



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

INFORME FINAL

Número de páginas: 48

Elaborado para:

Instituto Para la Seguridad de las Construcciones (ISC)

Por:

Responsable:

Gabriel Auvinet Guichard

Colaboradores:

Moisés Juárez Camarena
Edgar Méndez Sánchez
Sergio Antonio Martínez Galván
Francisco Hernández Vizcarra
Marcos Edgardo Delgado Muñiz

*Laboratorio de Geoinformática,
Coordinación de Geotecnia, II-UNAM*

Ciudad de México, diciembre de 2020.



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. OBJETIVO Y ALCANCES	4
2.2 OBJETIVO.....	4
2.3 ALCANCES.....	4
3. ACTIVIDADES REALIZADAS	6
3.1 Coordinación del Comité de Grietas	6
3.1.1 Reuniones del Comité de Grietas	6
3.1.2 Notas Técnicas.....	11
3.1.3 Recorridos de campo.....	12
3.2 Supervisión de trabajos de dictámenes, exploraciones e instrumentación.....	13
3.2.1 Supervisión de trabajos de dictámenes	13
3.2.2 Supervisión de los trabajos de exploraciones e instrumentación	15
3.2.3 Asesoría para atender la solicitud de nuevos estudios	17
3.3 Actualización de mapas de distribución espacial de grietas.....	18
3.4 Elaboración de proyecto de Norma para construcción en zonas con agrietamiento	21
3.5 Definición de la estratigrafía de detalle de zonas afectadas.	22
3.6 Banco fotográfico.....	23
3.7 Revisión de predios para reubicación.	25
3.8 Modelación avanzada de los mecanismos de agrietamiento.	26
3.9 Modelación del comportamiento sísmico del suelo en presencia de grietas.	27
3.10 Control de calidad en la implementación de soluciones de mitigación	28
3.11 Observación de zonas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM.	32
3.12 Definición de soluciones para situaciones particulares.	36
3.12.1 Caja disipadora para condiciones particulares.....	36
3.12.2 Trolebús elevado, Iztapalapa.....	37
4. CONCLUSIONES	40
5. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	41
ANEXOS.....	49
A. Minutas de reuniones del Comité de grietas y listas de asistencia	49
B. Nota Técnicas	49
C. Recorridos de campo	49
D. Banco fotográfico	49
E. Control de calidad de medidas de mitigación.....	49
F. Estudios de problemas específicos.....	49



G. Comportamiento sísmico del suelo agrietado	49
H. Artículos relevantes	49
I. Estado actual de sitios con grietas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM.....	49



1. INTRODUCCIÓN

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 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 proyecto 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 demarcaciones*”. Este proyecto 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.

En 2019, el II-UNAM realizó para el ISC un proyecto titulado “*Investigación sobre el agrietamiento del suelo en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta y acompañamiento en la definición e implementación de soluciones para las edificaciones afectadas de dichas demarcaciones*”.

El proyecto que ahora presenta el Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM es una continuación de este último proyecto que se centra en aspectos específicos de detalle orientados a contribuir a la solución de esta problemática.



2. OBJETIVO Y ALCANCES

2.2 OBJETIVO

El objetivo del proyecto es continuar estudiando el fenómeno de agrietamiento del suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta, asimismo, ofrecer asesoría y acompañamiento técnico al ISC y a la Comisión para la Reconstrucción en la definición e implementación de soluciones para las edificaciones afectadas de dichas demarcaciones.

2.3 ALCANCES

Se plantearon los siguientes alcances:

2.3.1 Coordinación del Comité de Grietas.

Continuar coordinando el Comité de Grietas constituido por la Comisión para la Reconstrucción del gobierno de la Ciudad de México. El trabajo principal consistirá en asesorar y revisar los avances y resultados de los trabajos realizados en las zonas afectadas por el fenómeno de agrietamiento por los diferentes grupos que integran el Comité de Grietas.

2.3.2 Supervisión de trabajos de dictámenes, exploraciones e instrumentación.

Continuar apoyando a las autoridades del Gobierno de la Ciudad de México para la supervisión y revisión de dictámenes Geo-Estructurales elaborados por los Directores Responsables de Obra (DRO) a predios afectados por sismo o grietas en el suelo, asimismo, para la definición de trabajos de exploración e instrumentación geotécnica a realizar en los sitios donde se considere necesario.

2.3.3 Actualización de un mapa de la distribución espacial de grietas.

Con base en el conocimiento previo de la ubicación de las grietas detectadas, actualizar el mapa de grietas, este nuevo mapa permitirá definir las áreas susceptibles a agrietamiento, para plantear programas de monitoreo y prevención de daños en edificaciones e instalaciones municipales.

2.3.4 Elaboración de proyecto de Norma para construcción en zonas con agrietamiento

Con base en el conocimiento técnico adquirido sobre la generación y propagación de grietas en el suelo, elaborar un proyecto de Normatividad para la construcción en predios con agrietamiento del suelo. En este documento, se definirán lineamientos y recomendaciones geotécnico-estructurales para la construcción de edificaciones en predios con agrietamiento en el suelo.

2.3.5 Definición de la estratigrafía de detalle de zonas afectadas.

Con base en la información geotécnica generada en los nuevos estudios, interpretar los resultados de los sondeos y de las pruebas de campo y laboratorio con el propósito de definir la estratigrafía en zonas afectadas por el fenómeno de agrietamiento, empleando la metodología geoestadística como herramienta de trabajo. Como resultados se definirán modelos que permitan describir la distribución espacial de las propiedades geotécnicas (contenido de agua y resistencia a la penetración de la punta, q_c , del cono eléctrico, CPT) en ejes preferenciales de las zonas afectadas.



2.3.6 Banco fotográfico.

Actualizar el archivo del banco fotográfico sobre las construcciones afectadas por grietas. Para este propósito se continuará trabajando para documentar nuevas grietas y la evolución de las construcciones afectadas por ellas a través del tiempo.

2.3.7 Revisión de predios para reubicación.

Apoyar a las autoridades del Gobierno de la Ciudad para realizar una inspección física y evaluación de los predios que son considerados para la construcción de nuevas viviendas destinadas para la reubicación de personas cuyas viviendas han sido afectadas por grietas nivel IV. Durante la inspección se pondrá especial atención a las condiciones geotécnicas que prevalezcan dentro del predio (grietas en el suelo, rellenos no controlados, socavones, etc.) que puedan causar problemas de mal comportamiento a las nuevas construcciones.

2.3.8 Modelación avanzada de los mecanismos de agrietamiento.

Seguir realizando análisis de modelación numérica avanzados de elemento finito y mecánica de la fractura para definir los mecanismos de generación y propagación de grietas asociadas al bombeo profundo y a la variación del espesor de la formación de arcilla en los sitios de agrietamiento.

2.3.9 Modelación del comportamiento dinámico del suelo en presencia de grietas.

Estudiar el comportamiento sismo-dinámico del suelo ante la presencia de grietas, para tal propósito se realizarán análisis de modelación numérica de elemento finito que permitan definir el comportamiento dinámico del subsuelo con presencia de grietas.

2.3.10 Control de calidad en la implementación de soluciones de mitigación

Dar asesoría a las autoridades de las distintas alcaldías para definir un proceso detallado para la colocación del material (arena) y para definir los criterios de control de calidad en la compactación en la aplicación de la caja de arena como medida de mitigación al fenómeno de agrietamiento. Lo anterior particularmente en la Alcaldía de Iztapalapa, donde se han intervenido un número considerable de grietas en el suelo empleando la caja de arena lo largo de la trayectoria de las grietas. Asimismo, con el fin de conocer la calidad de la compactación, se han realizado pruebas con equipo de penetración dinámica portátil al final de la colocación de la arena. Los resultados muestran que la compactación en los diferentes sitios es altamente variable.

2.3.11 Observación de zonas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM.

Observar zonas tratadas. A la fecha, en la Alcaldía de Iztapalapa, se ha intervenido un número considerable de grietas en el suelo empleando como solución de mitigación, la construcción de una caja de arena a lo largo de la trayectoria de las grietas, por tanto, con el fin de evaluar la eficiencia de esta técnica de mitigación será necesario monitorear, a lo largo del tiempo, el comportamiento de las grietas consideradas como representativas y que ya han sido intervenidas.

2.3.12 Definición de soluciones para situaciones particulares.

Definir soluciones particulares. Para casos particulares, dar apoyo técnico a las autoridades para proponer soluciones alternativas de mitigación de daños provocados por la presencia de grietas en el suelo en algunas construcciones.



3. ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Coordinación del Comité de Grietas

3.1.1 Reuniones del Comité de Grietas

El II-UNAM colaboró con la Comisión para la Reconstrucción en la organización y coordinación de todas de varias reuniones ordinarias y extraordinarias del Comité de Grietas. Asimismo, se participó en la definición de los temas a tratar en el orden del día y en la elaboración y revisión de las actas o minutas correspondientes. Además, se organizaron varias reuniones de concertación de subgrupos del Comité para atender asuntos específicos y varias Conferencias de difusión de los resultados de los estudios a la Ciudadanía,

Tabla 3.1.1. Reuniones del Comité de grietas

FECHA	REUNIÓN	TIPO
2020/02/04	Reunión de información a Colectivos de representantes de vecinos de Iztapalapa y Tláhuac	Comunicación
2020/02/12	14ª Reunión del Comité de grietas	Ordinaria
2020/02/26	Revisión de la información del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México. Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil – II-UNAM	Concertación
2020/04/20	Informe de avance de los estudios de exploración profunda y los avances de los trabajos del Comité de Grietas, a distancia a través de la plataforma Zoom®. Comisión para la Reconstrucción – ISC – Colectivo Ciudadanía 19S – II-UNAM	Comunicación
2020/05/14	15ª Reunión del Comité de grietas	Ordinaria
2020/05/26	Revisión de las propuestas de rehabilitación de las Unidades Habitacionales, Molino 25, Molino 35 y El Parque	Extraordinaria
2020/07/21	Reunión de concertación del comité de grietas. Revisión de daños ocasionados por el sismo del 23 de junio y Resumen de avances en la detección y tratamiento de grietas en Tláhuac	Extraordinaria
2020/07/23	Revisión de las propuestas de estudios complementarios de exploración geotécnica y de topografía. Comisión para la Reconstrucción- II-UNAM	Concertación
2020/08/07	Revisión información existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacan y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa.	Concertación



2020/08/20	Presentación de trabajos de exploración a MUPCananea	Comunicación
2020/08/26	Reunión de concertación. Problemática de Santa Cruz Meyehualco y Santa María Aztahuacán. Con SACMEX y SCER Iztapalapa	Concertación
2020/09/04	Revisión existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacán y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa	Concertación
2020/10/07	Condiciones del agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacán y Santa Cruz Meyehualco.	Comunicación
2020/10/29	Reunión de concertación Loma de San Lorenzo, Iztapalapa.	Concertación
2020/11/05	16ª Reunión ordinaria del Comité de Grietas	Ordinaria

3.1.1.1 Reuniones ordinarias

14va Reunión de trabajo del Comité de Grietas

Realizada el 12 de febrero de 2020, a las 10:00 hrs., en las instalaciones del Antiguo Palacio del Ayuntamiento de la Ciudad de México, del GOBCDMX. Se trataron los siguientes temas:

1. Lista de asistencia y verificación del quórum legal para sesionar.
2. Lectura y aprobación del orden del día.
3. Lectura y aprobación del acta de la décima tercera sesión ordinaria.
4. Bienvenida del Comisionado para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Lic. César Arnulfo Cravioto Romero.
5. Informe por parte del Presidente del Comité Científico y de Grietas, Dr. Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard.
6. Presentación de avances de la Empresa CIMTEC en la unidad habitacional El Parque, Alcaldía Iztapalapa.
7. Avances de los estudios de Exploración geotécnica profunda.
8. Asuntos Generales.

En el Anexo A, se incluye el acta de la 14va reunión.

15va Reunión de trabajo del Comité de Grietas

Realizada el jueves 14 de mayo, a las 9:00 hrs, a distancia a través de la plataforma Zoom®. De acuerdo con el orden del día, se trataron los siguientes temas:

1. Lista de asistencia y verificación del quórum legal para sesionar
2. Lectura y aprobación del orden del día
3. Lectura y aprobación del acta de la décimo cuarta sesión ordinaria
4. Bienvenida de la Secretaria de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil de la Ciudad de México, Arq. Myriam Urzua Venegas, y el Comisionado para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Lic. César Arnulfo Cravioto Romero



5. Informe por parte del Presidente del Comité Científico y de Grietas, Dr. Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard.
6. Comportamiento Sísmico de Suelos Agrietados en la Ciudad de México.
7. Acciones de mitigación en el marco de la Pandemia de la COVID-19
8. Actualización de Atlas de Riesgo de la Ciudad de México.
9. Asuntos Generales.

En el Anexo A, se incluye el acta de la 154va reunión.

16va Reunión de trabajo del Comité de Grietas

Realizada el día jueves 5 de noviembre, a las 11:00 hrs., a distancia a través de la aplicación Zoom®. De acuerdo con el orden del día, se trataron los siguientes temas:

1. Lista de asistencia y verificación del quórum legal para sesionar
2. Lectura y aprobación del orden del día
3. Lectura y aprobación del acta de la décima quinta sesión ordinaria
4. Informe por parte del Presidente del Comité Científico y de Grietas para la Reconstrucción de la Ciudad de México, Dr. Gabriel Yves Armand Auvinet Guichard, Investigador del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM)
5. Reporte del seguimiento al comportamiento de los suelos agrietados detectados en las Alcaldías Iztapalapa y Tláhuac:
Socavamiento detectado por el Personal de la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos (SCER) Iztapalapa, en la Colonia Lomas de San Lorenzo, en el cruce de las calles Vista Hermosa y Flor de Cacao
6. Revisión de posibles agrietamientos bajo la Parroquia de La Santísima Trinidad, en el Pueblo de Santiago Tulyehualco, Xochimilco.
 - a) Comentarios por parte del Dr. Moisés Juárez Camarena, del II-UNAM
 - b) Comentarios por parte del Ing. Christian Enrique Magaña Rodríguez, de la Dirección Técnica de la CRCDMX y de la Arq. Sandra Rodríguez Gómez de la SECUL
7. Asuntos Generales.

En el Anexo A, se incluye el acta de la 16va reunión.

3.1.1.2 Reuniones extraordinarias

1ª Reunión extraordinaria de trabajo derivada de la 15ª sesión del Comité de Grietas

Realizada el 26 de mayo de 2020, 17:00 hrs, a distancia a través de la plataforma Zoom®. Temas: Revisión de las propuestas de rehabilitación de las Unidades Habitacionales, Molino 25, Molino 35 y El Parque”

2ª Reunión extraordinaria de trabajo derivada de la 15ª sesión del Comité de Grietas

Realizada el 21 de julio de 2020, 10:30 hrs, a distancia a través de la plataforma Zoom®. Tema: Revisión de daños ocasionados por el sismo del 23 de junio de 2020 en Crucecita, Oaxaca, México, (M7.4) 10:29:03 y Resumen de avances en la detección y tratamiento de grietas en Tláhuac.



Fig. 3.1 Captura de pantalla de reunión extraordinaria a distancia sobre el sismo del 23 de junio de 2020.

3.1.1.3 Reuniones de concertación

Reunión Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil – II-UNAM

Realizada el 26 de febrero de 2020, 10:00 hrs., en las instalaciones del Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM.

Tema: Revisión de la información del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México.

Reunión Comisión para la Reconstrucción – ISC – Colectivo Ciudadanía 19S - IIUNAM

Realizada el 20 abril 2020, 9:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Informe de avance de los estudios de exploración profunda y los avances de los trabajos del Comité de Grietas, a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Reunión Comisión para la Reconstrucción – II-UNAM

23 julio 2020, 12:00 hrs, a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Revisión de las propuestas de estudios complementarios de exploración geotécnica y de topografía.

Reunión Comisión para la Reconstrucción - II-UNAM

Reunión 7 de agosto de 2020, 11:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Revisión existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacan y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa.

Reunión Comisión para la Reconstrucción - II-UNAM

Realizada el 20 de agosto de 2020, 17:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Revisión de las propuestas técnico económicas para la realización de trabajos complementarios de exploración geotécnica y de topografía.



Reunión Comisión para la Reconstrucción – SACMEX – SCER - II-UNAM

Realizada el 4 de septiembre de 2020, 17:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Revisión de información existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacan y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa.

3.1.1.2 Reuniones de comunicación

Reunión de información a Colectivos de representantes de vecinos de Iztapalapa y Tláhuac

Realizada el 4 de febrero de 2020

Reunión Comisión para la Reconstrucción – ISC – Colectivo Ciudadanía 19S - IIUNAM

Realizada el lunes 20 abril 2020, 9:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Informe de avance de los estudios de exploración profunda y los avances de los trabajos del Comité de Grietas, a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Reunión de presentación de trabajos de exploración al MUP Cananea

Realizada el 20 de agosto de 2020.

Reunión Comisión para la Reconstrucción – Colonos - II-UNAM

Realizada el 7 de octubre de 2020, 11:00 hrs., a distancia a través de la plataforma Zoom®.

Tema: Condiciones del agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacan y Santa Cruz Meyehualco.



3.1.2 Notas Técnicas

Como soporte de las recomendaciones dadas para diferentes problemas, el Comité de Grietas, por conducto del Instituto de Ingeniería, elaboró durante el periodo varias Notas Técnicas (Tabla 3.1.2.1)

Tabla 3.1.2.1 Notas técnicas elaboradas durante el periodo

NOTA	TITULO	FECHA DE ENTREGA
NT G-17	INSPECCIÓN DE PREDIOS EN LA COL. VILLA CENTROAMERICANA	
NT G-18	AMPLIACIÓN DE LOS ALCANCES DE LA EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS	
NT G-19	MITIGACIÓN DE DAÑOS EN VIVIENDAS AFECTADAS POR GRIETAS	
NT G-20	RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DISIPADORAS EN CASOS ESPECIALES	FEBRERO 2020
NT G-21	INSPECCIÓN DE LOS PREDIOS UBICADOS EN JOSÉ OJEDA Mz. 3, Lts. 22 Y 23, COL. EJERCITO DE ORIENTE ZONA PEÑON, IZTAPALAPA	ABRIL 2020
NT G-22	UBICACIÓN DE SONDEOS GEOTÉCNICOS ADICIONALES EN LA COLONIA LA PLANTA Y UNIDAD HABITACIONAL CANANEA, ALCALDÍA IZTAPALAPA	JUNIO 2020
NT G-23	COMENTARIOS A LAS PROPUESTAS DE ESTUDIOS ADICIONALES EN PREDIOS PARTICULARES	JUNIO 2020
NT G-24	COMENTARIOS AL INFORME DEL PROYECTO REHABILITACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "MOLINO 25"	JULIO 2020
NT G-25	COMENTARIOS AL INFORME DEL PROYECTO REHABILITACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "MOLINO 35"	JULIO 2020
NT G-26	ALTERNATIVAS DE RECIMENTACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "LA CONCORDIA ZARAGOZA"	JULIO 2020
NT G-27	REVISIÓN DE CONDICIONES DE AGRIETAMIENTO EN SANTA CRUZ MEYEHUALCO Y STA MARÍA AZTAHUACÁN	NOVIEMBRE 2020
NT G-28	ANDADOR ROQUETA, IZTAPALAPA	NOVIEMBRE 2020
NT G-29	COMENTARIOS AL INFORME "ESTUDIO DEL SUBSUELO" EN LA UNIDAD HABITACIONAL "EL PARQUE", PIRAÑA 12, COL. LA PLANTA	NOVIEMBRE 2020
NT G-30	COMENTARIOS AL INFORME DE INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DE LA UNIDAD HABITACIONAL SANTA MARÍA AZTAHUACAN	NOVIEMBRE 2020

Las Notas Técnicas se presentan en el Anexo B.



3.1.3 Recorridos de campo

Para el seguimiento de los distintos asuntos planteados al Comité de Grietas. Se realizaron varios recorridos de campo (Tabla 3.1.3.1)

Tabla 3.1.3.1 Recorridos de campo

FECHA	RECORRIDO	DEPENDENCIA O EMPRESA
11/02/2020	Inspección a sitios de reparaciones por parte de la CONAGUA en las colonias Sta Martha Acatitla, San Sebastián Tecoloxtitla, Sta. Cruz Meyehualco, La Era, Francisco Villa y Jacarandas, Iztapalapa	II-UNAM, CONAGUA, SCER
18/02/2020	Inspección de cuatro predios afectados por grietas en la colonia Sta Martha Acatitla (Dictámenes Geo estructurales), Iztapalapa	II-UNAM, CRCDMX
17/03/2020	Inspección de los predios ubicados en José Ojeda Lt 22 y 23, Ejercito de Oriente, Iztapalapa	II-UNAM, CRCDMX
23/06/2020	Grieta en el Deportivo Sta Cruz Meyehualco	II-UNAM
07/07/2020	Laguna El Fusible, Texcoco	II-UNAM, CONAGUA
10/08/2020	Inspección de once sitios de las colonias Sta Cruz Meyehualco y Sta María Aztahuacán, para detección de grietas y asentamientos diferenciales.	II-UNAM, CRCDMX, SCER
04/11/2020	Templo de la Santísima Trinidad, Tulyehuaco, Xochimilco	II-UNAM

Un resumen de las observaciones realizadas durante estos recorridos de campo se presenta en el Anexo C.



3.2 Supervisión de trabajos de dictámenes, exploraciones e instrumentación

3.2.1 Supervisión de trabajos de dictámenes

La Comisión para la Reconstrucción solicitó al II-UNAM la revisión de 57 dictámenes clasificados por las brigadas de especialistas (DRO – Geotecnista) en la categoría de Reubicación. Los dictámenes corresponden a predios ubicados en las colonias El Molino, Ermita Zaragoza, Sta. Martha Acatitla, Sta. Ma. Aztahuacan, Sta. Cruz Meyehualco y La Planta. En la Tabla 3.2.1 se presenta la clasificación sugerida por el II-UNAM después de revisar con detalle la información contenida en los dictámenes de los predios afectados, tomando como base principalmente los daños y observaciones emitidos por los especialistas.

Tabla 3.2.1. Dictámenes revisados.

No	FOLIO	CALLE Y NÚMERO	COLONIA	CLASIFICACIÓN PRELIMINAR	CLASIFICACIÓN DEL DICTAMEN
1	DGE-0647	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 01.	El Molino	reubicación	Reubicación
2	DGE-0650	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 03.	El Molino	reubicación	Reubicación
3	DGE-0653	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 07.	El Molino	reubicación	Reubicación
4	DGE-0664	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 09.	El Molino	reubicación	Reubicación
5	DGE-0728	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 12.	El Molino	reubicación	Reubicación
6	DGE-0733	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 10.	El Molino	reubicación	Reubicación
7	DGE-0741	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 08.	El Molino	reubicación	Reubicación
8	DGE-0746	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 04.	El Molino	reubicación	Reubicación
9	DGE-0747	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 02.	El Molino	reubicación	Reubicación
10	DGE-1804	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 05.	El Molino	reubicación	Reubicación
11	DGE-1805	U. H. Cananea, Mza. 1, Sección 3, Lote 06.	El Molino	reubicación	Reubicación
12	DGE-1983	El Molino 25, edif. 5-C	El Molino	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
13	DGE-2051	Congreso de Chilpancingo sur, Mz 01, Lt 04, Oasis 01	Ermita Zaragoza	reubicación	Reubicación
14	DGE-2456	Andador Rocha y Padrinas Mz 35 Lt 10	Ermita Zaragoza	mantenimiento	Mantenimiento
15	DGE-2457	Andador Rocha y Padrinas Mz 35 Lt 11	Ermita Zaragoza	rehabilitación	Rehabilitación
16	DGE-2472	Rafael Valdovinos Mz 35 Lt 22	Ermita Zaragoza	mantenimiento	Mantenimiento
17	DGE-3418	Generalísimo Morelos Mz 31 Lt 16	Ermita Zaragoza	reconstrucción	Reconstrucción con tratamiento de grietas
18	DGE-1163	Francisco Manríquez Mz 92 Lt 5	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reubicación
19	DGE-1167	Francisco Manríquez Mz 92 Lt 4	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
20	DGE-1170	Francisco Manríquez Mz 93 Lt 779	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reubicación
21	DGE-1175	Claudio Alcocer Mz 91 Lt 9	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas



No	FOLIO	CALLE Y NÚMERO	COLONIA	CLASIFICACIÓN PRELIMINAR	CLASIFICACIÓN DEL DICTAMEN
22	DGE-1187	Francisco Manríquez Mz 92 Lt 7	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
23	DGE-1189	Claudio Alcocer Mz 91 Lt 13	Zona Urbana Ejidal Santa Martha Acatitla Sur	reconstrucción	Reconstrucción con tratamiento de grietas
24	DGE-1190	Claudio Alcocer Mz 91 Lt 32	Santa Martha Acatitla	reubicación	Rehabilitación
25	DGE-1198	Cda. Claudio Alcocer No. 486 Int 9	Santa Martha Acatitla Ejidal	reubicación	Reubicación
26	DGE-1221	Francisco Manríquez Mza 93 Lt 21	Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
27	DGE-1467	Cl. Amador Salazar 18 Mza 195 Lt 24	Pueblo Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
28	DGE-1468	José Indelicato 15	Pueblo Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
29	DGE-1479	Octavio Paz 2 (Amador Salazar 10)	Santa Martha Acatitla	reconstrucción	Reconstrucción con tratamiento de grietas
30	DGE-1496	Cayetano Andrade 27 (45 según SEDUVI)	Pueblo Santa Martha Acatitla	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
31	DGE-1499	Emiliano Zapata 1	Pueblo Santa Martha Acatitla	reubicación	Rehabilitación
32	DGE-6960	Claudio Alcocer Mz 57 Lt 07	Santa Martha Acatitla	rehabilitación	Reubicación
33	DGE-4404	Aquiles Serdán, Mz 76, lt 885b	Ejidos de Santa María Aztahuacan	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
34	DGE-4525	Francisco Villa, Mz, 76, 878, interior c	UH Santa María Aztahuacan	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
35	DGE-4644	Francisco Villa, Mz 76, Lt 878d	Ejidos de Santa María Aztahuacan	reubicación	Rehabilitación-Reubicación
36	DGE-4669	Felipe Ángeles, Mz 76, Lt 885d. Anterior Mz 65, lt 16.	UH Santa María Aztahuacan	reubicación	Rehabilitación-Reconstrucción con tratamiento de grietas
37	DGE-4887	Venustiano Carranza, Mz 77 lt 896	Ejidos de Santa María Aztahuacan	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
38	DGE-3595	Calle 23 N°4	Santa Cruz Meyehualco	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
39	DGE-3679	Calle 25 N°3	Santa Cruz Meyehualco	reubicación	Reconstrucción con tratamiento de grietas
40	DGE-7815	Calle 5 de Mayo M22 L2	Pueblo de Santa Cruz Meyehualco	reubicación	No es posible descargar el dictamen
41	DGE-0077	Molino de viento Mz 02 Lt 20	La Planta	reubicación	Reubicación
42	DGE-0082	Molino de viento Mz 02 Lt 19	La Planta	reubicación	Reubicación
43	DGE-0186	Andador 1 Lt 36	La Planta	reubicación	Reubicación
44	DGE-0310	Molino de Viento Mz 02 Lt 21	La Planta	reubicación	Reubicación
45	DGE-1570	Av. Piraña N° 12, Casa 092	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
46	DGE-1592	Av. Piraña N° 12, Casa 102	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
47	DGE-1623	Av. Piraña N° 12, Casa 120	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
48	DGE-1627	Av. Piraña N° 12, Casa 119	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
49	DGE-1637	Av. Piraña N° 12, Casa 103	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
50	DGE-1640	Av. Piraña N° 12, Casa 106	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
51	DGE-1641	Av. Piraña N° 12, Casa 107	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación



No	FOLIO	CALLE Y NÚMERO	COLONIA	CLASIFICACIÓN PRELIMINAR	CLASIFICACIÓN DEL DICTAMEN
52	DGE-1644	Av. Piraña N° 12, Casa 110	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación
53	DGE-2182	Av. Piraña N° 12, Casa 094	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Rehabilitación
54	DGE-2183	Av. Piraña N° 12, Casa 095	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Rehabilitación
55	DGE-2186	Av. Piraña N° 12, Casa 096	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Rehabilitación
56	DGE-2188	Av. Piraña N° 12, Casa 097	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Rehabilitación
57	DGE-2189	Av. Piraña N° 12, Casa 098	La Planta (UH El Parque)	reubicación	Reubicación

3.2.2 Supervisión de los trabajos de exploraciones e instrumentación

3.2.2.1 Exploración geotécnica

Como complemento de la campaña de exploración geotécnica profunda, el II-UNAM propuso la ejecución de sondeos complementarios en las colonias *La Planta* y Unidad Habitacional *Cananea*. La propuesta de exploración geotécnica complementaria se describe detalladamente en la Nota Técnica G-18 (Anexo B).

En general, la propuesta consiste en realizar tres sondeos de 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.

Asimismo, a solicitud del ISC y de la Comisión para la reconstrucción, el II-UNAM definió la ubicación de los sondeos en cada sitio de manera aproximada, las ubicaciones se presentan en la Nota Técnica G-22 "*Ubicación de sondeos geotécnicos adicionales en la colonia La Planta y Unidad Habitacional Cananea, Alcaldía Iztapalapa*" (Anexo B), adicionalmente, en la misma NT G-22 se presentan algunas recomendaciones para el desarrollo de los trabajos de campo y laboratorio. En la Figura 3.2.1 se muestra, en planta, la ubicación general de los sondeos profundos complementarios.



Figura 3.2.1. Ubicación detallada de los sondeos profundos complementarios propuestos para la zona de la colonia La Planta y Unidad Habitacional Cananea, alcaldía Iztapalapa.

3.2.2.1 Levantamientos topográficos

Con la finalidad de monitorear detalladamente los movimientos verticales y horizontales de las grietas representativas en el cruce con las calles y avenidas, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-18 (Anexo B), en la que se propone incrementar el número de referencias superficiales a las instaladas en 2019.

En general, la propuesta consiste en instalar referencias superficiales en calles donde se ha identificado cruces de grietas, formando una malla que permita evaluar los movimientos de cada grieta, aprovechando para este fin las referencias existentes, el número de referencias será de acuerdo con la geometría de las grietas, adicionalmente se propone instalar referencias a cada 20 m. en algunas calles donde no se ha manifestado la presencia de grietas, abarcando las cuatro zonas de interés (Col. Del Mar, Deportivo Cananea, Col. La Planta y Col. Molino Tezonco).

Como complemento de la Nota técnica G-18, el II-UNAM elaboró un Adendum a la Nota Técnica G-18 "*Ampliación de especificaciones técnicas para los trabajos de topografía*" (Anexo B), en el que se detallan las especificaciones técnicas para los trabajos de topografía. En la Figura 3.2.2 se presenta una propuesta de ubicación de referencias topográficas superficiales existentes y por instalar, así como la ubicación de cruces de grietas.

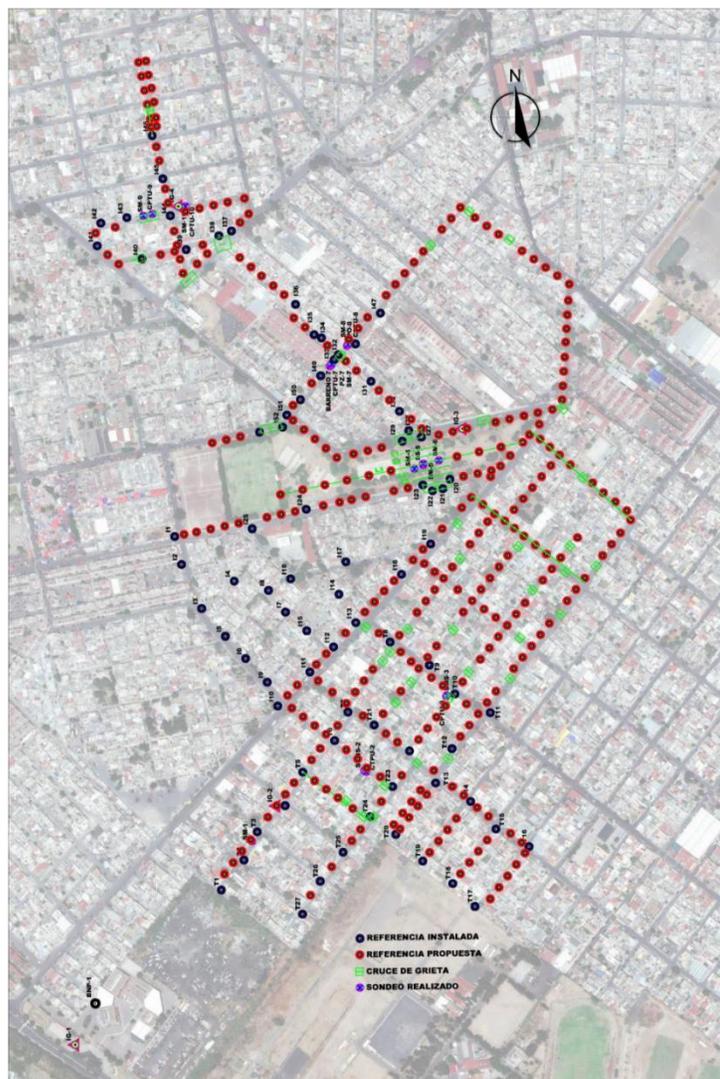


Figura 3.2.2. Ubicación de referencias topográficas superficiales y cruces de grietas.

3.2.3 Asesoría para atender la solicitud de nuevos estudios

Con la finalidad de dar atención a la solicitud de elaboración de algunos estudios complementarios del subsuelo en predios particulares, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-23 “Comentarios a las propuestas de estudios adicionales en predios particulares” (Anexo B), donde se indica el procedimiento a seguir para atender las solicitudes de predios afectados por sismo o grieta. En general, el procedimiento es como sigue:

Primera etapa: el propietario presenta una solicitud de revisión geo-estructural a su predio al Instituto para la Seguridad de las Construcciones (ISC).

Segunda etapa: una brigada técnica constituida por un DRO y un Ing. Geotecnista realiza un recorrido de inspección al predio y elabora un dictamen que entrega al (ISC).

Tercera etapa: El ISC entrega el resultado del dictamen al propietario del inmueble. En caso de que el dictamen de un predio lo clasifique como rehabilitación podrían presentarse dos situaciones:

1. El propietario sí acepta el resolutivo del dictamen, en este caso, se contrata a una empresa para que con base en el dictamen presente una propuesta de rehabilitación y eventualmente estudios complementarios si fuera necesario. La propuesta debe ser avalada por el ISC.
2. El propietario no acepta el dictamen, entonces debe solicitar al ISC una revisión del dictamen para confirmar la clasificación, el nuevo dictamen puede ser realizado por otro DRO. En caso de que se confirme la clasificación, se contrata a una empresa para que con base en el dictamen presente una propuesta de rehabilitación y eventualmente estudios complementarios si fuera necesario. La propuesta debe ser avalada por el ISC.

3.3 Actualización de mapas de distribución espacial de grietas.

Con base en el conocimiento de la ubicación de las grietas detectadas, es posible en principio actualizar los mapas de grietas existentes para definir con mayor precisión las áreas susceptibles a agrietamiento y plantear programas de monitoreo y prevención de daños en edificaciones e instalaciones municipales.

La Alcaldía de Iztapalapa cuenta con un mapa de este tipo (Fig. 3.3.1).

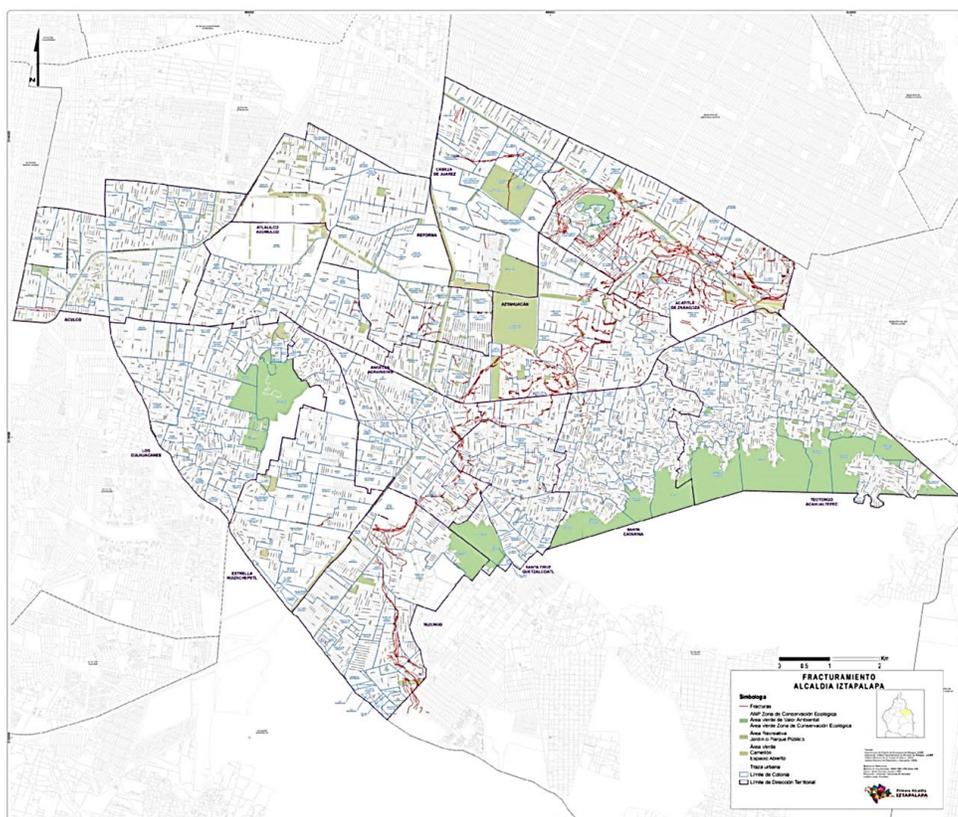


Fig 3.3.1 Mapa de grietas para la Alcaldía Iztapalapa (SCER)

Ampliando este mapa, es posible apreciar la problemática existente en zonas específicas como Santa Cruz Meyehualco y Santa María Aztahuacán (Fig. 3.3.2).



Fig 3.3.2 Mapa de grietas para las colonias de Santa Cruz Meyehualco y Santa María Aztahuacán (SCER)

Es importante subrayar sin embargo que este tipo de mapas presenta serias limitaciones.

- Los mapas publicados por diferentes instituciones presentan frecuentemente contradicciones flagrantes entre sí. Ocurre en efecto que los mapas se dibujen a partir de levantamientos esquemáticos y que las grietas reportadas no hayan sido georreferenciadas.
- Los mapas contienen generalmente una parte subjetiva importante. Durante el levantamiento de campo es común que se clasifiquen como grietas simples daños en el pavimento o trazas de trincheras para obras hidráulicas. Es común que se dejen los levantamientos a jóvenes inexpertos.
- Un número importante de grietas reportadas son en realidad grietas *inferidas* a partir de mediciones geofísicas (georadar) cuya confiabilidad es extremadamente limitada.
- Es común interpolar o extrapolar grietas visibles en las vialidades hacia terrenos construidos donde no es realmente posible confirmar que exista la grieta. En muchos casos, esta extrapolación o interpolación se realiza sin señalarlo explícitamente mediante una indicación convencional clara (por ejemplo, con línea discontinua).
- Los mapas que solamente reportan la traza de las grietas no dan información respecto a otros aspectos esenciales desde el punto de vista de los daños que pueden provocar, como la magnitud del escalón que presentan (en su caso). En este tipo de mapa, todas las grietas presentan el mismo grado de peligrosidad.

- f) Las grietas presentan una evolución marcada con el tiempo. Su geometría puede verse alterada por sismos como el del 19 de septiembre de 2017 y por trabajos de repavimentación. Los mapas quedan por tanto rápidamente obsoletos. En este aspecto, toman una gran relevancia las bases de datos fotográficos (3.6) y herramientas como el Google Earth o Google Maps (inciso 3.6).
- g) Algunas instituciones publican mapas en los que se presentan simultáneamente grietas superficiales y fallas geológicas que corresponden a fenómenos a escalas muy diferentes de profundidad y con un origen totalmente distinto.

La consecuencia principal de lo anterior es que los mapas disponibles deben considerarse solamente como indicativos. Son documentos de trabajo evolutivos para especialistas. Por su escasa precisión, si se publican, constituyen una fuente de confusiones y de posibles conflictos o reclamaciones por parte de dueños de lotes particulares.

Parece preferible limitarse a indicar en documentos oficiales la ubicación general de las zonas susceptibles de presentar agrietamiento (Figura 3.3.3).

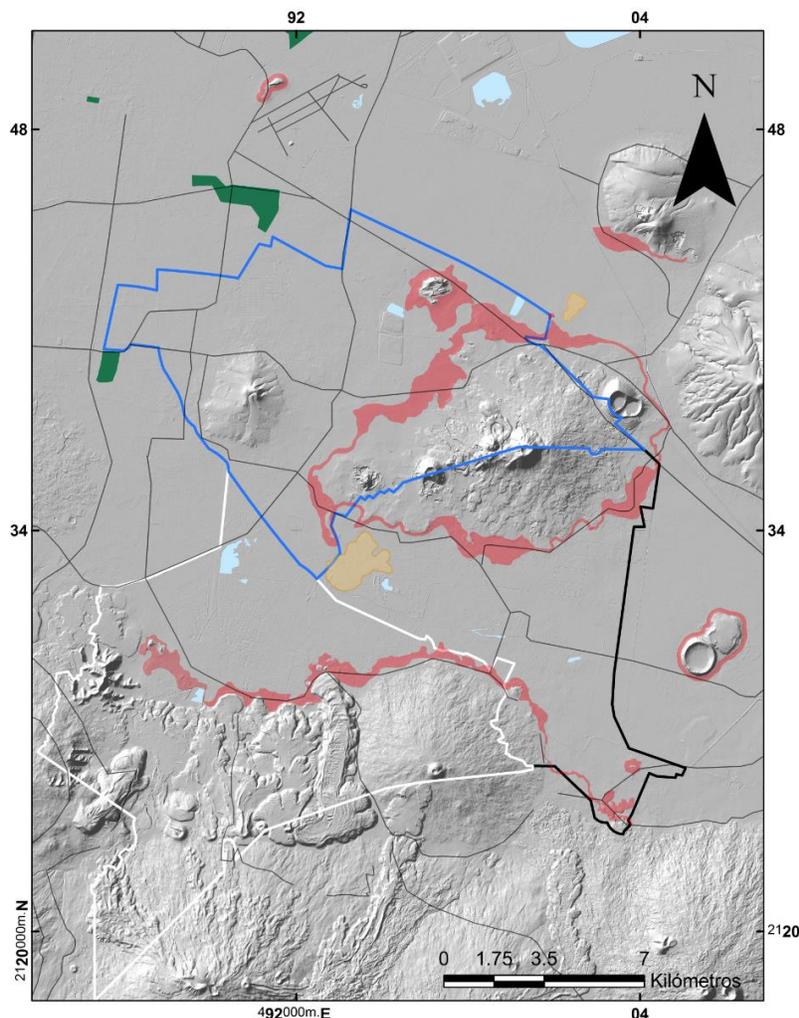
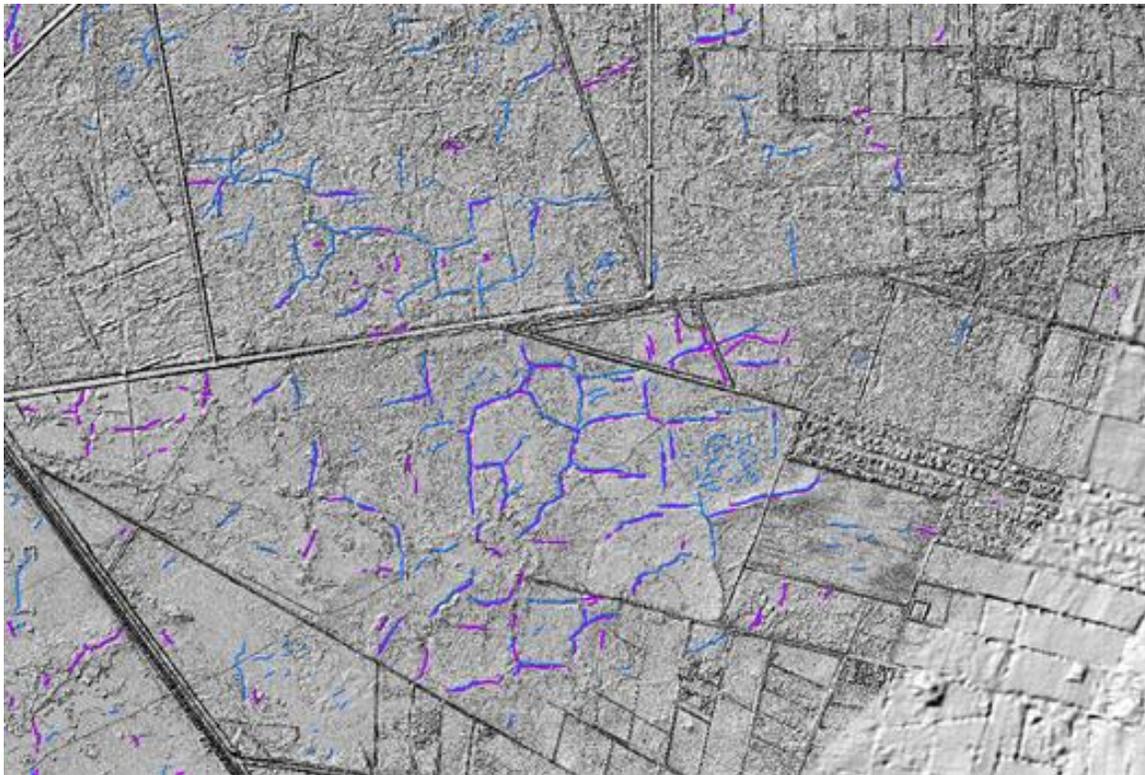


Fig. 3.3.3 Zonas susceptibles de presentar agrietamiento por transición abrupta (rojo) y por anomalías estratigráfica (amarillo)

Debe señalarse la importancia de los trabajos de captura no físicos consistentes en trazar las grietas visibles en Modelos Digitales de Relieve Sombreado (MDRS) provenientes de barridos de luz láser LiDAR (Fig. 3.3.4)



— Grietas detectadas en el barrido LiDAR 2012 — Grietas detectadas en el barrido LiDAR 2010

Fig. 3.3.4 Trazo de grietas visibles en MDRS.

3.4 Elaboración de proyecto de Norma para construcción en zonas con agrietamiento

Con base en el conocimiento técnico adquirido sobre la generación y propagación de grietas en el suelo, es posible trabajar en un proyecto de Normatividad para la construcción en predios con agrietamiento del suelo. Un documento de este tipo deberá definir lineamientos y recomendaciones geotécnico-estructurales para la construcción de edificaciones en predios con agrietamiento en el suelo.

Las Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Cimentaciones vigentes (NTCDCC, 2017) ya mencionan explícitamente el problema del agrietamiento:

En la Tabla 2.3.1 “Requisitos mínimos para la investigación del subsuelo” se señala para las ZONAS I a III: Detección por procedimientos directos, eventualmente apoyados en métodos indirectos, de rellenos sueltos, galerías de minas, grietas y otras irregularidades. Se señala asimismo que los procedimientos para localizar rellenos artificiales, galerías de minas y otras oquedades deberán ser directos.



es decir basados en observaciones y mediciones en las cavidades o en sondeos. Los métodos indirectos, incluyendo los geofísicos, solamente se emplearán como apoyo de las investigaciones directas.

En el proceso de revisión actualmente en curso por parte del Subcomité Revisor de Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Cimentaciones del Comité Asesor en Seguridad Estructural del Gob CDMX, se ha planteado ampliar significativamente las consideraciones relativas al agrietamiento. Se incluirán en particular comentarios sobre la evaluación de las grietas en función de su tipo y grado de peligrosidad (Auvinet, G., Méndez, E. y Juárez, M., 2017) y se darán referencias para guiar a los diseñadores de cimentaciones respecto a las medidas de mitigación que pueden adoptarse (Auvinet, Sánchez, y Pineda, 2019; Sánchez y Auvinet, 2021).

3.5 Definición de la estratigrafía de detalle de zonas afectadas.

Con base en la información geotécnica generada en los nuevos estudios, se interpretaron los resultados de los sondeos y de las pruebas de campo y laboratorio disponibles con el propósito de definir la estratigrafía en zonas afectadas por el fenómeno de agrietamiento, empleando la metodología geoestadística como herramienta de trabajo.

Como resultado, se definieron modelos que permitan describir la distribución espacial de las propiedades geotécnicas (contenido de agua y resistencia a la penetración de la punta, q_c , del cono eléctrico, CPT) en ejes preferenciales dentro de las zonas afectadas.

Se recurrió a la metodología geoestadística que consiste en seguir los pasos siguientes:

- Definición de campo aleatorio en el dominio de interés
- Análisis estructural del campo (análisis estadístico)
- Análisis de tendencia para definir un campo estacionario
- Análisis de correlación espacial
- Estimación
- Evaluación de la variancia de estimación
- Mapeo

Estos distintos pasos han sido descritos con detalle en varias publicaciones (Auvinet, 2002)

En La Fig. 3.5.1 se muestra un perfil de este tipo elaborado a lo largo de la calzada Ermita-Iztapalapa. En este caso, el perfil que se presenta en la parte superior de la figura es el del contenido de agua del suelo estimado. En la parte inferior de la figura se representa la desviación estándar de esta estimación que indica el grado de incertidumbre remanente después de la estimación.

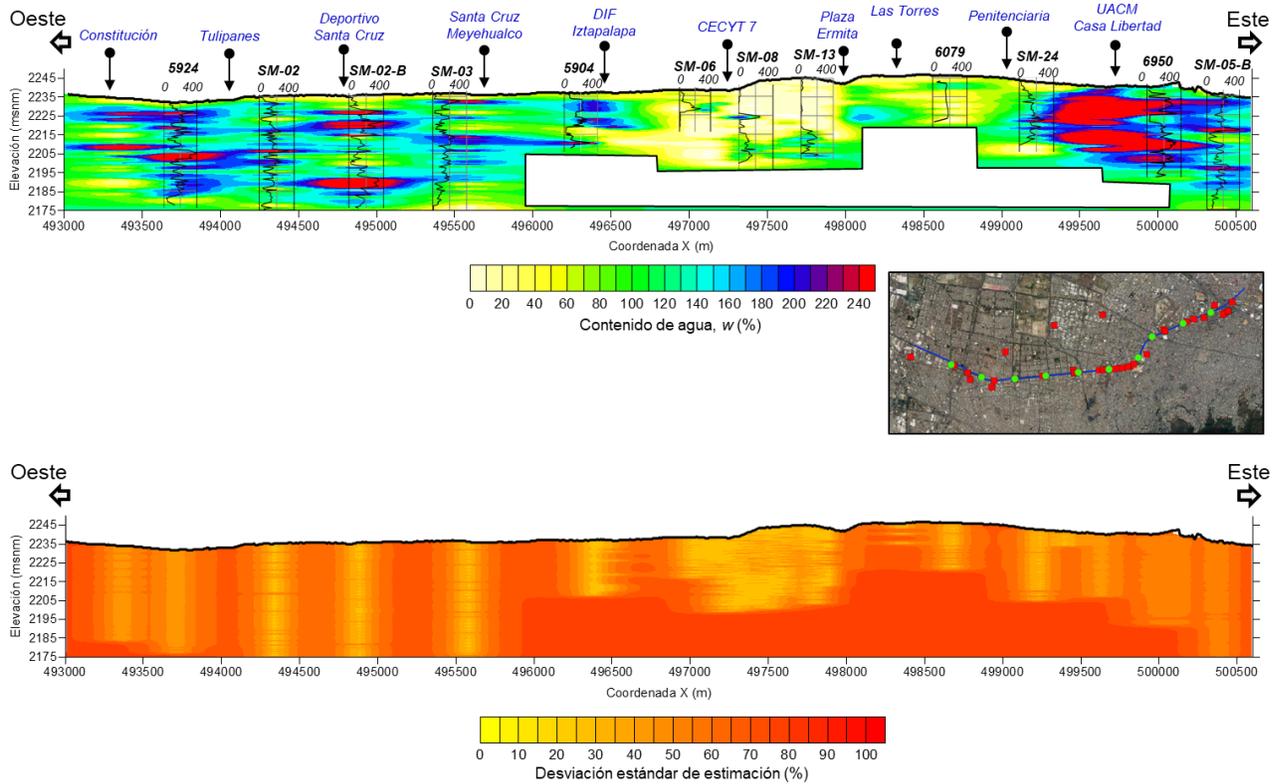


Figura 3.5.1 Perfil de contenido de agua en el subsuelo a lo largo de la calzada Ermita-Iztapalapa.

3.6 Banco fotográfico.

Se ha trabajado en la actualización del archivo del banco fotográfico sobre las grietas y las construcciones afectadas por grietas.

Para este propósito, se ha continuado documentando nuevas grietas (Fig. 3.6.1) y la evolución de las construcciones afectadas por ellas a través del tiempo (Fig. 3.6.2).

Por otra parte, para optimizar el acceso y funcionalidad a los usuarios del Banco Fotográfico, se implementó una Base de Datos integrada a un sistema de cómputo comercial, en el Anexo D se presenta el manejo de la Base de Datos y el Banco Fotográfico.



Fig. 3.6.1 Grieta detectada recientemente en Reclusorio Oriente, Iztapalapa (SCER)

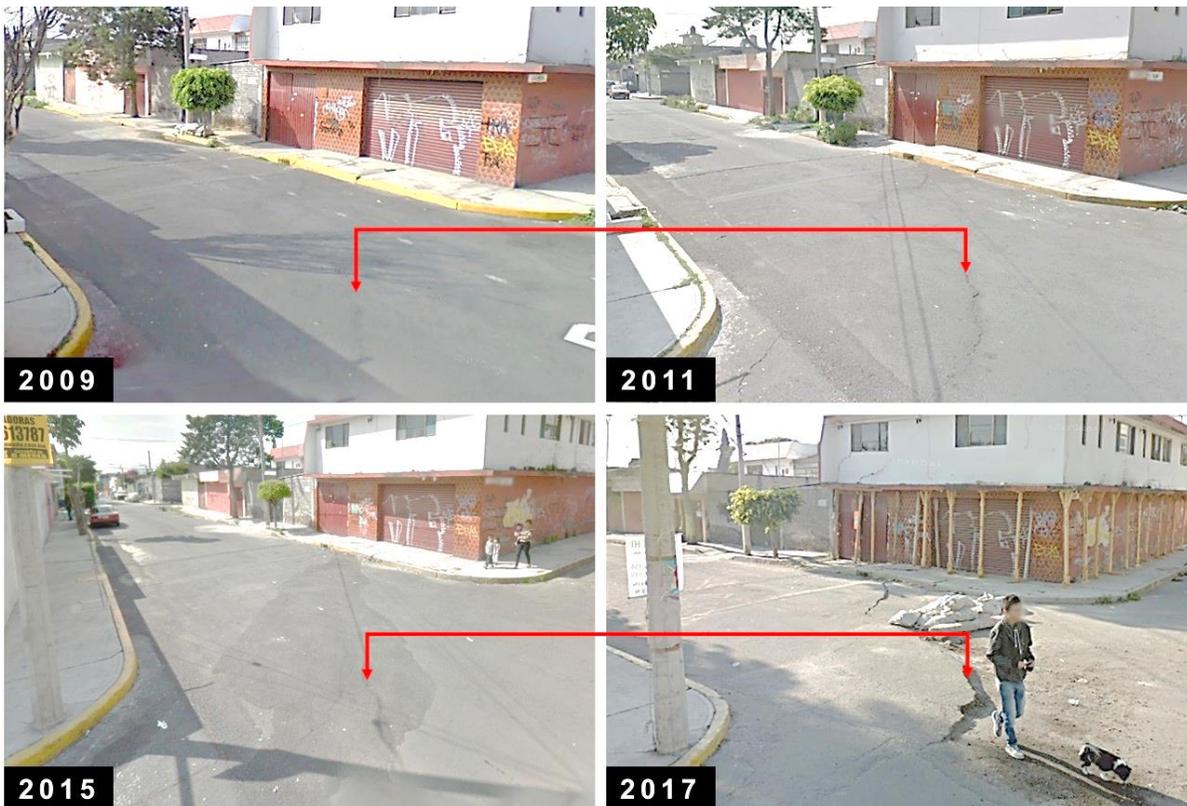


Fig. 3.6.2 Identificación de la presencia de una grieta y de su evolución en la vista que ofrecen Google Map



3.7 Revisión de predios para reubicación.

Se apoyó a las autoridades del Gobierno de la Ciudad para realizar una inspección física y evaluación de los predios que son considerados para la construcción de nuevas viviendas destinadas para la reubicación de personas cuyas viviendas han sido afectadas por grietas de nivel IV. (Fig. 3.7.1)



Fig. 3.7.1 Condiciones extremas de agrietamiento que justifican reubicación.

Durante la inspección, se puso especial atención a las condiciones geotécnicas que prevalecen dentro del predio (grietas en el suelo, rellenos no controlados, socavones, etc.) que puedan causar problemas de mal comportamiento de las nuevas construcciones.



Fig. 3.7.2 Terreno considerado para la reubicación de damnificados

3.8 Modelación avanzada de los mecanismos de agrietamiento.

Se continuó realizando análisis de modelación numérica avanzados recurriendo al método del elemento finito y mecánica de la fractura para definir los mecanismos de generación y propagación de grietas asociadas al bombeo profundo y a la variación del espesor de la formación de arcilla en los sitios de agrietamiento del suelo.

Las modelaciones por el método del elemento finito han confirmado el mecanismo de generación de grietas atribuible a variaciones bruscas en la profundidad de los depósitos profundos o de la roca basal que subyacen los estratos arcillosos en proceso de consolidación. Las grietas aparecen por la generación de superficies de falla de cortante y de esfuerzos de tensión superficiales (Fig. 3.8.1).

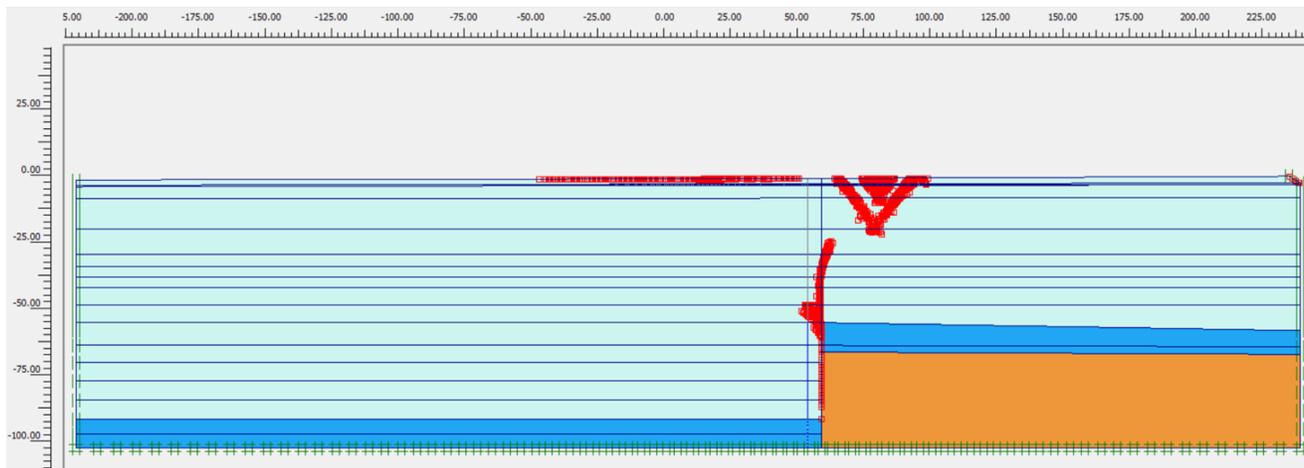


Fig. 3.8.1 Modelación con elemento finito del mecanismo de generación de grietas

Paralelamente, como parte de un proyecto de carácter más teórico y con el apoyo complementario de la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación del GobCDMX (SECTEI), se han realizado estudios de simulación de propagación de grietas recurriendo a la mecánica de fracturas. (Fig. 3.8.2) (ver publicación en Anexo H)

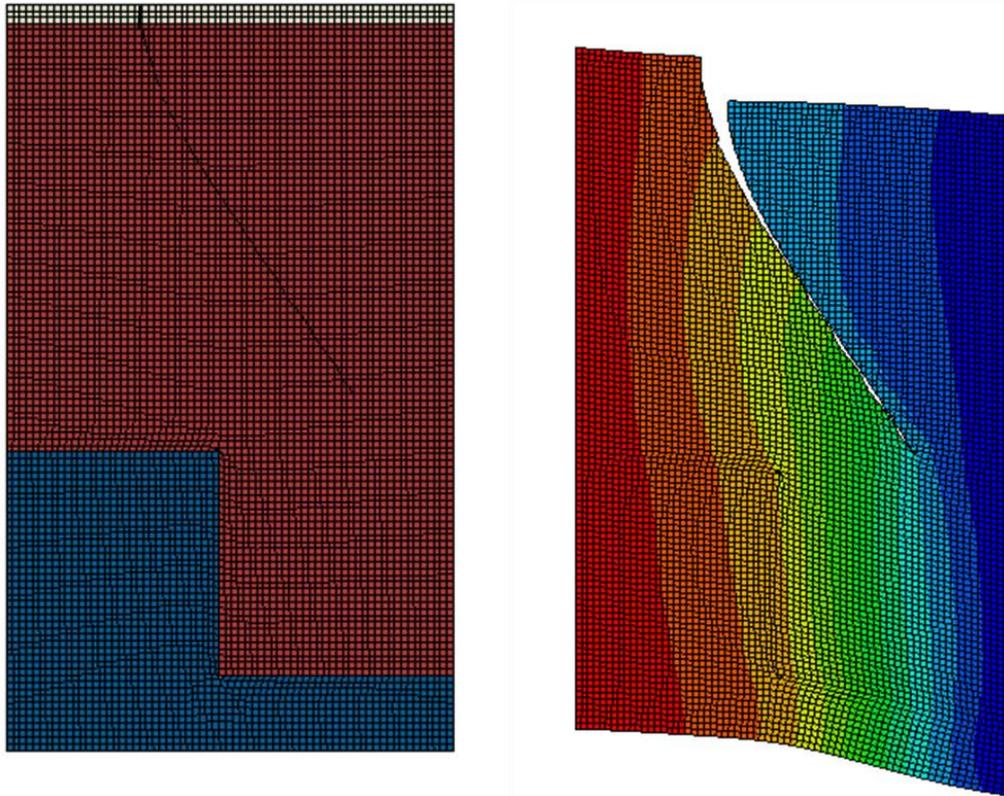


Fig. 3.8.2 Simulación numérica de generación de grietas basada en la mecánica de fracturas

3.9 Modelación del comportamiento sísmico del suelo en presencia de grietas.

Se estudió el comportamiento dinámico del suelo ante la presencia de grietas, para tal propósito se realizaron análisis de modelación numérica de elemento finito para definir el comportamiento dinámico del subsuelo con presencia de grietas.

Los resultados de estos trabajos han sido expuestos en diferentes foros incluyendo el evento: “México a través de los sismos: A más de 100 años de monitoreo e instrumentación” (17 a 19 de septiembre de 2020 y se presentan en el Anexo G.

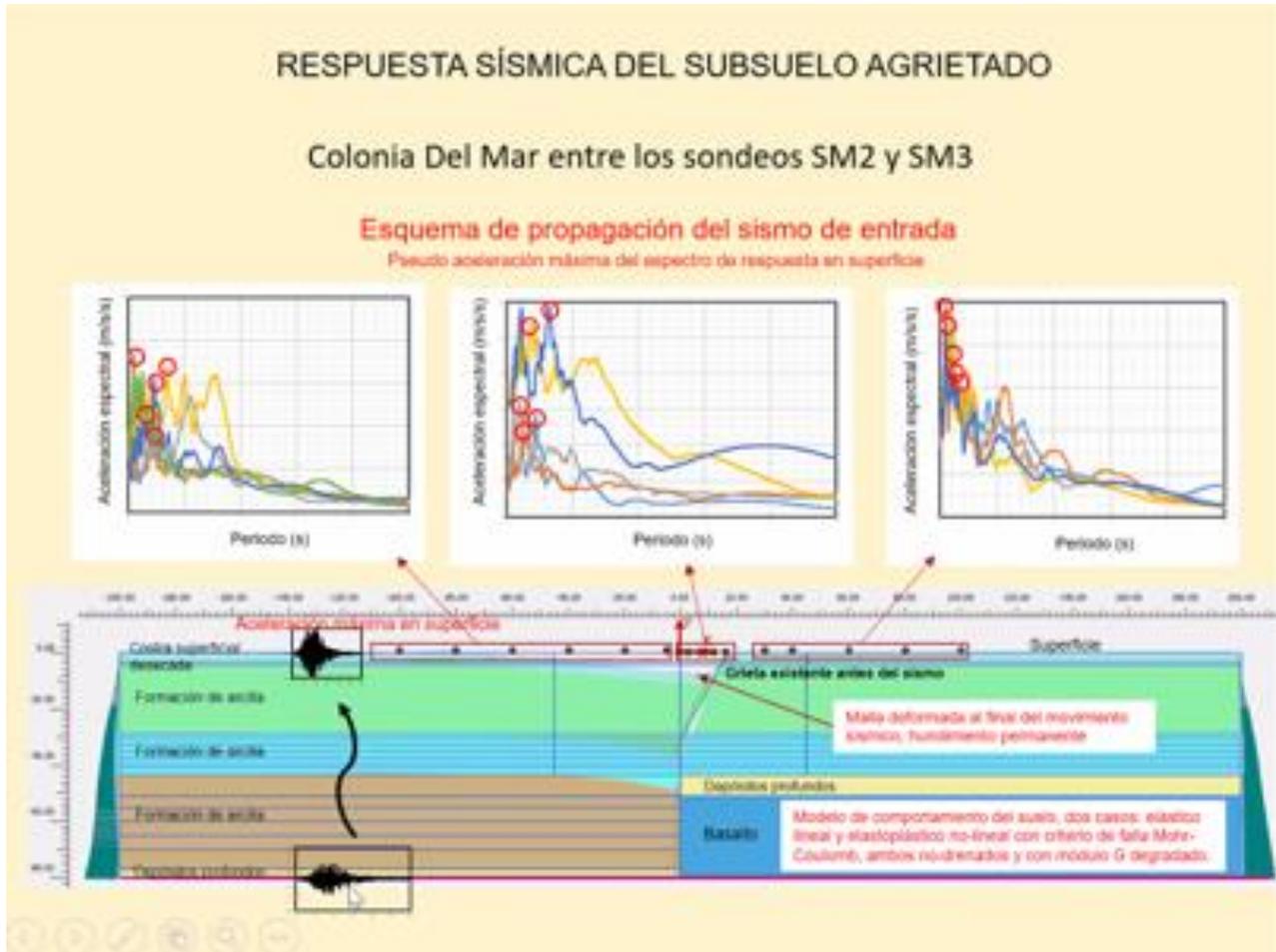


Fig. 3.9.1 Presentación de la Respuesta sísmica del subsuelo agrietado

Las conclusiones principales de estos estudios son las siguientes:

- En condiciones sísmicas, se observa una amplificación local de la aceleración en la proximidad de las grietas.
- Como consecuencia del evento sísmico, se presentan desplazamientos permanentes que modifican la geometría de las grietas y pueden incrementar sus escarpes en varias decenas de centímetros.

Estas conclusiones explican lo observado en el sur de la ciudad el 19 de septiembre de 2017.

3.10 Control de calidad en la implementación de soluciones de mitigación

Se dio asesoría a las autoridades de las distintas alcaldías para definir un proceso detallado para la colocación del material (arena) para formar las cajas disipadoras de deformaciones unitarias recomendadas para suavizar los cambios de perfiles de vialidades y mitigar los efectos destructivos de los escarpes de las grietas (Anexo H).

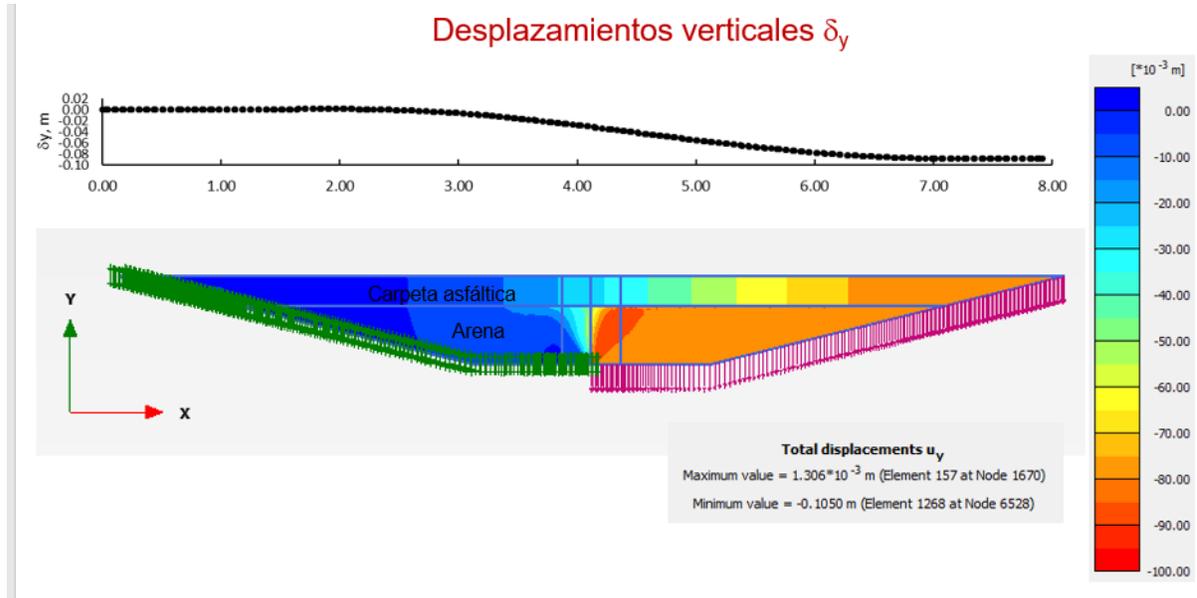


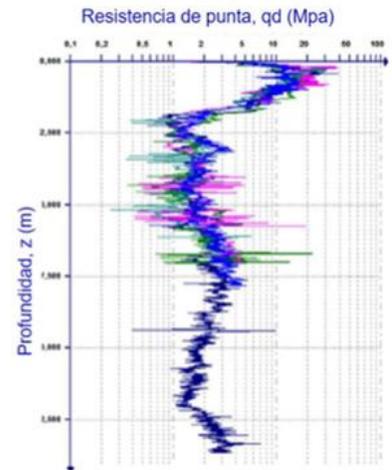
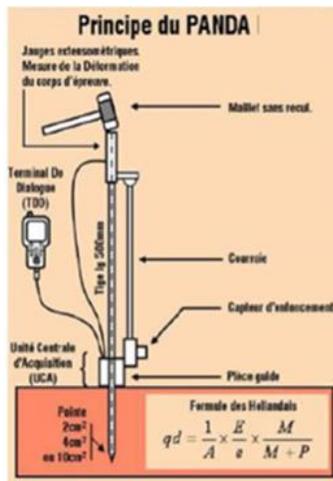
Fig. 3.10.1 Caja disipadora de deformaciones unitarias (Anexo H)



Fig. 3.10.2 Construcción de una caja disipadora

Se definieron los criterios de control de calidad de la compactación de la arena que fueron aplicados particularmente en la Alcaldía de Iztapalapa, donde se han intervenido un número considerable de grietas en el suelo empleando la caja de arena lo largo de la trayectoria de las grietas.

Con el fin de verificar la calidad de la compactación de la arena colocada en las cajas disipadoras, se han realizado pruebas con equipo de penetración dinámica portátil conocido como PANDA (Fig. 3.10.3) al final de la colocación de la arena (Anexo E).



(a) Principio general del equipo

(b) Conjunto Panda

(c) Penetrogramas obtenidos al final de un sondeo

Figura 3.10.3. Penetrómetro dinámico de energía variable PANDA.

Los resultados (Fig. 3.10.4) muestran que la compactación en los diferentes sitios es altamente variable.



Fig. 3.10.4 Presentación de sondeos realizados con equipo geotécnico PANDA

Desde el punto de vista de la mitigación de los efectos de las grietas, la arena puede encontrarse en cualquier estado de compactación. Sin embargo, para evitar deformaciones del pavimento es recomendable que se coloque en estado compacto.



3.11 Observación de zonas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM.

A la fecha, en la Alcaldía de Iztapalapa, se ha intervenido un número considerable de grietas en el suelo empleando como solución de mitigación, la construcción de una caja de arena a lo largo de la trayectoria de las grietas (Fig. 3.11.1).



Figura 3.11.1 Avance de trabajos de implementación de mitigación con caja disipadora (SCER, Iztapalapa)



Figura 3.11.1 Intervenciones en Santa Cruz Meyehualco (SCER, Iztapalapa)

Con el fin de evaluar la eficiencia de esta técnica de mitigación se ha considerado necesario monitorear, a lo largo del tiempo, el comportamiento de las grietas consideradas como representativas y que ya han sido intervenidas.

Esta labor ha sido realizada por la SCER de la Alcaldía Iztapalapa. Se ha podido observar en particular el buen comportamiento de las grietas tratadas durante el sismo del 23 de junio de 2020.

En la misma forma, se ha seguido, a través de diferentes presentaciones (Fig. 3.11.2), el trabajo realizado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) para la rehabilitación de tuberías afectadas por grietas en drenaje en la Alcaldía Iztapalapa.

En el Anexo I se presenta una colección fotográfica que muestra el estado actual de sitios con grietas que han sido intervenidas por la SCER de la alcaldía Iztapalapa.



Fig. 3.11.2 Presentación de frentes de obra y rehabilitación de tuberías afectadas por grietas en drenaje. Alcaldía Iztapalapa (SACMEX)

De particular interés ha sido la observación del comportamiento de la zona afectada por las fracturas y de las grietas tratadas durante el sismo del 23 de junio de 2020.

Se observaron evidencias de agrietamiento en el Deportivo Santa Cruz Meyehualco (Fig. 3.11.3 y 3.11.4), correspondientes a la reactivación de una grieta preexistente.

También deben mencionarse los deslizamientos observados en la Laguna “El Fusible” en el lago de Texcoco (Anexo F)

No se observaron daños en zonas de grietas que se trataron con el sistema de cargas disipadoras.



Figura 3.11.3 Agrietamiento observado después del sismo del 23 de junio de 2020 en el Deportivo Santa Cruz Meyehualco.

Aspectos de la grieta 23/junio/2020



Figura 3.11.4 Agrietamiento observado después del sismo del 23 de junio de 2020 en el Deportivo Santa Cruz Meyehualco.



3.12 Definición de soluciones para situaciones particulares.

Se dio apoyo técnico a las autoridades para proponer soluciones alternativas de mitigación de daños provocados por la presencia de grietas en el suelo en algunas situaciones particulares.

3.12.1 Caja disipadora para condiciones particulares

Durante los trabajos de rehabilitación de vialidades afectadas por grietas con escalón que realiza la alcaldía de Iztapalapa desde el año 2019 y lo transcurrido en el año 2020, se han observado algunas condiciones particulares que demandan adecuaciones al diseño base de las cajas disipadoras. Por lo anterior, el Centro de Evaluación de Riesgos de la alcaldía Iztapalapa propuso las respectivas modificaciones que contribuyen a un buen comportamiento de las cajas disipadores Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos (SCER, 2019).

El Sistema de Aguas de la Ciudad de México también realiza trabajos de rehabilitación en las instalaciones hidráulicas. Toma en cuenta las recomendaciones básicas que se presentan en la Nota Técnica G-09 y aplica modificaciones que permiten adaptar la medida de mitigación a las condiciones particulares de cada problema.

Por lo anterior, la Comisión para la Reconstrucción solicitó al Instituto de Ingeniería de la UNAM proponer recomendaciones para los casos especiales, mismos que se discuten a continuación.

En respuesta a dicha solicitud, el II-UNAM elaboró la Nota Técnica NT G-20 "*Recomendaciones complementarias para la construcción de cajas disipadoras en casos especiales*", misma que se reproduce en el Anexo B.

Se reconoció que era conveniente ajustar las dimensiones de la caja de la solución estándar de la Nota técnica G-09 a las características de la grieta (Fig. 3.12.1). Por otra parte, en algunas situaciones, puede ser necesario proceder a una corrección geométrica del pavimento ampliando las dimensiones de la caja. Asimismo, en el caso de grietas múltiples sucesivas, es necesario modificar las dimensiones de la caja. Finalmente, Las cajas disipadoras pueden adaptarse ante la presencia de un graben (Véase Nota Técnica G-20).



Fig. 3.12.1 Especificaciones complementarias para la implementación de cajas disipadoras en vialidades

3.12.2 Trolebús elevado, Iztapalapa

El Comité de grietas y el II-UNAM fueron consultados para el diseño de la cimentación de los apoyos y cimentaciones de la línea de Trolebús Elevado en construcción sobre la calzada Ermita Iztapalapa, entre la estación Constitución de 1917 y la de Santa Martha Acatitla.



Fig. 3.12.2.1 Trolebús elevado

El Comité de grietas realizó una inspección del trazo con el apoyo de la SCER de la alcaldía de Iztapalapa, y participación de la Comisión para la reconstrucción, para detectar anomalías en el suelo. Con las observaciones realizadas durante esta visita y con la información de la base de datos del II-UNAM, se pudieron localizar diferentes sitios críticos. En estos sitios, se encontraron grietas con escalones de distintas magnitudes, pero también zonas de depresión del terreno (vados) atribuidos a la consolidación del terreno en presencia de una roca basal de profundidad variable.

Tabla 3.12.2.1 Algunos sitios con anomalías del suelo a lo largo de la línea del Trolebús elevado

Tabla 1 ubicación de apoyos afectados por las grietas

Sitio	Ubicación	Apoyos afectados	Especificación de tratamiento de grietas	Observaciones
1	Alrededor del cadenamiento, 0+909	52, 54, 55, 58	Si aplica	Presencia de agrietamiento con afectación reducida. Corresponde al sitio 1 que detectó el Instituto de Ingeniería (IINGEN)
2	Alrededor del cadenamiento, 1+845	100	Si aplica	Presencia de ondulaciones con posibilidad de generar grietas. Corresponde al sitio A que detectó IINGEN
3	Alrededor del cadenamiento, 1+860	104	Si aplica	Presencia de una serie de ondulaciones con posibilidad de generar grietas
4	Alrededor del cadenamiento, 2+050	108	no aplica	Presencia de agrietamiento, ligero desplazamiento vertical

En el caso de cajón de cimentación de apoyo o estación del trolebús sobre grieta existente, se recomendó aplicar la solución de la caja disipadora (Nota Técnica G-09) para minimizar futuras interacciones entre grieta y cajón (Fig. 3.12.2.1)

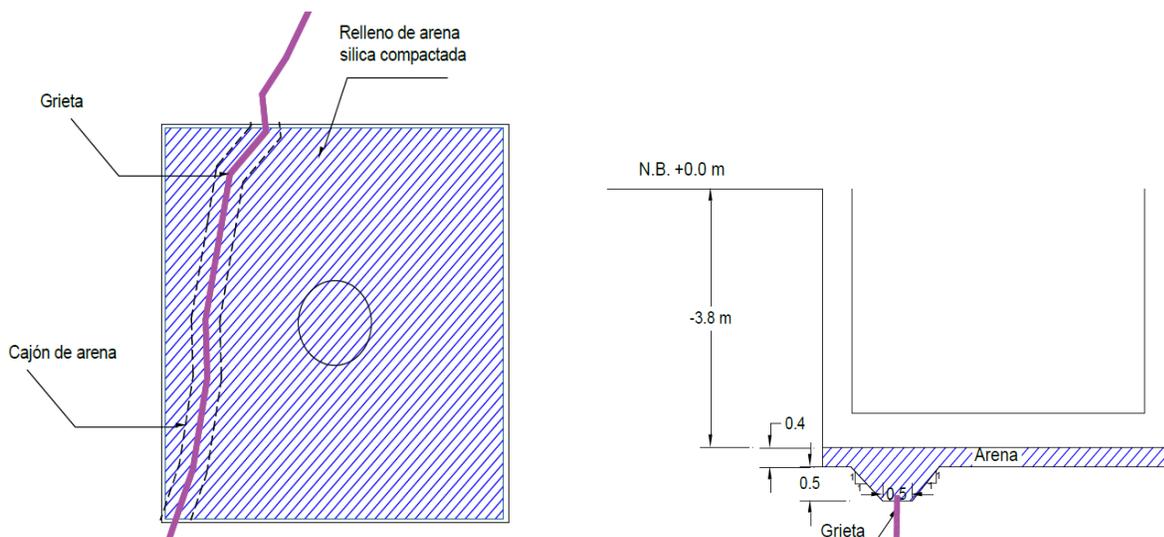


Fig. 3.12.2.1 Solución para la construcción de cajón de cimentaciones sobre grieta (Trolebus elevado, Iztapalapa)



Para renivelaciones de la vialidad en el caso de depresiones del terreno, se recomendó recurrir a terraplenes ligeros construidos siguiendo la metodología propuesta por Auvinet y Sánchez (2020) (Anexo H)



4. CONCLUSIONES

Los trabajos e investigaciones presentados en este informe han contribuido a mejorar en forma significativa el conocimiento sobre la problemática del agrietamiento del suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

Se ha avanzado en particular en el entendimiento del mecanismo de formación de las grietas y de su comportamiento en condiciones sísmicas

Además, se ha podido ofrecer asesoría y acompañamiento técnico al Instituto para la Seguridad de las Construcciones y a la Comisión para la Reconstrucción en la definición e implementación de soluciones para las vialidades, instalaciones hidráulicas y edificaciones afectadas en dichas demarcaciones.

