en estudio.

Los entregables consisten en:

- Informe impreso y en formato electrónico.
- Perfiles de cada sondeo, perfil estratigráfico del sitio y carátulas de los ensayes de laboratorio en formato digital editable.

Con base en la revisión, se considera que falta:

- Presentar el reporte de la instalación de los tubos de observación, así como las mediciones del NAF, en caso de contar con esta información.

- En las Tablas 3, 4 y 5 del informe entregado por la empresa, corregir el parámetro $E_{50,}$ el cual, debe corresponder al ensaye de compresión triaxial tipo UU.

- Complementar las carátulas de los ensayes de laboratorio de Mecánica de Suelos realizados.

- Presentar los archivos electrónicos de pruebas de laboratorio en formato fuente (editable).

- Presentar resultados de mediciones de la profundidad del NAF en caso de haber instalado tubos de observación.

- Presentar una tabla resumen con las longitudes exploradas por cada técnica de perforación: ensaye de penetración estándar y muestreo selectivo inalterado por sondeo, así como la longitud de exploración total.

- Presentar el informe actualizado (archivo impreso y electrónico).

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 23 de octubre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Inspección del predio ubicado en calzada Ignacio Zaragoza esquina con Sentimientos de la Nación.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-15 "*Inspección del predio ubicado en calzada Ignacio Zaragoza esquina con Sentimientos de la Nación, col. Santa Martha Acatitla Norte*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-15, se describen los comentarios derivados de la inspección al predio ubicado en calzada Ignacio Zaragoza esquina con Sentimientos de la Nación, col. Santa Martha Acatitla Norte.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

recibi original
30/octubre/2019

Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
Delegación Coyoacán, CP 04510, México, DF
www.ii.unam.mx

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-15
INSPECCIÓN DEL PREDIO UBICADO EN CALZADA IGNACIO ZARAGOZA ESQUINA CON SENTIMIENTOS DE LA NACIÓN, COL. SANTA MARTHA ACATITLA NORTE

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Instituto de Ingeniería, UNAM
Instituto para la Seguridad de las Construcciones, Gob CDMX

Ciudad de México

Octubre, 2019

INSPECCIÓN DEL PREDIO UBICADO EN CALZADA IGNACIO ZARAGOZA ESQUINA CON SENTIMIENTOS DE LA NACIÓN, COL. SANTA MARTHA ACATITLA NORTE

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México está desarrollando trabajos para la reconstrucción de daños causados por el sismo de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario realizar una inspección de predios para la eventual reubicación de familias afectadas. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC) y al Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) para realizar un recorrido de campo en un predio ubicado en la esquina de Calzada Ignacio Zaragoza y Sentimientos de la Nación, Col. Santa Martha Acatitla Norte, donde según se informa se ha detectado la presencia de grietas en el suelo. Dentro del predio se pretende construir edificaciones de cinco niveles para viviendas. En la presente Nota Técnica se describen las condiciones geotécnicas generales que prevalecen dentro del predio. En la Figura 1 se muestra la ubicación del sitio.

Figura 1. Ubicación del sitio.

2. INFORMACIÓN ANTECEDENTE

2.1 Zonificación geotécnica.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC, 2017), el predio se ubica en la Zona III, Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido variable de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor de algunos centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres pueden estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m. En la Figura 2 se muestra la ubicación del sitio en el contexto del mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México.

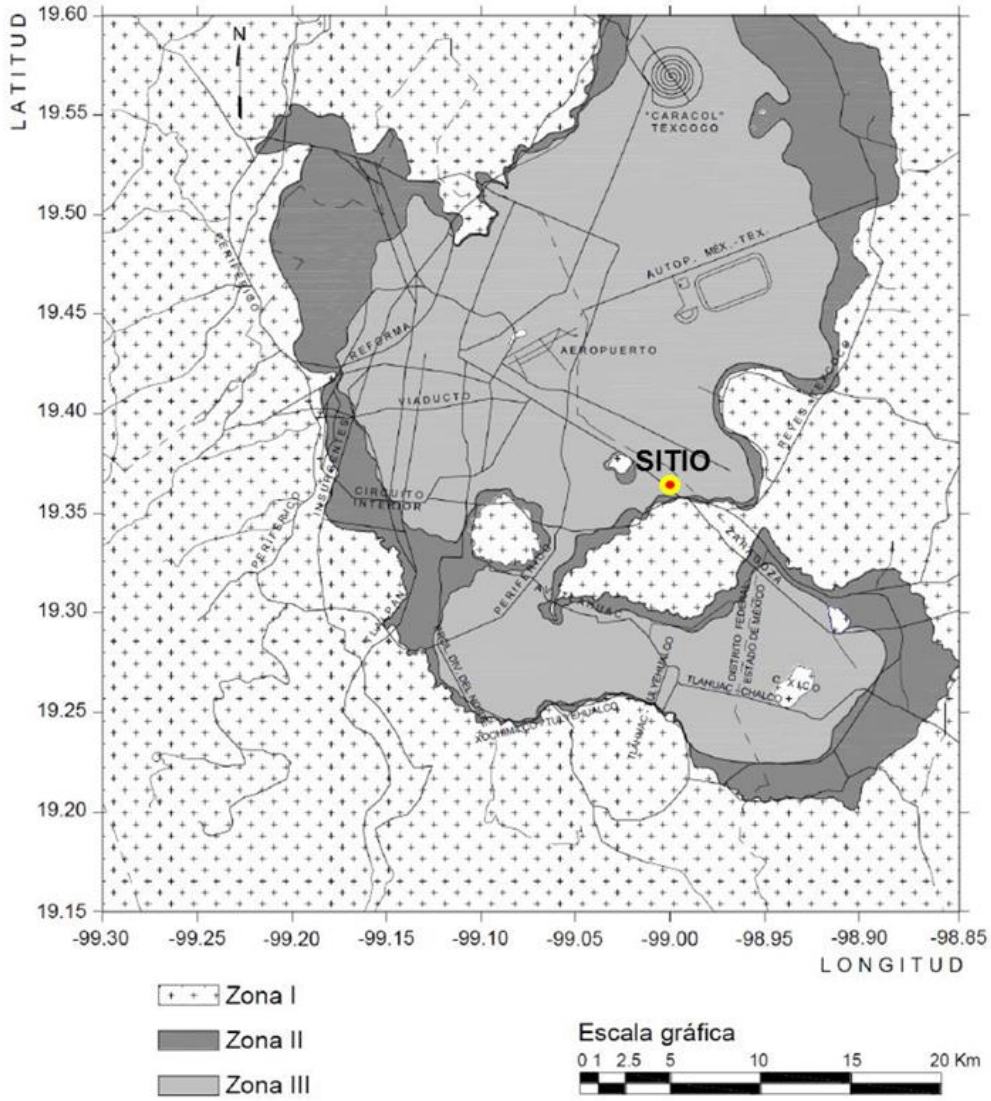


Figura 2. Zonificación geotécnica (GCDMX,2017).

2.2 Agrietamiento.

Con la finalidad de establecer la existencia previa de grietas en el predio se realizó una consulta al robusto banco de datos del II-UNAM sobre grietas en la zona. Este banco ha sido reforzado por los trabajos de inspección que fueron realizados por el II-UNAM antes y después de la construcción de la Línea A del Sistema de Transporte Colectivo (metro).

En dicha base de datos se encontró información que indica la existencia de una grieta que cruza el predio y continúa su trayectoria a lo largo del estacionamiento de la plaza comercial que se ubica en la colindancia poniente del predio. En 2005 la grieta no evidenciaba la presencia de escalón en el paradero ni en el estacionamiento de la plaza comercial (Fig. 3).

Figura 3. Antecedentes de agrietamiento.

3. CONDICIONES DEL PREDIO

El día 18 de octubre del presente, personal del II UNAM y del ISC acudieron al predio localizado en la esquina de Calzada Ignacio Zaragoza y Sentimientos de la Nación, Col. Santa Martha Acatitla Norte. Es un predio que se encuentra abandonado, con un área aproximada de 14,500 m^2, aparentemente fue usado como paradero de transporte público (Fig. 4).

Dentro del predio se detectaron tres grietas, con orientación preferencial oriente-poniente que cruzan a todo lo ancho del terreno (aprox. 50 m), en la Figura 4 se observa la ubicación de las grietas dentro del predio.

Figura 4. Ubicación de grietas en el predio (Google Earth, 2018).

La grieta principal se ubica aprox. a 25m del frente del predio, presenta un escalón de 55 cm (grieta nivel IV) en un ancho aprox. de 10 m y profundidad de 95 cm, dentro de la grieta se detectó un tirante de agua de 30 cm (Figs. 5 y 6).

Las otras dos grietas ubicadas dentro del predio no presentan escalón (Fig. 7).

Entre la entrada y las escaleras se observa una sobre-elevación longitudinal (emersión aparente) del terreno que se ha formado por efecto del hundimiento regional del suelo (Fig. 8).

En la parte norte, el predio colinda con el vaso regulador "*El Salado*".

En la colindancia poniente se ha presentado una fuga en un colector y se detectó un relleno de aprox. 70 cm de espesor, que cubre prácticamente toda la superficie (Fig. 9).

Figura 5. Grieta con escalón de 55cm.

Figura 6. Grieta abierta con tirante de agua de 30cm.

Figura 7. Grietas sin escalón

Figura 8. Montículo longitudinal con grietas

Figura 9. Espesor de relleno en el predio

3. COMENTARIOS GENERALES

Dentro del predio, es posible construir edificaciones para vivienda de cinco niveles en las áreas donde no existen grietas.

La grieta principal (10 m de ancho aprox.) puede ser tratada con una técnica similar a la empleada en Iztapalapa para para vialidades agrietadas (caja de arena disipadora de deformaciones) para facilitar el acceso al predio, pero no debe construirse ningún tipo de estructura directamente sobre esta grieta.

Las dos grietas sin escalón son menos críticas, pero es recomendable de todos modos evitar construir directamente estructuras sobre ellas.

Se sugiere realizar un estudio de mecánica de suelos para un reconocimiento más detallado del subsuelo y para el diseño de las cimentaciones de acuerdo con las NTCDCC 2017. Este estudio podrá incluir mediciones de vibración ambiental en distintos puntos del predio y fuera de el para una estimación del periodo natural del terreno y una evaluación cualitativa de la irregularidad del basamento.

Considerando que las edificaciones para viviendas que se pretenden construir serán de cinco niveles, se sugiere como solución de cimentación un cajón compensado, que, de acuerdo con el cálculo de asentamientos, deberá eventualmente complementarse con pilotes de fricción.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM

SUBDIRECCION DE ESTRUCTURAS
COORDINACIÓN DE GEOTECNIA

Torre de Ingeniería
2º Piso, Cub. 1
Tel: (52 55) 56 23 36 00 Ext. 8324
gauvinetg@iingen.unam.mx

Ciudad de México, Ciudad Universitaria, a 23 de octubre de 2019.

DR. RENATO BERRÓN RUIZ
Director General
Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal
Gobierno de la Ciudad de México
P r e s e n t e

Asunto: Inspección del predio ubicado en Canal de Chalco y Damiana.

En relación con el convenio específico de colaboración denominado "*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*", por este conducto me permito entregar la Nota Técnica G-16 "*Inspección del predio ubicado en Canal de Chalco y Damiana, Alcaldía de Iztapalapa*", anexa a la presente.

En esta nota técnica G-16, se describen los comentarios derivados de la inspección al predio ubicado en Canal de Chalco y Damiana, Alcaldía de Iztapalapa.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo y quedo a sus órdenes para cualquier comentario o aclaración.

Atentamente,

Dr. Gabriel Auvinet Guichard
Investigador titular "C"
Instituto de Ingeniería de la UNAM

reabi original
30/octubre/2019

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-16
INSPECCIÓN DEL PREDIO UBICADO EN CANAL DE CHALCO Y DAMIANA, ALCALDÍA DE IZTAPALAPA

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Instituto para la Seguridad de las Construcciones, Gob CDMX
Instituto de Ingeniería, UNAM

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Octubre, 2019

INSPECCIÓN DE UN PREDIO UBICADO EN CANAL DE CHALCO Y DAMIANA, ALCALDÍA DE IZTAPALAPA

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México está realizando trabajos para la reconstrucción de daños causados por los sismos de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario realizar una inspección de predios para la eventual reubicación de damnificados. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo al Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC), emitir una opinión técnica referente a predios en los cuales sea factible la construcción de edificaciones para viviendas para los damnificados del sismo del 19 de septiembre de 2017. Por lo anterior, el día 16 de octubre de 2019 personal del ISC en compañía con personal de SERVIMET y personal de la empresa que desarrollará el proyecto, realizaron un recorrido de campo en un predio ubicado en la alcaldía Iztapalapa en los límites territoriales con las alcaldías Tláhuac y Xochimilco. Posteriormente, el ISC solicitó al II-UNAM revisar y analizar la información recabada en el recorrido de campo antes señalado. En la presente Nota Técnica se describen las condiciones generales que prevalecen dentro del predio.

2. CARACTERISTICAS DEL PREDIO

El predio ocupa una manzana, delimitada por la Av. Canal de Chalco al poniente y las calles Damiana al norte, Acahuatl al sur y Vada al oriente, ubicada en el sitio conocido como Predio el Molino. El predio cuenta con una forma irregular en planta, con una superficie aproximada de 27,500 m² (dimensiones obtenidas por medio de Google maps). De acuerdo con la página del Catastro de la CDMX (OVICA) este predio se encuentra dividido en 3 lotes.

Dentro del predio se observan algunas zonas que se encuentran ocupadas para diferentes usos:

1. En la esquina nor-oriente, se ubica un Jardín de Niños, con aulas construidas con lámina galvanizada (techos y paneles divisorios).

2. En la esquina nor-poniente, se ubica un estacionamiento y auto lavado. Asimismo, existen algunos locales comerciales construidos con lámina galvanizada (techos y paneles divisorios).

3. Al costado poniente del estacionamiento y de los locales, existe una zona habilitada como huerto, se observaron varios "*maceteros*" construidos con tabique rojo recocido hueco, asimismo, se observaron algunos sistemas de riego improvisados. También se observa una estructura de un nivel conformada por mampostería de tabique rojo macizo y techumbre de lámina galvanizada.

4. En la esquina sur-poniente, el predio es utilizado como deshuesadero automotríz.

5. El resto del predio es terreno baldío, en general es un área verde con algunos árboles, arbustos, etc. También se encontraron áreas utilizadas como tiradero de basura y/o cascajo.

6. De acuerdo con el mapa de Zonificación Geotécnica establecida en el RCDF-2017 y sus NTC-2017, el predio se ubica en la Zona III (Lago).

3. OBSERVACIONES EN EL PREDIO Y EN LA ZONA

Derivado de la inspección al predio puede decirse que:

1. El terreno dentro del predio en el área verde presenta topografía irregular,

2. Se observa la presencia de fauna nociva en las zonas donde se tira basura.

3. Se desconoce cuál es la superficie del predio que abarcaría el proyecto; las áreas ocupadas se encuentran regularizadas.

Respecto a la zona cercana al predio se detectaron algunos puntos que requieren atención entre los cuales:

1. En las colonias y/o zonas cercanas al predio se han detectado grietas, entre las cuales tenemos: U. H. Cananea, Colonia del Mar, colonia La Turba, colonia La Planta, entre otras.

2. A lo largo de la avenida de Canal de Chalco se pudieron observar varios pozos de extracción de agua. Se tiene conocimiento que en esta avenida existe una batería con aproximadamente 26 pozos de extracción (16 por parte de SACMEX y 8 a cargo de PEMEX). Un pozo se ubica enfrente de la calle Damiana.

3. A un costado de la avenida Canal de Chalco se observa una estación de bombeo de hidrocarburos de Pemex.

4. El canal de desagüe genera malos olores por la emisión de gases, asimismo, es un lugar donde se arroja basura, cascajo etc.

4. COMENTARIOS GENERALES

De acuerdo con lo antes descrito, puede decirse que el predio se encuentra en una zona francamente lacustre que ya no parece estar afectada por las irregularidades del basamento que han originado las grietas en áreas cercanas.

En la zona no se detectan evidencias de que el bombeo afecte directamente a las edificaciones vecinas.

Se considera que, dentro del predio, es posible construir edificaciones para vivienda de cinco niveles. Esta conclusión deberá confirmarse después de la limpieza del terreno.

Se sugiere realizar un estudio de mecánica de suelos para un reconocimiento detallado del subsuelo y para el diseño de las cimentaciones. Este estudio podrá incluir mediciones de vibración ambiental en distintos puntos del predio y fuera de el para una estimación del periodo natural del terreno y una evaluación cualitativa de la irregularidad del basamento.

Considerando que las edificaciones para viviendas que se pretenden construir serán de cinco niveles, se sugiere como solución de cimentación un cajón compensado, que, de acuerdo con el cálculo de asentamientos podrá ser necesario complementar con pilotes de fricción.

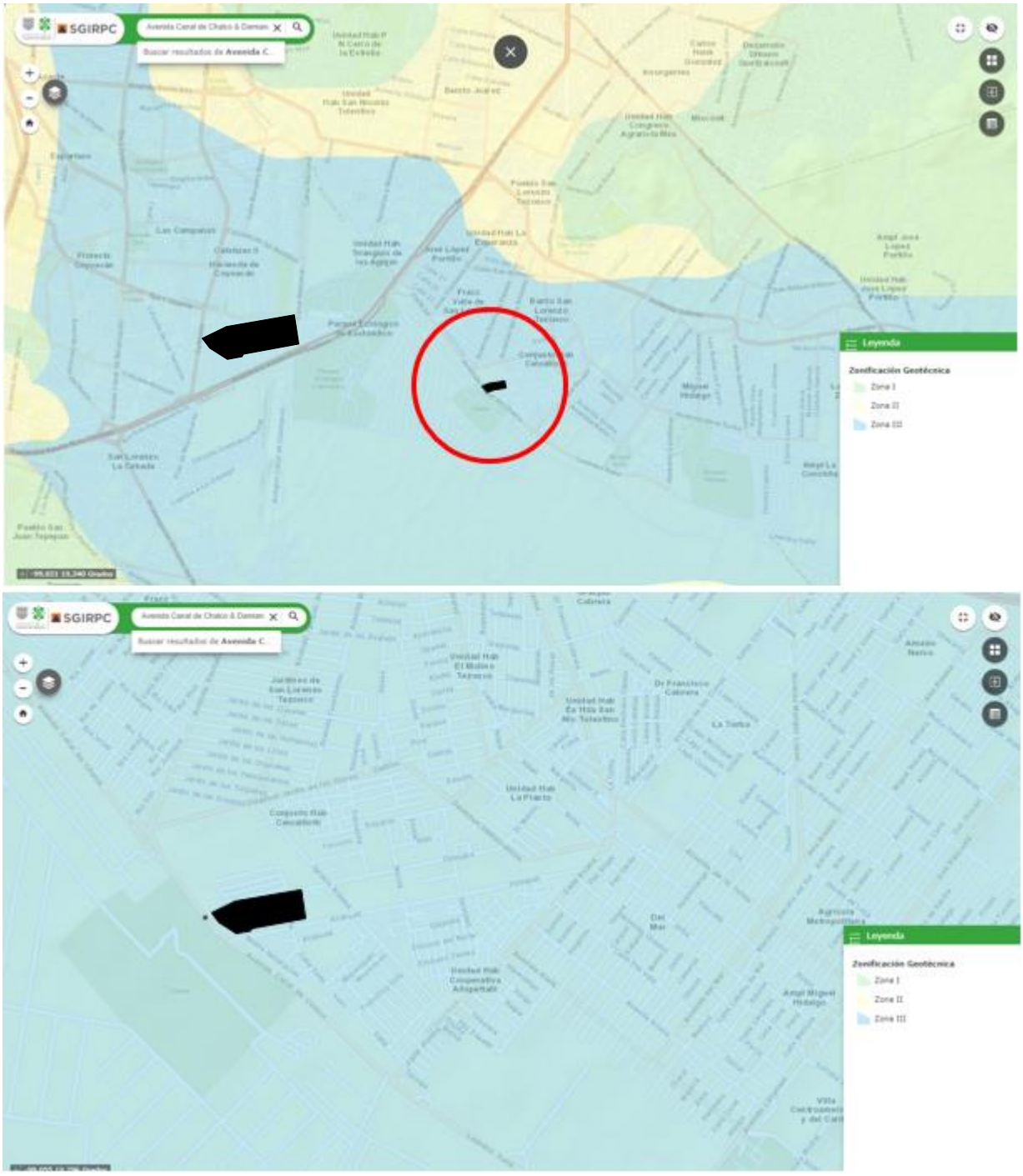
INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

ANEXO FOTOGRÁFICO

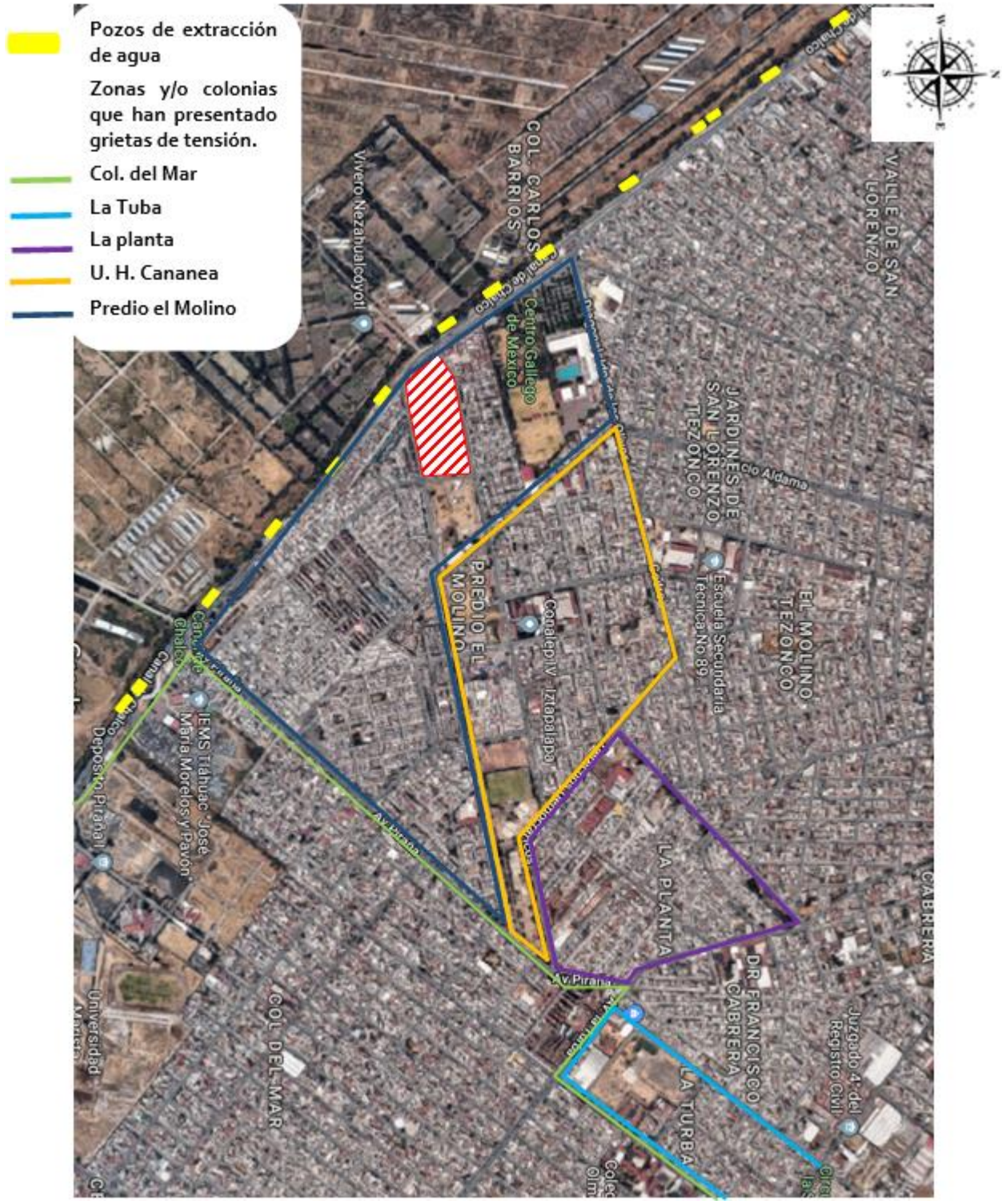
Ubicación del predio por medio de Google Maps.