La magnitud y complejidad del problema y la importancia de la población afectada conducen a concluir que, a pesar de los grandes avances logrados, es necesario continuar estudiando el fenómeno y monitorear y supervisar la implementación de las soluciones propuestas.



5. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Auvinet, G. y Arias, A., 1991, "*Propagación de grietas*", Memoria, Simposio sobre "Agrietamiento del suelo", SMMS (SMIG), pp. 21-31, agosto, CDMX, México.
3. Auvinet, G., 1993, "*Cours de mécanique des milieux continus*", Notes de cours, Ecole Nationale Supérieure de Géologie, Nancy, France
4. Auvinet, G., 2008, "*Fracturamiento de suelos, estado del arte*", Volumen especial "Conferencias temáticas: Avances recientes", Memoria, XXIVª Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Aguascalientes, México, pp. 299-318.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.



14. 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.
15. 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.
16. Auvinet G., Sánchez J. y Pineda A., 2019, "Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo", Ingeniería Investigación y Tecnología, Vol. XX, Núm. 4, ISSN 2594-0732 FI-UNAM, Artículo Arbitrado.
17. Auvinet Guichard, G. y Pineda Contreras, A. R., 2019, "Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo", Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, volumen XX (número 4), octubre-diciembre 2019 1-8, ISSN 2594-0732 FI-UNAM artículo arbitrado. Información del artículo: Recibido: 27 de marzo de 2019, aceptado: 21 de agosto de 2019.
18. Auvinet Guichard, G. y Sánchez Guzmán, J., 2020, "Diseño de terraplenes ligeros para control de asentamientos", Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, volumen XXI (número 4), octubre-diciembre 2020 1-9, ISSN 2594-0732 FI-UNAM artículo arbitrado. Información del artículo: Recibido: 20 de abril de 2020, aceptado: 30 de agosto de 2020.
19. 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.
20. 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)
21. 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.
22. Benham, P.P. y Crawford, R.J., 1987, "*Mechanics of Engineering Materials*", Longman Scientific & Technical, USA.
23. Barenblatt, G. I., 1962, "*The mathematical theory of equilibrium cracks in brittle fracture*", Advances in Applied Mechanics, vol. 7, pp. 55–129.
24. Cabral Cano, E., Cifuentes-Nava, O. Díaz-Molina, E. Hernández-Quintero, A. Hurtado-Díaz, 2004. "*Investigación del Proceso de Subsistencia, 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.
25. 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.
26. 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, Mexico.
 27. 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.
 28. 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.
 29. 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.
 30. 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.
 31. 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.
 32. 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).
 33. Chaosheng Tang, Bin Shi, Chun Li, Lizheng Zhao, Baojun Wang, 2008, “*Influencing factors of geometrical structure of surface shrinkage cracks in clayey soils*”, Engineering Geology 101, pp. 204-217.
 34. 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.
 35. Covarrubias, S.W., “*Cracking of Earth and Rockfill dams*”, Harvard Soil mechanics Series, 82.
 36. Der Kiureghian, A., 1996, “*A coherency model for spatially varying ground motions*”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 25 pp. 99-111.
 37. 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.



38. Enbeita Basterrechea, I., 2006, "*Inestabilidades térmicas. Células de Bénard*", Trabajo de fin de grado, Universidad del País Vasco, España.
39. Espinace, R, G Villavicencio, and L Lemus. 2013. "The PANDA Technology Applied to Design and Operation of Tailings Dams." Tailings2013. First International Seminar on Tailings Management, no. August 2013.
40. Espinace, R, G Villavicencio, J Palma, P. Breul, C Bacconnet, M A Benz, and R Gourvès. 2013. "Stability of Chilean' s Tailings Dams with the Panda Penetrometer," Bolton: 519–22.
41. Espinosa Villalpando Luis Angel, 2011, "Mediciones de microtemores para estimar el origen de agrietamiento en la Delegación Iztapalapa, CDMX", Tesis para obtener el grado de ingeniero Civil, Facultad de Ingeniería, UNAM, CDMX
42. Esteva, J., 2018, Comunicación personal.
43. 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.
44. Gabriel Villavicencio, A., Pierre Breul, Claude Bacconnet, Andy Fourie, and A. Raúl Espinace. 2016. "Liquefaction Potential of Sand Tailings Dams Evaluated Using a Probabilistic Interpretation of Estimated In-Situ Relative Density." Revista de La Construcción 15(2): 9–18.
45. 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.
46. 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.
47. Gourvès, Roland. 1991. Le PANDA?: Pénétrömètre Dynamique Léger à Énergie Variable Pour La Reconnaissance Des Sols. Clermont-Ferrand.
48. 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.
49. Hernández Cruz G.B., 2007, "*Zonificación de riesgos por hundimiento y agrietamiento al noroeste de la delegación Tlahuac, Distrito Federal*", Tesis de licenciatura en geografía, Facultades de Filosofía y Letras, Colegio de geografía, UNAM.
50. 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.
51. 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.
52. Instituto de Ingeniería, Laboratorio de Geoinformática, UNAM, 2015, "SIMOH, Sitio internet: <http://proyectos2.iingen.unam.mx/SIMOH/>"
53. 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 alcaldías, 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.



54. ISSMGE TC36, 2009, Proceedings, Workshop on "*Geotechnical Engineering in urban areas affected by land subsidence*", ISSMGE, Instituto de Ingeniería, UNAM, and SMMS, CDMX, México.
55. 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.
56. Juárez Badillo E., 1991, "*Grietas por fuerzas de filtración*". Memoria del Simposio "Agrietamiento de suelos", SMMS (SMIG), pp.39-42, CDMX, México
57. Juárez Luna G., 2002, "*Aplicación de la mecánica de fracturas a problemas de geotecnia*", Tesis de maestría, ESIA; IPN, CDMX, México
58. Kezdi, A., 1976 "*Problemas de física de los suelos*", SMMS, CDMX.
59. 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.
60. 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.
61. 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.
62. 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.
63. 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
64. 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
65. 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.
66. 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.
67. 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.
68. 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 Ciencias en Geología. Opción riesgos geológicos, ESIA Unidad Ticoman, IPN, CDMX.



69. 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.
70. 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.
71. 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.
72. 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.
73. Mooser, F., 2018, “*Geología del valle de México y otras regiones del país*”, Colegio de Ingenieros Civiles de México, CDMX, México.
74. 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.
75. 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.
76. NF-P-94-063. 2011. *Contrôle de La Qualité Du Compactage?: Méthode Au Pénétrromètre Dynamique à Énergie Constante*. 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex.
77. NF-P-94-105. 2012. *Contrôle de La Qualité Du Compactage?: Méthode Au Pénétrromètre Dynamique à Énergie Variable*. 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex.
78. 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.
79. 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.
80. Pacheco, J., 2007, “*Modelo de subsidencia del Valle de Querétaro y predicción de agrietamientos superficiales*”, Tesis doctoral, Centro de Geociencias, UNAM, pp. 253.
81. 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.
82. 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.
83. 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.
84. 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.



85. Sánchez Guzmán, J. y Auvinet Guichard, G., 2021, "Mejoramiento de terreno afectado por grietas para la cimentación de viviendas de mampostería", Revista Ingeniería, Investigación y Tecnología, volumen XXII (número 1), enero-marzo 2021 1-9, ISSN 2594-0732 FI-UNAM artículo arbitrado. Información del artículo: Recibido: 5 de junio de 2019, reevaluado: 11 de agosto de 2020, aceptado: 19 de septiembre de 2020.
86. Sánchez Guzmán, J. y Auvinet Guichard, G., 2020, "Modelado con medios discretos de la mitigación de daños inducidos por grietas del suelo", Memorias, XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Guadalajara, Jalisco, México.
87. Sanglerat, Guy. 1972. *The Penetrometer and Soil Exploration*. Developments in Geotechnical Engineering. ed. Elsevier. New York: Elsevier.
88. 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.
89. Santoyo, E., 2010, "Exploración del suelo", Métodos directos e indirectos, muestreo y pruebas de campo", Vigésima Conferencia Nabor Carrillo, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, Acapulco. México.
90. SCER, 2020. "Ensayos de Penetración PANDA en cajones disipadores", Fichas Técnicas elaboradas por el Laboratorio de Suelos de la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos Iztapalapa, Ciudad de México, México.
91. SCER, 2020. "Estado actual de las cajas disipadoras de deformaciones", Fichas Técnicas elaboradas por el Laboratorio de Suelos de la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos Iztapalapa, Programa para la mitigación de grietas en Iztapalapa "ACUPUNTURA URBANA", Ciudad de México, México.
92. 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.
93. 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.
94. 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.
95. 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.
96. 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.
97. Vazquez, 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:
98. 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.



99. Waitz, P., 1910, "*Excursión a la Sierra de Santa Catarina*", Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Tomo VII:
100. Zeevaert, L., 1988, "*Sismo-geodinámica de la superficie del suelo y cimentación de edificios en la Ciudad de México*". Edición Privada. CDMX, México.



ANEXOS

A. Minutas de reuniones del Comité de grietas y listas de asistencia

B. Nota Técnicas

C. Recorridos de campo

D. Banco fotográfico

E. Control de calidad de medidas de mitigación

F. Estudios de problemas específicos

G. Comportamiento sísmico del suelo agrietado

H. Artículos relevantes

I. Estado actual de sitios con grietas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO A

**MINUTAS DE REUNIONES DEL COMITÉ DE GRIETAS Y LISTAS DE
ASISTENCIA**



RELACIÓN DE REUNIONES DEL COMITÉ DE GRIETAS

FECHA	REUNIÓN	TIPO
2020/02/04	Reunión de información a Colectivos de representantes de vecinos de Iztapalapa y Tláhuac	Comunicación
2020/02/12	14ª Reunión del Comité de grietas	Ordinaria
2020/02/26	Revisión de la información del Atlas de Riesgos de la Ciudad de México. Secretaría de Gestión Integral de Riesgos y Protección Civil – II-UNAM	Concertación
2020/04/20	Informe de avance de los estudios de exploración profunda y los avances de los trabajos del Comité de Grietas, a distancia a través de la plataforma Zoom®. Comisión para la Reconstrucción – ISC – Colectivo Ciudadanía 19S – II-UNAM	Comunicación
2020/05/14	15ª Reunión del Comité de grietas	Ordinaria
2020/05/26	Revisión de las propuestas de rehabilitación de las Unidades Habitacionales, Molino 25, Molino 35 y El Parque	Extraordinaria
2020/07/21	Reunión de concertación del comité de grietas. Revisión de daños ocasionados por el sismo del 23 de junio y Resumen de avances en la detección y tratamiento de grietas en Tláhuac	Extraordinaria
2020/07/23	Revisión de las propuestas de estudios complementarios de exploración geotécnica y de topografía. Comisión para la Reconstrucción- II-UNAM	Concertación
2020/08/07	Revisión información existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacan y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa.	Concertación
2020/08/20	Presentación de trabajos de exploración a MUPCananea	Comunicación
2020/08/26	Reunión de concertación. Problemática de Santa Cruz Meyehualco y Santa María Aztahuacán. Con SACMEX y CERG Iztapalapa	Concertación
2020/09/04	Revisión existente sobre el agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacán y Santa Cruz Meyehualco, Alcaldía Iztapalapa	Concertación
2020/10/07	Condiciones del agrietamiento en las colonias Santa María Aztahuacán y Santa Cruz Meyehualco.	Comunicación
2020/10/29	Reunión de concertación Loma de San Lorenzo, Iztapalapa.	Concertación
2020/11/05	16ª Reunión ordinaria del Comité de Grietas	Ordinaria



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO B

NOTAS TÉCNICAS



Relación de Notas Técnicas elaboradas por el II-UNAM.

NOTA TÉCNICA	TÍTULO	FECHA DE ENTREGA
	ADDENDUM A LA NT G-18 "AMPLIACIÓN DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA"	15/09/2020
NT G-19	MITIGACIÓN DE DAÑOS EN VIVIENDAS AFECTADAS POR GRIETAS	18/02/2020
NT G-20	RECOMENDACIONES COMPLEMENTARIAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAJAS DISIPADORAS EN CASOS ESPECIALES	18/02/2020
NT G-21	INSPECCIÓN DE LOS PREDIOS UBICADOS EN JOSÉ OJEDA Mz. 3, Lts. 22 Y 23, COL. EJERCITO DE ORIENTE ZONA PEÑON, IZTAPALAPA	16/04/2020
NT G-22	UBICACIÓN DE SONDEOS GEOTÉCNICOS ADICIONALES EN LA COLONIA LA PLANTA Y UNIDAD HABITACIONAL CANANEA, ALCALDÍA IZTAPALAPA	10/06/2020
NT G-23	COMENTARIOS A LAS PROPUESTAS DE ESTUDIOS ADICIONALES EN PREDIOS PARTICULARES	06/06/2020
NT G-24	COMENTARIOS AL INFORME DEL PROYECTO REHABILITACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "MOLINO 25"	01/07/2020
NT G-25	COMENTARIOS AL INFORME DEL PROYECTO REHABILITACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "MOLINO 35"	01/07/2020
NT G-26	ALTERNATIVAS DE RECIMENTACIÓN UNIDAD HABITACIONAL "LA CONCORDIA ZARAGOZA"	24/07/2020
NT G-27	REVISIÓN DE LAS CONDICIONES DE AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS COLONIAS SANTA CRUZ MEYEHUALCO Y SANTA MARÍA AZTAHUACÁN, ALCALDÍA IZTAPALAPA	PENDIENTE
NT G-28	REVISIÓN DE UNA EDIFICACIÓN UBICADA EN EL ANDADOR 1 LA ROQUETA, AGRUPAMIENTO B17, CASA 06, UNIDAD HABITACIONAL ERMITA ZARAGOZA 2ª SECCIÓN, ALCALDÍA IZTAPALAPA	17/11/2020
NT G-29	COMENTARIOS AL INFORME "ESTUDIO DEL SUBSUELO" EN LA UNIDAD HABITACIONAL "EL PARQUE", PIRAÑA 12, COL. LA PLANTA	PENDIENTE
NT G-30	COMENTARIOS AL INFORME DE INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DE LA UNIDAD HABITACIONAL SANTA MARÍA AZTAHUACAN	PENDIENTE



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO C

RECORRIDOS DE CAMPO

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 la Tabla C.1. se indican los recorridos realizados y a continuación se presentan algunas observaciones derivadas de la inspección visual en cada sitio.

Tabla C.1. Recorridos de campo

FECHA	RECORRIDO	DEPENDENCIA O EMPRESA
11/02/2020	Inspección a sitios de reparaciones por parte de la CONAGUA en las colonias Sta Martha Acatitla, San Sebastián Tecoloxtitla, Sta. Cruz Meyehualco, La Era, Francisco Villa y Jacarandas, Iztapalapa	II-UNAM, CONAGUA, CERG
18/02/2020	Inspección de cuatro predios afectados por grietas en la colonia Sta Martha Acatitla (Dictámenes Geo estructurales), Iztapalapa	II-UNAM, CRCDMX
17/03/2020	Inspección de los predios ubicados en José Ojeda Lt 22 y 23, Ejercito de Oriente, Iztapalapa	II-UNAM, CRCDMX
23/06/2020	Grieta en el Deportivo Sta Cruz Meyehualco	II-UNAM
07/07/2020	Laguna El Fusible, Texcoco	II-UNAM, CONAGUA
10/08/2020	Inspección de once sitios de las colonias Sta Cruz Meyehualco y Sta María Aztahuacán, para detección de grietas y asentamientos diferenciales.	II-UNAM, CRCDMX, CERG
04/11/2020	Templo de la Santísima Trinidad, Tulyehuaco, Xochimilco	II-UNAM

C.1 Inspección de sitios de reparaciones por parte de la SACMEX en las colonias Sta Martha Acatitla, San Sebastián Tecoloxtitla, Sta. Cruz Meyehualco, La Era, Francisco Villa y Jacarandas, Iztapalapa

El personal del II-UNAM realizó un recorrido de campo a diversos sitios con presencia de grietas en la Alcaldía de Iztapalapa, donde el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX) y el CERG solicitaron recomendaciones complementarias para la implementación de cajas disipadoras para protección de tuberías y rehabilitación de calles y avenidas, debido a las condiciones de dimensiones, pendiente y proximidad entre grietas. Las recomendaciones derivadas de estos casos se integraron en la Nota técnica G-20 "Recomendaciones complementarias para la construcción de

cajas disipadoras en casos especiales”. En la Figura C.1 se indican los sitios visitados durante el recorrido y en las Figuras C.2 a C.6 se muestran algunos aspectos de los sitios visitados.

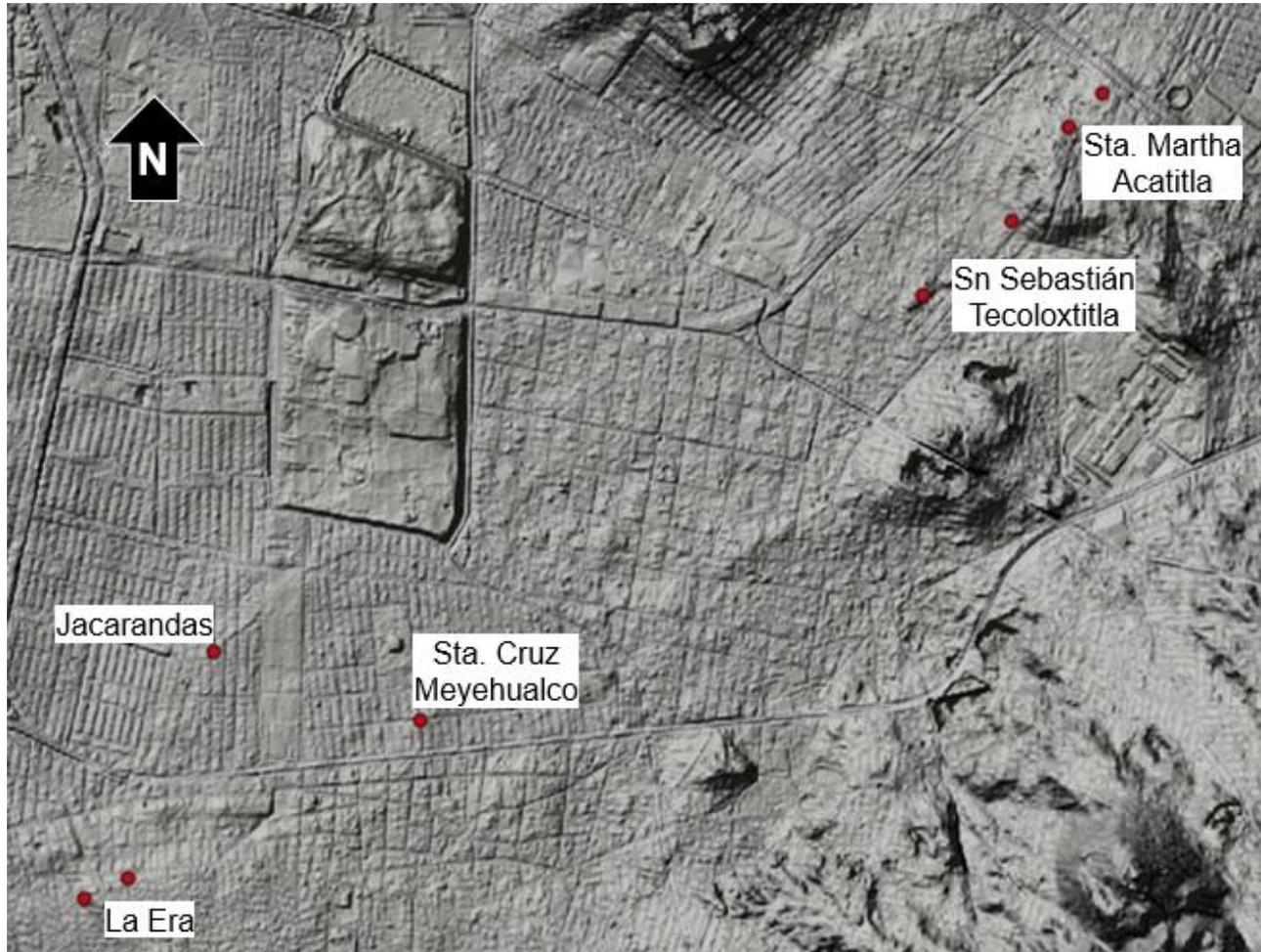


Figura C.1. Ubicación de sitios visitados en el recorrido de campo.



Figura C.2. Aspectos de los sitios recorridos en Sta. Martha Acatitla.



Figura C.3. Aspectos de los sitios recorridos en San Sebastián Tecoloxtitla.



Figura C.4. Aspectos de los sitios recorridos en Sta. Cruz Meyehualco.



Figura C.5. Aspectos de los sitios recorridos en la colonia Jacarandas.



Figura C.6. Aspectos de los sitios recorridos en la colonia La Era.

C.2 Inspección a cuatro predios afectados por grietas en la colonia Sta. Martha Acatitla (Dictámenes Geo estructurales), Iztapalapa

Con la finalidad de emitir una opinión y/o validar el dictamen emitido por las brigadas de especialistas a predios aparentemente afectados por la presencia de grietas en el suelo, el personal del II-UNAM realizó una inspección visual a cuatro predios previamente dictaminados en la categoría de reubicación. En la Figura C.7 se indica la ubicación de los predios inspeccionados y la clave de los dictámenes correspondientes, asimismo, en las Figuras C.8 a C.11 se presentan aspectos de los daños en las construcciones inspeccionadas.

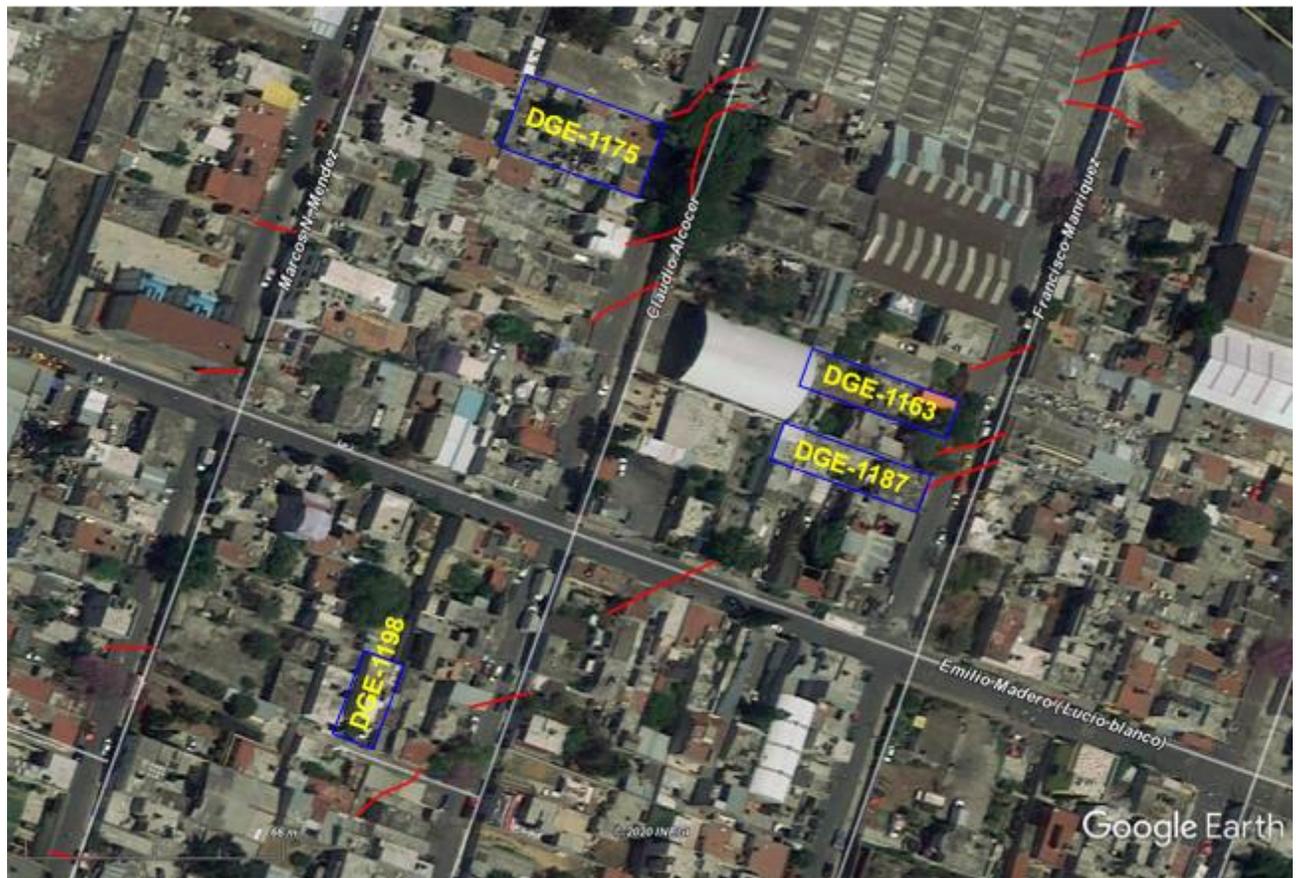


Figura C.7. Ubicación de predios inspeccionados.



Figura C.8. Aspecto de los daños en la vivienda DGE-1175

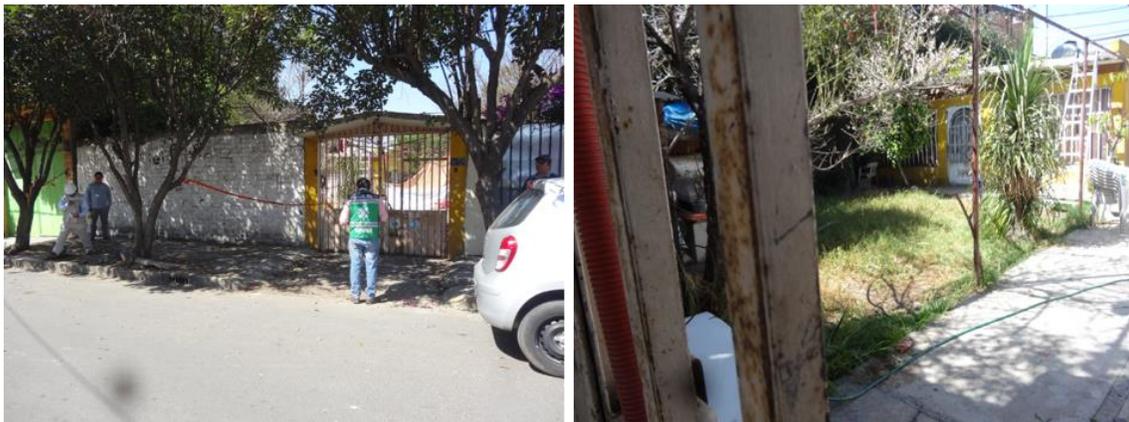


Figura C.9. Aspecto de la vivienda DGE-1163, aparentemente sin grietas en el suelo.



Figura C.10. Aspecto de los daños en la vivienda DGE-1187



Figura C.11. Aspecto de los daños en la vivienda DGE-1198

C.3 Inspección de los predios ubicados en José Ojeda Lt 22 y 23, Ejército de Oriente, Iztapalapa

Personal del II-UNAM y la Comisión para la Reconstrucción realizaron la inspección visual de las construcciones existentes en el predio ubicado en José Ojeda Mz. 3, Lotes 22 y 23, col. Ejército de Oriente, Zona Peñón, Alcaldía de Iztapalapa y predios colindantes. Como complemento a la inspección mencionada, se revisó la presencia de grietas en la zona, en el banco de datos del II-UNAM. Este banco de datos está actualizado con trabajos de inspección recientes realizados por personal del II-UNAM y con información del Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos de Iztapalapa. Los detalles de los resultados de este recorrido de campo se integraron en la Nota Técnica G-21 “Inspección de los predios ubicados en José Ojeda Mz. 3, Lt 22 y 23, col. Ejército de Oriente Zona Peñón, Iztapalapa” En la Figura C.12 se muestra la ubicación del sitio (Lotes 22 y 23, en color amarillo y verde respectivamente), y la ubicación de las grietas detectadas en la zona. Asimismo, en las Figuras C.13 a C.15 se presentan algunos aspectos del estado de las viviendas y de las grietas respectivamente.



Figura C.12. Ubicación predio ubicado en José Ojeda Mz. 3, Lotes 22 y 23, y trazo aproximado de la trayectoria de la grieta.



Figura C.13. Aspecto de las condiciones de la vivienda del lote 22.

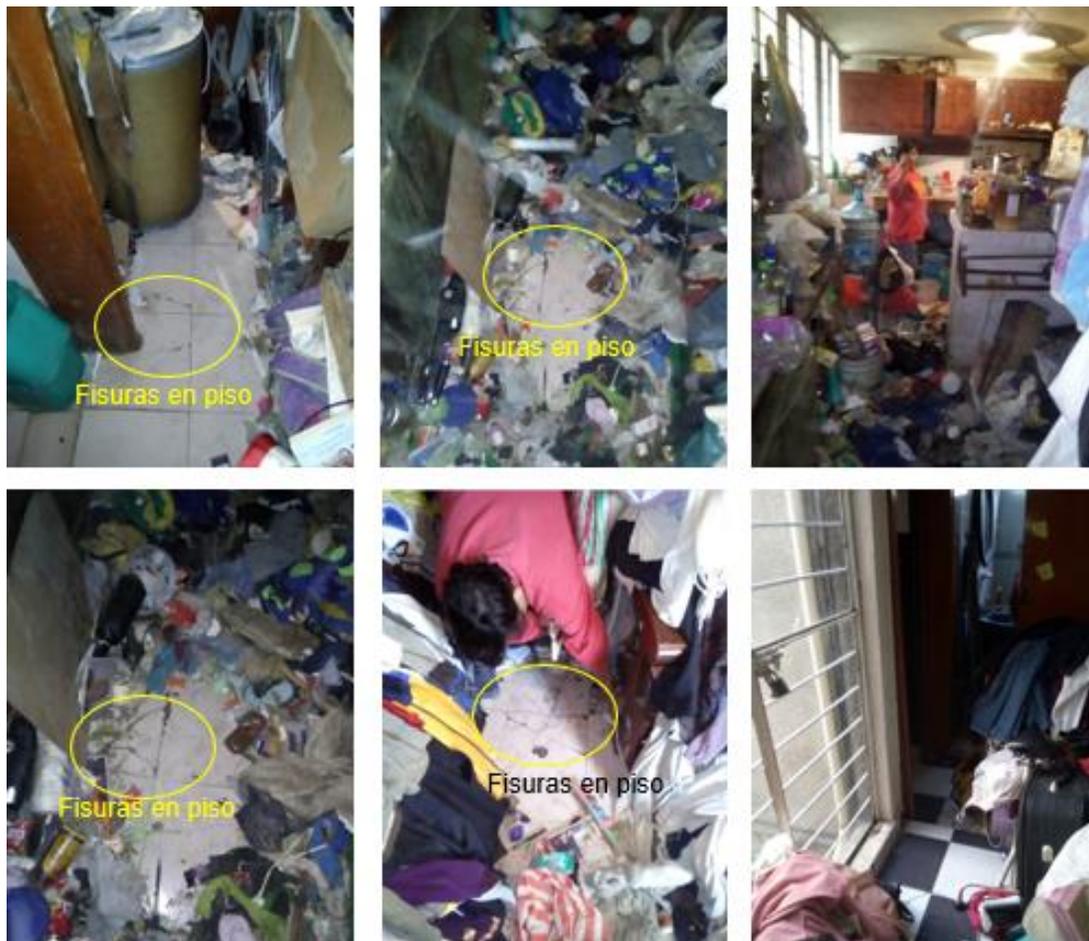


Figura C.14. Aspecto de las condiciones de la vivienda del lote 23.



Figura C.15. Aspecto de las grietas encontradas.

C.4 Grieta en el Deportivo Sta. Cruz Meyehualco

El día 23 de junio del presente, posterior a la ocurrencia de un sismo en las costas de Oaxaca, personal del II-UNAM realizó una inspección visual en las instalaciones del deportivo Santa Cruz Meyehualco, donde se manifestó una grieta preexistente, se obtuvo evidencia fotográfica del aspecto de la grieta y se presentó al Comité de Grietas en la reunión virtual del 21 de julio de 2020. En la Figura C.16 se presenta la ubicación del sitio y en la Figura C.17 se presentan algunos aspectos de la grieta.



Figura C.16. Sitio de mayor manifestación de la grieta.

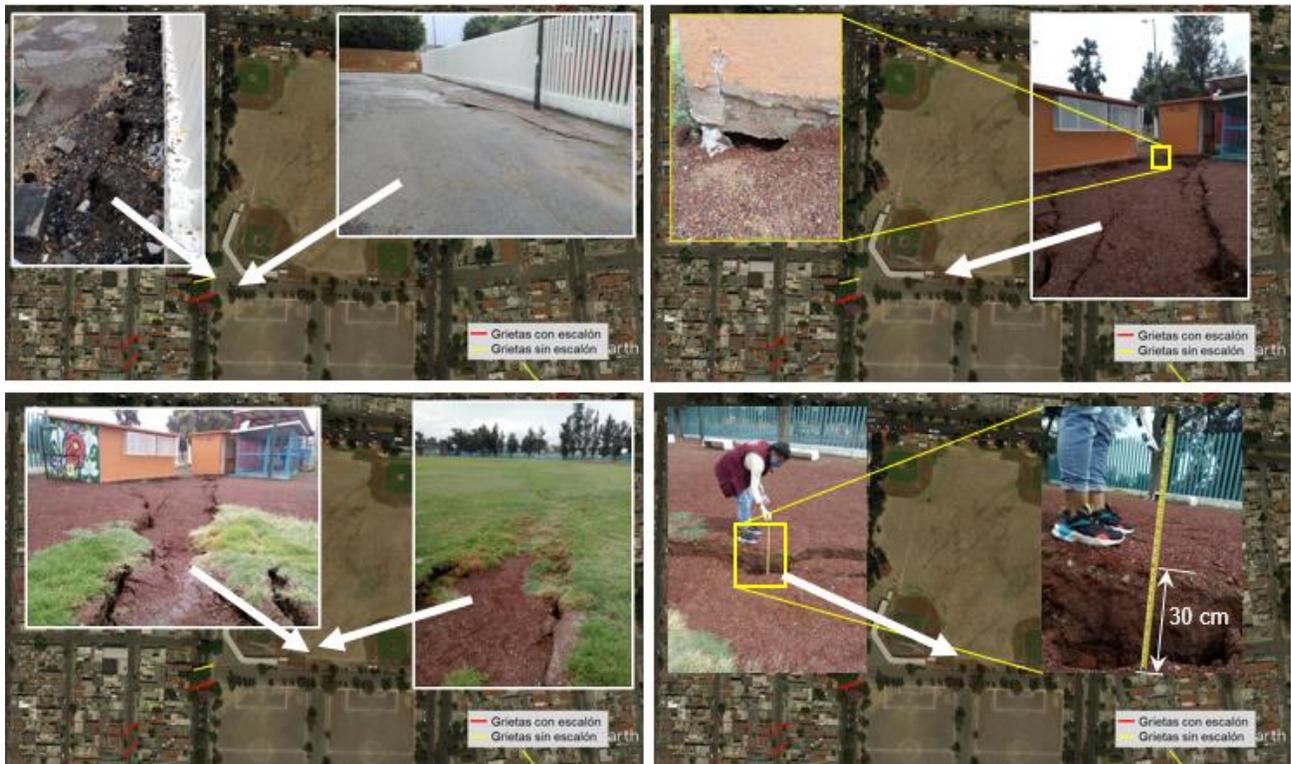


Figura C.17. Aspecto de las grietas encontradas.

C.5 Laguna El Fusible, Texcoco

Derivado del sismo ocurrido el día 23 de junio de 2020 en las costas de Oaxaca, se suscitó un desplazamiento vertical descendiente en un tramo de un terraplén ubicado en el costado norte de la laguna “El Fusible”, en la Zona Federal del Ex lago de Texcoco, el terraplén está conformado por materiales residuales de azolve de las obras que realiza SACMEX en la Ciudad de México. Por lo anterior, el II-UNAM realizó una inspección visual del sitio, en la cual se observó que una parte del terraplén presentó un hundimiento con generación de grietas y un área de la laguna que presentó una emersión de los materiales del fondo.

Para evaluar la estabilidad del terraplén, se realizaron análisis de modelación numérica, mediante el método de elemento finito y se emitieron recomendaciones para evitar una nueva falla. Los resultados de los análisis se presentaron ante el Comité de Grietas en la reunión virtual del 21 de julio de 2020. En la Figura C.18 se presenta la ubicación del sitio y en las Figuras C.19 y C.20 se muestran algunos aspectos de la falla del terraplén y los resultados del análisis respectivamente.



Figura C.18. Ubicación del sitio.



Figura C.19. Aspectos del bloque desplazado y de las grietas generadas.

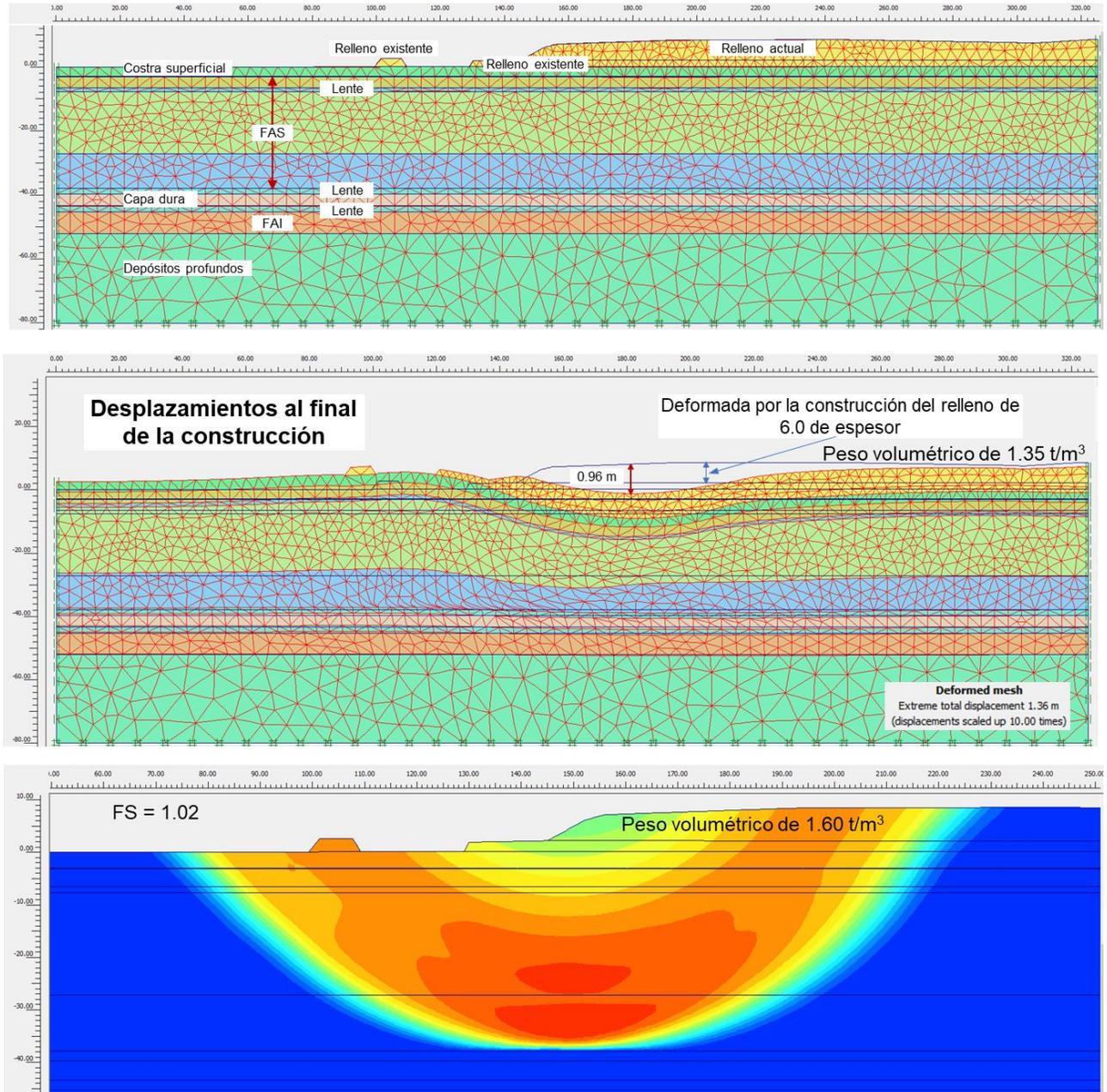


Figura C.20. Resultados del análisis de estabilidad del terraplén.

C.6 Inspección de once sitios de las colonias Sta Cruz Meyehualco y Sta María Aztahuacán, para detección de grietas y asentamientos diferenciales

Personal del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) y la Comisión para la Reconstrucción realizaron un recorrido de campo en calles de las colonias Santa Cruz Meyehualco y Santa María Aztahuacán para documentar con fotografías las condiciones de agrietamiento en algunos sitios las colonias anteriormente citadas, los sitios de interés en la col. Santa Cruz Meyehualco se indican en el croquis de la Figura C.21 con círculos en color verde, en el mismo croquis se indican los sitios de interés en la col. Santa María Aztahuacán (círculos en color amarillo). En las Figuras C.22 a C.31 se presentan algunos aspectos de cada sitio recorrido. Las observaciones detalladas de cada sitio se pueden consultar en la Nota Técnica G-27.



Figura C.21. Sitios de interés en el recorrido de campo.



Figura C.22. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 1. Hundimiento diferencial entre calles 7 y 9.



Figura C.23. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 2. Grieta en Ermita Iztapalapa y Emiliano Zapata.



Figura C.24. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 2. Grieta en Ermita Iztapalapa y calle 25.



Figura C.25. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 3. Grieta en Ermita Iztapalapa y calle 47.



Figura C.26. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 4. Hundimiento en Ermita Iztapalapa y calle 61.



Figura C.27. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 5. Calle 63, entre calle 12 y calle 14 (acera poniente).



Figura C.28. Sta. Cruz Meyehualco, Sitio 5. Calle 63, entre calle 12 y calle 14 (acera oriente).



Figura C.29. Sta. María Aztahuacan, Sitio 2. Miguel Hidalgo, entre F. Mata y Felipe Ángeles.

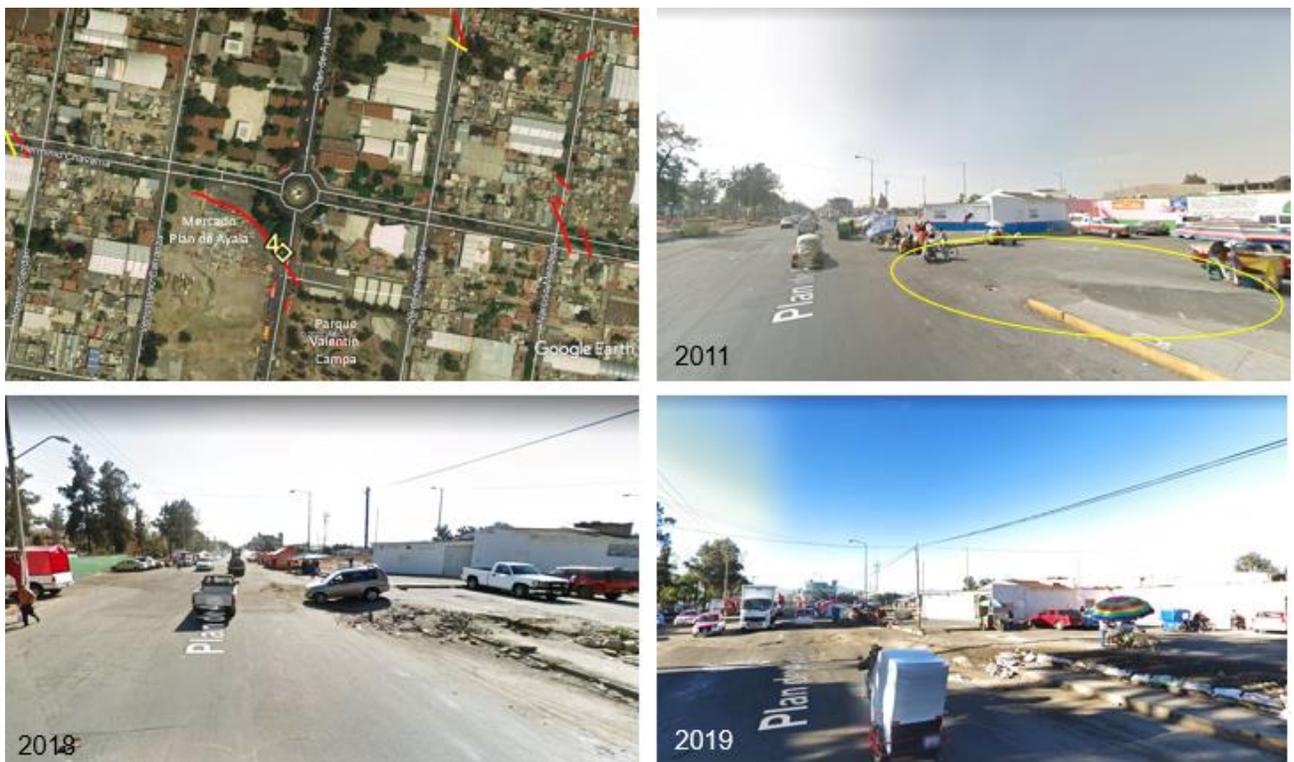


Figura C.30. Sta. María Aztahuacan, Sitio 4. Herminio Chavarría y Plan de Ayala (antecedentes).



Figura C.31. Sta. María Aztahuacan, Sitio 4. Herminio Chavarría y Plan de Ayala (aspecto actual).

C.7 Templo de la Santísima Trinidad, Tulyehualco, Xochimilco

Con la finalidad de obtener evidencia fotográfica de la presencia de una grieta y definir su trayectoria, el personal del II-UNAM realizó un recorrido en calles próximas al templo de la Santísima Trinidad, ubicado en la colonia Santiago Tulyehualco, alcaldía Xochimilco, donde se presentó un socavón en julio de 2020, muy cercano a la esquina sureste del citado templo, catalogado por el INAH. En la Figura C.32 se presenta la ubicación del sitio en el contexto de la zonificación geotécnica de la Ciudad de México, en la Figura C.33 se presentan fotografías del aspecto del socavón detectado en julio de 2020 y en la Figura C.34, aspectos de la grieta detectada durante el recorrido.

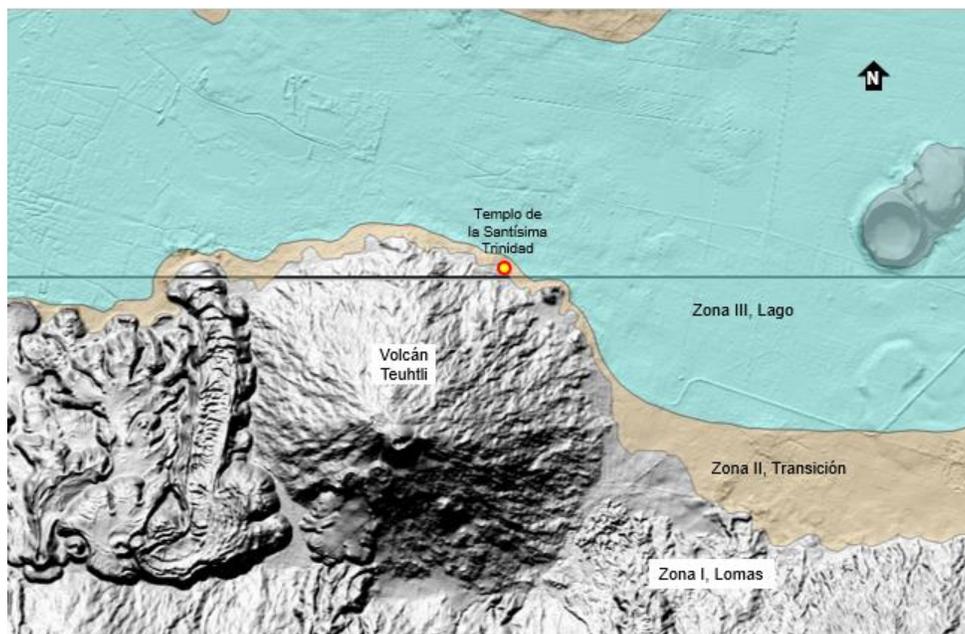


Figura C.32. Ubicación del templo en el contexto de la zonificación geotécnica sobre un modelo digital del terreno (MDT).



Figura C.33. Aspecto de las grietas y socavón detectado en julio de 2020.



Figura C.34. Aspecto de la grieta detectada durante el recorrido de campo.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO D

**BANCO FOTOGRÁFICO DE GRIETAS DETECTADAS EN
EL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE IZTAPALAPA,
TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA**

D.1 Consulta de la base de datos

En esta nueva etapa, el grupo del Laboratorio de Geoinformática ha conseguido consolidar un enorme acervo fotográfico de los sitios con presencia de grietas, asimismo, para optimizar su acceso y funcionalidad a los usuarios, se juzgó conveniente que fuera integrado a un sistema de cómputo comercial.

El acervo fotográfico respecto a los sitios con presencia de grietas, incluye fotos para diferentes momentos con objeto de examinar tanto la evolución de la altura del escalón de las grietas como del progreso del ancho de la ranura de las grietas generadas y propagadas por fracturamiento hidráulico.

El manejo de esta base de datos se inicia eligiendo en un mapa índice la alcaldía donde se encuentra el sitio de interés (Figura D.1.1).

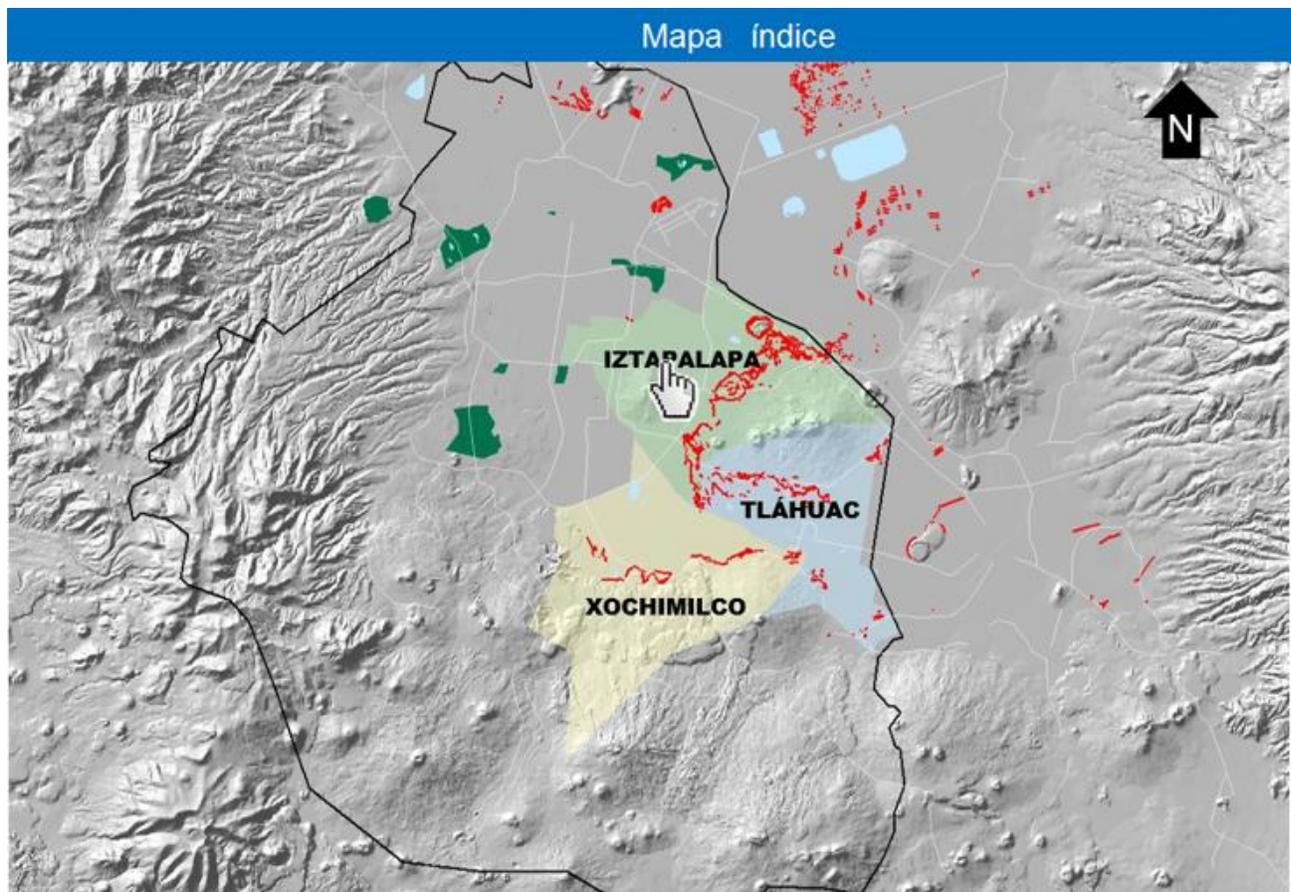


Figura D.1.1. Elección de la alcaldía, donde se encuentra el sitio de interés.

El sistema despliega una hoja de cálculo donde se encuentran almacenadas las características de cada una de las grietas que se encuentran en la alcaldía seleccionada (Figura D.2). En esta hoja de cálculo es posible seleccionar la grieta de interés, a través de un hipervínculo que abre el archivo fotográfico de la grieta seleccionada (Figura D.3).

No.	GRIETA	No. DE GRIETA	REFERENCIAS (ENTRE QUE CALLES)	COLONIA (*)	ALCALDÍA	ZONIFICACIÓN GEOT
35	G.CERRADA MARÍA EUGENIA-EE-ITP	1	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
36	G.CERRADA MARÍA EUGENIA-EE-ITP	2	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
37	G.CERRADA MARÍA EUGENIA-EE-ITP	3	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
38	G.LAURA-EE-ITP	1	ENTRE CAVETANO ANDRADE Y FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
39	G.LAURA-EE-ITP	2	ENTRE CAVETANO ANDRADE Y FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
40	G.CERRADA CARLOTA-EE-ITP	1	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
41	G.CERRADA CARLOTA-EE-ITP	2	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
42	G.CERRADA VICTORIA-EE-ITP	1	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
43	G.CERRADA MARÍA ISABEL-EE-ITP	1	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
44	G.CERRADA MARÍA ISABEL-EE-ITP	2	ENTRADA POR FELIPE NERI	EL EDÉN	IZTAPALAPA	ZONA III
45	G.COLIMA CASI ESQ. FEDERICO GONZÁLEZ-PSST-ITP	-	COLIMA CASI ESQ. FEDERICO GONZÁLEZ	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
46	G.RAFael MERINO-QUERÉTARO-PSST-ITP	1	FELIPE NERI Y 2a CERRADA RAFAEL MERINO	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
47	G.RAFael MERINO-QUERÉTARO-PSST-ITP	2	FELIPE NERI Y 2a CERRADA RAFAEL MERINO	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
48	G.JESUS MORALES A-PSST-ITP-ENTRE FELIPE NERI Y ZACATECAS	1	FELIPE NERI Y ZACATECAS	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
49	G.JESUS MORALES A-PSST-ITP-ENTRE FELIPE NERI Y ZACATECAS	2	FELIPE NERI Y ZACATECAS	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
50	G.ZACATECAS A-PSST-ITP-ENTRE FELIPE NERI Y JESUS MORALES	1	FELIPE NERI Y JESUS MORALES	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
51	G.COLIMA A-PSST-ITP-ENTRE CHIHUAHUA Y FELIPE NERI	1	CHIHUAHUA Y FELIPE NERI	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
52	G.QUERÉTARO-PSST-ITP	1	CHIHUAHUA Y FELIPE NERI	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
53	G.JESUS MORALES CASI ESQ. CHIHUAHUA-PSST-ITP	1	JESUS MORALES CASI ESQ. CHIHUAHUA	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
54	G.CHIHUAHUA CASI ESQ. MATAMOROS-PSST-ITP	1	CHIHUAHUA CASI ESQ. MATAMOROS	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
55	G.TAPACHULA ESQ. TORREÓN-PSST-ITP	1	TAPACHULA ESQ. TORREÓN	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
56	G.OAXACA CASI ESQ. CERRADA OAXACA-PSST-ITP	1	OAXACA CASI ESQ. CERRADA OAXACA	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
57	G.OAXACA CASI ESQ. CERRADA OAXACA-PSST-ITP	2	OAXACA CASI ESQ. CERRADA OAXACA	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
58	G.CULIACÁN-PSST-ITP	1	COLIMA Y PEDRO ACEVES	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
59	G.CULIACÁN-PSST-ITP	2	COLIMA Y PEDRO ACEVES	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
60	G.JESUS MORALES B-PSST-ITP-ENTRE CHIAPAS Y MANZANILLO	1	CHIAPAS Y MANZANILLO	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
61	G.ZACATECAS B-PSST-ITP-ENTRE MATAMOROS Y TAPACHULA	1	MATAMOROS Y TAPACHULA	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
62	G.COLIMA B-PSST-ITP-ENTRE CIRCUNVALACIÓN Y YUCATÁN	1	CIRCUNVALACIÓN Y YUCATÁN	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
63	G.JESUS MORALES C-PSST-ITP-ENTRE TABASCO Y YUCATÁN	1	TABASCO Y YUCATÁN	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
64	G.CIRCUNVALACIÓN-PSST-ITP	1	COLIMA Y PEDRO ACEVES	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
65	G.CIRCUNVALACIÓN-PSST-ITP	2	COLIMA Y PEDRO ACEVES	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
66	G.TABASCO-PSST-ITP	1	QUERRERO Y MERIDA	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXITLA	IZTAPALAPA	ZONA III
67	G.CERRADA CUITLÁHUAC-EMT-ITP	1	IZTACÓHUATL Y ZACAHUITZCO	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
68	G.ZACAHUITZCO-EMT-ITP	1	BENITO JUÁREZ Y CERRADA CUITLÁHUAC	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
69	G.ZACAHUITZCO-EMT-ITP	2	BENITO JUÁREZ Y CERRADA CUITLÁHUAC	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
70	G.CALLE IZTAPALAPA-EMT-ITP	1	BENITO JUÁREZ Y CERRADA CUITLÁHUAC	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
71	G.CHIMALPOPOCA-EMT-ITP	1	BENITO JUÁREZ Y CERRADA CUITLÁHUAC	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
72	G.CHIMALPOPOCA-EMT-ITP	2	BENITO JUÁREZ Y CERRADA CUITLÁHUAC	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
73	G.JACARANDAS ESQ. AZTECAS-EMT-ITP	1	JACARANDAS ESQ. AZTECAS	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
74	G.AZTECAS-EMT-ITP	1	BENITO JUÁREZ Y JACARANDAS	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
75	G.AZTECAS-EMT-ITP	2	BENITO JUÁREZ Y JACARANDAS	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III
76	G.TOLTECAS-EMT-ITP	1	BENITO JUÁREZ Y JACARANDAS	EL MOLINO TEZONCO	IZTAPALAPA	ZONA III

Figura D.1.2. Elección de la grieta de interés en la hoja de cálculo.



Figura D.1.3. Carátula del archivo fotográfico de la grieta seleccionada.

El archivo fotográfico contiene un croquis con la ubicación de la grieta (Figura D.4) y algunas fotografías de la grieta y los daños que ha causado en las construcciones a través del tiempo (Figuras D.5 y D.6).

Las fotografías contenidas en estos archivos permiten conocer la evolución de la grieta, así como el grado de afectación sobre las viviendas que cruza. Dichas imágenes resultan valiosas al momento de tomar decisiones para definir el proyecto de rehabilitación de las viviendas.



Figura D.1.4. Croquis de ubicación de la grieta seleccionada.

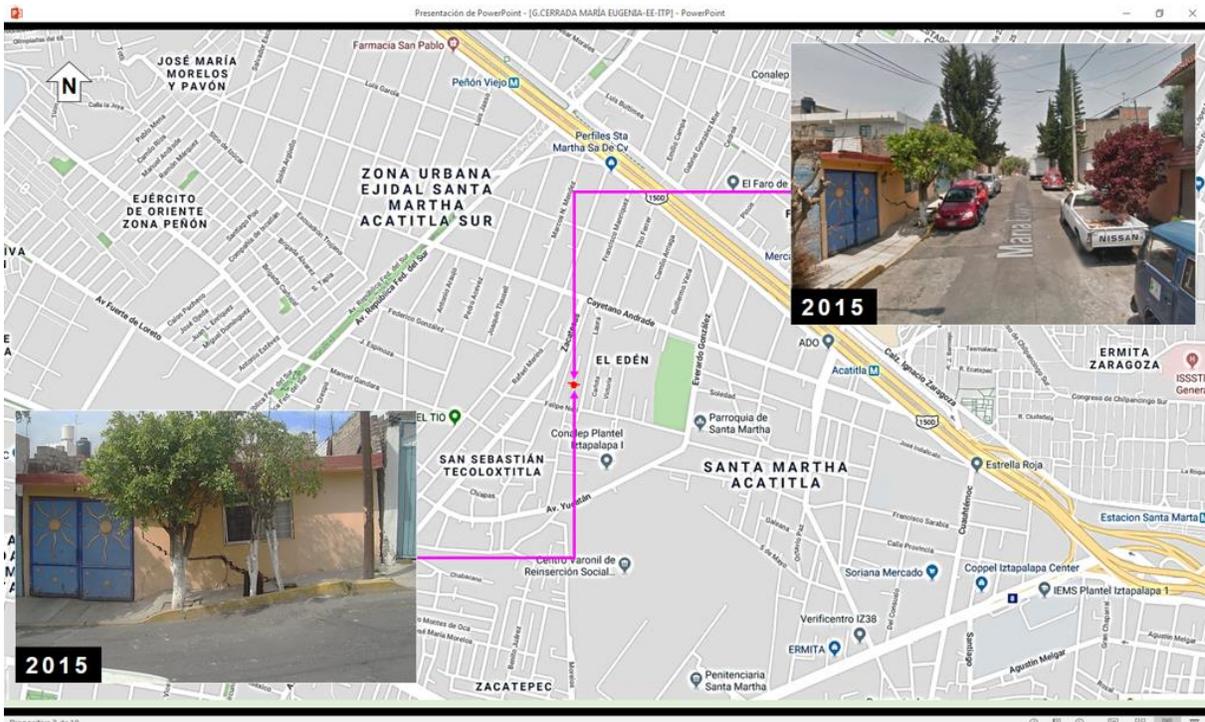


Figura D.1.5. Fotografías de la grieta seleccionada en 2015.

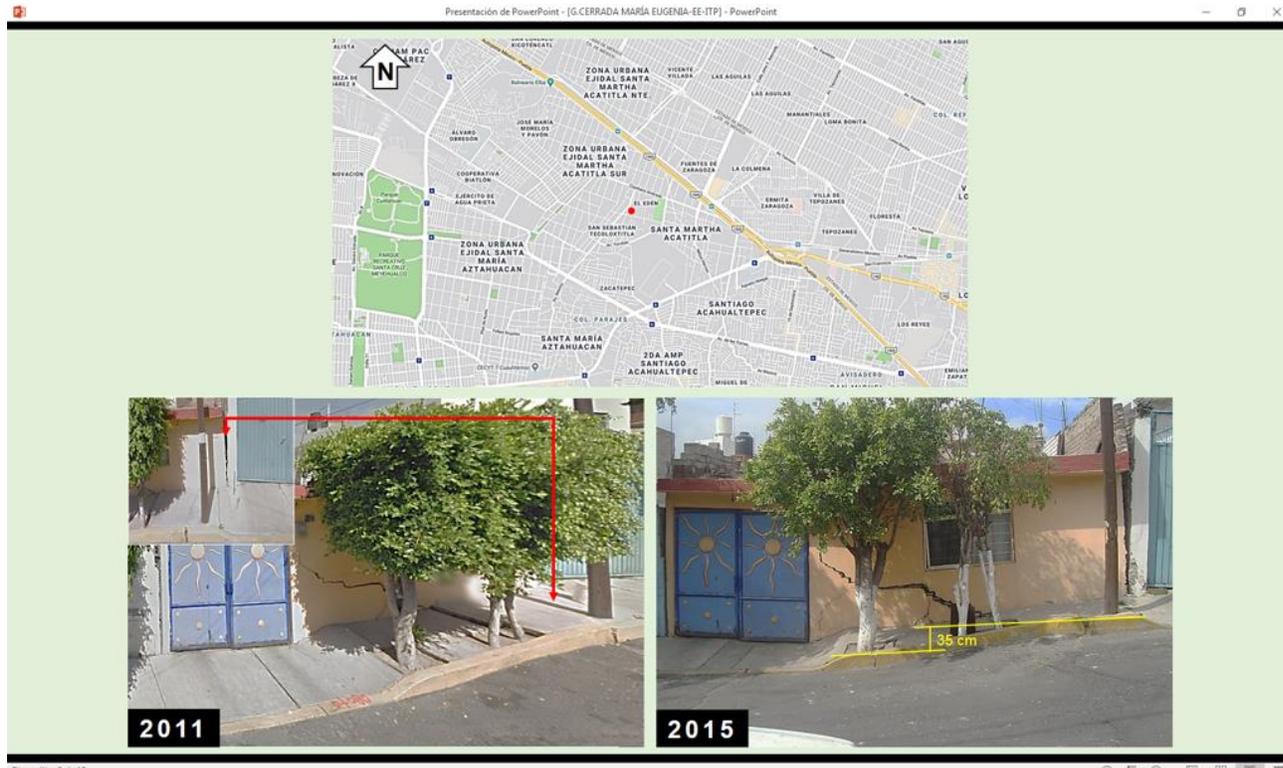
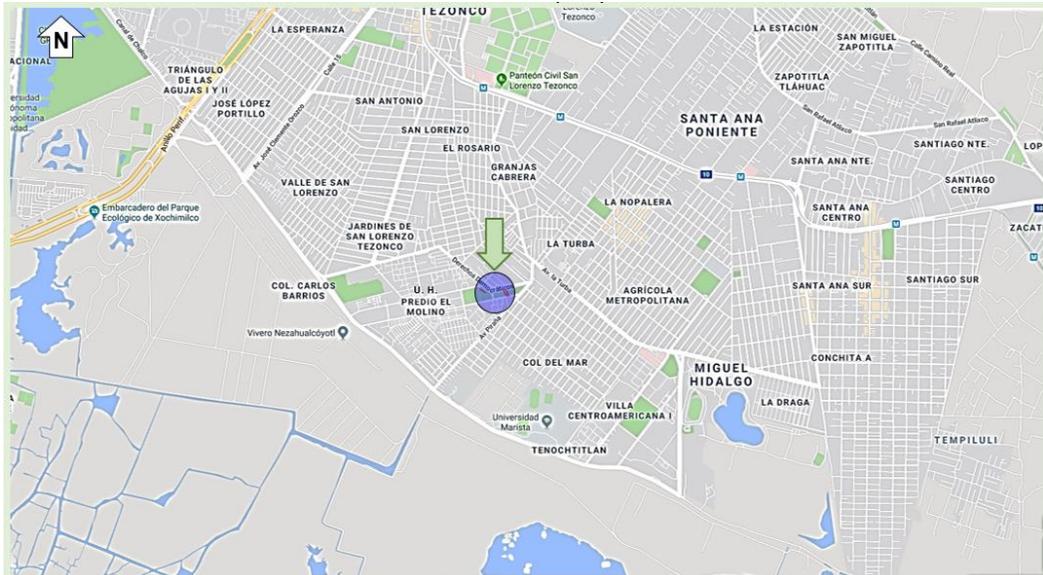


Figura D.1.6. Fotografías donde se aprecia la magnitud del escalón, así como algunos daños causados por la presencia de la grieta, en diferentes fechas.

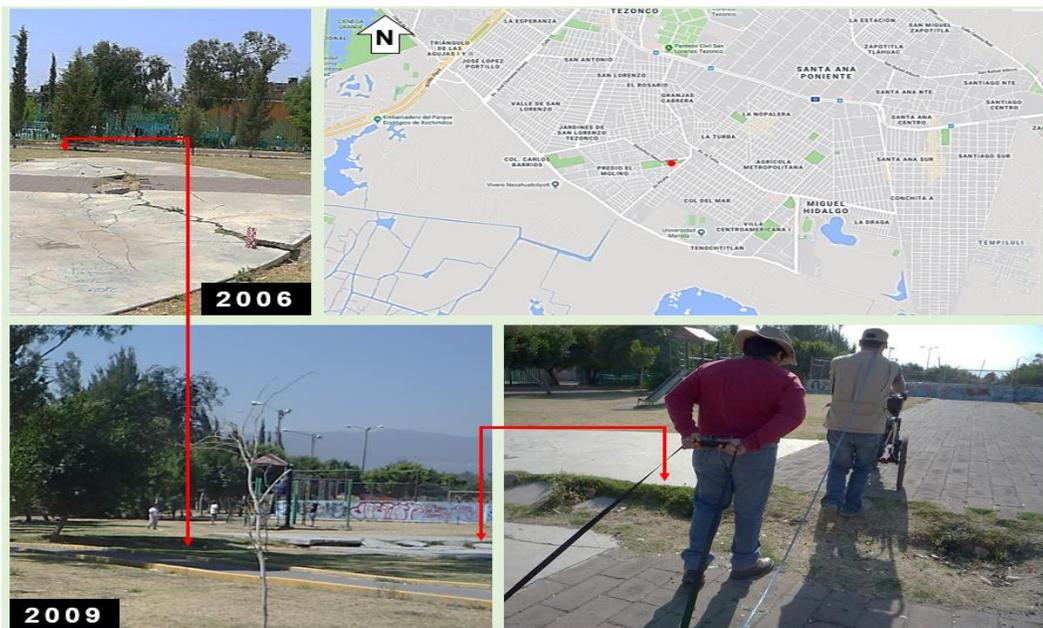
D.2 Banco fotográfico de grietas detectadas en el suelo en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta

En el presente apartado, se presenta una muestra del Banco Fotográfico de grietas detectadas en el suelo en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Las fotografías muestran las condiciones de las grietas en diferentes fechas.

D.2.1 Grieta Deportivo Cananea, Col. U. H. Predio El Molino, Alcaldía de Iztapalapa



D.2.1.1 Grieta localizada entre Guacépil y Piraña.



D.2.1.2. Vista de la grieta Deportivo Cananea.



D.2.1.3. Vista de la grieta Deportivo Cananea.



D.2.1.4. Vista de la grieta Deportivo Cananea.



D.2.1.5. Vista de la grieta Deportivo Cananea.

D.2.2 Grieta Cacamatzin, Col. El Paraíso, Alcaldía de Iztapalapa

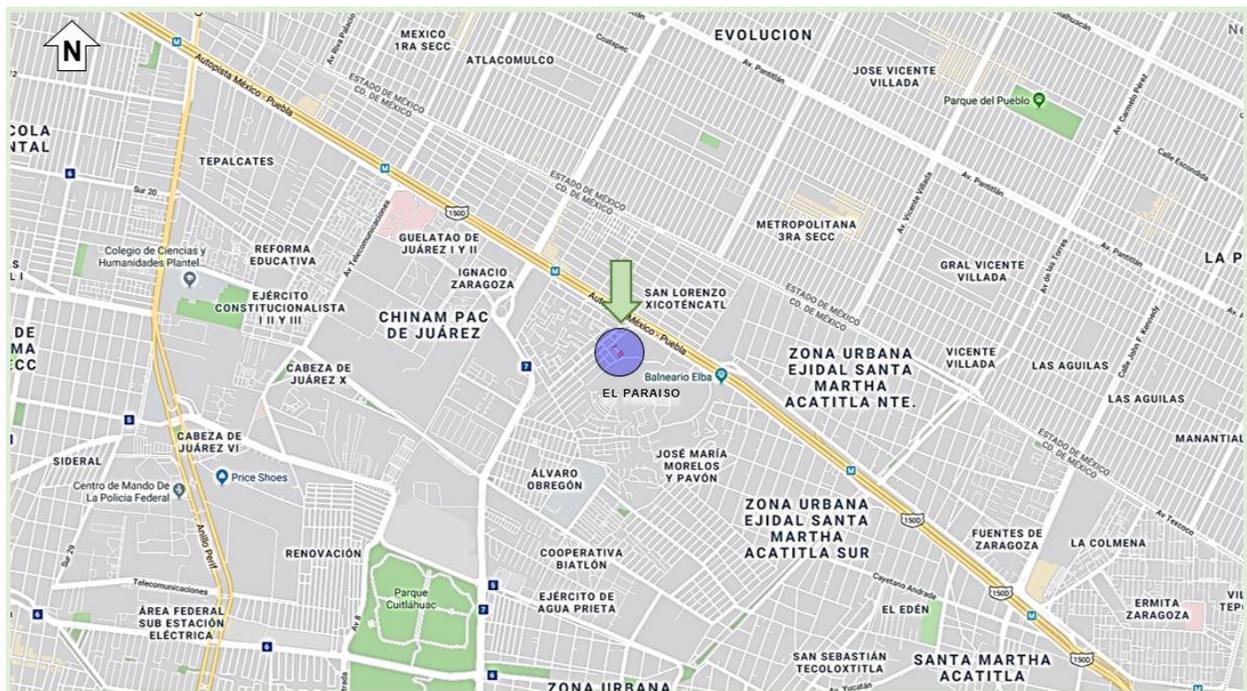


Figura D.2.2.1. Grieta localizada entre Batallón de Zapadores (Av. México) y Coronado.



Figura D.2.2.2. Vista de daños ocasionados por la grieta Cacamatzin.

D.2.3 Grieta Ex Campamento Antorcha Campesina, Col. Ejército de Oriente, Alcaldía de Iztapalapa



Figura D.2.3.1. Grieta localizada a un costado de escuela primaria Emperador Izcoatl.



Figura D.2.3.2. Vista de la grieta Ex Campamento Antorcha Campesina.



Figura D.2.3.3. Vista de la grieta Ex Campamento Antorcha Campesina.



Figura D.2.3.4. Vista de la grieta Ex Campamento Antorcha Campesina.



Figura D.2.3.5. Vista de la grieta Ex Campamento Antorcha Campesina.

D.2.4 Grieta Camellón Anillo Periférico, Col. Unidad Vicente Guerrero, Alcaldía de Iztapalapa

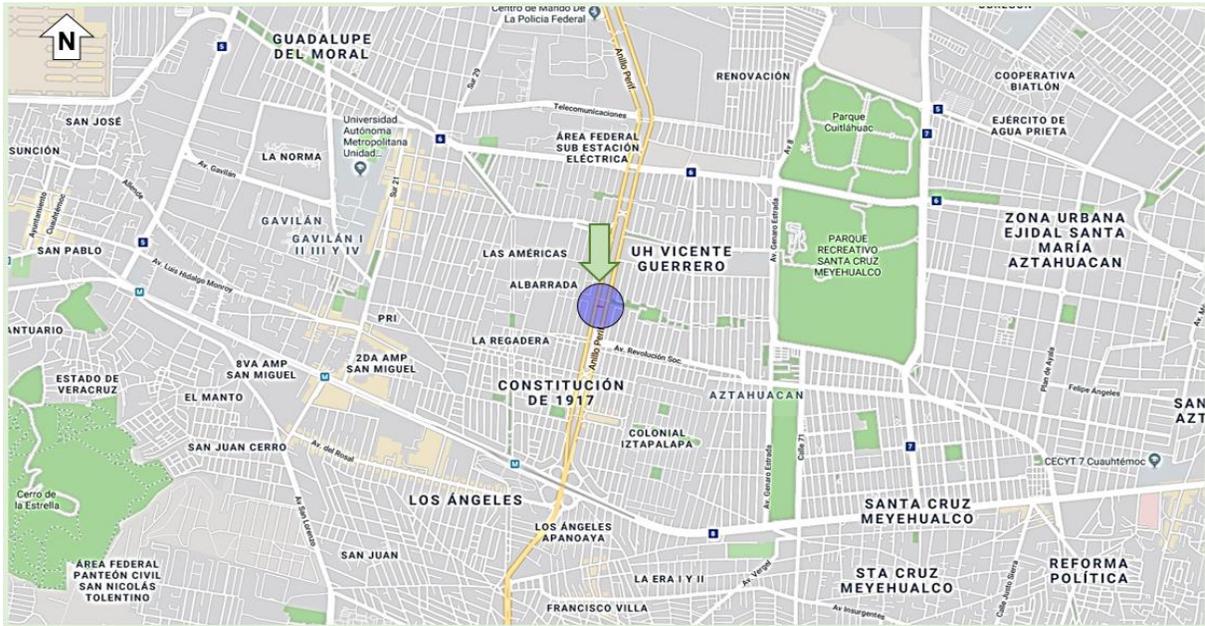


Figura D.2.4.1. Grieta localizada entre “Juzgado 26 Registro Civil” (sitio) y Revolución Social.

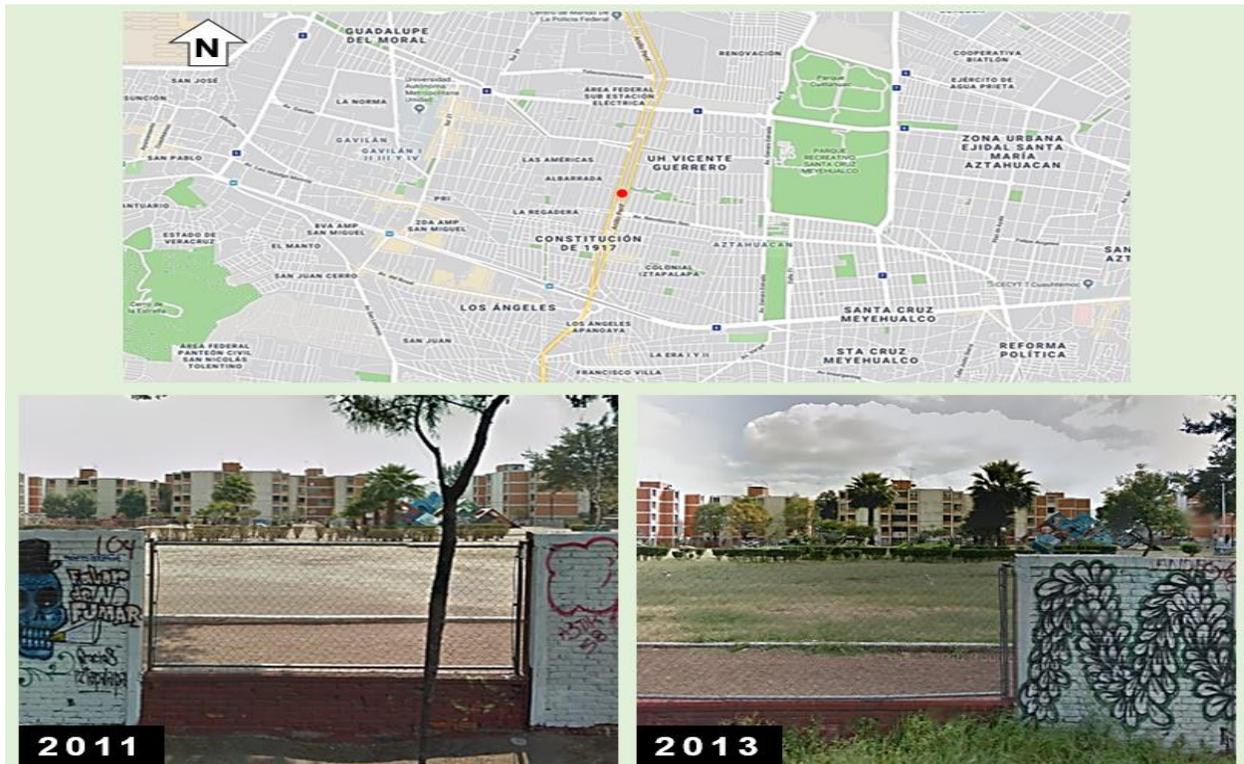


Figura D.2.4.2. Vista de la grieta Camellón Anillo Periférico.

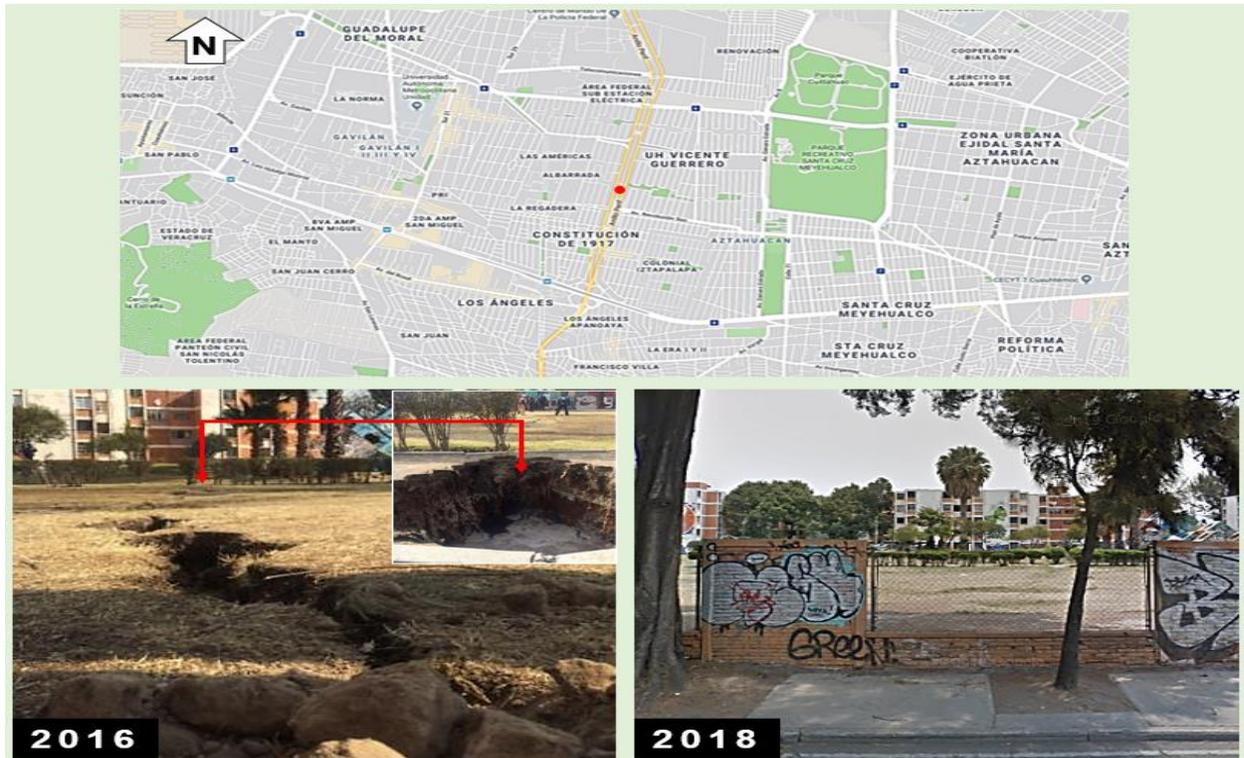


Figura D.2.4.3. Vista de la grieta Camellón Anillo Periférico.

D.2.5 Grieta Andador Revolución, Col. La Planta, Alcaldía de Iztapalapa

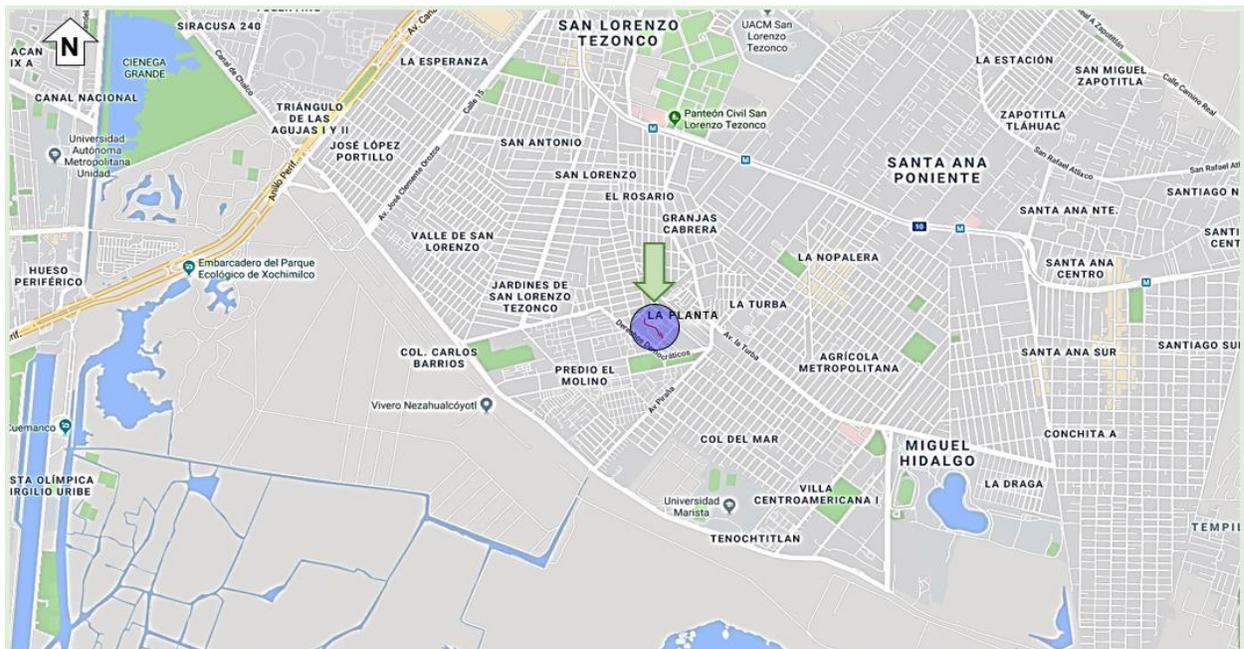


Figura D.2.5.1. Grieta localizada entre El Molino y Rosalita (Derechos Demográficos).

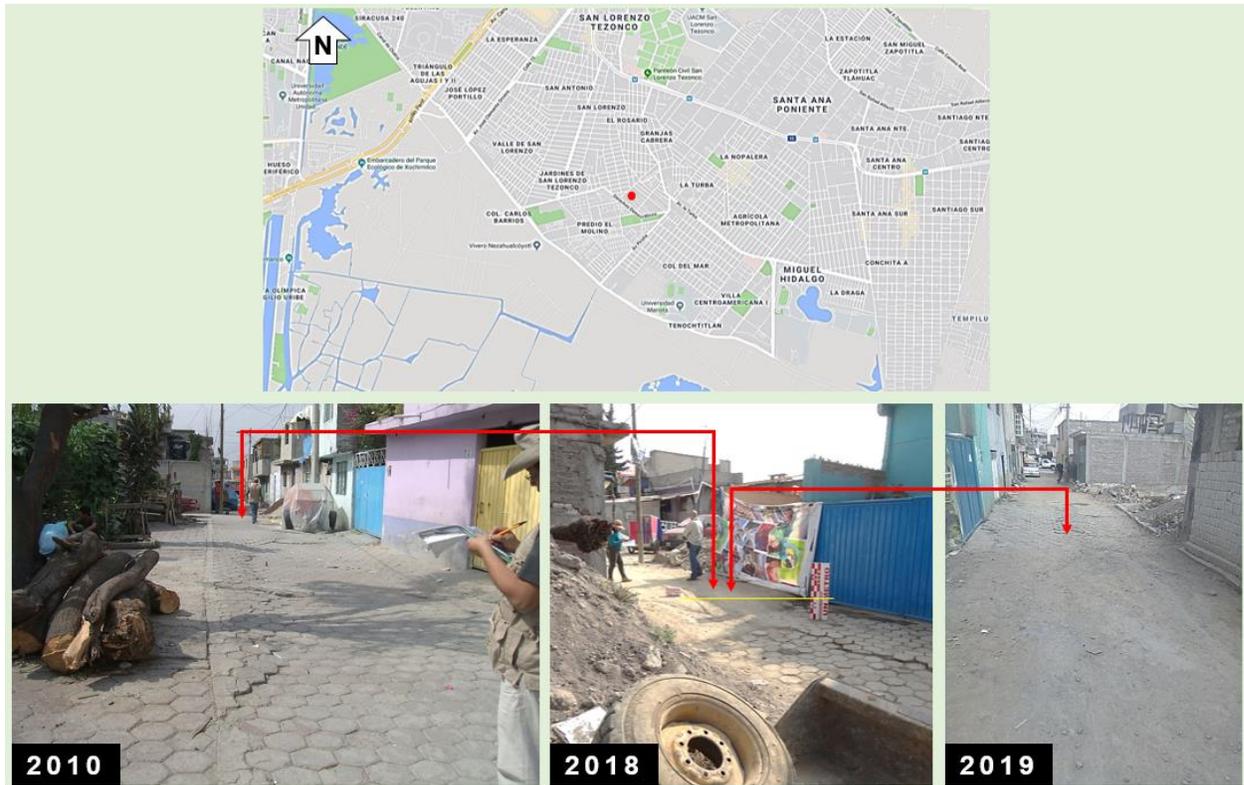


Figura D.5.2. Vista de la grieta Andador Revolución.



Figura D.5.3. Vista de la grieta Andador Revolución.

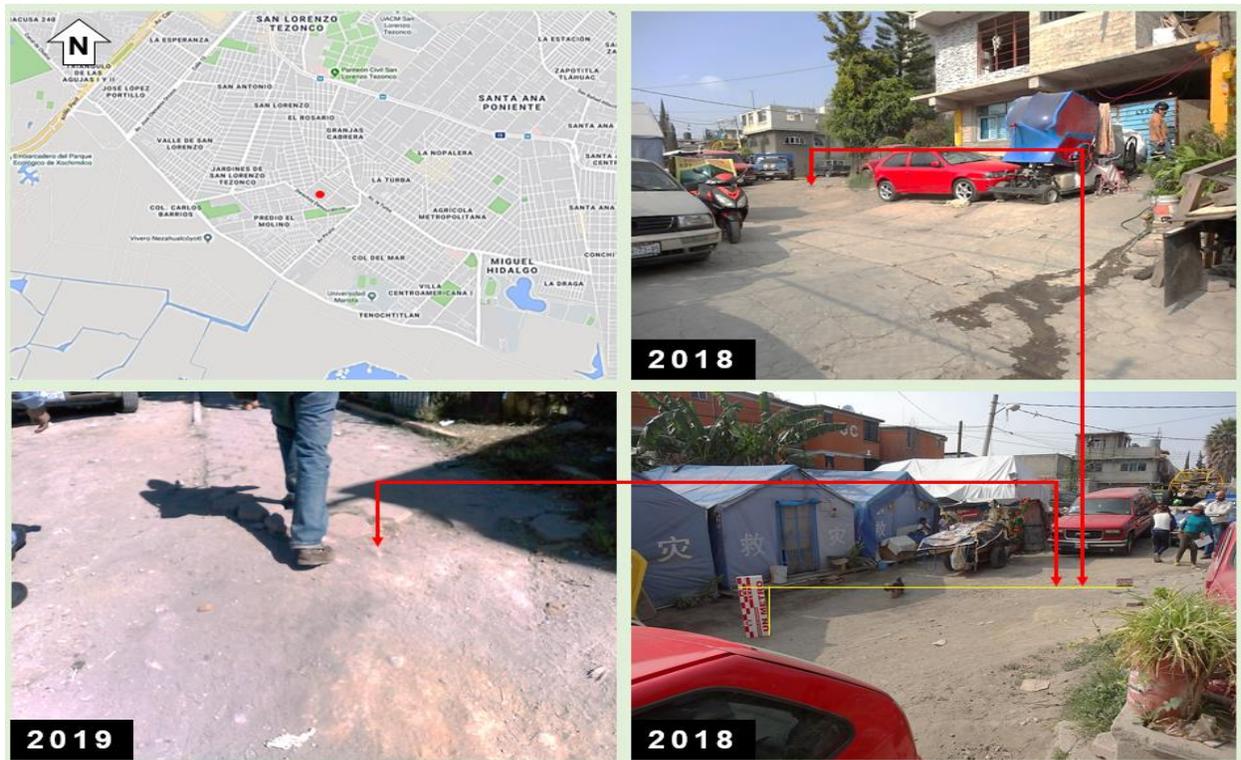


Figura D.5.4. Vista de la grieta Andador Revolución.

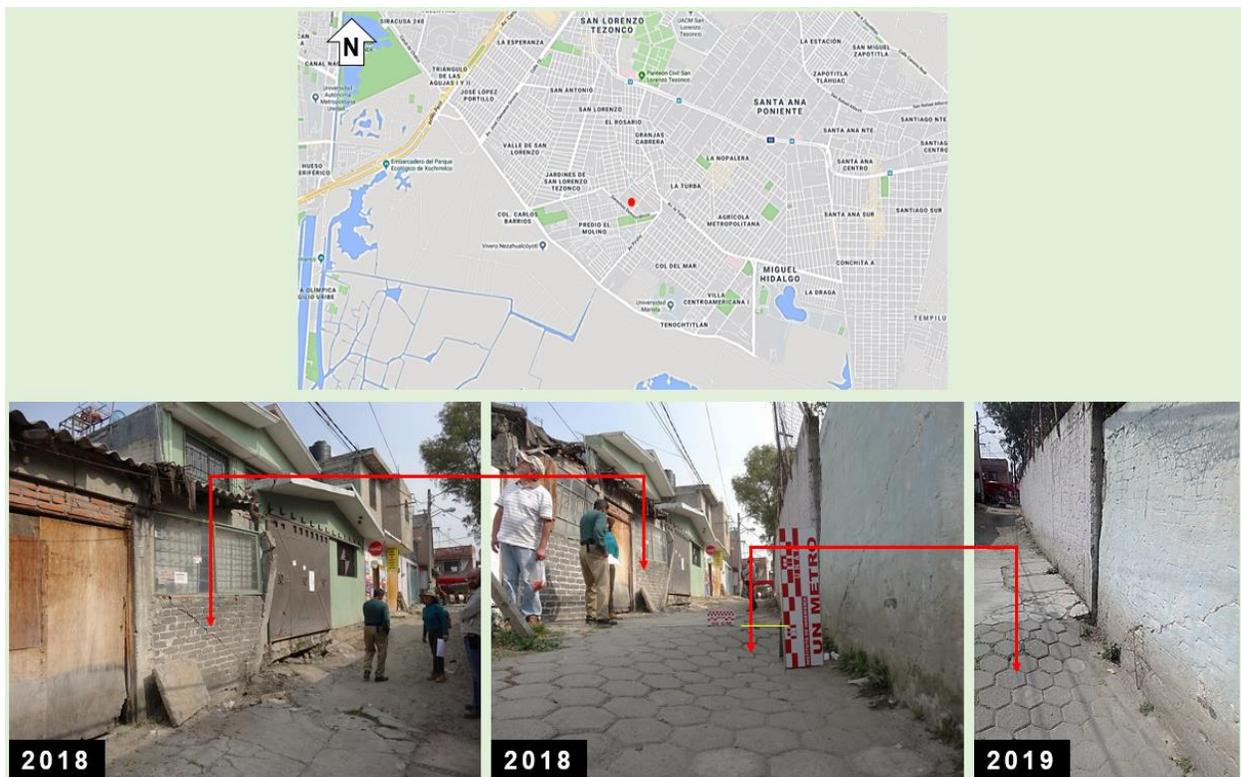


Figura D.2.5.5. Vista de la grieta Andador Revolución.

D.2.6 Grieta Unidad de Policía Metropolitana-Depósito Piraña I, Col. Del Mar, Alcaldía de Tláhuac

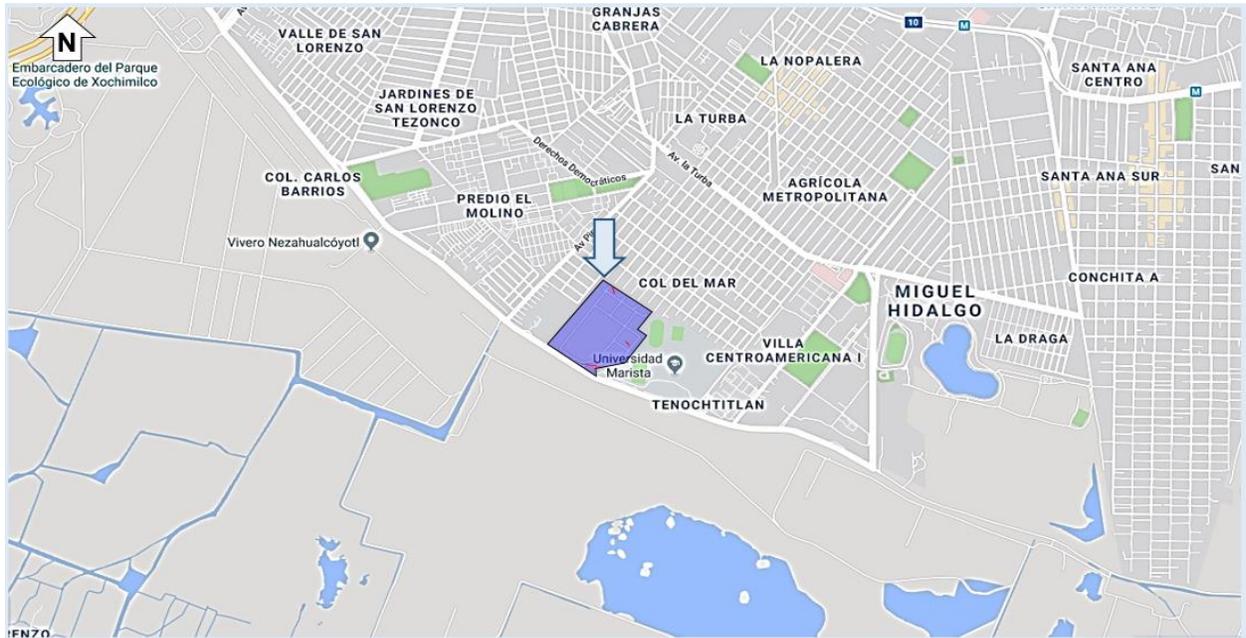


Figura D.2.6.1. Grieta localizada por la entrada de Canal de Chalco, entre Langosta y Pingüino.



Figura D.2.6.2. Vista de las grietas en Unidad de Policía Metropolitana-Depósito Piraña I.

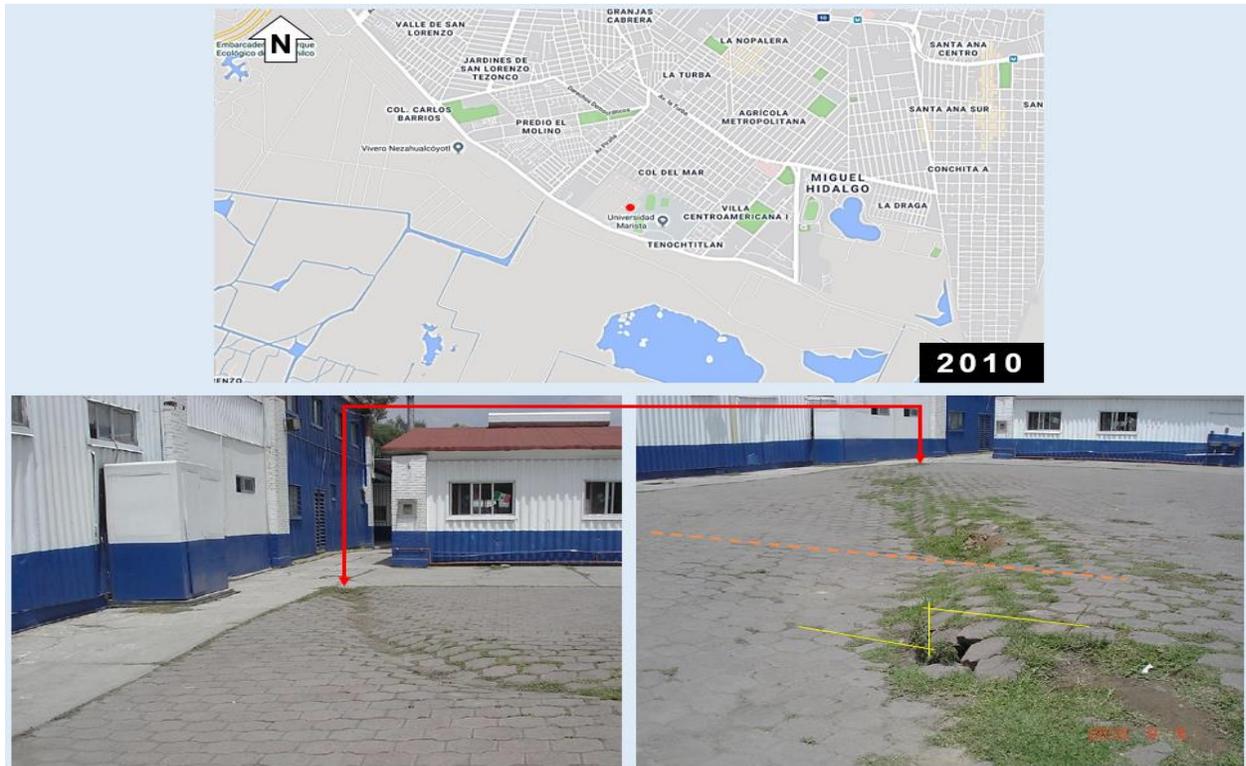


Figura D.2.6.3. Vista de la grieta en Unidad de Policía Metropolitana-Depósito Piraña I.

D.2.7 Grieta Universidad Marista, Col. Del Mar, Alcaldía de Tláhuac



Figura D.2.7.1. Grieta localizada por entrada en Langosta casi esq. Canal de Chalco.

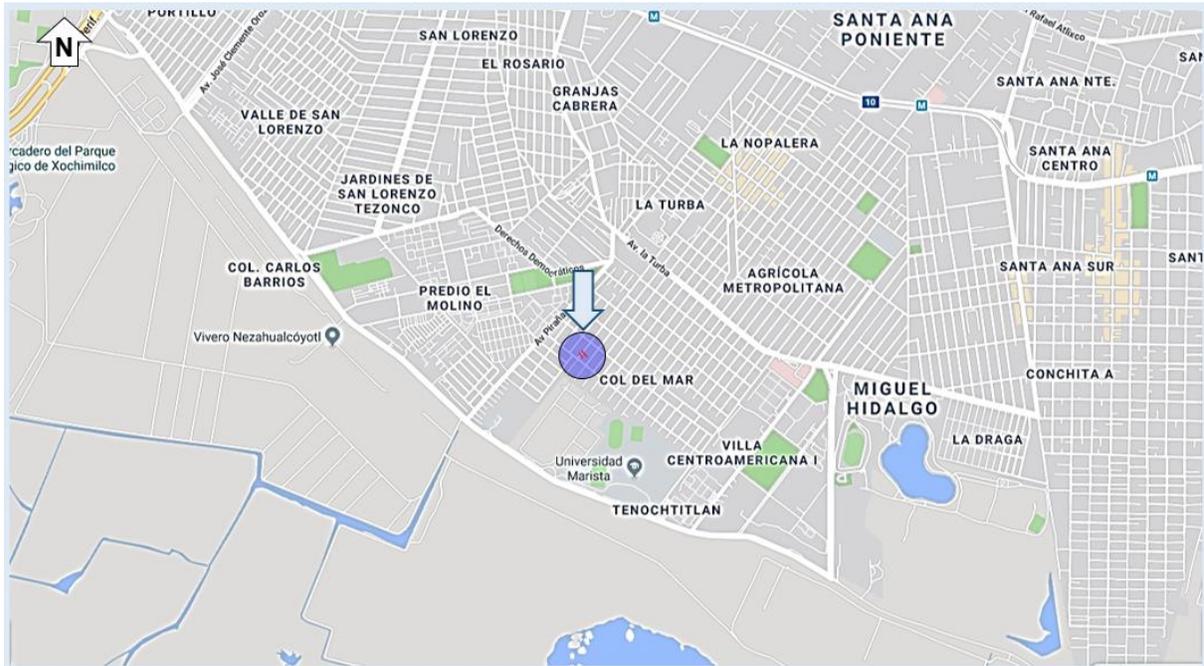


D.2.7.2 Vista de la grieta Universidad Marista.



D.2.7.3 Vista de la grieta Universidad Marista.

D.2.8 Grieta Gitana, Col. Del Mar, Alcaldía de Tláhuac



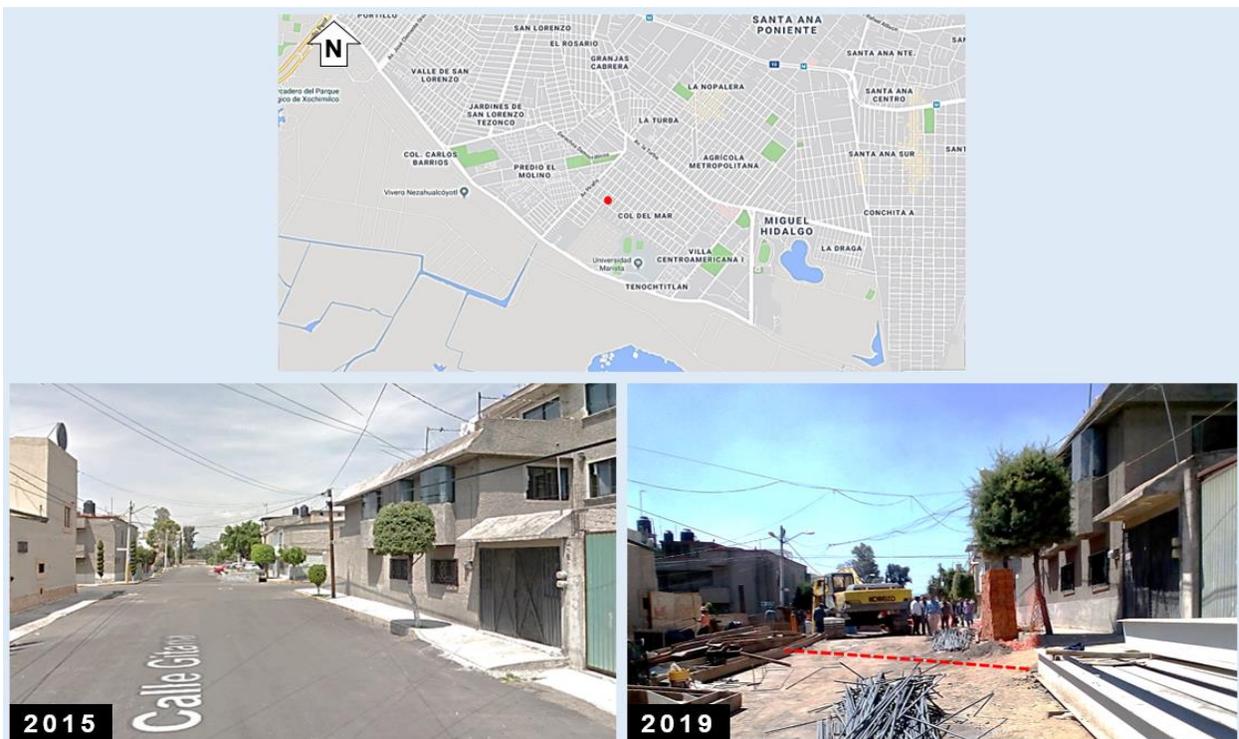
D.2.8.1 Grieta localizada entre Aleta y Sirena.



D.2.8.2 Vista de daños ocasionados por la grieta Gitana.

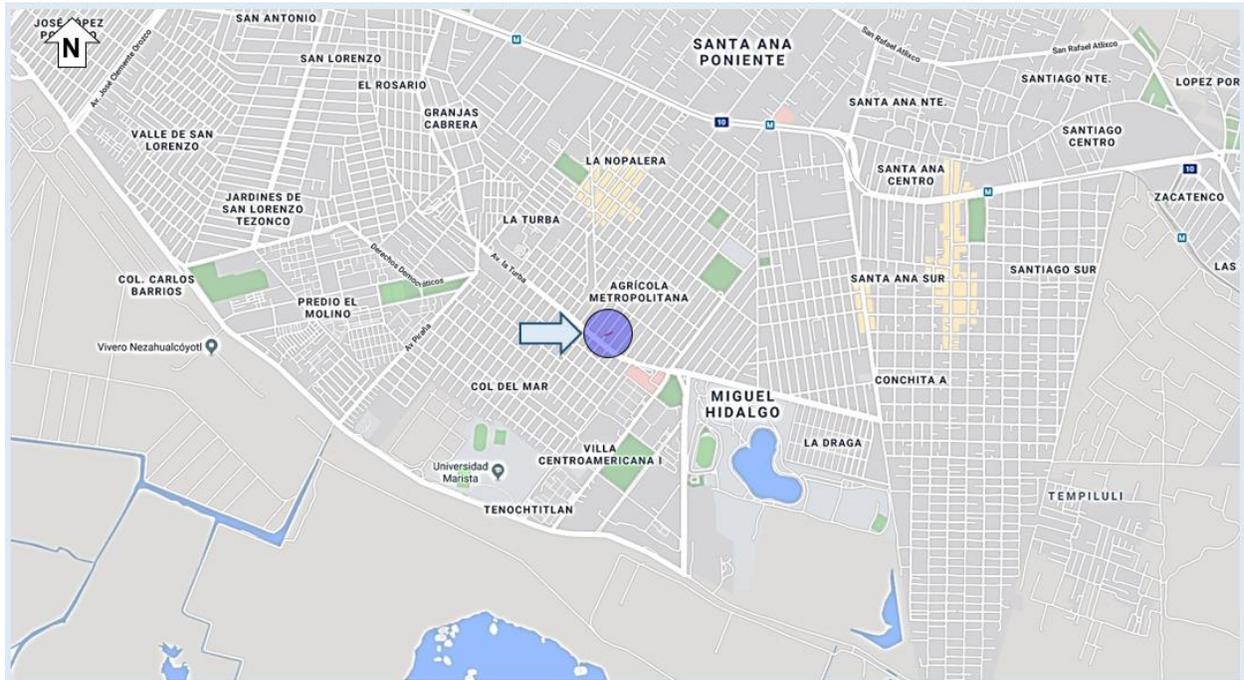


D.2.8.3 Vista de la grieta Gitana.

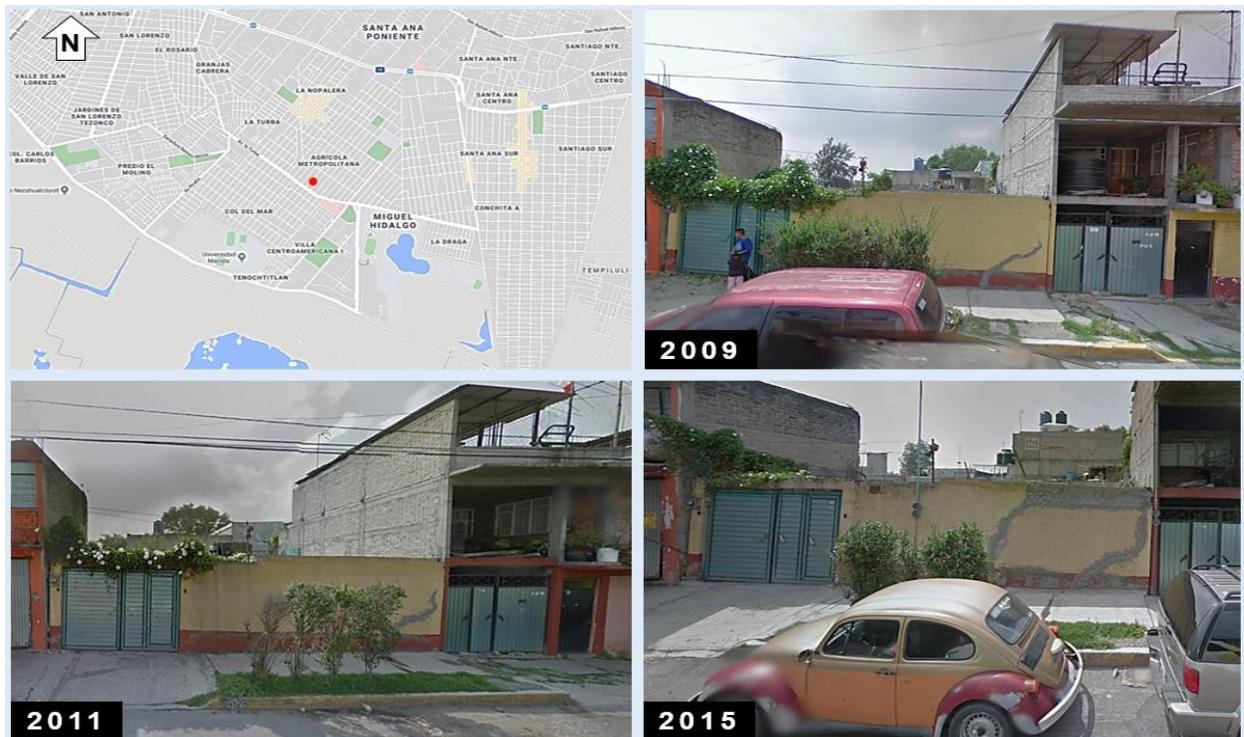


D.2.8.4 Vista de la grieta Gitana.

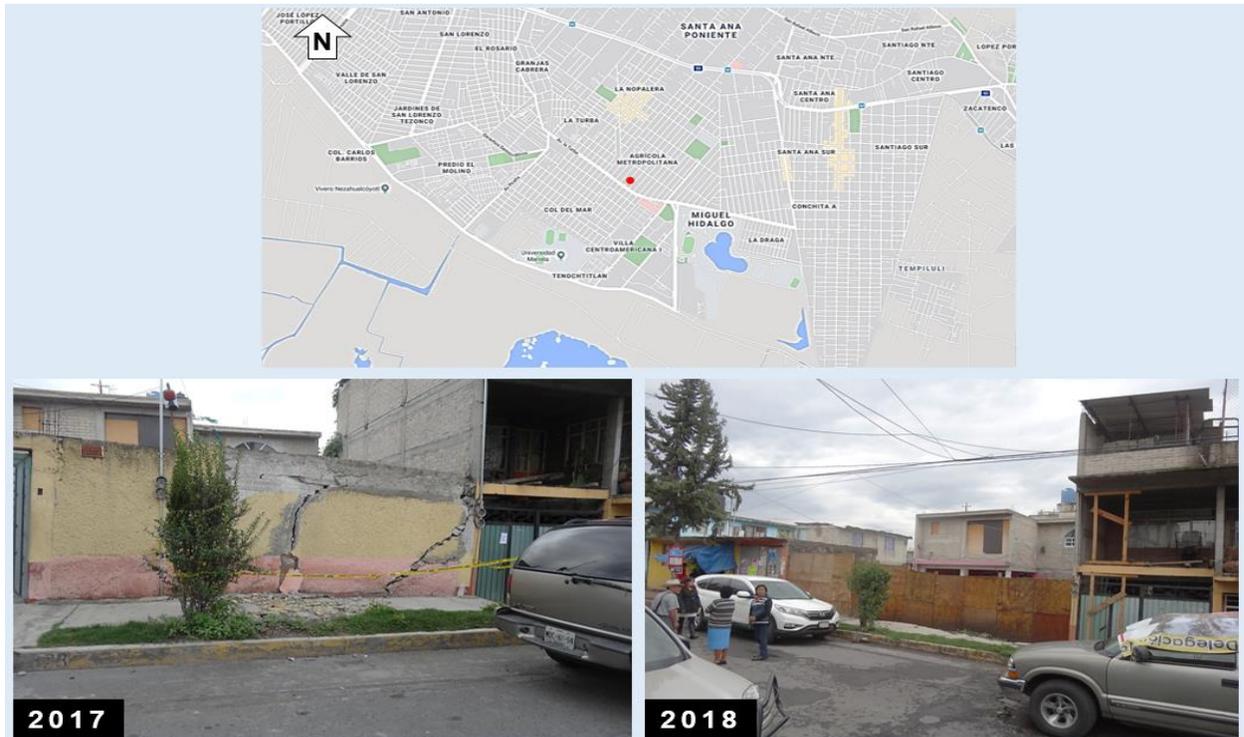
D.2.9 Grieta Arabella B, Col. Agrícola Metropolitana, Alcaldía de Tláhuac



D.2.9.1 Grieta localizada entre Jacobo de Lieja y La Turba.



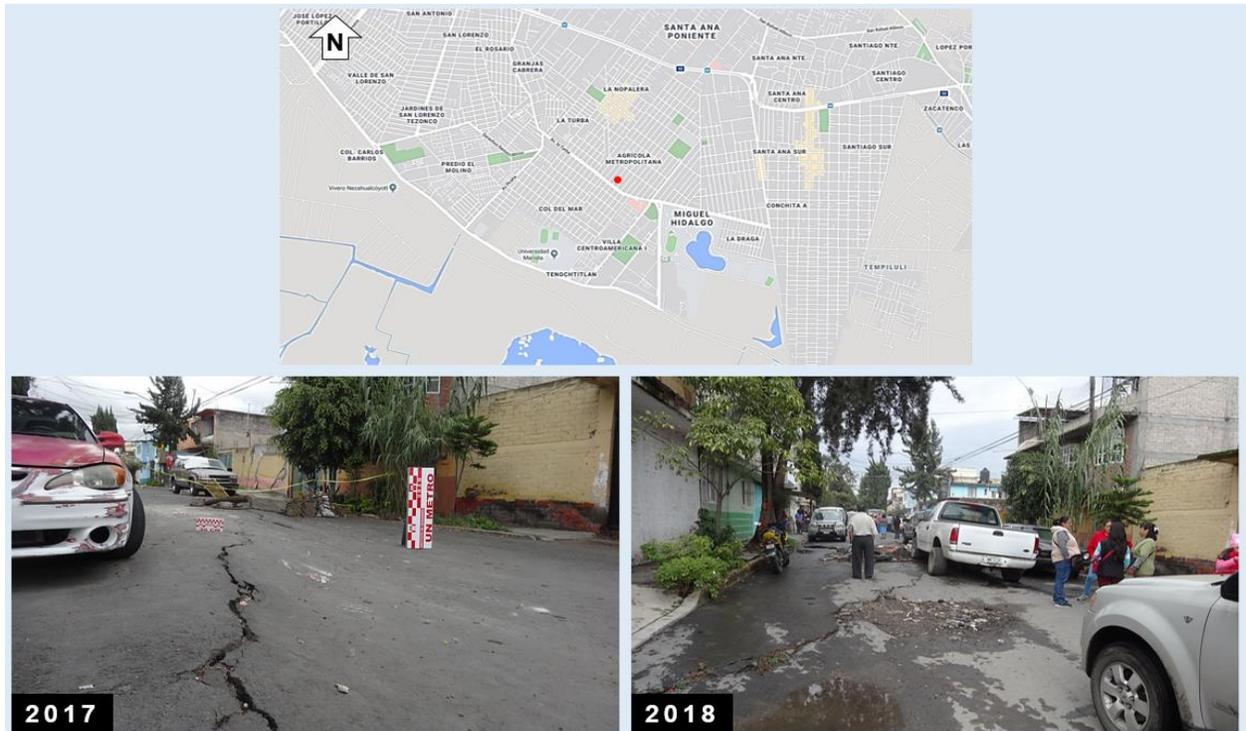
D.2.9.2 Vista de daños ocasionados por la grieta Arabella B.



D.2.9.3 Vista de la grieta Arabella B.

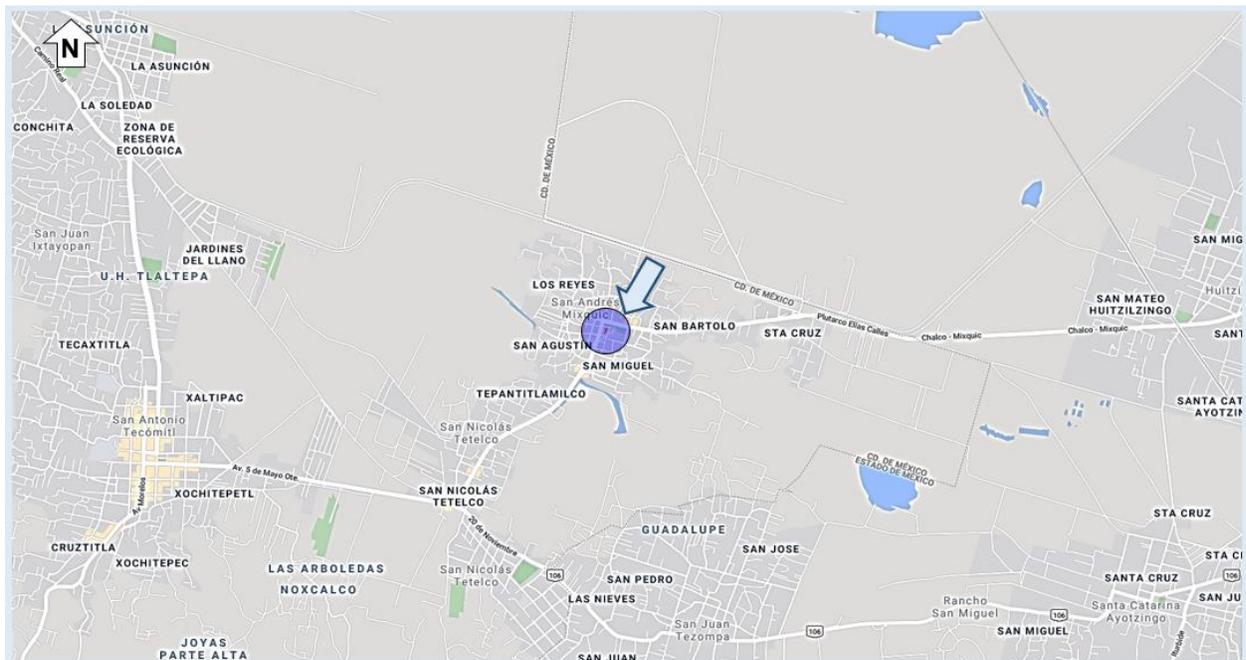


D.2.9.4 Vista de la grieta Arabella B.



D.2.9.5 Vista de la grieta Arabella B.

D.2.10 Grieta callejón Medellín B, Col. San Andrés Mixquic (Barrio San Miguel), Alcaldía de Tláhuac



D.2.10.1 Grieta localizada entre Independencia y Nuevo México.



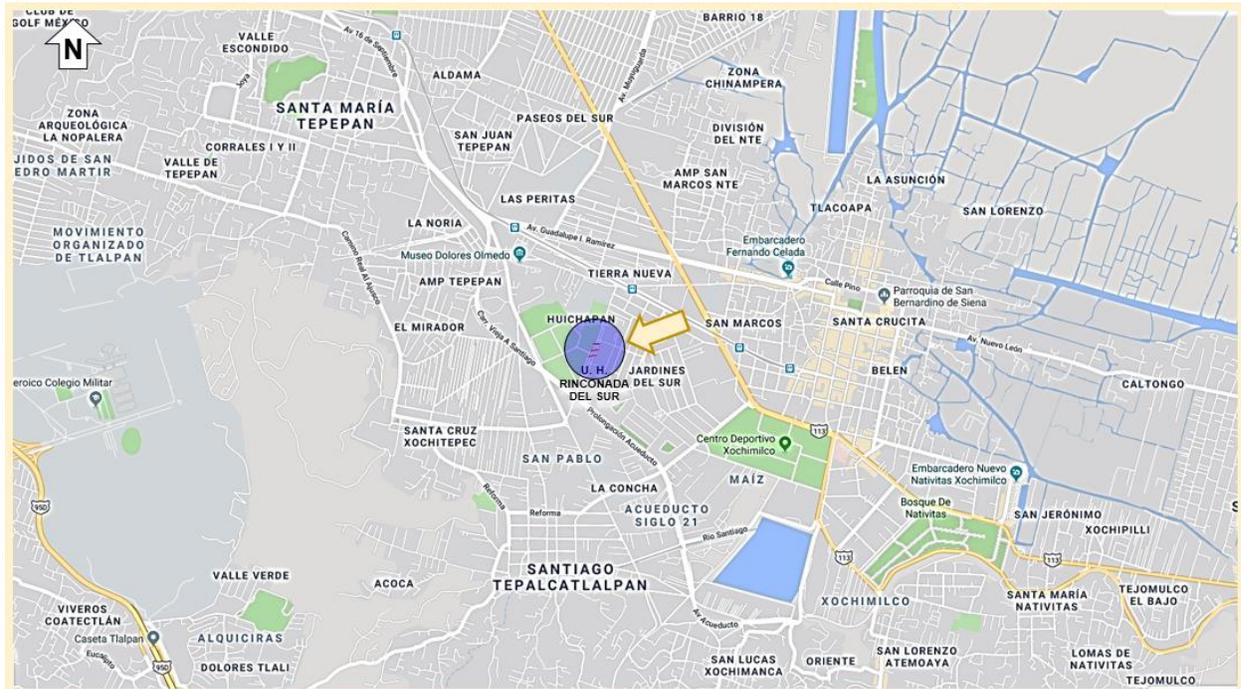
D.2.10.2 Vista de la grieta callejón Medellín B.



D.2.10.3 Vista de la grieta callejón Medellín B.



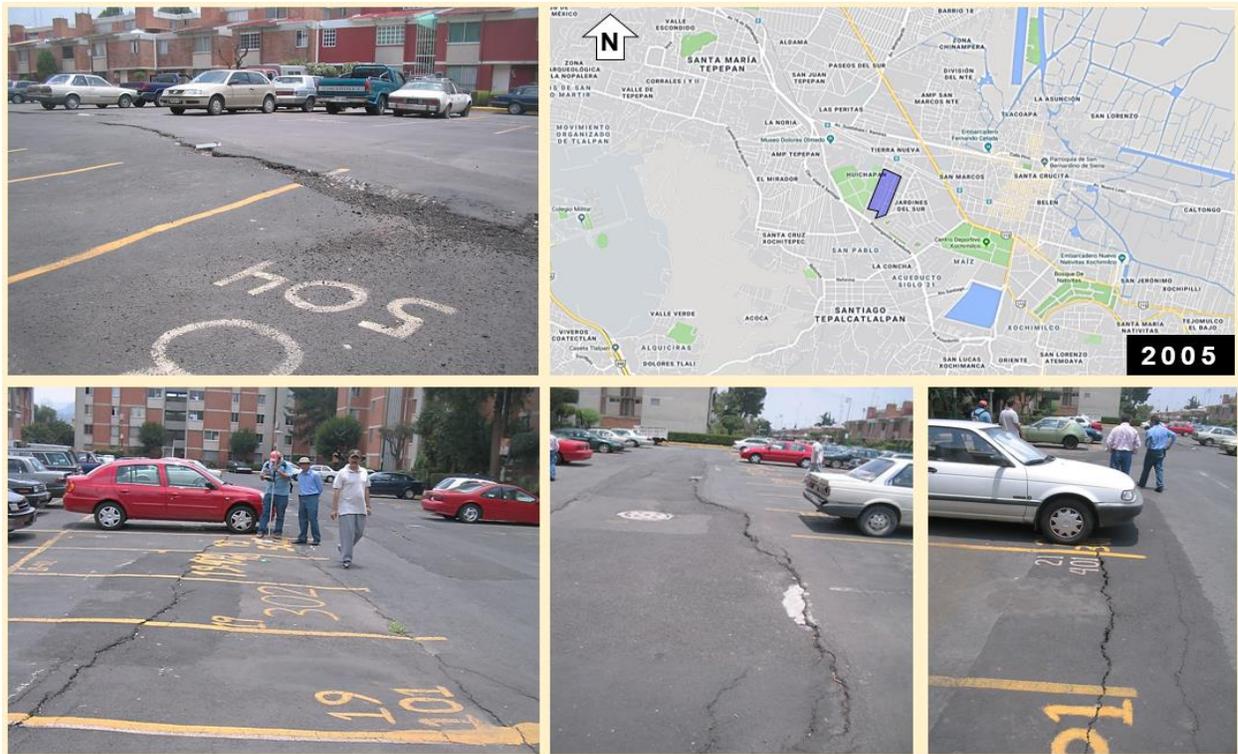
D.2.11 Grieta Mártires de Río Blanco B, Col. U. H. Rinconada del Sur, Alcaldía de Xochimilco



D.2.11.1 Grieta localizada entre Del Marco y De los Vitrales.

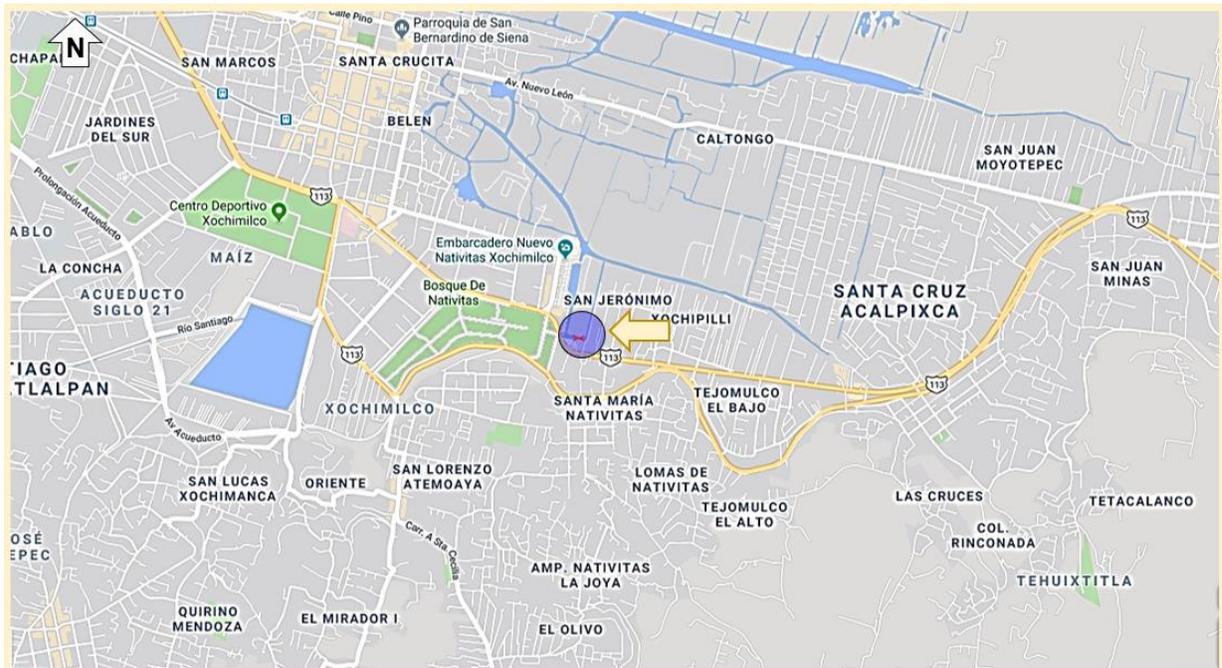


D.2.11.2 Vista de la grieta Mártires de Río Blanco B.

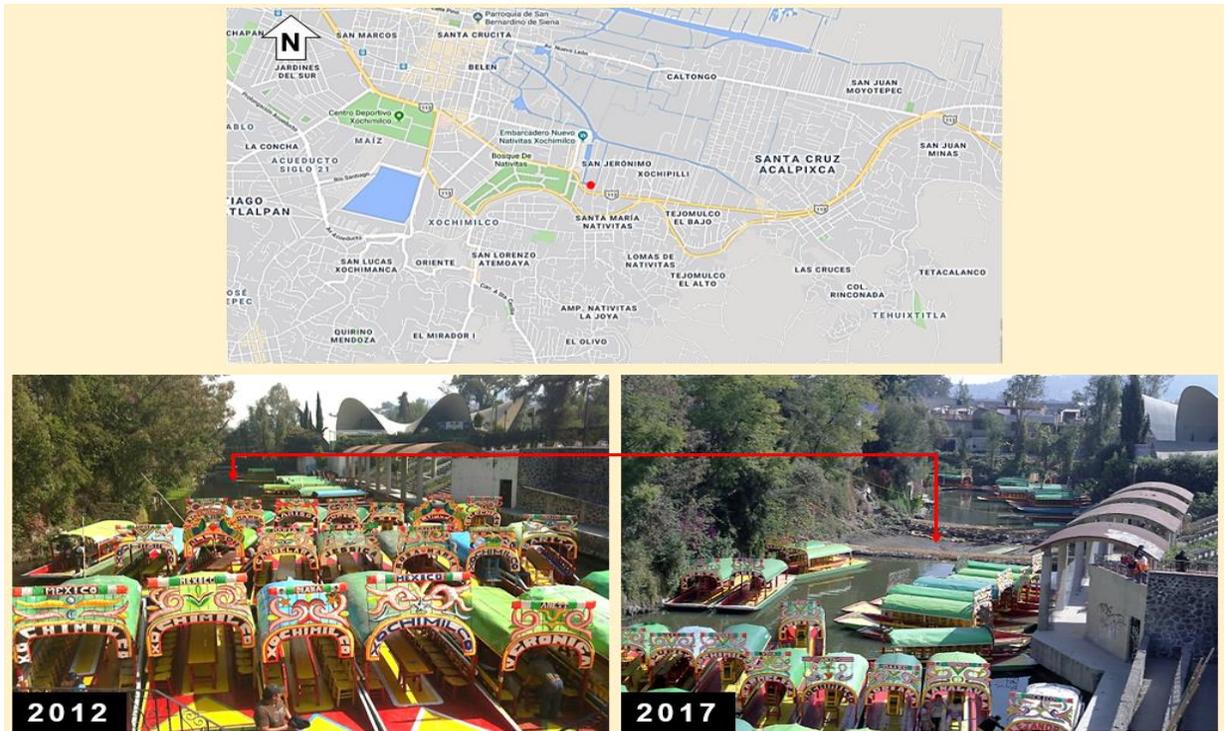


D.2.11.3 Vista de la grieta Mártires de Río Blanco B.

D.2.12 Grieta Embarcadero Zacapa-Canal 27, Col. San Jerónimo, Alcaldía de Xochimilco



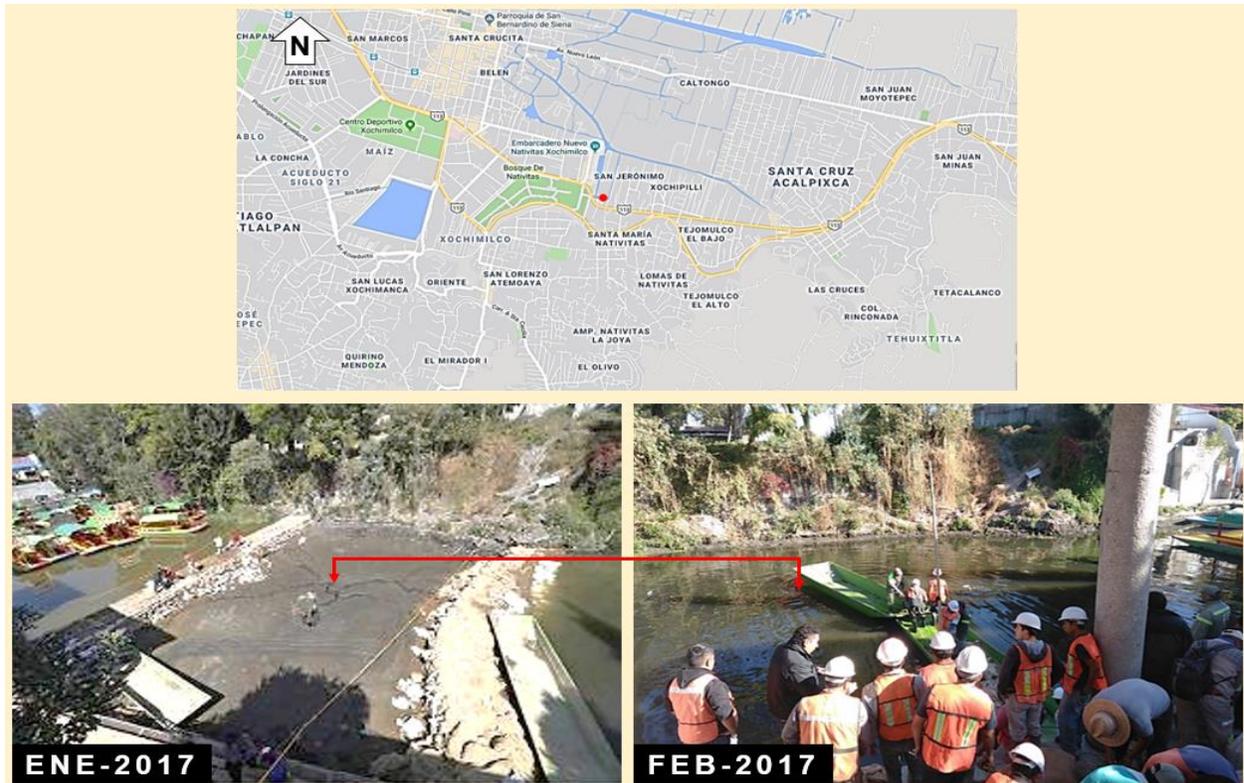
D.2.12.1 Grieta localizada por Carretera Xochimilco Tulyehualco esq. Zacapa.



D.2.12.2 Vista de la grieta Embarcadero Zacapa-Canal 27.

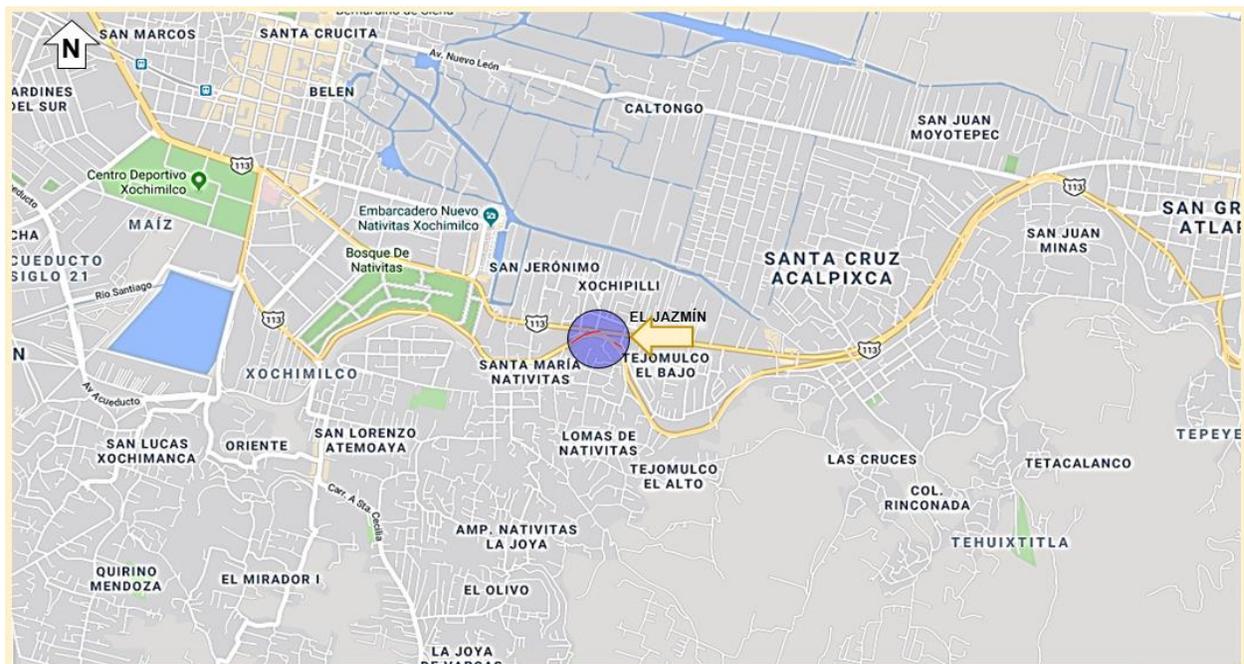


D.2.12.3 Vista de mitigación de grietas en Embarcadero Zacapa-Canal 27.

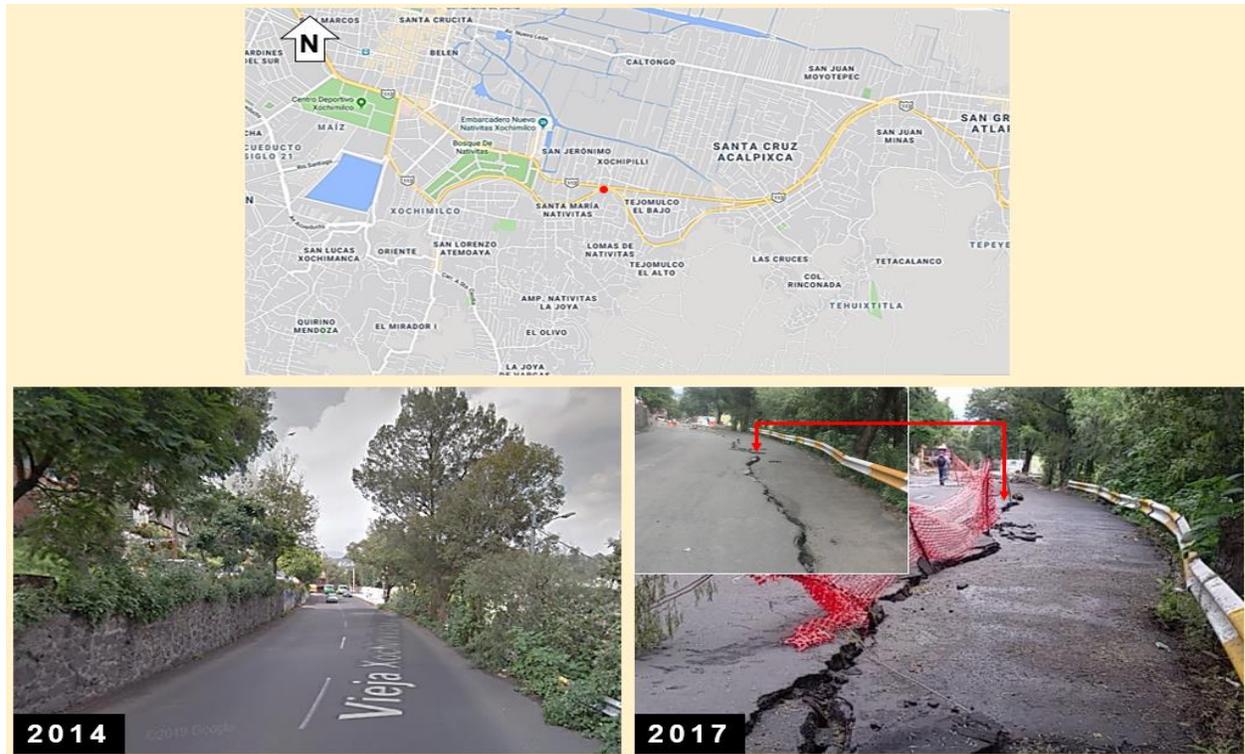


D.2.12.4 Vista de la grieta Embarcadero Zacapa-Canal 27.

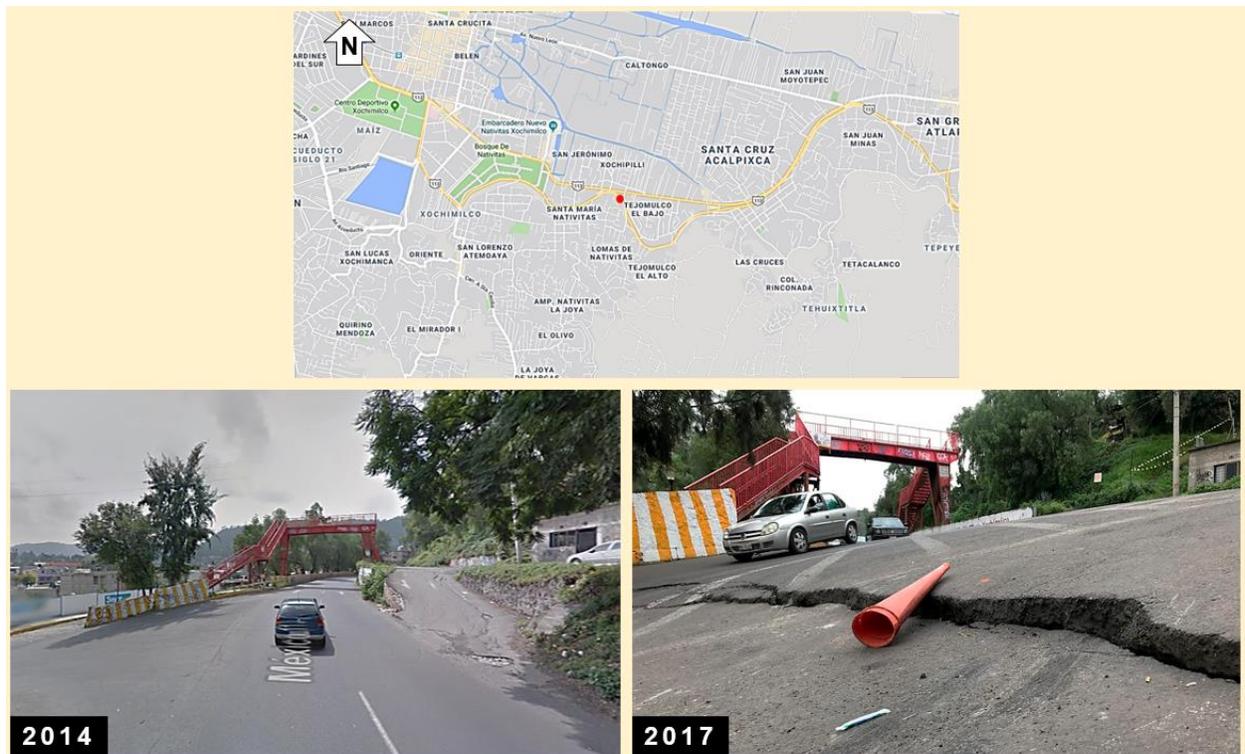
D.2.13 Grieta Nueva Carretera Xochimilco Tulyehualco, Col. El Jazmín, Alcaldía Xochimilco



D.2.13.1 Grieta localizada entre Cocoxóchitl y Francisco I. Madero.

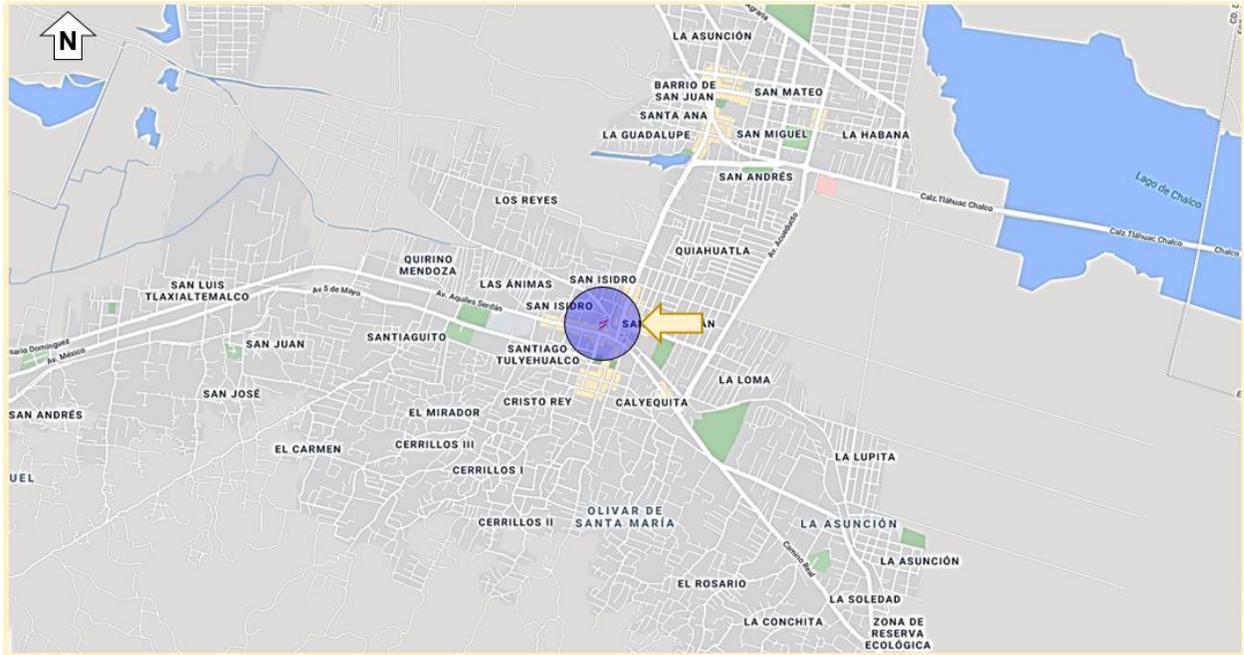


D.2.13.2 Vista de la grieta Nueva Carretera Xochimilco Tulyehualco.

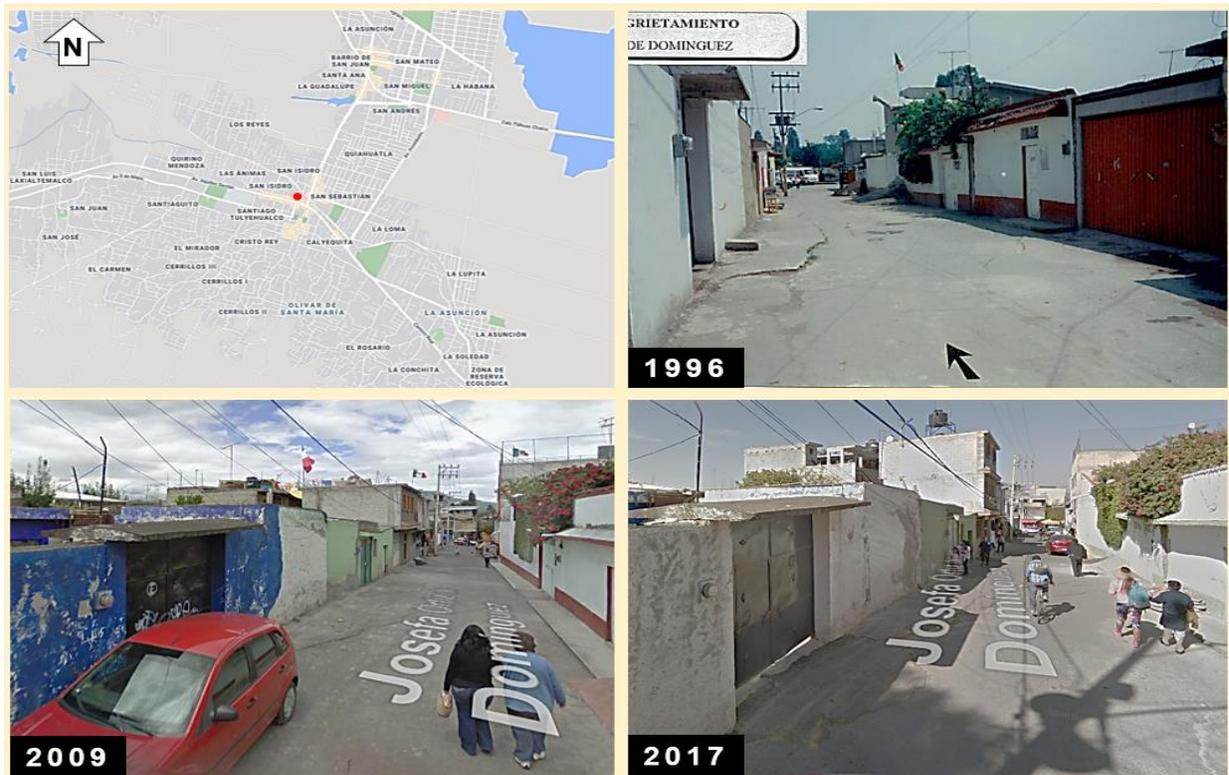


D.2.13.3 Vista de la grieta Nueva Carretera Xochimilco Tulyehualco.

D.2.14 Grieta Josefa Ortiz de Domínguez, Col. San Isidro (Santiago Tulyehualco), Alcaldía de Xochimilco



D.2.14.1 Grieta localizada entre Aquiles Serdán y Canal Nacional Amecameca.

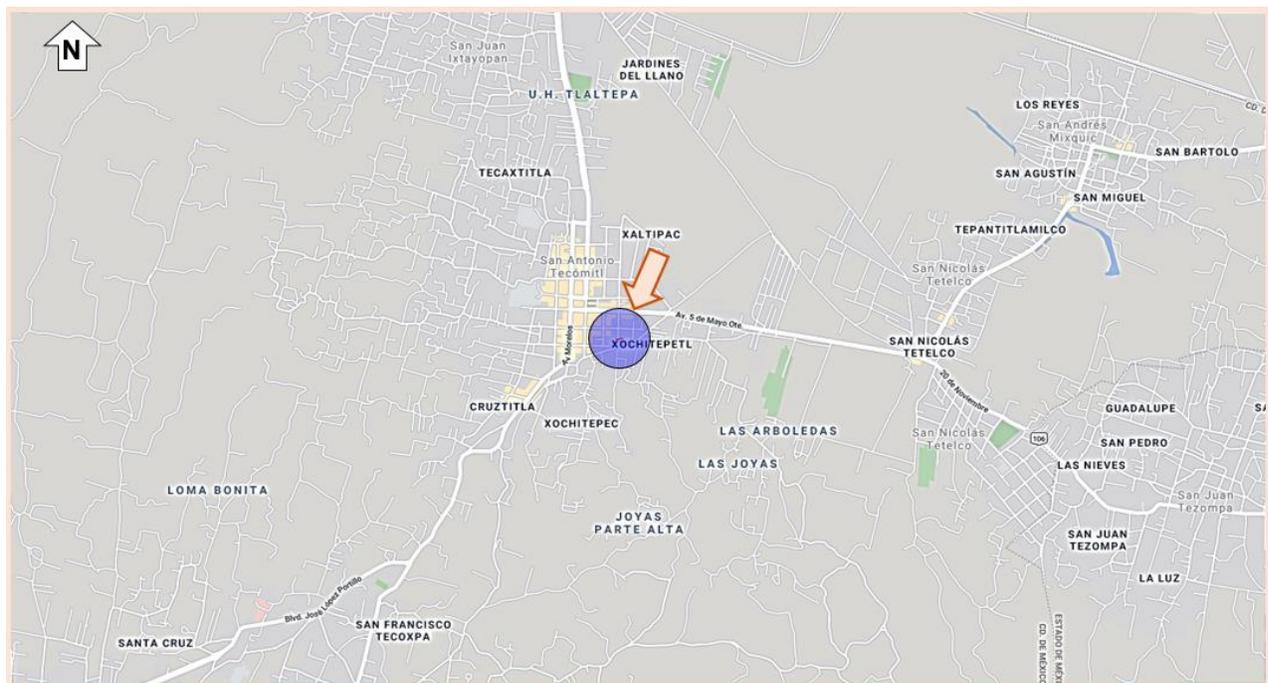


D.2.14.2 Vista de la grieta Josefa Ortiz de Domínguez.

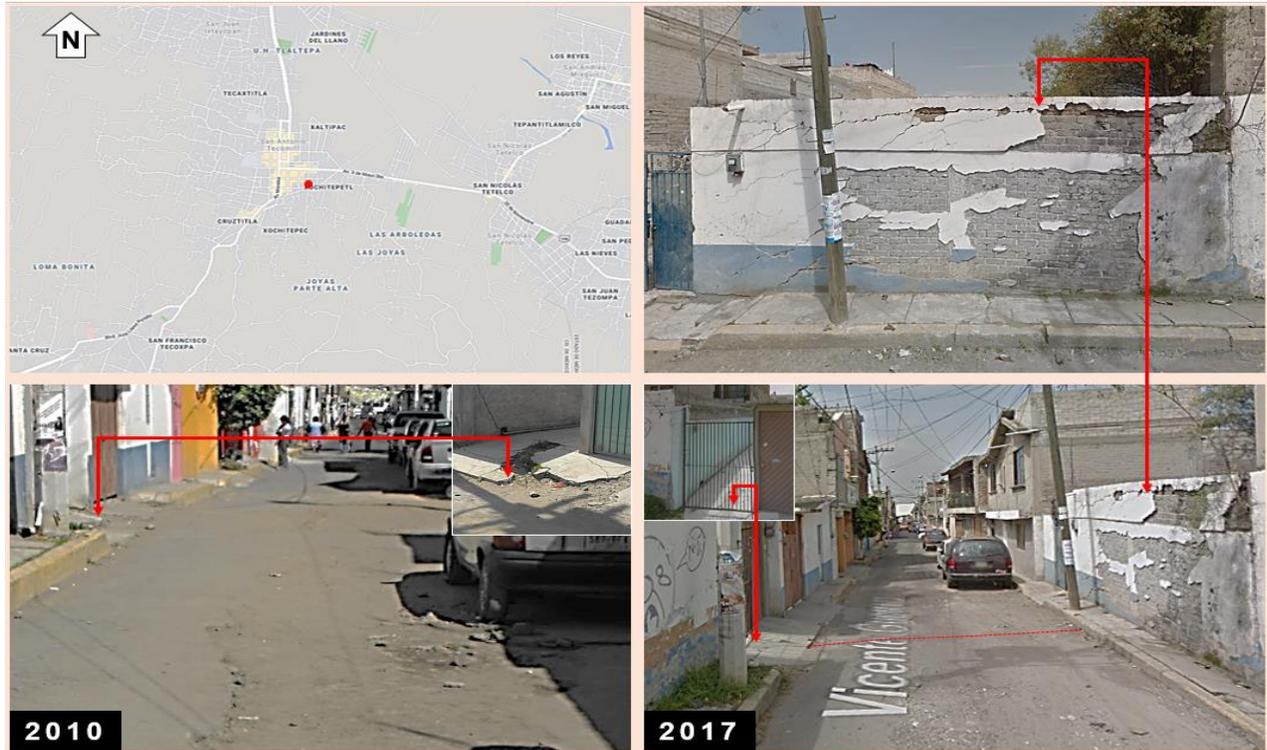


D.2.14.3 Vista de la grieta Josefa Ortiz de Domínguez.

D.2.15 Grieta Vicente Guerrero Sur, Col. Pueblo San Antonio Tecómitl, Alcaldía de Milpa Alta



D.2.15.1 Grieta localizada entre Allende Oriente, Barranca Seca e Iturbide Oriente.