Ubicación del predio por medio de Catastro, indica que el predio se divide en 3 lotes.

Superficies aproximadas en la división del predio, obtenidas por medio de google maps.



Ubicado en la Zonificación Geotécnica, "Zona III" (Lago) en Atlas de Riesgo de la CDMX.



Ubicación del predio con respecto a zonas de interés.

Fotografías del predio, se observa asentamientos comunes en áreas verdes por extracción de agua del subsuelo.

Fotografías del predio, se observa asentamientos comunes en áreas verdes por extracción de agua del subsuelo.

Fotografías del predio, se observa asentamientos comunes en áreas verdes por extracción de agua del subsuelo.

Fotografías del predio, algunas zonas se utilizan para depositar cascajo.

Fotografía del predio, se observa en esta zona recipientes, posiblemente para almacenaje.

Fotografía del predio, algunas zonas son utilizadas como basurero.

Fotografías del predio, zona habilitada como jardín de niños.

Fotografías del predio, zona utilizada como deshuesadero.

Fotografías del predio, zona habilitada como huerto.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-17
INSPECCIÓN DE LOS PREDIOS UBICADOS EN LA UNIDAD HABITACIONAL VILLA CENTROAMERICANA Y DEL CARIBE, COL. VILLA CENTROAMERICANA, TLÁHUAC.

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Instituto de Ingeniería, UNAM
Instituto para la Seguridad de las Construcciones, Gob CDMX

Ciudad de México

Noviembre, 2019

INSPECCIÓN DE LOS PREDIOS UBICADOS EN LA UNIDAD HABITACIONAL VILLA CENTROAMERICANA Y DEL CARIBE, COL. VILLA CENTROAMERICANA, TLÁHUAC.

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México está desarrollando trabajos para la reconstrucción de daños causados por el sismo de 2017 y por la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario realizar una inspección de predios para la eventual reubicación de familias afectadas. Para este propósito, la Comisión para la Reconstrucción solicitó apoyo de la Dirección Comercialización y Administración Inmobiliaria de SERVIMET, al Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC) y al Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) para realizar un recorrido de campo en dos predios ubicados en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe, donde según se informa se ha detectado la presencia de grietas en el suelo. Dentro del predio se pretende construir edificaciones de cinco niveles para viviendas. En la presente Nota Técnica se describen las condiciones geotécnicas generales que prevalecen en ambos sitios. En la Figura 1 se muestra la ubicación de los sitios inspeccionados.

Figura 1. Ubicación del sitio.

2. INFORMACIÓN ANTECEDENTE

2.1 Zonificación geotécnica.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones (NTCDCC, 2017), el predio se ubica en la Zona III, Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido variable de limo o arcilla. Estas capas arenosas son generalmente medianamente compactas a muy compactas y de espesor de algunos centímetros a varios metros. Los depósitos lacustres pueden estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m. En la Figura 2 se muestra la ubicación del sitio en el contexto del mapa de zonificación geotécnica de la Ciudad de México.

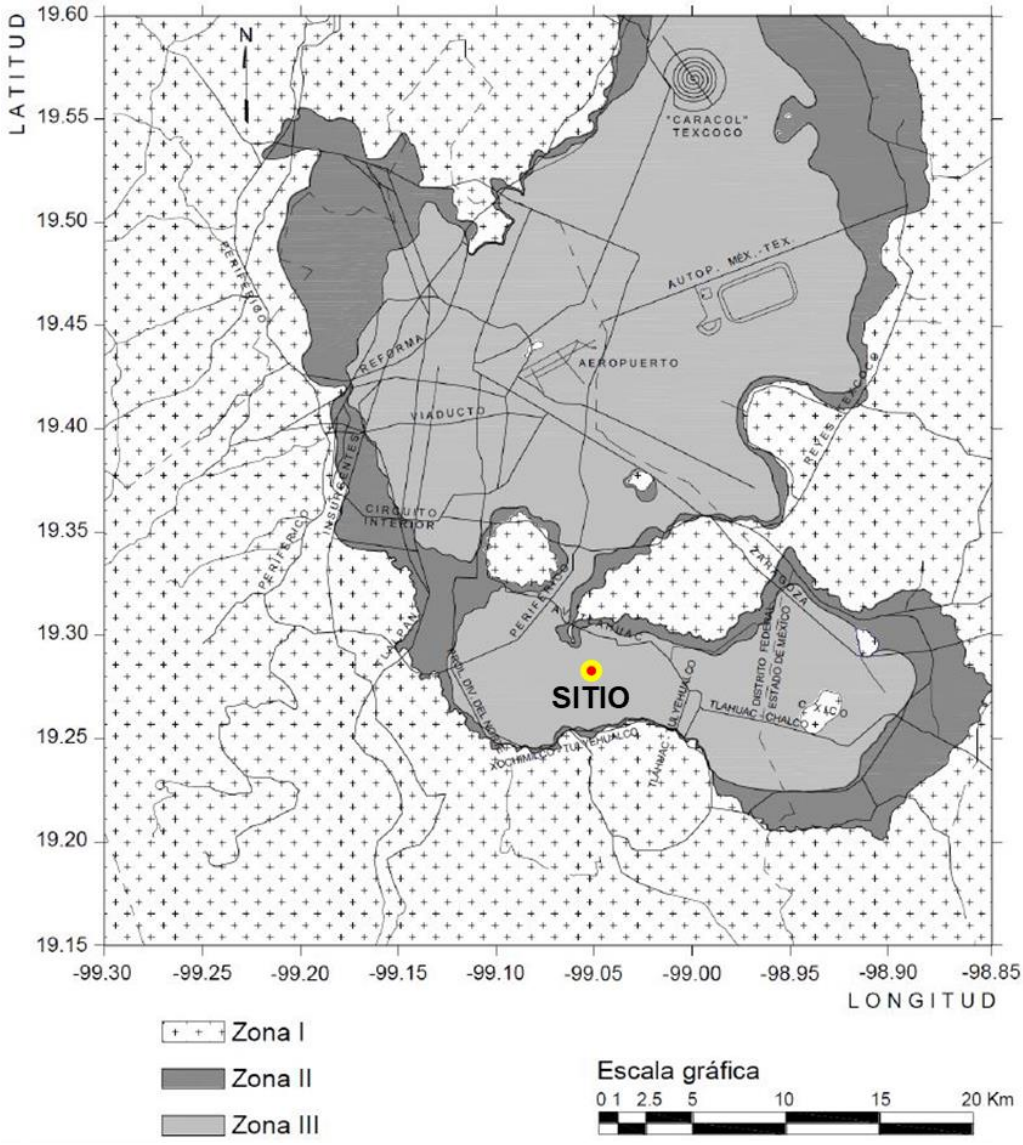


Figura 2. Zonificación geotécnica de la Ciudad de México (GCDMX,2017).

2.2 Agrietamiento.

Con la finalidad de establecer la existencia previa de grietas en el predio se realizó una consulta al robusto banco de datos del II-UNAM sobre grietas en la zona. Este banco ha sido reforzado por los trabajos de inspección que fueron realizados por el II-UNAM antes y después de la construcción de la Línea 12 del Sistema de Transporte Colectivo (metro) y recorridos de campo posteriores a los sismos de septiembre 2017.

En dicha base de datos se encontró información que indica la existencia de una grieta que pasa por el parque “Los Pericos”, cruza la calle Gabriela Mistral y apunta directamente al costado suroeste del predio No. 1. En 2009 la grieta no evidenciaba la presencia de escalón, sin embargo, para 2018 la altura del escalón era de aproximadamente 40 cm (Fig. 3).

Figura 3. Antecedentes de agrietamiento.

3. CONDICIONES DE LOS PREDIOS

El día 8 de noviembre del presente, personal de SERVIMET, del II UNAM y del ISC acudieron a dos predios localizados en la Unidad Habitacional Villa Centroamericana y del Caribe, Col. Villa Centroamericana, Alcaldía de Tláhuac, encontrando lo que a continuación se describe.

3.1 Predio No. 1

El predio se ubica en la esquina de las calles Sor Juana Inés de la Cruz y Gabriela Mistral, con una superficie aproximada de 5,000 m², actualmente se encuentra ocupado por la escuela primaria “Linaje Azteca y una escuela de atención a niños con capacidades especiales (Fig. 4).

Figura 4. Escuelas que ocupan el predio No. 1.

Sobre la calle Gabriela Mistral se observó la presencia de dos grietas con escalón, una de las cuales ya se tenían antecedentes y presenta en la acera oriente un escalón de aproximadamente 30 cm, con echado hacia el sur, la otra grieta se ubica aproximadamente a 30 m hacia el sur con un escalón de aproximadamente 20 cm, con echado hacia el norte. En la figura 5 se presenta la ubicación del sitio en relación con las grietas existentes en el sitio y en la Figura 6 se muestran las condiciones actuales de las grietas.

Figura 5. Ubicación de los predios respecto a las grietas existentes en el sitio.

Figura 6. Condiciones actuales de las grietas sobre la calle Gabriela Mistral.

3.2 Predio No. 2

El predio se ubica en la esquina de las calles Gabriela Mistral y Pie de la Cuesta, con una superficie aproximada de 6,000 m², actualmente el predio es utilizado como área de esparcimiento y cuenta con aparatos de gimnasio al aire libre, dos canchas de futbol y una cancha de básquetbol.

En una de las canchas de futbol se observó una grieta de aproximadamente 30 m de longitud y abertura variable de 1 a 20 cm, la grieta sin escalón cruza transversalmente la cancha de futbol sur. Visualmente no se detecta que la grieta se extienda en el resto del predio. En la Figura 7 se presentan algunas fotografías de las condiciones de la grieta encontrada en el sitio.

Figura 6. Condiciones actuales de las grietas sobre la calle Gabriela Mistral.

4. COMENTARIOS GENERALES

En el predio No. 1 es posible construir viviendas fuera de la trayectoria de la grieta, lo cual deberá tomarse en cuenta en el proyecto.

La grieta puede ser tratada con una técnica similar a la empleada en Iztapalapa para vialidades agrietadas (caja de arena disipadora de deformaciones).

Para tomar la decisión de construir viviendas en el predio, las autoridades deberán tomar en cuenta la existencia de las escuelas.

En el predio no. 2, se deberá investigar con mayor detalle la grieta y verificar su continuidad dentro del predio para su tratamiento.

La grieta no presenta escalón, sin embargo, es recomendable no construir directamente estructuras sobre su trayectoria.

En los dos predios, es posible construir edificaciones para vivienda de cinco niveles en las áreas donde no existen grietas.

Se sugiere realizar un estudio de mecánica de suelos para un reconocimiento más detallado del subsuelo y para el diseño de las cimentaciones de acuerdo con las NTCDCC 2017. Este estudio podrá incluir mediciones de vibración ambiental en distintos puntos del predio y fuera de él para una estimación del periodo natural del terreno y una evaluación cualitativa de la irregularidad del basamento.

Considerando que las edificaciones para viviendas que se pretenden construir serán de cinco niveles, se sugiere como solución de cimentación un cajón compensado, que, de acuerdo con el cálculo de asentamientos, deberá eventualmente complementarse con pilotes de fricción.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

GOBIERNO DE LA CIUDAD DE MÉXICO

"COMITÉ DE GRIETAS"

NOTA TÉCNICA No. G-18
AMPLIACIÓN DE LOS ALCANCES DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

Elaborada para:
Comisión para la Reconstrucción
Gobierno de la Ciudad de México

Por:
Gabriel Auvinet Guichard
Edgar Méndez Sánchez
Moisés Juárez Camarena
Sergio A. Martínez Galván
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

Ciudad Universitaria, Ciudad de México

Diciembre, 2019

AMPLIACIÓN DE LOS ALCANCES DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS

1. ANTECEDENTES

La Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México ha iniciado los trabajos para la reconstrucción de daños causados por el sismo de 2017 y la presencia de grietas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Como parte de los trabajos, la Comisión para la Reconstrucción ha considerado necesario realizar una exploración geotécnica del subsuelo que permita un mejor entendimiento del fenómeno a gran escala y su modelación numérica para la evaluación de su evolución a mediano y largo plazo. Para este propósito, a solicitud de la Comisión para la Reconstrucción, el Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) elaboró la Nota Técnica (NT) G-01 donde se plantea el programa de exploración e instrumentación geotécnica en el que se indica que la profundidad de exploración recomendada es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). Con base en información existente, se consideró una profundidad de exploración máxima de 75 m. El programa de exploración e instrumentación geotécnica tiene el propósito de conocer con detalle las características estratigráficas y las propiedades del subsuelo de los sitios de interés.

El II-UNAM ha elaborado la presente Nota Técnica, donde se indica la necesidad de que todos los sondeos alcancen los DP y que los BNS se instalen en mayor número con la finalidad de cumplir con los objetivos definidos en la NT G-01.

2. PROGRAMA DE EXPLORACIÓN E INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

2.1 Ajustes en conceptos de la primera etapa de exploración

Los resultados de la exploración muestran que los DP se detectaron a profundidad variable de 38.70m a 100.0m, lo que originó que algunas empresas ejecutoras ampliaran sus alcances (profundidad de exploración), y en consecuencia aumentaron el número de pruebas de laboratorio. La Tabla 2.1 muestra que la exploración alcanzó profundidades diferentes a la programada, siendo mayor en algunos casos y menor en otros. Además, como procedimiento no contemplado en la NT G-01, para perforar a material Basalto, encontrado en los sondeos SM-07 y SM-08 en el sitio colonia La Planta, fue necesario emplear la técnica de barril de diamante. Además, algunas empresas instalaron tubos de observación, con la finalidad de monitorear las variaciones locales del Nivel de Agua Freática (NAF), procedimiento no considerado en la NT G-01. La Tabla 2.2 indica la diferencia del número de pruebas de laboratorio realizadas en cada sitio de estudio respecto a los ensayes programados.

Tabla 2.1. Profundidad de exploración de los sondeos e instrumentación geotécnica.

Sitio	Sondeo	Longitud programada (m)	Longitud explorada (m)
Colonia Del Mar	SM-01	75.0	14.90
	SM-02	75.0	12.00
	SM-03	75.0	18.60
	CPTu-01	75.0	68.10
	CTPu-02	75.0	70.30
	CPTu-03	75.0	38.70
	SVs-1	75.0	85.00
	BNP-1	75.0	100.00
Deportivo Cananea	SM-04	75.0	74.80
	SM-05	75.0	83.00
	SM-06	75.0	83.00
	CPTu-04	35.0	57.78
	CPTu-05	35.0	63.00
	CPTu0-6	35.0	39.28
	TO-SM-04	---	6.00
	TO-SM-05	---	6.00
Colonia La Planta	SM-07	75.0	61.50
	SM-08	75.0	55.90
	CPTu-07	75.0	48.40
	CPTu-08	75.0	44.10
	TO-SM-07	---	10.00
	TO-SM-08	---	10.00
Colonia El Molino Tezonco	SM-09	75.0	68.30
	SM-10	75.0	66.00
	SM-11	---	100.20
	CPTu-09	75.0	58.14
	CPTu-10	75.0	55.86

Tabla 2.2. Pruebas de laboratorio realizadas con muestras de suelo alteradas e inalteradas.

Prueba o ensaye	Unidad	Col. Del Mar		Dptvo. Cananea		Col. La Planta		Col. Molino Tezonco	
		Pruebas programadas	Pruebas realizadas	Pruebas programadas	Pruebas realizadas	Pruebas programadas	Pruebas realizadas	Pruebas programadas	Pruebas realizadas
Clasificación e identificación de suelos	prueba	225	51	150	104	200	166	150	350
Determinación del contenido de agua	prueba	225	181	150	684	200	166	150	350
Determinación de los límites de consistencia	prueba	70	33	35	65	45	36	35	27
Contracción lineal	prueba								2
Peso volumétrico natural	prueba	15	17	15	13	20	15	15	28
Contenido de finos por lavado	prueba	---	---	---	106	---	---	---	18
Análisis granulométrico por mallas	prueba	---	---	---	---	---	---	---	1
Pruebas de consolidación unidimensional	prueba	15	17	12	11	12	13	12	12
Ensayes triaxiales tipo UU en muestras inalteradas.	prueba	15	17	12	13	12	12	12	13

2.2 Trabajos de campo adicionales a realizar

La propuesta de trabajos adicionales de exploración e instrumentación geotécnica es la siguiente:

Realizar tres sondeos tipo mixto (SM-12, SM-13 y SM-14), con recuperación sistemática de muestras alteradas a lo largo de toda la profundidad del sondeo mediante la prueba de penetración estándar, intercaladas con muestreo selectivo inalterado en las formaciones de arcilla a diferentes profundidades y tres sondeos de tipo cono eléctrico (CPTu-12, CPTu-13 y CPTu-14) con medición de la presión de poro y pruebas de disipación de poro en los principales estratos del subsuelo, Los sondeos CPTu se realizarán a un costado de los sondeos de tipo mixto para establecer correlaciones entre ambos tipos de sondeos. La profundidad y número de muestras inalteradas se definirá a partir del perfil de resistencias del CPTu más cercano, con el objeto de determinar un perfil completo de parámetros mecánicos y de deformación del suelo en cada sitio.

La profundidad de exploración recomendada para los sondeos SM y CPTu es hasta alcanzar los Depósitos Profundos (DP). La ubicación propuesta de los sondeos se indica en Figura 2.1. En campo deberá determinarse la ubicación precisa de cada sondeo, así como, la elevación del brocal y del NAF mediante tubos de observación y monitoreo durante el periodo de ejecución de los trabajos de exploración.

Como trabajos adicionales a los considerados en la NT G-01, se recomienda que la Comisión para la Reconstrucción considere:

- La instalación de tubos de observación del Nivel de Agua Freática (trabajos realizados).
- El número adicional de pruebas de laboratorio realizadas.
- Con el objetivo de complementar la investigación del subsuelo y responder a las inquietudes de los vecinos de la Unidad Habitacional Cananea, realizar tres sondeos geotécnicos profundos adicionales, Figura 2.1. Los resultados de la exploración permitirán comprender mejor el fenómeno de agrietamiento a gran escala y permitirá su modelación numérica para la evaluación de su evolución a mediano y largo plazo.

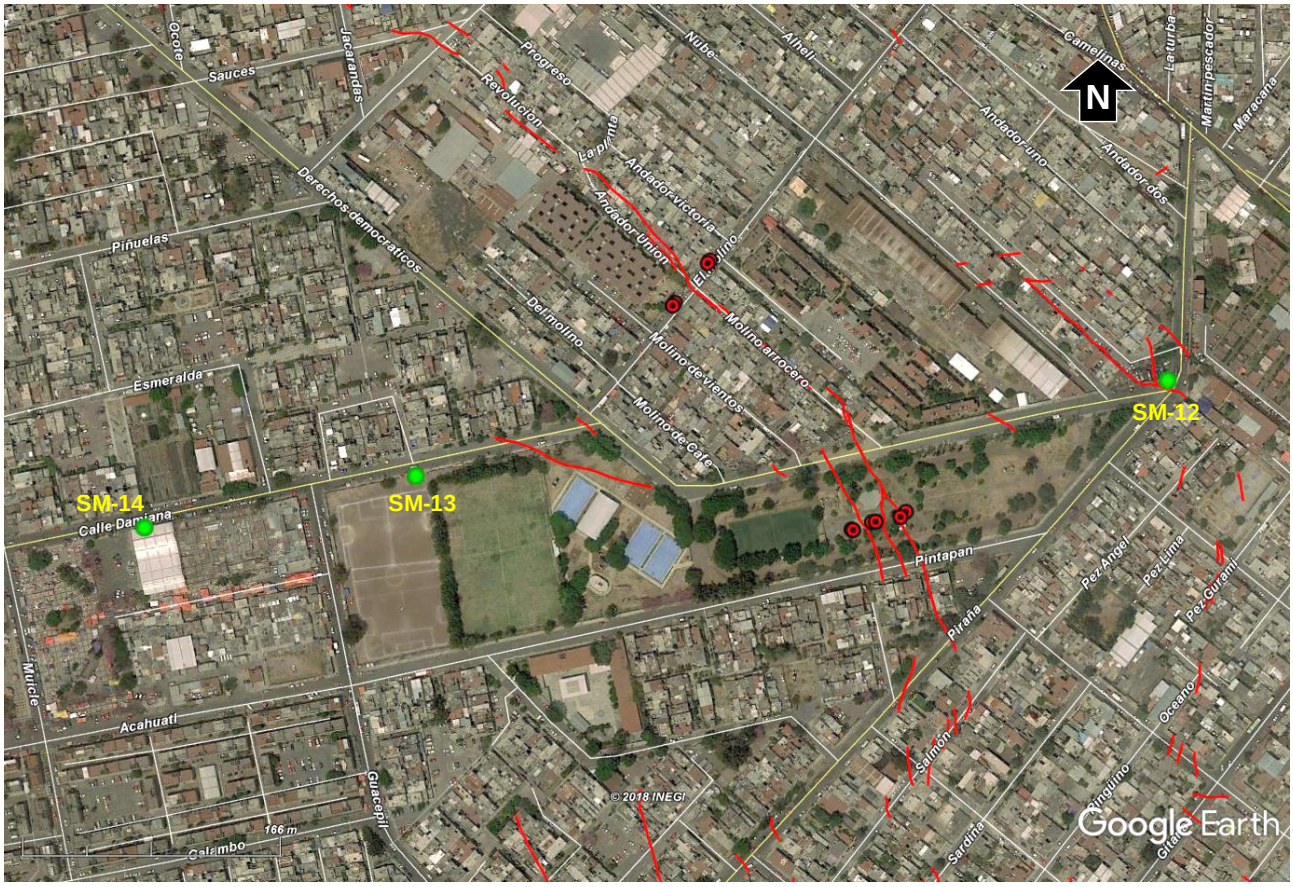


Figura 2.1 Ubicación aproximada de los sondeos propuestos

b) Trabajos de laboratorio

Los trabajos de laboratorio tienen por objeto conocer las propiedades índice y mecánicas de los suelos, a partir de las muestras recuperadas en los sondeos de muestreo. Los trabajos necesarios que deberán considerarse son:

- Clasificación e identificación de los suelos, permitirá obtener el perfil estratigráfico del subsuelo en los sondeos de muestreo (alterados e inalterados).
- Determinación del contenido de agua, de manera sistemática a lo largo de la profundidad a distancias cortas.
- Límites de consistencia, junto con el contenido de agua, se determinarán el límite líquido y límite plástico a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.
- Peso volumétrico natural, a diferentes profundidades en las muestras de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos.
- Pruebas de consolidación unidimensional, a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles.
- Ensayes triaxiales en muestras inalteradas, se determinará a diferentes profundidades en las muestras inalteradas de suelo que se consideren representativas de los diferentes estratos compresibles. Estas pruebas permitirán obtener los parámetros de resistencia del suelo en ensayes tipo UU y en ensayes tipo CU con medición de presión de poro. De

cada muestra inalterada se ensayará una serie de tres probetas en condiciones UU y una serie de tres probetas en condiciones CU.

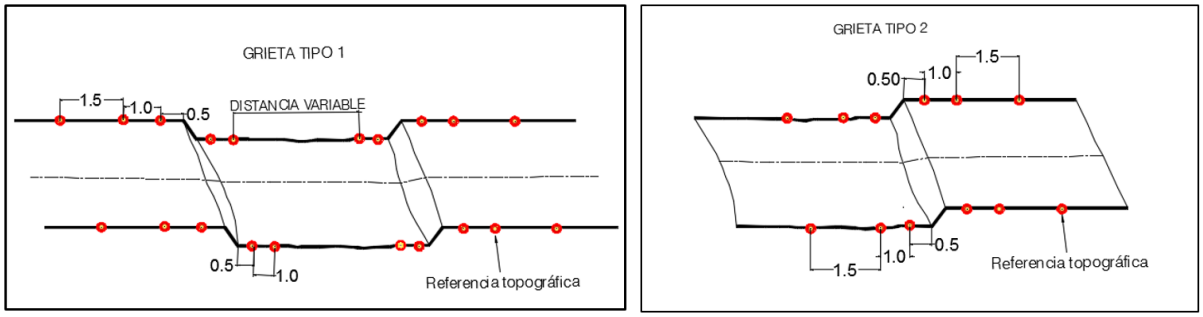
3. PROGRAMA DE INSTRUMENTACIÓN TOPOGRÁFICA

3.1 Instalación de referencias topográficas superficiales

Se instalaron Bancos de Nivel Superficiales (BNS) en las esquinas de calles donde existen grietas representativas. De acuerdo con la NT G-01 la ubicación de los BNS debe permitir la evaluación de los movimientos verticales de la superficie del terreno de forma detallada, sin embargo, en la práctica esta condición no se cumplió, debido al amplio espaciamiento de los puntos de medición topográfica.