D.2.15.2 Vista de la grieta Vicente Guerrero Sur.

D.3 Grietas en el suelo detectadas en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta

En las tablas D.2.1 a D.2.4 se presentan los sitios con grietas en las Alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta.

Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
1	BATALLA 5 DE MAYO	2	2	ÁLVARO OBREGÓN
2	BATALLA DE ANGOSTURA ESQ. R. FIGUEROA	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
3	BATALLA DE CASTILLO_A	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
4	BATALLA DE CASTILLO_B	0	2	ÁLVARO OBREGÓN
5	BATALLA DE CASTILLO_C	0	2	ÁLVARO OBREGÓN
6	BATALLA DE CELAYA	1	2	ÁLVARO OBREGÓN
7	BATALLA DE CULIACÁN	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
8	BATALLA DE NACO	0	3	ÁLVARO OBREGÓN
9	BATALLA DE CALVILLO CASI ESQ. FRANCISCO T. CONTRERAS	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
10	BATALLA DE CALVILLO ESQ. MIGUEL M. ACOSTA	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
11	BATALLA DE OJITOS CASI ESQ. PABLO BARRANDA	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
12	BATALLA DE ORENDAIN CASI ESQ. MIGUEL M. ACOSTA	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
13	BATALLA DE SANTA ROSA_A	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
14	BATALLA DE SANTA ROSA_B	2	0	ÁLVARO OBREGÓN
15	FES ZARAGOZA CAMPUS 2	3	0	ÁLVARO OBREGÓN



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
16	FRANCISCO T. CONTRERAS CASI ESQ. BATALLA DE CALVILLO	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
17	INÁRRITU FLORES ESQ. RAMÓN ITURBIDE	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
18	JAIME HERNÁNDEZ	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
19	MAYTORENA	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
20	MIGUEL M. ACOSTA	1	0	ÁLVARO OBREGÓN
21	PABLO BARRANDA CASI ESQ. BATALLA DE OJITOS	0	1	ÁLVARO OBREGÓN
22	CERRADA CARLOTA	0	2	EL EDÉN
23	CARRADA MARÍA EUGENIA	2	1	EL EDÉN
24	CERRADA MARÍA ISABEL	0	2	EL EDÉN
25	CERRADA VICTORIA	1	0	EL EDÉN
26	LAURA	0	2	EL EDÉN
27	PRIVADA FRANCISCO MANRIQUE	1	0	EL EDÉN
28	ALCANFOR	1	1	EL MOLINO TEZONCO
29	AZTECAS	1	1	EL MOLINO TEZONCO
30	CALLE IZTAPALAPA	0	1	EL MOLINO TEZONCO
31	CERRADA CUITLÁHUAC	0	1	EL MOLINO TEZONCO
32	CHIMALPOPOCA	1	1	EL MOLINO TEZONCO
33	CIPRÉS	2	1	EL MOLINO TEZONCO
34	ÉBANO	0	1	EL MOLINO TEZONCO
35	ENCINO_A	1	0	EL MOLINO TEZONCO
36	ENCINO_B	1	0	EL MOLINO TEZONCO
37	ENCINO_C	0	1	EL MOLINO TEZONCO
38	FRESNO_A	0	1	EL MOLINO TEZONCO
39	FRESNO_B	1	0	EL MOLINO TEZONCO
40	JACARANDAS ESQ. ÁLAMO	0	1	EL MOLINO TEZONCO
41	JACARANDAS ESQ. ALCANFOR	0	1	EL MOLINO TEZONCO
42	JACARANDAS ESQ. AZTECAS	1	0	EL MOLINO TEZONCO
43	JACARANDAS ESQ. ENCINO	1	0	EL MOLINO TEZONCO
44	JACARANDAS ESQ. OYAMEL	1	0	EL MOLINO TEZONCO
45	JACARANDAS ESQ. PINO	1	0	EL MOLINO TEZONCO
46	JACARANDAS_A	1	0	EL MOLINO TEZONCO
47	JACARANDAS_B	1	1	EL MOLINO TEZONCO
48	JACARANDAS_C	0	1	EL MOLINO TEZONCO
49	NOGAL ESQ. PINO	1	0	EL MOLINO TEZONCO
50	OCOTE	1	1	EL MOLINO TEZONCO
51	OYAMEL_A	1	0	EL MOLINO TEZONCO
52	OYAMEL_B	0	1	EL MOLINO TEZONCO
53	PARAÍSO	2	0	EL MOLINO TEZONCO
54	SAUCES CASI ESQ. ROSALITA	1	0	EL MOLINO TEZONCO
55	TOLTECAS	1	0	EL MOLINO TEZONCO
56	ZACAHUITZCO	1	1	EL MOLINO TEZONCO
57	CIRCUNVALACIÓN	0	2	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
58	CHIHUAHUA CASI ESQ. MATAMOROS	1	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
59	COLIMA_A	1	0	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
60	COLIMA_B	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
61	COLIMA CASI ESQ. FEDERICO GONZÁLEZ	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
62	CULIACÁN	1	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
63	JESÚS MORALES_A	1	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
64	JESÚS MORALES_B	1	0	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
65	JESÚS MORALES_C	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
66	JESÚS MORALES CASI ESQ. CHIHUAHUA	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
67	OAXACA CASI ESQ. CERRADA OAXACA	2	0	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
68	QUERÉTARO	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
69	RAFAEL MERINO-QUERÉTARO	0	2	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
70	TABASCO	1	0	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
71	TAPACHULA ESQ. TORREÓN	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
72	ZACATECAS_A	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
73	ZACATECAS_B	0	1	PUEBLO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA
74	ABARROTES Y VÍVERES CASI ESQ. FRUTAS Y LEGUMBRES	2	0	CENTRAL DE ABASTO
75	3a CERRADA FRESNO	1	0	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
76	4a CERRADA FRESNO	0	1	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
77	CALLE 3 JESÚS ARAUJO	0	1	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
78	CERRADA CEDROS	1	0	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
79	ESTACIONAMIENTO UNIDAD HABITACIONAL ÓPALO	2	3	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
80	INSURGENTES	1	0	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
81	JESÚS GARIBAY CASI ESQ. RÍO HUARACHE	0	1	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
82	LID. BRAULIO MALDONADO	0	2	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
83	MÁRTIRES DE RÍO BLANCO	0	1	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
84	PALMAS	1	0	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
85	PALMILLAS	0	1	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
86	RÍO AYUGUILA	1	0	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
87	RÍO HUACAPA	0	3	CONSEJO AGRARISTA MEXICANO
88	BATALLÓN DE ZACAPOAXTLA_A	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE
89	BATALLÓN DE ZACAPOAXTLA_B	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
90	BATALLÓN DE ZAPADORES-AV. MÉXICO	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
91	BATALLÓN DE ZAPADORES-AV. MÉXICO ESQ. QUETZAL	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
92	BATALLÓN FIJO DE VERACRUZ	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
93	BATALLÓN LIGERO DE TOLUCA	1	2	EJÉRCITO DE ORIENTE
94	EX CAMPAMENTO ANTORCHA CAMPELINA	3	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
95	FELIPE B. BERRIOZABAL	0	2	EJÉRCITO DE ORIENTE
96	FRANJA ZARAGOZA	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
97	GUELATAO	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
98	LANCEROS DE OAXACA	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE
99	LANCEROS DE OAXACA CASI ESQ. BATALLÓN DE ZACAPOAXTLA	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE
100	REMIGIO VALLARTA CASI ESQ. BATALLÓN LIGERO DE TOLUCA	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE
101	RIFLEROS DE SAN LUIS POTOSÍ	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE
102	SIN NOMBRE (ENTRE FRANJA ZARAGOZA E IGNACIO ZARAGOZA)	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE
103	BATALLA 5 DE MAYO	1	3	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
104	BRIGADA ÁLVAREZ_A	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
105	BRIGADA ÁLVAREZ_B	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
106	BRIGADA ÁLVAREZ_C	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
107	BRIGADA ÁLVAREZ_D	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
108	BRIGADA CARBAJAL_A	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
109	BRIGADA CARBAJAL_B	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
110	CAMILO RÍOS ESQ. BRIGADA CARBAJAL	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
111	CARLOS PACHECO	0	3	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
112	CARLOS PACHECO CASI ESQ. EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
113	CIRCUÍTO CARLOS RAMÍREZ	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
114	CIRCUÍTO LUIS ZAMORA	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
115	CIRCUÍTO LUIS ZAMORA ESQ. EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
116	CIRCUÍTO RAFAEL SALDAÑA	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
117	COMPAÑÍA DE IXCATLÁN_A	0	2	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
118	COMPAÑÍA DE IXCATLÁN_B	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
119	COMPAÑÍA DE IXCATLÁN CASI ESQ. BRIGADA CARBAJAL	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
120	COMPAÑÍA DE IXCATLÁN CASI ESQ. ESCUADRÓN TRUJANO	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
121	ESCUADRÓN TRUJANO	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
122	ESCUADRÓN TRUJANO ESQ. COMPAÑÍA DE IXCATLÁN	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
123	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE_A	3	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
124	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE_B	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
125	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE CASI ESQ. CARLOS PACHECO	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
126	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE CASI ESQ. COMPAÑÍA DE IXCATLÁN	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
127	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE CASI ESQ. JOSÉ RODRÍGUEZ	2	2	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
128	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE CASI ESQ. MIGUEL DOMÍNGUEZ	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
129	EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE ESQ. COMPAÑÍA DE IXCATLÁN	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
130	FÉLIX GUTIÉRREZ	2	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
131	GUADALUPE LÓPEZ	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
132	JOSÉ OJEDA	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
133	JUAN L. ENRÍQUEZ	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
134	MANUEL ANDRADE CASI ESQ. BRIGADA ÁLVAREZ	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
135	MIGUEL DOMÍNGUEZ	0	1	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
136	PABLO MENA_A	4	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
137	PABLO MENA_B	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
138	PANTALEÓN GARCÍA CASI ESQ. ANTONIO ESTÉVEZ	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
139	PARQUE PÚBLICO EXPLORADORES EJÉRCITO DE ORIENTE CASI ESQ. FÉLIX GUTIÉRREZ	2	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
140	RAFAEL BALLESTEROS	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
141	RETORNO 1 LEGIÓN DEL NORTE	3	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
142	SANTIAGO POU CASI ESQ. BRIGADA CARBAJAL	1	0	EJÉRCITO DE ORIENTE ZONA PEÑÓN
143	AHUIZOTL	2	1	EL PARAÍSO
144	CACAMATZIN	3	0	EL PARAÍSO
145	CARRADA ACAMAPICHTLI	1	0	EL PARAÍSO
146	CERRADA ILHUICAMINA	0	1	EL PARAÍSO
147	CORONADO_A	0	2	EL PARAÍSO
148	CORONADO_B	1	0	EL PARAÍSO
149	CORONADO ESQ. AHUIZOTL	1	0	EL PARAÍSO
150	CORONADO ESQ. NEZAHUALCÓYOTL	1	0	EL PARAÍSO
151	CUAUHTÉMOC_A	3	1	EL PARAÍSO
152	CUAUHTÉMOC_B	2	0	EL PARAÍSO
153	CUAUHTÉMOC CASI ESQ. AHUIZOTL	1	0	EL PARAÍSO
154	CUAUHTÉMOC ESQ. AHUIZOTL	0	1	EL PARAÍSO
155	ESTACIONAMIENTO CINEMEX ZARAGOZA	2	1	EL PARAÍSO
156	IGNACIO ZARAGOZA_A	2	1	EL PARAÍSO
157	IGNACIO ZARAGOZA_B	3	1	EL PARAÍSO
158	IXTLIXÓCHITL	1	0	EL PARAÍSO
159	NEZAHUALCÓYOTL	1	1	EL PARAÍSO
160	AGAPANDOS	1	0	EL ROSARIO
161	BENITO JUÁREZ	0	1	EL ROSARIO
162	FLOR DE NUBE	1	1	EL ROSARIO



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
163	GERANIOS CASI ESQ. GARDENIAS	0	1	EL ROSARIO
164	GERANIOS CASI ESQ. CLAVELINAS	1	1	EL ROSARIO
165	JARABE	2	0	EL ROSARIO
166	J. PATRICIO MORLETE RUIZ	0	1	EL ROSARIO
167	J. PATRICIO MORLETE RUIZ-BENITO JUÁREZ	2	0	EL ROSARIO
168	ANDADOR 3 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN CASI ESQ. ANDADOR 4 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN	1	0	ERMITA ZARAGOZA
169	ANDADOR 4 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN	2	0	ERMITA ZARAGOZA
170	ANDADOR 4 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN ESQ. ANDADOR 3 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN	1	0	ERMITA ZARAGOZA
171	ANDADOR 4 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN ESQ. ANDADOR CHURUMUCO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
172	ANDADOR ANDRÉS QUINTANA ROO Y ANDADOR PEDRO JOSÉ BERMEJO	1	2	ERMITA ZARAGOZA
173	ANDADOR ANTONIO CUMPLIDO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
174	ANDADOR CERRO DEL VELADERO CASI ESQ. RETORNO CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN	1	0	ERMITA ZARAGOZA
175	ANDADOR JOSÉ PAGOLA ESQ. RETORNO NIÑO ARTILLERO	1	1	ERMITA ZARAGOZA
176	ANDADOR LA ROQUETA	1	0	ERMITA ZARAGOZA
177	ANDADOR NIÑO ARTILLERO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
178	ANDADOR PADRE CARBAJAL	1	0	ERMITA ZARAGOZA
179	AVENIDA TEXCOCO ESQ. ANDADOR M. DE GALARDÍN	1	0	ERMITA ZARAGOZA
180	AVENIDA TEXCOCO ESQ. ANDADOR M. LOS REYES	1	0	ERMITA ZARAGOZA
181	AVENIDA TEXCOCO ESQ. ANDADOR PABLO DELGADO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
182	AVENIDA TEXCOCO ESQ. SIERVO DE LA NACIÓN	3	0	ERMITA ZARAGOZA
183	CONGRESO DE CHILPANCINGO NORTE	0	4	ERMITA ZARAGOZA
184	CONGRESO DE CHILPANCINGO NORTE CASI ESQ. ANDADOR ROMÁN DE LOS SANTOS	1	1	ERMITA ZARAGOZA
185	CONGRESO DE CHILPANCINGO SUR_A	2	1	ERMITA ZARAGOZA
186	CONGRESO DE CHILPANCINGO SUR_B	1	1	ERMITA ZARAGOZA
187	CONGRESO DE CHILPANCINGO SUR ESQ. RETORNO ECATEPEC	1	0	ERMITA ZARAGOZA
188	GENERALÍSIMO MORELOS ESQ. ANDADOR N. ARIAS	1	0	ERMITA ZARAGOZA
189	IGNACIO ZARAGOZA_A	1	1	ERMITA ZARAGOZA
190	IGNACIO ZARAGOZA_B	2	3	ERMITA ZARAGOZA
191	IGNACIO ZARAGOZA_C	1	1	ERMITA ZARAGOZA
192	IGNACIO ZARAGOZA_D	4	0	ERMITA ZARAGOZA
193	PARADERO NORTE ESTACIÓN ACATITLA LÍNEA "A"	4	2	ERMITA ZARAGOZA
194	RETORNO CIUDADELA CASI ESQ. ANDADOR ANTONIO CUMPLIDO	1	1	ERMITA ZARAGOZA
195	RETORNO COSTITUCIÓN DE APATZINGÁN CASI ESQ. ANDADOR 4 CONSTITUCIÓN DE APATZINGÁN	1	0	ERMITA ZARAGOZA



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
196	RETORNO COSTITUCIÓN DE APATZINGÁN CASI ESQ. ANDADOR JOAQUÍN CAMPOS	0	1	ERMITA ZARAGOZA
197	RETORNO ECATEPEC	1	1	ERMITA ZARAGOZA
198	RETORNO NIÑO ARTILLERO	3	1	ERMITA ZARAGOZA
199	SENTIMIENTOS DE LA NACIÓN ESQ. ANDADOR PEDRO VILLASEÑOR	0	1	ERMITA ZARAGOZA
200	SENTIMIENTOS DE LA NACIÓN ESQ. ANDADOR SANTIAGO SÁNCHEZ	1	0	ERMITA ZARAGOZA
201	SENTIMIENTOS DE LA NACIÓN ESQ. ANDADOR TESMALACA	1	0	ERMITA ZARAGOZA
202	SIERVO DELA NACIÓN_A	1	1	ERMITA ZARAGOZA
203	SIERVO DE LA NACIÓN_B	1	0	ERMITA ZARAGOZA
204	SIERVO DE LA NACIÓN ESQ. ANDADOR JOSÉ MORALES AGUAYO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
205	SIERVO DE LA NACIÓN ESQ. ANDADOR LORENZO LIQUIDANO	1	0	ERMITA ZARAGOZA
206	BELISARIO DOMÍNGUEZ	0	1	GUADALUPE DEL MORAL
207	EL PÍPILA	0	1	GUADALUPE DEL MORAL
208	IGANCIO ALLENDE CASI ESQ. CANAL DEL MORAL	0	1	GUADALUPE DEL MORAL
209	JOSÉ MARÍA MORELOS	0	1	GUADALUPE DEL MORAL
210	CANAL MANCHESTER	1	0	INSURGENTES
211	CANAL PEDRO VÉLEZ CASI ESQ. PEDRO LASCURÁIN	2	0	INSURGENTES
212	CANAL PUERTO ÁNGEL	1	0	INSURGENTES
213	CANAL SAN LORENZO	0	1	INSURGENTES
214	FRESNO	0	1	INSURGENTES
215	MARTÍN CARRERA	0	1	INSURGENTES
216	PORFIRIO DÍAZ ESQ. FRESNO	0	1	INSURGENTES
217	EDUARDO VASCONCELOS	1	0	JACARANDAS
218	GENARO ESTRADA CASI ESQ. EDUARDO VASCONCELOS	1	1	JACARANDAS
219	GONZÁLEZ CAMARENA_A	2	0	JACARANDAS
220	GONZÁLEZ CAMARENA_B	0	1	JACARANDAS
221	GONZÁLEZ CAMARENA ESQ. MANLIO FABIO ALTAMIRANO	1	0	JACARANDAS
222	ING. VITO ALESSIO_A	1	1	JACARANDAS
223	ING. VITO ALESSIO_B	0	1	JACARANDAS
224	LEANDRO VALLE	2	0	JACARANDAS
225	LID. CRUZ RODRÍGUEZ_A	0	3	JACARANDAS
226	LID. CRUZ RODRÍGUEZ_B	0	2	JACARANDAS
227	LID. GILBERTO VALENZUELA	1	0	JACARANDAS
228	LID. GILBERTO VALENZUELA CASI ESQ. GONZÁLEZ CAMARENA	0	1	JACARANDAS
229	LID. GILBERTO VALENZUELA CASI ESQ. IGNACIO L. VALLARTA	1	0	JACARANDAS
230	LID. IGNACIO L. VALLARTA	0	1	JACARANDAS
231	LID. IGNACIO L. VALLARTA CASI ESQ. LID. GILBERTO VALENZUELA	2	0	JACARANDAS
232	LID. IGNACIO L. VALLARTA CASI ESQ. MIGUEL HIDALGO	0	2	JACARANDAS
233	LID. ISIDRO FABELA	2	0	JACARANDAS
234	LID. LUIS CABRERA CASI ESQ. LEANDRO VALLE	1	1	JACARANDAS
235	LID. PRIMO VERDAD	1	1	JACARANDAS
236	MANLIO FABIO ALTAMIRANO	1	2	JACARANDAS
237	MANEL ACUÑA_A	0	2	JACARANDAS
238	MANUEL ACUÑA_B	2	0	JACARANDAS



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
239	MIGUEL HIDALGO	0	1	JACARANDAS
240	MIGUEL HIDALGO CASI ESQ. MANUEL ACUÑA	2	0	JACARANDAS
241	PARQUE JACARANDAS	1	0	JACARANDAS
242	PROFR. M. MARILES	0	1	JACARANDAS
243	5 DE MAYO	0	1	LA ERA
244	ANDRÉS BARRAZA	1	3	LA ERA
245	CERRADA VICENTE GRANILLO	1	1	LA ERA
246	D. D. TERRAPLÉN SAN RAFAEL CASI ESQ. CASIMIRO CHOVEL	1	0	LA ERA
247	D. VALENCIA	1	0	LA ERA
248	INSURGENTES	0	1	LA ERA
249	LUCIO BLANCO CASI ESQ. MANUNEL GONZÁLEZ	0	1	LA ERA
250	M. MARTÍNEZ V.	0	1	LA ERA
251	MANUEL GONZÁLEZ	0	1	LA ERA
252	MARCOS ARRONIZ	1	0	LA ERA
253	PEDRO MORENO	1	0	LA ERA
254	PEDRO SASTRE	2	0	LA ERA
255	PREDIO D. D. TERRAPLÉN SAN RAFAEL	2	0	LA ERA
256	PROLONGACIÓN MORELOS	0	1	LA ERA
257	VICENTE GRANILLO CASI ESQ. PEDRO MORENO	1	0	LA ERA
258	ANDADOR REVOLUCIÓN	2	0	LA PLANTA
259	DERECHOS DEMOCRÁTICOS_A	2	0	LA PLANTA
260	DERECHOS DEMOCRÁTICOS_B	1	1	LA PLANTA
261	DERECHOS DEMOCRÁTICOS CASI ESQ. MOLINO DE VIENTO	1	0	LA PLANTA
262	EL MOLINO CASI ESQ. MARGARITAS	1	0	LA PLANTA
263	EL MOLINO ESQ. MOLINO ARROCERO	2	0	LA PLANTA
264	ESTACIONAMIENTO U. H. EL PARQUE-ANDADOR LA COLINA	2	0	LA PLANTA
265	MOLINO ARROCERO	3	0	LA PLANTA
266	NUBE	1	0	LA PLANTA
267	ROSALITA-DERECHOS DEMOGRÁFICOS	0	2	LA PLANTA
268	ROSALITA ESQ. SAUCES	2	0	LA PLANTA
269	1a CERRADA INSURGENTES	1	1	LAS PEÑAS
270	AGUSTÍN MELGAR	1	0	LAS PEÑAS
271	ANTONIO PEÑA CASI ESQ. MIGUEL BADILLO	0	1	LAS PEÑAS
272	CERRADA EMILIO PORTES GIL	0	1	LAS PEÑAS
273	DEL VERGEL	0	3	LAS PEÑAS
274	IGNACIO MANUEL ALTAMIRANO	0	2	LAS PEÑAS
275	IGNACIO VALDIVIA	1	1	LAS PEÑAS
276	MÁRQUEZ	2	0	LAS PEÑAS
277	PROLONGACIÓN MORELOS	0	1	LAS PEÑAS
278	RAFAELA GONZÁLEZ	1	1	LAS PEÑAS
279	4a CERRADA IGANCIO ZARAGOZA	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
280	ABEDULES CASI ESQ. FLOR DE ÁNGEL	0	1	LOMAS DE SAN LORENZO
281	CAMINO A SANTA CRUZ	1	1	LOMAS DE SAN LORENZO
282	CAMINO A SANTA CRUZ CASI ESQ. BENITO JUÁREZ	0	1	LOMAS DE SAN LORENZO
283	CONJUNTO HABITACIONAL JUÁREZ	4	1	LOMAS DE SAN LORENZO
284	FLOR DE ÁNGEL	0	1	LOMAS DE SAN LORENZO
285	FLOR DE AZAHAR	2	1	LOMAS DE SAN LORENZO
286	FLOR DE CACAO	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
287	LIBERTAD CASI ESQ. LOMAS DE SAN LORENZO	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
288	LOMAS DE SAN LORENZO CASI ESQ. LIBERTAD	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
289	PREDIO CENTRO DE ESTUDIOS Y MONITOREO	3	0	LOMAS DE SAN LORENZO
290	PROGRESO	3	0	LOMAS DE SAN LORENZO
291	RECLUSORIO PREVENTIVO VARONIL ORIENTE	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
292	REFORMA_A	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
293	REFORMA_B	1	0	LOMAS DE SAN LORENZO
294	REFORMA_C	1	1	LOMAS DE SAN LORENZO
295	RÍO SAN LORENZO-LAS TORRES	0	6	LOMAS DE SAN LORENZO
296	VISTA HERMOSA CASI ESQ. FLOR DE CACAO	0	1	LOMAS DE SAN LORENZO
297	VISTA HERMOSA CASI ESQ. GARDENIAS	2	0	LOMAS DE SAN LORENZO
298	UNIDAD ZARAGOZA 38	2	0	LOMAS DE SAN LORENZO
299	FLOR DE LIZ	0	1	LOS ÁNGELES APANOAYA
300	FLOR DE LIZ CASI ESQ. TERRAPLEN SAN RAFAEL	0	1	LOS ÁNGELES APANOAYA
301	LIRIO	0	1	LOS ÁNGELES APANOAYA
302	NOCHEBUENA	0	1	LOS ÁNGELES APANOAYA
303	AVENIDA DE LAS TORRES-EJE 6 SUR	1	0	PARAJE ZACATEPEC
304	AVENIDA MÉXICO	0	1	PARAJE ZACATEPEC
305	CERRADA HIDALGO	0	1	PARAJE ZACATEPEC
306	CERRO DE LA ESTRELLA CASI ESQ. AVENIDA DE LAS TORRES	1	0	PARAJE ZACATEPEC
307	CERRO DE LOS BONETES	0	1	PARAJE ZACATEPEC
308	CERRO DE LOS BONETES CASI ESQ. CERRO SAN PABLO	1	0	PARAJE ZACATEPEC
309	CERRO SAN PABLO	1	0	PARAJE ZACATEPEC
310	FELIPE CARRILLO PUERTO	1	0	PARAJE ZACATEPEC
311	VISTA HERMOSA	1	0	PARAJE ZACATEPEC
312	1a CERRADA MANUEL CAÑAS	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
313	5 DE MAYO_A	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
314	5 DE MAYO_B	1	0	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
315	CERRADA 5 DE MAYO	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
316	BENITO JUÁREZ	1	0	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
317	BENITO JUÁREZ ESQ. PRIVADA BENITO JUÁREZ	1	0	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
318	ERMITA IZTAPALAP ESQ. EMILIANO ZAPATA	1	0	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
319	GUADALUPE VICTORIA	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
320	JAVIER MINA_A	0	2	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
321	JAVIER MINA_B	0	3	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
322	JAVIER MINA ESQ. 5 DE MAYO	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
323	LUCIO BLANCO	1	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
324	LUCIO BLANCO ESQ. ÚRSULO GALVÁN	2	0	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
325	MAURILIO MEJÍA	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
326	PRIVADA BENITO JUÁREZ	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
327	ZARAGOZA	0	1	PUEBLO SANTA CRUZ MEYEHUALCO
328	1 a CERRADA 5 DE MAYO CASI ESQ. 5 DE MAYO	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
329	1a CERRADA 5 DE MAYO CASI ESQ. GALEANA	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
330	5 DE MAYO_A	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
331	5 DE MAYO_B	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
332	16 DE SEPTIEMBRE	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
333	BENITO JUÁREZ_A	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
334	BENITO JUÁREZ_B	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
335	CAYETANO ANDRADE_A	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
336	CAYETANO ANDRADE_B	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
337	CENTRO DEPORTIVO SANTA MARTHA ACATITLA	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
338	CERRADA FRANCISCO SARABIA	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
339	ERMITA IZTAPALAPA	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
340	ESTACIONAMIENTO UNIDAD CONSTITUCIÓN	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
341	EVERARDO GONZÁLEZ	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
342	EVERARDO GONZÁLEZ CASI ESQ. GABRIEL TEPOPA	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
343	EVERARDO GONZÁLEZ ESQ. BENITO JUÁREZ	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
344	FRANCISCO I. MADERO_A	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
345	FRANCISCO I. MADERO_B	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
346	FRANCISCO I. MADERO_C	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
347	FRANCISCO I. MADERO CASI ESQ. YUCATÁN	1	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
348	FRANCISCO SARABIA_A	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
349	FRANCISCO SARABIA_B	1	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
350	FRANCISCO SARABIA ESQ. RAFAEL REYES	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
351	GABRIEL TEPOPA	1	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
352	GABRIEL TEPOPA ESQ. CAYETANO ANDRADE	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
353	GALEANA	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
354	GUILLERMO VACA	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
355	IGNACIO ZARAGOZA_A	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
356	IGNACIO ZARAGOZA_B	3	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
357	IGNACIO ZARAGOZA CASI ESQ. AMADOR SALAZAR	1	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
358	IGNACIO ZARAGOZA CASI ESQ. CAYETANO ANDRADE	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
359	IGNACIO ZARAGOZA ESQ. LUIS CERVANTES	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
360	INDEPENDENCIA_A	0	2	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
361	INDEPENDENCIA_B	0	2	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
362	JESÚS M. CARRIÓN CASI ESQ. IGNACIO ZARAGOZA	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
363	JOSÉ INDELICATO	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
364	LUIS T. NAVARRO	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
365	OCTAVIO PAZ	0	2	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
366	PORFIRIO DÍAZ	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
367	PROVIDENCIA	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
368	SANTIAGO CASI ESQ. PROVIDENCIA	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
369	RAFAEL REYES	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
370	SOLEDAD	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
371	TERRENO JESÚS M. CARRIÓN MZA. 64 LTE. 569	1	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
372	VENUSTIANO CARRANZA	2	0	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
373	VENUSTIANO CARRANZA ESQ. GALEANA	0	1	PUEBLO SANTA MARTHA ACATITLA
374	AVENIDA 2_A	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
375	AVENIDA 2_B	0	2	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
376	AVENIDA 2_C	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
377	AVENIDA 2 ESQ. CALLE 47	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
378	AVENIDA 4	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
379	AVENIDA 4 CASI ESQ. CALLE 11	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
380	AVENIDA 4 CASI ESQ. CALLE 41	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
381	AVENIDA 4 CASI ESQ. CALLE 19	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
382	AVENIDA 4 ESQ. CALLE 39	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
383	AVENIDA 4 ESQ. CALLE 41	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
384	AVENIDA 6	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
385	AVENIDA 8	0	4	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
386	AVENIDA 14 ESQ. CALLE 41	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
387	AVENIDA 14 CASI ESQ. CALLE 59	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
388	CALLE 1	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
389	CALLE 3 CASI ESQ. SANTA CRUZ MEYEHUALCO	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
390	CALLE 11 CASI ESQ. AVENIDA 6	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
391	CALLE 11 CASI ESQ. ERMITA IZTAPALAPA	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
392	CALLE 13	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
393	CALLE 13 ESQ. AVENIDA 6	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
394	CALLE 15	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
395	CALLE 15 CASI ESQ. AVENIDA 2	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
396	CALLE 17_A	3	4	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
397	CALLE 17_B	0	3	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
398	CALLE 19_A	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
399	CALLE 19_B	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
400	CALLE 19_C	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
401	CALLE 21	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
402	CALLE 23	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
403	CALLE 25_A	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
404	CALLE 25_B	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
405	CALLE 25 ESQ. AVENIDA 8	2	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
406	CALLE 27	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
407	CALLE 29	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
408	CALLE 31	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
409	CALLE 35	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
410	CALLE 37	0	2	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
411	CALLE 37 CASI ESQ. SAMUEL GOMPERS	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
412	CALLE 39	0	2	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
413	CALLE 41 CASI ESQ. AVENIDA 4	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
414	CALLE 43	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
415	CALLE 47 ESQ. ERMITA IZTAPALAPA	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
416	CALLE 47 CASI ESQ. AVENIDA 2	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
417	CALLE 55	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
418	CALLE 57	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
419	CALLE 61	0	3	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
420	CALLE 61 CASI ESQ. AVENIDA 14	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
421	CALLE 63_A	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
422	CALLE 63_B	5	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
423	CALLE 63_C	3	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
424	CALLE 63 CASI ESQ. AVENIDA 2	0	4	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
425	CALLE 63 CASI ESQ. AVENIDA 8	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
426	CALLE 65	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
427	CALLE 69	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
428	CALLE 71 CASI ESQ. AVENIDA 10	0	2	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
429	CALLE 71 CASI ESQ. ERMITA IZTAPALAPA	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
430	CAMPO DE BEISBOL DEPORTIVO SANTA CRUZ MEYEHUALCO	0	2	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
431	ERMITA IZTAPALAPA	2	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
432	ERMITA IZTAPALAPA CASI ESQ. CALLE 25	1	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
433	GENARO ESTRADA	1	3	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
434	GENARO ESTRADA CASI ESQ. EDUARDO VASCONCELOS	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
435	PARQUE UNO	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
436	SAMUEL GOMPERS CASI ESQ. CALLE 35	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
437	SAMUEL GOMPERS CASI ESQ. CALLE 63	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
438	SANTA CRUZ MEYEHUALCO_A	1	0	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
439	SANTA CRUZ MEYEHUALCO_B	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
440	SANTA CRUZ MEYEHUALCO CASI ESQ. CALLE 25	0	1	SANTA CRUZ MEYEHUALCO
441	20 DE NOVIEMBRE	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
442	20 DE NOVIEMBRE CASI ESQ. EMILIANO ZAPATA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
443	AQUILES SERDÁN_A	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
444	AQUILES SERDÁN_B	2	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
445	AQUILES SERDÁN CASI ESQ. FELIPE ÁNGELES	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
446	CERRADA MÉXICO-CANCHAS AVENIDA MÉXICO	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
447	CIRCUNVALACIÓN_A	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
448	CIRCUNVALACIÓN_B	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
449	CIRCUNVALACIÓN_C	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
450	CIRCUNVALACIÓN_D	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
451	CIRCUNVALACIÓN_E	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
452	CIRCUNVALACIÓN_F	0	2	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
453	CIRCUNVALACIÓN CASI ESQ. 20 DE NOVIEMBRE	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
454	CIRCUNVALACIÓN CASI ESQ. MANUEL ÁVILA CAMACHO	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
455	CIRCUNVALACIÓN CASI ESQ. PLAN DE SAN LUIS	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
456	CIRCUNVALACIÓN CASI ESQ. PROFR. OTILIO MONTAÑO	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
457	CIRCUNVALACIÓN ESQ. EMILIANO ZAPATA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
458	CIRCUNVALACIÓN ESQ. HERMINIO CHAVARRÍA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
459	CIRCUNVALACIÓN ESQ. PROFR. OTILIO MONTAÑO	2	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
460	CUAUHTÉMOC_A	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
461	CUAUHTÉMOC_B	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
462	CUAUHTÉMOC_C	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
463	EMILIANO ZAPATA	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
464	EMILIANO ZAPATA CASI ESQ. VICENTE GUERRERO	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
465	FELIPE ÁNGELES	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
466	FELIPE ÁNGELES CASI ESQ. BENITO JUÁREZ	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
467	FELIPE ÁNGELES CASI ESQ. FRANCISCO VILLA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
468	FRANCISCO VILLA_A	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
469	FRANCISCO VILLA_B	2	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
470	FRANCISCO VILLA ESQ. 1a CERRADA FRANCISCO VILLA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
471	GUADALUPE VICTORIA_A	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
472	GUADALUPE VICTORIA_B	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
473	GUADALUPE VICTORIA CASI ESQ. EMILIANO ZAPATA	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
474	GUELATAO	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
475	HERMINIO CHAVARRÍA_A	1	2	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
476	HERMINIO CHAVARRÍA_B	2	2	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
477	HERMINIO CHAVARRÍA_C	3	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
478	HERMINIO CHAVARRÍA CASI ESQ. AQUILES SERDÁN	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
479	IGNACIO ALLENDE	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
480	MANUEL ÁVILA CAMACHO CASI ESQ. HERMINIO CHAVARRÍA	2	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
481	MANUEL ÁVILA CAMACHO CASI ESQ. PLAN DE SAN LUIS	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
482	MIGUEL ALEMÁN	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
483	MIGUEL HIDALGO	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
484	NARCISO MENDOZA	2	2	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
485	PARQUE VALENTIN CAMPA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
486	PLAN DE AYALA_A- ESTACIONAMIENTO MERCADO PLAN DE AYALA	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
487	PLAN DE AYALA_B	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
488	PLAN DE AYALA CASI ESQ. CIRCUNVALACIÓN	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
489	PLAN DE SAN LUIS	0	2	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
490	PLAN DE SAN LUIS CASI ESQ. MANUEL ÁVILA CAMACHO	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
491	PROFR. OTILIO MONTAÑO CASI ESQ. CIRCUNVALACIÓN	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
492	REPÚBLICA FEDERAL SUR ESQ. CIRCUNVALACIÓN	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
493	VENUSTIANO CARRANZA_A	1	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
494	VENUSTIANO CARRANZA_B	1	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
495	VICENTE GUERRERO_A	2	0	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
496	VICENTE GUERRERO_B	0	1	SANTA MARÍA AZTAHUACÁN
497	ALEJANDRO AURA	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
498	AVENIDA TEXCOCO	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
499	CEDROS (CALLE EN FORMA DE "Y")	3	3	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
500	CIRILO ARENAS	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
501	CUDBERTO AROCHE	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
502	DEPORTIVO LA CASCADA	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
503	EMILIO CAMPA	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
504	EMILIO CAMPA CASI ESQ. IGNACIO ZARAGOZA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
505	ESTACIONAMIENTO ESCUELA PRIMARIA ISIDRO FABELA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
506	ESTACIONAMIENTO AL PLAZA DEL SALADO	3	2	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
507	FRANCISCO CÉSAR MORALES_A	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
508	FRANCISCO CÉSAR MORALES_B	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
509	FUENTES DE ZARAGOZA "LADO SURESTE"	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
510	GABRIEL GONZÁLEZ MIER CASI ESQ. IGNACIO ZARAGOZA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
511	IGNCAIO ZARAGOZA_A	2	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
512	IGNACIO ZARAGOZA_B	3	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
513	IGNACIO ZARAGOZA_C	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
514	IGNACIO ZARAGOZA_D	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
515	IGNACIO ZARAGOZA_E	1	2	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
516	IGNACIO ZARAGOZA_F	2	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
517	IGNACIO ZARAGOZA_G	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
518	IGNACIO ZARAGOZA_H	2	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
519	IGNACIO ZARAGOZA_I	3	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
520	IGNACIO ZARAGOZA CASI ESQ. PINOS	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
521	IGNACIO ZARAGOZA CASI ESQ. EMILIO N. ACOSTA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
522	IGNACIO ZARAGOZA ESQ. ENNA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
523	LUIS BUTIMEA	0	3	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
524	MANUEL CARRIÓN Y RUBIO	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
525	OCTAVIO PAZ	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
526	OYAMELES	2	2	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
527	PARQUE TEMÁTICO PATOLLI EL SALADO "LADO NOROESTE"	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
528	PINOS	3	2	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
529	PRIVADA MANUEL CARRIÓN Y RUBIO	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
530	SIN NOMBRE ESQ. OCTAVIO PAZ (A UN COSTADO PATIO DE MANIOBRAS SORIANA HIPER "EL SALADO")	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
531	U. H. CONCORDIA ZARAGOZA	9	1	SANTA MARTHA ACATITLA NORTE
532	BENITO IBARRA	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
533	CERRADA FRANCISCO FLORES	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
534	CERRADA LAS TORRES	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
535	CIRCUNVALACIÓN CASI ESQ. REPÚBLICA FEDERAL SUR	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
536	CLAUDIO ALCOCER_A	3	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
537	CALUDIO ALCOCER_B	2	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
538	DEPORTIVO SAN SEBASTIÁN TECOLOXTITLA	3	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
539	DIÓDORO BATALLA	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
540	DIÓDORO BATALLA ESQ. ALFONSO ALARCÓN	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
541	DIÓDORO BATALLA ESQ. SALVADOR ESCALANTE	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
542	EMILIO MADERO CASI ESQ. SANTIAGO DE LA VEGA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
543	ESTACIONAMIENTO BODEGA DE HERRAMIENTAS Y PERFILES SANTA MARTHA	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
544	ESTACIONAMIENTO PLAZA LOS ARCOS	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
545	FEDERICO GONZÁLEZ	1	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
546	FRANCISCO FLORES_A	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
547	FRANCISCO FLORES_B	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
548	FRANCISCO FLORES_C	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
549	FRANCISCO MANRIQUEZ	4	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
550	FRANCISCO NOBLE	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
551	GASOLINERA PEMEZ IGNACIO ZARAGOZA No. 2854	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
552	IGNACIO ZARAGOZA_A	0	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
553	IGNACIO ZARAGOZA_B	2	3	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
554	IGNACIO ZARAGOZA_C	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
555	IGNACIO ZARAGOZA CASI ESQ. CAMILO ARRIAGA	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
556	INOCENCIO ARREOLA ESQ. MANUEL GANDARA	3	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
557	JOAQUÍN TLAUSELL_A	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
558	JOAQUÍN TLAUSELL_B	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
559	JOAQUÍN TLAUSELL_C	1	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
560	JOSÉ DEL RÍO	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
561	JOSÉ DEL RÍO CASI ESQ. LUIS GARCÍA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
562	JOSÉ MARÍA FACHA	3	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
563	JOSÉ PEÓN DEL VALLE_B	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
564	JUAN SARABIA	1	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
565	LIBORIO CRESPO	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
566	LUIS GARCÍA_A	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
567	LUIS GARCÍA_B	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
568	LUIS GARCÍA ESQ. SALVADOR ESCALANTE	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
569	LUIS JASSO_A	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
570	LUIS JASSO_B	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
571	LUIS JASSO_C	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
572	MANUEL CALERO	4	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
573	MARCOS N. MÉNDEZ_A	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
574	PEDRO ACEVES_B	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
575	PEDRO ACEVES_C	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
576	PEDRO ACEVES_D	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR



Tabla D.2.1 Grietas detectadas en la Alcaldía Iztapalapa.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
577	PREDIO PEDRO ACEVES No. 257	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
578	PRIVADA MANUEL CALERO	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
579	REPÚBLICA FEDERAL SUR_A	3	2	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
580	REPÚBLICA FEDERAL SUR_B	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
581	REPÚBLICA FEDERAL SUR ESQ. CIRCUNVALACIÓN	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
582	ROSALÍO BUSTAMANTE	2	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
583	ROSALÍO BUSTAMANTE CASI ESQ. DIÓDORO BATALLA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
584	SALVADOR ESCALANTE_A	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
585	SALVADOR ESCALANTE_B	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
586	SANTIAGO DE LA VEGA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
587	SANTIAGO DE LA VEGA CASI ESQ. EMILIO MADERO	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
588	SOLÓN ARGÜELLO_A	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
589	SOLÓN ARGÜELLO_B	1	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
590	SOLÓN ARGÜELLO CASI ESQ. EMILIO MADERO	0	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
591	TITO FERRER	2	1	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
592	URBANO ESPINOZA	1	0	SANTA MARTHA ACATITLA SUR
593	CERRADA VICTORIA	0	1	U. H. PREDIO EL MOLINO
594	DAMIANA	2	0	U. H. PREDIO EL MOLINO
595	DEPORTIVO CANANEA	3	0	U. H. PREDIO EL MOLINO
596	PINTAPAN	3	1	U. H. PREDIO EL MOLINO
597	ANILLO PERIFÉRICO	0	1	UNIDAD VICENTE GUERRERO
598	CALLE 1 ALBERTO HERNÁNDEZ	0	1	UNIDAD VICENTE GUERRERO
599	CALLE 1 FELIPE SÁNCHEZ	1	0	UNIDAD VICENTE GUERRERO
600	CALLE 1 LEONARDO CHÁVEZ CASI ESQ. CALLE 2 LEONARDO CHÁVEZ	1	0	UNIDAD VICENTE GUERRERO
601	CALLE 1 TORIBIO RODRÍGUEZ	1	0	UNIDAD VICENTE GUERRERO
602	CALLE 2 JESÚS RODRÍGUEZ CASI ESQ. CALLE 3 JESÚS RODRÍGUEZ	0	1	UNIDAD VICENTE GUERRERO
603	CALLE 2 TORIBIO RODRÍGUEZ	0	1	UNIDAD VICENTE GUERRERO
604	CAMELLÓN ANILLO PERIFÉRICO	1	0	UNIDAD VICENTE GUERRERO
605	GENARO ESTRADA CASI ESQ. COMBATE DE CELAYA	0	1	UNIDAD VICENTE GUERRERO



Tabla D.2.2 Grietas detectadas en la Alcaldía de Tláhuac.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
1	ARABELLA_B	1	0	AGRÍCOLA METROPOLITANA
2	ADRIANA SUR	2	0	AGRÍCOLA METROPOLITANA
3	AIDA	2	0	AGRÍCOLA METROPOLITANA
4	ARABELLA_A	0	2	AGRÍCOLA METROPOLITANA
5	BARBERO DE SEVILLA	0	2	AGRÍCOLA METROPOLITANA
6	BARTOLOMÉ DE ESCOBEDO	0	1	AGRÍCOLA METROPOLITANA
7	CARMEN	0	4	AGRÍCOLA METROPOLITANA
8	DON GIOVANI	0	1	AGRÍCOLA METROPOLITANA
9	EL TROVADOR	0	1	AGRÍCOLA METROPOLITANA
10	DON PASCUALE CASI ESQ. BARTOLOMÉ DE ESCOBEDO	2	0	AGRÍCOLA METROPOLITANA
11	BARTOLOMÉ DE ESCOBEDO CASI ESQ. DON PASCUALE	0	1	AGRÍCOLA METROPOLITANA
12	LAGUNA DE LOS SUEÑOS ESQ. ESTANISLAO RAMÍREZ RUIZ	1	0	AMPLIACIÓN SELENE
13	AVENIDA TLÁHUAC	2	2	BARRIO SANTA ANA (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
14	FRANCISCO VILLA	0	1	BARRIO SANTA ANA (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
15	CENICIENTA CASI ESQ. IGNACIO MANUEL ALTAMIRANO	0	1	BARRIO SANTA ANA PONIENTE (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
16	LAS BODAS DE FÍGARO	1	0	BARRIO SANTA ANA PONIENTE (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
17	LA HEBREA	1	0	BARRIO SANTA ANA PONIENTE (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
18	MARÍA ESTUARDO	0	2	BARRIO SANTA ANA PONIENTE (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
19	FRANCISCO LAZO	0	2	BARRIO SANTA ANA SUR
20	RAFAEL SÁNCHEZ	1	2	BARRIO SANTA ANA SUR
21	RODRIGO VALDEZ	0	3	BARRIO SANTA ANA SUR
22	IGANCIO ORTIZ	1	0	BARRIO SANTIAGO SUR
23	ABULÓN	2	0	DEL MAR
24	ABULÓN CASI ESQ. PERCA	0	1	DEL MAR
25	ALETA_A	1	0	DEL MAR
26	ALETA_B	1	0	DEL MAR
27	ALETA CASI ESQ. CUREL	2	0	DEL MAR
28	ALETA CASI ESQ. DELFÍN	1	0	DEL MAR
29	ALMEJA	1	1	DEL MAR
30	AVENIDA DEL MAR_A	0	2	DEL MAR
31	AVENIDA DEL MAR_B	0	2	DEL MAR
32	BAGRE	1	0	DEL MAR
33	CABALLO DE MAR	1	1	DEL MAR
34	CAMARÓN	1	1	DEL MAR
35	CARACOL	0	1	DEL MAR
36	CERRADA CAMARÓN	1	1	DEL MAR
37	CERRADA CUREL	1	0	DEL MAR
38	CERRADA DELFÍN	1	0	DEL MAR
39	CERRADA HUACHINANGO	0	2	DEL MAR
40	CERRADA OCÉANO	1	0	DEL MAR
41	CERRADA PEZ GURAMI	2	0	DEL MAR
42	CERRADA SABALO CASI ESQ. ALETA	0	1	DEL MAR
43	CORAL CASI ESQ. ESTRELLA DE MAR	0	2	DEL MAR
44	CUREL	3	1	DEL MAR
45	DELFÍN	0	3	DEL MAR



Tabla D.2.2 Grietas detectadas en la Alcaldía de Tláhuac.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
46	DELFIN CASI ESQ. PEZ VELA	1	0	DEL MAR
47	ESTRELLA DE MAR	0	1	DEL MAR
48	ESTRELLA DE MAR CASI ESQ. CORAL	0	2	DEL MAR
49	ESTURION	1	1	DEL MAR
50	GITANA	2	0	DEL MAR
51	GITANA CASI ESQ. OCÉANO	1	1	DEL MAR
52	HIPOCAMPO	0	1	DEL MAR
53	HUACHINANGO CASI ESQ. PESCADO	0	1	DEL MAR
54	JAIBA ESQ. CAMARÓN	1	1	DEL MAR
55	LA TURBA_A	0	1	DEL MAR
56	LA TURBA_B	4	0	DEL MAR
57	LANGOSTA_A	2	0	DEL MAR
58	LANGOSTA_B	1	0	DEL MAR
59	MARLÍN	0	3	DEL MAR
60	MEDUSA	0	2	DEL MAR
61	MERLUZA	0	1	DEL MAR
62	MÓDULO DEPORTIVO PIRAÑA	0	1	DEL MAR
63	OCÉANO_A	2	0	DEL MAR
64	OCÉANO_B	0	3	DEL MAR
65	OCÉANO_C	0	1	DEL MAR
66	OSTIÓN CASI ESQ. MOJARRA	1	0	DEL MAR
67	PÁMPANO	2	0	DEL MAR
68	PESCADO_A	1	1	DEL MAR
69	PESCADO_B	0	3	DEL MAR
70	PEZ CARDENAL	2	0	DEL MAR
71	PEZ VELA_A	0	1	DEL MAR
72	PEZ VELA_B	1	0	DEL MAR
73	PEZ VELA_C	2	1	DEL MAR
74	PINGÜINO CASI ESQ. BARRACUDA	0	1	DEL MAR
75	PINGÜINO CASI ESQ. PEZ VELA	1	0	DEL MAR
76	PINGÜINO ESQ. PARGO	1	0	DEL MAR
77	PINGÜINO ESQ. SIRENA	1	0	DEL MAR
78	PIRAÑA	1	0	DEL MAR
79	PIRAÑA CASI ESQ. SIRENA	1	0	DEL MAR
80	PIRAÑA ESQ. ANDADOR LA COLINA	0	1	DEL MAR
81	PIRAÑA ESQ. DERECHOS DEMOCRÁTICOS	1	0	DEL MAR
82	PULPO	0	2	DEL MAR
83	SALMÓN_A	3	0	DEL MAR
84	SALMÓN_B	0	2	DEL MAR
85	SALMÓN_C	0	1	DEL MAR
86	SALMÓN_D	0	1	DEL MAR
87	SALMÓN ESQ. PEZ VELA	1	0	DEL MAR
88	SARDINA_A	0	2	DEL MAR
89	SARDINA_B	1	2	DEL MAR
90	SIRENA CASI ESQ. ATÚN	2	0	DEL MAR
91	SIRENA CASI ESQ. CAMARÓN	0	1	DEL MAR
92	SIRENA ESQ. PINGÜINO	1	0	DEL MAR
93	SIRENA ESQ. SALMÓN	1	0	DEL MAR
94	TIBURÓN_A	1	0	DEL MAR
95	TIBURÓN_B	0	1	DEL MAR
96	TIBURÓN_C	1	0	DEL MAR
97	TIBURÓN CASI ESQ. PESCADO	0	1	DEL MAR
98	TIBURÓN ESQ. MARLÍN	0	1	DEL MAR
99	UNIDAD DE POLICÍA METROPOLITANA-DEPÓSITO PIRAÑA I	2	2	DEL MAR
100	UNIVERSIDAD MARISTA	1	0	DEL MAR



Tabla D.2.2 Grietas detectadas en la Alcaldía de Tláhuac.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
101	FRANCISCO JIMÉNEZ	1	0	LA CONCHITA ZAPOTITLÁN (PUEBLO SANTIAGO ZAPOTITLÁN)
102	GALLO DE ORO	0	1	LA NOPALERA
103	BORIS GODUNOV CASI ESQ. ANTONIO VIVALDI	0	3	LA NOPALERA
104	ANTONIO VIVALDI CASI ESQ. BORIS GODUNOV	0	2	LA NOPALERA
105	EL BARÓN GITANO	0	2	LA NOPALERA
106	ELIXIR DE AMOR	0	1	LA NOPALERA
107	FRANCISCO JOSÉ AYÓN	0	3	LA NOPALERA
108	JACOBO POLACO	0	1	LA NOPALERA
109	LUIS MILLÁN	0	2	LA NOPALERA
110	HANSEL Y GRETEL	1	0	LA NOPALERA
111	AIDA	3	3	MIGUEL HIDALGO
112	ALCESTIS_A	0	2	MIGUEL HIDALGO
113	ALCESTIS_B	0	2	MIGUEL HIDALGO
114	ANA BOLENA	0	1	MIGUEL HIDALGO
115	FAUSTO	0	1	MIGUEL HIDALGO
116	FIDELIO	1	0	MIGUEL HIDALGO
117	JENUFA	0	3	MIGUEL HIDALGO
118	LAGO DE TLÁHUAC	0	5	MIGUEL HIDALGO
119	LA AFRICANA	0	2	MIGUEL HIDALGO
120	LA BOHEMIA	0	1	MIGUEL HIDALGO
121	LA CAPA	0	1	MIGUEL HIDALGO
122	LA HEBREA	0	1	MIGUEL HIDALGO
123	ADRIANA SUR	0	2	MIGUEL HIDALGO
124	JUAN ANDREW ALMAZÁN ESQ. J. GONZÁLEZ ORTEGA	1	0	OJO DE AGUA
125	GUADALUPE AMADOR SALAZAR	1	0	OJO DE AGUA
126	PASEO NUEVO	2	2	OJO DE AGUA
127	BOULEVARD ADOLFO LÓPEZ MATEOS	0	1	POTRERO DE LLANO
128	SAN RAFAEL ATLIXCO	0	1	PUEBLO SAN FRANCISCO TLALTENCO
129	EJIDO	0	2	PUEBLO SAN FRANCISCO TLALTENCO
130	MAXIMINO LUGO	0	1	PUEBLO SAN FRANCISCO TLALTENCO
131	CARRETERA TECÓMITL TETELCO	0	1	PUEBLO SAN NICOLÁS TETELCO
132	PLUTARCO ELÍAS CALLES	3	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
133	DEL ÁGUILA	1	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
134	INDEPENDENCIA	1	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
135	PANTEÓN SAN ANDRÉS MIXQUIC	1	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
136	NEZAHUALCÓYOTL	2	1	SAN ANDRÉS MIXQUIC
137	HIDALGO	0	1	SAN ANDRÉS MIXQUIC
138	JOSÉ MARÍA MORELOS Y PAVÓN	0	2	SAN ANDRÉS MIXQUIC
139	NUEVO MÉXICO	2	1	SAN ANDRÉS MIXQUIC
140	CALLEJÓN MEDELLÍN_A	1	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
141	CALLEJÓN MEDELLÍN_B	1	0	SAN ANDRÉS MIXQUIC
142	VICENTE GUERRERO CASI ESQ. EMILIANO ZAPATA	0	1	SAN JUAN IXTAYOPAN
143	ANTONIO CENTENO_A	2	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
144	ANTONIO CENTENO_B	0	2	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
145	CARRETERA SANTA CATARINA	4	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
146	ANTONIO ALDAMA CASI ESQ. MANUEL MONTIEL	0	1	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL



Tabla D.2.2 Grietas detectadas en la Alcaldía de Tláhuac.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
147	CONCEPCIÓN CASI ESQ. HERMINEGILDO GALEANA	1	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
148	IGNACIO MARTÍNEZ	6	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
149	JOSÉ NAVA	0	4	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
150	LUCIANO NAVARRETE	6	6	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
151	CONCEPCIÓN_A	0	1	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
152	CONCEPCIÓN_B	1	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
153	CARRETERA A SANTA CATARINA_A-EJE 10 SUR	2	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
154	EMILIANO ZAPATA	0	2	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
155	EL PÍPILA ESQ. SANTIAGO	1	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
156	SANTIAGO ESQ. EL PÍPILA	1	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
157	CARRETERA A SANTA CATARINA CASI ESQ. MANUEL MUÑOZ	3	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
158	CARRETERA A SANTA CATARINA CASI ESQ. NARCISO MARÍA LORETO	1	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
159	JOSÉ GABRIEL MAR CASI ESQ. CARRETERA A SANTA CATARINA	2	0	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
160	MANUEL MUÑOZ	0	1	SANTA CATARINA YECAHUITZOTL
161	MONTES CARPATOS	1	0	SELENE
162	LAGO DE LOS SUEÑOS ESQ. CRÁTER ATLAS	1	0	SELENE
163	VALLE ALPINO CASI ESQ. LAGO DE LOS SUEÑOS	1	1	SELENE
164	LAGO DE LOS SUEÑOS ESQ. VALLE ALPINO	0	1	SELENE
165	VALLE ALPINO CASI ESQ. LAGO DE LOS SUEÑOS	0	2	SELENE
166	MAR DE LA CRISIS	2	0	SELENE
167	MONTES CAUCASO ESQ. MAR DE LAS LLUVIAS	1	0	SELENE
168	MAR DE LAS LLUVIAS CASI ESQ. MONTES CÁUCASO	1	0	SELENE
169	MAR DEL NÉCTAR	0	1	SELENE
170	MONTES DE LAS CORDILLERAS	0	2	SELENE
171	OCÉANO DE LAS TEMPESTADES_A	2	0	SELENE
172	OCÉANO DE LAS TEMPESTADES_B	0	1	SELENE
173	CANAL DE CHALCO	0	2	VILLA CENTROAMERICANA
174	CIRCUITO SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ	0	2	VILLA CENTROAMERICANA
175	GABRIELA MISTRAL	4	0	VILLA CENTROAMERICANA
176	JUAN DE DIOS PEZA CASI ESQ. SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ	0	1	VILLA CENTROAMERICANA
177	RAMÓN LÓPEZ VELARDE	0	2	VILLA CENTROAMERICANA
178	SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ	4	0	VILLA CENTROAMERICANA
179	SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ ESQ. GABRIELA MISTRAL	3	0	VILLA CENTROAMERICANA
180	HEBERTO CASTILLO	0	1	VILLA CENTROAMERICANA
181	AVENIDA TLÁHUAC	0	2	ZACATENCO
182	CALLEJÓN CEDRO	0	2	ZACATENCO
183	LAS TORRES	0	1	ZACATENCO



Tabla D.2.3 Grietas detectadas en la Alcaldía de Xochimilco.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
1	MARTÍNEZ PINEDA	0	1	BARRIO SAN JUAN MOYOTEPEC
2	CAMINO A NATIVITAS	4	0	BARRIO XALTOCÁN
3	MADRESELVA	1	0	BARRIO XALTOCÁN
4	NUEVA CARRETERA XOCHIMILCO TULYEHUALCO	0	1	BARRIO XALTOCÁN
5	NUEVA CARRETERA XOCHIMILCO TULYEHUALCO	1	1	EL JAZMÍN
6	DEL PUENTE	0	1	JARDINES DEL SUR
7	GLORIETA PÉRGOLAS	0	1	JARDINES DEL SUR
8	REDENCIÓN	0	1	JARDINES DEL SUR
9	TEJA	0	1	JARDINES DEL SUR
10	SAN PABLO	0	1	LA CONCHA
11	GUADALUPE I. RAMÍREZ	0	1	LA NORIA
12	ESTACIONAMIENTO FRACCIONAMIENTO ARCOS DEL SUR	1	0	LAS PERITAS
13	PRIVADA COLORINES	4	0	PUEBLO SAN GREGORIO ATLAPULCO
14	PUENTE DE URRUTIA	2	0	PUEBLO SAN GREGORIO ATLAPULCO
15	VICENTE SUÁREZ	1	0	PUEBLO SAN GREGORIO ATLAPULCO
16	JAZMÍN	1	0	PUEBLO SAN LUIS TLAXIALTEMALCO
17	XICALHUACÁN	1	0	PUEBLO SANTA CRUZ ACALPIXCA
18	CAMPAMENTO NATIVITAS SACMEX	0	1	PUEBLO SANTA MARÍA NATIVITAS
19	CARRETERA XOCHIMILCO TULYEHUALCO	0	1	PUEBLO SANTA MARÍA NATIVITAS
20	CENTRO DEPORTIVO NATIVITAS	1	0	PUEBLO SANTA MARÍA NATIVITAS
21	AQUILES SERDÁN_A	0	1	SAN ISIDRO (SANTIAGO TULYEHUALCO)
22	AQUILES SERDÁN_B	0	2	SAN ISIDRO (SANTIAGO TULYEHUALCO)
23	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ	2	0	SAN ISIDRO (SANTIAGO TULYEHUALCO)
24	EMBARCADERO ZACAPA-CANAL 27	0	3	SAN JERÓNIMO
25	PRIVADA COLIZANDRIA	0	1	SAN JERÓNIMO
26	SEGUNDA PRIVADA CUAUHTÉMOC	1	0	SAN JERÓNIMO
27	MÁRTIRES DE RÍO BLANCO_A	1	0	U. H. RINCONADA DEL SUR
28	MÁRTIRES DE RÍO BLANCO_B	0	3	U. H. RINCONADA DEL SUR

Tabla D.2.4 Grietas detectadas en la Alcaldía de Milpa Alta.

NÚMERO	GRIETA	CON ESCALÓN	SIN ESCALÓN	COLONIA
1	VICENTE GUERRERO	3	0	PUEBLO SAN ANTONIO TECÓMITL



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO E

**CONTROL DE CALIDAD EN LA IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES DE
MITIGACIÓN**

Control de calidad en la implementación de soluciones de mitigación

Para realizar el control de compactación, el II-UNAM propuso emplear un equipo manual portátil de penetración dinámica conocido como el PANDA®, con este tipo de equipos se puede evaluar la compactación de materiales térreos con base en la resistencia. El PANDA® es un penetrómetro dinámico ligero a energía variable destinado al control de compactación y al reconocimiento de suelos. El aspecto portátil de PANDA® permite realizar sondeos inclinados y horizontales, o acceder a lugares de difícil acceso (Sol Solution, 2020).

E.1 El penetrómetro Panda

Creado en 1989 en Francia (Gourvès, 1991), el penetrómetro Panda pertenece a la familia de los penetrómetros dinámicos cuyo principio consiste en hincar un conjunto de varillas provisto en su extremidad inferior de una punta cónica. La originalidad del equipo consiste en utilizar una energía de hinca variable, la cual corresponde a la energía cinética suministrada por el martillo en el momento del impacto. Esta energía es medida, por cada golpe, mediante el uso de sensores instalados en el yunque del penetrómetro. Al mismo tiempo, otros sensores registran la penetración de la punta en el suelo. Ambas mediciones, energía de hinca y penetración obtenidas por cada golpe, son almacenadas en la memoria interna del equipo. La resistencia dinámica de punta q_d se calcula automáticamente mediante la aplicación de la fórmula de los holandeses (Modified Dutch formula o Engineering News Formula (Sanglerat, 1972)).

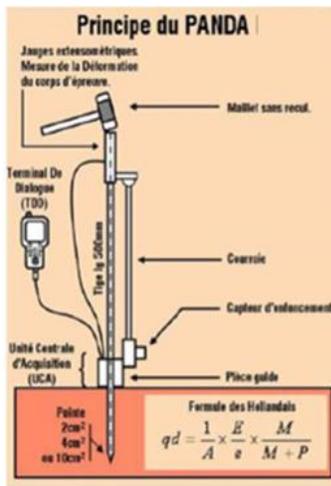
Al final del ensayo, los registros obtenidos de resistencia de punta (q_d) son representados de manera automática por el equipo en función de la profundidad (z) y se muestran en la pantalla del dispositivo. Esta curva es llamada penetrograma (Figura E.1.c). Las partes del equipo se pueden apreciar en la Figura E.1.b y sus reducidas dimensiones facilitan el acceso a cualquier punto de investigación.

Las puntas cónicas utilizadas para la realización de un sondeo tienen una sección de 2 cm² o 4 cm². Las primeras se utilizan principalmente para el control de la compactación y/o cuando la profundidad del ensayo es inferior a 1.50 m; mientras que las segundas se utilizan principalmente para sondeos de reconocimiento en los cuales la profundidad del ensayo es mayor a 1.5 m. Estas secciones minimizan el posible rozamiento del terreno con las varillas.

Los datos se registran de manera automática por la Unidad Central de Adquisición (UCA) y son transmitidos al Terminal de Diálogo (TDD), impidiendo cualquier modificación de estos. El TDD es el dispositivo electrónico HMI (Human Machine Interface) que permite la comunicación entre el operario y el equipo, así como configurar el objeto del ensayo, así como datos generales del emplazamiento, su posición al tener integrado un GPS y visualizar los datos en tiempo real. La cabeza de golpeo está instrumentada con un medidor extensiométrico que registra la energía de impacto en cada uno de los golpes, transmitiendo los datos a la UCA para su procesamiento.

Con el equipo Panda es posible realizar sondeos de hasta 6 m de profundidad, lo cual depende de la resistencia opuesta por el suelo a la penetración ($q_d < 50$ MPa). Su empleo es recomendable para un tamaño máximo de grano de hasta 50 mm. A pesar de ello, hoy en día el Panda es utilizado sistemáticamente en el control y diagnóstico de las estructuras de vías férreas en Francia, a través de la capa de balasto que supera sin duda este límite. Por otra parte, durante la realización del sondeo se recomienda que el valor de penetración por golpe se mantenga entre 2 y 20 mm, para que las hipótesis de aplicación de la fórmula de los holandeses puedan ser verificadas sin errores significativos. Por consiguiente, los registros obtenidos pueden ser considerados prácticamente continuos, lo que convierte al Panda en una herramienta útil y muy interesante para la identificación

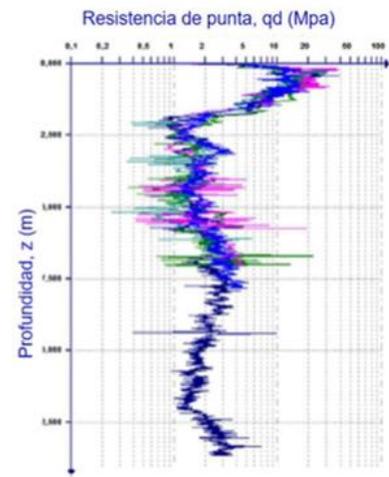
de los espesores de las capas atravesadas y para determinar el estado de compactación o consistencia de estas, en función de la variación de q_d .



(a) Principio general del equipo



(b) Conjunto Panda



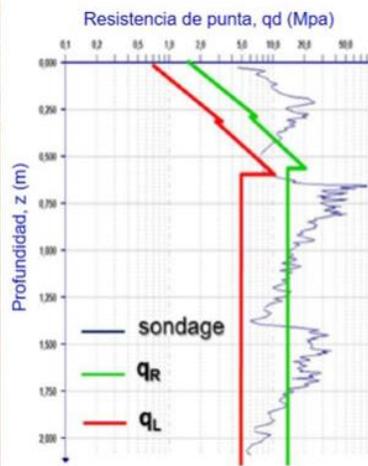
(c) Penetrogramas obtenidos al final de un sondeo

Figura E.1. Penetrómetro dinámico a energía variable Panda.

El penetrómetro Panda se utiliza (Figura E.2) principalmente para el reconocimiento de suelos poco profundos; para el control de la compactación de terraplenes, diques, presas de tierra, rellenos de zanjas, etc.; para la evaluación de la capacidad de carga de terrenos; así como también para la evaluación del riesgo de licuefacción en tranques de relaves mineros en Chile (Espinace et. al 2013) (Villavicencio et al. 2016).



a) Control de compactación.



b) Reconocimiento de suelos.

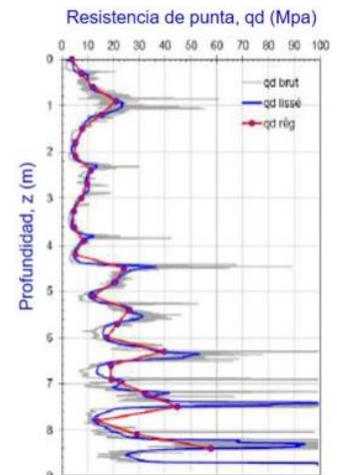


Figura E.2. Aplicaciones del penetrómetro Panda (Control de compactación y reconocimiento de suelos).

E.1.1 Control de compactación mediante penetrómetro dinámicos

El comportamiento mecánico de los suelos y de las obras de tierras (terraplenes, rellenos, zanjas, diques, bases...) está directamente relacionado con el grado de compactación del suelo y más precisamente con su densidad seca. Un aumento en la densidad seca del suelo conduce a un incremento en las propiedades mecánicas de este mismo. Por el contrario, una densidad seca insuficiente puede provocar debilidades y asentamientos de consolidación dentro de un cuerpo de tierras compactado, los cuales afectan directamente a las estructuras que se disponen sobre estos rellenos. En el caso de las zanjas en entorno urbano es habitual ver hundida la acera o el pavimento a las pocas semanas, cuando el relleno no se ha compactado adecuadamente.

El control de compactación juega de esta forma un rol importante en el proceso constructivo de toda obra y en la previsión del comportamiento esfuerzo-deformación frente a las solicitaciones impuestas durante su vida útil. En la actualidad existen diversos métodos, directos o indirectos, que permiten realizar este tipo de control. La utilización del penetrómetro dinámico se ha visto incrementada a nivel mundial en los últimos 20 años. En Francia, por ejemplo, desde los años 90 esta técnica de control es una práctica habitual y se encuentra normalizada (NF P 94-105). Entre las herramientas existentes, el penetrómetro dinámico Panda (Gourves, 1991) es el más ampliamente empleado a nivel mundial.

Principio del control de compactación mediante Panda y Fundamento teórico

Tradicionalmente, el control de la compactación de un cuerpo de tierra se logra midiendo la densidad seca y comparándola con un valor preestablecido de la densidad máxima Proctor (Normal o modificado). El control de la compactación mediante el Panda (basado en la normativa francesa, NF P 94-105 y NF P 94-063) se basa en la comparación del penetrograma $q_d(z)$ obtenido en terreno con un conjunto de curvas de referencia (q_{dR}) y de rechazo (q_{dL}) propias al suelo que acaba de ser controlado (Figura E.3). La posición relativa del penetrograma de control con respecto a las curvas q_{dR} y q_{dL} indicará si se ha alcanzado o no el objetivo de compactación deseado. Las curvas de referencia (q_{dR}) y de rechazo (q_{dL}) se obtienen a partir de las curvas de calibración del equipo, las cuales se establecen principalmente en laboratorio, así como también in situ a partir de la realización de campos de prueba.

Para un suelo determinado, las curvas de calibración definen la relación experimental entre la densidad, el contenido de humedad y la resistencia de punta (q_d) medida con el equipo Panda. El software GeoSprint de análisis a partir de los ensayos del equipo Panda, posee una amplia base de datos para distintos suelos pudiendo variar el contenido de humedad y el grado de compactación (densidad del Proctor Normal o Modificado). Dicha base de datos está hoy compuesta por 45 tipos de suelos distintos a partir de su calibración mediante ensayos de laboratorio variando la humedad y el grado de compactación.

El establecimiento de las curvas de calibración Panda, para un suelo y un contenido de agua dado, se fundamenta en la existencia de una relación biunívoca entre la densidad seca (γ_d) y la resistencia de punta (q_d) promedio medida durante el sondeo. Dicha relación es representada mediante una curva definida por la expresión de tipo logarítmica (ecuación E.1).

$$\gamma_d = A * \ln(q_d) + B \quad (E.1)$$

en donde los valores de A y B representan, para un suelo y un contenido de agua fijos, las constantes de calibración o los coeficientes de regresión de dicha correlación.

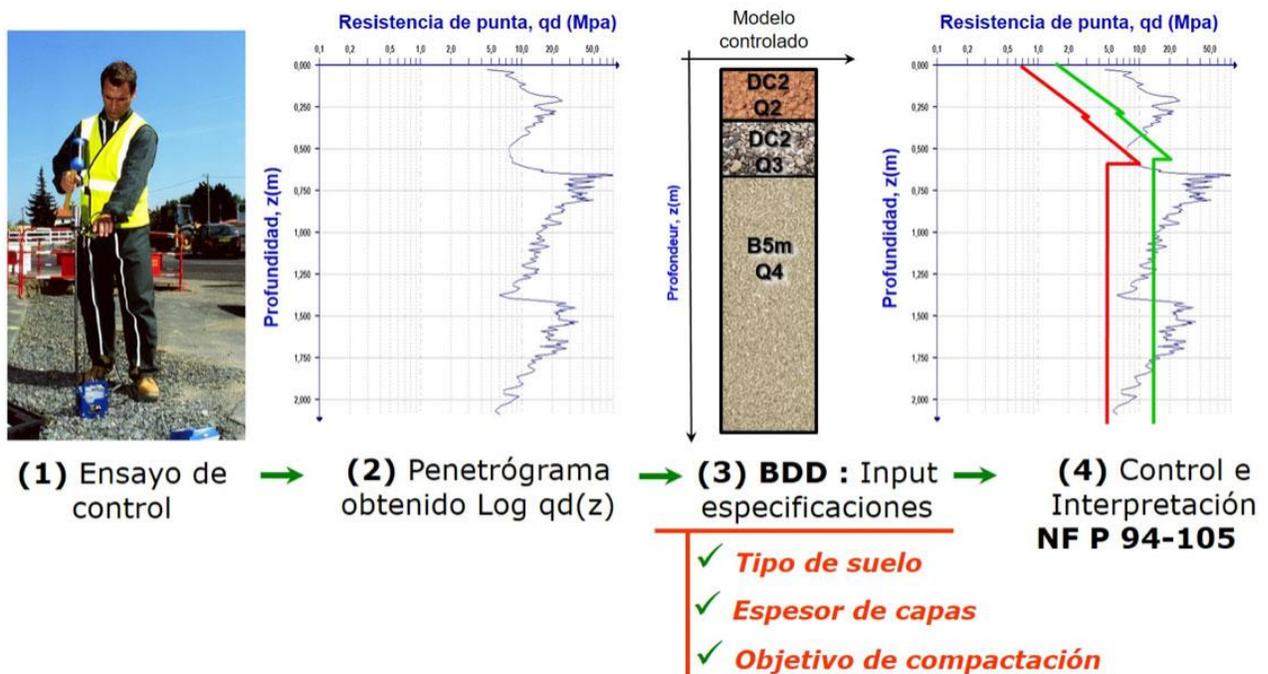


Figura E.3. Principio de control de compactación mediante el ensayo de penetración Panda.

Además, se ha demostrado que el penetrógrama resultante de un ensayo de penetración realizado en un medio granular homogéneo, de densidad y contenido de agua constante, puede ser esquematizado en el espacio $\log(q_d)$ - z a partir de dos rectas que definen tres parámetros característicos (Figura E.4):

La resistencia de punta a nivel superficial (q_{d0}). El valor de q_{d0} caracteriza la resistencia promedio para los primeros 50 mm de penetración, la profundidad crítica (z_c) que caracteriza la profundidad a partir de la cual la resistencia de punta (q_d) es casi constante, y la resistencia de punta estabilizada (q_{d1}), determinada como el valor promedio ponderado de la resistencia de punta q_d entre la profundidad final y la profundidad crítica.

Estos tres parámetros son característicos de la respuesta medida por el equipo a un estado de densidad y a un contenido de agua determinados. En efecto, la forma y la magnitud del penetrógrama obtenido para un suelo dado, así como los parámetros característicos q_{d0} , z_c y q_{d1} son muy sensibles a los cambios de densidad del suelo. De esta forma, haciendo variar la densidad y la humedad en distintas muestras, si para cada una de ellas se efectúa un ensayo de penetración, es posible establecer las relaciones siguientes (ecuación E.2):

$$\begin{aligned} \gamma_d &= A_0 * \ln(q_{d0}) + B_0 \\ \gamma_d &= A_c * (z_c) + B_c \\ \gamma_d &= A_1 * \ln(q_{d1}) + B_1 \end{aligned} \quad (E.2)$$

Estas relaciones son conocidas como curvas de calibración. Los coeficientes A y B, determinados experimentalmente, corresponden a constantes de calibración que dependen del tipo y el estado hídrico del suelo (Figura E.4). A partir de estas curvas, y para el grado de compactación deseado, se obtienen las curvas de referencia para el control 'in-situ' de la calidad de compactación.

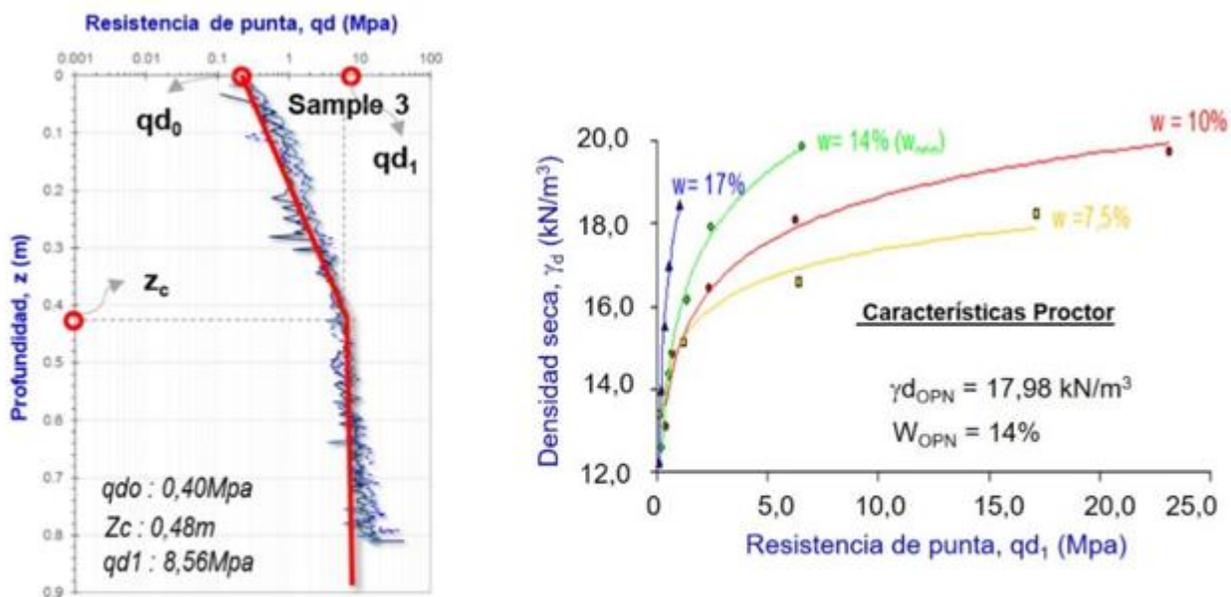


Figura E.4. Parametrización y curvas de calibración de un penetrograma.

E.2 Ensayos de penetración PANDA en cajas de disipación en la alcaldía de Iztapalapa

Como parte de los trabajos de rehabilitación de calles y avenidas en la Alcaldía Iztapalapa, la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos ha realizado un seguimiento del control de compactación de los materiales empleados en el tratamiento de grietas, así como del comportamiento de los trabajos realizados.

Posterior a los trabajos de rehabilitación de vialidades afectadas por grietas con escalón que realiza la alcaldía de Iztapalapa se ha observado un buen comportamiento de las cajas disipadoras, bajo las cargas locales que implica el paso constante de vehículos de todo tipo, así como ante la presencia del sismo registrado el 23 de junio de 2020.

En la Figura E.5 se presenta una imagen del equipo empleado para el control de la compactación y en la Figura E.6 se indica la ubicación de los sitios donde se han realizado ensayos de penetración PANDA en cajones disipadores. Asimismo, en las Figuras E.7 y E.8 se presenta una lista de los sitios intervenidos por la Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos de la alcaldía de Iztapalapa.

En la sección E1 de este anexo se presentan los resultados de ensayos de penetración PANDA en cajones disipadores realizados por la **Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos de la Alcaldía de Iztapalapa**.



Figura E.5 Equipo utilizado en los ensayos de penetración PANDA.



Figura E.6 Ubicación de sitios intervenidos por parte de la SCER Iztapalapa.



Sondeo PANDA	Datos del sitio de estudio							Datos de intervención					
	Obra ejecutada	Residente	Escala	Dirección Territorial	Calle	Colonia	Nomenclatura	Año de ejecución de obra	Herramienta utilizada para compactación	Profundidades aproximadas (m)		Dimensiones del cajón (m)	
										Tepetate	Arena	Base Mayor trapecio	Profundidad del cajón
EPP-01	JUD de Atención a Riesgos		3	Acatitla de Zaragoza	Av. Exploradores de Zaragoza	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-240/3	2019	Pizón	0.2	0.7	3	1.1
EPP-02	JUD de Atención a Riesgos		3	Acatitla de Zaragoza	Av. Exploradores de Zaragoza	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-240/3	2019	Pizón	0.2	0.7	3	1.1
EPP-03	Acatitla de Zaragoza		3	Acatitla de Zaragoza	Andador José Pagola	UH Ermita Zaragoza	ADZ-273-080/3	2019	Bailarina	0.2	0.65	4	0.6
EPP-04	Acatitla de Zaragoza		4	Acatitla de Zaragoza	Andador La Roqueta	UH Ermita Zaragoza	ADZ-273-073/4	2019	Rodillo	0.2	0.7	4	0.6
EPP-05	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Emiliano Zapata	Ejidos de Santa María Aztahuacan I	AZT-297-073/2	2019	Bailarina	0.2	0.7	3.25	0.7
EPP-06	JUD de Atención a Riesgos		2	Acatitla de Zaragoza	Circunvalación e Ignacio Allende	Ampliación Santa Martha Acatitla	ADZ-216-046/2	2019	Bailarina	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-07	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	1ro de mayo	Ejidos de Santa María Aztahuacan I	AZT-297-134/2	2019	Bailarina	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-08	Santa Cruz Quetzalcoatl		2	Santa Cruz Quetzalcoatl	Av. Insurgentes	Las Peñas I	SCQ-118-063/2	2019	Bailarina	0.3	0.7	2	1
EPP-09	Acatitla de Zaragoza		2	Aztahuacan	Calle 65	UH Santa Cruz Meyehualco II	AZT-296-015/2	2019	Bailarina	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-10	Santa Cruz Quetzalcoatl		2	Aztahuacan	Samuel Gompers	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-193/2	2019	Bailarina	0.2	0.7	1.5	0.8
EPP-11	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Calle 25	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-181/2	2019	Pizón	0.2	0.7	2.6	0.6
EPP-12	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Calle 23	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-081/2	2019	Pizón	0.2	0.7	2	0.7
EPP-13	Cabeza de Juárez		2	Aztahuacan	Calle 17	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-114/2	2019	Rodillo	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-14	Cabeza de Juárez		2	Aztahuacan	Calle 17	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-207/2	2019	Rodillo	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-15	Aztahuacan		2	Aztahuacan	Av 4	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-189/2	2019	Rodillo y Bailarina	0.2	0.7	2	0.7
EPP-16	Tezonco		1	Aztahuacan	Av 6	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-024/1	2019	Rodillo	0.2	0.7	1.5	0.7
EPP-17	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Av 6	UH Santa Cruz Meyehualco II	AZT-296-031/2	2019	Pizón	0.2	0.7	1.8	0.8
EPP-18	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Calle 65	UH Santa Cruz Meyehualco II	AZT-296-030/2	2019	Pizón	0.2	0.7	1.8	0.8
EPP-19	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Calle 65	UH Santa Cruz Meyehualco II	AZT-296-030/2	2019	Pizón	0.2	0.7	1.8	0.8
EPP-20	Tezonco		2	Aztahuacan	Calle 41	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-027/2	2019	Rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-21	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Leandro Valle	Jacarandas	AZT-097-004/2	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7

Figura E.7 Sitios con datos de sondeos PANDA, SCER Iztapalapa, (continua).



Sondeo PANDA	Datos del sitio de estudio							Datos de intervención					
	Obra ejecutada	Residente	Escala	Dirección Territorial	Calle	Colonia	Nomenclatura	Año de ejecución de obra	Herramienta utilizada para compactación	Profundidades aproximadas (m)		Dimensiones del cajón (m)	
										Tepetate	Arena	Base Mayor trapecio	Profundidad del cajón
EPP-22	JUD de Atención a Riesgos		3	Aztahuacan	Leandro Valle	Jacarandas	AZT-097-003/3	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-23	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Luis Cabrera	Jacarandas	AZT-097-002/2	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-24	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Gonzalez Camarena	Jacarandas	AZT-097-013/2	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-25	JUD de Atención a Riesgos		1	Aztahuacan	Luis Cabrera	Jacarandas	AZT-097-001/1	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-26	JUD de Atención a Riesgos		2	Tezonco	2da Cda Zaragoza	Lomas de San Lorenzo II	SLT-284-008/2	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	0.7
EPP-27	JUD de Atención a Riesgos		4	Aztahuacan	Isidro Fabela	Jacarandas	AZT-097-059/4	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	4	1.5
EPP-28	JUD de Atención a Riesgos		4	Aztahuacan	Vito Alessio Robles	Jacarandas	AZT-097-006/4	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	4	1.5
EPP-29	JUD de Atención a Riesgos		2	Aztahuacan	Vito Alessio Robles	Jacarandas	AZT-097-007/2	2020	Bailarina y rodillo	0.2	0.7	2	1
EPP-30	Acatitla de Zaragoza		2	Acatitla de Zaragoza	Solon Arguello	Santa Martha Acatitla	ADZ--215-025/2	2020	Bailarina	0.2	0.7	2	1
EPP-31	Acatitla de Zaragoza		2	Acatitla de Zaragoza	Rosalio Bustamante	Santa Martha Acatitla	ADZ--215-018/2	2020	Bailarina	0.2	0.7	2	1
EPP-32	Cabeza de Juárez		2	Cabeza de Juárez	4 Poniente	Renovación	CDJ-171-001/2	2020	Arena no compactada, tepetate con	0.2	0.7	2	1
EPP-33	Cabeza de Juárez		2	Cabeza de Juárez	Calle 10	Renovación	CDJ-171-002/2	2020	Arena no compactada, tepetate con	0.2	0.7	2	1
EPP-34	Aztahuacan		2	Aztahuacan	Avenida 2	UH Santa Cruz Meyehualco II	AZT-296-046/2	2020	Bailarina	0.2	0.7	2	1
EPP-35	Aztahuacan		2	Aztahuacan	Avenida 2	UH Santa Cruz Meyehualco I	AZT-295-138/2	2020	Bailarina	0.2	0.7	2	1
EPP-36	Santa Cruz Quetzalcoatl		2	Santa Cruz Quetzalcoatl	Canal Alfonso XIII	Insurgentes	SCQ-095-048/2	2020	Pizón	0.2	0.7	2	1
EPP-37	Santa Cruz Quetzalcoatl		2	Santa Cruz Quetzalcoatl	J Echeverria	Insurgentes	SCQ-095-025/2	2020	Pizón	0.2	0.7	2	1
EPP-38	Tezonco		1	Tezonco	M Gonzalez	Lomas de San Lorenzo II	SLT-284-031/1	2020	Rodillo	0.2	0.7	2	1

Figura E.8 Sitios con datos de sondeos PANDA, SCER Iztapalapa, (continuación).



REFERENCIAS

<https://www.interempresas.net/ObrasPublicas/Articulos/265394-Aplicacion-del-penetrometro-Panda-para-control-de-compactacion-de-arena-de-miga-de-Madrid.html>

Gourvès, R.. 1991. *Le PANDA?: Pénétrömètre Dynamique Léger à Énergie Variable Pour La Reconnaissance Des Sols*. Clermont-Ferrand.

NF-P-94-063. 2011. *Contrôle de La Qualité Du Compactage?: Méthode Au Pénétrömètre Dynamique à Énergie Constante*. 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex.

NF-P-94-105. 2012. *Contrôle de La Qualité Du Compactage?: Méthode Au Pénétrömètre Dynamique à Énergie Variable*. 93571 La Plaine Saint-Denis Cedex.

Sanglerat, G.. 1972. *The Penetrometer and Soil Exploration*. Developments in Geotechnical Engineering, ed. Elsevier. New York: Elsevier.

Espinace, R, G Villavicencio, and L Lemus. 2013. "The PANDA Technology Applied to Design and Operation of Tailings Dams." Tailings2013. First International Seminar on Tailings Management, no. August 2013.

Espinace, R, G Villavicencio, J Palma, P. Breul, C Bacconnet, M A Benz, and R Gourvès. 2013. "Stability of Chilean's Tailings Dams with the Panda Penetrometer," no. Bolton: 519–22.

Villavicencio, G., Breul, P, Bacconnet, C., Fourie A., and Espinace, A.R., 2016. "Liquefaction Potential of Sand Tailings Dams Evaluated Using a Probabilistic Interpretation of Estimated In-Situ Relative Density." *Revista de La Construcción* 15 (2): 9–18.



E1. FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS DE PENETRACIÓN PANDA EN CAJÓNES DISIPADORES

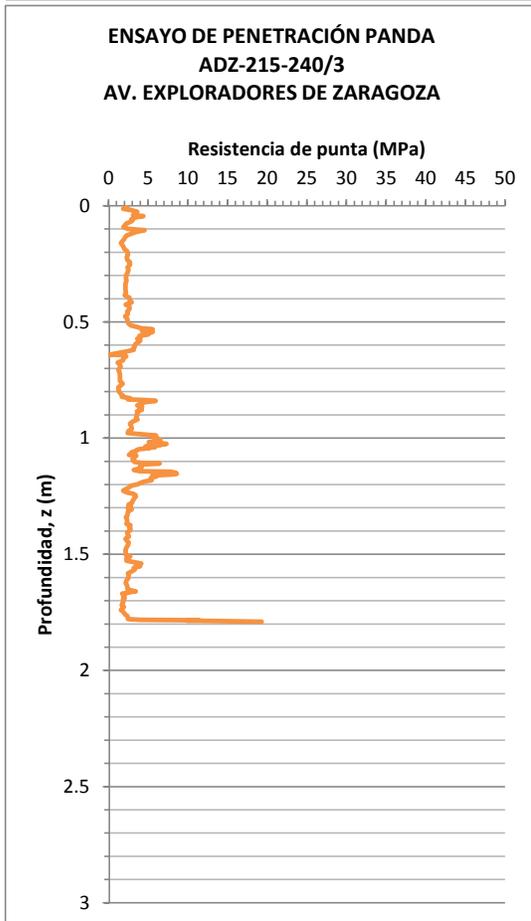
Fichas Técnicas

Ensayos de Penetración PANDA en cajones disipadores

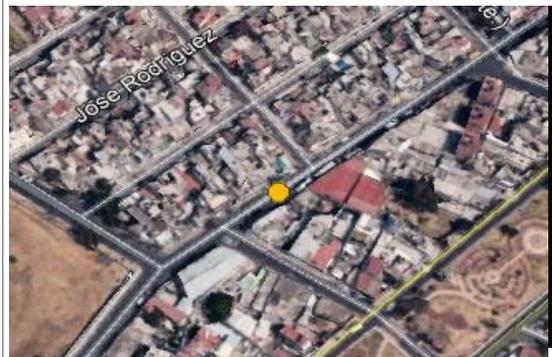
Subdirección del Centro de Evaluación de Riesgos
Laboratorio de suelos

Noviembre 2020

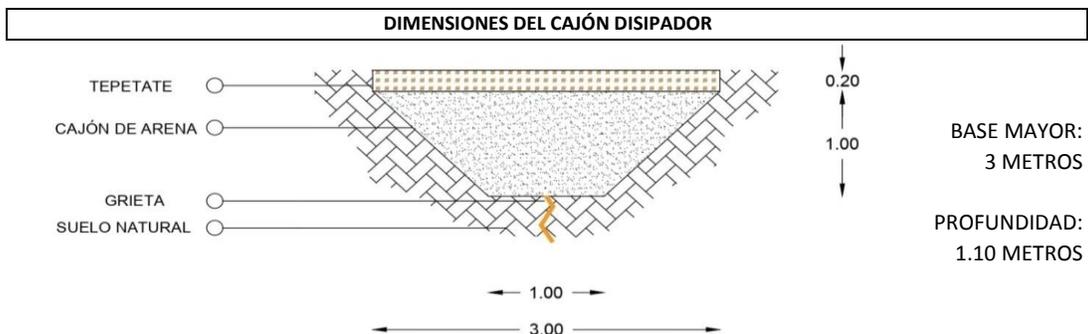
FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-01
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR



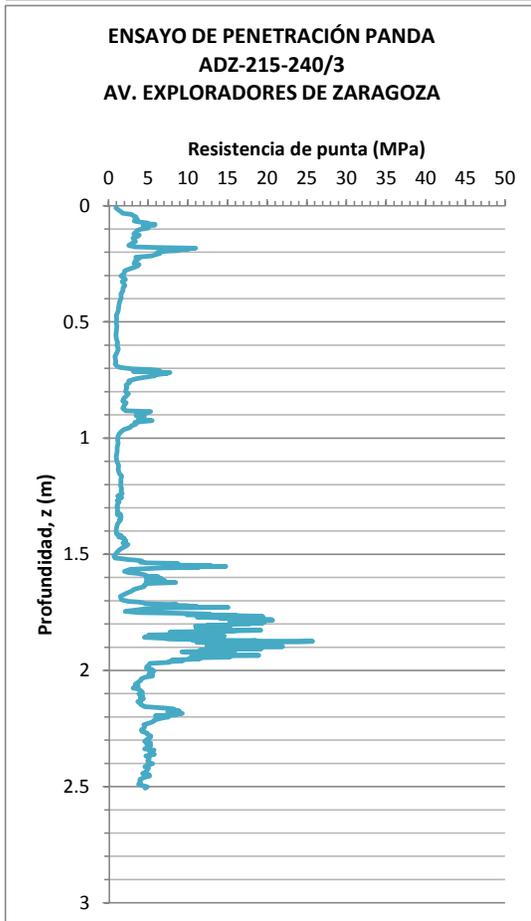
DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ-215-240/3
CALLE:	AV. EXPLORADORES DE ZARAGOZA
COLONIA:	SANTA MARTHA ACATITLA
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019



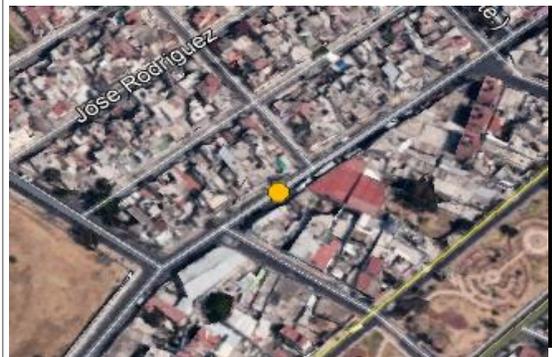
PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: CAJÓN COMPACTADO CON PIZÓN EN LAS DIFERENTES CAPAS	



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-02
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

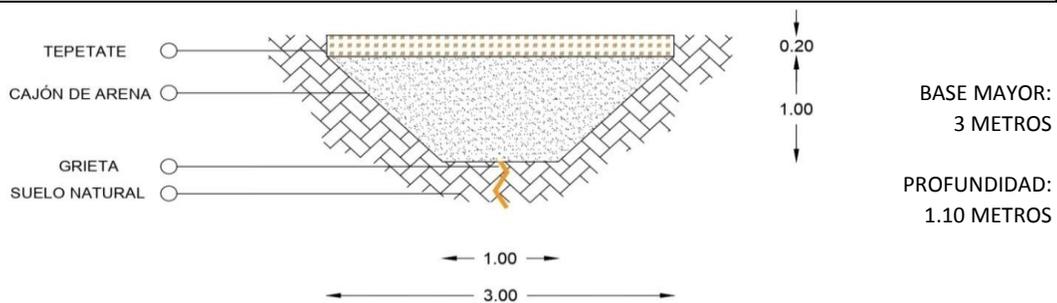


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ-215-240/3
CALLE:	AV. EXPLORADORES DE ZARAGOZA
COLONIA:	SANTA MARTHA ACATITLA
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

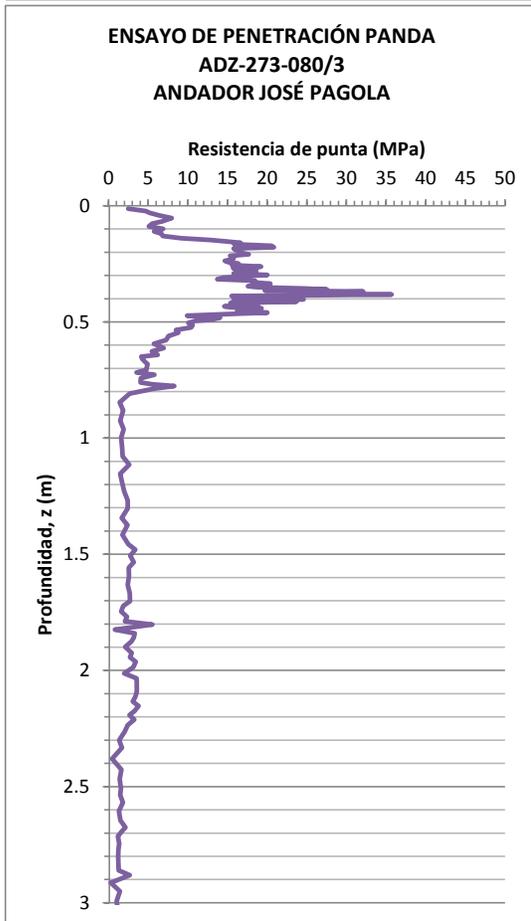


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: CAJÓN COMPACTADO CON PIZÓN EN LAS DIFERENTES CAPAS	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-03
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

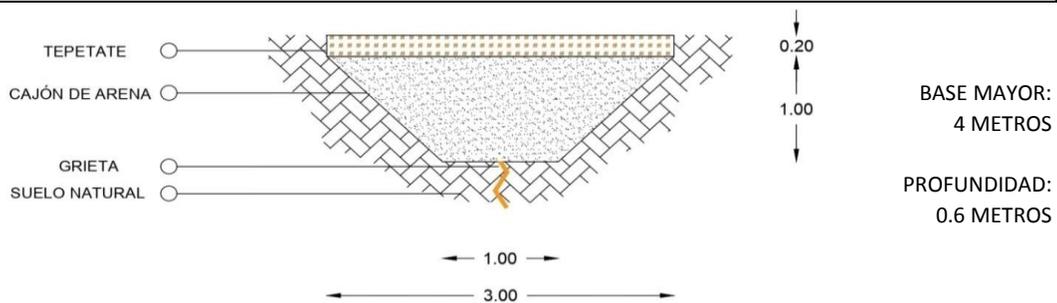


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ-273-080/3
CALLE:	Andador José Pagola
COLONIA:	UH Ermita Zaragoza
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

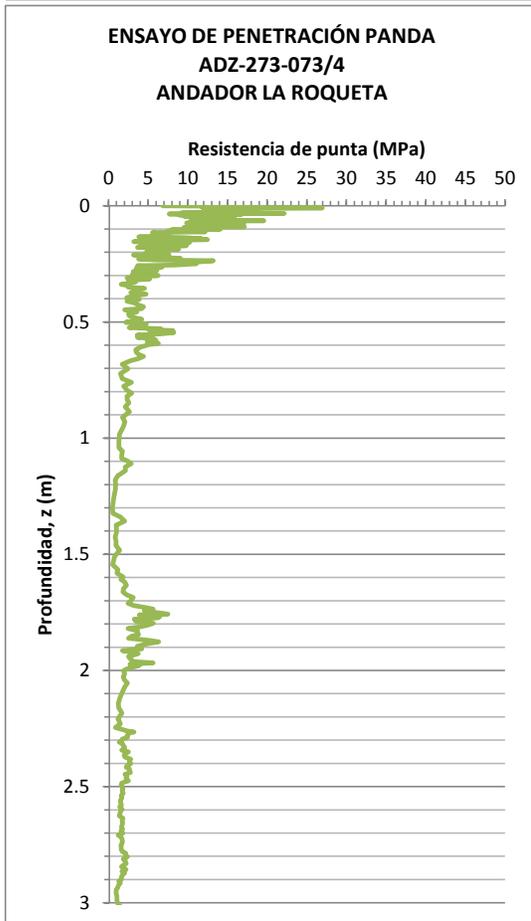


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-04
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

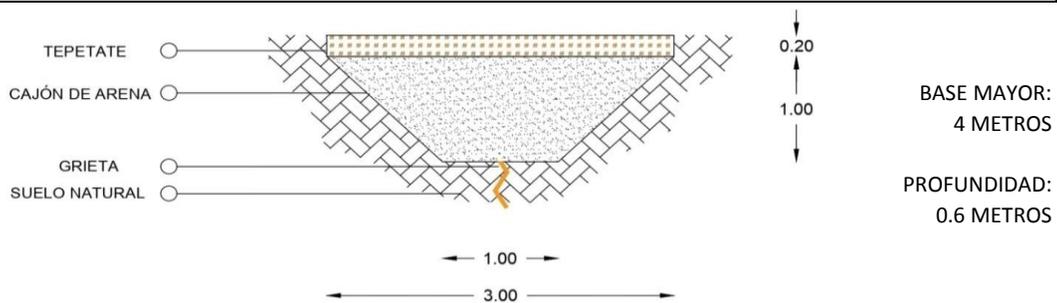


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ-273-073/4
CALLE:	Andador La Roqueta
COLONIA:	UH Ermita Zaragoza
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

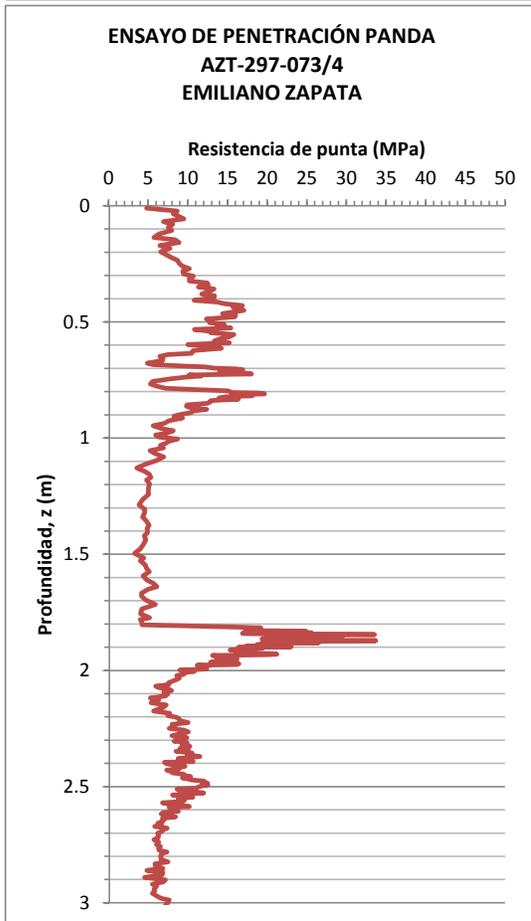


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-05
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

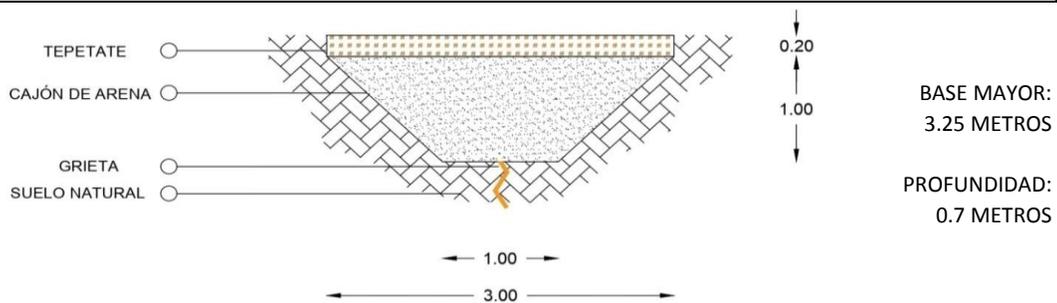


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-297-073/4
CALLE:	Emiliano Zapata
COLONIA:	Ejidos de Santa María Aztahuacan I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

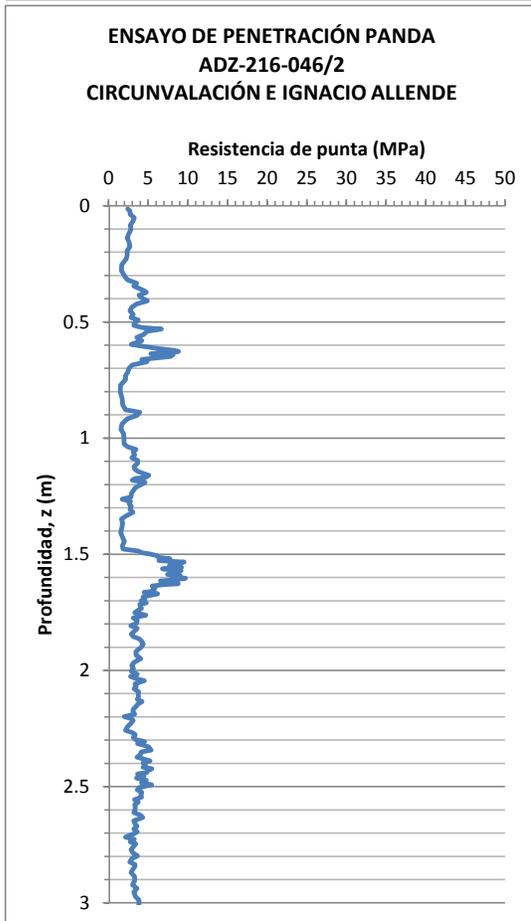


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-06
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

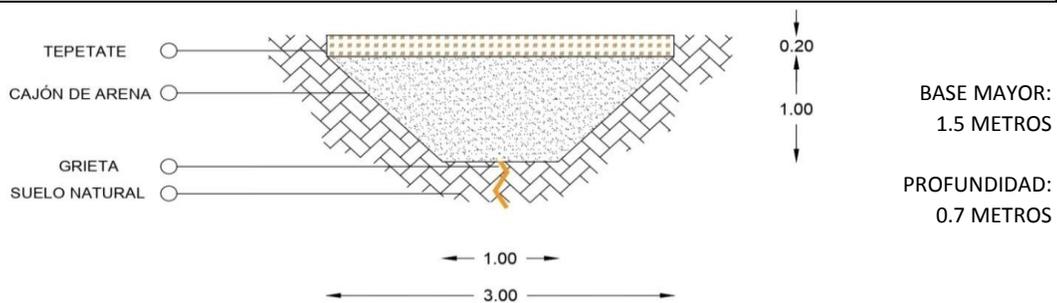


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ-216-046/2
CALLE:	Circunvalación e Ignacio Allende
COLONIA:	Ampliación Santa Martha Acatitla
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

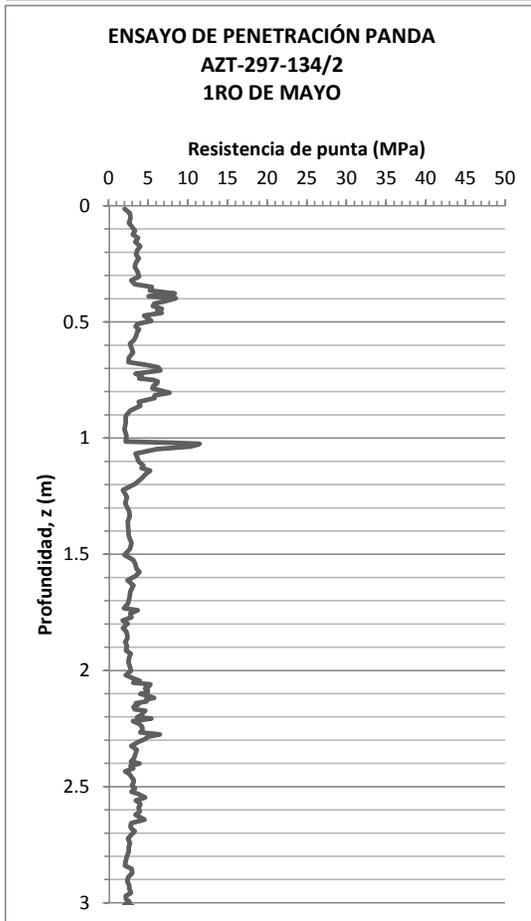


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-07
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

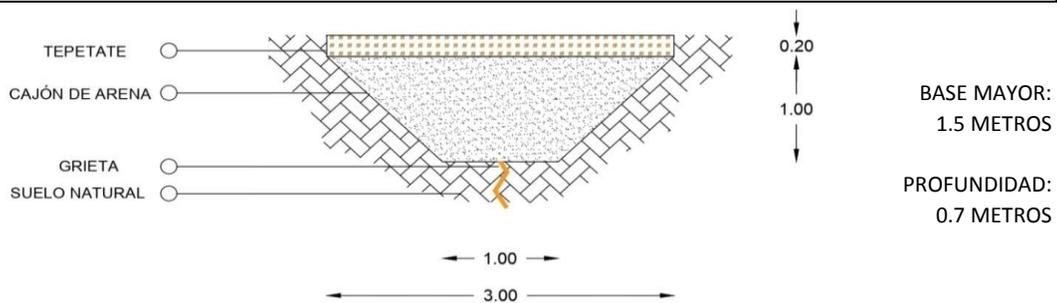


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-297-134/2
CALLE:	1ro de mayo
COLONIA:	Ejidos de Santa María Aztahuacan I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

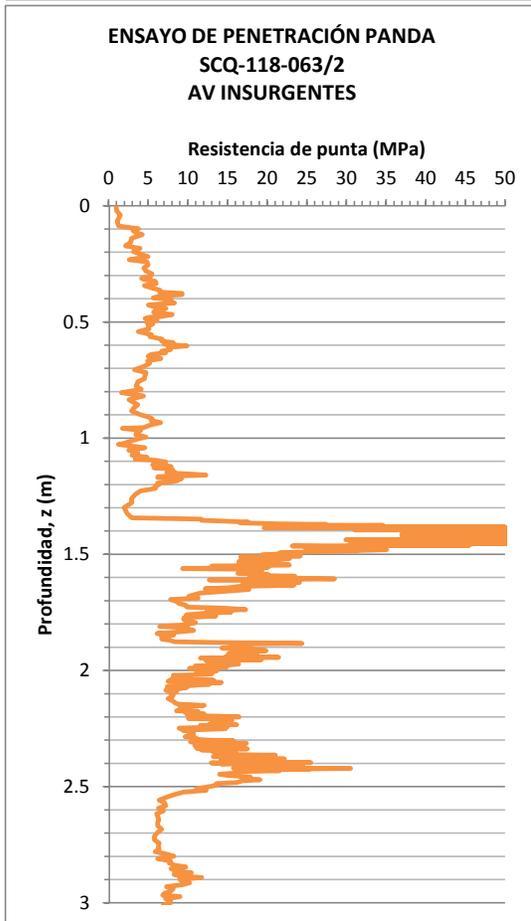


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-08
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

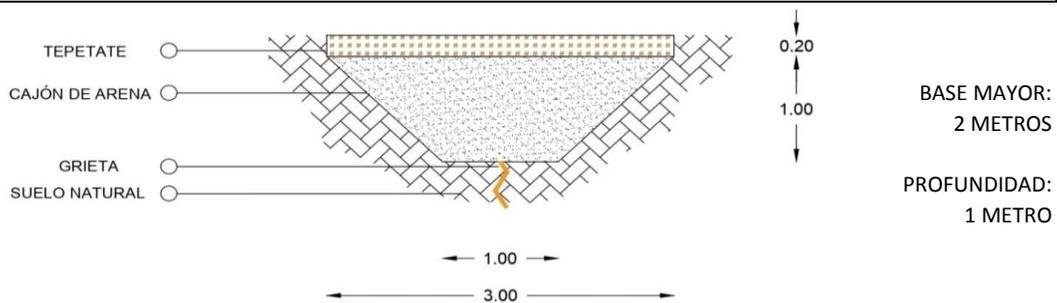


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	SCQ-118-063/2
CALLE:	Av. Insurgentes
COLONIA:	Las Peñas I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

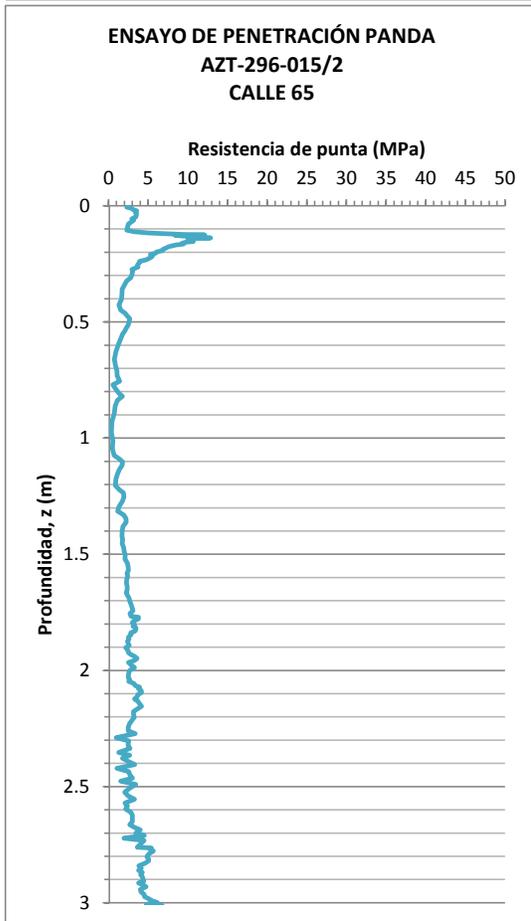


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-09
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

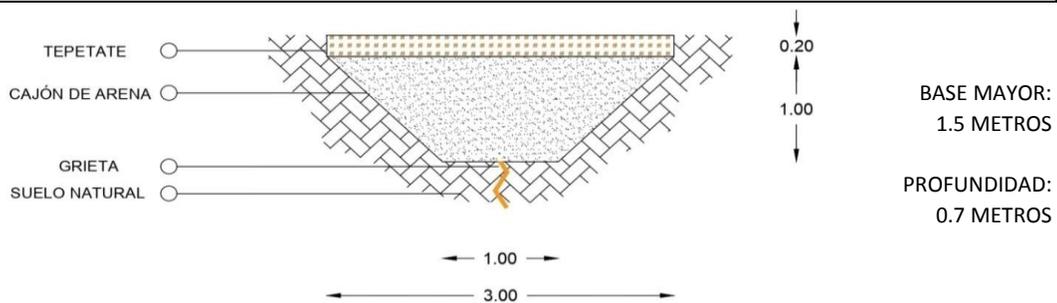


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-296-015/2
CALLE:	Calle 65
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

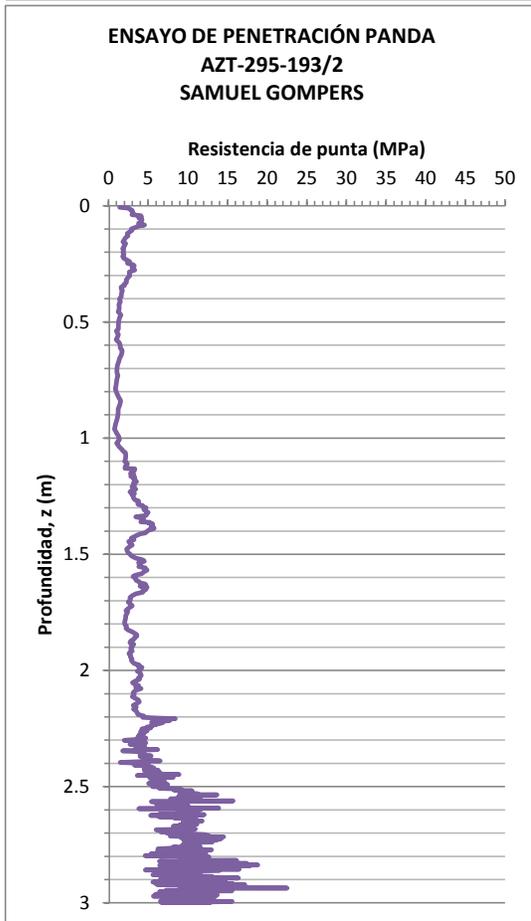


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-10
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

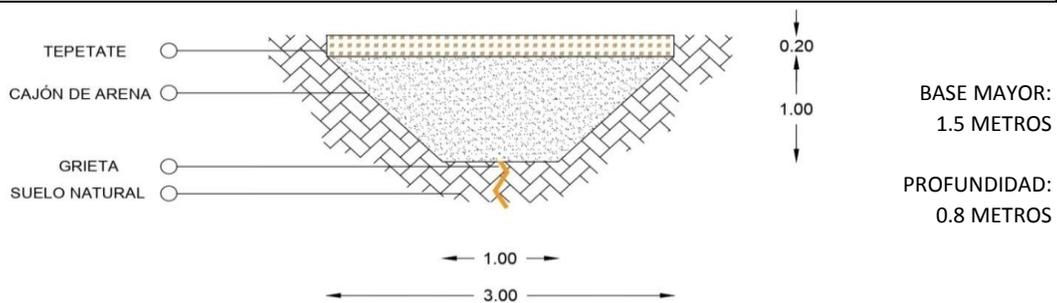


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-193/2
CALLE:	Samuel Gompers
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

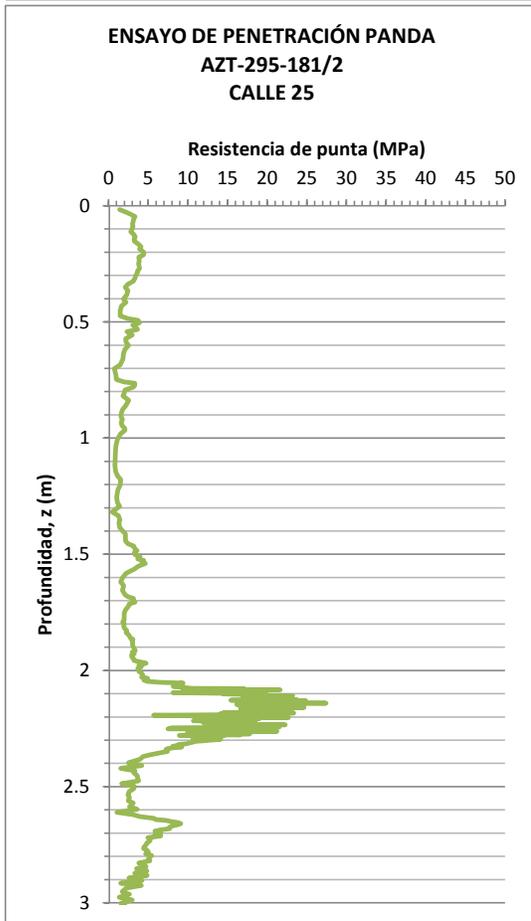


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-11
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

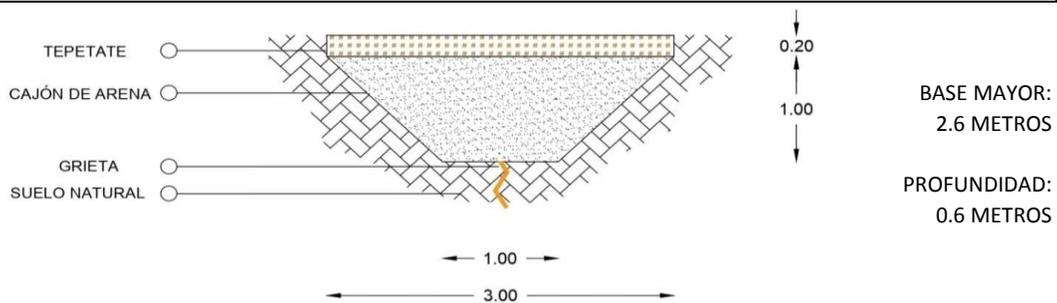


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-181/2
CALLE:	Calle 25
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

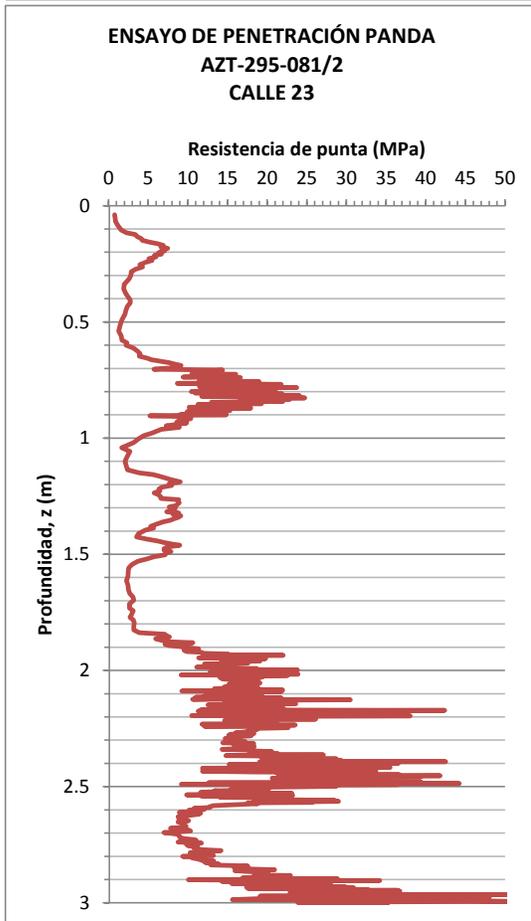


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-12
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

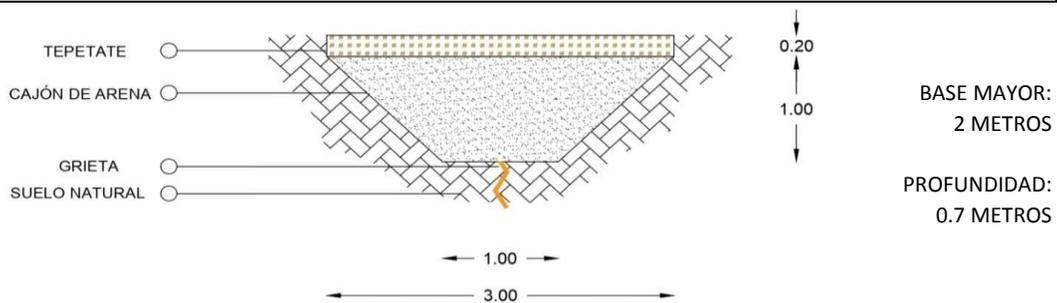


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-081/2
CALLE:	Calle 23
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

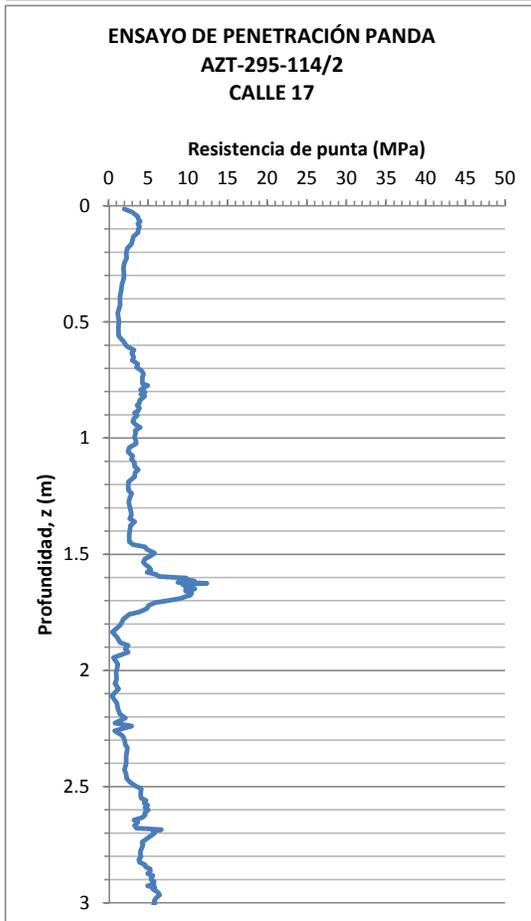


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-13
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

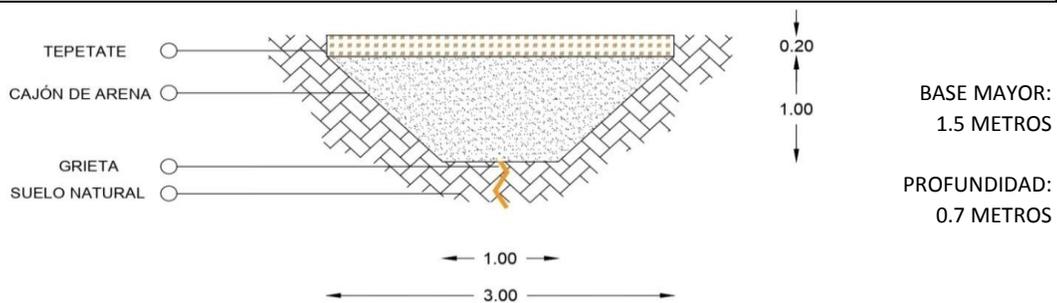


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-114/2
CALLE:	Calle 17
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

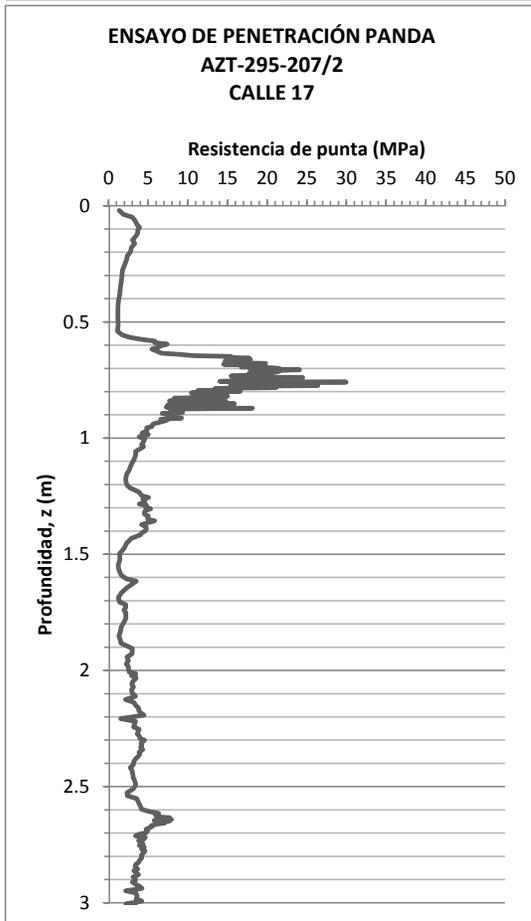


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-14
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

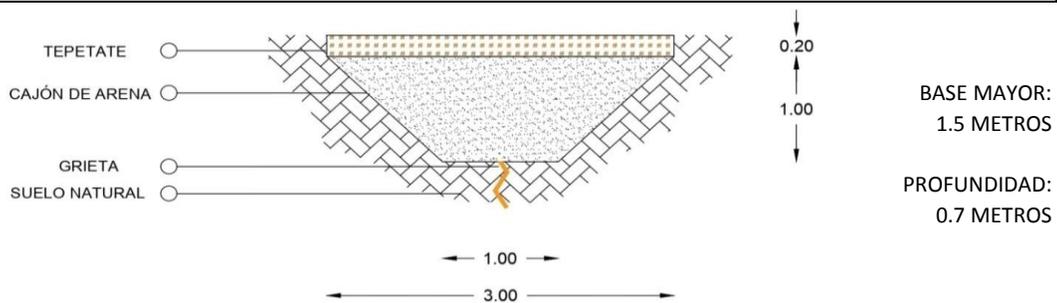


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-207/2
CALLE:	Calle 17
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

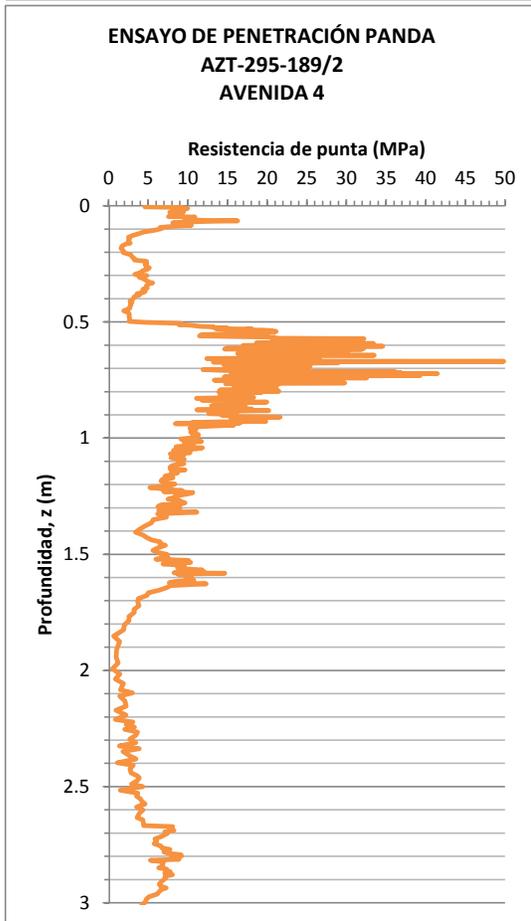


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-15
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

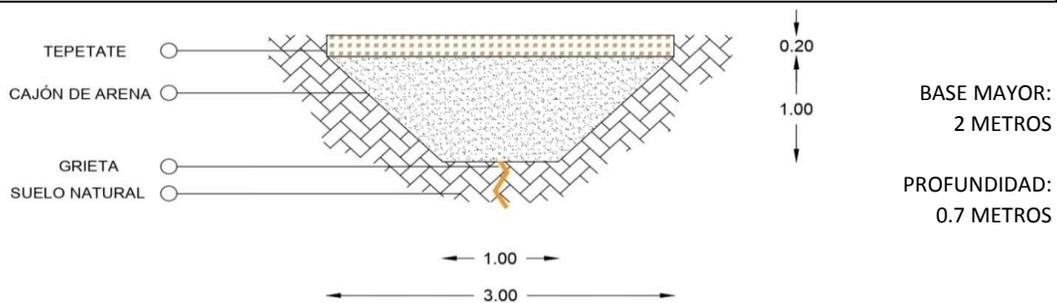


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-189/2
CALLE:	Av 4
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

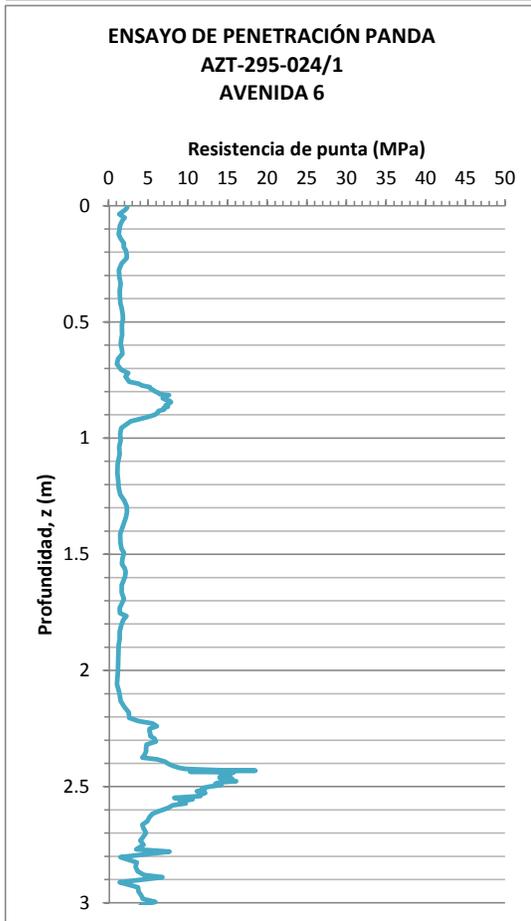


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo y Bailarina

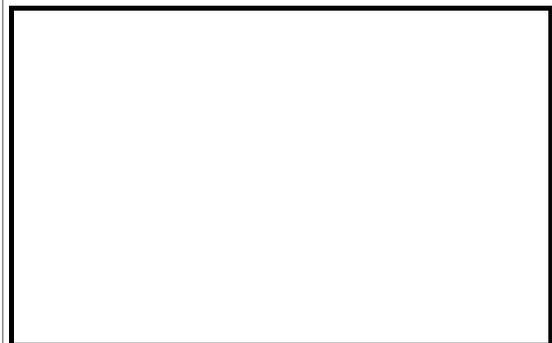
DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-16
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

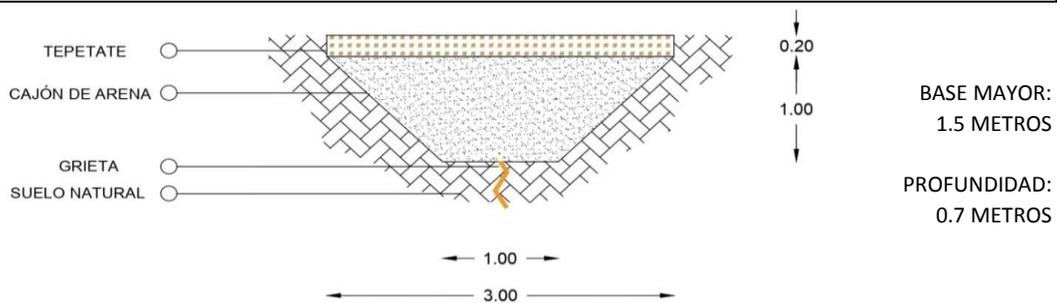


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-024/1
CALLE:	Av 6
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

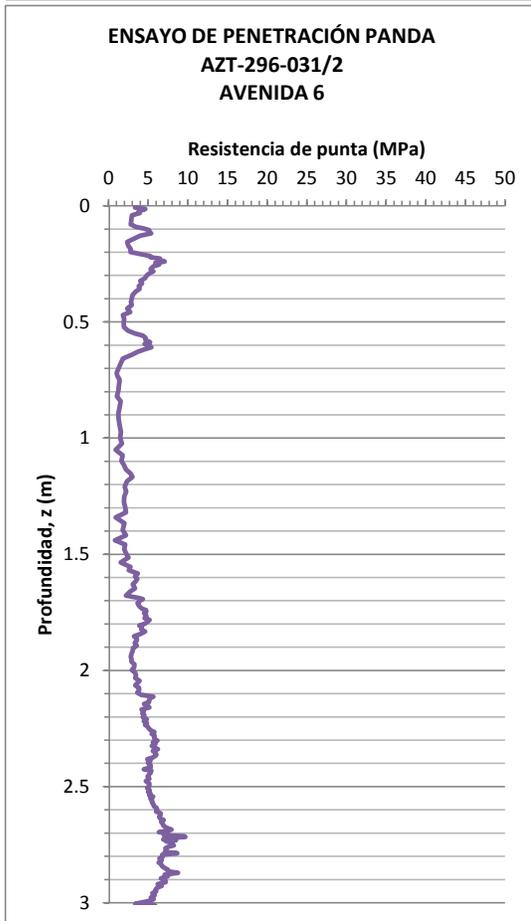


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-17
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

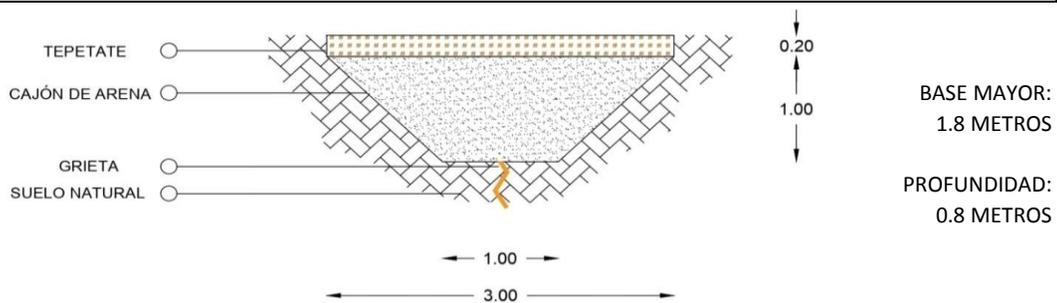


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-296-031/2
CALLE:	Av 6
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

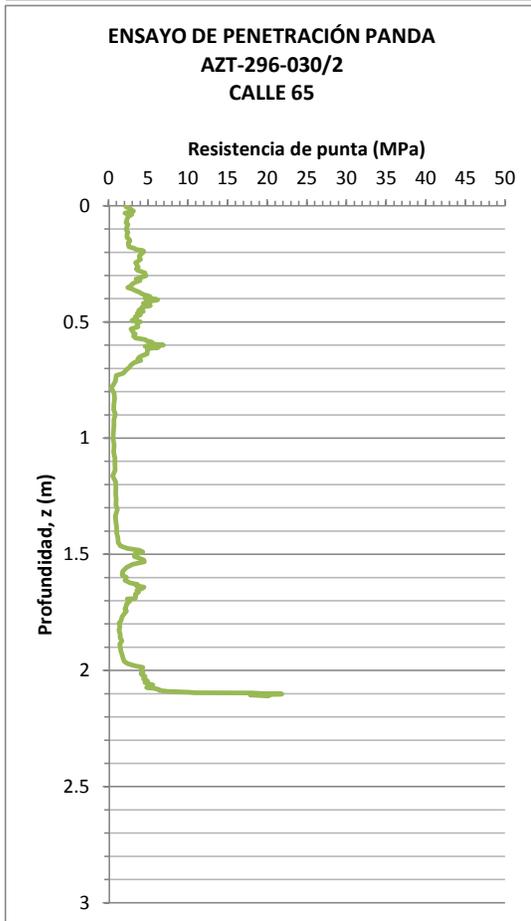


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-18
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

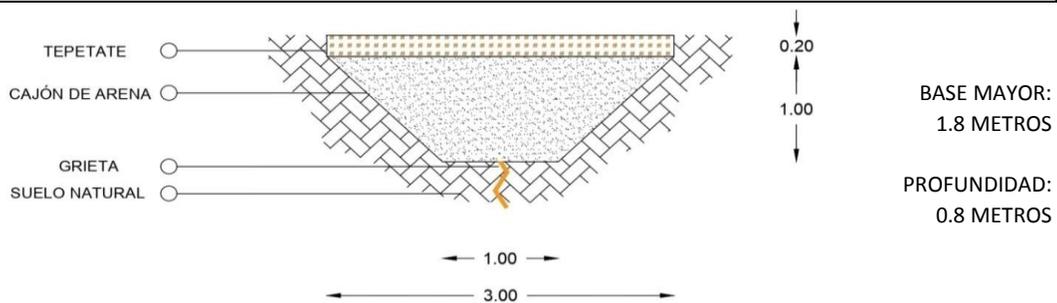


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-296-030/2
CALLE:	Calle 65
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

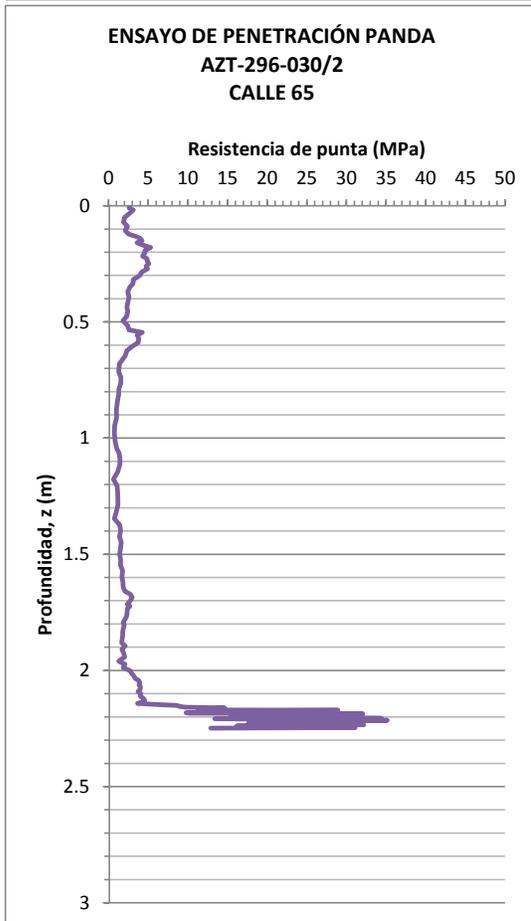


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-19
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

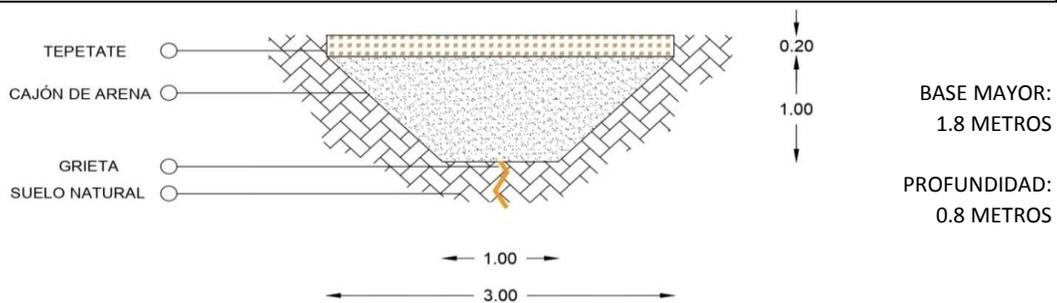


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-296-030/2
CALLE:	Calle 65
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

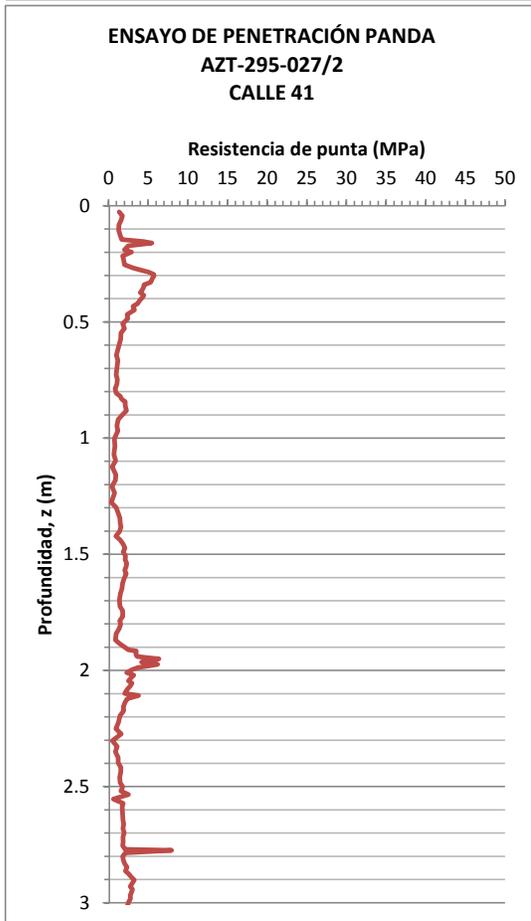


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Pizón

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-20
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

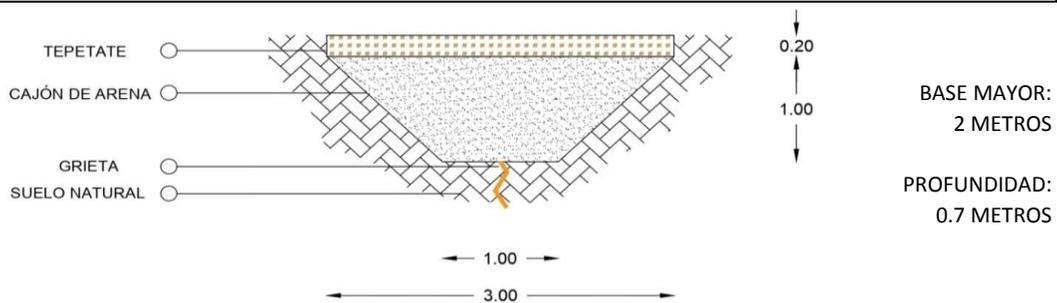


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-027/2
CALLE:	Calle 41
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2019
FECHA DE SONDEO:	2019

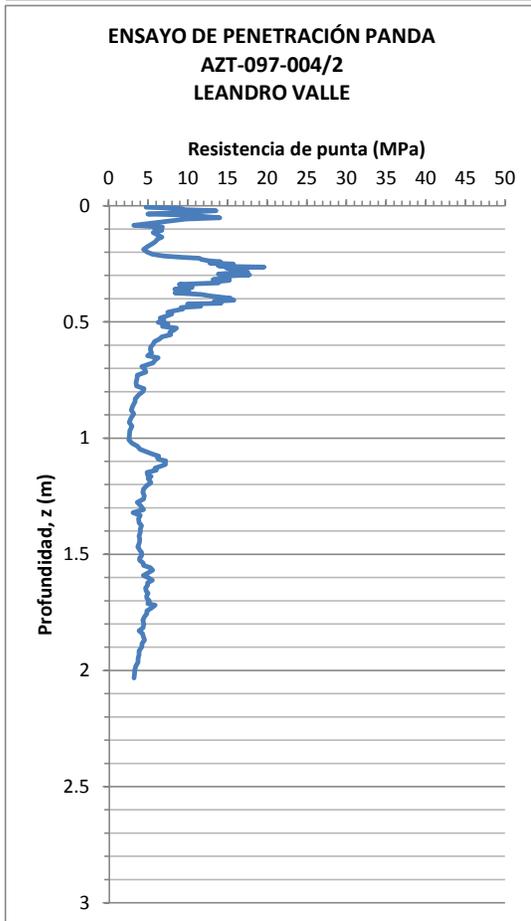


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-21
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

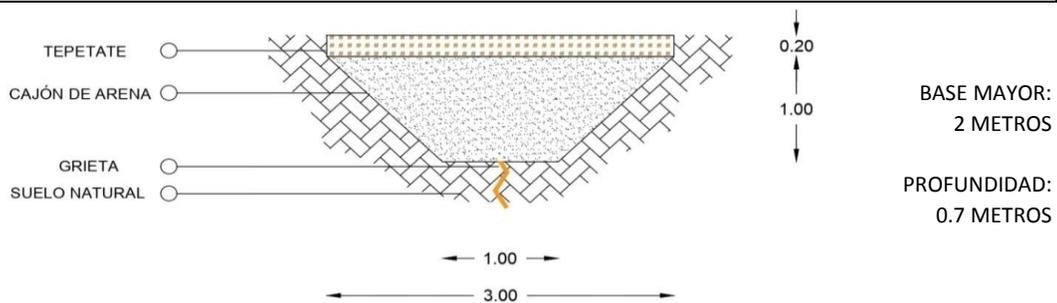


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-004/2
CALLE:	Leandro Valle
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

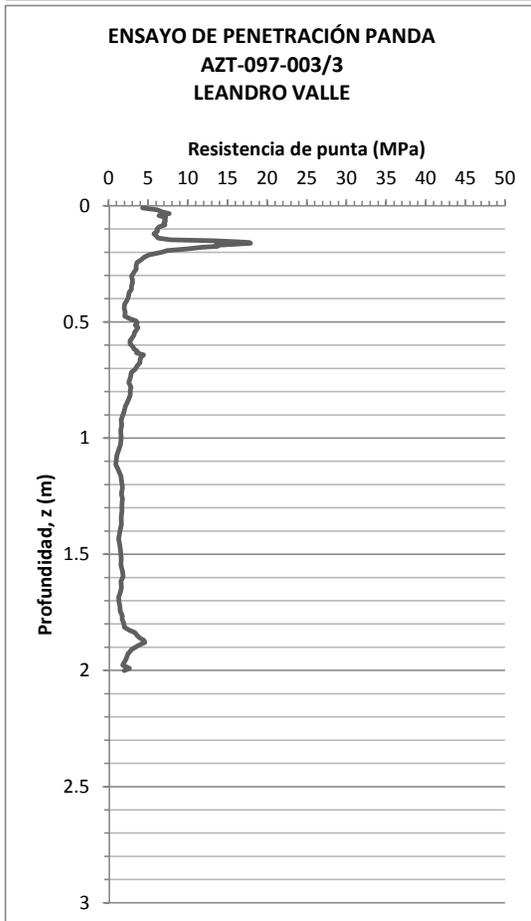


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-22
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

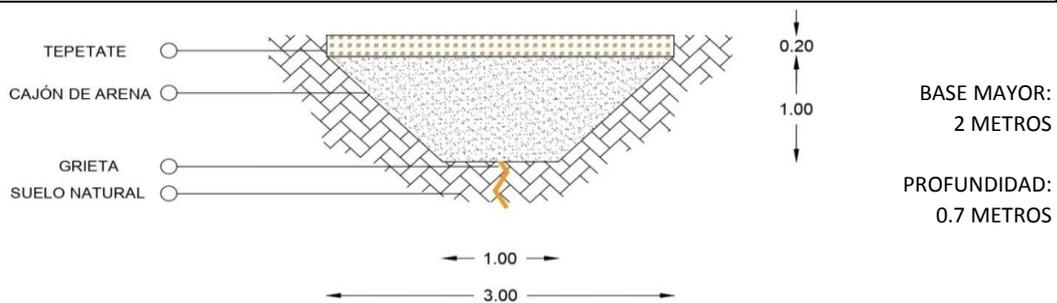


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-003/3
CALLE:	Leandro Valle
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

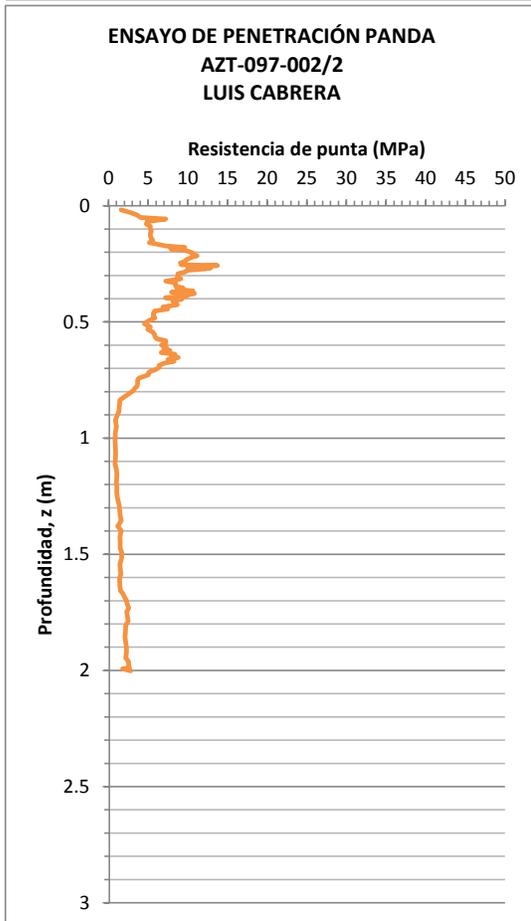


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-23
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

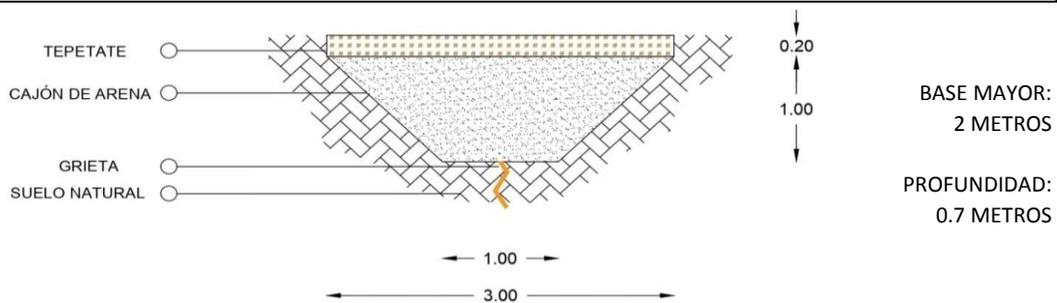


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-002/2
CALLE:	Luis Cabrera
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

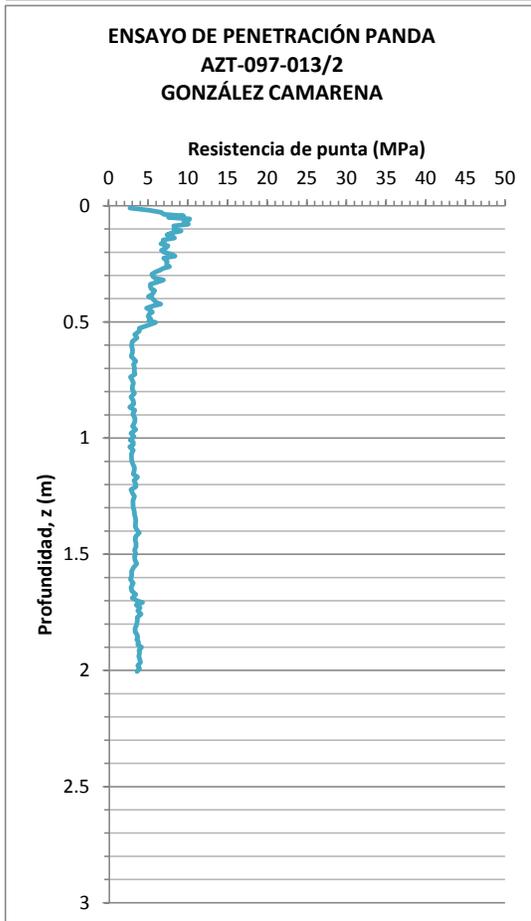


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-24
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

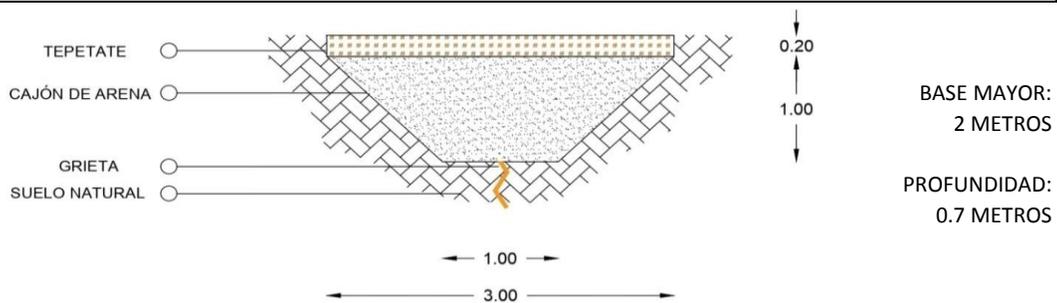


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-013/2
CALLE:	Gonzalez Camarena Jacarandas
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

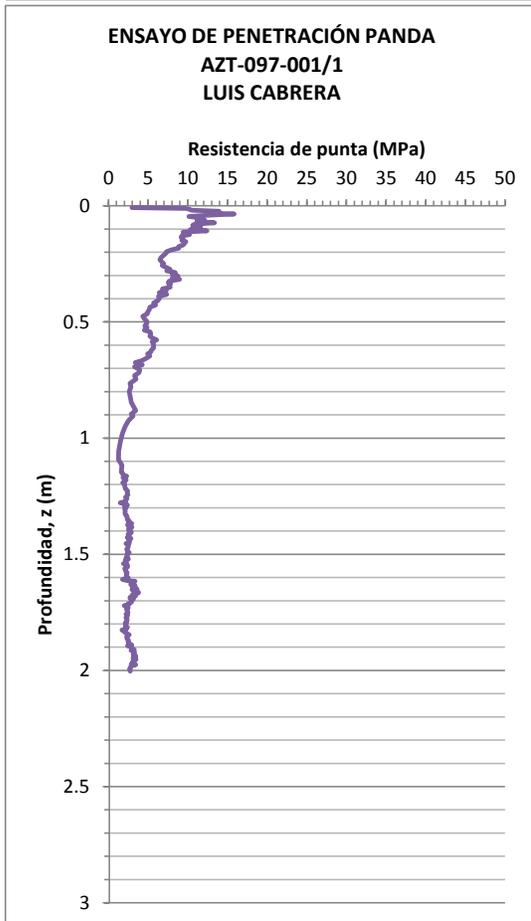


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-25
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

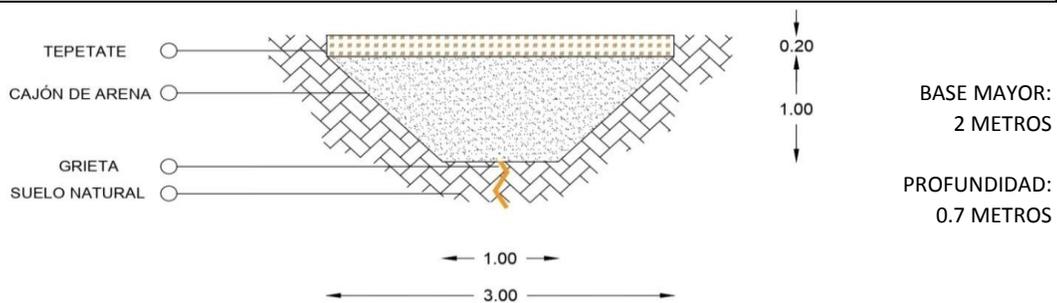


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-001/1
CALLE:	Luis Cabrera
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

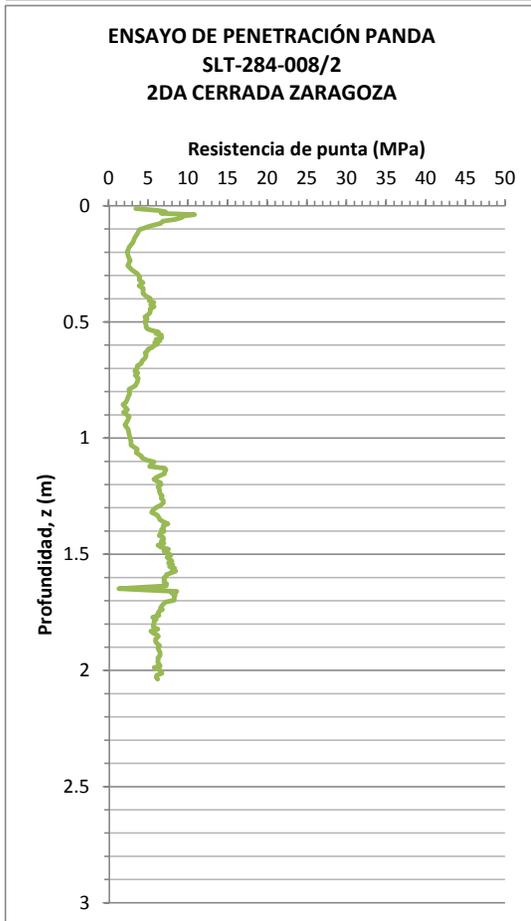


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

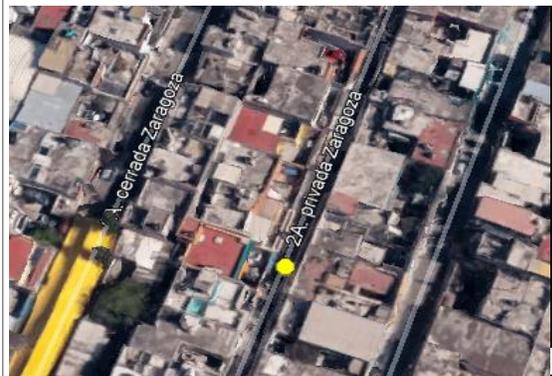
DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-26
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

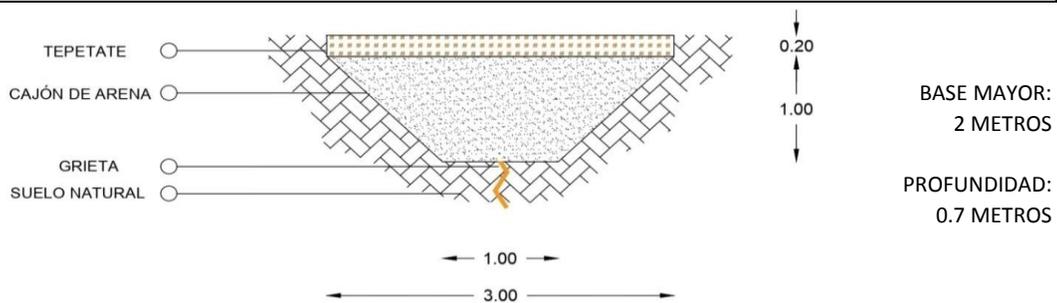


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	SLT-284-008/2
CALLE:	2da Cda Zaragoza
COLONIA:	Lomas de San Lorenzo II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