Con la finalidad de monitorear detalladamente los movimientos verticales y horizontales de las grietas representativas en el cruce con las calles y avenidas, se propone incrementar el número de referencias superficiales instaladas. La instalación de las referencias depende de las características de la grieta, ver Figura 3.1.

Mediante recorrido de campo, se definieron 40 sitios donde las grietas cruzan de manera perpendicular o diagonal las calles del área de estudio. La Tabla 3.1 muestra la enumeración de dichos cruces y la Figura 3.2 muestra su posición en planta.



Grieta tipo 1 Grieta tipo 2

Figura 3.1. Configuración de referencias topográficas de acuerdo con el tipo de grieta.

Tabla 3.1. Número de referencias ubicadas.

NO. DE GRIETA	NO. DE REFERENCIAS	OBSERVACIONES	NO. DE GRIETA	NO. DE REFERENCIAS	OBSERVACIONES
G1	12		G21	10	
G2	18		G22	12	
G3	12		G23	14	
G4	12		G24	10	Instalación a/c 10 m
G5	24		G25	12	
G6	12		G26	10	
G7	12		G27	12	
G8	10	Instalación a/c 3 m	G28	28	
G9	14		G29	12	
G10	12		G30	12	
G11	12		G31	12	
G12	12	Instalación a/c 10 m	G32	18	
G13	12		G33	20	
G14	12		G34	12	
G15	12		G35	20	
G16	12		G36	12	
G17	12		G37	16	
G18	12		G38	18	
G19	12		G39	12	
G20	10	Instalación a/c 5 m	G40	14	

Figura 3.2. Ubicación de referencias topográficas superficiales y cruces de grietas.

Recomendaciones:

- En el sitio Deportivo Cananea (Figura 3.2), trazar una línea que pase sobre los sondeos realizados e instalar mojoneras a cada 20 m, exclusivamente en el cruce con la grieta, a partir de esta línea, trazar cuatro líneas paralelas con una equidistancia de 15 metros, dos al Norte y dos al Sur.
- En zonas donde la grieta no esté bien definida, instalar referencias a cada 5 m o 10 m, como se indica en la Tabla 3.1, e instalar referencias a cada 20 metros sobre las calles del área de estudio (Figura 3.2), abarcando las cuatro zonas de interés.
- Las referencias quedaran materializadas dependiendo de la ubicación, en zonas de terreno natural colocar mojoneras de concreto de tipo cilíndricas de 10 cm de diámetro y 40 cm de altura con una varilla al centro de 3/8” de diámetro y en zonas de concreto, instalar sobre banqueta o guarnición clavos Hilti, varillas de 12 cm de largo y diámetro de 3/8”, tornillos de acero inoxidable fijados con un material epóxico o trazos con pintura de esmalte (paloma de nivel), distribuidos estratégicamente en la zona de estudio, preferentemente formando una malla, considerando la permanecía de dichas referencias y los puntos específicos de los cuales se requiere obtener información.

3.2 Monitoreo de asentamientos

Se recomienda realiza el monitoreo de las BNS mediante campañas bimestrales de nivelación diferencial. En total, es conveniente realizar 7 campañas mensuales de nivelación, en cada campaña se nivelarán todas las referencias superficiales instaladas, iniciando en el Banco de Nivel Profundo, BNP-01.

3.3 Nivelación del BNP-01

Se realizará una nivelación diferencial de 10 km aproximadamente desde un banco de nivel del INEGI o de SACMEX hasta el Banco de Nivel Profundo BNP-01, instalado en el estacionamiento de la preparatoria José María Morelos y Pavón, con la finalidad de actualizar la información del citado banco.

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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
CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

ANEXO E

MINUTAS DE REUNIONES DEL COMITÉ DE GRIETAS

Relación de Sesiones técnicas del Comité de Grietas.

Sesión	Fecha
Primera sesión ordinaria	16 de enero de 2019
Segunda sesión ordinaria	30 de enero de 2019
Primera sesión extraordinaria	20 de febrero de 2019
Tercera sesión ordinaria	6 de marzo de 2019
Cuarta sesión ordinaria	20 de marzo de 2019
Quinta sesión ordinaria	10 de abril de 2019
Sexta sesión ordinaria	2 de mayo de 2019
Séptima sesión ordinaria	22 de mayo de 2019
Octava sesión ordinaria	12 de junio de 2019
Novena sesión ordinaria	28 de junio de 2019
Decima sesión ordinaria	31 de julio de 2019
Décimo primera sesión ordinaria	28 de agosto de 2019
Décimo segunda sesión ordinaria	10 de octubre de 2019

En el CD anexo, se incluyen los archivos electrónicos con la documentación generada en cada reunión, consistente en:

a) El orden del día
b) Registro de asistencia (con firmas)
c) Temas tratados de acuerdo con el orden del día
d) Asuntos Generales
e) Acuerdos

INSTITUTO DE INGENIERÍA UNAM
GEOTECNIA

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
CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2019-20

ANEXO F

MONOGRAFÏA

AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN EL VALLE DE MËXICO

Elaborado para:

Instituto Para la Seguridad de las Construcciones (ISC)

Por:

Gabriel Auvinet Guichard
Moisés Juárez Camarena
Edgar Méndez Sánchez
Sergio Antonio Martínez Galván
Jesús Sánchez Guzmán
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz
Alma Rosa Pineda Contreras
Laboratorio de Geoinformática, Coordinación de Geotecnia, II-UNAM

Ciudad de México, diciembre de 2019

ÍNDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN.....1

1. CONCEPTOS TEÓRICOS 2

1.1 Fracturamiento 2
1.2 Grietas, fracturas, fisuras y fallas 2
1.3 Mecánica de fracturas.....2
1.4 Criterios de generación de grietas.....3
1.5 Estado de esfuerzos en la cercanía de la punta de una grieta y criterio de propagación 5
2. PRINCIPALES MECANISMOS DE AGRIETAMIENTO EN EL SUBSUELO DEL VALLE DE MÉXICO.....9
2.1 Tipo I Agrietamiento por secado superficial 9
2.2 Tipo II Grietas atribuibles a la evapo-transpiración.....10
2.3 Tipo III. Agrietamiento atribuible a esfuerzos de tensión en el suelo superficial debido a edificaciones o excavaciones. 11
2.4 Tipo IV Agrietamiento por fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos 13
2.5 Tipo V Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional en zonas de transición abrupta entre suelos firmes y blandos 20
2.6 Tipo VI Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional, atribuible a anomalías estratigráficas 22
2.7 Tipo VII Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional, atribuible a Suelos heterogéneos 22
2.8 Tipo VIII Grietas por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional atribuibles a estructuras geológicas sepultadas 23
2.9 Tipo IX Grietas atribuibles a eventos sísmicos.....25
2.10 Tipo X Grietas en laderas en condiciones precarias de equilibrio. 26

2.11 Tipo XI Grietas asociadas a instalaciones y servicios públicos 26
2.12 Tipo XII Grietas asociadas a obras o razgos físicos antiguos (canales, diques, cienegas) 27
3. EVOLUCIÓN DE LAS GRIETAS. 29
4. LEVANTAMIENTO DE GRIETAS 30
5. TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 31
5.1 Exploración geotécnica directa 31
5.2 Uso de métodos indirectos 32
6. INSTRUMENTACIÓN 32
7. ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DEL AGRIETAMIENTO 35
8 TÉCNICAS DE MITIGACIÓN. 36
8.1 Control de grietas 36
8.2 Mitigación del efecto de las grietas en la pavimentación 40
8.3 Mitigación del efecto de grietas en tuberías 42
8.4 Mitigación del efecto de grietas en edificaciones 44

9. CONCLUSIONES 47

10. BIBLIOGRAFíA ..... ¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

Cada vez con mayor frecuencia, se señala la aparición de grietas en el suelo en alguna parte de la ciudad de México, del área metropolitana de la Cuenca o de otras ciudades como Celaya, Morelia, Querétaro, Aguascalientes y Toluca, para solamente mencionar algunas. Estas grietas causan alarma entre la población y llegan a ocasionar accidentes graves y daños de importancia a las construcciones.

En los últimos eventos de septiembre del 2017, los fenómenos sísmicos han dejado daños tanto en las edificaciones como en las redes vitales de la Ciudad de México (agua, drenaje, gas, transporte, otros). Por ello, el tema de los riesgos ha tomado relevancia reconociendo que es indispensable establecer estrategias y programas enfocados a prevenir y reducir sus efectos.

El problema del agrietamiento del suelo constituye un importante factor de riesgo que debe ser evaluado para definir las medidas protectivas y de coexistencia requeridas, a fin de que se tome en cuenta la presencia de grietas en el diseño de construcciones e instalaciones y para evitar o por lo menos disminuir el daño que puedan ocasionar a las edificaciones en general.

El fenómeno del agrietamiento del suelo se puede manifestar a consecuencia de cualquier condición que genera esfuerzos de tensión importantes en el suelo (Auvinet, 2010; Auvinet et al., 2013; Auvinet et al., 2015; Auvinet et al., 2017). Las grietas del suelo tienen por tanto distintas causas, incluyendo la contracción de las arcillas lacustres por secado, la existencia de esfuerzos de tensión asociados al peso de las construcciones, el fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos, los movimientos sísmicos, etc (Méndez et al., 2008,). Sin embargo, las grietas más importantes y destructivas son una consecuencia directa del hundimiento regional que se presenta en materiales compresibles como los de la zona lacustre de la cuenca de México por efecto del bombeo de agua en estratos profundos. Este tipo de grietas ha sido ampliamente estudiado en los últimos decenios. Se ha observado por otra parte que los sismos pueden alterar la geometría de las grietas existentes y en algunos casos generar discontinuidades adicionales.

Los conceptos de la mecánica de fracturas que se revisan en el presente trabajo resultan útiles para una mejor comprensión e interpretación de los mecanismos que llevan al agrietamiento. Por otra parte, los trabajos de recopilación de información sobre el agrietamiento y de levantamientos directos de grietas que han realizado diversos grupos, incluyendo el Laboratorio de Geoinformática del Instituto de Ingeniería para el subsuelo de la Cuenca de México han permitido llegar a una visión más completa del problema. Gracias a las bases de datos que se han establecido, ha sido posible proponer una clasificación de los diferentes tipos de grietas de acuerdo con el mecanismo que las origina.

El mejor entendimiento del fenómeno permite a su vez proponer algunas técnicas o estrategias para mitigar el riesgo asociado al agrietamiento

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

Para entender el comportamiento de suelos que presentan agrietamiento, es conveniente familiarizarse con varios conceptos teóricos de la mecánica de sólidos comúnmente aplicados, por ejemplo, a problemas de fracturamiento de elementos estructurales usados en la industria aeronáutica. La breve revisión que se presenta a continuación se basa principalmente en Auvinet (1991).

1.1 Fracturamiento

Todo cuerpo sólido responde a cargas extremas experimentando grandes deformaciones, localizadas principalmente a lo largo de una superficie de falla, o presentando fracturamiento. El segundo fenómeno consiste en la pérdida de continuidad entre dos partes del cuerpo. El fracturamiento implica la generación de una grieta y su propagación hasta que se presente la falla general o que se alcance un nuevo equilibrio.(Orduño Higuera, 2009; Espada Rivas, 2012).

1.2 Grietas, fracturas, fisuras y fallas

No existen materiales naturales que esten totalmente exentos de discontinuidades. El Profesor G.B. Sowers, precursor de la mecánica de suelos, solía afirmar “¡El universo está agrietado!”.

Ha existido cierta confusión en los términos empleados para referirse a las discontinuades de geomateriales como las que se consideran en el presente trabajo.

En efecto, es común referirse a ellas como grietas, fracturas o fisuras pero también como fallas geológicas. Una discusión relativa a esta confusión ha sido presentada recientemente por Reséndiz y Auvinet (2017). Se concluye que las fallas, fracturas o fisuras geotécnicas que afectan sólo a la capa superficial del terreno no son fallas en el sentido geológico o tectónico pués no cortan la corteza terrestre sino sólo una muy pequeña porción de ella. En el presente trabajo se usarán indiferentemente los términos de grietas o fracturas. Conviene observar que el término más usado en países de habla inglesa es el de fisuras (fissures).

1.3 Mecánica de fracturas

Las fracturas han sido objeto de múltiples estudios puesto que constituyen un aspecto importante de la mecánica de los materiales utilizados en ciertas áreas como la aeronáutica.

Con el tiempo, se ha desarrollado una “mecánica de las fracturas” (Benham, 1987; ASCE, 1994), en sus modalidades lineal y no-lineal, que permite definir las condiciones en las cuales una discontinuidad existente (siempre existe alguna) puede propagarse.

De acuerdo con Irwin (1957), existen tres tipos básicos de agrietamiento (Figura 1.1):

Modo I: Se presenta una abertura simétrica; el desplazamiento relativo entre las caras correspondientes es perpendicular a la superficie de la fractura; las grietas se generan por tensión separándose entre sí las caras de la grieta.

Modo II: La separación es asimétrica con desplazamientos tangenciales relativos perpendiculares al frente de la grieta; el agrietamiento se genera por cortante; las caras de las grietas deslizan una sobre otra en dirección perpendicular al vértice.

Modo III: La separación es nuevamente asimétrica, con desplazamientos tangenciales relativos paralelos al frente de la grieta; bajo el efecto de esfuerzos inducidos por torsión, las superficies de las grietas deslizan en dirección paralela al vértice.

En general, en un cuerpo homogéneo, el agrietamiento puede ser descrito por alguno de esos modos o sus combinaciones. Sin embargo, el crecimiento de la grieta tiene usualmente lugar en el modo I o cerca de él.

Usando la mecánica de las fracturas y métodos numéricos como el método del elemento finito, ha sido posible desarrollar modelos bi y tridimensionales que permiten representar el fenómeno de fracturación del suelo en distintas condiciones (Auvinet y Arias, 1991; Juárez Luna, 2002).

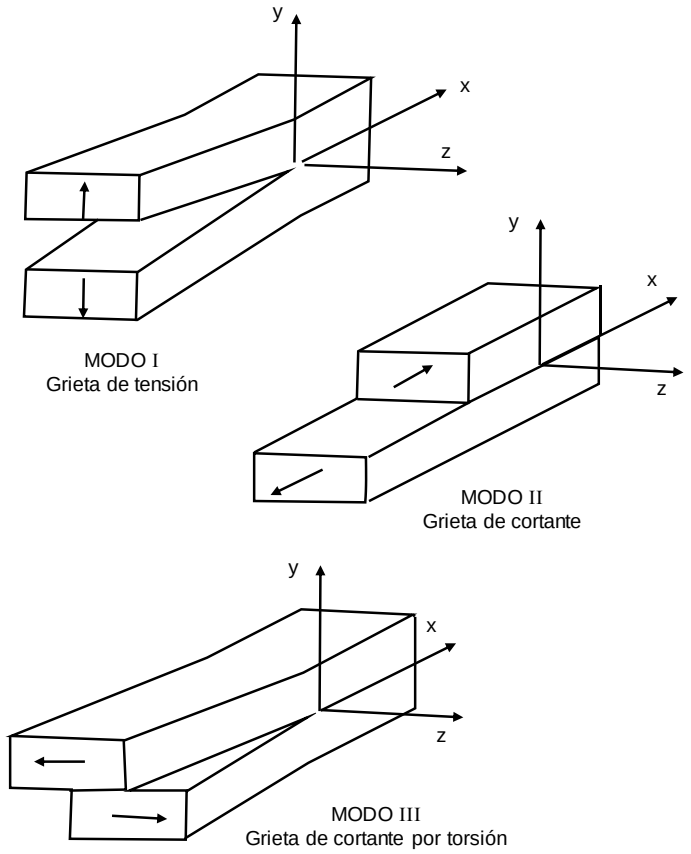


Figura 1.1. Modos de agrietamiento.

1.4 Criterios de generación de grietas

Existen diversas teorías o criterios (Singer 1980) que tienen por objeto predecir en base al comportamiento del material en los ensayos de tensión o de compresión simple las condiciones en que se producirá el agrietamiento bajo cualquier combinación de cargas. Las más comunes son las siguientes:

a) Teoría de Rankine

La teoría del esfuerzo máximo propuesta por Rankine es la más antigua y la más sencilla de todas. Se basa en la hipótesis de que la falla tiene lugar cuando uno de los esfuerzos principales alcanza un valor límite que puede ser el punto de fluencia determinado en un ensayo de tensión simple o el esfuerzo último si el material es frágil. En el caso de los suelos, este criterio puede aplicarse en términos de esfuerzos totales o de esfuerzos efectivos.

En el primer caso, debe considerarse que los suelos cohesivos presentan una resistencia a la tensión que puede ser no despreciable. Para las arcillas del valle de México, se ha mostrado que esta resistencia, medida en prueba de tensión simple, crece de 20% a 50% de la resistencia en compresión simple, cuando el contenido de agua crece de 100 a 400 %, (Marsal et al, 1959).

El criterio de Rankine es el que se emplea implícitamente al evaluar por el método del elemento finito elástico o elasto-plástico las zonas de tensión susceptibles de presentar agrietamiento en obras de tierra (Covarrubias 1969). En este tipo de análisis, se sabe que la extensión de las zonas de tensión es extremadamente sensible al valor de la relación de Poisson considerada (Louault 1997). Por lo contrario, esta extensión es poco sensible al módulo de elasticidad.

En términos de esfuerzos efectivos, es común considerar que la grieta se presenta si un esfuerzo principal efectivo, llega a ser igual a cero o negativo, por ejemplo por efecto de las fuerzas de filtración (Alberro y Hernández 1991; Juárez Badillo 1991).

b) Teoría de Saint Venant

La teoría de la deformación máxima, atribuida a Saint Venant, establece que la falla se presenta cuando la deformación principal máxima alcanza el valor necesario para que empiece la fluencia en el ensayo de tensión simple.

Aplicando implícitamente esta teoría, Alberro (1986) considera por ejemplo que las grietas se presentan en los núcleos impermeables de presas cuando las deformaciones de extensión alcanzan un valor comprendido entre 0.17 a 0.24%.

c) Teoría de Griffith

Es conocido que los materiales tienen una resistencia muy inferior a la que cabría esperar de la magnitud de las fuerzas moleculares. Griffith (Jaeger 1956) explica lo anterior por la presencia de un gran número de grietas pequeñas (microfisuras). En el vértice de estas fisuras se presenta una elevada concentración de esfuerzos que puede conducir al desarrollo de una grieta. La teoría considera que el material contiene un gran número de grietas incipientes orientadas casualmente y que la falla se presenta cuando el esfuerzo local mayor en la fisura más grande y de orientación más peligrosa alcanza un valor crítico. Para condiciones biaxiales, lo anterior conduce al siguiente criterio de falla (Auvinet 1986):

$$\sigma_1 = -T_0 \qquad \text{si} \quad \sigma_1 + 3\sigma_2 < 0 \tag{1}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + 8T_0(\sigma_1 + \sigma_2) = 0 \quad \text{si} \quad \sigma_1 + 3\sigma_2 > 0 \tag{2}$$

donde T_0 es la resistencia a la tensión uniaxial y σ_1 y σ_2 son los esfuerzos principales.

1.5 Estado de esfuerzos en la cercanía de la punta de una grieta y criterio de propagación

a) Estado de esfuerzos

Se considera una placa de dimensiones finitas sometida a un estado plano de esfuerzos. En la placa existe una grieta (Figura 1.2) limitada por dos superficies planas concurrentes que forman entre sí un ángulo 2*a*.

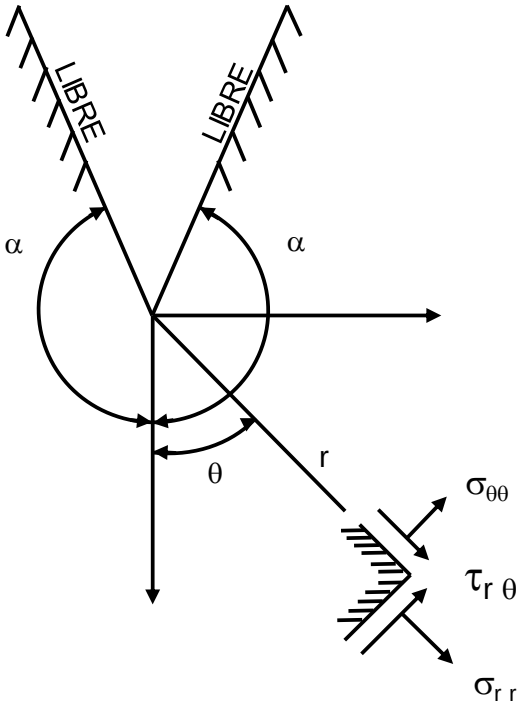


Figura 1.2. Esfuerzos alrededor de una grieta.

Para las condiciones de frontera:

$$\sigma_{\theta\theta} = \tau_{r\theta} = 0 \qquad \text{para} \qquad \theta = \pm\alpha \tag{3}$$

Es posible establecer (Irwin 1957) que el tensor de esfuerzos en la proximidad de la punta de la grieta siempre toma la forma:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{rr} \\ \sigma_{\theta\theta} \\ \tau_{r\theta} \end{pmatrix} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\left[1+sen^2\left(\frac{\theta}{2}\right)\right] \\ \cos^3\left(\frac{\theta}{2}\right) \\ sen\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos^2\left(\frac{\theta}{2}\right) \end{bmatrix} \tag{4}$$

donde K_I es el llamado "*factor de intensidad de esfuerzos*" que depende de la geometría del problema y del sistema de cargas, y se expresa en $tm^{-3/2}$ o $kPam^{1/2}$ (Figura 1.3).

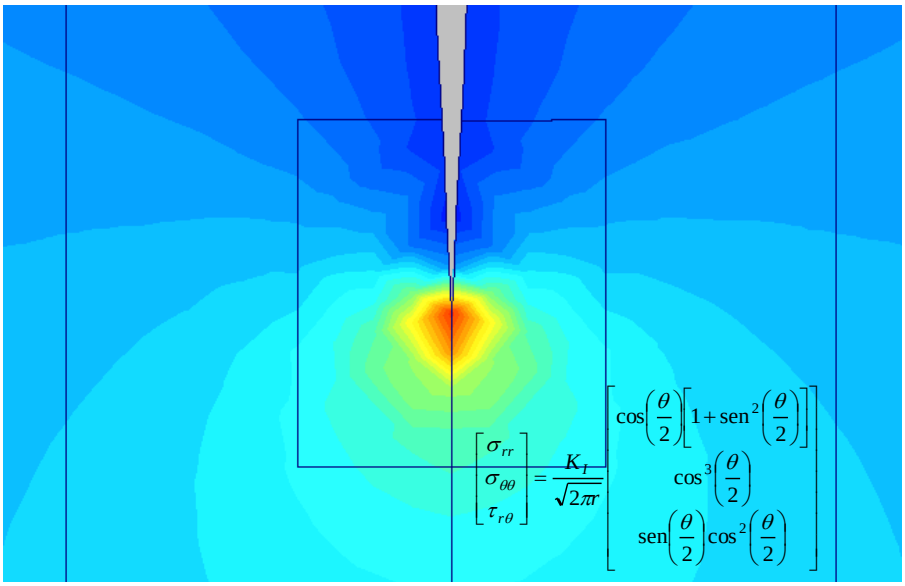


Figura 1.3. Concentración de esfuerzos en la punta de una grieta.

En coordenadas cartesianas, las expresiones anteriores se conocen como ecuaciones de Westergaard (Kobayashi 1973) y se escriben:

$$\begin{pmatrix}\sigma_{xx}\\ \sigma_{xy}\\ \sigma_{yy}\end{pmatrix} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right)\begin{bmatrix}1-sen\left(\frac{\theta}{2}\right)sen\left(\frac{3\theta}{2}\right)\\ sen\left(\frac{\theta}{2}\right)sen\left(\frac{3\theta}{2}\right)\\ 1+sen\left(\frac{\theta}{2}\right)\cos\left(\frac{3\theta}{2}\right)\end{bmatrix} \tag{5}$$

Esta solución, válida en condición de esfuerzos planos ($\sigma_{zz} = 0$), también lo es para condiciones de deformación plana con:

$$\sigma_{zz} = \frac{2\nu K_I}{\sqrt{2\pi r}}\cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \tag{6}$$

Existen numerosas expresiones que permiten definir K_I para diferentes condiciones de carga (Benham 1987).

Expresiones semejantes pueden escribirse para los modos de agrietamiento de tipo II y III (Figura 1.1), lo que permite definir dos factores de intensidad de esfuerzos adicionales: K_{II} y K_{III}.

Rice (1968) introdujo por su parte la llamada integral *J* de contorno. Esta integral representa la suma de la densidad de energía de deformación y del trabajo a lo largo de un contorno arbitrario encerrando completamente la punta de la grieta. Se muestra que esta suma es independiente del contorno elegido (Figura 1.4).

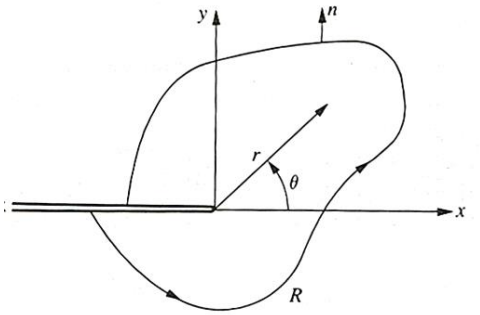


Figura 1.4. Sistema de coordenadas para la punta de la grieta y contorno arbitrario para el cálculo de la integral de línea.

La expresión de la integral es:

$$J = \oint_R w dy - \mathbf{T}\left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial x}\right) ds \tag{7}$$

donde: R = cualquier contorno encerrando completamente la punta de la grieta; w = densidad de energía de deformación; **T** = vector de tensión asociado a la normal $\vec{n}$ al contorno; **u** = vector de desplazamientos; s = longitud de arco.

Esta integral permite caracterizar la severidad de las condiciones de esfuerzos alrededor de la punta de una grieta en un material elástico lineal o no-lineal.

b) Criterio de propagación

Griffith considera que la grieta se propaga cuando, en el proceso, la energía elástica disipada en el sólido rebasa la energía potencial de superficie en las caras de la grieta, es decir cuando es suficiente para vencer las fuerzas de atracción de la estructura atómica. Esta condición se da cuando el factor de intensidad de esfuerzos K_I alcanza un valor crítico K_{IC} que debe evaluarse experimentalmente.

En el caso de un material elástico lineal, el valor crítico de la integral de contorno J está relacionado con el factor de intensidad de esfuerzos crítico de la teoría de mecánica de fractura lineal, mediante la siguiente expresión:

$$J_{IC} = \frac{K_{IC}^2}{E'} \tag{8}$$

con:

$$E' = E \text{ , para estado plano de esfuerzos} \tag{9}$$

$$E' = \frac{E}{\left(1-\nu^2\right)} \text{, para estado plano de deformaciones} \tag{10}$$

El factor de intensidad de esfuerzos crítico puede determinarse por procedimientos de prueba normalizados existente (ASTM E399-78). La prueba consiste en someter un espécimen provisto de una ranura a una fuerza de tracción perpendicular a la ranura.

La Figura 1.5 muestra un diagrama de un espécimen ensayado en este tipo de prueba, así como las curvas fuerza-desplazamiento y fuerza-longitud de grieta obtenidas (Fook-Hoo 1988). Los autores reportan en este caso un factor de intensidad de esfuerzos crítico con valor de 12.9 kPam$^{1/2}$ para una arcilla blanda con límite líquido w_L=117%, límite plástico w_p= 55% y contenido de agua w= 40%.

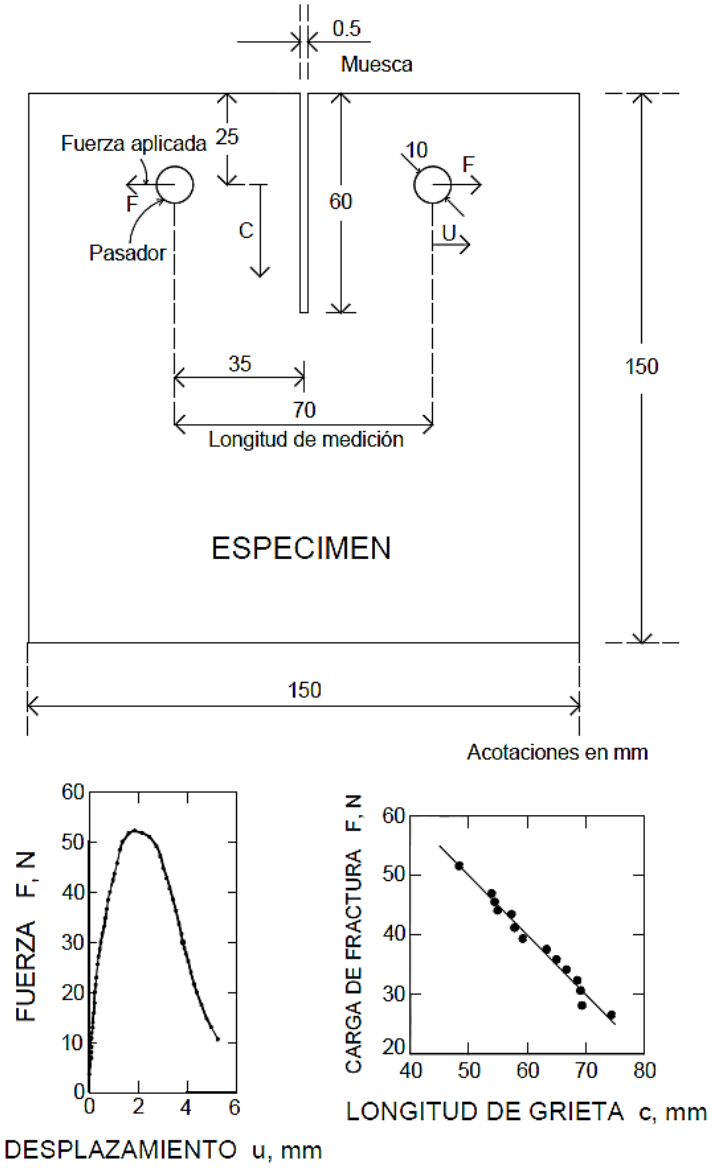


Figura 1.5. Espécimen y resultados de una prueba de tensión.

2. PRINCIPALES MECANISMOS DE AGRIETAMIENTO EN EL SUBSUELO DEL VALLE DE MÉXICO

En la literatura (Orozco y Figueroa, 1991; Vallejo 1994,) se encuentran revisiones amplias de los diferentes factores que pueden provocar la aparición de fisuras o grietas en la estructura de los suelos. En este trabajo, nos limitaremos a revisar los mecanismos más comunes por los que se generan grietas de medianas a grandes dimensiones, susceptibles de afectar las vialidades y construcciones en el ambiente geológico de la capital mexicana y de otras ciudades de la república, sin prestar atención por ejemplo a fenómenos como reacciones químicas, o fenómenos coloidales que también pueden originar discontinuidades en los suelos.
Las acuciosas observaciones de campo de autores como Melgoza (1978), Murillo (1991), Trejo (1991), Moreno Pecero (1991) y otros, así como los trabajos de levantamiento sistemático de grietas realizados en la Cuenca de México durante los últimos decenios con la ayuda de herramientas informáticas (Méndez et al. 2008) permiten distinguir en particular los siguientes mecanismos de generación y propagación de grietas para las situaciones más comúnmente encontradas en México.

2.1 Tipo I Agrietamiento por secado superficial

Estas grietas afectan los llamados *suelos de superficie* sometidos a ciclos periódicos de humedecimiento y secado. Un ejemplo bien conocido es el agrietamiento que, al secarse, presentan los lodos depositados sobre el terreno natural. Su forma característica puede interpretarse en téminos de las llamadas células de Bénard (Embeita, 2006).

Este fenómeno no está totalmente entendido. Al reducirse el contenido de agua de los materiales superficiales expuestos a la evaporación, se presenta una tensión capilar en el agua que provoca una contracción volumétrica, $\Delta V/V$, igual a la suma de las deformaciones unitarias: $\varepsilon_x+\varepsilon_y+\varepsilon_z$. La contracción vertical ε_z se presenta sin restricción pero no así las deformaciones horizontales para las cuales los materiales más profundos no sometidos a secado imponen en las direcciones horizontales una condición de frontera del tipo:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varepsilon_x dx = 0 \qquad (11)$$

Para satisfacer esta condición, se establece espontáneamente en el material superficial un campo de deformaciones unitarias alternadas de signos contrarios con carácter periódico (contracción-extensión). Las zonas de extensión dan lugar a grietas (modo I) que favorecen el secado de las zonas de compresión al exponer a la evaporación su flanco lateral. El fenómeno se acentúa por tanto por si sólo y da lugar a configuraciones como la de la Figura 2.1. Se han propuesto técnicas basadas en la teoría de Griffith para estimar la profundidad de las grietas de este tipo (Morris 1994).

Figura 2.1. Grietas inducidas por secado en el lago de Texcoco (Murillo 1991).

2.2 Tipo II Grietas atribuibles a la evapo-transpiración

Algunas grietas han aparecido en zonas donde el nivel freático se encuentra abatido y ha dejado de proteger a las arcillas contra secado. Estas grietas se atribuyen al incipiente secado de las arcillas por evapo-transpíración en áreas expuestas al medio ambiente (parques, terrenos baldíos) en particular en presencia de árboles (Figura 2.2).

Figura 2.2. Agrietamiento por evapo-transpiración (Coacalco, Estado de México).

Este proceso podría volverse muy crítico a largo plazo para la zona lacustre del valle de México en su conjunto debido a que el contenido de agua de las arcillas podría teóricamente disminuir progresivamente hasta alcanzar el límite de contracción, con reducciones de volumen drásticas que podrían inducir asentamientos y agrietamientos considerables.

2.3 Tipo III. Agrietamiento atribuible a esfuerzos de tensión en el suelo superficial debido a edificaciones o excavaciones.

Al construir terraplenes para caminos o bordos en suelos blandos como las arcillas del valle de México, la carga aplicada genera tensiones en la superficie del terreno. La construcción de terraplenes da generalmente lugar a grietas longitudinales aproximadamente paralelas al terraplén (Figura 2.3).

Figura 2.3. Grietas inducidas en la superficie del terreno natural por el peso de un terraplén (Laguna Casa Colorada, Texcoco).

Es común observar también grietas en la parte inferior del talud del propio terraplén, propiciadas por la mayor rigidez del material compactado del terraplén respecto a la arcilla blanda subyacente. Las grietas, que no afectan la función hidráulica de los bordos, se presentan con dominio del modo I (Figura 2.4).

Figura 2.4. Grieta longitudinal en el talud de un terraplén construido sobre suelos blandos (Laguna Casa Colorada, Texcoco).

La ubicación de este tipo de grieta puede ser interpretada fácilmente en términos de la teoría de la elasticidad mediante soluciones analíticas (Boussinesq) o numéricas (Método del elemento finito (Figura 2.5).

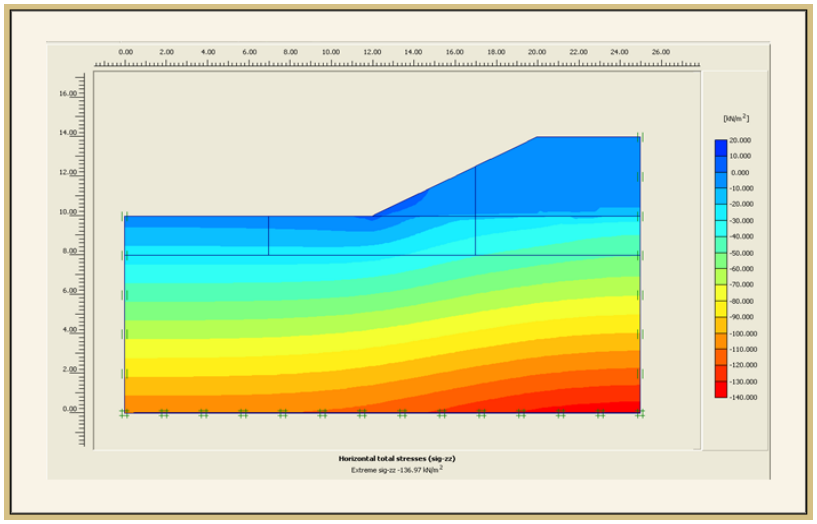


Figura 2.5. Zonas de tensión inducidas por bordos (Modelación MEF).

La descarga del terreno tiene consecuencias similares. Repetidamente, se ha observado agrietamiento en excavaciones a cielo abierto en las arcillas lacustres del valle de México (Reséndiz y Zonana 1969). Las grietas se observan en el talud de la excavación y es común que se presente un escalón asociado a la liberación de esfuerzos de corte a lo largo del plano vertical de la grieta (modo II). También es común que se presenten grietas verticales en la corona del talud, especialmente cuando existe una capa de mayor rigidez en la superficie (costra superficial). Este tipo de agrietamiento le resta validez a los análisis límites tradicionales de estabilidad de los taludes en los que el medio se considera como continuo. La infiltración de agua en las grietas inducidas por la excavación, por lluvia o tuberías rotas puede además generar un empuje hidrostático que facilita la falla de los taludes (Figura 2.6).

Figura 2.6. Falla de una excavación facilitada por la formación de una grieta en la parte superior del corte.

En esta categoría deben incluirse las grietas inducidas por rellenos superficiales (cascajo) usados en el sur del valle de México para la constitución de plataformas (*tlateles*) que permiten un desarrollo urbano precario en zonas iinundables (Figura 2.7).

Figura 2.7. Plataformas construidas con materiales de desecho para urbanización precaria en zonas inundables.

2.4 Tipo IV Agrietamiento por fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos

En la zona lacustre de la cuenca de México y especialmente en el lago de Texcoco, se presentan grietas profundas del tipo mostrado en la Figura 2.8 que tienen en general un trazo irregular, con separación entre grietas de algunos a cientos de metros (Murillo 1991). El modo de agrietamiento es de tipo I (sin escalón).

Estas grietas han sido objeto de diferentes interpretaciones, que han ido evolucionando, atribuyéndose sucesivamente a flujo horizontal en la capa dura permeable (Carrillo 1951) y a la evaporación intensa superficial (Juárez Badillo 1959; Alberro 1990).

Figura 2.8. Grieta profunda típica del lago de Texcoco.

Las grietas verticales poco profundas que se observan comúnmente en los pozos a cielo abierto en los suelos arcillosos del valle de México pueden probablemente considerarse como de contracción volumétrica por secado. Por lo contrario, no existen evidencias de que las grietas profundas del lago de Texcoco como la que se muestra en la Figura 2.8 sean también grietas por secado. Estas grietas suelen presentarse bruscamente al iniciarse las lluvias y no durante la época de secas.

En congruencia con la mecánica de fracturas, Auvinet y Arias (1991) han propuesto otro mecanismo para explicar la formación y reactivación periódica de este tipo de grietas, en el que se demuestra que estas grietas se propagan cuando la presión hidráulica inducida por un encharcamiento genera un factor de intensidad de esfuerzos superior al crítico y se supera la resistencia del suelo en la punta de una grieta incipiente (Figura 2.9).

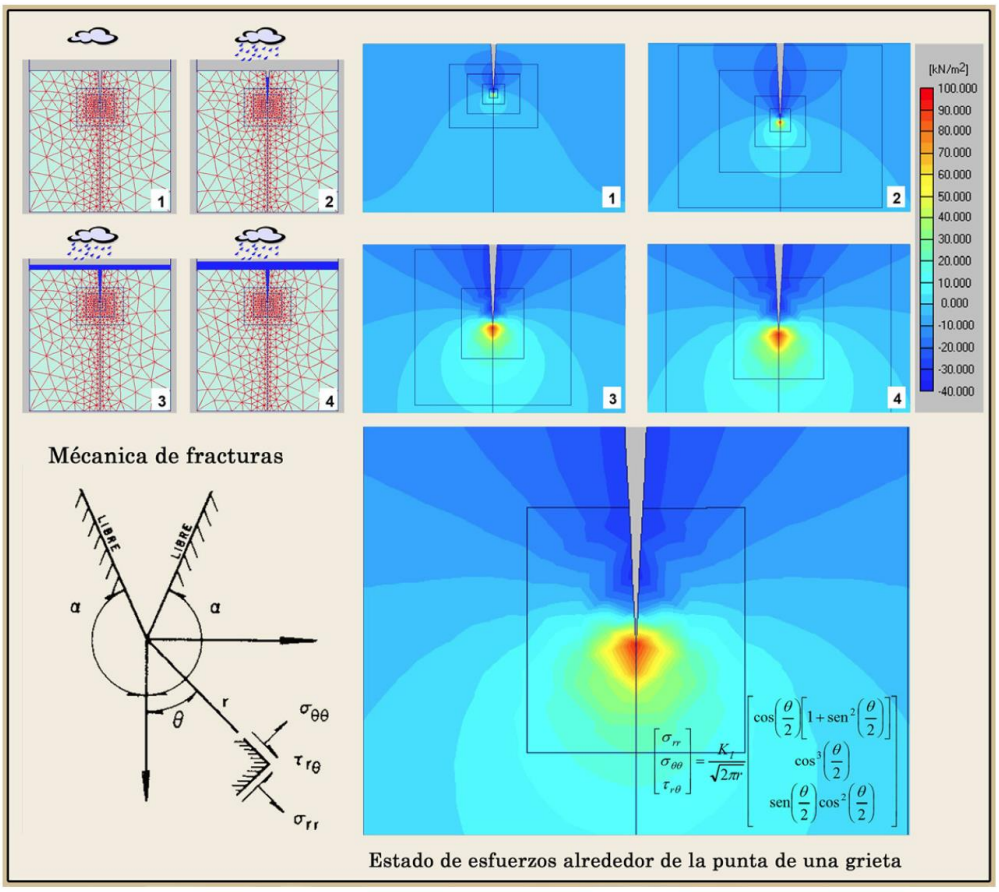


Figura 2.9. Interpretación de la propagación del agrietamiento inducido por fracturamiento hidráulico a partir de la mecánica de fracturas (Auvinet y Arias, 1991).

Existen evidencias claras de que por lo menos algunas de las grietas profundas de este tipo deben atribuirse a la propagación de grietas superficiales (siempre existentes de acuerdo con Griffith) bajo el efecto de presiones hidráulicas internas desarrolladas por los encharcamientos superficiales bruscos que se presentan precisamente durante las primeras lluvias o por cualquier otro motivo.

Lo anterior puede afirmarse por el hecho de que este fenómeno ha sido observado directamente en el campo y especialmente a través de las evidencias obtenidas en casos de agrietamiento como el del lago artificial Iztacalco documentado en Auvinet y Arias (1991) y Villas de San Martín, en Chalco (Auvinet y Mendez, 2009). En estos casos, se observó claramente que una presión hidráulica interna de unas cuantas toneladas por metro cuadrado es suficiente para provocar la propagación vertical y horizontal de una grieta. Este mecanismo conduce también a la reactivación anual de grietas antiguas. Las grietas asi formadas son grietas de tensión con escaso escalón (Figura 2.10).

Figura 2.10. Grietas inducidas por presión hidráulica interna (Auvinet 1991).

Un mecanismo de agrietamiento similar ha sido observado durante el colado de paneles de lodo auto-fraguante (Figura 2.11). El agrietamiento se propagó horizontalmente hasta varias decenas de metros, causando daños en una fila de tablestacas metálicas. El fracturamiento fue facilitado en este caso por el hecho de que el peso volumétrico del lodo es superior al del agua; sin embargo, fue posible controlar el fenómeno procurando simplemente que el nivel del lodo no se elevara significativamente arriba del nivel freático (Orduño Higuera, 2009). Se sabe, por cierto, que un fenómeno similar (pérdida de lodo por fracturamiento) se presenta en ciertas condiciones al realizar sondeos exploratorios con perforaciones estabilizadas con lodo bentonítico.

Figura 2.11. Agrietamiento inducido por la presión de lodo auto-fraguante en un panel de una pared colada in situ (Lumbrera 3, Túnel Río de los Remedios).

En la misma forma, se ha observado en el cauce del Canal de la Compañía que un incremento rápido del tirante de agua resulta suficiente para generar agrietamiento longitudinal. En este caso, las grietas se han sellado con arena (Figura 2.12). La instrumentación del túnel del Río de la Compañía, permitió registrar evidencias directas del efecto de la elevación del tirante y del agrietamiento inducido que se refleja en un cambio brusco del coeficiente de empuje en reposo K_0 del suelo, medido en las celdas de presión (ICA, 2008).

Figura 2.12. Agrietamiento longitudinal inducido por aumento rápido del tirante en el canal de la Compañía (Se observa trabajo de sellado de la grieta con arena).

En forma también congruente con el mecanismo de fracturamiento propuesto en la Figura 2.10, se ha observado por otra parte que, al tratar de sellar las grietas con lechada fluida, es común que se presente propagación horizontal de la misma, lo que debe atribuirse a la presión hidráulica desarrollada por la lechada dentro de la grieta.

Los estudios realizados por el método del elemento finito permiten estimar la magnitud de la apertura de la grieta y la fuerza requerida para que no se abra (Auvinet 1991). Es evidente la necesidad de mayores investigaciones sobre este tema. Las herramientas numéricas actuales permiten representar mejor las condiciones que prevalecen en la punta de la grieta mediante elementos finitos especiales. También ya es posible simular la propagación de la grieta por remallado del modelo del elemento finito y realizar análisis en tres dimensiones (Figura 2.13). Sería también muy deseable que se emprendiera un programa de medición del factor de intensidad de esfuerzo crítico en el laboratorio y en el campo.

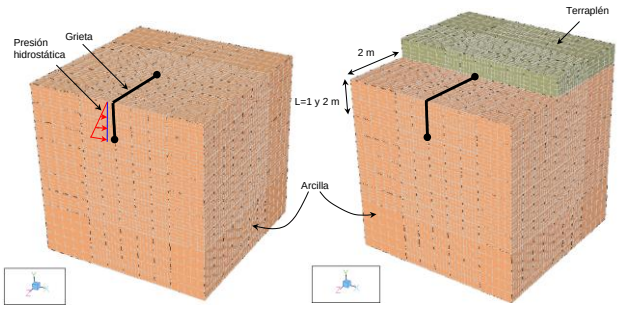


Figura 2.13. Análisis 3D de la propagación de grietas (Rangel, 2001).

Los análisis descritos en los incisos anteriores en el marco de la teoría de fracturas se han realizado en términos de esfuerzos totales. No son incompatibles con los resultados de los análisis en términos de esfuerzos efectivos realizados por Alberro (1990). Estudiando en forma analítica las fuerzas de filtración generadas por el efecto combinado de una larga evaporación y de la formación de un encharcamiento, este autor ha podido mostrar que se pueden desarrollar esfuerzos efectivos de tensión en el suelo hasta una profundidad importante, por efecto de fuerzas de filtración divergentes, lo que debe inducir agrietamiento (Figura 2.14).

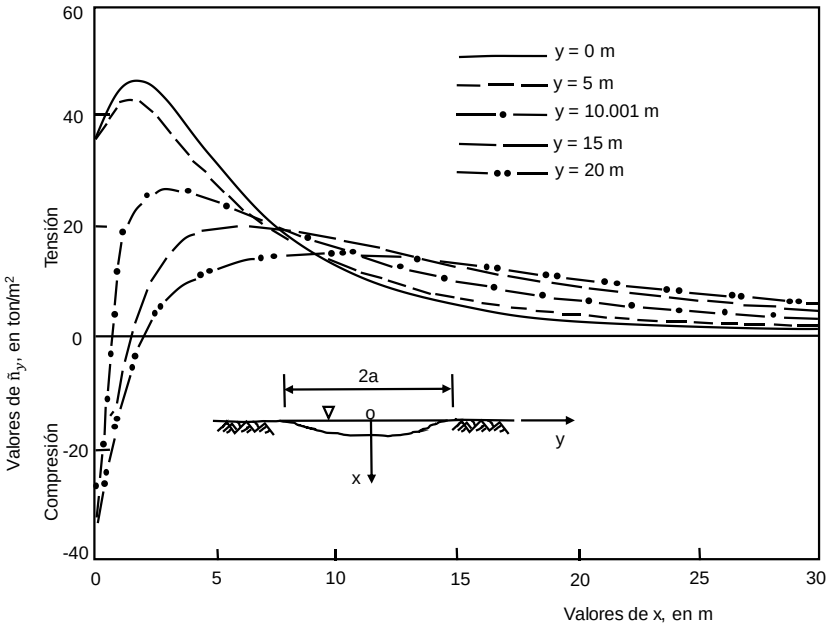


Figura 2.14. Esfuerzos debajo de un encharcamiento después de un proceso de evaporación prolongada (Alberro, 1990).