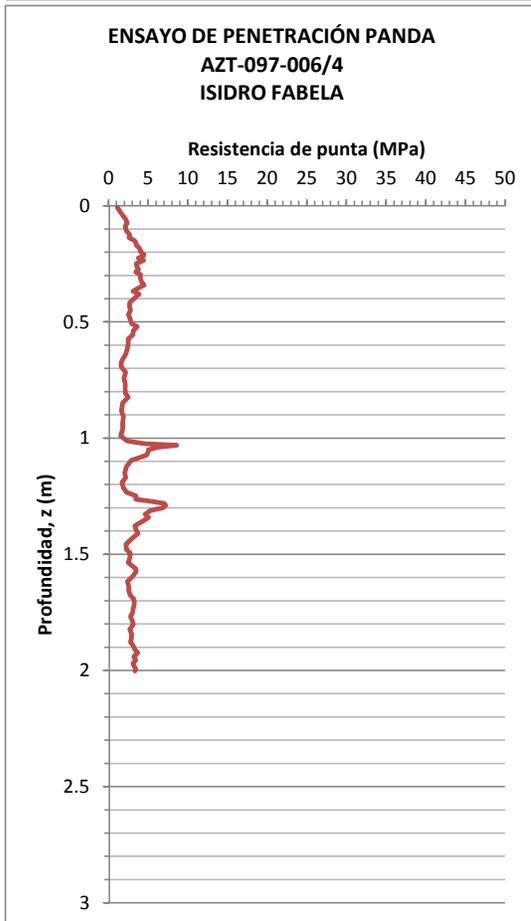


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-27
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

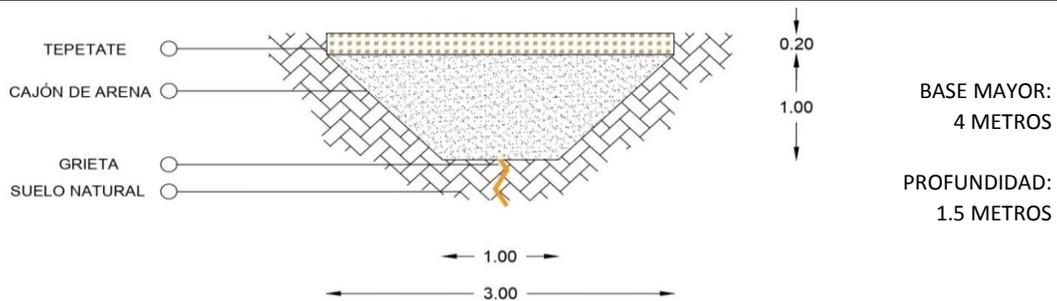


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-006/4
CALLE:	Isidro Fabela
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

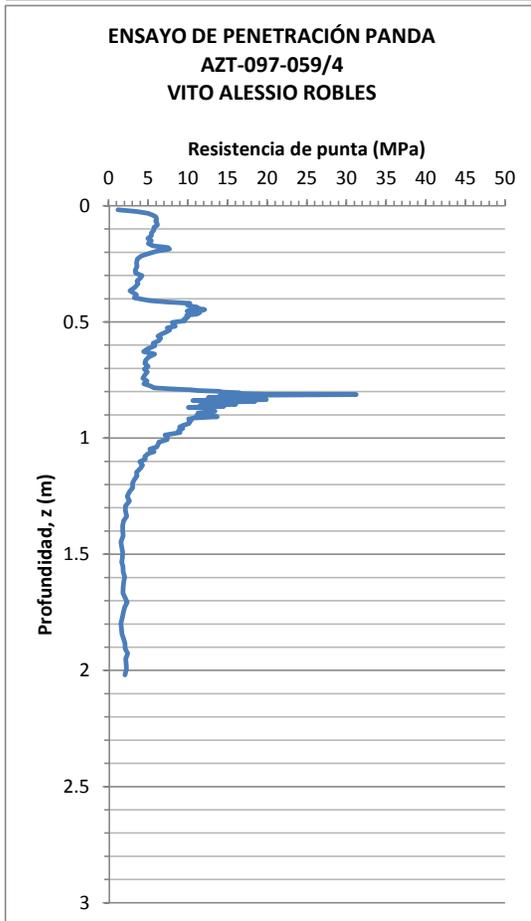


PROCESO CONSTRUCTIVO
DATOS DE COMPACTACIÓN
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-28
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

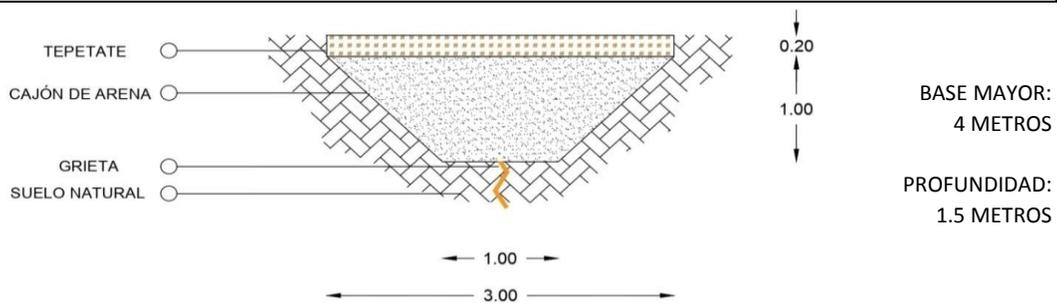


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-059/4
CALLE:	Vito Alessio Robles
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

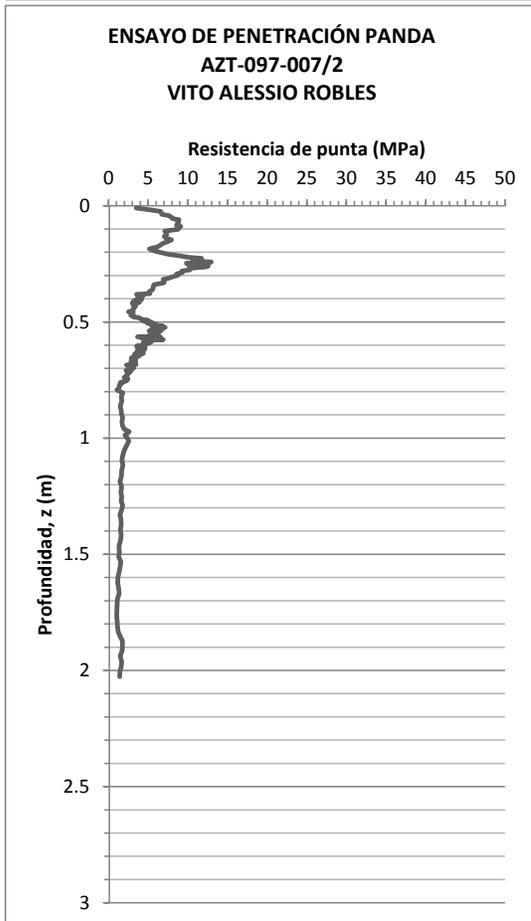


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-29
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

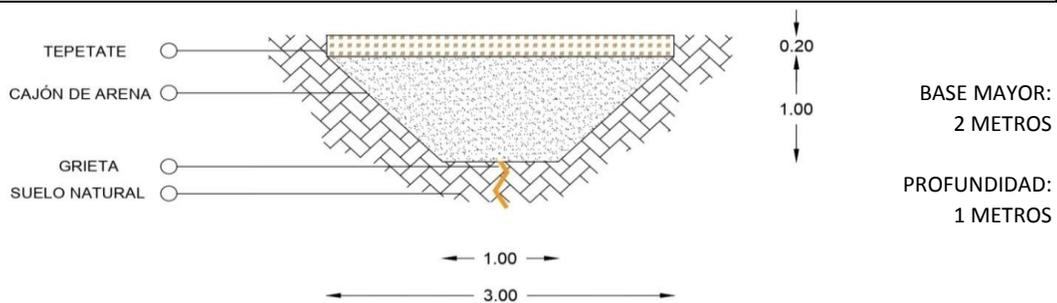


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-097-007/2
CALLE:	Vito Alessio Robles
COLONIA:	Jacarandas
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

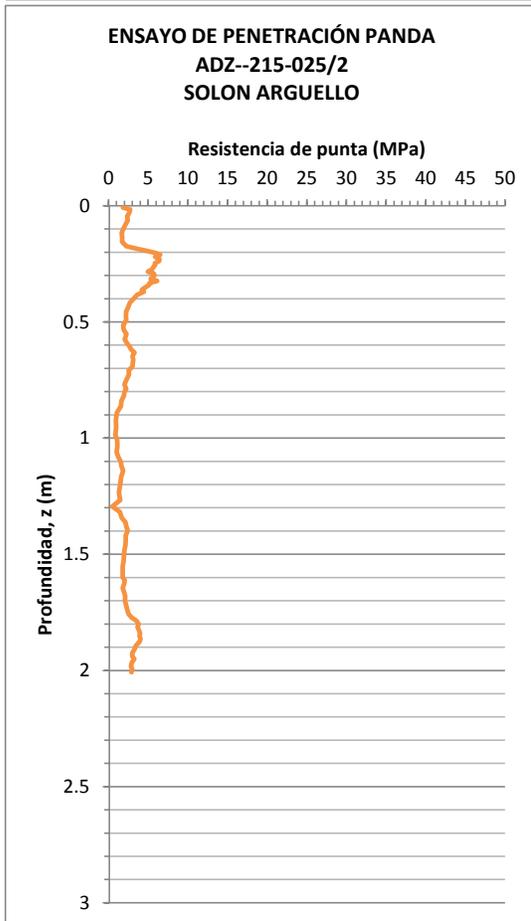


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina y rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-30
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

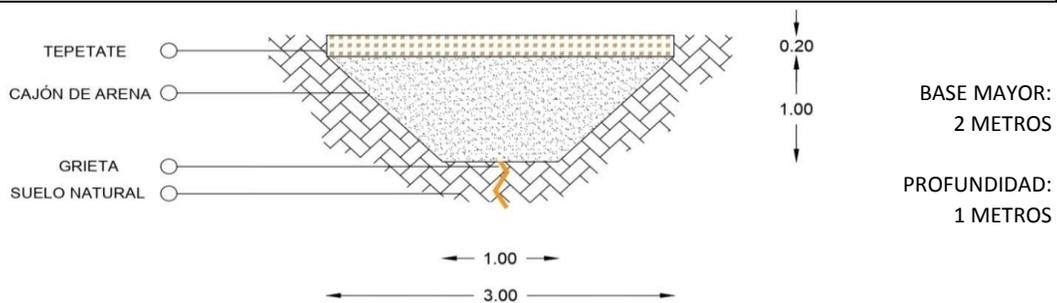


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ--215-025/2
CALLE:	Solon Arguello
COLONIA:	
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

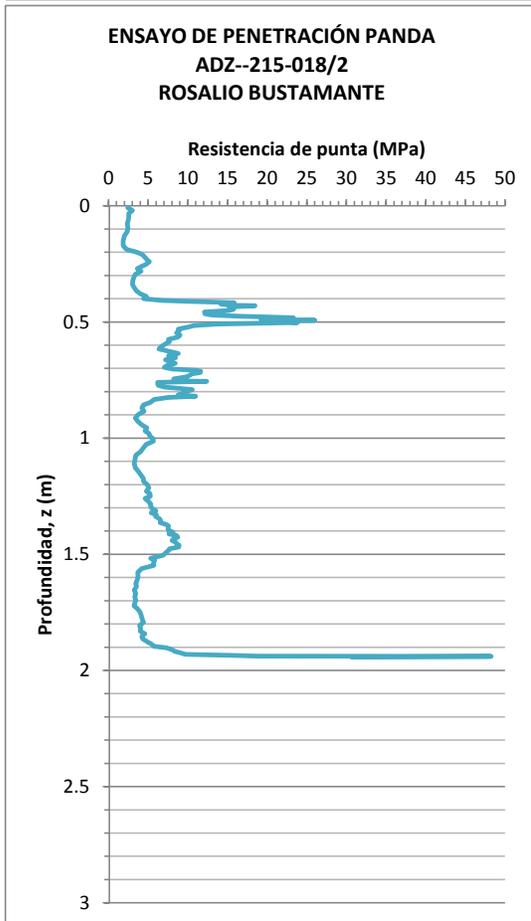


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-31
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

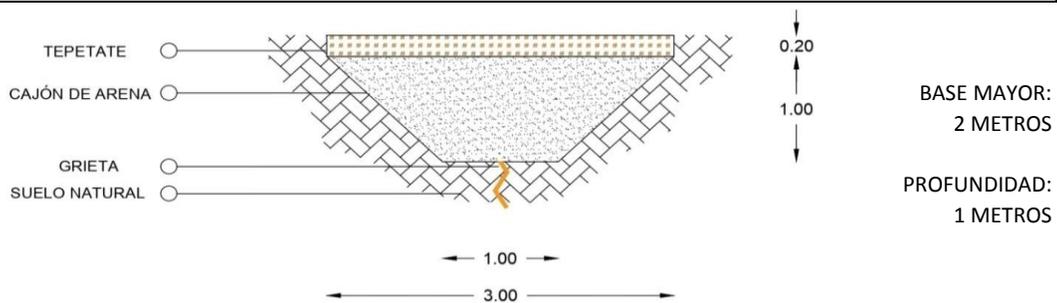


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	ADZ--215-018/2
CALLE:	Rosalio Bustamante
COLONIA:	Santa Martha Acatitla
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

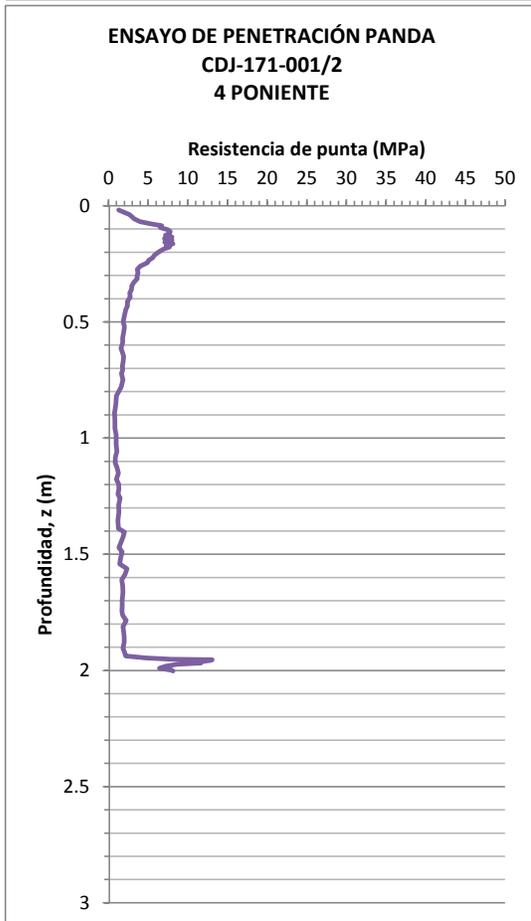


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Bailarina	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-32
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

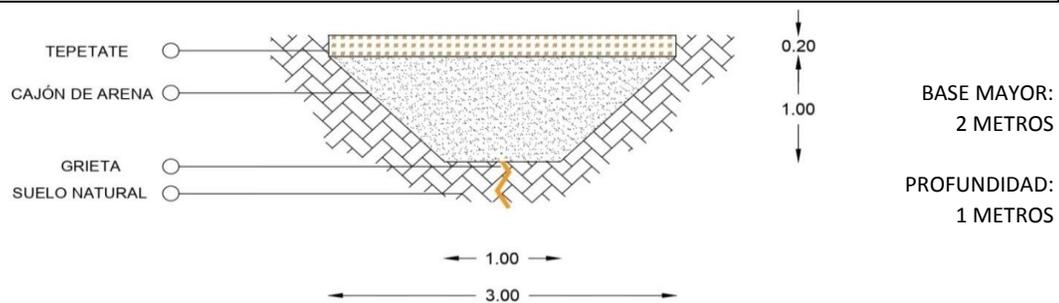


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	CDJ-171-001/2
CALLE:	4 Poniente
COLONIA:	Renovación
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

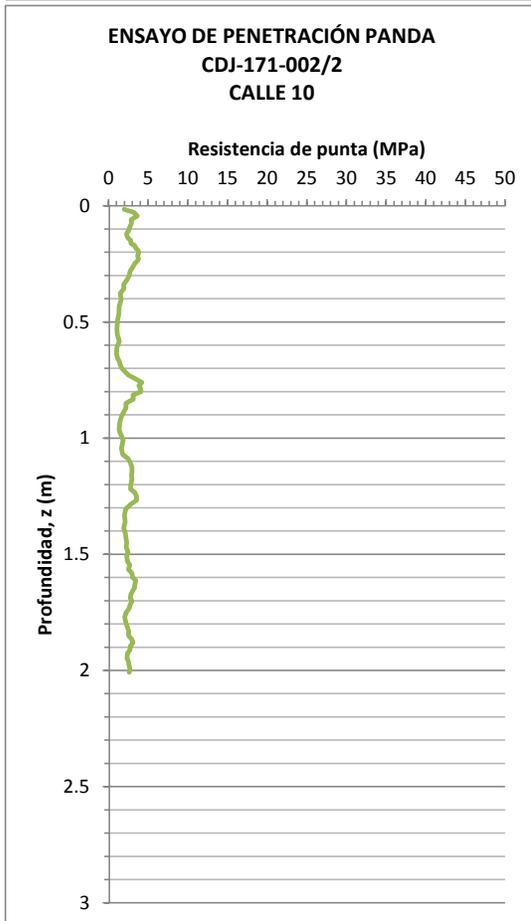


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Arena no compactada, tepetate con rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-33
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

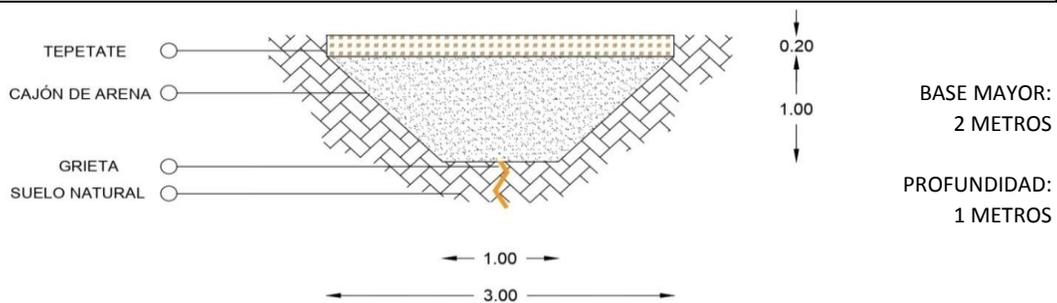


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	CDJ-171-002/2
CALLE:	Calle 10
COLONIA:	Renovación
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

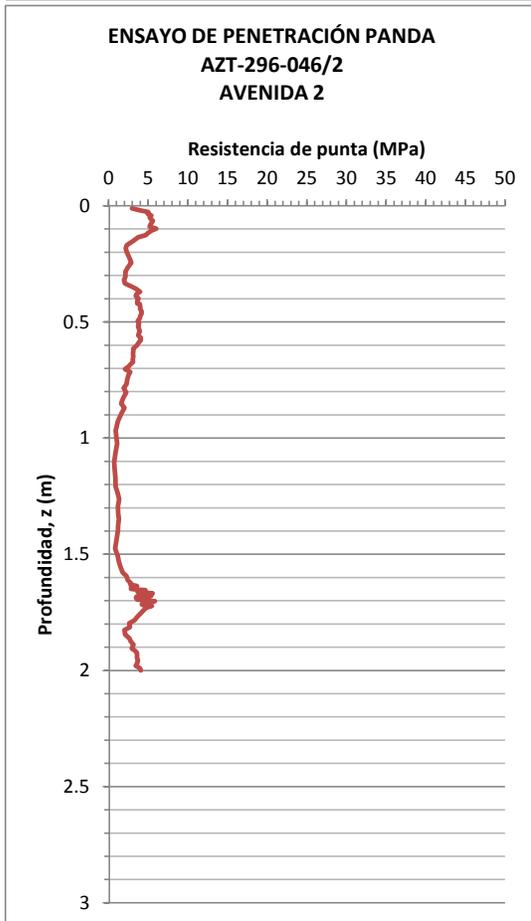


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Arena no compactada, tepetate con rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-34
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

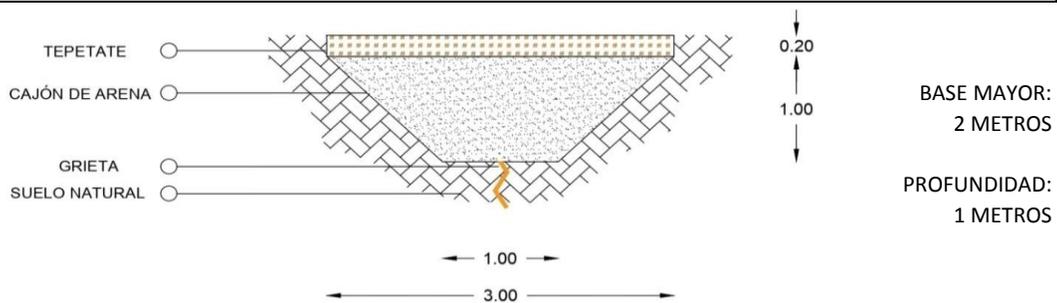


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-296-046/2
CALLE:	Avenida 2
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

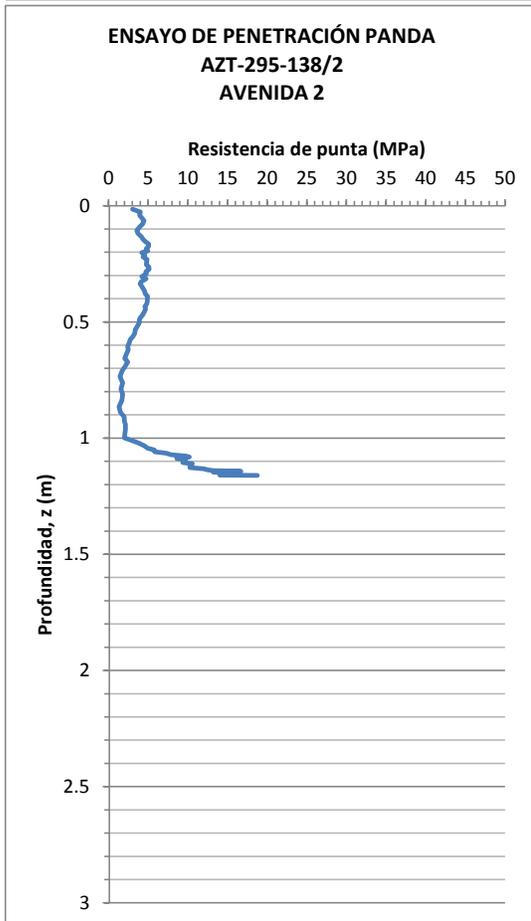


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Bailarina

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-35
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

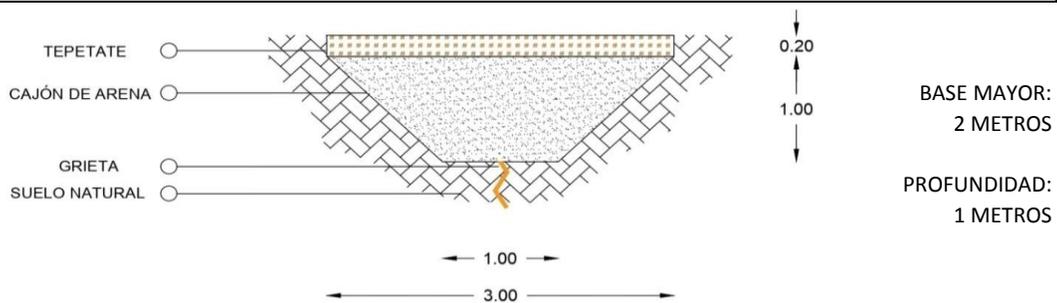


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	AZT-295-138/2
CALLE:	Avenida 2
COLONIA:	UH Santa Cruz Meyehualco I
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

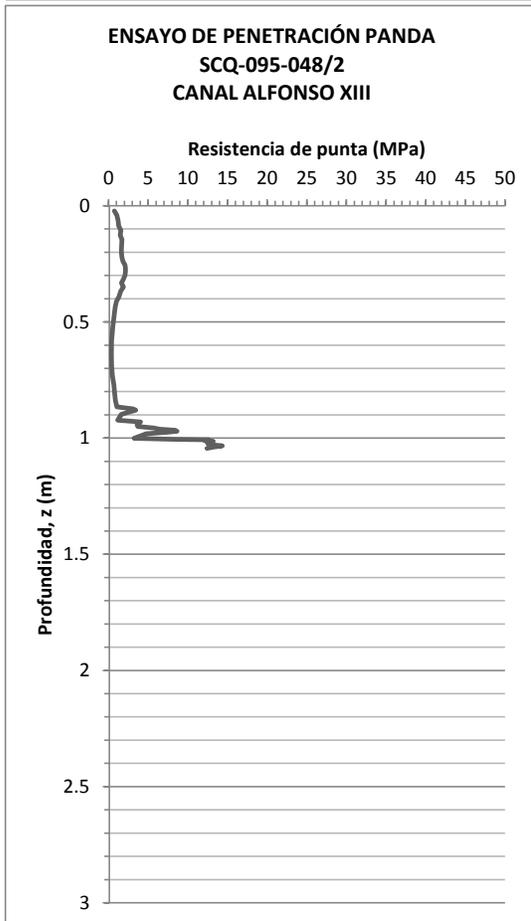


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN:	Bailarina

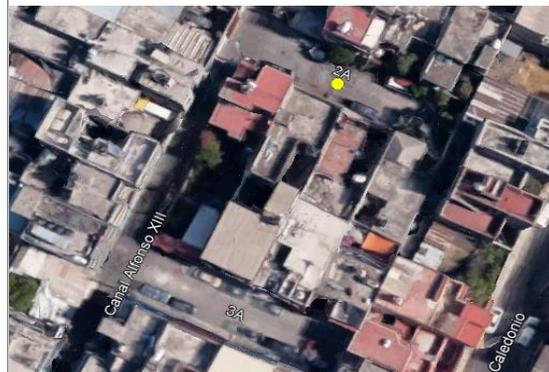
DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-36
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

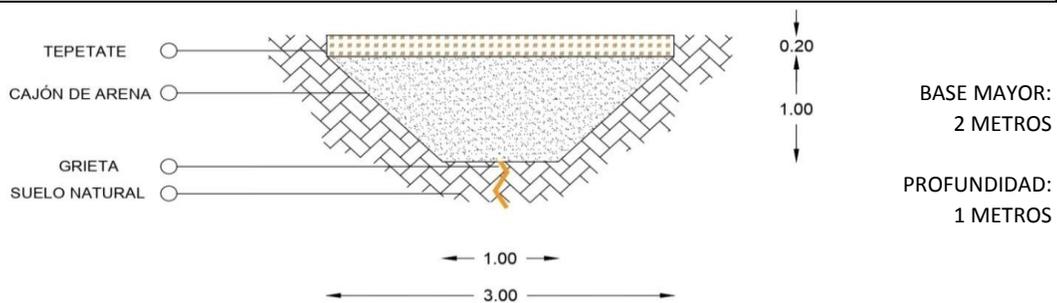


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	SCQ-095-048/2
CALLE:	Canal Alfonso XIII
COLONIA:	Insurgentes
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

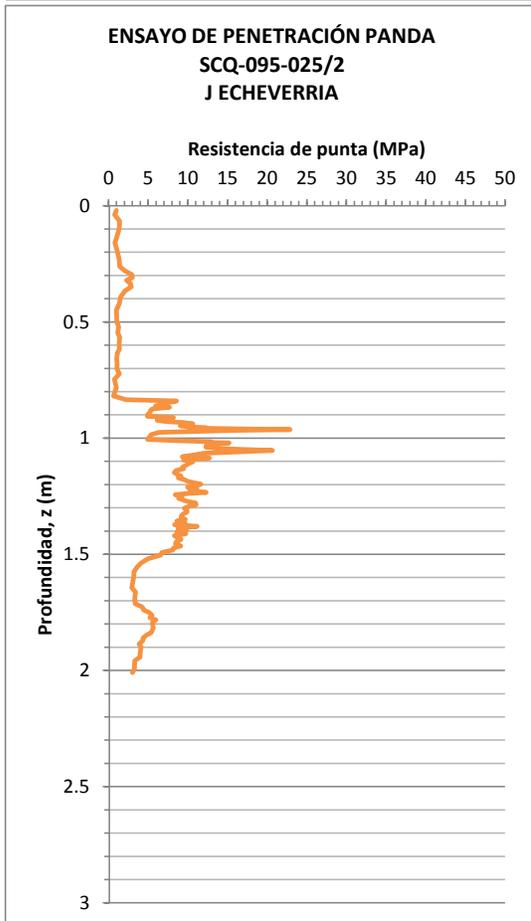


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-37
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

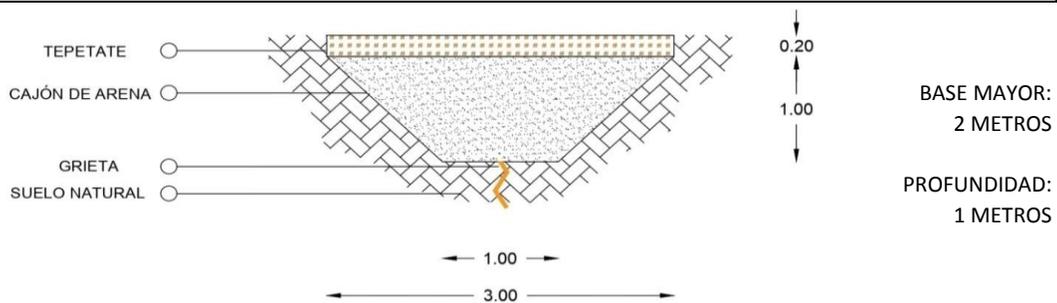


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	SCQ-095-025/2
CALLE:	J Echeverría
COLONIA:	Insurgentes
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020

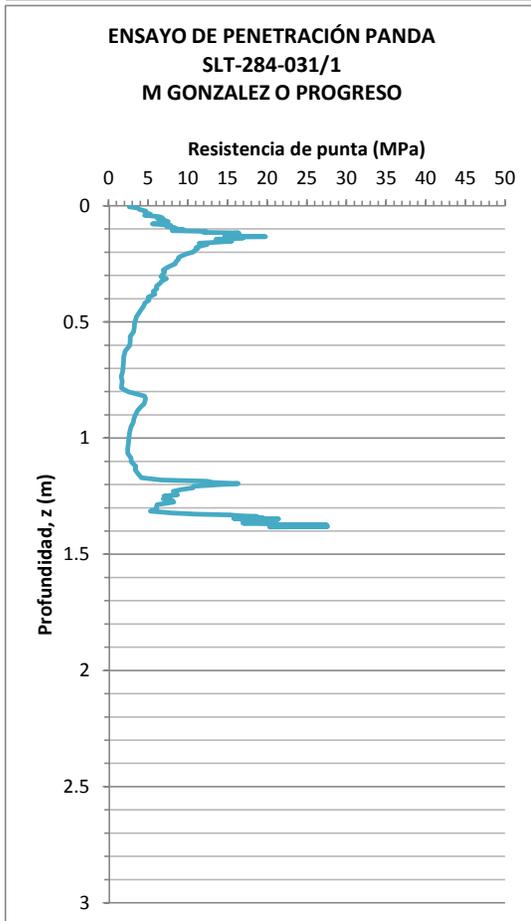


PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Pizón	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO



FICHA TÉCNICA		SONDEOS GEOTÉCNICOS EPP-38
ENSAYO DE PENETRACIÓN PANDA	ACUPUNTURA URBANA	GENERALIDADES
	LABORATORIO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	* CAJÓN DISIPADOR TRAPEZOIDAL * MATERIAL GRANULAR

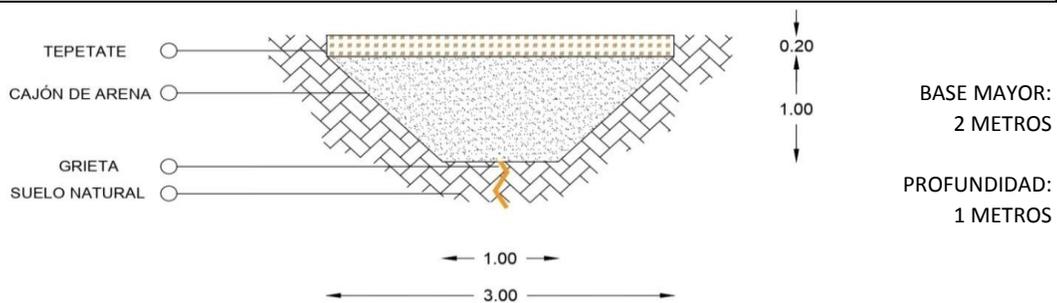


DATOS DEL SITIO DE ESTUDIO	
UBICACIÓN	
NOMENCLATURA:	SLT-284-031/1
CALLE:	M Gonzalez o Progreso
COLONIA:	Lomas de San Lorenzo II
FECHA DE MITIGACIÓN:	2020
FECHA DE SONDEO:	2020



PROCESO CONSTRUCTIVO	
DATOS DE COMPACTACIÓN	
HERRAMIENTA DE COMPACTACIÓN: Rodillo	

DIMENSIONES DEL CAJÓN DISIPADOR PROPUESTO





**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO F

ESTUDIO DE PROBLEMAS ESPECÍFICOS

F.1 Revisión de estudios de rehabilitación

Como parte de los trabajos de reconstrucción, la Comisión para la Reconstrucción ha encargado a algunas empresas la elaboración de proyectos de rehabilitación y estudios complementarios para ciertos predios afectados. Asimismo, ha pedido al II-UNAM la revisión de los informes geotécnicos de dichos proyectos, los cuales, se mencionan a continuación:

F.1.1 Molino 25

El predio de la Unidad Habitacional El Molino 25 (UHEM-25) se ubica en la calle Molino No. 25, col. La Planta, Alcaldía de Iztapalapa, (Figura F.1.1.1).



Figura F.1.1.1 Ubicación de la Unidad Habitacional “Molino 25”.

El informe final revisado está constituido por un conjunto de informes independientes, de los cuales, el II-UNAM enfocó sus comentarios principalmente a los informes de los trabajos de Geotecnia, Geofísica y Topografía.

El II-UNAM emitió comentarios para las diferentes secciones del informe como se describe a continuación:

1. Investigación geotécnica realizada.

En sus diferentes secciones, el informe revisado contiene cierta información que no fue utilizada en el proyecto. Eventualmente, este tipo de información puede generar confusión o incertidumbre sobre la información realmente empleada. Asimismo, existe información que se replica en diferentes partes del informe. Algunas referencias a los planos no corresponden con lo que se indica en el texto.

De acuerdo con el informe, la empresa determinó los desplomos de los edificios, obteniendo como resultado que únicamente los edificios 1C y 2C presentan desplomo del orden del 1%. Respecto a las afectaciones inducidas por el sismo, en el informe se considera que fueron mínimas.

La cimentación de los edificios es independiente y está constituida por un cajón de cimentación a base de una losa corrida de concreto reforzado de 0.2m de peralte, contratrabes de cimentación de concreto reforzado de 0.7m de peralte y un firme de concreto de 0.1m de peralte, reforzado con malla electrosoldada a manera de losa-tapa.

El II-UNAM considera que para evaluar la propuesta de recimentación, convendría realizar previamente un análisis numérico, lo cual permitirá determinar una compatibilidad de deformación entre el suelo y la cimentación, de esta forma se podrá analizar diferentes soluciones para mitigar los asentamientos diferenciales.

Exploración Geotécnica.

La exploración geotécnica consistió en un sondeo mixto (SMX-1) a 63.2m de profundidad, dos sondeos tipo SPT (SPE-1 y SPE-2) a 44.8 y 45 m de profundidad respectivamente y dos sondeos de cono eléctrico (SCE-1 y SCE-2) a 55.3 y 44.8m de profundidad respectivamente. Con los resultados de la exploración geotécnica se elaboró un perfil estratigráfico que muestra una pendiente en los estratos, hacia el suroeste (Figura F.1.1.2).

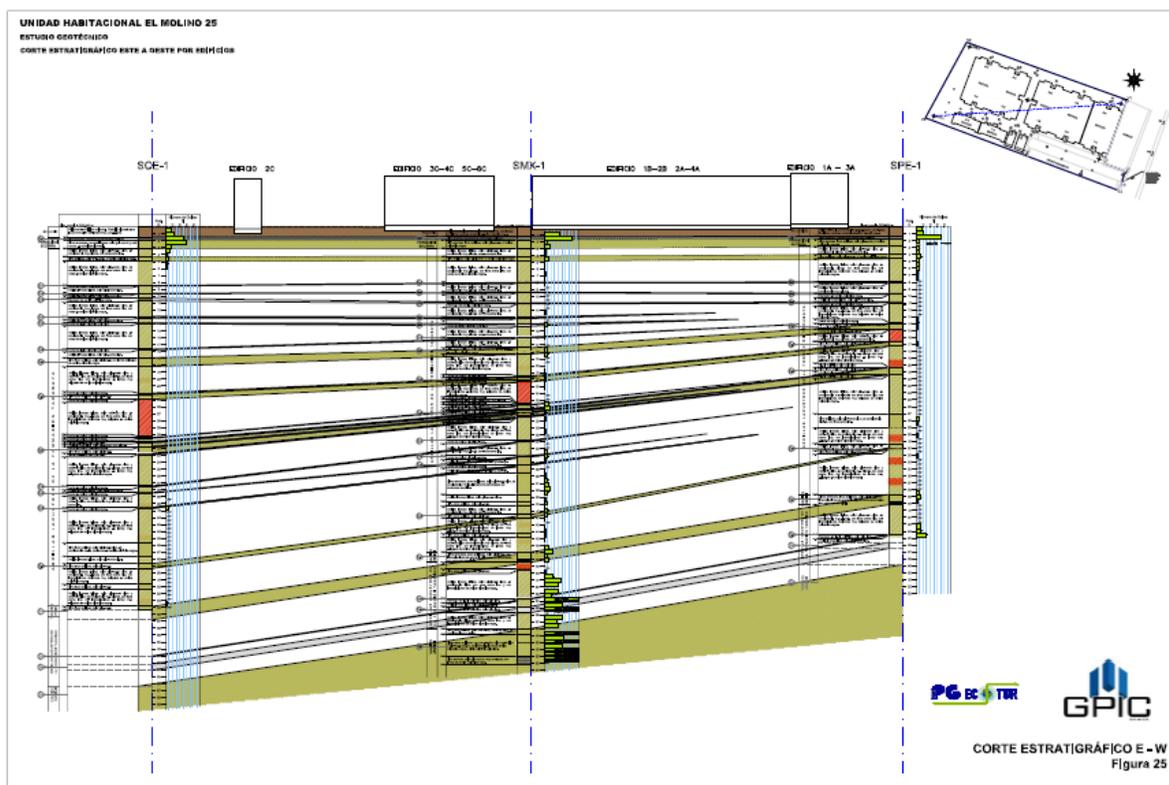


Figura F.1.1.2. Perfil estratigráfico Molino 25.

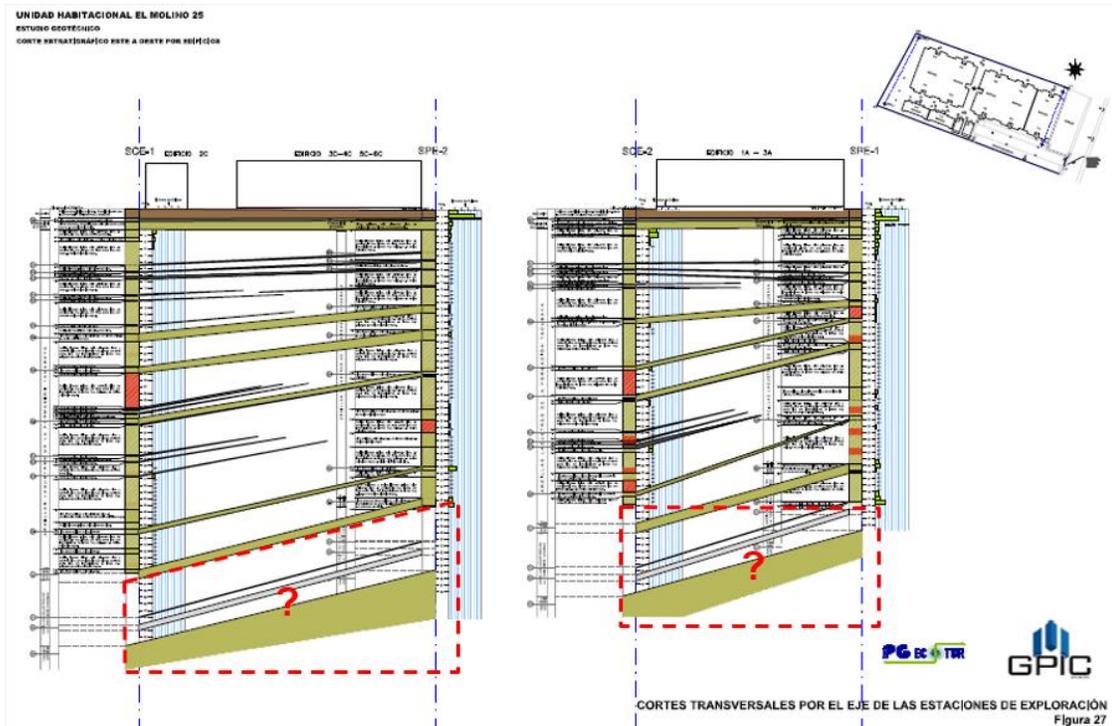


Figura F.1.1.3. Definición de la estratigrafía por debajo del nivel máximo de exploración.

El II-UNAM considera que, en los cortes geotécnicos queda la incertidumbre de saber cómo se definió la frontera de los DP, puesto que, únicamente en el sondeo SMX-1 se alcanzó la profundidad de los DP (Figura F.1.1.3).

Análisis Geotécnicos.

Respecto a los análisis geotécnicos en el informe se indica que se revisó la capacidad de carga superficial y se hizo un análisis de interacción suelo-estructura de la cimentación. No se presenta la revisión del estado límite de servicio.

El II-UNAM sugiere realizar la revisión de los estados límites de falla y de servicio conforme a las NTCDCC (GOBCDMX, 2017).

Proyecto de Rehabilitación.

A partir de los estudios realizados, la empresa ejecutora generó un Proyecto Geotécnico de Rehabilitación del Predio y sus Edificios con los siguientes alcances:

- A) Formación de una pantalla aisladora perimetral de 40 cm de ancho y 8.0 m de profundidad, de concreto reforzado en todo el perímetro del predio.
- B) Tratamiento de grietas en el suelo mediante inyección de lechada cemento-bentonita-agua por debajo del nivel freático y relleno de arena por encima del nivel freático.
- C) Recimentación para los 5 edificios.
- D) Renivelación por subexcavación para los edificios 1C y 2C.

El II-UNAM recomienda lo siguiente:

- a) Eliminar la pantalla perimetral que tendrá un costo muy elevado y una eficiencia muy dudosa.
- b) Adaptar el procedimiento constructivo de estabilización de grietas considerando arena como material de relleno, tal como se indica en la Nota Técnica G-09 “Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón” (II-UNAM. 2019). La arena puede colocarse mediante vibro-compactación, para ello, se sugiere realizar, previo a la construcción, pruebas de relleno con materiales no cohesivos (arena) para relleno de grietas u oquedades.
- c) Demostrar la necesidad del reforzamiento y ampliación de las cimentaciones. Este reforzamiento solamente podría justificarse en caso de que así lo requiriera el procedimiento de renivelación.
- d) Demostrar mediante un análisis estructural la necesidad de la renivelación de los edificios 1C y 2C, tomando en cuenta los desplomos actuales.

2. Investigación geofísica realizada.

La empresa ejecutora realizó un Estudio geofísico para definir la presencia de agrietamientos en el predio ubicado en Molino No.25, colonia La Planta, Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México con el objetivo de definir el comportamiento de las grietas a profundidad y sus zonas de afectación sobre el conjunto habitacional, así como sus implicaciones geotécnicas, empleando un Radar de Penetración Terrestre. Como resultado del estudio, el informe reporta una serie de anomalías hasta una profundidad de 24 m. Asimismo, en el informe se presenta un plano de agrietamiento elaborado mediante levantamiento topográfico, levantamiento fotográfico con apoyo de vuelos dron y con los resultados del levantamiento geofísico con georadar, por lo que en este mapa se presentan algunas grietas inferidas (Figura F.1.1.4).

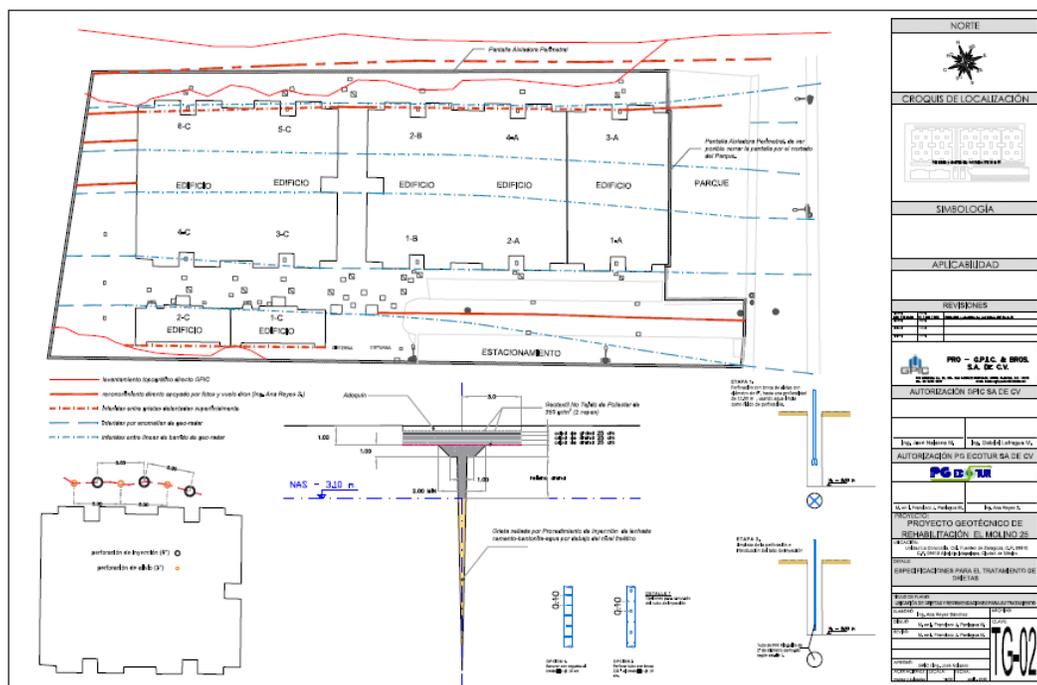


Figura F.1.1.4. Plano de grietas y especificaciones para el tratamiento de grietas, Molino 25.

El II-UNAM sugiere descartar los resultados obtenidos con el Radar de Penetración Terrestre (GPR). El georadar no penetra en el agua, por tanto, la profundidad máxima de exploración está limitada por el NAF. Deben reevaluarse totalmente los resultados obtenidos con el Georadar considerando estas limitaciones ante la presencia del NAF. En ningún caso debe procederse al tratamiento de grietas “inferidas” localizadas mediante esta técnica. No se justifica el tratamiento de grietas cuya existencia no está claramente establecida y que no han causado daños en las construcciones. Asimismo, sugiere retirar del plano de agrietamiento las grietas aproximadamente paralelas señaladas como “inferidas”.

3. Trabajos de Topografía.

En el informe de topografía falta agregar un texto que describa los trabajos (levantamientos realizados), la información generada y el proceso de generación de curvas de nivel. El plano topográfico que se presenta (Figura F.1.1.5) muestra líneas que aparentemente corresponden al método de interpolación empleado, interpolación lineal por triangulación. Simultáneamente, se trazan las curvas de nivel sin indicar su correspondiente elevación. Por lo cual, resulta difícil interpretar la configuración topográfica del terreno.

El II-UNAM solicita agregar un texto que describa los levantamientos topográficos realizados (metodología, mediciones y el proceso de generación de curvas de nivel) y modificar el plano topográfico que se presenta.

La revisión detallada del informe se comenta ampliamente en la Nota Técnica G-24 “Comentarios al informe del proyecto “Rehabilitación Unidad Habitacional Molino 25””.

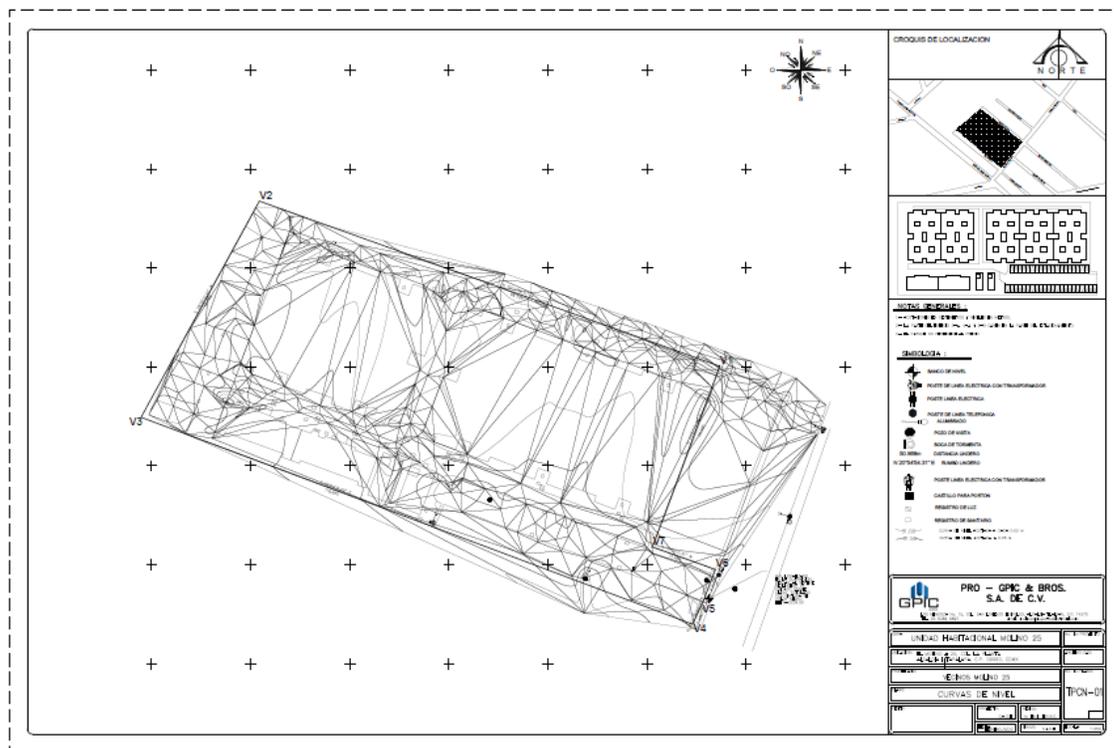


Figura F.1.1.5. Plano de curvas de nivel, Molino 25.

F.1.2 Molino 35

El predio se ubica en la calle Molino No. 35, col. La Planta, Alcaldía de Iztapalapa, en la Figura F.1.2.1. se indica la ubicación.

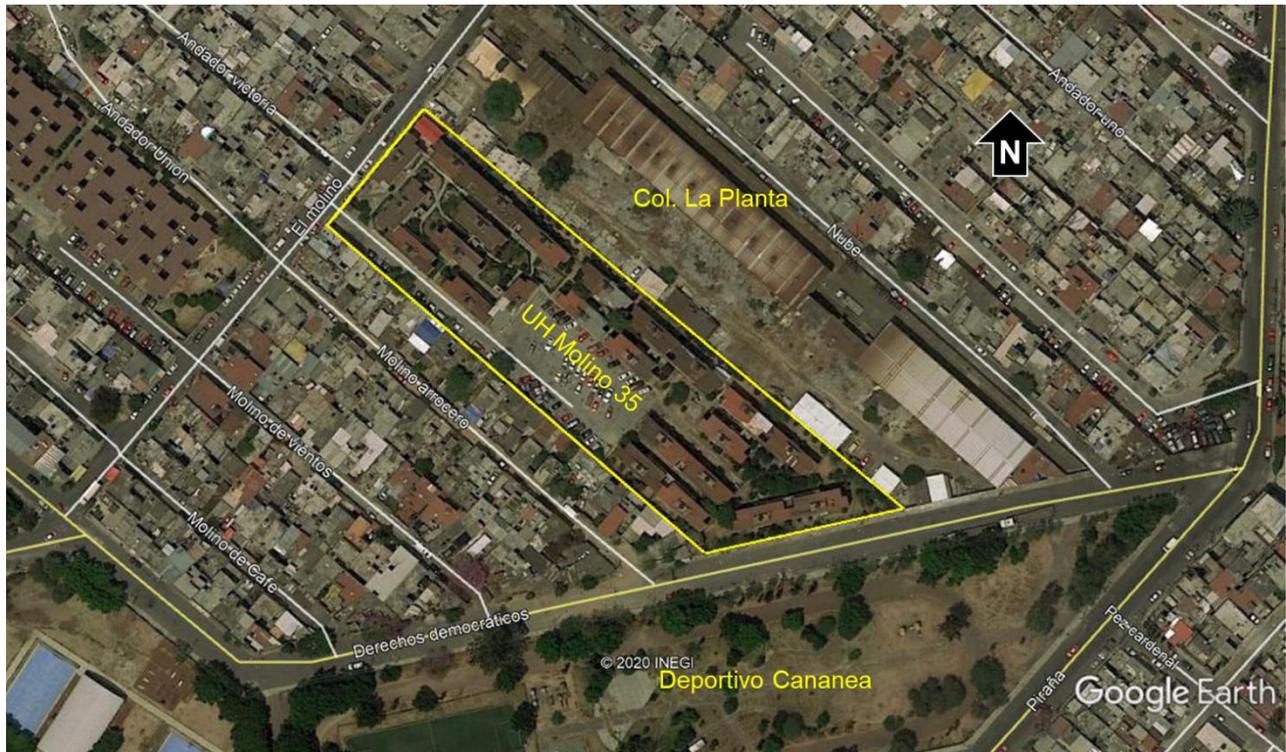


Figura F.1.2.1. Ubicación de la Unidad Habitacional “Molino 35”.

El informe final revisado está constituido por un conjunto de informes independientes, de los cuales, el II-UNAM enfocó sus comentarios principalmente a los informes de los trabajos de Geotecnia, Geofísica y Topografía.

El II-UNAM emitió comentarios para las diferentes secciones del informe como se describe a continuación:

1. Investigación geotécnica realizada.

En sus diferentes secciones, el informe contiene cierta información que no fue utilizada en el proyecto, eventualmente información obsoleta, este tipo de información puede generar confusión o incertidumbre sobre la información realmente empleada. Asimismo, existe información que se replica en diferentes partes del informe. Se sugiere hacer una revisión y corrección ortográfica de los textos.

De acuerdo con el informe, la empresa determinó los desplomos de los edificios, el estado actual de los edificios se describe en 24 reportes en los que se describe la ubicación al interior de la unidad, las características arquitectónicas y estructurales de los edificios. Respecto a las afectaciones inducidas por el sismo, en el informe se considera que fueron mínimas.

Al ser edificios tipo, la descripción es prácticamente la misma en los 24 reportes. El II-UNAM sugiere describir únicamente los daños e integrar una tabla o plano que concentre la magnitud y dirección de los desplomos de los edificios.

La cimentación actual es a base de una losa de cimentación de 20 cm de espesor cuenta con contra trabes de 70 cm de peralte y 20 cm de ancho.

Exploración geotécnica

La exploración geotécnica consistió en dos sondeos de cono eléctrico (SCE-1 y SCE-2) a 30m de profundidad, cinco sondeos mixtos a profundidades de 15m (SM-2), de 30m (SM-1, SM-3 y SM-4) y 45m (SM-5), así como un sondeo de avance continuo (SPT-6) a partir de 45m y hasta 79m de profundidad. Con los resultados de la exploración geotécnica se elaboró un corte longitudinal estratigráfico que muestra un comportamiento aproximadamente horizontal (Figura F.1.2.2).

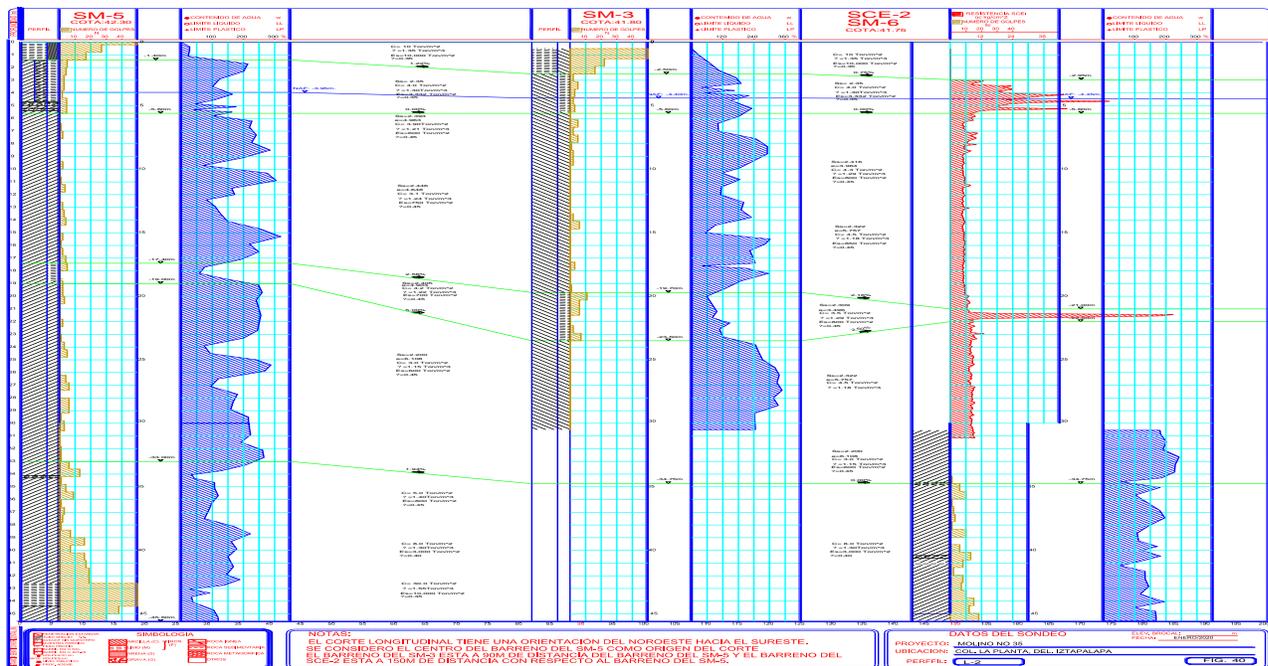


Figura F.1.2.2 Corte Longitudinal estratigráfico, Molino 35.

En el informe se indica que se realizaron pruebas índice, mecánicas y de deformación. Falta completar los resultados de las pruebas de laboratorio que se realizaron, de acuerdo con lo que se informa.

Análisis Geotécnicos

Respecto a los análisis geotécnicos de la cimentación actual se revisó el estado límite de falla en condiciones estáticas y dinámicas, definiendo capacidad de carga admisible de la cimentación y determinando los esfuerzos máximos que transmite la cimentación al suelo. Asimismo, se revisó el estado límite de servicio con apoyo de un dictamen topográfico y mediante un recorrido por la unidad. Encontrando que los edificios del módulo 3 y 4 presentan asentamientos diferenciales mayores a los permitidos.

En la Figura F.1.2.3 se indica una zona de estructuras con desplomos mayores a los permitidos por el Reglamento de Construcciones, la cual corresponde a la zona de grietas. Falta documentar o indicar la magnitud y dirección de los desplomos. Para justificar la renivelación, debe realizarse un análisis que demuestre que, en condiciones sísmicas (Combinación 2, no está garantizada la seguridad de la construcción debido al desplomo.

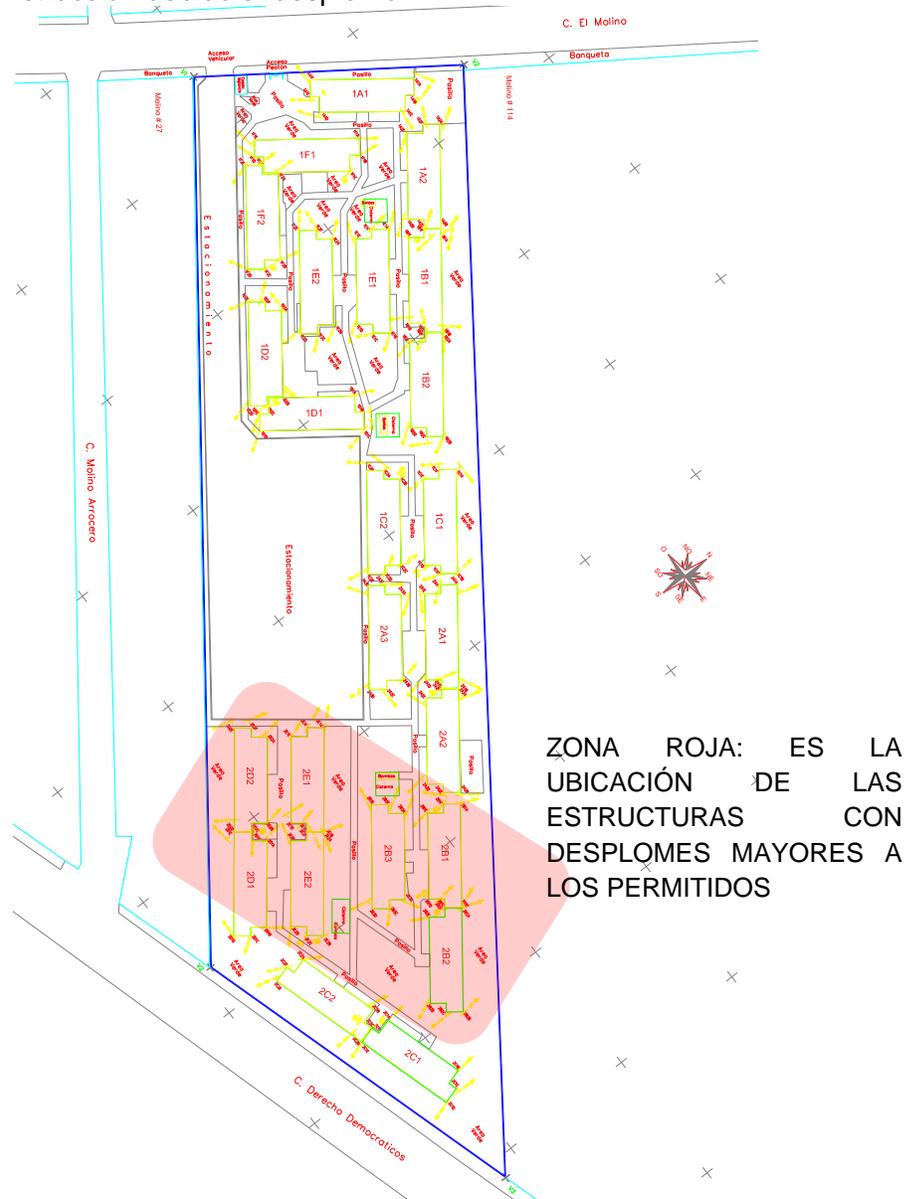


Figura F.1.2.3. Planta topográfica (desplomes).

Propuesta de Renivelación.

A partir de los estudios realizados, la empresa encargada generó una Propuesta de renivelación mediante gatos de hidráulicos distribuidos a lo largo de las contratrabes perimetrales. De acuerdo con la propuesta, los gatos hidráulicos se apoyarán sobre una zapata de concreto armado para generar menor presión al suelo. En la Figura F.1.2.4 se presenta un croquis con la ubicación propuesta de los gatos hidráulicos.

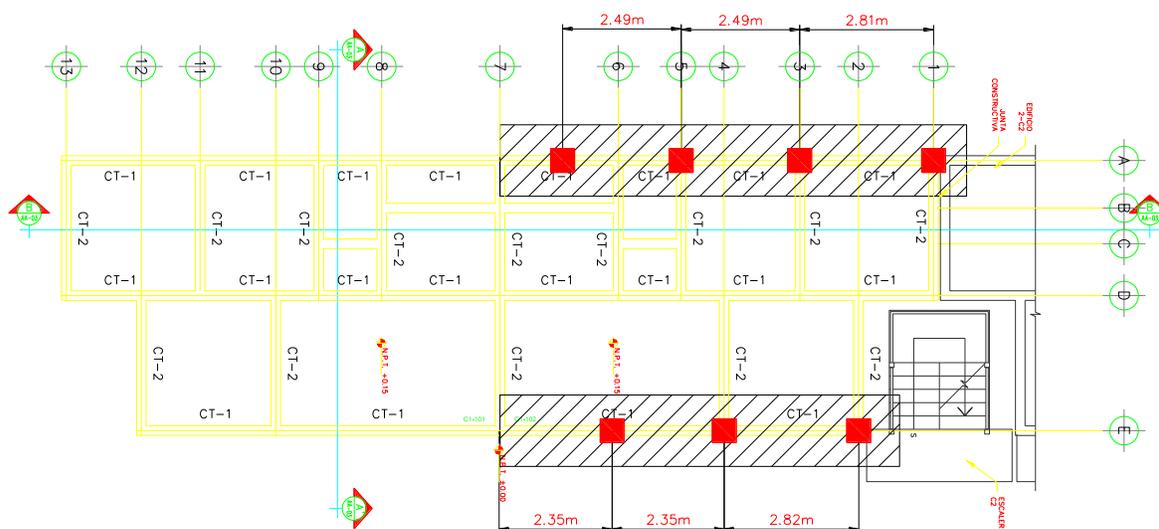


Figura F.1.2.4. Ubicación propuesta de los gatos hidráulicos.

Previo a los trabajos de rehabilitación, El II-UNAM recomienda lo siguiente:

- Justificar, mediante análisis analítico o numérico, la necesidad de renivelación de los edificios y el procedimiento propuesto. En caso de renivelación, debe asegurarse la estabilidad estructural de la cimentación y de los elementos estructurales del edificio, considerando un adecuado proceso constructivo.
- Evaluar otra alternativa de renivelación, que puede ser la técnica de subexcavación, esta técnica reduce el riesgo de provocar daños estructurales en la cimentación y en el edificio.
- Realizar la revisión de los estados límites de falla y de servicio conforme a las NTCDCC (GOBCDMX, 2017) considerando el reforzamiento de la cimentación propuesto y evaluar el costo-beneficio (estabilidad) a corto y largo plazo.
- Demostrar, mediante análisis analítico o numérico, la estabilidad de las estructuras y excavaciones durante el proceso constructivo.
- Adaptar los procesos constructivos a la técnica de renivelación y de rehabilitación de la cimentación que satisfagan las condiciones de estabilidad.
- Realizar, previo a la construcción, pruebas con materiales no cohesivos (arena) para relleno de grietas u oquedades.
- Implementar un sistema de monitoreo permanente para medir el movimiento de los edificios hasta alcanzar su verticalidad.

Tratamiento de grietas en el suelo.

La configuración lineal de las grietas, en la mayoría de los casos, corresponde a la trayectoria de las instalaciones hidráulicas y sanitarias, por tanto, puede tratarse de socavaciones inducidas por fugas de agua.

En el informe falta detallar el procedimiento de mitigación de grietas, tal como se indica en la Nota Técnica G-09 “Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón” (II-UNAM. 2019). La arena debe colocarse y compactarse mediante vibro compactación.

2. Investigación geofísica realizada.

El informe técnico indica la ejecución de un ensayo de campo Downhole y un ensayo de vibración ambiental, con la finalidad de determinar el perfil de velocidades de onda de corte (V_s) y el periodo natural de vibración de sitio de estudio, respectivamente.

Por otro lado, de acuerdo con el informe, se realizaron 4 líneas o tendidos de exploración con georadar. Como resultados del estudio, el informe reporta:

- Anomalías asociadas a fracturamiento en profundidad variable entre 3.0 y 13.5 m de profundidad.
- La caracterización del suelo dentro de la unidad el Molino # 35 con tres unidades litológicas: A de 0.0 a 1.20 m de profundidad, B de 1.20 a 5.5 m de profundidad y C de 5.5 a 20 m de profundidad.

Las técnicas geofísicas presentan graves limitaciones para la caracterización del suelo e identificación de grietas, por lo anterior es necesario reevaluar los resultados obtenidos con el Radar de Penetración Terrestre (GPR) considerando sus limitaciones ante la presencia del NAF. El georadar no penetra el agua, por tanto, la profundidad máxima de exploración está limitada por el NAF. La contribución de los resultados obtenidos con el Radar de Penetración Terrestre (GPR) no está clara, puesto que, dentro del predio se detectaron anticipadamente evidencias de las grietas existentes. En una presentación se indica que: “Las líneas de geo-radar no permiten correlacionar y ratificar la ubicación y características de las grietas tomadas con la tomografía eléctrica”.

3. Trabajos de Topografía.

En el informe se presentan plantas topográficas indicando los desplomes presentados por algunos edificios y una planta topográfica con las curvas de nivel al interior de la Unidad (Figura F.1.2.5), además de la planta y corte del plano estructural de la cimentación de los edificios existentes.

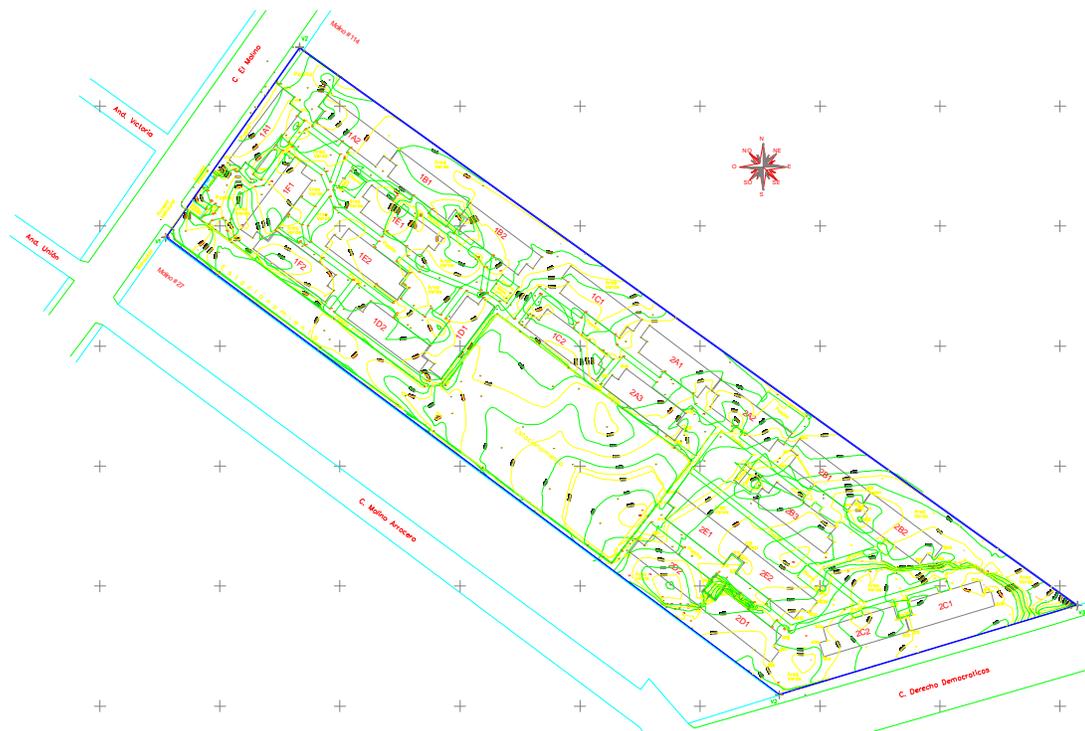


Figura F.1.2.5. Planta topográfica (curvas de nivel).

Las cotas están definidas como elevaciones topográficas locales, referidas a un banco de nivel superficial (flotante), con el propósito de medir los movimientos verticales y la evolución del hundimiento será necesario definir la elevación referida a un banco de nivel fijo a cargo del SACMEX.

La revisión detallada del informe se comenta ampliamente en la Nota Técnica G-25 *“Comentarios al informe del proyecto “Rehabilitación Unidad Habitacional Molino 35”*”.

F.1.3 Unidad Habitacional La Concordia Zaragoza

Como parte de los trabajos de Reconstrucción, se contempla la realización de trabajos de recimentación de algunos edificios con desplomos excesivos ubicados en la Unidad Habitacional “La Concordia Zaragoza” en Iztapalapa. Se están contemplando soluciones alternativas para la renivelación de los edificios por parte de dos empresas.

Para evaluar los méritos de cada solución, se ha solicitado la opinión del Instituto de Ingeniería de la UNAM (II-UNAM) en el marco de su colaboración al Comité de grietas de la Comisión para la Reconstrucción.

De acuerdo con la empresa No.1, la cimentación original de cada uno de los edificios consiste en un cajón de cimentación desplantado a una profundidad de 2m, que compensa parcialmente el peso total de su estructura (incluyendo su cimentación), en un porcentaje aproximado de 60%.

Algunos de los edificios ya fueron recimentados con pilotes de control, sin embargo, presentan desplomos. Para los edificios que no han sido recimentados todavía se proponen procedimientos de recimentación a base de subexcavación mediante perforaciones horizontales complementadas con pilotes cortos o de subexcavación por trinchera abierta y lastrado para recuperar la verticalidad de los edificios.

Respecto a los edificios que ya fueron recimentados con pilotes de control, se propone realizar pruebas para verificar si los pilotes quedaron apoyados en suelos firmes.

Por otro lado, la empresa No. 2 señala que los 27 edificios de la Unidad presentan inclinación. Ocho de ellos ya tienen pilotes de control y, por falta de mantenimiento, presentan inclinaciones que se pretende reducir a través de trabajos de mantenimiento programados en una próxima etapa. En cuanto a los 19 edificios restantes, se pretende recimentar y renivelarlos con pilotes de fricción con controles.

De acuerdo con los documentos presentados por ambas empresas, en cuanto a la Unidad Habitacional “La Concordia”, la discusión sobre los méritos de las dos soluciones parece haberse concentrado en la posibilidad, o no, de usar sistemas de control con pilotes de fricción

El II-UNAM elaboró la Nota Técnica G-26 *“Alternativas de recimentación, Unidad Habitacional “La Concordia Zaragoza”*”, en la que se presenta una evaluación resumida de las ventajas e inconvenientes respectivos de los pilotes de control y del procedimiento de subexcavación, a juicio de los autores de la citada nota. Se recomienda tomar muy en cuenta estos elementos en cualquier decisión que se tome.

F.1.4 Unidad Habitacional “El Parque”

El predio se ubica en la calle Piraña No. 12, col. La Planta, Alcaldía de Iztapalapa, en la Figura F.1.4.1 se indica la ubicación.



Figura F.1.4.1. Ubicación de la Unidad Habitacional “El Parque”.

De acuerdo con el informe “*Estudio del subsuelo*” en la Unidad Habitacional “El Parque”. La Unidad Habitacional El Parque, construida a principios de los años 90, cuenta con un área de 12 828.73 m² y una envolvente con dimensiones en planta de 268 m por 50 m. Originalmente, las 121 viviendas que componen la Unidad sólo contaban con planta baja, dispuesta en un área de aproximadamente 6 x 8 m, en un terreno de 6 x 10 m, con un pequeño jardín al frente y un patio al fondo. La estructura fue resuelta con muros de carga de mampostería ligera, losa de azotea de concreto reforzado y cimentación también con una losa, con dadas perimetrales, de concreto reforzado en ambos casos, de iguales dimensiones a la planta de la casa y que también funge como piso de la misma.

El subsuelo de la zona se encuentra fracturado, con evidencias de al menos dos grietas que corren perpendicularmente a la Unidad, en el sentido oeste – este, de origen previo al sismo del 19 de septiembre de 2017 y cuyos escalones aumentaron marcadamente durante este último, delimitando un minigraben que comprende a las casas 64 a 68 y 93 hasta 102. El minigraben se asentó alrededor de 40 cm durante el evento sísmico; en el estacionamiento, este desnivel fue parcialmente rellenado con tepetate para permitir la circulación de vehículos.

El II-UNAM emitió comentarios para las diferentes secciones del informe como se describe a continuación:

1. Levantamiento de daños en las casas de la UH El Parque.

La empresa ejecutora realizó un levantamiento de daños exteriores aparentes, indicando la inclinación de las viviendas y describiendo algunas recomendaciones (Figura F.1.4.2).

Casa	Fotografía de fachada	Daños exteriores aparentes	Inclinación (°)	Notas	Recomendaciones
1		Sin daños	-	En cerrada inaccesible junto con las casas 7 y 8	Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce.
2		Sin daños	-		Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce.
3		Sin daños	-		Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce.

Figura F.1.4.2. Fragmento del levantamiento de daños en las casas.

Por otro lado, de acuerdo con el Informe, muchas de las afectaciones estéticas y estructurales de las casas se deben a deficiencias de construcción y a la falta de diseño de la cimentación de las ampliaciones; defectos que quedaron en evidencia ante la aparición de los asentamientos diferenciales. En algunos casos, la adición de 2 o más niveles a una casa provocó el hundimiento de sus colindancias, produciendo afectaciones estructurales en los muros de las más ligeras. El mismo fenómeno ocurre con grupos de casas ampliadas cercanos a casas ligeras de un nivel. Cabe señalar que, es probable que estos daños hayan propiciado en un estudio previo la inferencia de la presencia de grietas en lugares donde no existen.

A partir de la información de daños indicados por la empresa ejecutora, el II-UNAM elaboró el mapa de la Figura F.1.4.3, con el propósito de identificar en forma general la distribución de daños dentro de la Unidad Habitacional, en este caso no se identificaron los daños al interior de los inmuebles. Asimismo, con base en los dictámenes Geo-estructurales, elaborados por parte de las brigadas de inspección, se elaboró otro mapa con la finalidad de conocer la distribución de daños detectados en campo (Figura F.1.4.4), en este caso si se identificaron los daños al interior de los inmuebles.

Comparando la distribución de daños levantados por la empresa ejecutora del estudio en revisión con la distribución de daños basados en los dictámenes, se observan diferencias importantes. Lo anterior conduce a sugerir que los daños aparentes identificados desde el exterior no pueden ser determinantes para sugerir recomendaciones de rehabilitación de manera adecuada. Lo mejor es basar las recomendaciones de rehabilitación con base en los dictámenes Geo-estructurales.

Asimismo, se sugiere realizar la revisión de las viviendas marcadas con los números 26, 91, 108, 109 y 114, y elaborar el correspondiente dictamen Geoestructural, debido a que se encuentran en la zona de viviendas afectadas.

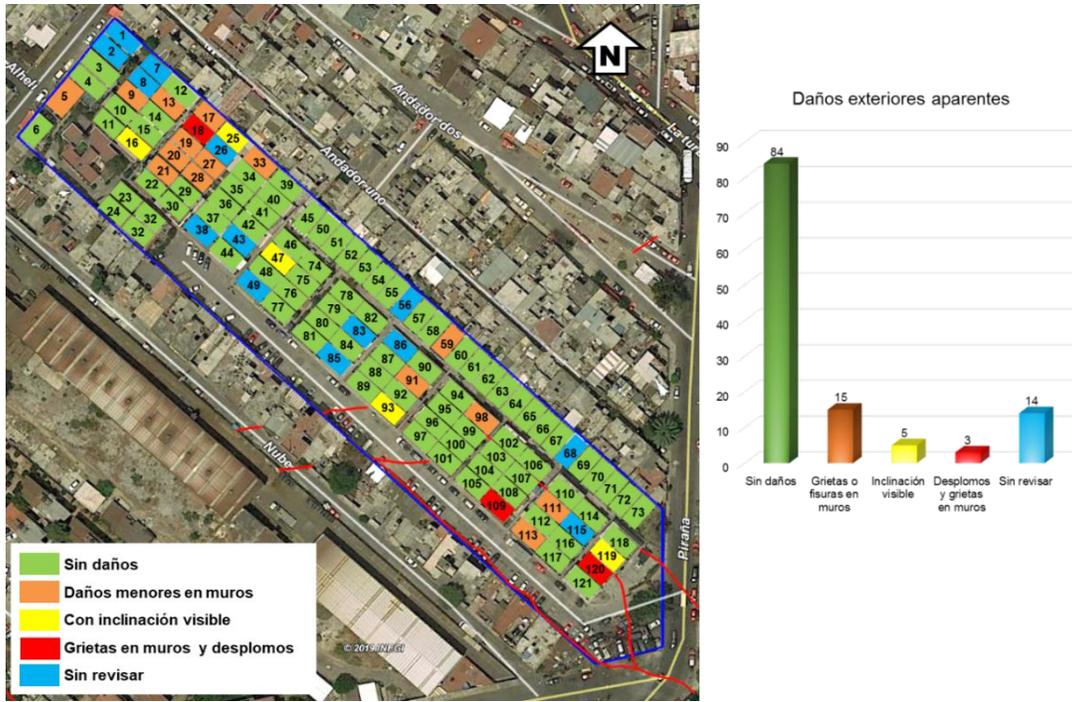


Figura F.1.4.3. Distribución de casas con daños aparentes, con base en inspección exterior, elaborada por el II-UNAM con base en la información del Anexo III (Referencia 1).

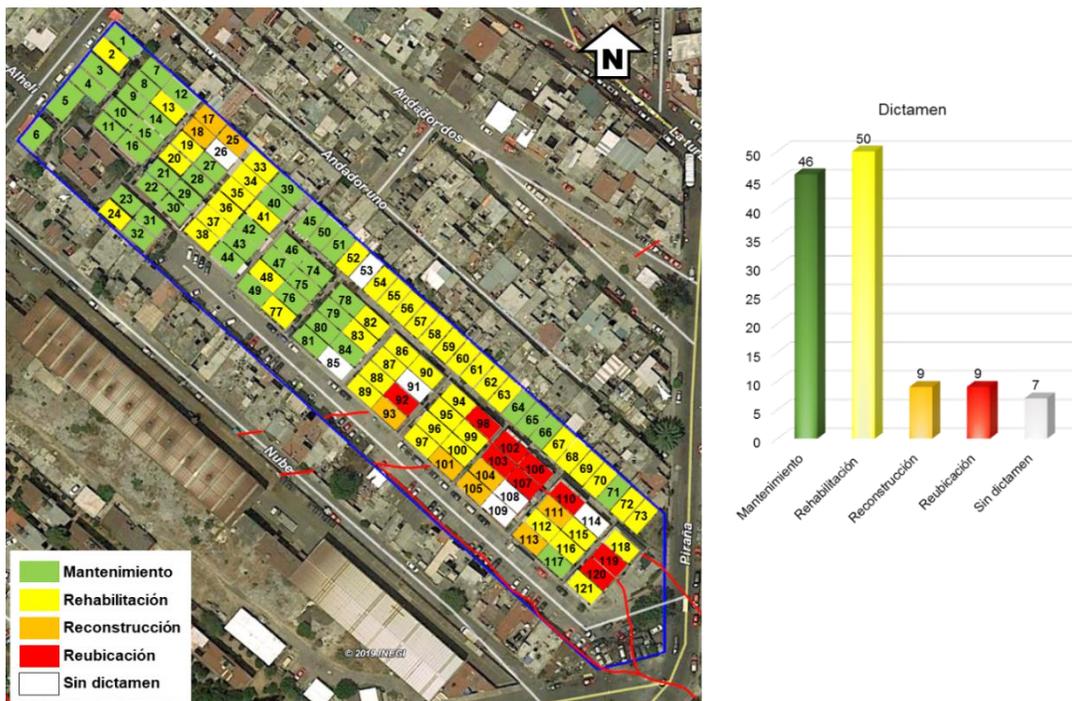


Figura F.1.4.4. Distribución de casas con daños exteriores e interiores, elaborada por el II-UNAM con base en los dictámenes Geoestructurales.

2. Investigación geotécnica realizada.

Exploración Geotécnica.

De acuerdo con el informe revisado, la exploración del subsuelo consistió en 3 sondeos mixtos selectivos, tres sondeos de cono eléctrico, de los cuales, un sondeo mixto alcanzó 46.2m y un sondeo de cono alcanzó 40.1m, el resto de los sondeos alcanzaron 15m, asimismo, se realizó un pozo a cielo abierto y tres calas en cimentación.

Por otro lado, la instrumentación consistió en tres piezómetros tipo Casagrande a 15.85, 30.55 y 36.55m de profundidad y un pozo de observación del nivel freático a 5m de profundidad.

Con los resultados de la exploración geotécnica la empresa ejecutora elaboró la sección estratigráfica que se muestra en la Figura F.1.4.5.

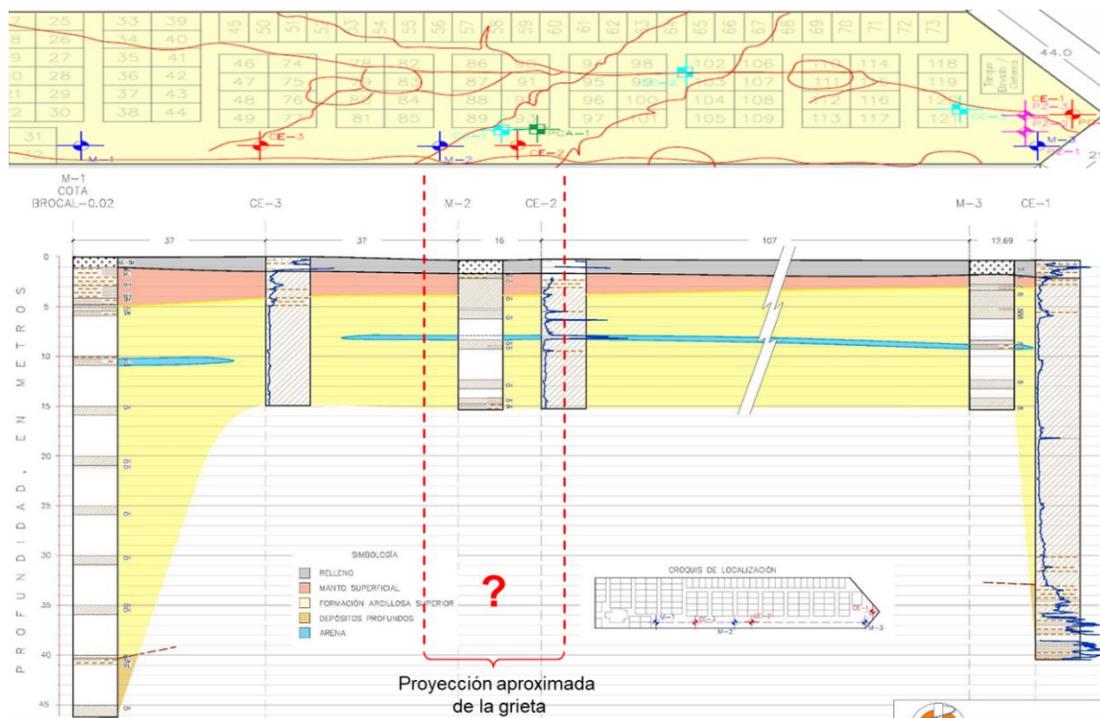


Figura F.1.4.5. Sección estratigráfica (adaptada de las Figuras 06 y 49 del informe revisado).

El II-UNAM considera que, de acuerdo con el problema que se estudia, los sondeos realizados son muy cortos, es necesario profundizar la exploración hasta alcanzar los Depósitos Profundos. Los sondeos mixtos se realizaron mediante la técnica SPT en los primeros 5m, posteriormente se realizó únicamente muestreo selectivo, a cada 5m aproximadamente, por lo que no es posible obtener un perfil continuo de contenido de agua, a lo largo de toda la profundidad explorada.

Por otro lado, los resultados de las pruebas índice están reportados en los perfiles de los sondeos, falta incluir las carátulas de las pruebas de laboratorio. Las pruebas de resistencia y de compresibilidad se realizaron aproximadamente a cada 5m de profundidad, se carece de un perfil continuo de contenido de agua que permita identificar adecuadamente si la información de los materiales muestreados es suficiente para definir un modelo geotécnico completo, a lo largo de toda la profundidad explorada.

Análisis Geotécnicos.

Respecto a los análisis geotécnicos de la cimentación actual en el informe se indica que se revisó el estado límite de falla en condiciones estáticas y dinámicas para viviendas de un nivel y con uno a tres niveles adicionales, así como del tanque elevado.

Asimismo, la empresa ejecutora revisó el estado límite de servicio a través de un modelo analítico que consideró el efecto de grupo debido a la posición de las viviendas dentro de la Unidad. En la Figura F.1.4.6 (Figura 56 del informe en revisión), se superponen los asentamientos calculados con el número de niveles de las casas para observar la manera directa en qué se relacionan ambos factores.

El II-UNAM considera que en el informe falta incluir el modelo geotécnico empleado para la revisión del estado límite de falla y estado límite de servicio, indicando la magnitud de los parámetros empleados en cada uno de los análisis.

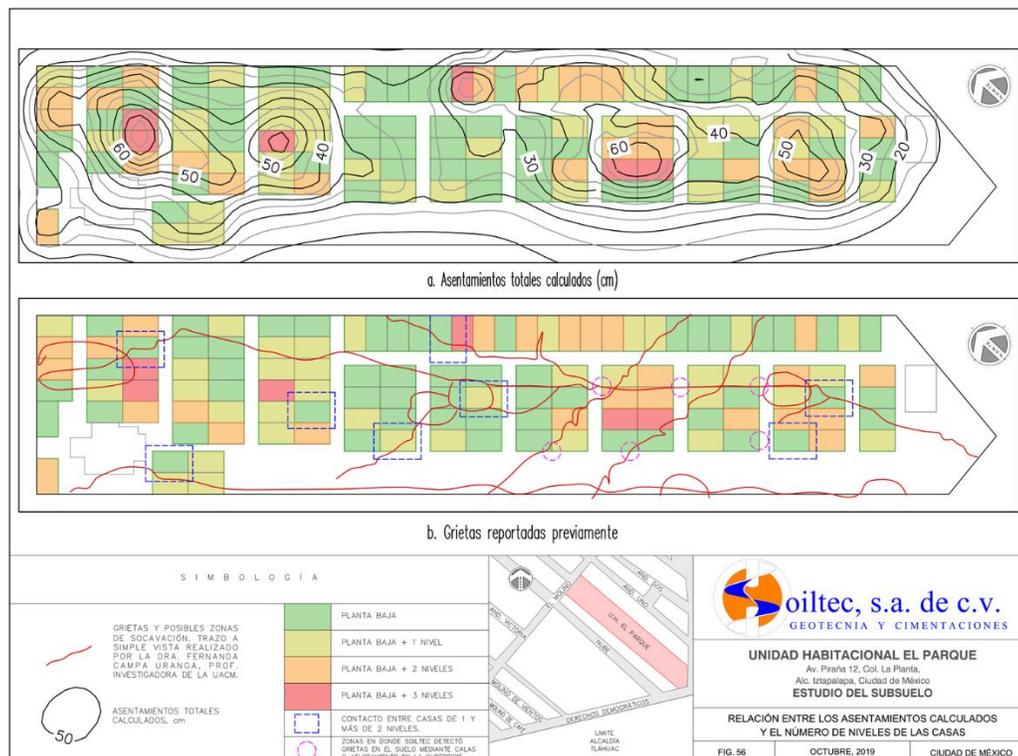


Figura F.1.4.6. Relación entre los asentamientos calculados y el número de niveles de las casas.

De acuerdo con la empresa ejecutora del estudio en revisión, se dice que *“Los mayores asentamientos diferenciales y agrietamientos en muros, corresponden a las casas de un nivel colindantes con las de 2 a 4 niveles”*.

De acuerdo con el II-UNAM, comparando la distribución de casas por número de niveles y los dictámenes geo-estructurales, se aprecia que las casas con mayores daños se concentran a lo largo de la trayectoria de las grietas previamente detectadas, asimismo, no existe una clara relación de las afectaciones con el número de niveles de las viviendas. Se sugiere implementar un sistema y programa de monitoreo de las grietas y de los asentamientos en las zonas más afectadas por hundimientos y por las grietas.

Es evidente que las viviendas donde se ha aumentado su número de niveles sin previa autorización, pueden presentar asentamientos locales importantes afectando a las que las circundan, por lo que, se sugiere que en la medida de lo posible se reduzca el número de niveles, o bien, adoptar alguna técnica de recimentación para reducir las afectaciones.

Estudios de campo para la detección de cavidades en el subsuelo

De acuerdo con el informe en revisión, la campaña de detección directa de cavidades consistió en 299 barrenos de 7.5 cm (2 15/16") de diámetro, hasta 5 m de profundidad, con una separación promedio de 3.5 m. Asimismo, para eliminar el riesgo que para la estabilidad de los inmuebles significa una cavidad en el subsuelo, se programó su rellenado por inyección de una mezcla plástica cementantes – bentonita – agua – aditivos, de consistencia y propiedades similares al suelo del lugar.

Por otro lado, en el mismo informe se concluye que, durante la barrenación para la detección de cavidades, no se presentaron pérdidas del aire comprimido y tampoco se registró el avance súbito de la sarta de perforación por peso propio, lo que implica ausencia de cavidades en el subsuelo de la Unidad.

El II-UNAM adaptó la Figura 14 del informe con el propósito de identificar las perforaciones con más de 10 m³ de mortero inyectado (Figura F.1.4.7), asimismo, las perforaciones que se pueden considerar como conectadas entre sí. En la Figura F.1.4.7, se observa que en los barrenos cercanos a las grietas no se inyectaron volúmenes considerables de lechada, en cambio, esto si se presentó en otros sitios alejados de las grietas. En la misma figura se aprecia que los barrenos con mayor volumen de inyección se alinean por tramos, a lo largo de algunos andadores, por lo que es posible considerar que las mayores oquedades corresponden con la trayectoria de las instalaciones hidráulicas y sanitarias.

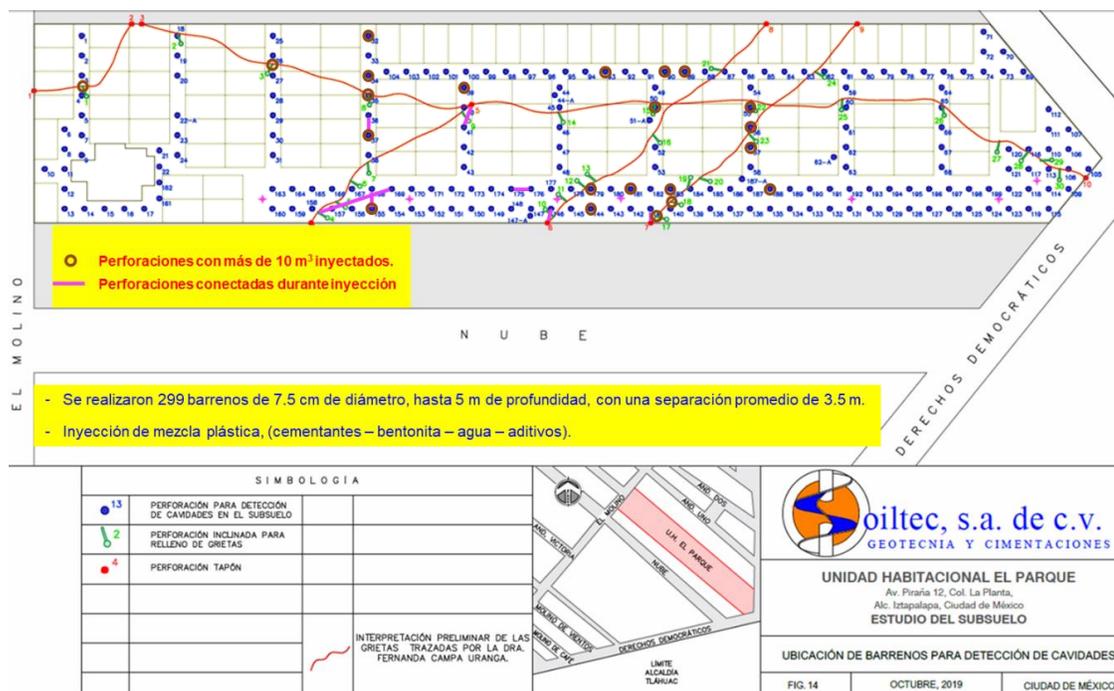


Figura F.1.4.7. Adaptada de la figura 14 del informe para identificación de barrenos con más de 10m³ de inyección.

En el informe se dice que no fue posible detectar cavidades en el subsuelo dentro de la Unidad Habitacional. Esta conclusión se contrapone con los sitios con volumen de inyección mayor a 10m^3 , que se encuentran alejados de la trayectoria de las grietas.

Asimismo, no es necesario restituir la continuidad del suelo. La lechada (cemento–bentonita–agua–aditivos) contribuye a la transmisión de esfuerzos de tensión en el suelo. Se sugiere rellenar las grietas con arena para eliminar la transmisión de esfuerzos de tensión. La lechada, al endurecer, puede propagar las grietas. Lo conveniente es considerar la arena como material de relleno de las grietas, tal como se indica en la Nota Técnica G-09 “Recomendaciones para la construcción de cajas de arena disipadoras de deformaciones para grietas con escalón” (II-UNAM. 2019).

3. Topografía.

En el informe se presenta un plano de niveles medidos que cubre la totalidad de la Unidad Habitacional.

En el informe, falta describir los trabajos de topografía realizados, indicando la técnica empleada, así como, las características del equipo utilizado.

La revisión detallada del informe se comenta ampliamente en la Nota Técnica G-29 “Comentarios al informe del proyecto “Rehabilitación Unidad Habitacional El Parque””.

F.1.5 Unidad Habitacional “Santa María Aztahuacán”

El Edificio C6 es parte de la Unidad Habitacional Santa María Aztahuacán (Figura F.1.5.1), ubicada en la Calzada Ermita Iztapalapa No. 3321, entre la calle Reforma a la Salud y la Avenida Palmitas, Alcaldía Iztapalapa, C.P. 09730, Ciudad de México.



Figura F.1.5.1. Ubicación del edificio C6, al interior de la Unidad Habitacional Santa María Aztahuacán.

De acuerdo con el informe en revisión, el inmueble está formado por dos cuerpos independientes de 5 niveles, cada uno con 4 departamentos por nivel (38 en total) y un cubo de escaleras, también independiente, la estructura de ambos cuerpos está resuelta con muros de carga de mampostería (tabique rojo Santa Julia), losas de vigueta-bovedilla y la cimentación consiste de un cajón de concreto, cuya profundidad de desplante se desconoce. En dicho documento se señala que “varios departamentos denotan la separación lineal entre viguetas y bovedillas”; también indica “la presencia de grietas de tensión en el suelo, con evidencia física (hundimientos, vados u oquedades en el asfalto) en las calles que rodean a la Unidad”.

Los daños que presenta el edificio consisten en grietas en diagonal en todos los niveles de algunos muros tanto exteriores como interiores, así como inclinaciones en los pisos, cuya dirección sigue la tendencia de las grietas, y hundimientos en la losa de entrepiso del último nivel del cuerpo 1 (Figura F.1.5.2).



Figura F.1.5.2. Fotografías que muestran evidencia de los daños.

Por otro lado, al hacer un recorrido de la zona se descartó la existencia de una grieta en el subsuelo, debido a que no se observó una continuidad de hundimientos y fisuras en la banquetta, guarnición o calle, ni en pisos o muros de las casas vecinas. Por lo tanto, es muy probable que el hundimiento y los daños de la barda se deban a consolidación causada por los cercanos árboles, o a la socavación hidráulica provocada por alguna fractura en el drenaje de la Avenida Insurgentes, donde se presenta un gran hundimiento. En el estacionamiento también se ubican otros hundimientos importantes o socavones, mismos que han sido rellenados con cascajo (Figura F.1.5.3).



Figura F.1.5.3. Fotografías que muestran los hundimientos en presentados en la barda perimetral y en el estacionamiento.

El II-UNAM propone:

- Recabar la información del edificio: planos y memorias de cálculo, particularmente los correspondientes a la cimentación. En caso de no existir planos, se sugiere excavar pozos a cielo abierto para conocer el tipo y profundidad de desplante de la cimentación.
- Realizar una revisión estructural de los edificios para determinar el reforzamiento de muros y elementos estructurales, con los lineamientos de las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones vigentes.

c) Realizar una inspección al interior de los cajones de cimentación para evaluar las condiciones de integridad y soporte de la cimentación, asimismo, detectar si existe presencia de grietas, desniveles, agua, etc.

d) Medir la magnitud y dirección de los desniveles y desplomos en los dos edificios para determinar si se exceden los límites de servicio, en tal caso, deberá elaborarse una propuesta técnica de renivelación que deberá ser evaluada y aprobada previo a su ejecución. Una alternativa que podría considerarse es la técnica de subexcavación.

e) Realizar una inspección de las instalaciones hidráulicas principales (agua potable y alcantarillado) con el fin de detectar la existencia de fugas que provoquen socavación.

f) En caso de confirmarse la existencia de grietas en el suelo la mitigación deberá realizarse con base en la metodología propuesta en la Nota Técnica G-9 (II-UNAM, 2019).

g) Se sugiere implementar un programa de instrumentación y monitoreo, basado en mediciones periódicas de nivelación y desplome para monitorear el hundimiento y su incidencia en los edificios.

La revisión detallada del informe se comenta ampliamente en la Nota Técnica G-30 “Comentarios al informe de inspección geotécnica de la Unidad Habitacional Santa María Aztahuacan”.

F.1.6 La Roqueta, Agrupamiento B17, Casa 06”

La edificación se ubica en el Andador 1 La Roqueta, Agrupamiento B17, Casa 06, Unidad Habitacional Ermita Zaragoza 2ª Sección, Alcaldía Iztapalapa. En la Figura F.1.6.1. se presenta la ubicación del predio.

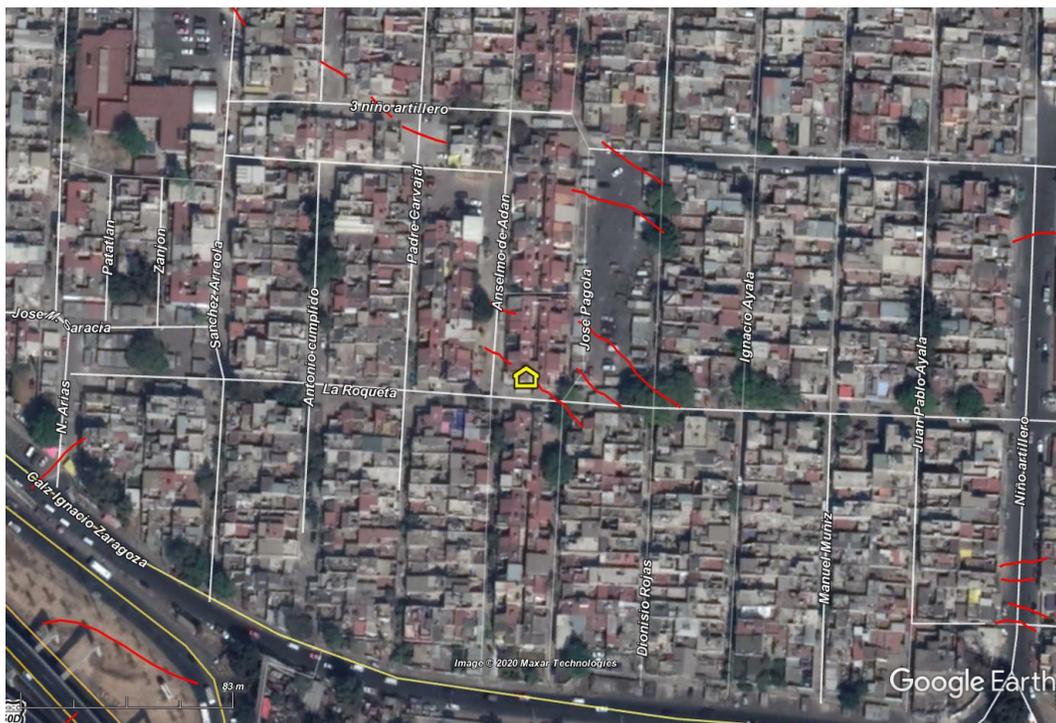


Figura F.1.6.1 Ubicación de la Edificación.

La revisión de este predio consistió en evaluar la información contenida en el dictamen Geo estructural emitido por una brigada de especialistas.

La revisión de la información disponible permite confirmar que la edificación sufrió daños considerables a raíz del sismo del 19 de septiembre de 2017, bajo el efecto directo del sismo y de los movimientos de ajuste del suelo agrietado. Asimismo, se confirma que la grieta que se observó en el sitio puede claramente clasificarse como de Nivel IV (Figura F.1.6.2).



Figura F.1.6.2. Grieta sobre el Andador Anselmo de Adán y daños en la vivienda.

Por lo anterior, el II-UNAM considera necesario sugerir al Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Distrito Federal y a la propia Comisión para la Reconstrucción del GOBCDMX que se reconsidere el dictamen emitido respecto a la Edificación ubicada en el Andador 1 La Roqueta, Agrupamiento B17, Casa 06, Unidad Habitacional Ermita Zaragoza 2ª Sección, Alcaldía Iztapalapa y que esta edificación se considere para REUBICACIÓN.

La revisión del dictamen se comenta ampliamente en la Nota Técnica G-28 “Revisión de una Edificación ubicada en el Andador 1 La Roqueta, Agrupamiento B17, Casa 06, Unidad Habitacional Ermita Zaragoza 2ª Sección, Alcaldía Iztapalapa”.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO G

**MODELADO DEL COMPORTAMIENTO DINÁMICO DEL SUELO EN
PRESENCIA DE GRIETAS**

En este anexo se muestran los resultados del cálculo de la respuesta dinámica del subsuelo calculados en superficie, por la propagación de onda de corte a partir de los depósitos profundos donde se considera la presencia de agrietamiento superficial y el espesor variable de la formación de arcilla.

G.1. Consideraciones del análisis

- El sitio de estudio se ubica al suroriente de la Ciudad de México, comprende la colonia Del Mar, Alcaldía de Tláhuac, sitio definido por los sondeos CPTu-02 y CPTu-03, ver Figura G.1. En el sitio del sondeo SM-02 se determinó un perfil de velocidad de onda de corte, mediante pruebas con sonda suspendida. Aunque el estudio es para un sitio específico, es representativo de las condiciones estratigráficas de la zona suroriente de la Ciudad de México, colonias La planta, Parque Cananea, Molino Tezonco; alcaldías Tláhuac e Iztapalapa, que presentan grietas en la superficie de varias calles.
- El análisis se realiza mediante un modelo numérico bidimensional de elemento finito con el programa de cómputo Plaxis 2D (Delf, 2017).
- Con base en el estudio previo (Auvinet *et al.*, 2019) donde se definen los mecanismos de generación de grietas desarrollados en la zona somera del terreno por efecto del hundimiento regional diferencial en combinación con el espesor variable de la formación de arcilla y con la explotación de agua potable de los acuíferos ubicados a más de 100 metros de profundidad; se define una discontinuidad en un modelo numérico bidimensional de elemento finito. La discontinuidad es modelada con una interfaz suelo-suelo que permite la separación normal y el deslizamiento tangencial.
- Con objeto de analizar las deformaciones plásticas en el subsuelo y deslizamiento en la interfaz (grieta), el modelo de comportamiento del suelo es elasto-plástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, donde el módulo de rigidez se actualiza o degrada por acción del sismo y la relación de amortiguamiento aumenta por la acción del mismo sismo, procedimiento lineal equivalente.
- Como marco de referencia para el cálculo de la respuesta ante sismo del subsuelo con grietas, el modelo de comportamiento del suelo es elástico lineal, donde el módulo de rigidez se actualiza o degrada por acción del sismo y la relación de amortiguamiento aumenta por la acción del mismo sismo, procedimiento lineal equivalente.
- Los sismos considerados para la propagación de onda de corte, que son aplicados en la base del modelo numérico, son dos: el correspondiente al 23 de junio de 2020 y al 19 de septiembre de 2017.

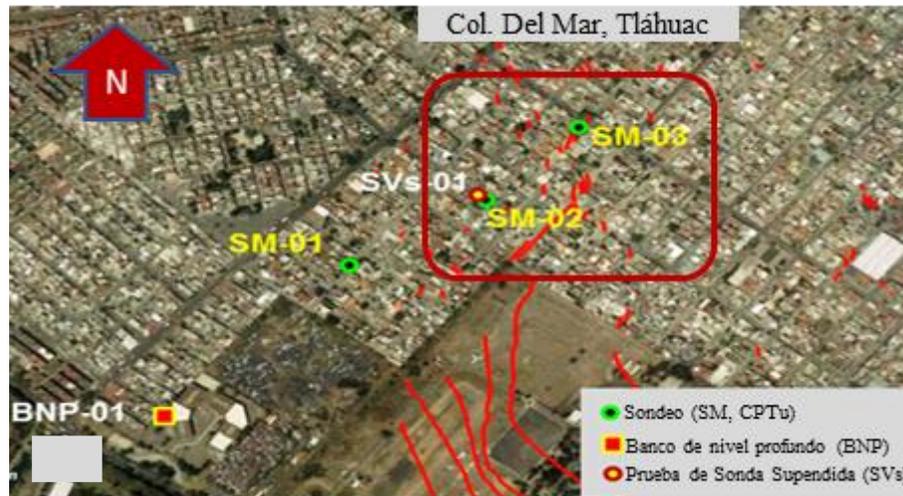


Figura G.1. Ubicación del sitio del análisis del comportamiento dinámico del subsuelo con presencia de grietas someras y ubicación de los sondeos exploratorios.

G.2. Estratigrafía y perfil de presión de poro

La estratigrafía del sitio de estudio es la típica de la zona de lago, aunque el espesor total de la formación de arcilla es variable, definida por:

- A) Costra superficial o rellenos constituidos por limo arenoso o arena limosa que presentan cohesión, con espesor variable de 2.0 a 3.0 m.
- B) Subyace, la formación de arcilla con intercalaciones de lentes de arena de 0.10 a 0.30 m de espesor. El espesor total de la formación de arcilla es variable de 56.0 a 90.0 m.
- C1) Bajo la arcilla se detectó, en los dos sondeos ubicados hacia el nororiente, a 56.0 m de profundidad, limo arenoso o arena limosa compacta (definidos como depósitos profundos) con espesor de 9.40 m.
- D) En los dos sondeos ubicados hacia el nororiente, bajo el depósito C1 subyace basalto fracturado.
- C2) En los dos sondeos ubicados hacia el sur-poniente, bajo la formación de arcilla (depósito B) se detectó a 90 m de profundidad, depósitos profundos con espesor explorado de 10.2 m.

La Figura G.2 muestra la interpretación del perfil estratigráfico, donde el frente de basalto es considerado quasi-vertical con espesor aproximado de 32.0 m, lo anterior es por considerar al concepto de enfriamiento rápido o súbito de una colada o derrame de basalto en presencia de agua. González-Torres *et al.*, (2015) indican que la geología local del suroriente del Valle de México presenta basalto y toba con horizontes intercalados.

Los perfiles de presión de poro medidos en el sitio de estudio, en pozos aledaños a los sondeos CPTu-02 y CPTu-03, se muestran en la Figura G.3. En el análisis de consolidación regional, el abatimiento piezométrico es a partir de la condición hidrostática y llega a los perfiles de presión de poro medidos; este análisis se realizó en Auvinet *et al.*, (2019) y con ello se definieron los mecanismos de generación de grietas en superficie y en la parte somera del depósito de arcilla.

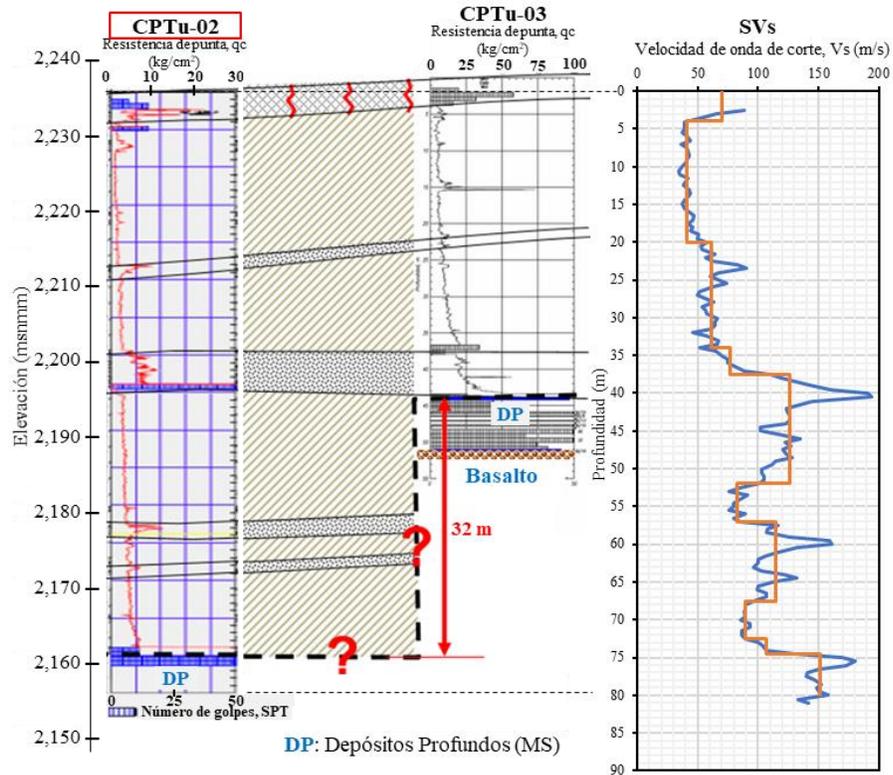


Figura G.2. Perfil estratigráfico del sitio de estudio.

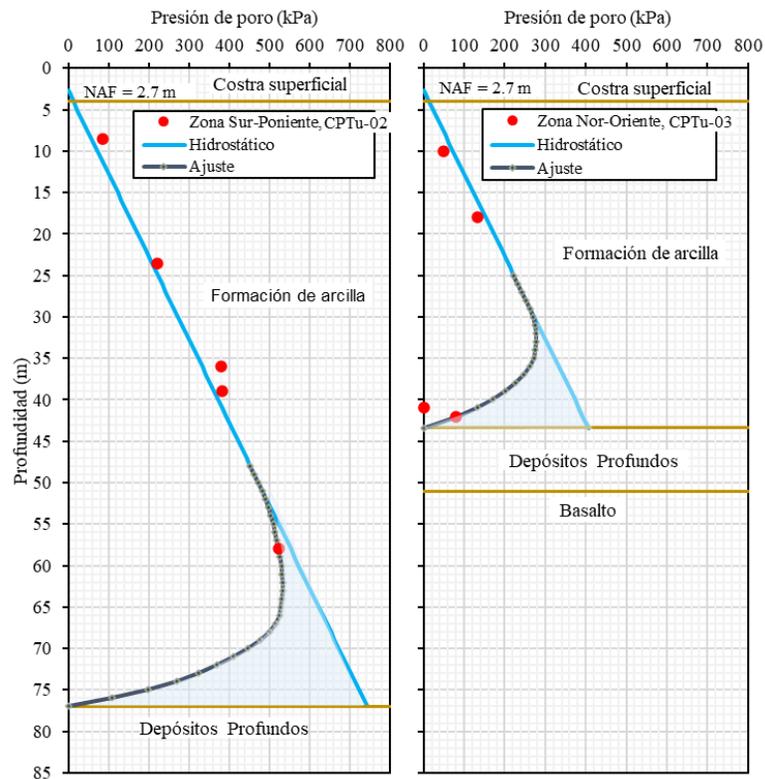


Figura G.3. Perfiles de presión de poro determinados en el sitio de estudio, sondeos CPTu-2 y CPTu-3.

G.3. Agrietamiento calculado

El análisis de los mecanismos de generación de grietas (Auvinet *et al.*, 2019) asociados al espesor variable de la formación de arcilla y a la consolidación regional generada por la extracción de agua potable de los acuíferos ubicados a más de 100 metros de profundidad; indica que la generación de grietas someras es debido a esfuerzos de corte en la formación de arcilla y a esfuerzos de tensión en los materiales compactados ubicados en la superficie, ver Figura G.4. La ubicación relativa del plano inclinado que forman los puntos de plastificación por esfuerzos de corte con respecto a la superficie y a la ubicación de los depósitos profundos que sobreyacen a basalto, indican la generación de una grieta. Esta discontinuidad somera llega a la superficie mediante la generación de esfuerzos de tensión en la costra superficial. Este plano indicado y su ubicación relativa es utilizada en el modelo numérico de elemento finito para calcular la respuesta sísmica en la superficie del terreno.

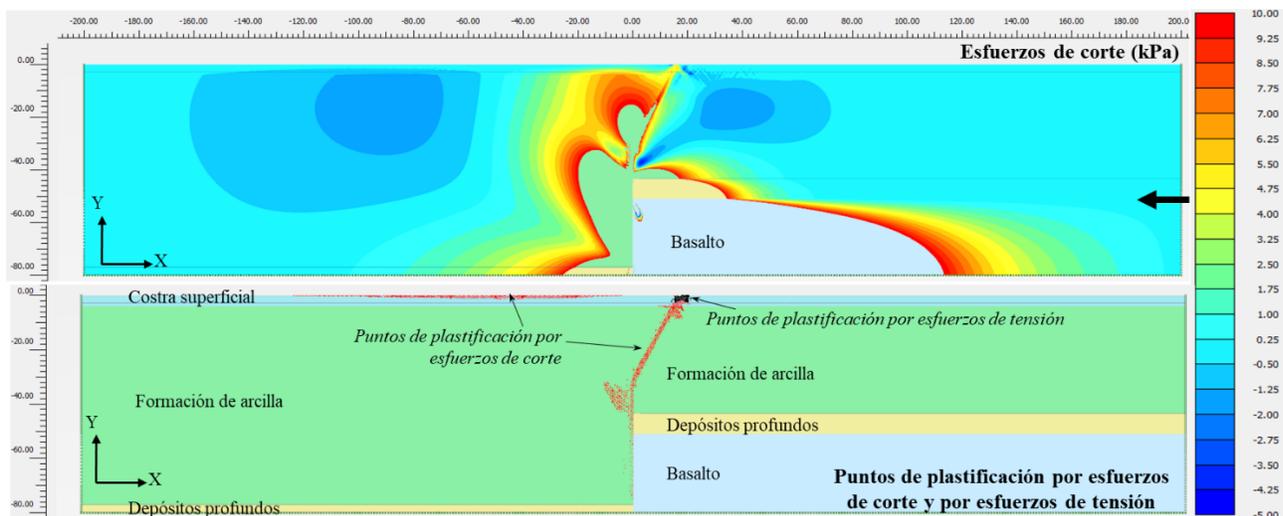


Figura G.4. Mecanismo de falla de agrietamiento, Auvinet *et al.*, 2019.

G.4. Parámetros dinámicos

La Figura G.2 muestra el perfil de velocidad de onda de corte (V_s) determinado con pruebas de sonda suspendida en el pozo del sondeo CPTu-02. Este perfil llega a 80 metros de profundidad y con base en él, se define el perfil de módulo de rigidez al corte máximo del sitio de estudio.

Mediante propagación unidimensional de onda de corte mediante el programa de cómputo Shake-91 (Idriss & Son, 1993), se determina el perfil de módulo de rigidez y de relación de amortiguamiento para el sitio de estudio y para cada uno de los sismos considerados. La Tabla G.1 muestra los parámetros del subsuelo utilizados en el análisis dinámico.



Tabla G.1. Parámetros del subsuelo.

Zonas -->	Zona con mayor espesor de arcilla											Zona con menor espesor de arcilla				
Modelo de comportamiento -->	Material elastoplástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, no-drenado										Material elástico lineal, no-		Material elastoplástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, no-drenado			
Parámetro / Identificador -->	A-CS	B1-CH	B2-CH	B3-CH	B4-CH	B5-CH	B6-CH	B7-CH	B8-CH	C DP	D Ba	A-CS	B1-CH	B2-CH	B3-CH	B4-CH
Parámetros dinámicos																
Peso volumétrico, γ kN/m ³	15.0	12.0	12.0	14.0	13.0	12.0	13.2	13.0	13.0	18.0	22.0	15.0	12.0	12.0	12.0	14.0
Velocidad de onda de corte, V_s m/s	69.8	42.7	57.5	149.4	110.2	79.0	114.9	95.8	106.3	150.1	250.0	69.6	40.1	60.6	76.7	126.5
Velocidad de onda de compresión, V_p m/s	701.5	429.1	577.9	1,501.0	1,107.0	793.9	1,155.0	962.8	1,068.0	1,508.0	2,512.0	699.5	403.0	609.0	770.8	1,271.0
Módulo de rigidez al corte, G kN/m ²	7,450	2,230	4,044	31,850	16,090	7,634	17,760	12,160	14,970	41,340	140,200	7,407	1,967	4,492	7,196	22,840
Módulo de deformación, E kN/m ²	22,270	6,669	12,090	95,240	48,120	22,830	53,110	36,360	44,770	123,600	419,100	22,150	5,881	13,430	21,520	68,280
Relación de Poisson, ν ---	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495	0.495
Coefficiente α de Rayleigh ---	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0150	0.0150	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956	0.0956
Coefficiente β de Rayleigh ---	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
Parámetros de resistencia																
Cohesión, c_u kN/m ²	25.0	24.0	60.0	98.0	107.0	154.0	169.0	203.0	220.0	---	---	25.0	24.0	60.0	98.0	107.0
Ángulo de fricción interna, ϕ_u grados	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	---	---	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Resistencia a la tensión, R_T kN/m ²	5.0	6.0	15.0	20.0	22.0	31.0	34.0	41.0	44.0	---	---	5.0	6.0	15.0	20.0	22.0
Parámetros de la interfaz																
R_{inter} ---	0.80	0.80	0.80	0.80	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	1.0	1.0	0.80	0.80	0.80	0.80	0.40
Considera cierre de interfaz ---	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	Si
Espesor interfaz ---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Coefficiente de presión de tierra en reposo,																
K_0 ---	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.54	0.43	0.43	0.54	0.54	0.54	0.54

G.5. Aceleración medida en superficie en sitios cercanos al sitio de estudio

La Figura G.5 muestra que la estación de medición sísmica CU80 del Centro de Instrumentación y Registro Sísmico, AC, (CIRES) es la estación más cercana al sitio de estudio, este último indicado por un círculo de color rojo transparente, cercano al cruce de las calles Pintapan y Piraña. Para los sismos del 23 de junio de 2020 con magnitud de 7.5 y para el sismo del 19 de septiembre de 2017 con magnitud de 7.1, respectivamente, las aceleraciones máximas medidas en superficie son de 0.050 g y de 0.168 g (fuente <http://www.cires.org.mx/>), donde g es la aceleración de la gravedad. Ambas aceleraciones máximas son una medida directa de las fuerzas inerciales inducidas en la superficie del terreno por cada sismo, la relación entre ambas aceleraciones máximas es de 3.36.

Adicionalmente, ambos mapas de la Figura G.5 muestran la variación de la aceleración máxima en la zona de lago, marcado con gris oscuro, en las cercanías del sitio de estudio.

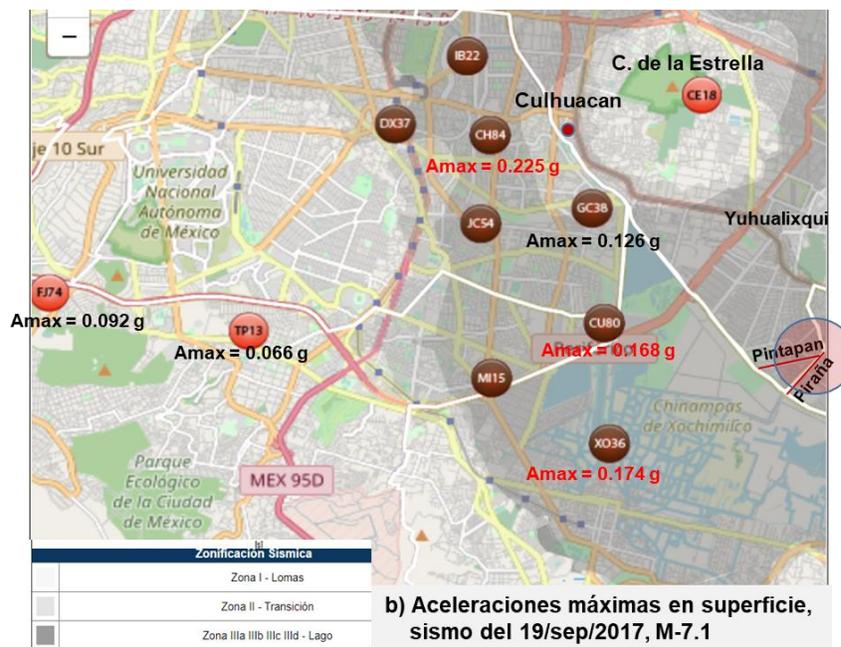
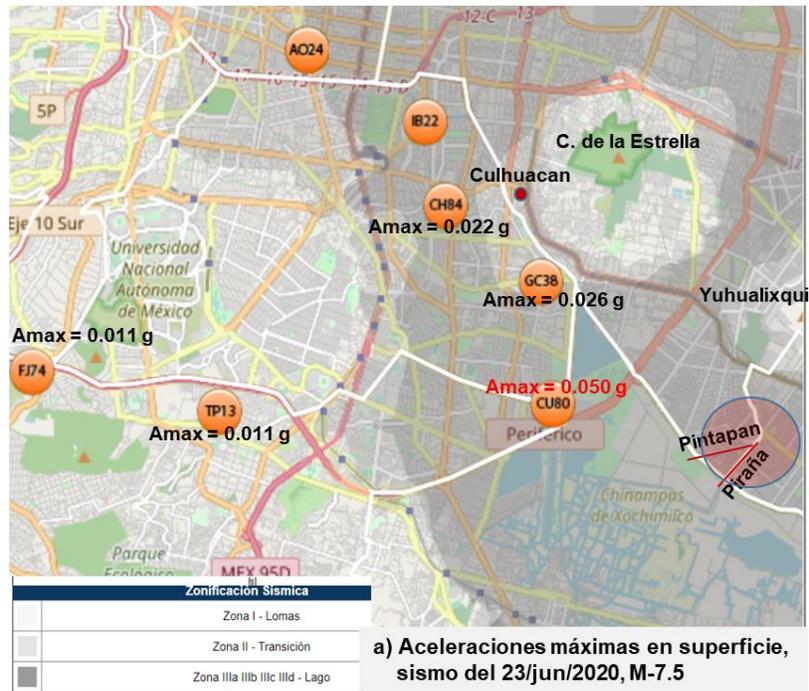


Figura G.5. Aceleraciones máximas medidas en superficie, fuente <http://www.cires.org.mx/>.

G.6. Sismos considerados

Los sismos considerados en el análisis son los ocurridos el 23 de junio de 2020 con magnitud de 7.5 y el sismo del 19 de septiembre de 2017 con magnitud de 7.1, con las siguientes características:

- El sismo del 23/jun/2020 fue obtenido de la estación Fundación Javier Barros Sierra (FJ74) ubicada en superficie en roca cerca de Ciudad Universitaria, ver Figura G.5-a. El sismo medido y su correspondiente espectro de respuesta se muestran en la Figura G.6-a. Este sismo fue aplicado en

la base del modelo numérico, depósitos profundos y basalto, previa deconvolución. La aceleración máxima del sismo es de 0.01 g. El periodo principal de oscilación de este sismo es de 0.76 segundos y la amplificación es a 0.042 g.

- El sismo del 19/sep/2017 fue estimado con el programa de cómputo Prodisis V4.1 (CFE, 2017), para el sitio de estudio y para periodo de retorno de 475 años. El sismo es calculado (sintético) con el mismo programa Prodisis V4.1 a partir del espectro de peligro uniforme, ver Figura G.6-b. Este sismo fue aplicado de forma directa en la base del modelo numérico. La aceleración máxima del sismo es de 0.11 g. El periodo principal de oscilación de este sismo es de 0.15 segundos y la amplificación es a 0.373 g.

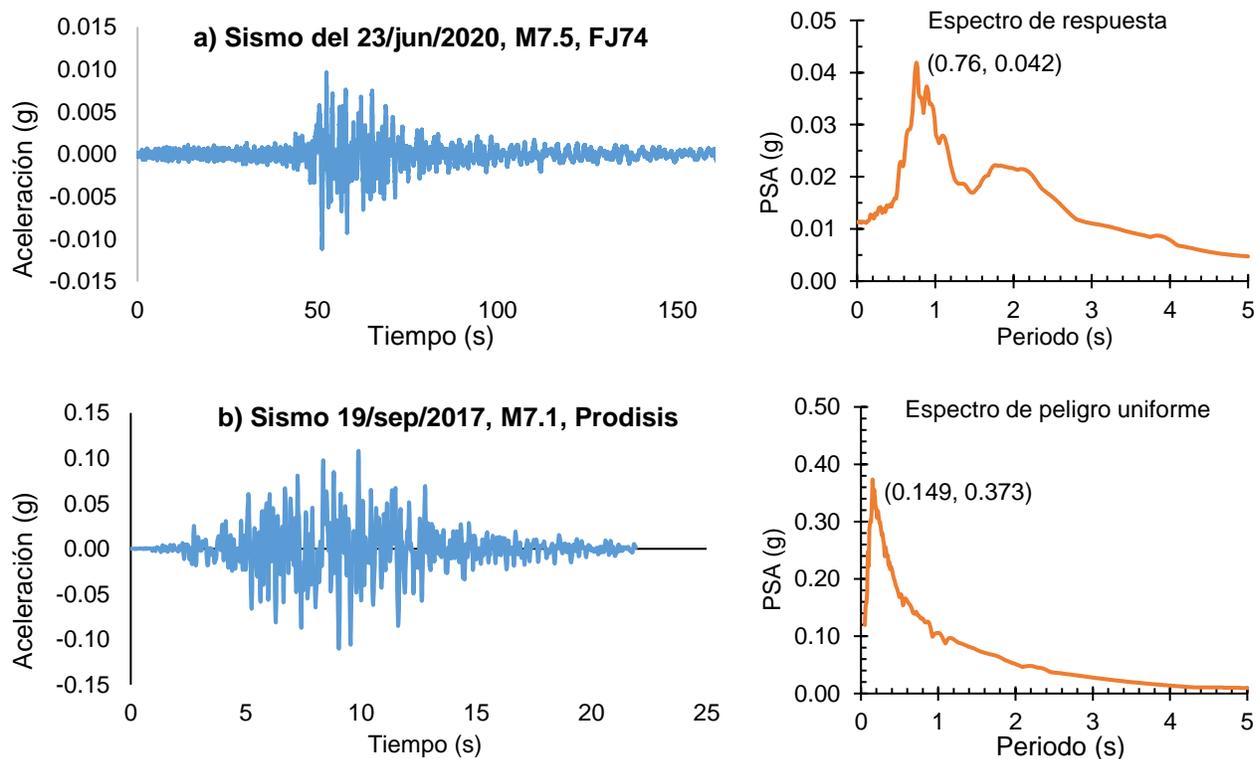


Figura G.6. Aceleraciones máximas medidas en superficie, fuente <http://www.cires.org.mx/>.

G.7. Modelado de la propagación de onda de corte

El análisis se realiza mediante un modelo numérico bidimensional de elemento finito, Figura G.7, con el programa de cómputo Plaxis 2D (Delf, 2020). En el modelo se considera la estratigrafía, la interfaz suelo-suelo y fronteras laterales disipadoras de energía con objeto de evitar el rebote lateral de las ondas de corte. La Figura G.7 muestra el esquema de aplicar el sismo en la base del modelo, su propagación y algunos puntos de cálculo de la respuesta dinámica en la superficie del terreno.

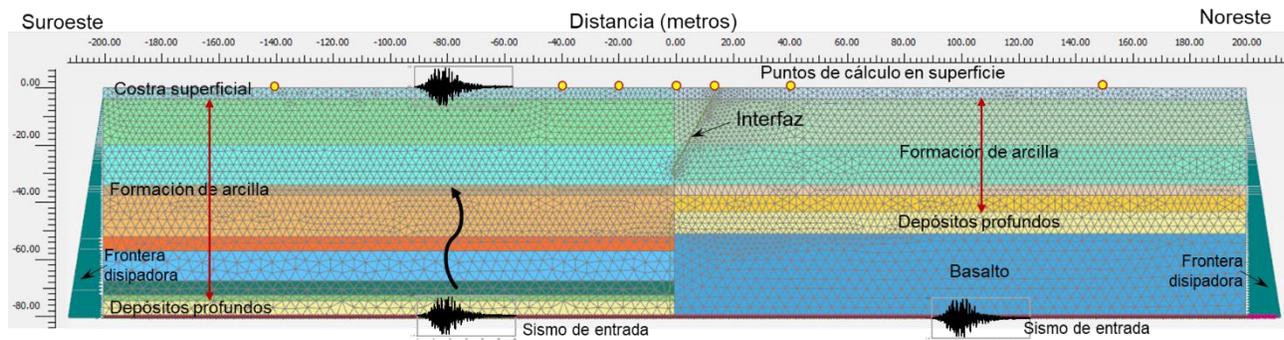


Figura G.7. Modelo numérico de elemento finito.

G.8. El procedimiento de análisis tiene las siguientes etapas:

1. Cálculo del estado de esfuerzos geo-estático, que incluye la estratigrafía, los perfiles piezométricos actuales, Figura G.3, y la discontinuidad modelada con interfaz, así como el coeficiente de presión de tierras en reposo indicado en la Tabla G.1.
2. Cálculo del estado de esfuerzos y deformaciones generados por el abatimiento piezométrico a partir de la condición hidrostática para llegar a las mediciones actuales, ver Figura G.3.
3. Aplicación del sismo en la base del modelo numérico, ver Figura G.7, para un mismo sismo la propagación ocurre en ambas zonas con diferente espesor de arcilla. En este paso, se calcula la respuesta sísmica en varios puntos de la superficie del subsuelo.

G.9. Resultados para el sismo del 23/jun/2020

La propagación bidimensional mediante el modelo numérico de elemento finito y considerando en el análisis un modelo de comportamiento elastoplástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, para la formación de arcilla, la superficie del terreno responde de la siguiente manera:

- La Figura G.8 muestra, de abajo-arriba, la ubicación de los puntos de control ubicados en la superficie del terreno donde se calcula la respuesta sísmica; la gráfica de enmedio indica la aceleración máxima de la respuesta calculada de cada uno de los puntos de control superficiales; y las gráficas de arriba muestran los espectros de respuesta de los puntos de cálculo de la respuesta en superficie.

- En cuanto a las aceleraciones máximas calculadas, en la zona cercana a la discontinuidad estas aceleraciones muestran un incremento significativo respecto a las calculadas en los sitios alejados de la discontinuidad. Comparativamente, la aceleración máxima-máxima es de 0.074 g respecto a 0.038 g en la zona con mayor espesor de la formación de arcilla y de 0.030 g en la zona con menor espesor de la formación de arcilla; es decir, la relación de aceleraciones máximas es de 1.95 veces y de 2.47 veces, respectivamente. Además, como marco de referencia, la aceleración máxima medida en la estación CU80, sitio cercano al sitio de estudio (Figura G.5), es de 0.050 g.

- Los espectros de respuesta indican que:

En la zona con mayor espesor de la formación de arcilla, el periodo natural (T_s) es de 0.89 segundos con un segundo modo con periodo de 0.74 segundos y en la zona con menor espesor de la formación de arcilla, $T_s = 0.70$ segundos.

En el terreno cercano a la discontinuidad, el periodo natural es de 0.76 segundos; sin embargo, es evidente que se activan otros modos de vibrar en el periodo de 0.20 a 0.40 segundos.

La amplificación de la zona cercana a la discontinuidad es mayor, respecto a los sitios alejados de la discontinuidad:

En la zona con la presencia de la discontinuidad, la amplificación llega a 0.25g.
 En la zona con mayor espesor de la formación de arcilla, la amplificación llega a 0.18g,
 En la zona con menor espesor de la formación de arcilla, la amplificación llega a 0.15g,
 Por lo que la relación entre amplificaciones (zona con discontinuidad / zona sin discontinuidad) es de 1.39 y 1.67, para la zona con mayor espesor de la formación de arcilla y para la zona con menor espesor de la formación de arcilla, respectivamente.

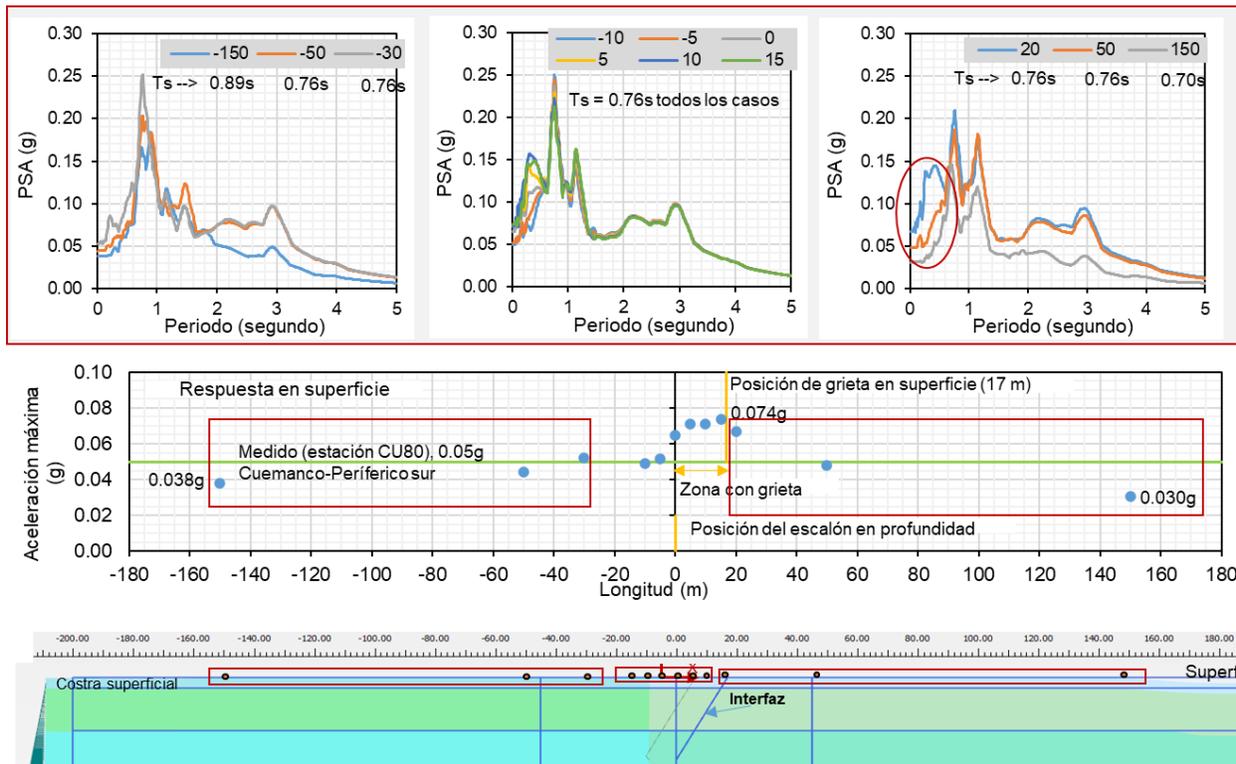


Figura G.8. Respuesta sísmica en superficie para el sismo del 23/jun/2020.

G.10. Resultados para el sismo del 19/sep/2017

La propagación bidimensional mediante el modelo numérico de elemento finito y considerando en el análisis un modelo de comportamiento elastoplástico con criterio de falla Mohr-Coulomb, para la formación de arcilla, la superficie del terreno responde de la siguiente manera:

- La Figura G.9 muestra, de abajo-arriba, la ubicación de los puntos de control ubicados en la superficie del terreno donde se calcula la respuesta sísmica; la gráfica de en medio indica la aceleración máxima de la respuesta calculada de cada uno de los puntos de control superficiales; y las gráficas de arriba muestran los espectros de respuesta de los puntos de cálculo de la respuesta en superficie.

- En cuanto a las aceleraciones máximas calculadas, en la zona cercana a la discontinuidad estas aceleraciones muestran un incremento significativo respecto a las calculadas en los sitios alejados de la discontinuidad. Comparativamente, la aceleración máxima-máxima es de 0.274 g respecto a 0.176 g en la zona con mayor espesor de la formación de arcilla y de 0.225 g en la zona con menor espesor de la formación de arcilla; es decir, el incremento es de 1.56 veces y de 1.22 veces, respectivamente. Además, como marco de referencia, la aceleración máxima medida en la estación CU80, sitio cercano al sitio de estudio (Figura G.5), es de 0.168 g.

- Los espectros de respuesta indican que:

En la zona con mayor espesor de la formación de arcilla, el periodo natural (T_s) es de 0.69 segundos y en la zona con menor espesor de la formación de arcilla, $T_s = 0.70$ segundos.

En el terreno en la cercanía de la discontinuidad, el periodo natural es de 0.71 segundos; sin embargo, es evidente que se activa otros modos de vibrar en los periodos de 0.20 a 0.40 segundos. La amplificación de la zona cercana a la discontinuidad es mayor, respecto a los sitios alejados de la discontinuidad:

En la zona con la presencia de la discontinuidad, la amplificación llega a 1.12g.

En la zona con mayor espesor de la formación de arcilla, la amplificación llega a 0.57g,

En la zona con menor espesor de la formación de arcilla, la amplificación llega a 0.80g,

Por lo que la relación entre amplificaciones (zona con discontinuidad / zona sin discontinuidad) es de 1.96 y 1.40, para la zona con mayor espesor de la formación de arcilla y para la zona con menor espesor de la formación de arcilla, respectivamente.

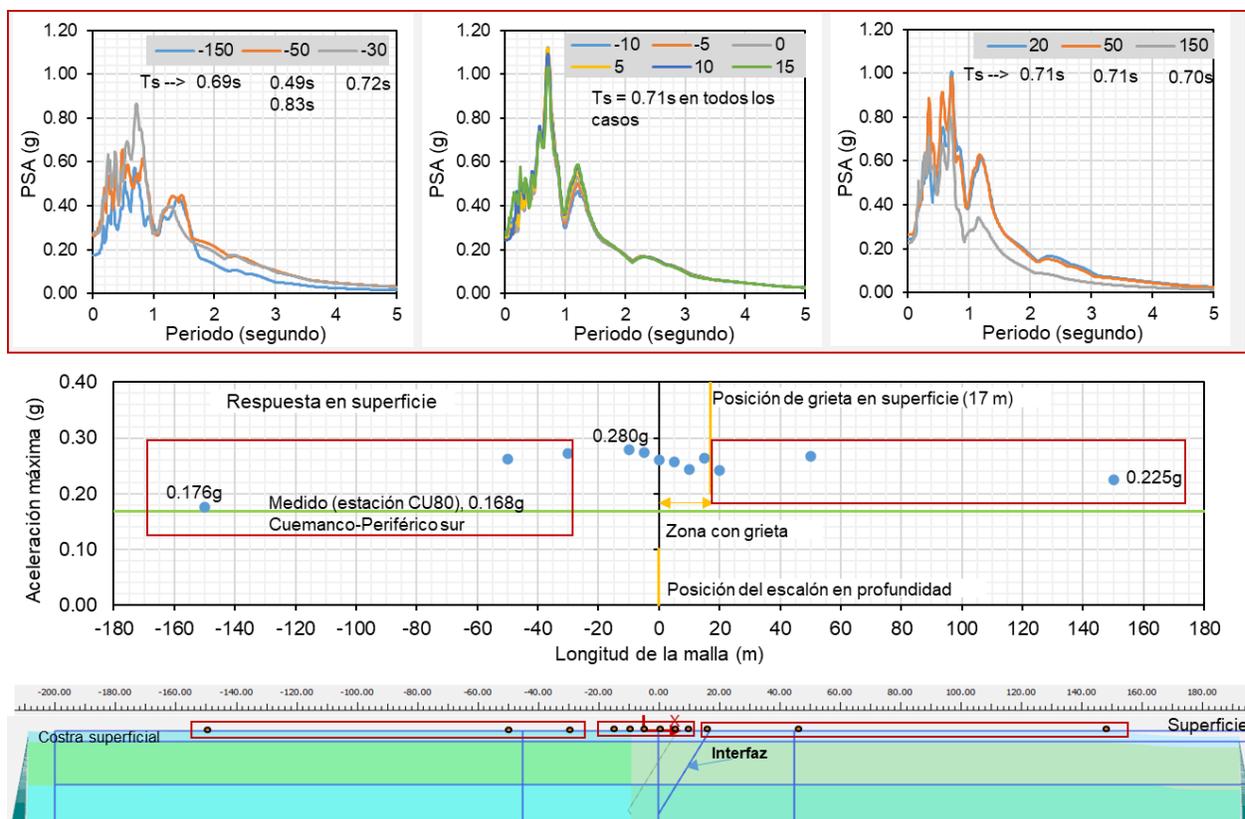


Figura G.9. Respuesta sísmica en superficie para el sismo del 19/sep/2017.

G.11. Efecto del escalón de basalto en la respuesta sísmica en superficie

Con el objetivo de evaluar la influencia del escalón de basalto, o de la variación significativa del espesor de la formación de arcilla en la zona de estudio, en la respuesta sísmica de la superficie del terreno, se considera un modelo de análisis donde el comportamiento de la formación de arcilla es elástico lineal y donde no existe la presencia de la discontinuidad. La Figura G.10 muestra la comparación de la respuesta en superficie en términos de las aceleraciones máximas calculadas, donde se observa que, la respuesta en superficie es muy similar, hay ligeros cambios en las magnitudes que podrían asociarse a la presencia superficial de la discontinuidad.

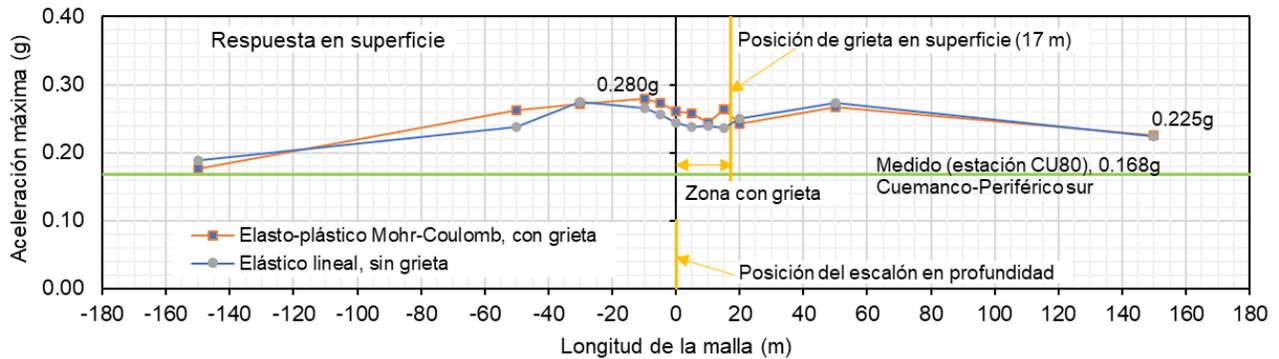


Figura G.10. Respuesta sísmica en superficie para el sismo del 19/sep/2017, comparación del comportamiento elástico lineal con el elasto-plástico.

G.12. Deformaciones permanentes ocasionadas por sismo

En proceso.

G.13. Conclusiones

- El escalón de basalto sepultado por la formación de arcilla es la causa principal de la amplificación de la respuesta sísmica en superficie en la zona agrietada y de la generación de otros modos de vibrar del subsuelo que son perjudiciales a estructuras ligeras:

La aceleración máxima calculada en superficie en la zona agrietada es de hasta 1.56 veces la respuesta correspondiente en campo libre.

La amplificación calculada en el espectro de respuesta en la zona agrietada es de hasta 1.96 veces la amplificación calculada en campo libre.

Los espectros de respuesta calculados con la respuesta de la zona agrietada muestran modos adicionales de vibrar en periodos que van de 0.2 a 0.4 segundos, que pueden ser perjudiciales para estructuras de 2 a 4 niveles.

- La presencia de la grieta en superficie ocasiona deformaciones permanentes en el subsuelo, que se traducen en hundimientos permanentes o escalones en la grieta.

REFERENCIAS

- Auvinet, G., Juárez, M., Méndez, E., Martínez, S., Sánchez, J., Hernández, F., Delgado, M., Pineda, A., Román, H., (2019), 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. Laboratorio de Geoinformática, Coordinación de Geotecnia, II-UNAM, elaborado para el Instituto Para la Seguridad de las Construcciones (ISC), diciembre.
- Delf University of Technology and Plaxis bv, (2017). Manual de usuario Plaxis-2D. Plaxis bv, Netherkands, Service Nr: 2-1312457.
- González-Torres, E.A., Morán, D.J., Mori, L., Martiny, B.M., (2015). Revisión de los últimos eventos magmáticos del Cenozoico del sector norte-central de la Sierra Madre del Sur y su posible conexión con el subsuelo profundo de la Cuenca de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 67, núm. 2, p. 285-297. <http://dx.doi.org/10.18268/BSGM2015v67n2a11>
- Idriss, I.M.; Sol, J.I. (1993). Manual del usuario de SHAKE91: un programa de computadora para realizar análisis de respuesta sísmica lineal equivalente de depósitos de suelo en capas horizontales. <http://nisee.berkeley.edu/elibrary/getpkg?id=SHAKE91>
- CFE (2017) Manual de Diseño de Obras Civiles – Diseño por Sismo, Comisión Federal de Electricidad, noviembre.



**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO H

PUBLICACIONES RELEVANTES



Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo

Mitigation of damage caused by cracks in the soil

Auvinet-Guichard Gabriel

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: gauvinetg@iingen.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4674-1659>

Sánchez-Guzmán Jesús

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: sangjesus@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2214-8156>

Pineda-Contreras Alma Rosa

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: apinedac@iingen.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0001-5588-5780>

Resumen

Se presenta el diseño de un dentellón de material granular que se puede utilizar para mitigar los daños ocasionados por las grietas que se han presentado en el suelo de distintas alcaldías de la ciudad de México. Las grietas más destructivas están asociadas a asentamientos diferenciales inducidos por el hundimiento de la zona lacustre de la ciudad y pueden presentar escalones de altura considerable. La solución propuesta consiste en construir sobre el trazo de la grieta un dentellón de arena llamado “Caja disipadora de deformaciones unitarias”. El comportamiento del dentellón se evalúa mediante simulaciones numéricas con enfoque de medios discontinuos recurriendo al método de elementos discretos. Se concluye que las deformaciones unitarias (asentamientos diferenciales/distancias horizontales) en la superficie disminuyen cuando aumenta la profundidad del dentellón. Las simulaciones permiten obtener un diseño óptimo de la caja disipadora que distribuye los desplazamientos verticales en una distancia horizontal suficiente para que desaparezca el escalón vertical y quede sustituido por una superficie con inclinación moderada. De esta forma, una vialidad afectada por una grieta puede mantenerse abierta al tránsito. Se presentan también análisis con enfoque de medios continuos, sus resultados se comparan con los resultados del enfoque discreto. Se emiten conclusiones y algunas recomendaciones prácticas para la mitigación de daños causados por las grietas.

Descriptor: Grieta, dentellón, material granular, caja disipadora, suelo, deformaciones unitarias.

Abstract

The design of a trench of granular material is shown. This design can be used to mitigate the damages caused by cracks that have appeared in the soil in certain zones of Mexico City. The most destructive cracks are associated with differential settlements due to the regional subsidence of Mexico City and can show escarpments of considerable height. The proposal solution consists of constructing a trench of sand on the crack line, called “Dissipative box of unit deformations”. The trench behavior is assessed by means of numerical simulations with discontinuous media approach using the discrete element method. It is drawn that the unit deformations (differential settlements/horizontal distances) on the surface decrease when the depth of trench increases. The simulations allow to obtain an optimal design of the dissipative box distributing the vertical displacements in a sufficient horizontal length so that the escarpment disappears and is replaced by a surface with moderate inclination. In this way, a road affected by a crack can continue open to traffic. Analyzes with continuous media approach are presented, their results are compared with the discrete approach ones. Some conclusions and practical recommendations for the mitigation of damage caused by cracks are given.

Keywords: Crack, trench, granular medium, dissipative box, soil, unit deformations.

INTRODUCCIÓN

Desde hace varios decenios, se han observado grietas en el suelo de la Ciudad de México, principalmente en las alcaldías de Iztapalapa, Tláhuac, Xochimilco y Milpa Alta. Estas grietas inducen daños en las edificaciones, servicios públicos y vialidades que ponen en riesgo el bienestar de los pobladores, además de requerir costos de mantenimiento importantes.

Una grieta se puede iniciar a consecuencia de cualquier condición que genere esfuerzos de tensión importantes en el suelo (Auvinet, 2010; Auvinet *et al.*, 2013a, 2013b, 2017, 2018). Ciertos mecanismos como el fracturamiento hidráulico facilitan la generación y propagación de las grietas. Sin embargo, las grietas más importantes y destructivas son causadas por los asentamientos diferenciales asociados al hundimiento regional debido a la extracción de agua en el subsuelo del valle de México. El fenómeno de agrietamiento se ha agravado a raíz de los sismos de septiembre de 2017 y se han observado algunos escalones que rebasan 1 m de altura. Las grietas se vuelven más problemáticas cuando se erosionan y ensanchan, por lo que es preferible sellarlas inmediatamente para restablecer la continuidad del terreno.

Las grietas por hundimiento regional se caracterizan por presentar escalones con la parte baja hacia la zona de mayor asentamiento (Figura 1) y en la práctica son muy difíciles de controlar (Auvinet, 2017).

Para reducir los daños a las edificaciones, servicios públicos y vialidades se debe tomar en cuenta la presencia de las grietas en el diseño. Para muros y bardas ha resultado útil el uso de juntas que permiten el paso libre de la grieta. Sin embargo, estas medidas de mitigación de daños se han implementado en forma empírica y no se han realizado estudios orientados al diseño de

estas soluciones. Las medidas de mitigación de los daños ocasionados por la propagación de las grietas deben basarse en soluciones estructurales y geotécnicas robustas. Entre estas últimas se encuentran las basadas en la disipación del escalón en la superficie del terreno para mitigar daños en calles y vialidades. Las soluciones presentadas en este trabajo están exclusivamente relacionadas con el problema del escalón en la superficie del terreno. Las soluciones propuestas se evalúan mediante análisis numéricos basados en el enfoque de medios discontinuos (método de elementos discretos) que se comparan con los que se pueden realizar aplicando la mecánica de los medios continuos (método de elementos finitos).

SOLUCIÓN PROPUESTA

Se ha observado que un material continuo en la superficie del terreno, como el pavimento de las vialidades, presenta una falla frágil en presencia de hundimientos diferenciales (Figura 1 y 2a), provocando un escalón abrupto. El concepto principal en la solución propuesta es sustituir superficialmente el terreno natural por material granular, como arena o grava sin finos, que no transmita tensiones y cuyos granos se reacomoden ante el movimiento de la grieta (Figura 2b).

Más adelante, esta solución se evalúa por medio de simulaciones numéricas con modelos de elementos discretos y modelos numéricos tradicionales con elementos finitos. En los análisis, se considera la existencia de una grieta en una vialidad y se agrega un dentellón en la parte superior de la grieta.

La geometría propuesta para el modelo de análisis se presenta en la Figura 3. Las dimensiones horizontales del modelo son suficientes para permitir el libre desarrollo de los asentamientos. La simulación de la



Figura 1. Grieta con escalón en una vialidad de la Ciudad de México

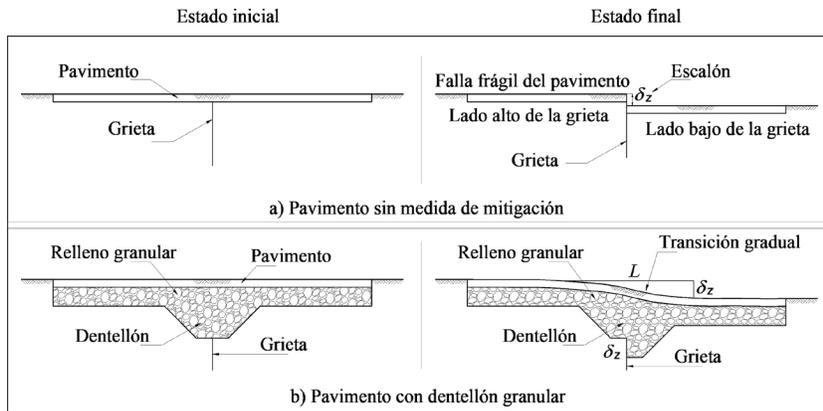


Figura 2. Comportamiento hipotético de un dentellón para el control de hundimientos diferenciales

formación de un escalón en la grieta consiste en imponer un desplazamiento vertical δ_z a la mitad del lado derecho del modelo y en restringir el desplazamiento del lado izquierdo. Se consideran desplazamientos verticales δ_z en la grieta de 0.1, 0.2 y 0.3 m.

MODELADO CON ENFOQUE DE MEDIOS DISCONTINUOS

El método de elementos discretos (Cundall y Strack, 1979), DEM por sus siglas en inglés, permite simular la interacción mecánica entre un conjunto de partículas independientes, de acuerdo con un modelo reológico de contacto. En el caso de las arenas, las fuerzas de interacción en los contactos entre granos se rigen por la fricción en su superficie. Las partículas se representan por discos o esferas rígidos, con una densidad $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$ y un coeficiente de fricción $\mu = 0.7$ (equivalente a un ángulo de fricción interparticular $\phi_\mu = 35^\circ$). Se realizan simulaciones bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D).

Para simular el problema de interés, se seleccionan las partículas de acuerdo con una granulometría relativamente uniforme (Coeficiente de uniformidad $C_u=2$), se depositan por gravedad y se deja que la muestra alcance el equilibrio. Se nivela la superficie y se colocan las partículas que representan el pavimento (Figura 4). Posteriormente, para simular un incremento en el escalón de la grieta, el lado derecho del modelo se desplaza hacia abajo hasta un valor δ_z dado. La velocidad del desplazamiento es muy baja para evitar efectos de inercia.

Por prueba y error se determinó que los taludes apropiados del dentellón son de 1:1. El ancho de la base puede ser el mínimo permitido por la herramienta de excavación. Es conveniente que el dentellón se encuentre centrado horizontalmente sobre la grieta.

En la Figura 5 se presentan los desplazamientos verticales de las partículas. Se observa que en el ápice de la grieta se presenta un escalón, pero que en la superficie se tiene una pendiente suave como se suponía en la Fi-

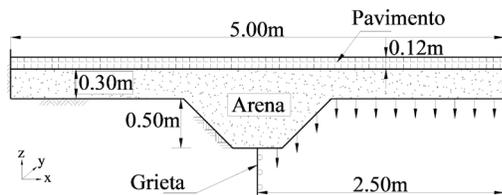


Figura 3. Modelo con dentellón de arena

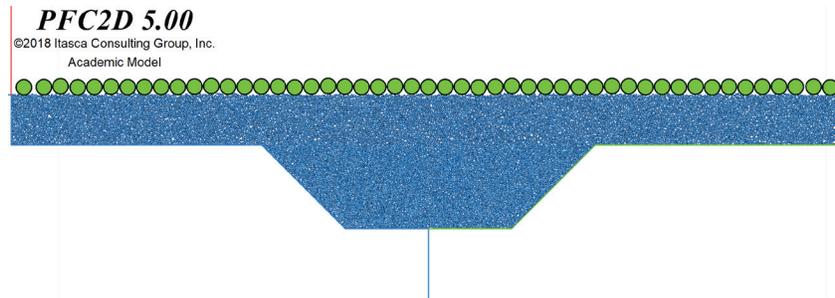


Figura 4. Modelo DEM 2D con dentellón de arena

gura 2b. Esto es resultado de los movimientos individuales de las partículas de la arena.

Se observa también que, en la mayor parte del modelo, las partículas conservan sus posiciones relativas. En el lado alto de la grieta, las partículas permanecen estáticas ($\delta_z = 0$) y en el lado bajo casi todas las partículas bajan junto con la frontera móvil que las subyace ($\delta_z = 0.1$ m).