Este tipo de agrietamiento se presenta con particular intensidad en las zonas de encharcamiento de la superficie antiguamente ocupada por el vaso del Lago de Texcoco, como se ilustra en las imágenes de la Figura 2.15 Sin embargo, existen evidencia de fracturas de este tipo en otras zonas anteriormente lacustres como Chalco y Xochimilco.

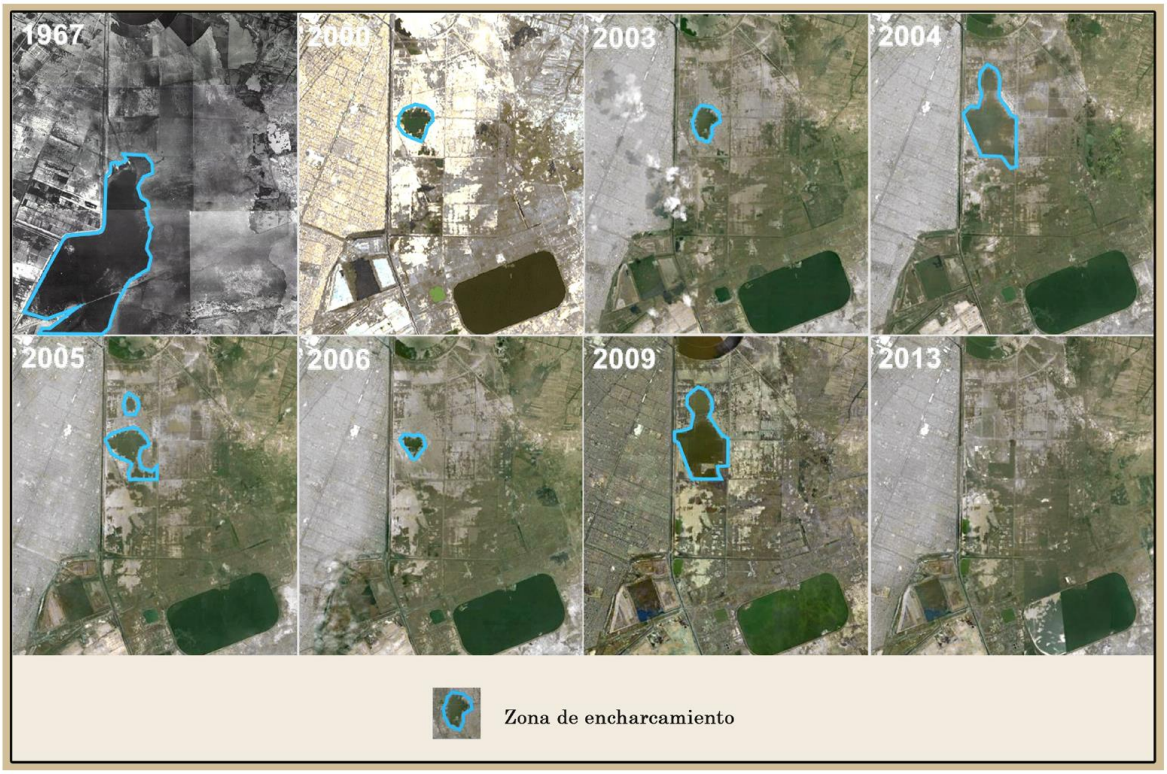


Figura 2.15. Zonas de encharcamiento en la antigua superficie ocupada por el vaso del Lago de Texcoco.

En las imágenes de las figuras 2.16 y 2.17, se puede apreciar la abundancia de grietas en los suelos blandos localizados en la antigua superficie ocupada por el vaso del Lago de Texcoco atribuibles al fracturamiento hidráulico bajo el contexto de 1952 (Marsal y Mazari, 1959) y de 2014 (Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM).

Figura 2.16. Agrietamiento del suelo en el lago de Texcoco en el contexto de 1952.

Figura 2.17. Agrietamiento del suelo en el lago de Texcoco en el contexto de 2014.

En las láminas de la Figura 2.18, se muestran los sitios donde ha sido común la aparición de grietas por fracturamiento hidráulico. La lámina de la izquierda muestra la distribución espacial de las grietas. La lámina de la derecha muestra las zonas que han experimentado agrietamiento por fracturamiento hidráulico por encharcamientos; las cuales, están indicados por los polígonos de color azul.

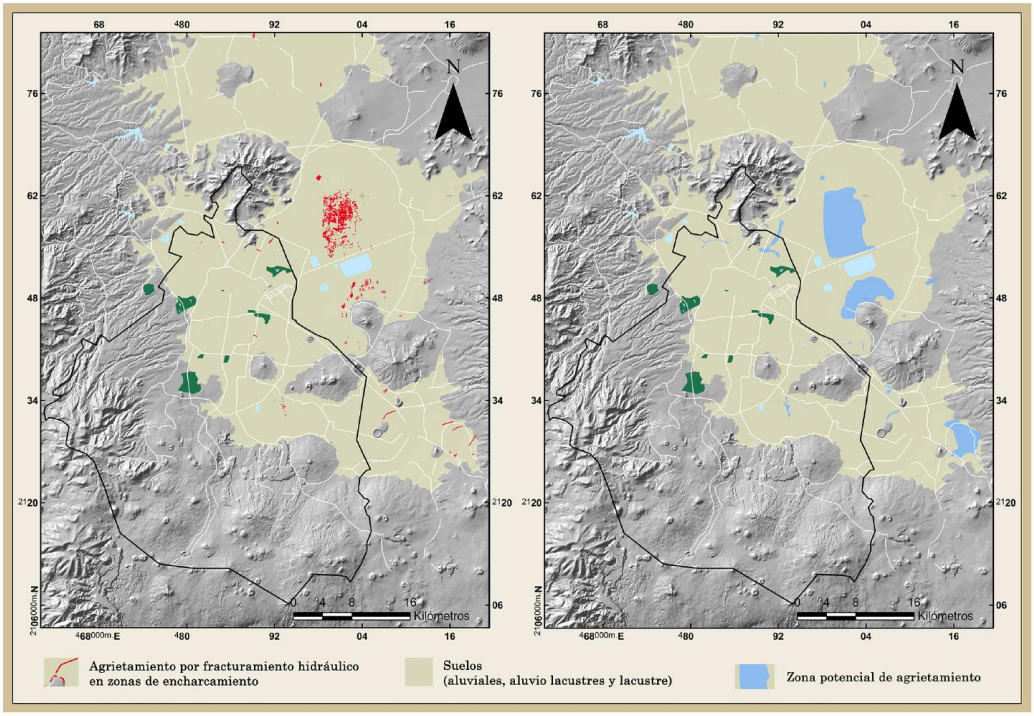


Figura 2.18. Zonas con grietas por fracturamiento hidráulico.

2.5 Tipo V Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional en zonas de transición abrupta entre suelos firmes y blandos

El proceso de consolidación regional por efecto del bombeo de agua en estratos profundos genera grietas en las zonas de transición abrupta entre suelos blandos lacustres y suelos firmes, con su secuela de daños a las edificaciones y a los servicios públicos de agua, drenaje e infraestructura urbana. El modo de agrietamiento es mixto (Tipo I y II), bajo el efecto simultáneo de esfuerzos de tensión y de cortante, con un escalón hacia la zona de mayor asentamiento que puede alcanzar varias decenas de centímetros y puede ser muy destructivo para las construcciones o instalaciones ubicadas sobre su trazo, por lo general, son paralelas a las curvas de nivel de las zonas que se ubican al pie de las laderas de las sierras o cerros.

La transición es particularmente abrupta alrededor de los domos volcánicos que emergen de la zona lacustre de la ciudad de México (Cerros Peñón de los Baños, del Marqués, Peñón Viejo, Tepetzingo y Coatepec en Texcoco y Cerros del Xico y de Tlapacoya en Chalco).

La transición resulta también muy pronunciada en ciertos puntos cercanos a la Sierra de Guadalupe (Xalostoc). Por lo contrario, es más suave alrededor de conos de materiales clásticos de gran extensión como el Cerro de la Estrella y es prácticamente inexistente en la zona poniente de la zona lacustre donde la transición es progresiva por la presencia de amplios abanicos y llanuras aluviales. La mayor densidad de grietas de este tipo en el valle de México se presenta en la delegación Iztapalapa, al norte de la Sierra de Santa Catarina, donde el alto perímetro específico de la configuración en planta de la sierra favorece la interacción suelo blando-suelo firme y el agrietamiento.

Se ha observado que este tipo de agrietamiento puede estar acompañado por un movimiento horizontal del suelo hacia la zona baja de la ladera, lo que ha sido a veces interpretado como un fenómeno de creep (reptación) sin que existan evidencias concretas de que se haya presentado un deslizamiento de un estrato de material blando sobre material más firme. Movimientos de este tipo han sido medidos en el Canal de la Compañía, en la proximidad del Cerro de Tlapacoya (Figura 2.19; CFE, 2007).

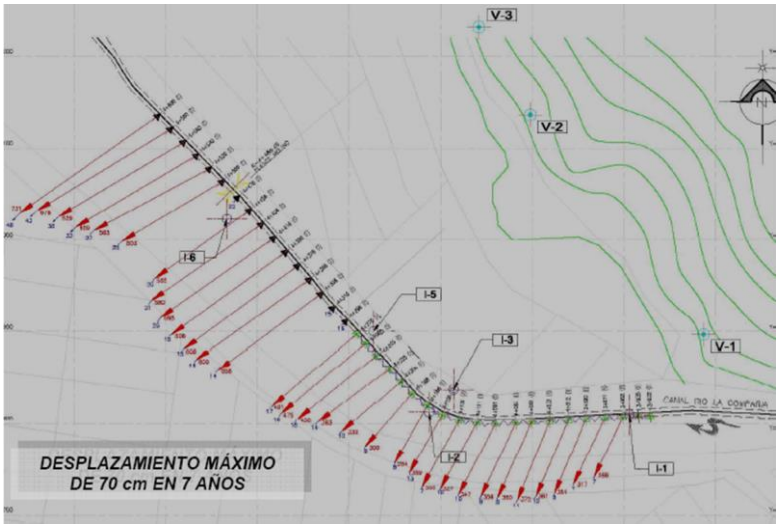


Figura 2.19. Desplazamientos horizontales del bordo izquierdo del río de la Compañía (CFE, 2007).

Los planteamientos existentes para la interacción en taludes sepultados se han generalizado al comportamiento de valles completos con rellenos de materiales compresibles sometidos a las consecuencias del bombeo (Álvarez Manilla 1999, Rojas 2002, Alberro et al. 2006).

La Figura 2.20 ilustra con un modelo de elementos finitos simplificado los efectos de la consolidación regional en las zonas de transición. El hundimiento diferencial genera tensiones y agrietamientos en los estratos superficiales. La mayor rigidez de estos estratos superficiales afectados por secado favorece el agrietamiento.

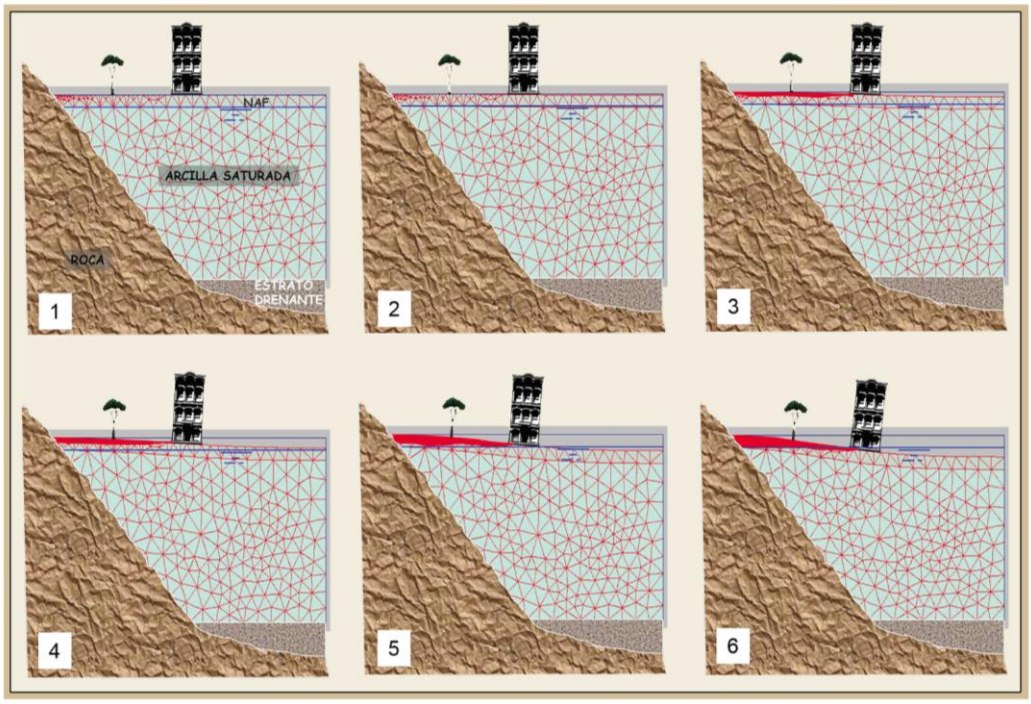


Figura 2.20. Mecanismo de generación de zonas de tensión y de agrietamiento superficial en zonas de transición abrupta.

La Figura 2.21 muestra la capacidad destructiva del agrietamiento asociado al hundimiento regional en zona de transición abrupta.

Figura 2.21. Efecto del hundimiento regional en construcciones antiguas en zona de transición abrupta (Xico, Chalco).

La velocidad de crecimiento del escalón de las grietas de este tipo depende de la compresibilidad de los materiales y de las características estratigráficas locales asi como de las propiedades específicas de los suelos en cada sitio y del régimen local y global de explotación del acuífero.

2.6 Tipo VI Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional, atribuible a anomalías estratigráficas

Este mecanismo de agrietamiento se origina por la presencia de una irregularidad estratigráfica. La Figura 2.22 muestra un caso de grieta en zona lacustre con escalón muy marcado ocasionado por una anomalía estratigráfica.

Figura 2.22. Grieta con escalón en la zona lacustre asociada a una anomalía geotécnica.

En este caso se trata de la presencia de una capa de toba en la superficie de la Formación Arcillosa superior (FAS). La incompatibilidad de deformación entre ambos materiales durante el proceso de consolidación de la FAS causa el fracturamiento frágil de la capa rígida superficial o semi superficial.

2.7 Tipo VII Agrietamiento por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional, atribuible a suelos heterogéneos

Las numerosas grietas que han aparecido en la zona de transición al Nor-Poniente del Distrito Federal en Naucalpan-Atzcaptozalco-Gustavo A. Madero pueden también atribuirse a la heterogeneidad del suelo. En efecto en esa zona, el suelo presenta una compleja estructura lenticular con alternancia aleatoria de materiales lacustres y arcillosos (Figura 2.23).

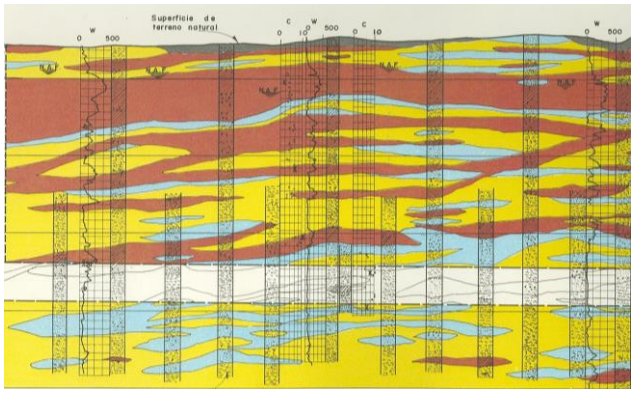


Figura 2.23. Estratigrafía típica en la zona de Azcapotzalco.

Esta estructura del suelo ha propiciado el descenso del nivel freático al encontrarse drenadas las arcillas por los estratos granulares permeables. Este descenso ha provocado un fuerte incremento de los esfuerzos efectivos (10 kPa por metro de abatimiento) y la consolidación correspondiente de las arcillas se manifiesta a través de las grandes deformaciones y grietas observadas en la superficie (Figura 2.24).

Figura 2.24. Grieta en la Alcaldía Gustavo A. Madero de la Ciudad de México.

2.8 Tipo VIII Grietas por asentamientos diferenciales asociados a la consolidación regional atribuibles a estructuras geológicas sepultadas

Al existir estructuras geológicas sepultadas en las arcillas lacustres, la consolidación regional puede inducir agrietamiento en la superficie (Pacheco, 2008), como se ilustra en el esquema de la Figura 2.25.

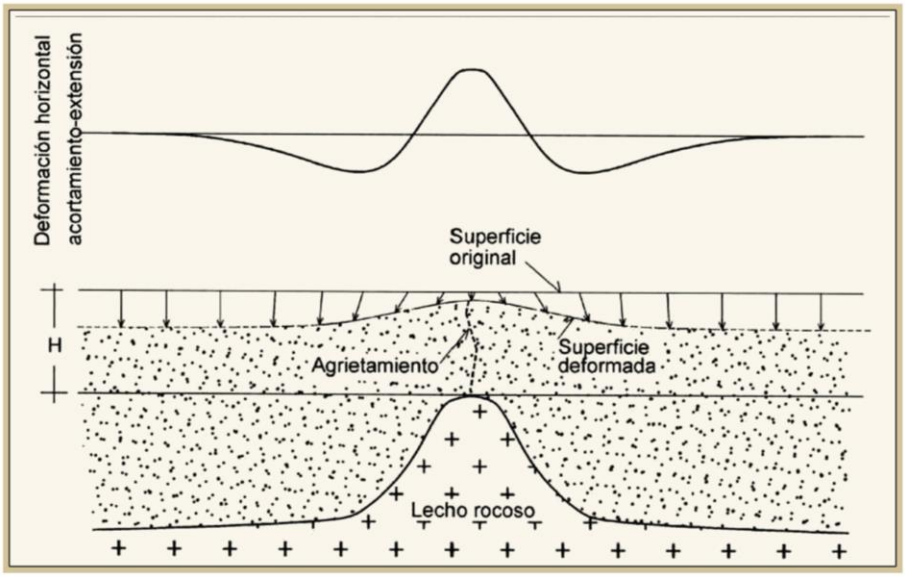


Figura 2.25. Estructuras geológicas sepultadas que pueden inducir agrietamiento superficial (Jachens y Holzer, 1982).

Por otro lado, los escalones sepultados de la roca basal pueden inducir asentamientos diferenciales importantes en los suelos superficiales en proceso de consolidación y por tanto provocar agrietamiento (Figura 2.26).

Esta situación parece ser la que prevalece en la Ciudad de Celaya donde se han presentado grietas con salto de 1m por efecto de un abatimiento piezométrico de 40m en la fosa de Celaya donde se sabe que existe un salto de 200m en la roca basal (Trujillo, 1985). En la misma forma, se reporta en el caso de la ciudad de Querétaro, donde se han presentado grietas importantes, la existencia de un lecho rocoso sepultado por 130 m de sedimentos aluviales y lacustres con forma de escalón con altura de 40m (Pacheco, 2008).

Cuando prevalece esta condición o la anterior, se plantea el problema de definir con precisión la geometría de estas estructuras sepultadas. De acuerdo con Pacheco (2008), se han obtenido buenos resultados recurriendo para este fin a mediciones gravimétricas. Recientemente, para detectar la geometría de los estratos compresibles, se ha propuesto complementar los métodos directos con técnicas de determinación del periodo natural del suelo a partir de vibraciones ambientales (Lermo *et al*., 2010).

Tanto la condición de talud sepultado vista en el apartado anterior, como la de un escalón han sido modeladas en el marco de la teoría de la mecánica de fracturas por Juárez Luna (2002) y Pineda (2019). En este caso, correspondiente a la consolidación progresiva de un estrato, es de esperarse que el factor de intensidad de esfuerzos crítico resulte considerablemente mayor que para la condición de carga rápida con falla frágil descrita en el inciso 1.4.

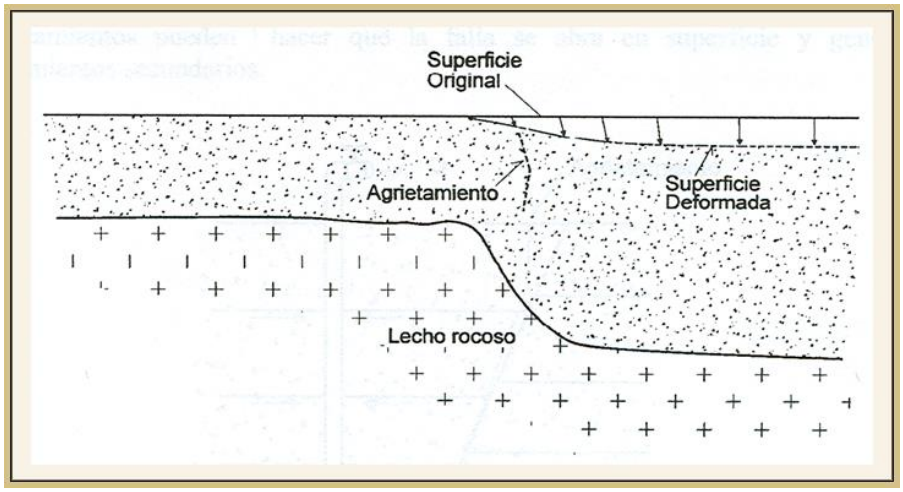


Figura 2.26. Agrietamiento asociado a un escalón sepultado (Jachens y Holzer, 1982).

2.9 Tipo IX Grietas atribuibles a eventos sísmicos.

Después de varios sismos, incluyendo el macrosismo del 19 de septiembre de 1985, se han observado algunas grietas importantes en el suelo (Figura 2.27).

Figura 2.27. Grieta observada después del sismo de 1985.

Se ha podido concluir que, en general, se trata de una reactivación de discontinuidades preexistentes y en particular de grietas del tipo IV o V que habían sido sepultadas por trabajos de urbanización o de repavimentación.

En forma general, las grietas generadas por alguno de los mecanismos anteriores delimitan en planta grandes bloques de materiales superficiales. Estos bloques tienden a dislocarse durante eventos sísmicos lo que pone más en evidencia las grietas y acentúa sus escalones.

2.10 Tipo X Grietas en laderas en condiciones precarias de equilibrio.

En la cresta y en el talud de laderas naturales potencialmente inestables es común observar grietas (Figura 2.28). La infiltración de aguas en estas grietas puede contribuir a desestabilizar totalmente la ladera.

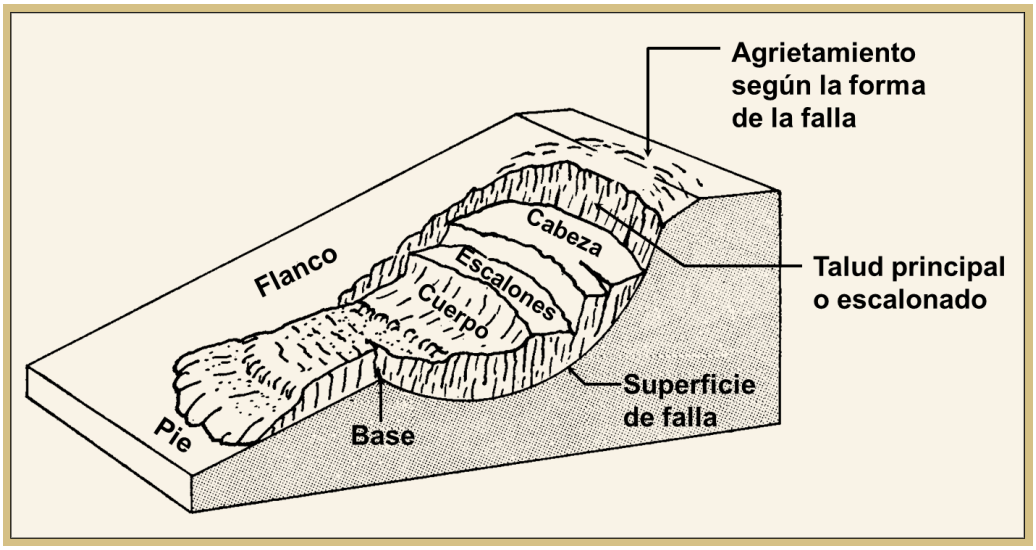


Figura 2.28. Grietas en laderas inestables.

2.11 Tipo XI Grietas asociadas a instalaciones y servicios públicos

Las instalaciones para servicios públicos y en particular las tuberías para distribución de agua potable presentan frecuentemente un comportamiento inadecuado que se acentúa en condiciones sísmicas (Ayala and Rourke, 1989)

La realización de trincheras para la instalación de tuberías o colectores y el relleno posterior de la trinchera es un proceso delicado, frecuentemente realizado sin el control de calidad requerido. Este proceso puede conducir a deformaciones importantes de la superficie del suelo y a su agrietamiento. En este caso, las grietas siguen el trazo de la instalación, lo que permite distinguirlas de las asociadas a otros mecanismos que llevan a trazos de grieta más aleatorios (Figura 2.29).

Por otra parte, la rotura de tuberías o la apertura de sus juntas provoca fugas que favorecen la formación de cavernas y tubos de socavación dentro del subsuelo a lo largo de las tuberías. Estos tubos y cavernas pueden colapsar durante un sismo (Figura 2.30).

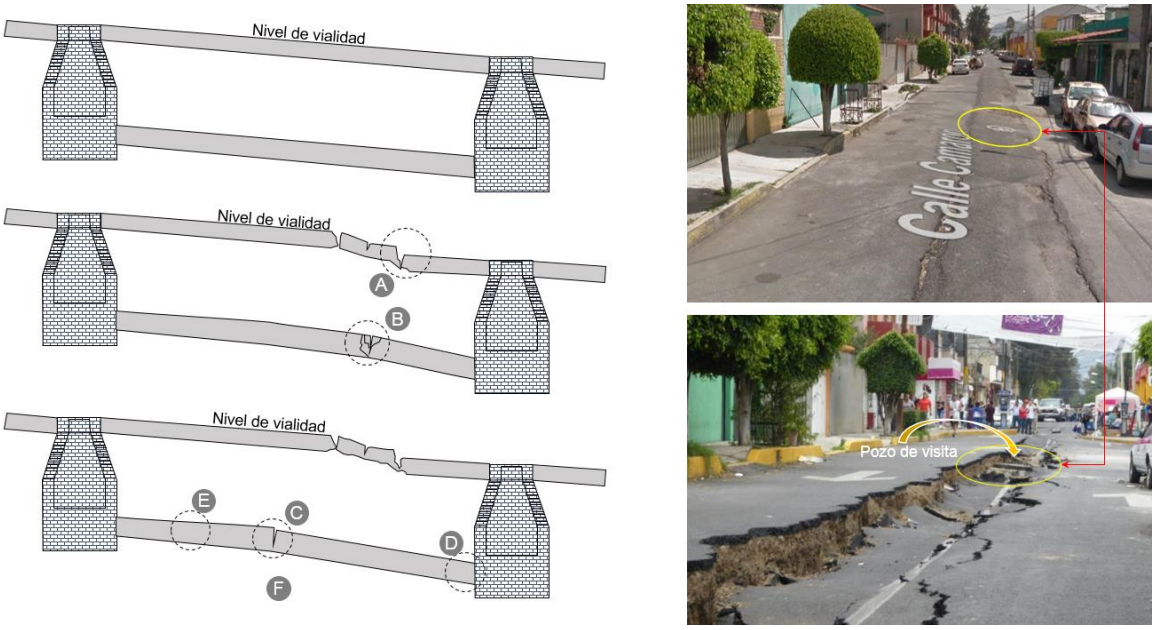


Figura 2.29. Grietas asociadas a instalaciones publicas.

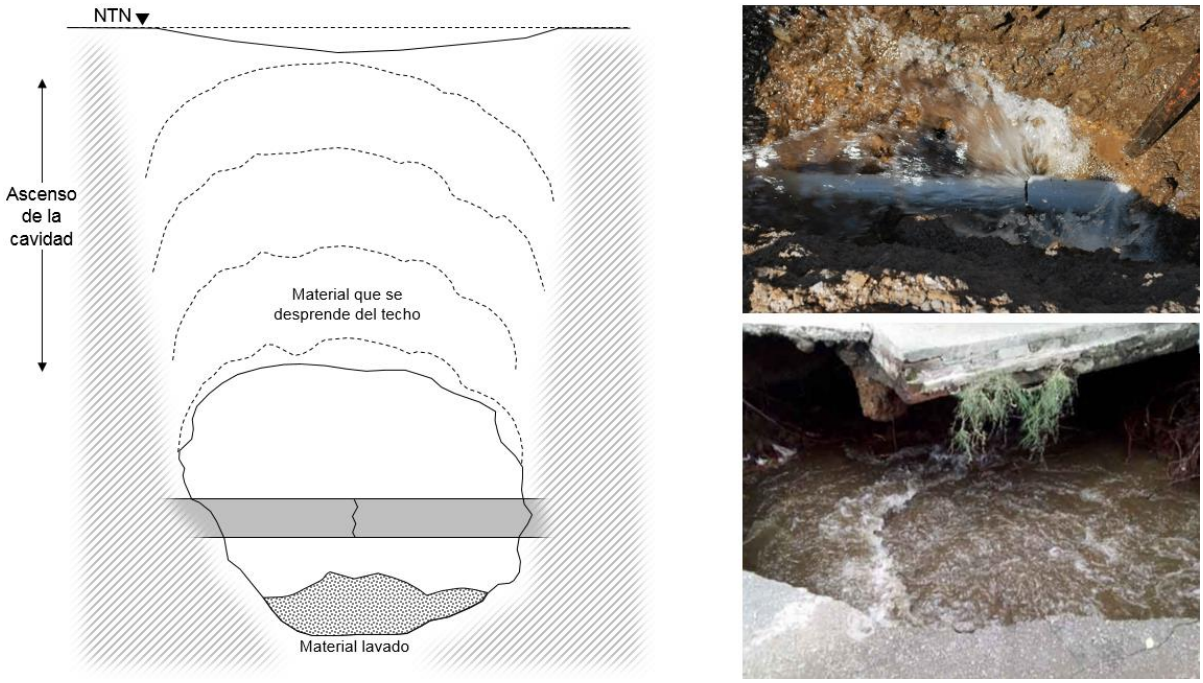


Figura 2.30. Proceso de socavación por fugas.

2.12 Tipo XII Grietas asociadas a obras o razgos físicos antiguos (canales, diques, cienegas)

Es de gran importancia la historia del uso del suelo para la definición de los mecanismos de agrietamiento. En el sur del valle de México, con vocación tradicionalmene agrícola, fue común la construcción de redes de canales que facilitaban el drenaje y el transporte. Estos canales que contenían azolves orgánicos muy compresibles fueron rellenados en forma no controlada en el momento de la urbanización de estas zonas.

El asentamiento no uniforme de materiales de relleno no controlados tiende a provocar deformaciones diferenciales y agrietamiento en la superficie del suelo (Figura 2.31).

Las cienegas antiguas con relleno deficiente pueden provocar en la misma forma la formación de depresiones superficiales o “grabens”.

Conviene subrayar que los diques antiguos (bordos, caminos) que hayan sido eliminados dejan el terreno en una condición de preconsolidación que genera en el subsuelo un “punto duro” que propicia los movimientos diferenciales y el agrietamiento en la superficie del suelo.

Figura 2.31. Grietas de tensión en chinampas de Xochimilco.

3. EVOLUCIÓN DE LAS GRIETAS.

Una vez abiertas, las grietas pueden azolvarse progresivamente (Figura 3.1; Murillo, 1991) o, por lo contrario, profundizarse y ensancharse a consecuencia de un proceso de erosión por el agua que naturalmente tiende a escurrir por estas discontinuidades (Figura 3.2).

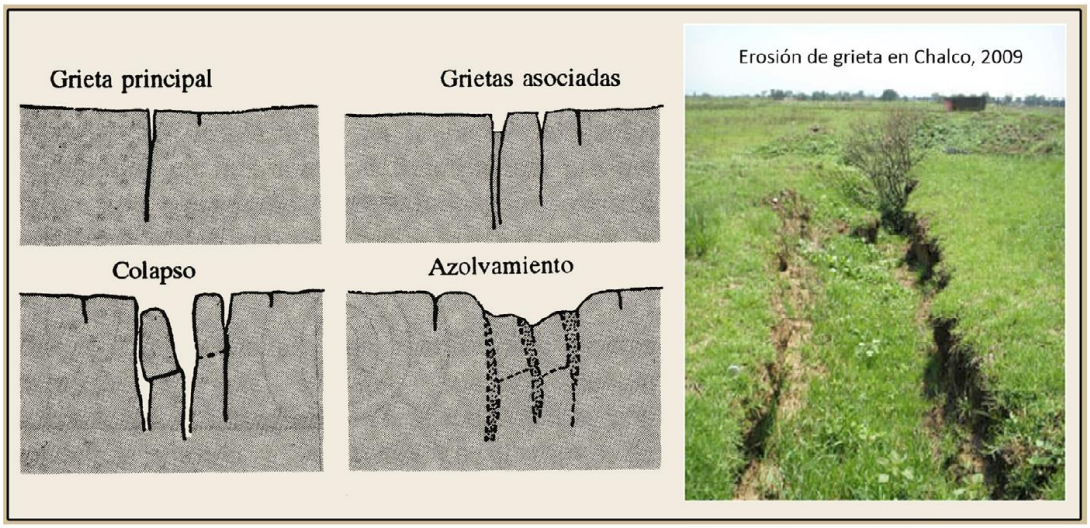


Figura 3.1. Evolución de grietas.

La Figura 3.2 muestra la importancia de estabilizar las grietas tan pronto aparezcan para evitar que tomen dimensiones no controlables.

Figura 3.2. Grieta en la ribera del ex lago de Chalco sometida a una intensa erosión (Fraccionamiento San Martín, junio 2009).

4. LEVANTAMIENTO DE GRIETAS

Los levantamientos de grietas consisten en trabajos de captura física en el campo de las características de esta discontinuidades. Existen múltiples técnicas de levantamiento desde las mas elementales hasta las muy automatizadas. Actualmente los sistemas como el Google Earth o similares permiten levantamientos y verificaciones en forma expedita.

Para realizar levantamientos de grietas, se ha podido recurrir también a técnicas de control Geodésico basadas en las tecnologías de los sistemas diferenciales de posicionamiento satelital GPS. La información de campo así recolectada puede ser procesada para su integración a una base de datos de datos respecto a la ubicación exacta de los sitios de agrietamiento y ser incorporada a Sistemas de Información Geográfica (SIG) como los que se han desarrollado y puestos en operación en los últimos decenios en el II-UNAM. En el valle de México. el Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM ha podido realizar levantamentos en mas de 3800 sitios que incluyen la descripción de las características físicas y geométricas de las grietas (Figura 4.1).

En los Sistemas de Información Geográfica, ha sido posible integrar a través de los años un número considerable de capas de información que han permitido definir con mayor detalle y precisión el marco geográfico, histórico, físico y social del Valle de México y más recientemente del Valle Toluca en el Estado de México.

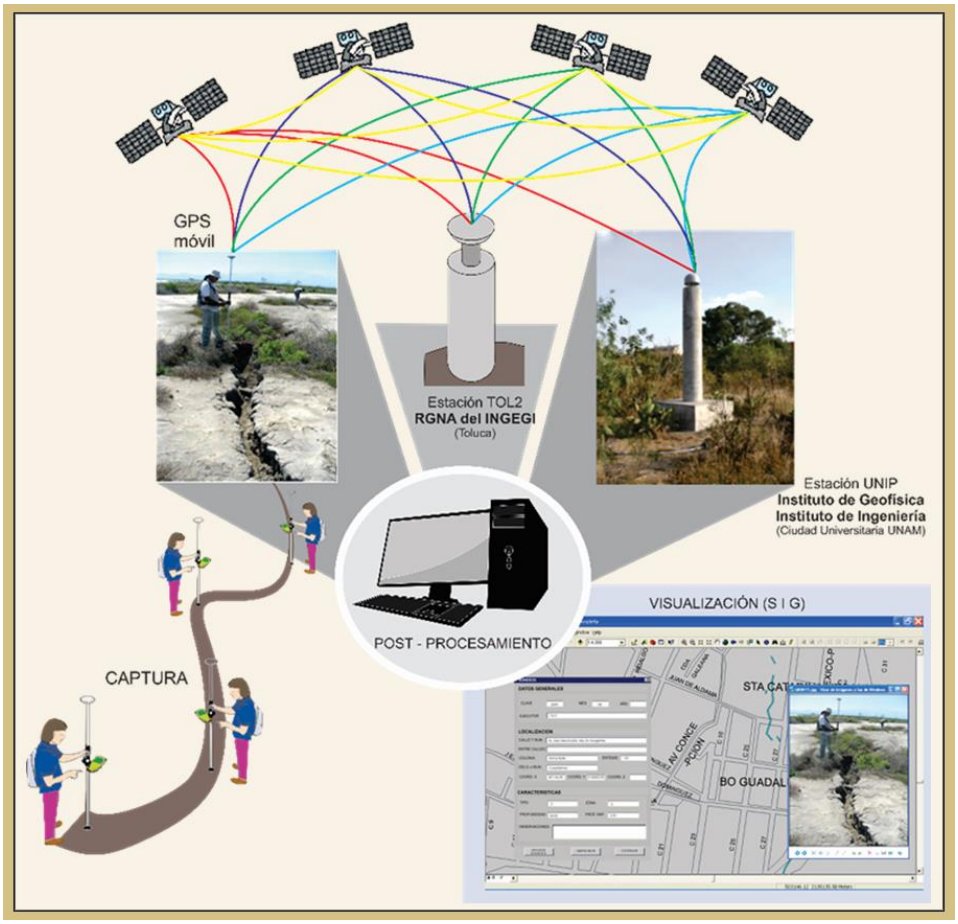


Figura 4.1. Captura y procesamiento de datos relativos a grietas con control geodésico e integración a un sistema de información espacial.

Para el seguimiento del comportamiento de grietas y de su evolución después de eventos sísmicos, ha resultado de gran utilidad el establecimiento de un banco fotográfico que se actualiza periódicamente (Figura 4.2).

Figura 4.2. Extracto del banco fotográfico de grietas del II-UNAM.

5. TÉCNICAS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Adremás de los levantamientos directos de grietas, se ha considerado potencialmente útil caracterizar el subsuelo en el que se presenta mediante diferentes técnicas. Una excelente revisión de los métodos de exploración del subsuelo actualmente disponibles ha sido presentada por Santoyo (2010)

5.1 Exploración geotécnica directa

La exploración mediante técnicas directas usuales en Geotecnia es evidentemente la forma más objetiva de caracterizar la litografía y definir las propiedades índice y mecánicas del subsuelo. Las técnicas empleadas pueden ir desde las mas sencillas como los pozos a cielo abierto hasta los sondeos profundos con recuperación de muestras inalteradas para su análisis y ensaye en el laboratorio.

En los últimos decenios, ha tenido un gran auge la determinación de las propiedades geotécnias del suelo mediante pruebas de campo con dispositivos como el cono eléctrico, el presiómetro, el dilatómetro, la veleta, el ficómetro, etc. Estas técnicas, cuyo campo de aplicación se encuentra definido en las Normas Técnicas para diseño y Construcción de

cimentaciones en la CDMX (NTDCC 2017), presentan muchas ventajas pero tienen el inconveniente de que se realizan sin obtener muestras que permitan observar y clasificar directamente el suelo.

5.2 Uso de métodos indirectos

Los métodos indirectos se apoyan generalemente en la geofísica. Pueden consistir en la determinación del periodo natural del terreno mediante medición de las vibraciones ambientales (Lermo *et al*., 2010; Ovando *et al.,* 2012), en sondeos eléctricos verticales (SEV) para la determinación de los contrastes de resitividad dentro del suelo, o en mediciones gravimétricas, Pueden también emplearse otras técnicas como el SPAC y el Georadar.

Conviene subrayar que estas técnicas pueden constituir un complemento útil a las exploraciones directas (por ejemplo para fines de extrapolación de exploraciones directas) pero nunca susituirse a ellas. La experiencia en la ciudad de México en el uso de estas técnicas para la detección de cavernas y otras anomalías del suelo como las grietas puede calificarse en términos generales como decepcionante y frecuentemente como negativa. Curiosamente, a pesar de lo anterior, existe una tendencia por parte de las autoridades a dar a estas técnicas un papel preponderante en los estudios de agrietamiento que no pueden asumir. Es particularmente objetable el uso del concepto de "*grieta inferida mediante métodos geofísicos*" sin verificación por métodos directos que, en muchos casos, causa una inquietud injustificada entre la población.

6. INSTRUMENTACIÓN

Para el seguimiento del comportamiento de grietas particulares puede recurrirse a la instrumentación. El dispositivo de la Figura 6.1 permite medir la variación del ancho de una grieta

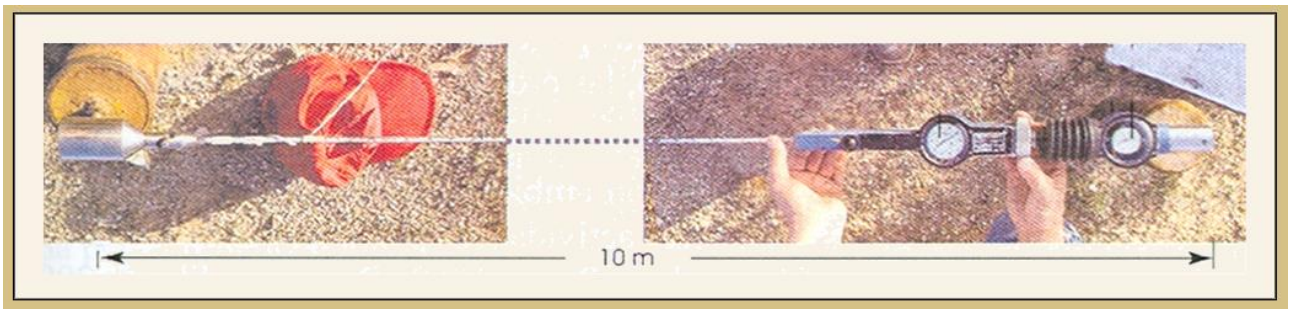


Figura 6.1. Extensómetro para medición de desplazamientos horizontales (Pacheco, 2008).

Para el seguimiento del desnivel existente entre los labios de una grieta pueden emplearse métodos topográficos o estaciones de monitoreo continuo como las estaciones GNSS.

Una estación de monitoreo continuo GNSS está constituida por un receptor y una antena, ambos de calidad geodésica, la antena es instalada permanentemente sobre un monumento. Dicha estación recopila datos GPS las 24 horas del día, todos los días del año (Figura 6.2).

Figura 6.2. Estaciones de Monitoreo Continuo GNSS instaladas por el Instituto de Ingeniería UNAM.

Este sistema es conocido sobre todo por sus aplicaciones en las Ciencias de la Tierra, principalmente en el área de la Geodesia. También se considera como una posibilidad prometedora para aplicaciones en la Geotecnia y en particular para evaluar la subsidencia de los suelos causada por la extracción de agua o por la construcción de túneles.

La antena GNSS se coloca sobre un monumento geodésico, que consiste en un monumento de barras de acero inoxidable de aprox. 1” de diámetro. Las barras se colocan formando un quad-pod (una vertical y tres patas diagonales), con una altura de entre 1 a 2 metros sobre la superficie del suelo, hincadas aproximadamente de 3 a 4 metros en el subsuelo. Las tres patas que componen el trípode se encuentran soldadas a la parte superior de una barra vertical con el propósito de garantizar la estabilidad de la antena. Para el montaje de la antena se hace uso de un adaptador en rosca y una base nivelante tipo SCIGN, mismos que van soldados a la parte superior del monumento (Figura 6.3).

Figura 6.3 Estación de monitoreo continuo GNSS en zona de agrietamiento.

Por otra parte, puede resutltar de gran utilidad para los levantamientos de grietas en el campo un dispositivo teledirigido (Dron) como el presentado en la figura 6.4 equipado con cámara.

Figura 6.4. Dron “Inspire 2 Pro”

7. ACTUALIZACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DEL AGRIETAMIENTO

Prestando especial atención al mecanismo de formación de grietas en las zonas de transición abrupta, el II-UNAM ha señalado como zonas con alto potencial de agrietamiento algunas áreas como las que se indican con color rojizo en la imágen de la Figura 7.1.

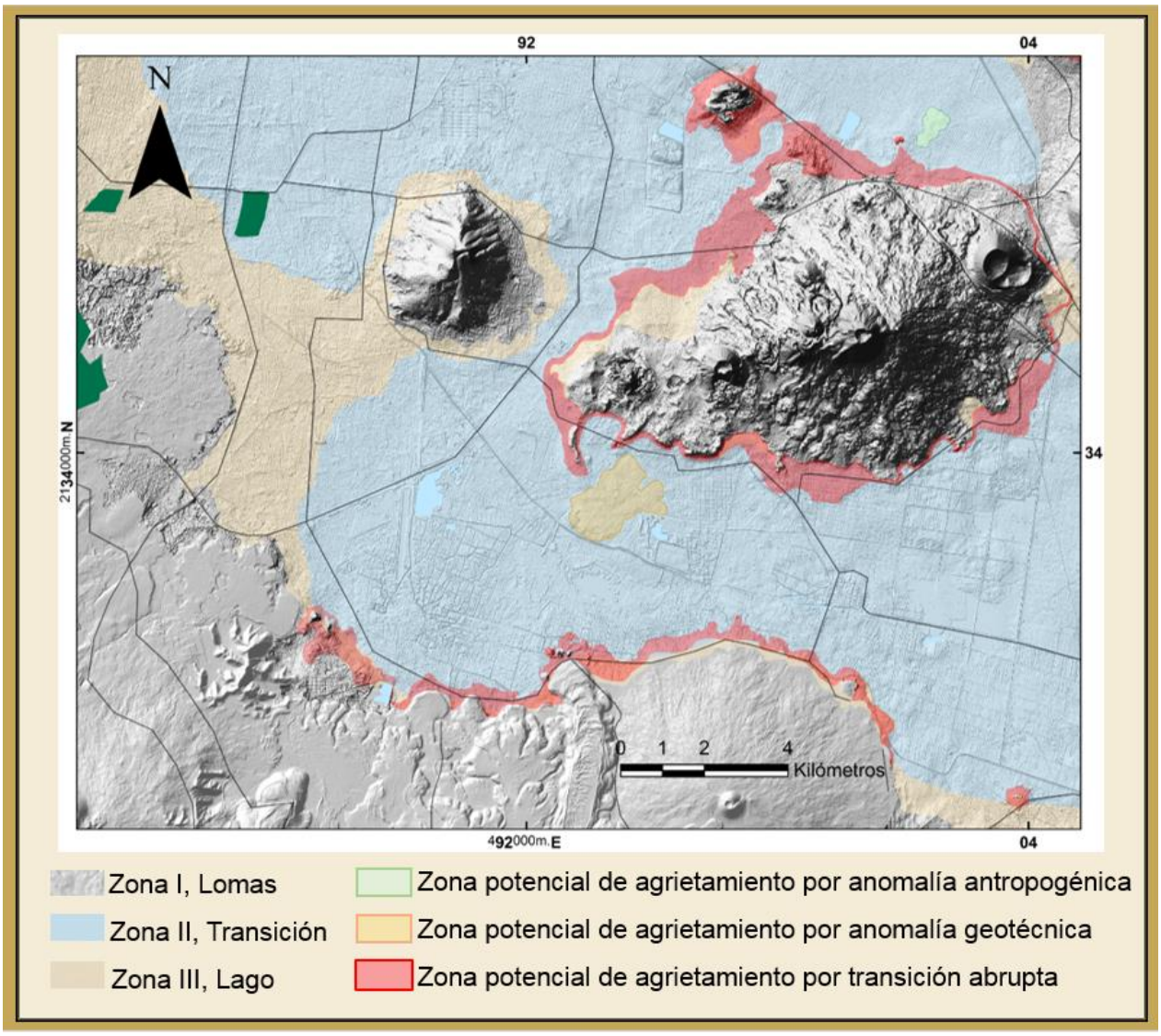


Figura 7.1. Zonas de agrietamiento potencial al pie de las Sierras de Santa Catarina y Chichinautzin.

El II-UNAM considera que un mapa de zonas susceptibles al agrietamiento es preferible a un mapa de grietas. En efecto, todas las grietas no presentan el mismo grado de peligrosidad para las construcciones. Muchas son inocuas. Por otra parte, muchas grietas desparecen temporalmente por trabajos de reparación. Además, por su baja precisión, un mapa de grietas podría dar origen a reclamos por parte de dueños de predios que hayan sido señalados incorrectamente como agrietados con la consecuente afectación del valor comercial de sus terrenos.

En este contexto, otros autores han elaborado y publicado mapas de grietas que generan gran incertidumbre sobre la existencia y ubicación de las mismas, además de emplear el concepto de “grietas inferidas”, que como ya se indicó es cuestionable. Estos mapas, lejos de significar un avance en el conocimiento, pueden provocar inquietudes injustificadas y controversias entre quienes los consulten (Figura 7.2).

Mapa 1 Mapa 2

Figura 7.2. Mapas de grietas publicados en diferentes sitios web.

8 TÉCNICAS DE MITIGACIÓN.

8.1 Control de grietas

Es posible, por lo menos para algunos mecanismos de fracturamiento, impedir la formación o la reaparición de grietas.

Grietas por fracturamiento hidráulico

Las grietas generadas por fracturamiento hidráulico pueden evitarse si se mantiene un buen drenaje en las áreas susceptibles a encharcamientos.

Por otra parte, debe reconocerse que las grietas se vuelven más peligrosas conforme se erosionan y ensanchan por efecto del intemperismo y en particular por la acción erosiva del agua y por lo tanto deben sellarse rápidamente para restablecer la continuidad del medio. Se recomienda comúnmente que la grieta se rellene con un material con propiedades mecánicas similares al material natural. Una mejor alternativa consiste en rellenar la grieta con material granular, por ejemplo, grava-arena limpia. Se establece así una zona sin resistencia a la tensión que puede evitar que vuelva a aparecer la grieta y permite controlar la erosión interna

en forma análoga a la que ha resultado efectiva con los materiales de filtro en presas de tierra y enrocamientos. Esta técnica ha sido empleada para controlar las grietas longitudinales que se han presentado en el canal Río de la Compañía por efecto de las variaciones del tirante de agua.

Caso exitoso de control de grietas por fracturamiento hidráulico

La grieta de Santa María Huexoculco en el municipio de Chalco constituye un ejemplo de control exitoso de grietas por fracturamiento hidráulico en una zona de encharcamientos donde se pudieron realizar observaciones *in situ* (Méndez *et al.,* 2014; Figuras 8.1 y 8.2).

El 9 de julio de 2011, se presentó una intensa lluvia que generó un encharcamiento con un tirante de ochenta centímetros en un área considerable. La figura 8.2 muestra el aspecto del sitio después de un evento meteorológico que desencadenó el mecanismo de agrietamiento del suelo por fracturamiento hidráulico.

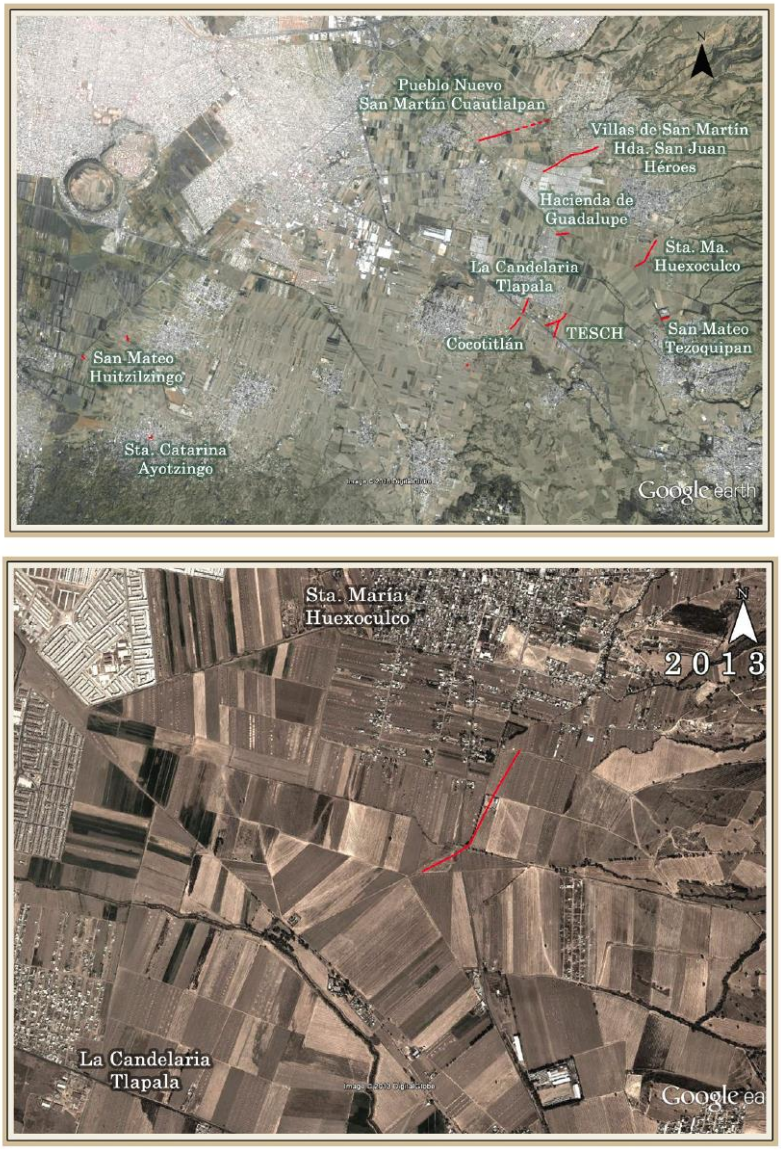


Figura 8.1. Grietas en Santa María Huexoculco.

Figura 8.2. Agrietamiento inducido por una lluvia intensa.

Al año siguiente, el 19 de marzo de 2012, otra intensa lluvia originó nuevamente el mismo mecanismo, a pesar de que la grieta había sido rellenada con material del sitio (parte izquierda de la Figura 8.3). En esta ocasión, en los siguientes días fue rellenada con grava y arena (parte derecha de la Figura 8.3).

Figura 8.3. Relleno de una grieta con grava-arena.

Durante los recorridos de campo de 2013, se pudo comprobar que la medida tomada en marzo de 2012 había resultado eficiente (Figura 8.4).

Figura 8.4. Buen comportamiento de una grieta estabilizada con arena y grava.

Se ha podido demostrar por otra parte que la existencia de un simple terraplén con o sin refuerzo, o bien de una cimentación con sólida liga estructural permite confinar el suelo, disminuir la magnitud de esfuerzos y provocar el desvío de este tipo de grietas hacia otras zonas (Figura 8..5)

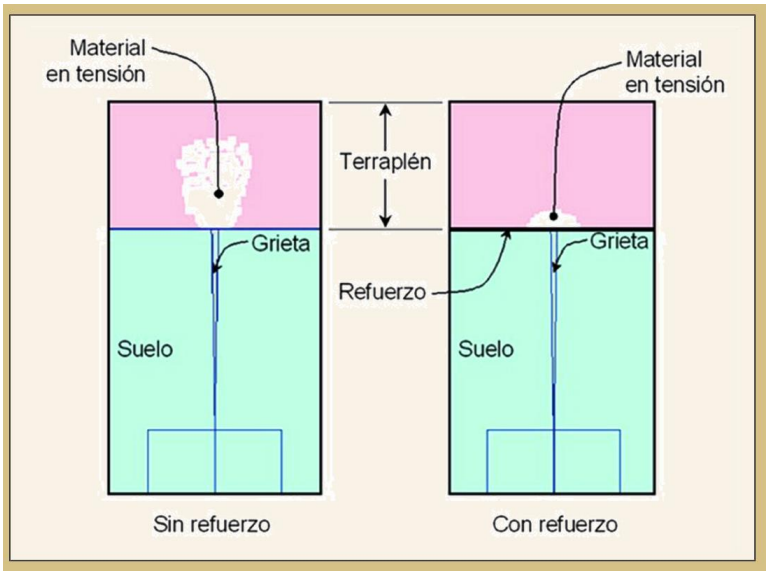


Figura 8.5. Confinamiento de una grieta con un terraplén.

Los refuerzos empleados en la base de los terraplenes construidos en zonas agrietadas deben ser cuidadosamente elegidos, considerando que las fuerzas de tensión que deben tomar pueden ser considerables (Auvinet, 1991; Figura 8.6).

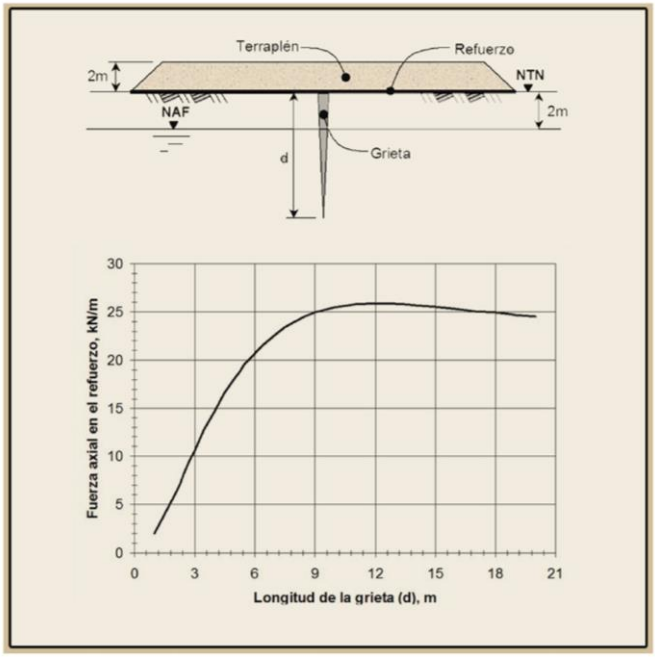


Figura 8.6. Esfuerzos axiales en una malla de refuerzo debidos a la presencia de una grieta.

Grietas en zonas de transición abrupta

Las grietas provocadas por la consolidación regional en las zonas de transición abrupta entre suelos firmes y suelos blandos son más difíciles de controlar.

Como ya se mencionó, las grietas se vuelven más peligrosas conforme se erosionan y ensanchan, por lo cual deben sellarse rápidamente para restablecer la continuidad del medio. Aún después de su tratamiento, las grietas siguen evolucionando mientras persista el mecanismo que las originó. Por lo tanto es necesario que exista un seguimiento continuo que permita evaluar su evolución geométrica (ancho, escalón, etc.).

8.2 Mitigación del efecto de las grietas en la pavimentación

Es posible mitigar las deformaciones superficiales de la pavimentación por efecto de las grietas con escalón.

La Figura. 8.7 muestra un pavimento a base de adoquines que absorbe en cierta medida las deformaciones superficiales inducidas por las grietas y solamente requiere un mantenimiento periódico sencillo y económico.

Figura 8.7. Pavimento semi-permeable a base de adoquines para zonas de agrietamiento.

Para reparar en forma duradera una *grieta* con escalón como la de la Figura 8.8, es posible recurrir a una caja disipadora de deformaciones unitarias como la de la Figura 8.9.

Figura 8.8. Escalón en pavimento de una calle

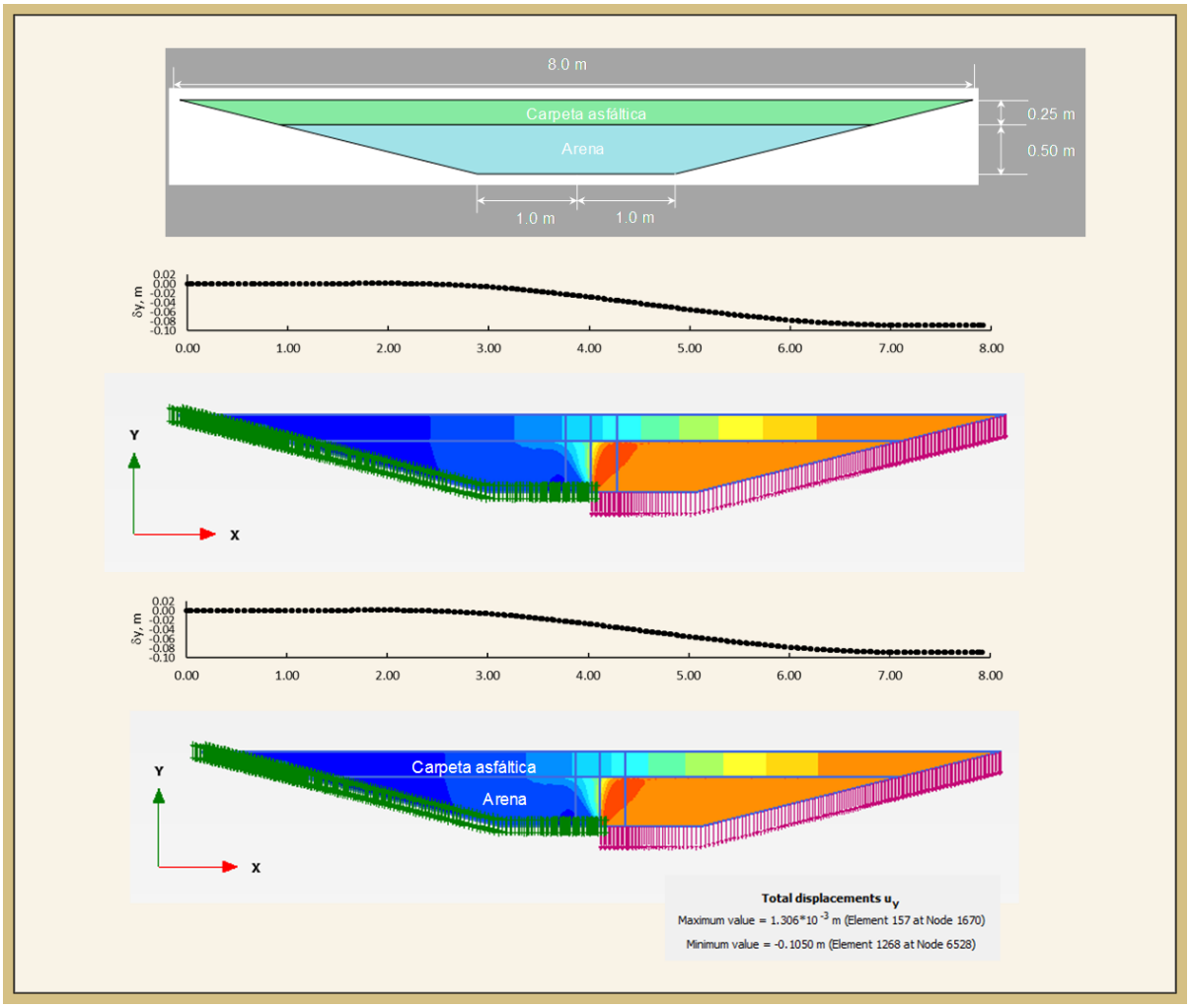


Figura 8.9. Caja de arena dispadora de deformaciones unitarias.

Esta caja puede excavarse con retroexcavadora sobre la traza de la grieta y rellenarse con arena antes de colocar el pavimento de mezcla asfáltica o de adoquines. Un eventual desplazamiento vertical en la grieta se manifiesta en un tramo amplio con pendiente relativamente suave en la superficie (Figura 8.9).

Se ha propuesto recurrir a inyecciones como una forma de “mejorar el terreno”. El empleo de esta técnica no es recomendable. En efecto, los suelos superficiales afectados por el agrietamiento presentan generalmente buenas propiedades mecánicas. El problema es que ningún suelo, aún mejorado por inyección, puede resistir las solicitaciones extremas asociadas al hundimiento regional que dan lugar al agrietamiento.

8.3 Mitigación del efecto de grietas en tuberías

Las tuberías instaladas en las difíciles condiciones que prevalecen en las zonas de agrietamiento deben ser objeto de medidas precautorias especiales. Es una política adecuada sustituir las tuberías rígidas por tubería flexibles (Figura 8.10).

Figura 8.10. Sustitución de tuberías rígidas por tubería flexible.

En caso de zonas en las que se esperan grandes desplazamientos, es posible asimismo recurrir a conexionces flexibles (Figura 8.11).

Figura 8.11. Conexión flexible (Lago Nabor Carrillo, Texcoco)

En el cruce de una tubería con grietas importantes, es aplicable la solución de las cajas de arena para el desplante de las tuberías, con objeto de evitar el efecto directo de las grietas (Figura 8.12). Además, para evitar socavación, los materiales de relleno de las trincheras deben ser objeto de un riguroso control de calidad y de compactación. Es preferible recurrir a materiales de relleno que sean autoestables ante fuerzas de filtración (Kezdi, 1976). Si no se dispone de material de este tipo, es necesario instalar filtros transversales a la tubería que retengan los suelos finos arrastrados por el agua en la trinchera en caso de rotura. La granulometría de los materiales de estos filtros debe cumplir con las condiciones usuales de Terzaghi. Como alternativa, es posible usar grava envuelta en geosintético.

Figura 8.12. Instalación de una tubería en trinchera.

8.4 Mitigación del efecto de grietas en edificaciones

Recimentación de edificaciones afectadas.

La recimentación de estructuras inclinadas por efecto del agrietamiento solamente es posible en el caso de construcciones solidamente estructuradas o reforzadas posteriormente que puedan soportar las solicitaciones que se presentan durante el trabajo de recimentación.

Existe un número limitado de experiencias de renivelación de edificios por subexcavación en la zona de estudio (FES Zaragoza, Iztapalapa). Esta técnica, que fue empleada para la corrección geométrica de la Catedral Metropolitana, es delicada y generalmente no es económicamente viable para casas unifamiliares.

Edificaciones nuevas.

En forma general debe evitarse la construcción de edificaciones nuevas en predios afectados por grietas con escalón importante (más de 10cm).

Si se opta por construir, es necesario tomar en cuenta la presencia de grietas en el diseño de las construcciones e instalaciones para evitar o por lo menos disminuir el daño que puedan sufrir. En el caso de las viviendas unifamiliares, la colocación de juntas en muros y bardas (Figura 8.13), ha sido en algunos casos suficiente para reducir o mitigar a un nivel tolerable de coexistencia, las molestias y daños a las estructuras provocados por las grietas.

Figura 8.13. Control de daños en una barda afectada por una grieta mediante junta.

Se ha propuesto (Esteva, 2018) que las construcciones nuevas en la zona se hagan adoptando la técnica reciente consistente en usar contenedores reciclados. Este tipo de estructura es poco sensible a asentamientos diferenciales y puede ser equipado de sistemas que permitan su renivelación periódica mediante gatos hidráulicos (Figura 8.14).

Figura 8.14. Edificación a base de contenedores reciclados sobre una placa con nivel ajustable mediante gatos hidráulicos

Para construcciones importantes, es también posible considerar el uso de pilotes de control cortos (Figura 8.15).

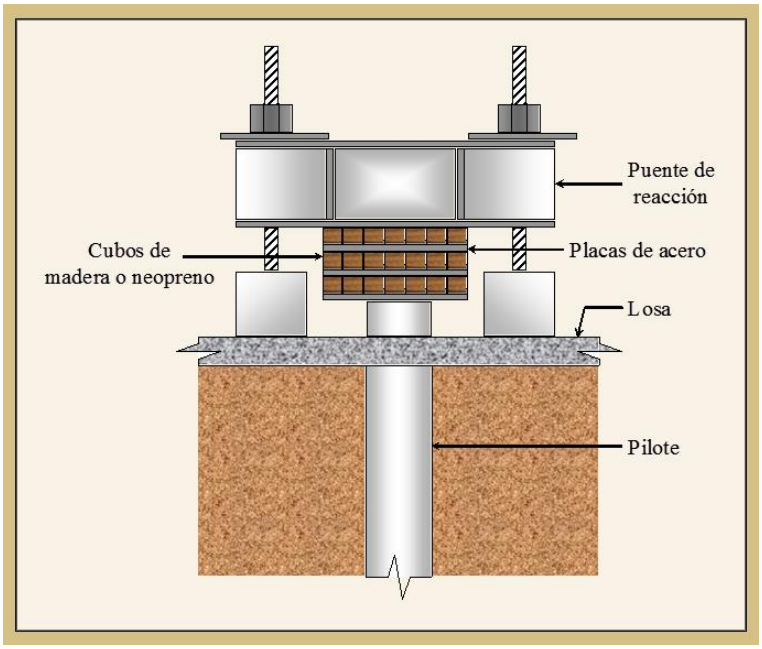


Figura 8.15. Pilote de control.

Estos pilotes permiten en principio renivelar en forma periódica las construcciones afectadas por asentamienots diferenciales causados por el agrietamiento. Esta solución ha sido adoptada en el caso de 29 escuelas en Iztapalapa (Figura 8.16). Requiere la construcción de un cajón rígido donde se puedan instalar los controles. Requiere por otra parte una inversión inicial alta y un mantenimiento periódico costoso.

Figura 8.16. Escuela Isidro Favela, en el ex Deportivo Cascada, Iztapalapa, construida sobre cajón con pilotes de control.

9. CONCLUSIONES

El problema del agrietamiento del suelo en distintas áreas urbanas de la república mexicana está tomando cada vez más importancia; sin embargo, al mismo tiempo avanza el conocimiento teórico y práctico del fenómeno.

a) La problemática de las grietas en el suelo en el Valle de México es antigua y remonta por lo menos a los años 1970. Constituye un problema serio que afecta la seguridad y el valor económico de las propiedades afectadas. Existen bases de datos como la del II-UNAM que permiten seguir su evolución.
b) Las arcillas lacustres se encuentran en proceso de consolidación y presentan una alta velocidad de subsidencia (del orden de 18cm/año) debido al bombeo de agua desde los acuiferos profundos del subsuelo de la ciudad, para abastecimiento de la población.
c) El agrietamiento se debe principalmente a la rotura de los estratos superficiales rígidos que descansan sobre las arcillas lacustres en la periferia de la sierra de Santa Catarina y al pie de la sierra de Chichinautzin.

d) Los sismos de septiembre de 2017 contribuyeron a poner en evidencia las grietas ya existentes aumentando el escalón que suelen presentar.
e) Numerosos daños superficiales están asociados a la existencia de instalaciones en el subsuelo con comportamiento inadecuado y a otras anomalías del subsuelo.
f) El riesgo planteado por las grietas es muy inferior al asociado al colapso estructural de edificaciones que se ha presentado en varias alcaldías de la CDMX donde la amplificación sísmica ha conducido en varias ocasiones a importantes pérdidas de vidas humanas. La evolución de las grietas es en efecto generalmente muy lenta y permite tomar oportunamente medidas de seguridad.
g) El tipo de construcción precaria existente en la zona resulta vulnerable a los efectos de las grietas y de los sismos. El colapso de bardas y de oquedades formadas por la socavación del suelo por el agua alrededor de tuberías dañadas constituye un peligro que puede ser mayor que el de las grietas.
h) El agrietamiento del suelo es un fenómeno dinámico que requiere de un monitoreo constante. Por lo tanto, los mapas de grietas deben ser actualizados y validados constantemente. Sería deseable llegar a un consenso entre los diversos investigadores del tema, con la finalidad de reducir al máximo la incertidumbre que aún se tiene de la existencia y ubicación de las grietas.
i) Los avances en el conocimiento de generación y propagación de las grietas en el suelo han permitido desarrollar algunos métodos de control, mitigación y convivencia con las grietas.
j) De los esfuerzos que se sigan invirtiendo en este avance dependerá que se encuentren soluciones satisfactorias para la mitigación de esta fuente de riesgo para la sociedad.

REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar-Pérez, L.A., Ortega-Guerrero, A., Lugo-Hubp, J. y Ortiz-Zamora, D., 2006, "*Análisis numérico acoplado de los desplazamientos verticales y generación de fracturas por extracción de agua subterránea en las proximidades de la Ciudad de México*", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 23, No. 3, 2006, pp. 247-261.
2. Aguilar, R., 2009, "*Deformaciones inducidas en el subsuelo de la ciudad de México por hundimiento regional*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.77-88. Ciudad de México, México.
3. Aguilar Ortega, R., 2001, "*Zonificación geotécnica del Cerro de la Estrella y sus alrededores*", Tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.
4. Alberro J. y Hernández R., 1990. "*Génesis de las grietas de tensión en el valle de México". En el volumen El subsuelo de la cuenca del valle de México y su relación con la Ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo*", editado por la SMMS (SMIG); pp. 95-106.
5. Alberro J. y Hernández, R., 1991, "*Evaporación y agrietamiento*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.13-19, CDMX
6. ASCE, 1994, "*Fracture mechanics applied to Geotechnical Engineering*", Geotechnical Special Publication No 43. New York.
7. Auvinet, G., 1981, "*Agrietamiento de las arcillas del valle de México*", Informe técnico del Instituto de Ingenierías, UNAM, a la Comisión del Lago de Texcoco, México, D.F.
8. Auvinet, G. y Arias, A., 1991, "*Propagación de grietas*", Memoria, Simposio sobre "Agrietamiento del suelo", SMMS (SMIG), pp. 21-31, agosto, CDMX, México.
9. Auvinet, G., 1993, "*Cours de mécanique des milieux continus*", Notes de cours, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France.
10. Auvinet, A, 2002, "*Uncertainty in Geotechnical Engineering*" Sixteenth Nabor Carrillo Lecture. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos.
11. Auvinet, G., 2008, "*Fracturamiento de suelos, estado del arte*", Volumen especial "Conferencias temáticas: Avances recientes", Memoria, XXIV[a] Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, México, pp. 299-318.
12. Auvinet, G., 2009, "*Land subsidence in Mexico City*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence; the cases of Mexico City, Bangkok and other large cities", pp. 3-11. CDMX, México.
13. Auvinet, G., 2010, "*Soil fracturing induced by land subsidence*", in "Land subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development", IAHS Publication 339, ISSN 0144-7815: pp. 20-26.
14. Auvinet, G., Méndez, E. and Lermo, J., 2010, "*Advances in geotechnical characterization of soil fracturing in Mexico City basin*" in "Land subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development", IAHS Publication 339, ISSN 0144-7815: pp. 33-38.

15. Auvinet, G., Méndez, E. and Juárez, M., 2013, "*Soil fracturing induced by land subsidence in Mexico City*", Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, France.

16. Auvinet, G., Méndez Sánchez, E. and Juárez Camarena, M., 2015a. "*Evaluation of regional subsidence and soil fracturing in Mexico City Valley*", Proceedings, Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, Argentina.

17. Auvinet, G., Méndez Sánchez, E. and Juárez Camarena M., 2015b, "*New information on regional subsidence and soil fracturing in Mexico City Valley*", Proc. IAHS, 92, 1-6.

18. Auvinet, G., Méndez Sánchez E. y Juárez Camarena M., 2016, "*Hundimiento regional en el valle de México*", Revista H2O-Gestión del Agua, Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), Núm. 9, Enero-marzo 2016, pp. 16-21, Ciudad de México, México.

19. Auvinet, G., Méndez, E. y Juárez, M., 2017, "*El subsuelo de la Ciudad de México, Vol.* 3", Complemento a la Tercera Edición del libro de R.J. Marsal y M. Mazari: Volumen adicional (Vol.3) sobre avances en el conocimiento del subsuelo 1959-2016, publicado con motivo del 60 aniversario de la fundación del Instituto de Ingeniería, UNAM. ISBN Vol. 3 978-607-02-8198.

20. Auvinet, G., Juárez Camarena, M., Vázquez Guillen, F., 2018, "*Análisis de riesgo y confiabilidad en Geotecnia*", Capítulo B.6.2; Sección B. Geotecnia, Tema 6. Control de calidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. Comisión Federal de Electricidad.

21. Auvinet, G. *et al*., 2018a, "*Vulnerabilidad de edificaciones con base a la caracterización del agrietamiento del suelo en las alcaldías Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco y su impacto en las edificaciones de dichas demarcaciones*", Informe final, elaborado por el II-UNAM para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal, CDMX, México.

22. Auvinet, G. *et al.,* 2018b, "*Acompañamiento para la evaluación y remediación de daños en las construcciones, pavimentos e instalaciones municipales en las delegaciones de Iztapalapa, Tláhuac y Xochimilco por agrietamiento del subsuelo*", Informe final, elaborado por el II-UNAM para la Secretaría de Obras del gobierno de la Ciudad de México (SOBSE), CDMX, México.

23. Auvinet, G, y Sánchez, J, 2019, "*Mitigación de deformaciones inducidas por las grietas del suelo de la ciudad de México*", Gaceta del Instituto de Ingeniería, UNAM, No 138, CDMX, México.

24. Auvinet, G., 2019, "*Geotechnical engineering in spatially variable soft soils The case of Mexico City*" (9th Arthur Casagrande Lecture), Proceedings XVIth Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cancún, Mexico, November 18th.

25. Auvinet G., Sánchez-Guzmán J. y Pineda A., 2019, "*Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo*", Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XX, Núm. 4, octubre-diciembre, ISSN 2594-0732 FI-UNAM.

26. Ayala G. and Rourke, M.J., 1989, "*Effects of the 1985 Michoacan Earthquake on water systems and other buried lifelines in Mexico*", Technical Report NCEER-89-0009, National Center for Earthquake Engineering Research, University of New York at Buffalo, USA.

27. Ayala, G., 2018, "*Resiliencia sísmica de los sistemas de agua de la ciudad de México*", Conferencia dictada en la Facultad de Estudios Superiores Acatlán, UNAM, Sociedad mexicana de Ingeniería Sísmica, CDMX (Presentación Power Point)

28. Barranco Eyssautier, A., 2016, "*Caracterización geotécnica del subsuelo de la zona sur del valle de México con aplicación a una obra de infraestructura*", tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

29. Benham, P.P. y Crawford, R.J., 1987, "*Mechanics of Engineering Materials*", Longman Scientific & Technical, USA.

30. Barenblatt, G.I., 1962, "*The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture*", Advances in Applied Mechanics, vol. 7, pp. 55–129.

31. Biringen Emre, y Davie John (2010). *Suspension P-S Logging for Geophysical Investigation of Deep Soil and Bedrock*. Advances in Analysis, Modeling & Design

32. Cabral Cano, E., Cifuentes-Nava, O. Díaz-Molina, E. Hernández-Quintero, A. Hurtado-Díaz, 2004. "*Investigación del Proceso de Subsidencia, Fracturas y las Estructuras del Subsuelo en Diversas Líneas del Metro, con el Objeto de Identificar y Caracterizar Cavidades, Fallas, Fracturas, y Zonas de Hundimiento y Deformación que Originan la Presencia de Asentamientos Diferenciales, Problemas de Estabilidad Estructural y Deterioran la Seguridad en la Operación del Material Rodante*". Reporte Interno Reservado para la Gerencia de Proyectos del Sistema de Transporte Colectivo, METRO. Gobierno de la Ciudad de México.

33. Cabral-Cano, E., Dixon, T. H., Miralles-Wilhelm, F., Díaz-Molina, O., Sánchez-Zamora, O, Molina, O.D. and Carande, R. E., 2008. "*Space geodetic imaging of rapid ground subsidence in Mexico City*", Geological Society of America Bulletin; November/December 2008; Vol. 120; No. 11/12; p. 1556–1566; doi: 10.1130/B26001.1.

34. Cabral-Cano, E., Osmanoglu, B. Dixon, T. Wdowinski, S., Demets, C., Cigna, F. and Díaz-Molina, O., 2010. "*Subsidence and fault hazard maps using PSI and permanent GPS networks in central Mexico*", Proceedings of EISOLS 2010, 17–22 October 2010. IAHS Publ. 339, Querétaro, México.

35. Cabral-Cano, E., Díaz Molina, O., y Delgado Granados, H., 2011. "*Subsidencia y sus mapas de peligro: Un ejemplo en el área nororiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México*". Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana.

36. Calderhead, A.I., Therrien, R., Rivera, A., Martel, R. and Garfias, J., 2011. "*Simulating pumping-induced regional land subsidence with the use of InSAR and field data in the Toluca Valley, Mexico*", Advances in Water Resources, 34, pp. 83–97.

37. Calderhead, A.I., Martel, R., Garfias, J., Rivera, A. and Therrien, R., 2012, "*Sustainable Management for Minimizing Land Subsidence of an Over-Pumped Volcanic Aquifer System*": Tools for Policy Design, Water Resources Management, 26:1847–1864. DOI 10.1007/s11269-012-9990-7.

38. Carrillo, N., 1948, "*Influence of Artesian Wells on the Sinking of Mexico City*", Proceedings, Second International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp. 156-159, Rotterdam, Netherlands.

39. Carreón, D.C., Cerca L.M. y Ochoa, H., 2009, "*Estudios de propagación de fracturamiento por subsidencia en dos áreas urbanas geológicamente contrastantes de México: las ciudades de México y Querétaro*". Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.49-58. CDMX, México.

40. Cerca, M., Carreón-Freyre, D., López-Quiroz, P., Ovando-Shelley, E., Doin, M. P., Gutiérrez-Calderón, R., González-Hernández, M., Jiménez-Sánchez, A. and Blancas-Domínguez, D., 2012. "*Engineering Geology Approach to the effects of land subsidence in Mexico City"*. In Aranda-Gómez, J. J., Tolson G., and Molina-Garza. R. S. eds., The Southern Cordillera and Beyond: Geological Society of America Field Guide 25, p 115-134, doi: 10.1130/2012.0025 (06).

41. Chaosheng Tang, Bin Shi, Chun Li, Lizgheng Zhao, Baojun Wang, 2008, "*Influencing factors of geometrical structure of surface shrinkage cracks in clayey soils*", Engineering Geology 101, pp. 204-217.

42. Chaussard, E., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. and Amelung, F., 2014. "*Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series*", Remote Sensing of Environment 140, pp. 94–106.

43. Covarrubias, S.W., "*Cracking of Earth and Rockfill dams*", Harvard Soil mechanics Series, 82.

44. Deutsch, C. y Journel, A. 1992, GSLIB Geostatistical software library and user's guide: Oxford University Press, New York, Pp 340.

45. Der Kiureghian, A., 1996, "*A coherency model for spatially varying ground motions*", Earthquake Engineering ans Structural Dynamics; 25 pp. 99-111.

46. Dineva, P.S. y Manolis, G.D., 2001, "*Scattering of seismic waves by cracks in multi-layered geological regions, I. Mechanical model*", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 21, pp. 615-625.

47. Dugdale, D. S., 1960, "*Yielding of steel sheets containing slits*", Journal of the Mechanics and Physics of Solids, vol. 8, no. 2, pp. 100–104.

48. Enbeita Basterrechea, I., 2006, "*Inestabilidades térmicas. Células de Bénard*", Trabajo de fin de grado, Universidad del País Vasco, España.

49. Eslava, R. (2017). Exploración geotécnica realizada. Información personal. Diciembre.

50. Espinosa Villalpando Luis Ángel, 2011, "*Mediciones de microtremores para estimar el origen de agrietamiento en la Delegación Iztapalapa, CDMX*", Tesis para obtener el grado de ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, CDMX

51. Esteva, J., 2018, Comunicación personal.

52. Flores Tapia, L. I. N., 2000, "*Contribución a la zonificación geotécnica de la zona sur de la cuenca de México*", tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México.

53. GEOVISA, 2019, "*Exploración geotécnica del subsuelo en la col. El Molino Tezonco, Alcaldía de Iztapalapa, CDMX*.", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México

54. Gobierno de la Ciudad de México, 2017, "*Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones*", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 15 de diciembre, Ciudad de México, México.

55. Gobierno de la Ciudad de México, 2017, "*Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico*", Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 15 de diciembre, Ciudad de México, México.

56. González, F., 2012, "*Estudio de las singularidades de frente de grieta y de esquina de grieta en grietas tridimensionales mediante el método de los elementos finitos*". Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, España.

57. Gutiérrez S. C., Cuevas R., A., Sánchez M. B., 1991, "*Soluciones geotécnicas para el agrietamiento de suelos*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.95-109, CDMX.

58. Hattori, G., Rojas-Díaz, R., Sáez, A., García-Sánchez, F. y Sukumar, N., 2011, "*El método de los elementos finitos extendidos (X-FEM) para medios bidimensionales fisurados totalmente anisótropos*". Anales de Mecánica de la Fractura 28, Vol. 2. https://www.researchgate.net/profile/Felipe_Garcia-Sanchez/publication/266504423

59. Hernández Cruz G.B., 2007, "*Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la delegación Tláhuac, Distrito Federal*", Tesis de licenciatura en geografía, Facultas de Filosofía y letras, Colegio de geografía, UNAM.

60. Herrera, I. *et al.*, 1989, "*Contribución para la administración científica del agua subterránea de la cuenca de México*", Geofísica Internacional, Vol. 28-2, pp. 297-334.

61. Hinojosa Marín, J., 2010, "*Comportamiento del suelo en la zona próxima al Cerro del Marqués y sus efectos en obras de infraestructura*", Tesis de Maestría SEPI, ESIA-IPN, Ciudad de México, México.

62. IEC, 2019, "*Exploración geotécnica en la colonia la planta, Iztapalapa*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

63. InGeum, 2019, "*Exploración geotécnica del subsuelo, "Deportivo Cananea", colonia Predio El molino, Alcaldia Iztapalapa, Ciudad de México*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

64. Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Geoinfomática, UNAM, 2015, "SIMOH, *Sitio internet*: http://proyectos2.iingen.unam.mx/SIMOH/"

65. II-UNAM (Instituto de Ingeniería- UNAM), 2019, "*Modelado numérico del agrietamiento del suelo y de algunas medidas de mitigación. Aplicación a la problemática de las alcaldísa Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta*", Convenio de colaboración entre el II-UNAM y la Secretaría de Educación, Ciencia y Tecnología e Innovación de la Ciudad de México.

66. Irwin, G., 1957, " *Analysis of stresses and strains near the end of a crack traversing a plate*" , Journal of Applied Mechanics, 24, 361– 364.

67. ISSMGE TC36, 2009, Proceedings, Workshop on "*Geotechnical Engineering in urban areas affected by land subsidence*", ISSMGE, Instituto de Ingeniería, UNAM, and SMMS, CDMX, México.

68. Juárez Badillo E., 1959, "*Teoría de grietas de tensión*". I Congreso Panamericano de Mecánica de suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Memorias, pp. 65-76. CDMX, México.

69. Juárez Badillo E., 1991, "*Grietas por fuerzas de filtración*". Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.39-42, CDMX, México

70. Juárez Luna G., 2002, "*Aplicación de la mecánica de fracturas a problemas de geotecnia*", Tesis de maestría, ESIA; IPN, CDMX, México

71. Kezdi, A., 1976 "*Problemas de física de los suelos*", SMMS, CDMX.

72. Krige, D, 1962, "*Statistical Application in mine valuating*". Institute Mine Survey, South Africa.

73. Lermo, J., Ovando, E., Espinosa-Villalpando, L., 2010, "*Microtremor Measurements to Detect Zones of Potential Cracking In the Basin of Mexico*", IAHS Publication 339 ISSN 0144-7815, Land Subsidence, Associated Hazards and the role of natural resources development, México, pp 51-53.

74. López-Acosta, N.P., Auvinet, G. and Rodríguez, J.F., 2009, "*Effects of regional subsidence on subway structures*", Proceedings, ISSMGE TC36 workshop, "Geotechnical engineering in urban areas affected by land subsidence", pp.65-76. Ciudad de México, México.

75. López-Acosta, N.P., Auvinet, G. and Rodríguez, J.F., 2009, "*Damages on linear structures induced by regional subsidence of Mexico City*." Proceedings of the 17th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. (October 5, 2009), Vol. 3 pp. 2064-2067, IOS Press. DOI: 10.3233/978-1-60750-031-5-2064. ISBN 978-1-60750-031-5, Alexandria, Egypt.

76. Lugo Hubp, J., Pérez Vega, A., Rojas Salas, M., 1991. "*Formación de grietas en la margen de antiguo lago al oriente de la cuenca de México*". Geofísica Internacional, Vol. 30, Núm. 2, pp. 87-95.

77. Lugo Hubp J., Mooser, F., Pérez, A., Zamorano, J., 1994, "*Geomorfología de la Sierra de Santa Catarina*", Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Vol. 13, Núm 2, pp. 240-251

78. Manríquez Hernández, L: J: y Osorio Rosales E.R., 2007, "*Sistema de Información geográfica de los agrietamientos en el suelo de la cuenca de México*", Tesis de Ingeniero topógrafo y geodesta, Facultad de Ingeniería, UNAM, CDMX, México.

79. Matheron, G, 1965, "*Les variables généralisées et leur estimation*", Masson et Cie", France.

80. Mayoral J.M. y Flores F, 2010, "*Effects of soil cracking on the seismic response of soil-structure systems*", Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30, pp. 509-523.

81. Mazari, M., Alberro, J., Mazari, M. y Gonzáles, S. (2000). "Agrietamiento de arcillas lacustres y su relación con el uso y reuso del agua", En: Hacia el tercer milenio, El Colegio Nacional.

82. Mazari, M, *et al.,* 1994 "*Deformaciones inducidas por chinampas en depósitos lacustres de la Cuenca de México*", Antropológicas No. 3, pp. 107-121, CDMX, México.

83. Mejía Cisneros, M., 2012, "*Análisis del agrietamiento y los procesos de remoción en masa para la Sierra Santa Catarina en el Distrito Federal y zonas aledañas del Estado de México*", Tesis para obtener el título de Maestro en Cincias en Geología. Opción riesgos geológicos, ESIA Unidad Ticoman, IPN, CDMX.

84. Melgoza A. Carlos., 1978. "*Descripción, evolución y origen de los agrietamientos*". Simposio "El subsuelo y la ingeniería de cimentaciones en al área urbana del valle de México". Vol. editado por la SMMS.

85. Méndez, E., Auvinet, G. & Lermo, J., 2008, "*Avances en la caracterización geotécnica del agrietamiento del subsuelo de la Cuenca de México*", Memoria, XXIV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, Vol. 2, pp. 495-502.

86. Méndez, E., Matus, U., Auvinet, G., Juárez, M., 2010, "*Caracterización de anomalías geotécnicas en las zonas lacustre y de transición de la ciudad de México*", Memoria, XXV Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Acapulco, Guerrero, México, pp. 311-321.

87. MEXPRESA, 2019, "*Casa habitación unifamiliar prototipo de 65m^2, que puede ser construida en suelos de la zona lacustre en las alcaldías Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, Ciudad de México*", Mexicana de Presfuerzo, S. A. de C. V.

88. Millán, J., 2005, "*Estudio de mecánica de suelos para un conjunto habitacional por construir en la calle el Molino No. 114 colonia La Planta de la delegación Iztapalapa del Distrito Federal*", CDMX, México.

89. Ming-Hung Chen, Kuo-Liang Wen, Chin-Hsiung Loh, y Robert L. Nigbor (2008). Experience of Suspension P-S Logging Method and Empirical Formula of Shear Wave Velocities in Taiwan. Journal of the Chinese Institute of Civil and Hydraulic Engineering.

90. Mooser, F., 2018, "*Geología del valle de México y otras regiones del país*", Colegio de Ingenieros Civiles de México, CDMX, México.

91. Morales de la Cruz, M. A., 2001, "*Zonificación geotécnica de la zona sur-oriente de la cuenca de México*", tesis profesional para obtener el título de Ingeniero Civil, presentada en la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México.

92. Murillo R.F., *et al*., 1991, "*Agrietamiento lacustre al oriente de la ciudad de México*", Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.39-42, CDMX, México.

93. Ovando, E., Montiel, J., 1989, "*Estudio sobre el problema del agrietamiento en la unidad habitacional Cananea Iztapalapa, D.F.*", Unión de Colonos UCISV Libertad, CDMX, México.

94. Ovando E., Lermo J., Auvinet, G., y Méndez E., 2012, "*Microtremors measurements to identify zones of potential fissuring in the basin of Mexico*", Geofísica Internacional, 2012, 51-2: pp. 143-156.

95. Pacheco, J., 2007, "*Modelo de subsidencia del Valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales*", Tesis doctoral, Centro de Geociencias, UNAM, pp. 253.

96. Reséndiz, D., Auvinet, G. y Méndez, E., 2016, "*Subsidencia de la Ciudad de México, un proceso centenario insostenible*", Serie Investigación y Desarrollo, mayo, Instituto de Ingeniería, UNAM. ISBN: 978-607-02-7818-1.

97. Reséndiz, D. y Auvinet, G., 2017, "*Confusiones surgidas a partir de los sismos del 2017 en la ciudad de México*", Revista Geotecnia, SMIG, Num. 246, CDMX. México.

98. Reséndiz, D., Auvinet, G., Juárez, M. and Méndez, E., 2019, "*Saving the valley of Mexico from disaster: the need and the method*", Controlling land subsidence water extraction and recharge throughout an extensive underground basin, Serie del Instituto de Ingeniería, SID 703, Enero, UNAM, ISBN 978-607-30-1426-7.

99. Rojas, E., Romo, M. y Saldívar, E., 1994. "*Un modelo para explicar el agrietamiento en la Ciudad de Aguascalientes*". XVII Reunión Nacional de Mecánica de Suelos "La geotecnia y su relación con el medio ambiente", Xalapa, Veracruz. Vol. I, pp. 269-274.

100. Sánchez Guzmán, J., 2017, "*Estudio de los medios granulares por el método de elementos discretos*", Tesis doctoral de Jesús Sánchez Guzmán. Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Ingeniería Civil, Geotecnia, UNAM.

101. Santoyo, E., Ovando, E., Mooser, F., León, E., 2005, "*Esquema geotécnico de la cuenca de México*", México: TGC Geotecnia. ISBN: 968-5571-06-6. CDMX, México.

102. Santoyo, E., 2010, "*Exploración del suelo*", Métodos directos e indirectos, muestreo y pruebas de campo", Vigésima Conferencia Nabor Carrillo, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécncia, Acapulco. México.

103. Siles, G., Alcérreca-Huerta, J.C., López-Quiroz, P. and Carrera-Hernández, J., 2015. "*On the potential of time series InSAR for subsidence and ground rupture evaluation: application to Texcoco and Cuautitlan–Pachuca subbasins, northern Valley of Mexico*", Natural Hazards, 79, pp. 1091–1110. DOI 10.1007/s11069-015-1894-4.

104. Taghavi R., 2011, "*Automatic clump generation based on mid-Surface*", Proceedings of second international FLAC/DEM symposium. Melbourne, Australia.

105. TGC-Geotecnia, 2007, "*Reporte preliminar para la renivelación del edificio "H" de la unidad habitacional Benito Juárez, Iztapalapa*", PGI-2007-P009-I052, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

106. TGC-Geotecnia, 2007, "*Ejecución de seis (6) sondeos de muestreo ambiental en las zonas de grietas de la delegación Iztapalapa*", TGC 2007-3342, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

107. TGC-Geotecnia, 2007, "*Reporte parcial de los sondeos de exploración profunda en la colonia Lomas de San Lorenzo, Iztapalapa*", TGC 2007-3335, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

108. TGC-Geotecnia, 2007, "*Proyecto para la renivelación de los edificios 1 y 2 de la escuela primaria José Romero y Fuentes, Iztapalapa*", PGI-2007-P009-I052, Dirección General de Obras Públicas del Gobierno del Distrito Federal, CDMX, México.

109. TGC-Geotecnia, 2019, "*Exploración geotécnica y pruebas de laboratorio para sitios con presencia de grietas en la colonia Del Mar, Tláhuac, CDMX*", Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Gobierno de la Ciudad de México, CDMX, México.

110. Vázquez, F. y Auvinet, G. 2018, "*Influencia de la profundidad de bombeo sobre los esfuerzos inducidos en el subsuelo*", Informe interno II-UNAM y publicación sometida a Revista del IMTA:

111. Vietez-Uteza, L. *et al*., "*Investigación sobre fallas y hundimientos que produzcan movimientos diferenciales y agrietamientos en la superficie del Valle de México significativos para el proyecto de red de distribución de gas en el Distrito Federal*", Informe técnico final, CDMX, México.

112. Waitz, P., 1910, "*Excursión a la Sierra de Santa Catarina*", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo VII:

113. Zeevaert, L., 1988, "*Sismo-geodinámica de la superficie del suelo y cimentación de edificios en la Ciudad de México*". Edición Privada. CDMX, México.