Los desplazamientos verticales diferenciales ocurren en la zona cercana a la grieta. La Figura 5 muestra que la longitud horizontal L , en la que se distribuyen los desplazamientos diferenciales verticales crece verticalmente. La forma en "V" de los colores de igual desplazamiento vertical indica que entre más profunda se encuentre la grieta (mayor espesor del dentellón granular), será menor la deformación unitaria δ_z/L en la superficie del terreno.

Considerando un dentellón granular de 0.5 m de profundidad y para un escalón en la grieta $\delta_z = 0.1$ m, en el ápice de esta $L = 0$, mientras que, en la superficie del modelo, $L = 1.00$ m. Por tanto, la deformación unitaria δ_z/L es infinita en la grieta, pero en la superficie del modelo es 0.10. Para estos cálculos se desprecian desplazamientos diferenciales verticales menores que 0.001 m.

Se probaron diferentes posiciones de la grieta en la base del dentellón y diferentes valores del coeficiente de fricción interparticular en el intervalo $\mu \in (0.5, 0.7)$. En todos los casos, la superficie del modelo resulta aproximadamente la misma. Por lo anterior, se conclu-

ye que la reducción de las deformaciones unitarias está controlada principalmente por la profundidad del dentellón.

Tomando en cuenta que, en tres dimensiones los granos tienen un grado de libertad adicional, se pueden esperar resultados más realistas a partir de simulaciones 3D. La Figura 6 presenta el estado inicial de un modelo de análisis tridimensional.

Repitiendo con el modelo 3D el caso con $\delta_z = 0.10$ m (Figura 7), se obtiene $L = 1.70$ m en la superficie y por tanto $\delta_z/L = 0.06$. El resultado es por tanto más favorable que en el caso bidimensional. Esto se puede comprender si se toma en cuenta que, en arreglos regulares de discos de igual diámetro la porosidad puede variar 12.2 % (de 9.3 a 21.5 %), mientras que en esferas de igual tamaño la porosidad puede variar 21.7 % (de 25.9 a 47.6 %), es decir, hay mayor libertad de movimientos de los granos en tres dimensiones que en dos.

Para desplazamientos verticales de la grieta $\delta_z = 0.2$ m y $\delta_z = 0.3$ m, en la superficie del modelo se obtienen $\delta_z/L = 0.10$ y $\delta_z/L = 0.15$, respectivamente. En la Figura 7 se puede observar que, al aumentar la altura del escalón en la grieta, la longitud de la superficie inclinada permanece aproximadamente constante.

Se observa que los desplazamientos verticales diferenciales se propagan más hacia el lado alto de la grieta. Esto se debe a que las partículas del lado bajo siguen invariablemente el movimiento de la frontera inferior, pero las partículas del lado alto quedan apoyadas par-

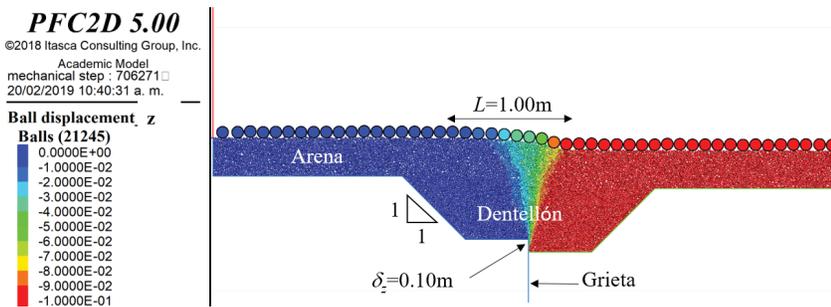


Figura 5. Desplazamientos verticales para $\delta_z = 0.10$ m. Modelo DEM 2D con dentellón de arena

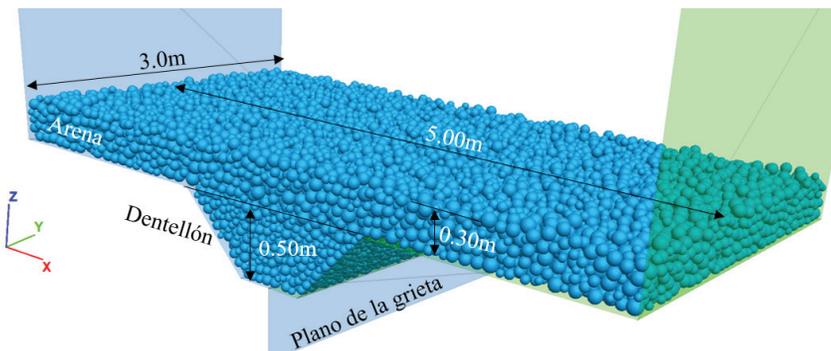


Figura 6. Modelo DEM 3D con dentellón granular

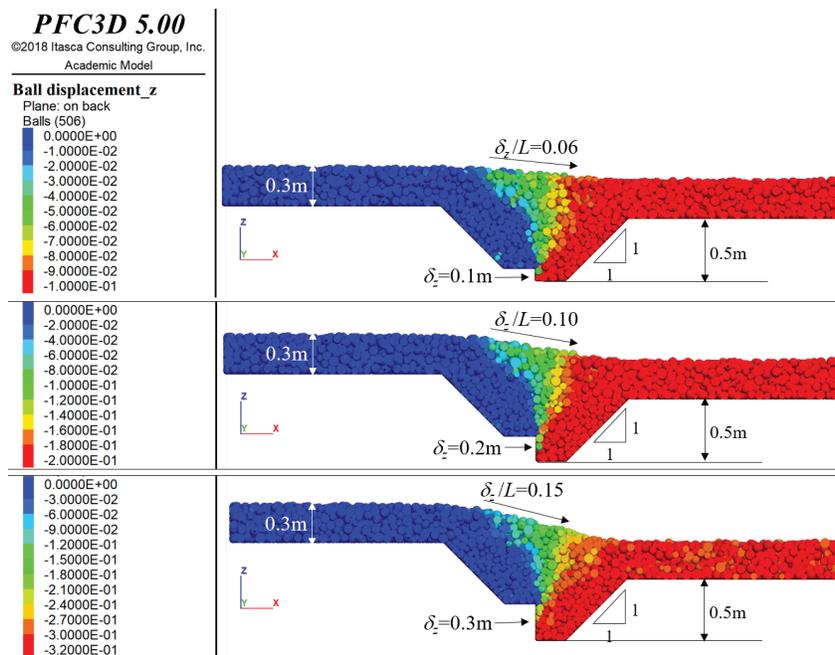


Figura 7. Desplazamientos verticales para distintos valores de δ_z . Cortes longitudinales en el modelo DEM 3D con dentellón de 0.5 m de profundidad

cialmente en la frontera fija y parcialmente en las partículas del lado bajo que presentan un movimiento descendiente.

Una vez rebasado el valor de δ_z/L admisible (0.15 en rampas para vehículos de acuerdo con CDMX, 2017), será necesario realizar trabajos de mantenimiento consistentes en retirar el pavimento de la vialidad, nivelar la superficie y volver a colocar el revestimiento.

Dependiendo de la velocidad de incremento del escalón en una grieta y de la importancia de la vialidad, en la práctica se puede adoptar una profundidad diferente del dentellón granular. Por ejemplo, en la Figura 8 se presentan los desplazamientos verticales para un dentellón de 1 m de profundidad, donde se observa que se obtienen deformaciones unitarias tolerables incluso para un escalón de 0.3 m.

MODELADO CON ENFOQUE DE MEDIOS CONTINUOS

Para el análisis con elementos finitos se considera un modelo constitutivo elasto-plástico de tipo Mohr-Coulomb. Se acepta un peso volumétrico de $\rho = 20 \text{ kN/m}^3$, con parámetros elásticos: $E = 18000 \text{ kPa}$ y $\nu = 0.35$, y parámetros plásticos: $\phi = 25^\circ$ y $c = 0$. Para comparar la efectividad de la solución propuesta (Caja disipadora de deformaciones unitarias), se analiza la distribución de los asentamientos diferenciales en la superficie del terreno para cada uno de los tres desplazamientos propuestos ($\delta_z = 0.1 \text{ m}$, 0.2 m y 0.3 m).

Después de un análisis paramétrico para diferentes valores del ángulo de fricción interna (ϕ), se concluyó que el análisis de la caja de arena mediante medios continuos, se puede modelar mejor al considerar el caso extremo en el que el ángulo de fricción interna es nulo ($\phi = 0$). Así, el criterio de Mohr-Coulomb se reduce al de Tresca (Jones, 2009) de máximo esfuerzo cortante $\tau_{\text{máx}}$. Con base en las condiciones de frontera del modelo numérico, los desplazamientos impuestos inducen un desconfinamiento en el material y generan un esfuerzo cortante en la línea de la grieta. Este comportamiento puede representarse por un estado de esfuerzos de extensión, como lo mostró Biarez (1961). Para el análisis con elemento finito, y de acuerdo con el criterio de Tresca, se requiere establecer un flujo plástico (relación esfuerzo-deformación) con un esfuerzo de fluencia σ_y (esfuerzo límite elástico), interpretado como una resistencia al esfuerzo cortante $\tau_{\text{máx}}$ cuya magnitud dependerá del desplazamiento impuesto δ_z . El criterio de Tresca evita involucrar parámetros como ϕ y φ que, para el estudio de la caja de arena con medios continuos, pueden conducir a resultados irreales.

De los resultados de los análisis, se graficaron los desplazamientos verticales en la superficie de la caja para las tres condiciones de frontera ($\delta_z = 0.1, 0.2$ y 0.3 m) y para las dos profundidades del dentellón (0.50 m y 1.00 m). Las figuras 9 y 10, muestran los resultados de la influencia de la profundidad del dentellón sobre la distancia horizontal L en la superficie en la que se distribuyen los asentamientos diferenciales. Por ejemplo,

cuando se tiene un desplazamiento $\delta_z = 0.1$ m, la deformación unitaria en la superficie es $\delta_z/L = 0.06$ y $\delta_z/L = 0.03$, para 0.5 m y 1.0 m de profundidad del dentellón, respectivamente. Se observa que los asentamientos diferenciales superficiales se distribuyen en una longitud de 1.6 m para el dentellón de 0.5 m de profundidad, mientras que para el de 1.0 m la longitud es de 3.0 m. A

mayor profundidad de la caja de arena, es menor δ_z/L en la superficie. Por lo tanto, la eficiencia de la caja es una función de la profundidad de la misma. Asimismo, se observa que las distancias horizontales L donde se disipa el asentamiento, son similares con las obtenidas con los análisis de elemento discreto, las cuales son de

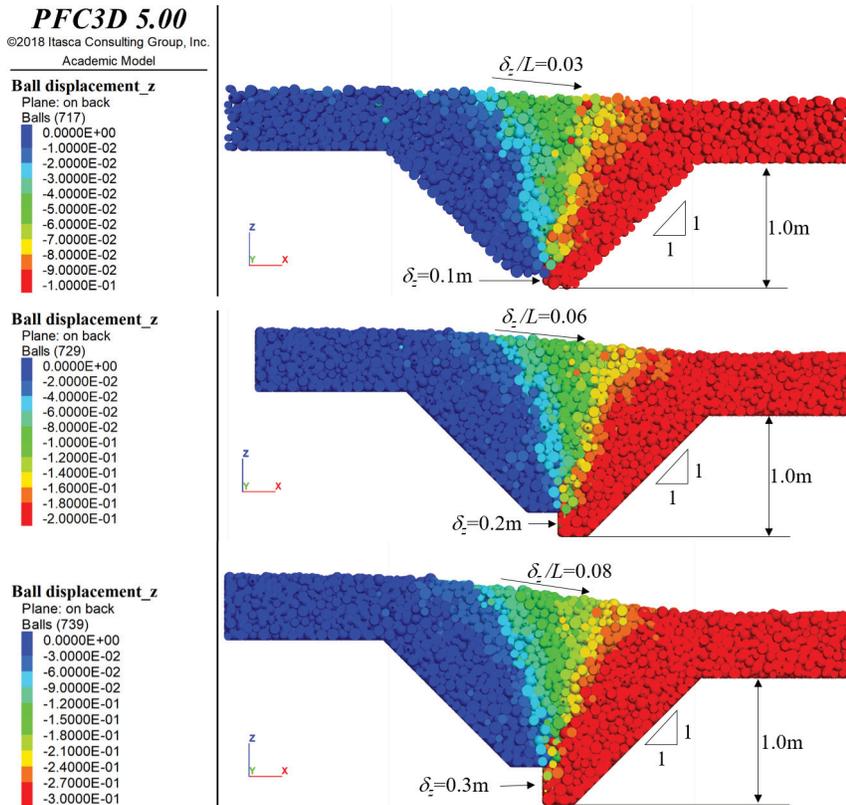


Figura 8. Desplazamientos verticales para distintos valores de δ_z . Cortes longitudinales en el modelo DEM 3D con dentellón de 1.0 m de profundidad

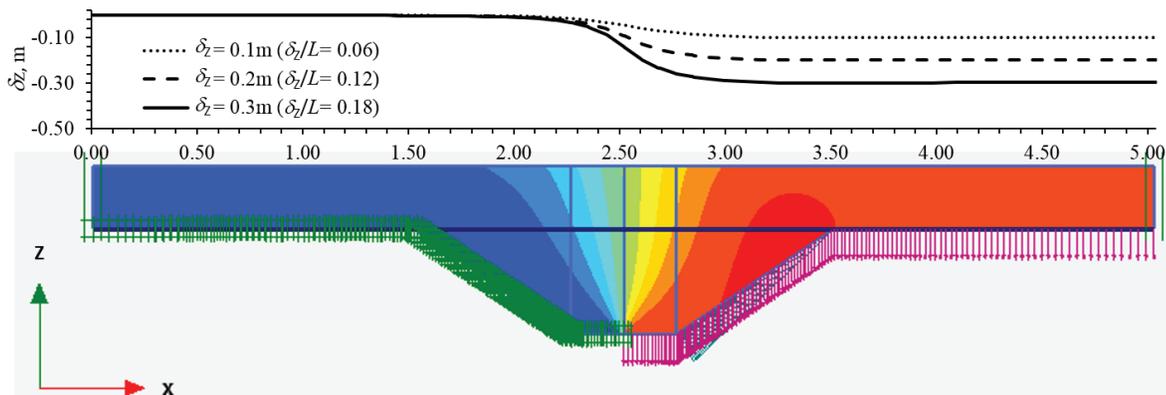


Figura 9. Asentamientos en la superficie para desplazamientos verticales impuestos de $\delta_z=0.10$, 0.20 y 0.30 m. Dentellón de 0.50 m de profundidad

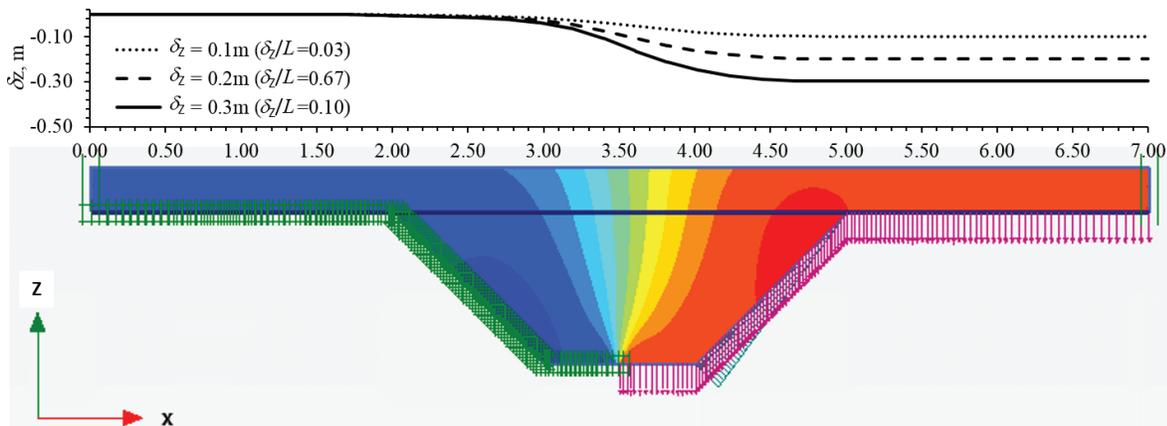


Figura 10. Asentamientos en la superficie de la caja de arena para desplazamientos verticales impuestos de $\delta_z=0.10$, 0.20 y 0.30 m. Dentellón de 1.0 m de profundidad

1.70 m y 3.60 m para 0.5 m y 1.0 m de profundidad del dentellón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para mitigar los problemas en las vialidades asociados a grietas con escalón, se propone la colocación de un dentellón granular en la superficie del suelo. Esta idea se sustenta en que los materiales granulares, como la arena, no transmiten tensiones y sus partículas constitutivas pueden cambiar sus posiciones relativas dentro del medio adaptándose a los movimientos externos.

Se considera que, de los métodos utilizados, el de elementos discretos es el más apropiado para analizar el problema, ya que toma en cuenta explícitamente la naturaleza discontinua de los medios granulares. Se observó que las simulaciones bidimensionales conducen a diseños conservadores. Los modelos bidimensionales facilitan los cálculos, pero subestiman de manera considerable los beneficios del relleno granular. De los resultados de los análisis se exponen los siguientes puntos importantes respecto a la caja disipadora de deformaciones unitarias:

- El material granular permite distribuir los desplazamientos verticales diferenciales en una longitud horizontal que aumenta cuando el espesor del relleno granular crece. Es decir, la deformación unitaria δ_z/L en la superficie es menor cuando el espesor del relleno es mayor.
- Las partículas conservan sus posiciones relativas cuando se encuentran a una distancia horizontal de la grieta igual o mayor al espesor del relleno granular.

- Considerando los dos puntos anteriores, es posible optimizar el volumen de excavación y relleno construyendo un dentellón centrado en la grieta. Los taludes recomendables para la excavación son $1:1$ para evitar que las fronteras interfieran en el reacomodo de los granos de arena.
- El fondo del dentellón puede tener como ancho mínimo, el del bote de una retroexcavadora (0.5 m).
- Dependiendo de la importancia de la vialidad y del tiempo deseado entre un mantenimiento y otro, se puede elegir la profundidad del dentellón de arena. En vialidades principales deberá considerarse dentellones de mayor profundidad.
- En lugares con tránsito ligero, el pavimento continuo podría sustituirse por una superficie a base de adoquín. Las discontinuidades del adoquín pueden contribuir significativamente a la distribución de las deformaciones unitarias.

El modelado de la caja de arena es un problema de partículas independientes que se rige por un mecanismo de trabazón entre partículas. Con los medios continuos es difícil representar el comportamiento de los medios granulares al involucrar el ángulo de fricción ϕ y el ángulo de dilatación ψ . Sin embargo, el criterio de Tresca, que considera $\phi = 0$, facilita el modelado del comportamiento de la caja de arena. El análisis confirma que la profundidad del dentellón influye en la magnitud de longitud horizontal donde se distribuyen los asentamientos.

REFERENCIAS

- Auvinet G. (2010). Soil fracturing induced by land subsidence. En *Land subsidence, Associated Hazards and the Role of Natural Resources Development*. IAHS Publication 339, pp 20-26.
- Auvinet G., Méndez E. & Juárez M. (2013a). Soil fracturing induced by land subsidence in Mexico City. En Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, Francia.
- Auvinet G., Méndez E. & Juárez M. (2013b). Evaluation of regional subsidence and soil fracturing in Mexico City Valley. En Proceedings of the Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Buenos Aires, Argentina.
- Auvinet G., Méndez E. & Juárez M. (2017). *El subsuelo de la ciudad de México* (The Subsoil of Mexico City). Vol. III, Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Auvinet G. & Reséndiz D. (2018). Confusiones surgidas a partir de los sismos de 2017 en la Ciudad de México. *Geotecnia, Órgano oficial de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.*, 246, 24-27.
- Biarez J. (1961). Remarques sur les propriétés mécaniques des corps pulvérulents. *Cahiers du Group Français d'Etudes de Rhéologie*, 4(3).
- CDMX, Gobierno de la Ciudad de México (2017). Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico, *Gaceta Oficial de la Ciudad de México*.
- Cundall P. & Strack O. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Géotechnique*, 29(1), 47-65.
- Jones R. (2009). Deformation theory of plasticity. United States of America: Bull Ridge Publishing.



Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica, A.C.

XXX Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica
Del 12 al 14 de noviembre del 2020, Guadalajara, Jal. México



Modelado con medios discretos de la mitigación de daños inducidos por grietas del suelo

Modeling with Discrete Media of Mitigation of Damage Caused by Soil Cracks

Sánchez Guzmán Jesús, Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM
Auvinet Guichard Gabriel, Instituto de Ingeniería, UNAM

RESUMEN: Se presenta un análisis de la mitigación de los daños causados por el agrietamiento del suelo de la Ciudad de México en vialidades, edificaciones e instalaciones hidráulicas. El hundimiento regional no uniforme provoca grietas en el suelo que, cuando presentan un escalón en la superficie del terreno, ocasionan diversos problemas en las obras civiles. La principal medida de mitigación consiste en sustituir superficialmente el terreno natural por materiales granulares que no transmitan tensiones. Así, el comportamiento plástico del medio granular transforma el escalón de una grieta en una superficie inclinada con pendiente moderada. Los modelos numéricos con medios discretos permiten reproducir el efecto del medio granular sobre la disipación de los desplazamientos verticales. Se identifican las variables que más afectan el comportamiento de las obras civiles y se concluye que es posible convivir con el problema del agrietamiento. Los resultados de estas simulaciones han contribuido a emitir recomendaciones prácticas para la construcción, algunas de ellas ya implementadas en la Ciudad de México.

ABSTRACT: An analysis of the mitigation of the damages caused by the cracking of the soil of Mexico City in roads, buildings and hydraulic installations is presented. The non-uniform regional subsidence causes cracks in the ground that, when they present a escarpment in the ground surface, several problems in civil works are presented. The main mitigation measure consists of to replace, superficially, the natural terrain with granular materials that do not transmit tensile stresses. Thus, the plastic behavior of the granular medium transforms the escarpment of the crack into an inclined surface with a moderate slope. Numerical models with discrete media reproduce realistically the effect of granular media on the dissipation of vertical displacements. The main variables that affect the behavior of civil works are identified and it is concluded that it is possible to live with the problem of cracking. The results of these simulations have allowed the issuance of practical recommendations for construction, some of them already implemented in Mexico City.

1 INTRODUCCIÓN

El agrietamiento del suelo de la Ciudad de México afecta diversas instalaciones en superficie como los pavimentos, las edificaciones y las instalaciones hidráulicas. Las grietas más destructivas presentan un escalón (Figura 1a) y son causadas por los asentamientos diferenciales asociados al hundimiento regional (Auvinet *et al.*, 2017).

Para mitigar los daños, el Instituto de Ingeniería de la UNAM propuso sustituir superficialmente el terreno natural por material granular que no transmita tensiones (arena o grava sin finos). La solución (Auvinet *et al.*, 2019a) consiste en construir sobre la grieta un dentellón de arena llamado “Caja disipadora de deformaciones unitarias” (Figura 1b).

El mismo concepto de la “caja disipadora” es aplicable a la protección de pavimentos (Auvinet *et al.*, 2019a), viviendas (Sánchez y Auvinet, 2020) e instalaciones hidráulicas.

El objetivo de este trabajo es mostrar, por medio de simulaciones numéricas, que la caja disipadora permite mitigar los daños que causan las grietas con escalón y que es posible convivir con el problema del agrietamiento del suelo en la Ciudad de México.

El presente artículo es complementario a otras publicaciones como las de Auvinet *et al.* (2019a), Auvinet *et al.* (2019b), Auvinet y Sánchez (2019) y Sánchez y Auvinet (2020).

2 MODELADO NUMERICO

La materia está hecha de una gran cantidad de partículas elementales que interactúan entre sí de acuerdo con las leyes de la mecánica. Por tanto, las propiedades macroscópicas de la materia deberían ser explicables en términos del movimiento de sus partes.

Para analizar las propiedades de la materia, ésta se debe tratar como un medio discreto, escribir las ecuaciones fundamentales a la escala de las partículas y tratar de resolverlas. En la medida en la que se omitan pasos, la comprensión de la materia solo será aproximada (Feynman *et al.*, 1963).

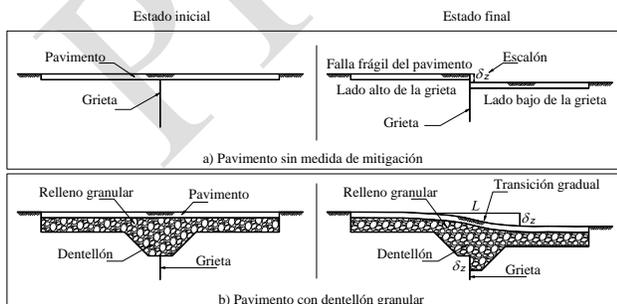


Figura 1. Ilustración del comportamiento de una caja disipadora

A escalas mayores que la de las partículas, no siempre se desea conocer con exactitud el movimiento de cada partícula, sino cuántas se mueven aquí o allá en promedio y cuáles son las probabilidades de los diferentes efectos. Un estudio estadístico puede ser adecuado.

A la escala macroscópica se ignora la existencia de las partículas que constituyen la materia y el medio se acepta como continuo. La formulación de modelos requiere entonces de la introducción de propiedades equivalentes. Esta simplificación es conveniente y en ocasiones necesaria, cuando la representación explícita de un gran número de partículas es intratable computacionalmente (Feynman *et al.*, 1963).

Las consideraciones anteriores se presentan esquemáticamente en la Figura 2. En cada escala puede ser conveniente analizar el medio como discreto o como continuo.

En geotecnia, generalmente se aceptan análisis de medio continuo, sin embargo, no siempre es lo adecuado. En los análisis de este trabajo se representan explícitamente las partículas constitutivas de los materiales.

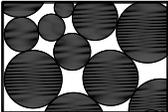
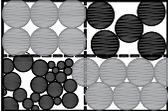
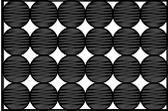
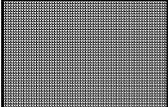
	DISCRETO	Partículas individuales Se aplican las leyes de la mecánica a cada partícula.
	DISCRETO CONTINUO	Mesoescala La mecánica estadística describe el comportamiento promedio de cada conjunto de partículas. Representación con campos aleatorios (medio continuo).
	DISCRETO CONTINUO	Volumen Elemental Representativo (VER) El VER es suficientemente grande y se puede sustituir por un medio continuo equivalente homogéneo.
	CONTINUO	Medio continuo Se ignora la existencia de las partículas. No se toma en cuenta ni la estructura del medio ni los fenómenos físicos internos (Feynman, 1963).

Figura 2. Análisis numéricos a distintas escalas con medios discretos o continuos

El Método de Elementos Discretos (Cundall y Strack, 1979; Cundall y Hart (1992), Smilauer y Chareyre, 2015), permite simular la interacción mecánica de un conjunto de partículas individuales. Las simulaciones que se presentan más adelante recurren a este método implementado en el programa PFC (Itasca, 2016).

3 CAJA DISIPADORA DE DEFORMACIONES

La caja disipadora de deformaciones está conformada por materiales granulares que se caracterizan por no transmitir tensiones y por una alta disipación de energía en sus interacciones interparticulares.

El funcionamiento de la caja disipadora se sustenta en que los medios granulares no transmiten tensiones y disipan enormemente la energía a la escala de sus partículas constitutivas. El movimiento individual de las partículas y la compleja red de contactos dispersan los desplazamientos impuestos por las grietas.

En el diseño de la caja disipadora, Auvinet *et al.* (2019a) observaron que la distribución espacial de los desplazamientos verticales está controlada principalmente por la profundidad del dentellón granular. Con base en el análisis de cajas con diferentes geometrías, distintas posiciones de la grieta, tanto en dos como en tres dimensiones, los autores concluyen que una forma trapecial es la más adecuada.

Las simulaciones bidimensionales, del trabajo antes citado, permitieron observar: la zona de disipación de deformaciones, el efecto del espesor del material granular, el efecto de la geometría de la caja disipadora y el efecto de la posición de la grieta en la base de la caja.

La Figura 3 muestra la geometría típica de una caja disipadora. El material granular presenta una granulometría continua con $C_u = 2.5$. Se acepta que las partículas son rígidas con un coeficiente de fricción en su superficie $\mu=0.7$.

El proceso de modelado consiste en crear la geometría de la caja disipadora, depositar por gravedad las partículas hasta obtener un espesor dado del material granular y verificar el equilibrio estático inicial. Posteriormente, el lado derecho del modelo (Figura 3) se hace descender a una velocidad muy baja hasta alcanzar una altura de escalón dada. Se analiza entonces la distribución de desplazamientos en el material granular.

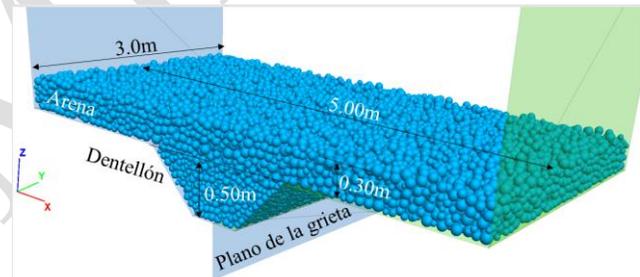


Figura 3. Caja disipadora de deformaciones (Auvinet *et al.*, 2019a)

En la Figura 4 se muestran los resultados para un escalón en la grieta $\delta_x=0.1, 0.2$ y 0.3 m. Se observa que las partículas del lado alto de la grieta no se desplazan, mientras que las del lado bajo descienden la misma magnitud que la frontera subyacente. Sobre la grieta se observa una región en forma de "V", donde las partículas presentan desplazamientos verticales diferenciales. Los movimientos individuales de las partículas disipan el escalón, dando como resultado una pendiente moderada en la superficie que se desarrolla en una longitud horizontal, L .

Tomando en cuenta que en el ápice de la grieta es $L=0$, la disipación de deformaciones consiste en pasar de una pendiente infinita en dicho punto a una pendiente finita en la superficie.

La forma de "V" de la región de desplazamientos diferenciales indica que a mayor profundidad del dentellón granular, menor será la pendiente de la superficie.

La caja disipadora se ha aplicado a la rehabilitación de vialidades en la ciudad de México. Con base en la altura del escalón y en la velocidad de su crecimiento, se elige una caja disipadora de tamaño adecuado. (CERG, 2019).

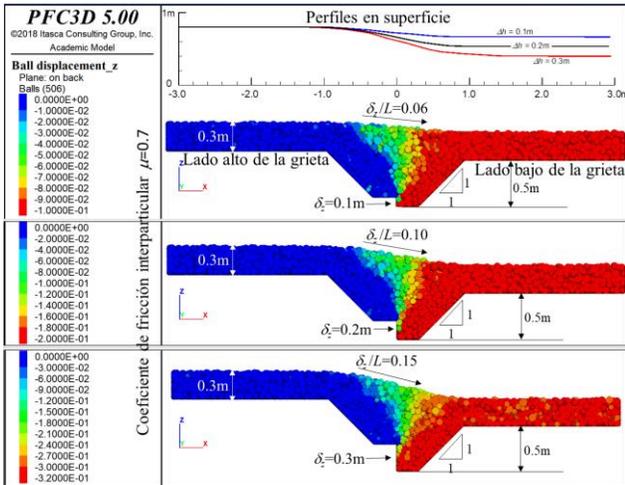


Figura 4. Desplazamientos verticales en modelo caja disipadora de 0.5m de profundidad

4 MITIGACIÓN DE DAÑOS EN VIVIENDAS

Las viviendas que se encuentran directamente sobre las grietas pueden presentar distintas afectaciones como inclinaciones, fracturas cerradas, fracturas abiertas y desprendimiento de los elementos de mampostería (Figura 5). Estas edificaciones pueden también protegerse en cierta medida insertando una caja disipadora en la cimentación. Frecuentemente, la estructura está constituida por muros de mampostería reforzados con algunos elementos de concreto y sin una cimentación formal (Auvinet et al., 2019b).

Para mayor claridad, en lo que sigue se le llama grieta a la discontinuidad del suelo y fractura a las discontinuidades en las viviendas.



Figura 5. Daños observados en viviendas de mampostería afectadas por grietas en el suelo

La elaboración de modelos numéricos con medios discontinuos del comportamiento de viviendas afectadas por grietas requiere de la incorporación de técnicas especiales, tales como el modelado de medios continuos con partículas y el modelado de sólidos con geometría no esférica.

Para representar un medio continuo es necesario unir las partículas, por lo que un modelo de contacto con resistencia a la tensión es adecuado, como los modelos cementados (Potyondy y Cundall, 2004; Potyondy, 2011).

Los conjuntos de esferas son relativamente fáciles de construir y se utilizan para crear cuerpos con forma cualquiera. Para facilitar la construcción y replicación de sólidos se han desarrollado algoritmos (Taghavi, 2011) para rellenar un espacio cerrado con un conjunto de esferas secantes que no interactúan entre sí. A este conjunto se le conoce como “grumo” en el ámbito del modelado numérico de medios discretos. Los grumos interactúan unos con otros por medio de múltiples contactos y se caracterizan porque no se pueden romper.

El modelo simplificado de una vivienda, utilizado en esta investigación, consiste en una edificación de cuatro muros de ladrillos (Figura 6). Los muros se construyen colocando los bloques uno a uno, en un arreglo cuatrapeado. Se acepta que los ladrillos interactúan por fricción en su superficie, considerando un coeficiente de fricción $\mu=0.7$. Se ignora la cohesión del mortero de unión y no se incluyen los elementos de refuerzo estructural de la vivienda.

Para los análisis se consideran tres casos, cuando la vivienda que se apoya directamente sobre el terreno, cuando se agrega una cama granular de 40cm de espesor en la cimentación (MEXPRESA, 2019; Auvinet et al., 2019b) y cuando además, se coloca un dentellón granular de 50cm de profundidad (Referencia de la Nota Técnica GEO-02, II-UNAM). La granulometría del material granular es uniforme, con un coeficiente de uniformidad $C_u = 2.5$ y está conformado por 80,000 partículas.

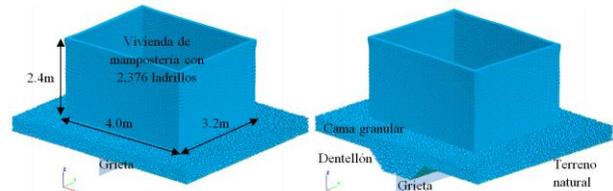


Figura 6. Modelo simplificado de una vivienda de mampostería

Al activar el desplazamiento en la grieta se analiza el comportamiento de la vivienda cuando el escalón presenta una altura δ_z de 10 y 20cm. La Figura 7 presenta los campos de desplazamiento vertical. Por facilidad en la observación de los resultados se muestra la mitad de la vivienda.

El modelo que no incluye protección de material granular muestra que, conforme crece el escalón, se abre una fractura en la base de los muros. Se presentan desplazamientos relativos entre ladrillos en una región en forma de “V”, que se localiza principalmente del lado bajo de la grieta. Fuera de esta región, tanto del lado alto como del lado bajo de la grieta los ladrillos conservan sus posiciones relativas. La abertura en la base de los muros es del mismo orden de magnitud que el escalón en la grieta. Cuando el escalón es suficientemente grande se observa un desprendimiento de ladrillos en la parte baja del muro y una separación horizontal entre ladrillos en una región considerable.

Estos resultados coinciden cualitativamente con los casos reales presentados en la Figura 5. Por tanto, se concluye que el modelo de la vivienda simplificada reproduce en forma aceptable los mecanismos de

deformación y fracturamiento de las viviendas de mampostería.

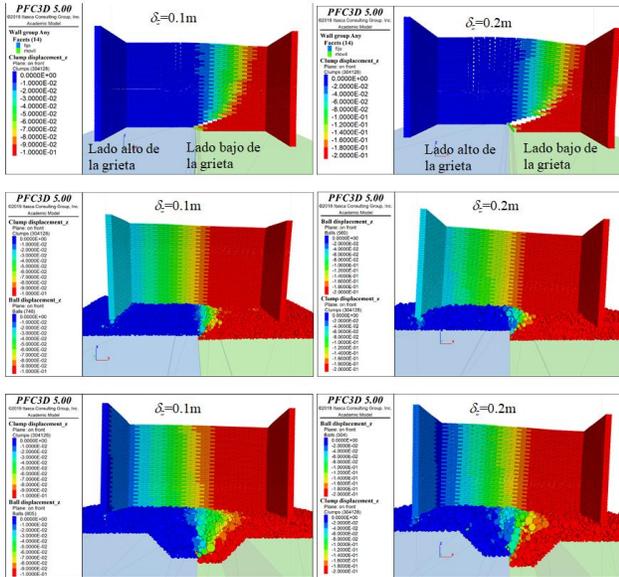


Figura 7. Desplazamientos verticales en viviendas de mampostería. Modelo 3D simplificado

Con la protección de material granular en la cimentación, las viviendas no presentan daños para una altura del escalón $\delta_z=0.1m$. Se observa que los desplazamientos de los muros varían gradualmente, principalmente del lado alto de la grieta. Esta variación gradual indica que los ladrillos presentan desplazamientos relativos entre sí. La parte de la vivienda que se sitúa del lado bajo de la grieta se desplaza aproximadamente como un cuerpo rígido.

Incluso para un escalón con altura $\delta_z = 0.2m$, los muros no presentan fracturamiento. En el modelo sin dentellón, el ápice de la grieta se encuentra muy cerca de la base del muro, por lo que al aumentar la altura del escalón se iniciará el fracturamiento del muro. La ventaja de colocar la caja disipadora es que proporciona un mayor margen de desplazamientos en la grieta del suelo sin que se presenten daños a los muros de mampostería.

Los modelos de la Figura 7 ponen en evidencia que el material granular, principalmente cuando se incluye la caja disipadora, contribuye a la disipación de las deformaciones y a la mitigación de los daños en las viviendas.

Por otra parte se analiza el comportamiento de una “vivienda tipo” (Figura 8a), considerando el diseño estructural y los materiales de la cimentación, de acuerdo con los diseños con que cuenta el Gobierno de la Ciudad de México (MEXPRESA, 2019). En un modelo alternativo se incluye poliestireno expandido en la cimentación como propuesta de mejoramiento (Figura 8b).

Estos modelos de elementos discretos deben representar el comportamiento de materiales esencialmente diferentes. Los tezontles se simulan con interacción mecánica entre partículas por fricción en la superficie de los granos ($\mu=0.7$). Para los granos de tepetate se considera, además, una cohesión $c=0.1$ MPa para representar la presencia de

finos. Para los contactos entre partículas que representan al concreto se consideran propiedades de rigidez y cohesión equivalentes al concreto reforzado. Se considera también la aplicación de la carga de diseño factorizada $Wu=18.8kPa$, que ejerce la losa de cimentación al terreno subyacente.

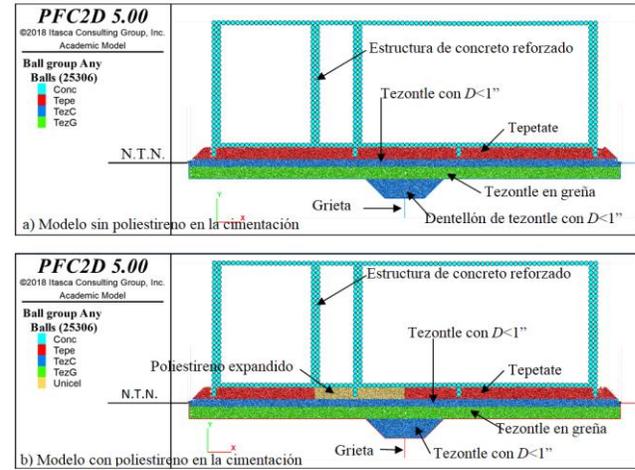


Figura 8. Modelo de elementos discretos de una “vivienda tipo”

Como se ha señalado anteriormente, para analizar el comportamiento del modelo en presencia de un escalón en la grieta, las fronteras del lado derecho de la grieta se hacen descender lentamente hasta alcanzar una altura del escalón dada δ_z .

En la Figura 9a puede observarse que el desplazamiento vertical impuesto por la grieta se distribuye en una distancia L en la losa de cimentación. La mayor rigidez relativa de la vivienda ocasiona una separación entre la losa de cimentación y el material granular. Para el caso sin poliestireno, en el extremo izquierdo del modelo, la vivienda presenta un ligero desplazamiento ascendente (0.03m). A la derecha de la grieta, la losa de cimentación forma un puente.

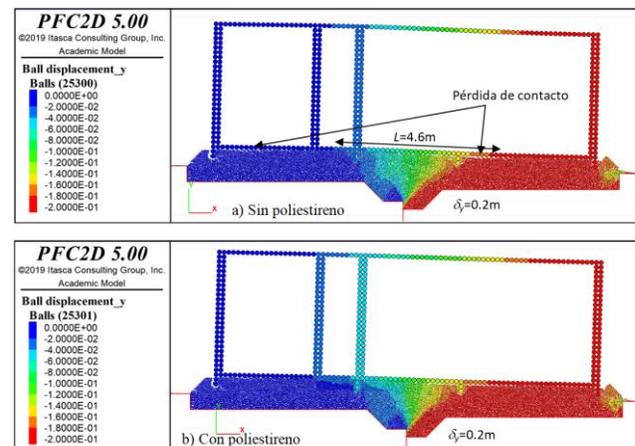


Figura 9. Desplazamientos verticales en la vivienda tipo con dentellón granular en la cimentación

Para reducir la flexión en la vivienda es conveniente distribuir los desplazamientos verticales en el material

granular en una zona más amplia del lado alto de la grieta, así como evitar la concentración de fuerzas en una región localizada. El poliestireno expandido (Figura 9b) contribuye a mitigar estos problemas.

En la Figura 10 se presentan las fuerzas de contacto entre las partículas del terreno de cimentación. El espesor de las líneas indica la magnitud de las fuerzas de contacto. Para el modelo sin poliestireno, en el estado inicial ($\delta_y = 0$), se tiene una distribución aproximadamente uniforme de las fuerzas de contacto. Cuando la altura del escalón es $\delta_y = 0.2\text{m}$, en la región A se tienen las fuerzas de contacto de mayor magnitud, mientras que en la región C se presentan las fuerzas de menor magnitud.

Al incluir el poliestireno, en el estado inicial se obtiene una distribución no uniforme de las fuerzas de contacto en el terreno de cimentación, debido a la baja capacidad portante del poliestireno. En presencia del escalón, las fuerzas máximas del lado alto de la grieta se distribuyen en un espacio relativamente amplio de la cimentación.

Lo anterior pone en evidencia que el poliestireno favorece a una distribución más uniforme de esfuerzos cuando se presenta el escalón. Principalmente se evita la concentración de esfuerzos en la región A (Figura 10), la cual induciría flexión en la losa de cimentación.

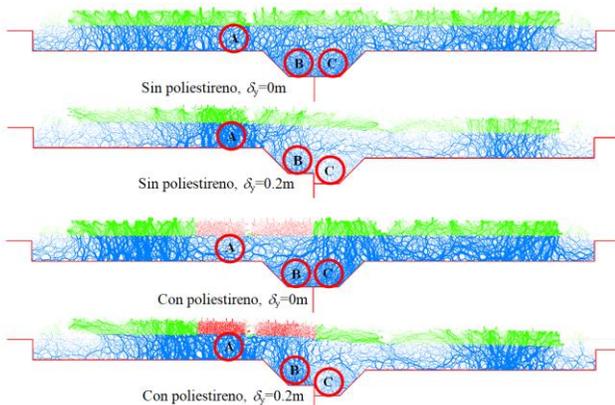


Figura 10. Distribución de fuerzas de contacto en el terreno de cimentación de una "vivienda tipo"

5 MITIGACION DE DAÑOS EN INSTALACIONES HIDRÁULICAS

EN DESARROLLO

6 CONCLUSIONES

El agrietamiento del suelo de la Ciudad de México es un problema complejo que genera diversas afectaciones a las obras civiles. Para mitigar los daños se ha propuesto colocar material granular, que no transmita tensiones, entre las grietas del suelo y las obras de ingeniería. La plasticidad de estos materiales permiten distribuir los desplazamientos inducidos por las grietas en un espacio relativamente amplio.

Para estudiar el comportamiento de los materiales granulares es necesario representar explícitamente su naturaleza discontinua, por lo que se ha recurrido al método de elementos discretos (DEM).

La disipación depende principalmente del espesor de material granular. Por tanto, un dentellón granular colocado sobre la grieta efectúa la disipación y ahorra material en la construcción. Esta solución, llamada caja disipadora, se ha recomendado y aplicado en la rehabilitación de vialidades, principalmente en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México.

Extendiendo la aplicación de la caja disipadora y atendiendo a los problemas que se han presentado en la Ciudad de México, se analizó el comportamiento de viviendas e instalaciones hidráulicas.

El modelado de viviendas permitió reproducir cualitativamente los mecanismos de falla de las edificaciones de mampostería afectadas por grietas con escalón. Se mostró que la caja disipadora permite que las viviendas se inclinen conforme el escalón en la grieta crece. La medida de mitigación puede evitar el fracturamiento de los muros.

Al incluir un material deformable, en la cimentación de una vivienda y del lado alto de la grieta, se contribuye a mantener una distribución uniforme de esfuerzos sobre la losa de cimentación, cuando crece el escalón en la grieta.

7 AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de las investigaciones de este trabajo fueron realizadas con patrocinio de la Secretaría de Educación Ciencia Tecnología e Innovación de la Ciudad de México (SECTEI). Los autores agradecen esta colaboración.

REFERENCIAS

- Auvinet G., Méndez E. y Juárez M. (2017), "El subsuelo de la ciudad de México" ("The Subsoil of Mexico City"), Vol III, Instituto de Ingeniería, UNAM, Ciudad de México.
- Auvinet G. y Sánchez J. (2019) "Mitigación de deformaciones inducidas por grietas del suelo de la Ciudad de México", Gaceta del Instituto de Ingeniería UNAM, Núm. 138, Julio-Agosto, ISSN 1870347X, México.
- Auvinet G., Sánchez J. y Pineda A. (2019a), "Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo", Ingeniería Investigación y Tecnología. Vol. XX, Núm. 4, ISSN 2594-0732 FI-UNAM, México.
- Auvinet G., Juárez M., Méndez E., Martínez S., Hernández F., Sánchez J., Delgado M., Pineda A. y Román H. (2019b), "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", Informe final, elaborado por el Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM para el

- Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal, CDMX, México.
- Centro de Evaluación de Riesgos Geológicos, CERG, (2019), “*Modificaciones a las Nota técnica G-09*”, Alcaldía de Iztapalapa, Ciudad de México.
- Cundall P. and Strack O. (1979), “*A discrete numerical model for granular assemblies*”, *Géotechnique*, 29, Num. 1, pp. 47- 65.
- Cundall P. and Hart. R. (1992), “*Numerical Modeling of Discontinua*”, *Engineering Computations*, 9 (1992), 101-113.
- Feynman R., Leighton R. and Sands M. (1963), “*The Feynman lectures on physics, Mainly mechanics, radiations and heat*”, Vol. I, Addison-Wesley, USA.
- Itasca Consulting Group Inc. (2016), “*Particle Flow Code*”. Minneapolis, USA.
- Mexicana de Prefuerzo S. A. de C.V. MEXPRESA (2019), “*Casa habitación unifamiliar prototipo de 65m², que puede ser construida en suelos de zona lacustre en las alcaldías Iztapalapa, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco, Ciudad de México*”, Programa de Reconstrucción de la Ciudad de México.
- Potyondy D. and Cundall P. (2004), “*A bonded-particle model for rock*”, *International Journal for Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 48, Num. 8, 1329 – 1364.
- Potyondy D. (2011), “*Parallel-bond refinements to match macroproperties of hard rock*”, *Proceedings of second international FLAC/DEM symposium*, Melbourne, Australia.
- Taghavi R. (2011), “*Automatic clump generation based on mid-Surface*”, *Proceedings of second international FLAC/DEM symposium*. Melbourne, Australia.
- Sánchez J. y Auvinet G. (2020), “*Mejoramiento de terreno afectado por grietas para la cimentación de viviendas de mampostería*”, Sometido a: *Ingeniería Investigación y Tecnología*, México.
- Šmilauer V. and Chareyre B. (2015), “*DEM formulation*”, in *YADE documentation second edition*, The YADE Project, DOI 10.5281/zenodo.34044 (<http://yade-dem.org>).



Diseño de terraplenes ligeros para control de asentamientos

Design of light embankments for settlements control

Auvinet-Guichard Gabriel

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: gauvinetg@iingen.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4674-1659>

Sánchez-Guzmán Jesús

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Aragón

Correo: sangjesus@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2214-8156>

Resumen

Diversos estudios relativos a la porosidad de los materiales granulares muestran, a partir de consideraciones teóricas, modelos físicos y simulaciones numéricas, que los materiales uniformes presentan naturalmente un peso volumétrico menor que los materiales bien graduados. Lo anterior puede aprovecharse para construir terraplenes ligeros con asentamientos controlados sobre suelos de alta compresibilidad como las arcillas lacustres del valle de México. Para reducir aún más el peso del terraplén es posible recurrir a materiales granulares naturalmente ligeros como la escoria volcánica conocida localmente en México como *tezontle*, este se caracteriza por sus granos porosos y su bajo peso volumétrico. En este trabajo se analizan las características de dos *tezontles*, el primero bien graduado y el otro con granulometría más uniforme. Se propone finalmente una técnica constructiva que recurre a *tezontle* con granulometría controlada para la construcción de terraplenes ligeros sobre suelos blandos como los del valle de México.

Descriptores: Materiales granulares, granulometría, porosidad, peso volumétrico, escoria volcánica.

Abstract

Several existing studies on the porosity of granular materials based on theoretical considerations, physical models or numerical simulations show that uniform materials naturally present a lower unit weight than well-graded ones. This can be taken advantage of to build light embankments with controlled settlements on high compressibility soils such as the lacustrine clays of the valley of Mexico. To further reduce the weight of the embankment it is possible to resort to naturally light granular materials with porous grains such as the volcanic slag locally known in Mexico as *tezontle* that is characterized by its low unit weight. This paper analyzes the characteristics of two materials classified respectively as uniform and well-graded *tezontles*. Finally, a constructive technique using *tezontle* with controlled grain size distribution is proposed for the construction of light embankments on soft soils such as those in the Valley of Mexico.

Keywords: Granular materials, grain size distribution, porosity, unit weight, volcanic slag.

INTRODUCCIÓN

Al diseñar terraplenes sobre suelos blandos compresibles, es recomendable emplear un material de construcción de alta porosidad y bajo peso volumétrico para evitar que se presenten asentamientos excesivos. Esta disminución de los asentamientos permite a su vez reducir la altura del terraplén requerido para alcanzar la elevación de proyecto de la rasante, lo que conduce a una disminución adicional de los asentamientos.

Este trabajo revisa diversos estudios existentes respecto a la variación de la porosidad de un material granular con sus características granulométricas.

Por otra parte, se recurre a simulaciones numéricas de muestras granulares para estimar los valores de la porosidad que es posible alcanzar con escorias volcánicas ligeras conocidas en México localmente como *tezontle*. Algunas características físicas del *tezontle*, como el peso volumétrico de los granos y el ángulo de reposo observado en los conos volcánicos se obtienen de la literatura. Los parámetros para describir la interacción entre los granos de este material se obtienen por calibración de simulaciones con el Método de Elementos Discretos.

Se presenta finalmente una técnica constructiva que fue propuesta para pistas de aeropuerto sobre suelos blandos (Auvinet & Pérez, 2016). Esta técnica consiste en construir el cuerpo del terraplén de las pistas por capas constituidas por fracciones uniformes de un material de tipo *tezontle* obtenidas por cribado del material original.

Se concluye que el uso de *tezontle* con granulometría controlada para la construcción de terraplenes sobre el suelo blando del valle de México presenta un gran interés.

POROSIDAD DE MEDIOS GRANULARES

Desde hace muchos años se ha prestado atención a la porosidad de los materiales granulares y al diseño de mezclas de materiales granulares de alta o baja porosidad (Caquot, 1937; Auvinet & Bouvard, 1987).

La porosidad de los arreglos regulares de partículas esféricas de igual tamaño puede variar entre 0.26 y 0.48. Diversos autores como Caquot (1937); Auvinet (1986); Brouwers (2011) y Sánchez (2017) coinciden en que la porosidad de un arreglo aleatorio de esferas iguales es de aproximadamente 0.44. Sánchez *et al.* (2015a) presentaron evidencias de que la porosidad de estos arreglos aleatorios decrece cuando disminuye la fricción en la superficie de los granos.

En mezclas de esferas de dos tamaños, la porosidad depende de la relación entre los diámetros máximos y mínimos $D_{m\acute{a}x} / D_{m\acute{i}n}$ y de las proporciones en las que se encuentra cada componente (Furnas, 1931; Caquot,

1937; Auvinet, 1986; Dias *et al.*, 2004; Brouwers, 2006 y 2011; Sánchez *et al.*, 2015b; Sánchez, 2017). La porosidad mínima se obtiene cuando la relación de diámetros alcanza un valor tal que las partículas pequeñas rellenen en forma óptima los poros de las partículas grandes. La porosidad máxima se obtiene cuando la mezcla tiende a presentar una granulometría uniforme.

Las mezclas de N componentes pueden presentar porosidades bajas si se rellenan los poros de las partículas grandes con partículas cada vez más pequeñas. Sin embargo, en la práctica se obtienen porosidades mayores que las teóricas debido a los efectos de separación de partículas y de incremento de porosidad en la vecindad de las paredes. Feret (1892) y Auvinet (1986) mostraron que los arreglos aleatorios de tres componentes pueden ser más porosos que los de dos.

Diferentes estudios muestran, por otra parte, que los materiales de granulometría continua tienden a presentar porosidades mayores que los materiales de granulometría discontinua (Caquot, 1937; Auvinet & Bouvard, 1987), contrariamente a lo aceptado en la práctica común que consiste en buscar minimizar la porosidad con granulometrías continuas (Duriez & Arrambide, 1961).

De lo anterior, se concluye que los materiales más porosos son los de granulometría uniforme.

CARACTERIZACIÓN DEL TEZONTLE

En la cuenca endorreica de México predominan rocas volcánicas y sedimentos lacustres. Las rocas volcánicas se encuentran en las sierras de la periferia de la cuenca como secuencias alternadas de derrames de lavas, material piroclástico y cenizas. Los sedimentos lacustres se encuentran distribuidos principalmente en la parte central de la cuenca (Mooser, 1963; Marsal & Mazari, 1959).

Este ambiente geológico conduce a una condición peculiar para el desarrollo de la Ciudad de México desde el punto de vista geotécnico. Por una parte, los suelos blandos de origen lacustre demandan construcciones livianas y, por otra, la escoria producida por los volcanes cercanos es precisamente un material ligero que puede ser útil en la construcción. El *tezontle* (del idioma náhuatl, *tetl*: piedra y *tzontli*: cabellera) ha sido por tanto, ampliamente usado en México desde la época prehispánica. Las escorias volcánicas también han sido consideradas como útiles en otras partes del mundo (Hossain, 2004).

GRANULOMETRÍA

El *tezontle* disponible en los bancos de préstamo de la Ciudad de México, puede presentar granulometrías muy variadas, desde bien graduadas con coeficiente de uniformidad $Cu=23$ (T1 en la Figura 1) hasta mal graduadas con $Cu=2$ (T2 en la Figura 1). El material T1-F3 de la Figura 1 es una fracción granulométrica del *tezontle* bien graduado, de interés en el siguiente apartado de este trabajo.

En algunos casos, se ha observado (González, 2016), que la granulometría del *tezontle*, sin tratamiento alguno en el banco, cumple con las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes para materiales de construcción de sub-base de carreteras (SCT, 2011). Este es el caso del *tezontle* bien graduado T1 de la Figura 1.

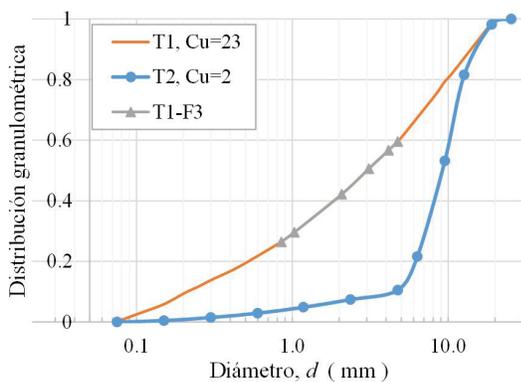


Figura 1. Granulometría de *tezontles* de la Ciudad de México (Instituto de Ingeniería, 2016)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

La escoria volcánica es un material piroclástico de composición basáltica o andesítica. Se forma cuando el magma que contiene abundantes gases disueltos, fluye desde el interior de un volcán. A medida que la roca fundida emerge de la tierra, la presión se reduce y el gas disuelto trata de escapar en forma de burbujas. Si la roca se solidifica antes de que el gas escape, las burbujas quedan como pequeñas cavidades llamadas vesículas (Kurniawan *et al.*, 2009).

Las vesículas confieren a los granos de escoria una densidad de sólidos, s_s , relativamente baja. Estas vesículas están presentes desde la escala de los minerales hasta la macro escala (Jackson *et al.*, 2005; Agustín, 2009). En análisis petrográficos (a la escala de los minerales constitutivos) se ha observado que las vesículas representan hasta 36 % del volumen total (Agustín, 2009).

Para evaluar la densidad de los granos de escoria, McGetchin *et al.* (1974) colectaron 94 bombas de tamaño

comprendido entre 0.1 y 0.3 m producidas por la erupción del Monte Etna, Italia. Cada fragmento se sumergió en parafina para sellar su superficie. La densidad de cada bomba se obtuvo por inmersión en agua, corrigiendo por volumen y peso de la parafina en cada caso. El intervalo de valores obtenidos fue [1.2, 2.8] como se observa en la Figura 2. Un 50 % de los fragmentos presentaron densidades comprendidas en el intervalo [1.35, 1.92]. La mediana de la densidad de las bombas resultó de 1.53.

Hossain (2004) reporta una densidad de 1.15 para agregados de escoria triturados. Sin embargo, no proporciona detalles del número de mediciones ni de la dispersión de los resultados.

Por su parte, González (2016) obtuvo valores de la densidad de sólidos de 2.58 a 2.92, machacando las partículas de *tezontle* y en consecuencia eliminando la presencia de aire.

Otras pruebas de laboratorio realizadas por Instituto de Ingeniería, UNAM (2014) con partículas de *tezontle* no impermeabilizadas dieron una densidad media de 1.88.

Las diferencias tan considerables entre las densidades obtenidas por los distintos autores se deben a la consideración o no de las vesículas en los granos de escoria.

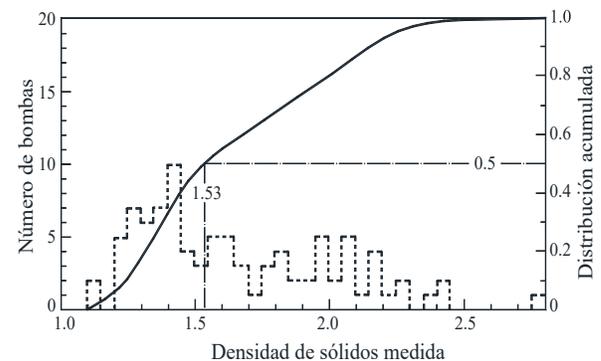


Figura 2. Densidad de bombas del cráter noreste del monte Etna (adaptado de McGetchin *et al.*, 1974)

Las partículas de escoria se caracterizan por la irregularidad y la aspereza de su superficie. Cambou (1974) realizó un estudio sobre el coeficiente de fricción en superficies de distintos tipos de rocas. Se observó que el coeficiente de fricción varía con el tipo de roca, la irregularidad de la superficie, la fuerza normal, la presencia de agua y la velocidad de deslizamiento. Las pruebas con basalto mostraron que para superficies brutas y con distintas cargas normales, el coeficiente de fricción varía entre 0.6 y 0.8. Tomando en cuenta que los granos de escoria tienen la misma composición mineral que el basalto, estos resultados sugieren que se puede adoptar

como representativo el valor medio del coeficiente de fricción $\mu_f = 0.7$.

Para simular muestras granulares de este material con el Método de Elementos Discretos (Programa PFC v5, Itasca, 2015) se considera que el modelo de contacto lineal con resistencia al giro (Iwashita y Oda, 1998; Zhou *et al.*, 2002; Ai *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2015) es el adecuado. En este modelo, los parámetros más relevantes de los granos son el coeficiente de fricción, μ_f , que se asocia a la aspereza de la superficie, y el coeficiente de resistencia al giro, μ_r , que se relaciona con la angulosidad de los granos.

Se ha observado que los volcanes más comunes en la tierra son conos de escoria. Porter (1972) sugiere que la forma del cono refleja, entre otras características, el ángulo de reposo de las partículas de la escoria. Por lo general, este ángulo varía de 30° a 40° (McGetchin *et al.*, 1974). A partir de algunas fotografías, se observa que los montículos de tezontle formados en bancos de préstamo de la Ciudad de México, presentan un ángulo de reposo medio de 36°.

Tomando en cuenta lo anterior, se realiza un análisis de sensibilidad colocando una muestra granular con una granulometría relativamente uniforme dentro de un recipiente cilíndrico. Se proponen pares de valores μ_f , μ_r y, el recipiente se desplaza hacia arriba para que el material granular forme un montículo (de acuerdo con la metodología sugerida por Itasca (2015)). En cada caso se calcula el ángulo de reposo del montículo resultante. La Figura 3 presenta el montículo obtenido por simulación correspondiente a $\mu_f = 0.7$ y $\mu_r = 0.5$.

En la Figura 4 se observa que el ángulo de reposo de los montículos simulados es aproximadamente constante para $0.5 < \mu_f < 1.0$ y para $0.5 < \mu_r < 0.9$. Con $\mu_f = 0.1$ no se forma montículo. Los resultados indican que el coeficiente de fricción tiene mayor influencia que el

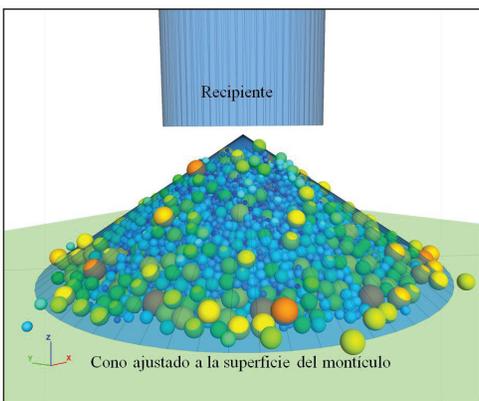


Figura 3. Simulación de la formación de un montículo de escoria volcánica considerando partículas esféricas friccionadas y con resistencia al giro

coeficiente de resistencia al giro sobre el ángulo de reposo del montículo.

Para afinar los resultados se simula la formación de otros montículos con la granulometría T1-F3 (Figura 1), con $\mu_f = 0.7$ y con diferentes valores de μ_r . De acuerdo con las observaciones de McGetchin *et al.* (1974) y en forma conservadora, se adopta un valor de $\mu_r = 0.5$ (Figura 4) como representativo de los granos de escoria.

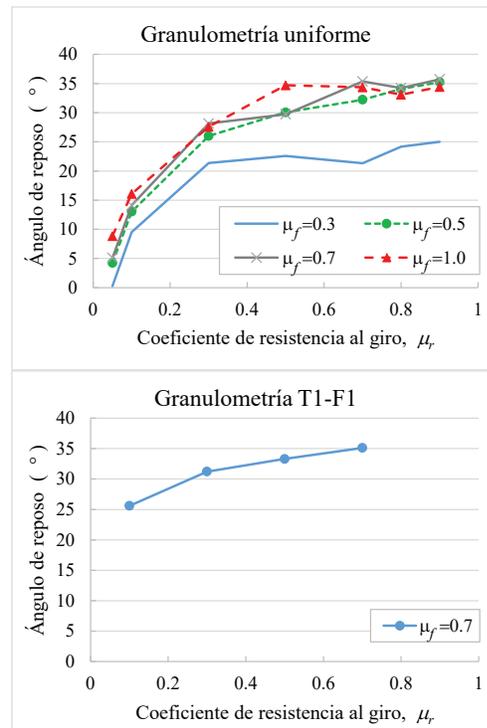


Figura 4. Calibración de las propiedades físicas del tezontle, coeficiente de fricción μ_f y coeficiente de resistencia al giro μ_r

POROSIDAD DE MUESTRAS DE TEZONTLE

Como se señaló en el apartado de porosidad de medios granulares, este parámetro es mayor para materiales de granulometría uniforme. Por tanto, se propone separar los materiales típicos de la Figura 1 en fracciones granulométricas relativamente uniformes como se muestra en la Figura 5.

Por facilidad práctica, los límites de las fracciones granulométricas corresponden a aberturas de mallas estándar. Se busca también distribuir las fracciones granulométricas en proporciones de peso, p , aproximadamente iguales.

Para cada fracción granulométrica se simula una muestra granular con 30,000 partículas esféricas, recurriendo al Método de Elementos Discretos, considerando las características físicas de los granos obtenidas en el inciso anterior.

La formación de la muestra granular consiste en escoger los diámetros de las partículas de acuerdo con la granulometría conocida (Auvinet, 1986), las partículas se generan en posiciones aleatorias dentro de un espacio en forma de paralelepípedo, se asignan los parámetros de la simulación y se dejan caer las partículas por gravedad hasta alcanzar el equilibrio. La Figura 6 ejemplifica este procedimiento.

La Figura 7 presenta la granulometría obtenida simulando cada fracción granulométrica por separado. Los puntos muestran la granulometría obtenida en laboratorio (Instituto de Ingeniería, 2016). Se observa que las simulaciones numéricas reproducen satisfactoria-

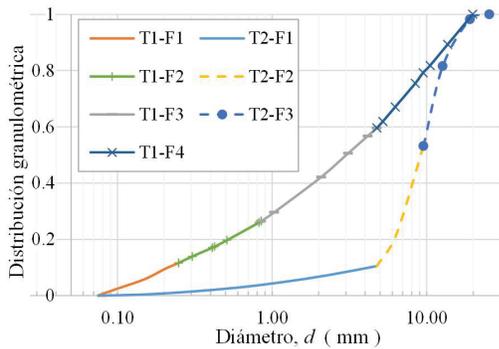


Figura 5. Separación de los tezontles en fracciones granulométricas

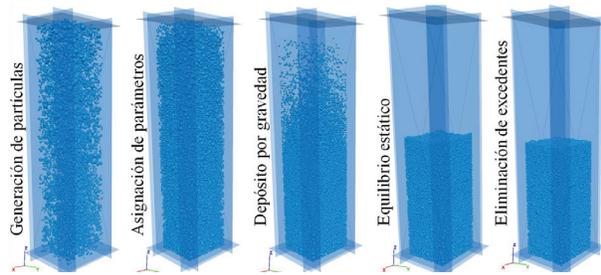


Figura 6. Proceso de simulación de muestras granulares de tezontle

mente la granulometría obtenida en laboratorio.

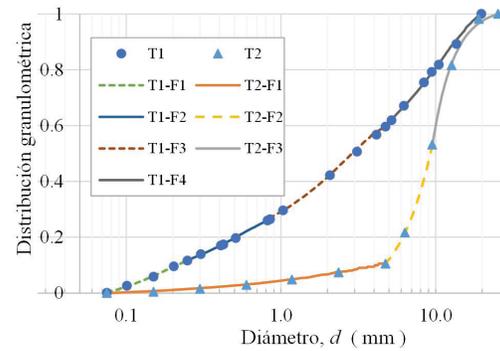


Figura 7. Comparación de las granulometrías obtenidas por simulación y en laboratorio

También se simularon simultáneamente dos o tres fracciones granulométricas con la finalidad de mostrar el efecto de la granulometría sobre la porosidad. No es posible simular la granulometría completa porque se requeriría un número excesivo de partículas, del orden de 10^{11} granos.

Para evaluar la porosidad de cada muestra simulada se recurre a la técnica de Monte Carlo. Se generan puntos al azar en el espacio y se cuenta el número de puntos que caen en los poros. La porosidad se calcula como la relación entre el número de puntos en los poros y el número total de puntos utilizados en la estimación. La evaluación se realiza en un volumen suficientemente grande respecto al tamaño de las partículas para evitar efectos de escala (Auvinet 1986, Auvinet y Bouvard, 1988). Se utilizan 10^6 puntos para que el error asociado al método de estimación sea suficientemente bajo (Sánchez *et al.*, 2015a), en este caso del orden de 0.05 %. El volumen de análisis se mantiene alejado de las fronteras para evitar un sesgo en la porosidad por efecto de pared (Auvinet, 1986).

La Tabla 1 presenta la porosidad medida en las muestras granulares de acuerdo con el párrafo anterior. La porosidad de las fracciones granulométricas uniformes es claramente mayor que la de las fracciones granulométricas mejor graduadas como F3 + F4, F2 + F3 + F4 y T2 - F1.

Tabla 1. Características de las muestras granulares simuladas

Muestra	d (mm)	p	Cu	n (%)	Muestra	d (mm)	p	Cu	n (%)
T1-F1	[0.075,0.25]	0.12	1.9	38.5	T2-F1	[0.025, 4.75]	0.10	8.5	25.9
T1-F2	[0.25, 0.85]	0.15	1.9	38.3	T2-F2	[4.75, 9.53]	0.43	1.4	40.7
T1-F3	[0.85, 4.75]	0.33	2.4	35.9	T2-F3	[9.53, 25.4]	0.47	1.3	39.8
T1-F4	[4.75, 19.8]	0.40	2.0	37.6					
F3+F4	[0.85, 19.8]	0.73	5.6	25.0					
F2+F3+F4	[0.25, 19.8]	0.88	9.5	22.9					

p = proporción, en peso, que representa una fracción granulométrica

Es de esperarse que la porosidad de los tezontles T1 y T2 considerando toda la granulometría sea inferior a 23 %. Se confirma así, que el peso volumétrico de un material granular con su granulometría completa es mayor que la de sus fracciones granulométricas.

PESO VOLUMÉTRICO DE MUESTRAS DE TEZONTLE

Tomando en cuenta la densidad de los granos de tezontle incluyendo las vesículas de aire (McGetchin *et al.*, 1974) y la porosidad de las muestras granulares simuladas es posible obtener el peso volumétrico de distintas muestras de tezontle.

Para las muestras de tezontle simuladas, la Tabla 2 presenta el peso volumétrico seco, γ_d , que se calcula con la expresión 1.

$$\gamma_d = (1 - n) s_s \gamma_w \tag{1}$$

Donde:

- n = porosidad del material granular
- s_s = densidad de sólidos considerando la presencia de vesículas en las partículas
- γ_w = peso volumétrico del agua

En la Tabla 2 se observa que el peso volumétrico del material crece cuando aumenta el coeficiente de uniformidad granulométrico. La separación en fracciones granulométricas permite reducir el peso volumétrico aproximadamente en un 23 %. En efecto, se pone en evidencia que controlando la granulometría se obtienen porosidades que varían de 0.22 a 0.40, al mismo tiempo que el peso volumétrico seco pasa de 12.2 kN/m³ a 9.4 kN/m³, respectivamente.

Tomando en cuenta que las simulaciones se realizan con partículas esféricas, las porosidades así obtenidas pueden representar un límite inferior de los valores reales. Como continuación de este trabajo, se estudia el efecto de la geometría de los granos sobre la porosidad del medio granular.

Tabla 2. Peso volumétrico de muestras de tezontle

Muestra granular	C_u	γ_d (kN/m ³)	Muestra granular	C_u	γ_d (kN/m ³)
T1-F1	1.9	9.4	T2-F1	8.5	11.3
T1-F2	1.9	9.4	T2-F2	1.4	9.1
T1-F3	2.4	9.8	T2-F3	1.3	9.2
T1-F4	2.0	9.5			
F3+F4	5.6	11.5			
F2+F3+F4	9.5	11.8			

González (2016) obtuvo pesos volumétricos de 9 a 12 kN/m³ en muestras de tezontle en estado suelto con granulometría bien graduada. El segundo valor coincide satisfactoriamente con el que se obtiene en la muestra F2+F3+F4. En la práctica es posible obtener valores de peso volumétrico menores debido a la forma irregular de los granos de tezontle y porque en las simulaciones se adoptaron valores conservadores del coeficiente de fricción y del coeficiente de resistencia al giro de las partículas.

Para muestras de granos aproximadamente uniformes de escoria volcánica de Djoungo, Camerún, Juimo *et al.* (2016) reportan pesos volumétricos de 5.6 a 8.2 kN/m³ y porosidades de 48 a 54 %. Sin embargo, los autores señalan que cada espécimen de prueba está constituido por solamente 20 granos, por lo que sus resultados son poco representativos.

CONSTRUCCIÓN DE TERRAPLENES LIGEROS

A continuación, se presenta una técnica constructiva de terraplenes ligeros que aprovecha por una parte la porosidad naturalmente alta de los materiales de granulometría uniforme y por otra las propiedades peculiares del tezontle examinadas en los incisos anteriores. Esta técnica fue propuesta para la construcción de pistas de aeropuerto sobre suelos blandos e implementada en terraplenes de prueba (Auvinet, 2016).

Un terraplén típico está constituido por el cuerpo principal del terraplén y por los materiales superficiales que constituyen el pavimento (Figura 8). Los materiales del pavimento (base y carpeta asfáltica) tienen requisitos estrictos de resistencia y deformabilidad que no permiten el empleo de materiales de alta porosidad. Por lo contrario, el cuerpo del terraplén puede construirse con materiales ligeros como el tezontle para evitar asentamientos excesivos.

Considerando la granulometría natural de tezontles como los estudiados en este trabajo, es posible construir un terraplén ligero siguiendo los pasos y recomendaciones siguientes:

- Por cribado, se divide el material disponible en tres o cuatro fracciones con granulometría lo más uni-

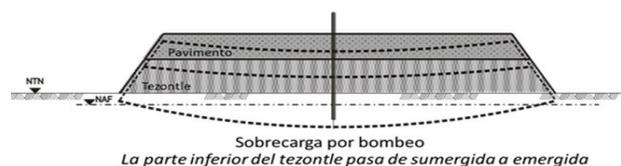


Figura 8. Terraplén sobre suelos blandos. Condición inicial y deformada

forme posible ($C_u < 2$). Se sugiere separar las fracciones granulométricas de acuerdo con las mallas estándar. Es preferible que las fracciones granulométricas representen partes iguales en proporciones de peso. Eventualmente se puede desechar la fracción de partículas más pequeñas si esta representa una baja proporción del total de peso.

- Se coloca a volteo el material de cada fracción granulométrica en una capa del terraplén y se acomoda con equipo ligero. Considerando que la porosidad de las distintas fracciones granulométricas por separado es aproximadamente la misma, las capas del terraplén resultarán de un espesor proporcional a la proporción en peso que representa la fracción granulométrica. Para un terraplén de 1m de espesor, una capa resultará de 25 cm si la fracción granulométrica que la constituye representa 25 % en peso del total de la granulometría.
- Se coloca el material en orden de tamaño decreciente, con la fracción granulométrica de las partículas más grandes en la parte inferior.
- Se separan las capas del terraplén con un geotextil para evitar la mezcla de partículas de diferentes capas que afecte la porosidad. La presencia del geotextil contribuye a aumentar aún más la porosidad por efecto de frontera (Auvinet, 1986).
- Se colocan los materiales del pavimento (base y sub-base) en forma tradicional.

La Figura 9 muestra la configuración de las capas de tezontle adoptada para un terraplén de prueba con drenes de arena para aceleración del proceso de consolidación (Auvinet, 2016).

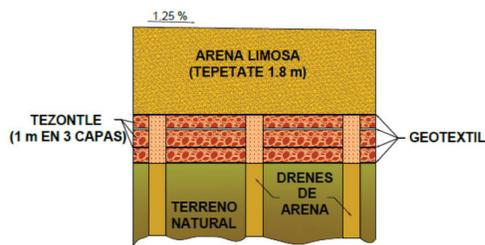


Figura 9. Colocación de tezontle por capas de fracciones granulométricas diferentes en un terraplén de prueba

La Figura 10 presenta simulaciones de dos calas representativas de terraplenes ligeros construidos con los tezontles analizados en esta investigación. Se usa un factor de escala para aumentar el tamaño de los granos; lo anterior permite reducir el número de partículas y disminuir el tiempo de cómputo sin alterar la granulometría.

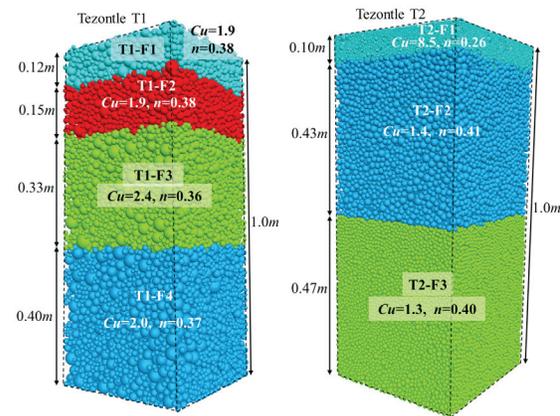


Figura 10. Simulación de calas en terraplenes ligeros construidos por capas

En las calas simuladas no se incluye el geotextil para separar las capas, por lo que algunas partículas pueden migrar de una capa a otra, principalmente en el tezontle T2. Si se colocaran los tezontles sin separarlos en fracciones granulométricas y con la misma cantidad de material, la altura de 1m del terraplén se reduciría a 0.78 m aproximadamente. Ya se mencionó que, en la práctica, con partículas más ligeras y no esféricas, pueden esperarse diferencias aún mayores.

La construcción de terraplenes ligeros siguiendo las directrices de este trabajo tiene por tanto como ventaja, además de reducir los asentamientos esperados, la de disminuir el peso de material por acarrear para que el terraplén alcance determinada elevación.

Conviene finalmente recordar que, en presencia de un nivel freático poco profundo, el cálculo de los esfuerzos efectivos actuantes en el suelo y del asentamiento del terraplén correspondiente debe tomar en cuenta el alivio adicional en el peso de los materiales por efecto de la sumersión (Auvinet, 1979 y 2016). En efecto, a consecuencia de los asentamientos, una parte del suelo natural superficial y eventualmente del terraplén puede pasar abajo del nivel freático (Figura 8). El peso volumétrico sumergido de un suelo es igual a:

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (2)$$

Donde:

γ_{sat} = peso volumétrico saturado
 γ_w = peso volumétrico del agua

CONCLUSIONES

Los suelos blandos de la Ciudad de México demandan materiales de construcción ligeros. Este trabajo se enfoca en el diseño de terraplenes livianos que pueden ser utilizados con diferentes objetivos. Los materiales granulares de granulometría uniforme presentan un menor peso volumétrico que los materiales bien graduados.

Para una mayor reducción del peso volumétrico es posible recurrir a escorias volcánicas (*tezontle*). El *tezontle* es un material de peso volumétrico generalmente bajo debido a la presencia de vesículas en el interior de las partículas. Además, la aspereza de la superficie de las partículas dificulta el movimiento relativo entre granos, lo que contribuye a mantener una porosidad alta.

Se presentan en este trabajo, simulaciones de la estructura de *tezontles* típicos recurriendo al Método de Elementos Discretos. Para obtener un valor representativo de la densidad de los granos de *tezontle* se recurrió a resultados de experimentos físicos reportados en la literatura y se adoptó el estudio mejor planteado estadísticamente. Los valores de otros parámetros se obtuvieron por medio de un análisis paramétrico, comparando el ángulo de reposo obtenido de simulaciones numéricas con el ángulo de reposo observado en conos volcánicos y en montículos de bancos de materiales.

En las simulaciones numéricas realizadas se consideró como representativo un modelo de contacto lineal con resistencia al giro. En este, el coeficiente de fricción, μ_f , se asocia a la aspereza de la superficie, y el coeficiente de resistencia al giro, μ_r , se relaciona con la angulosidad de los granos.

El análisis de la variación de la porosidad se realizó con dos *tezontles*, uno bien graduado y otro mal graduado. Se observó que la porosidad puede aumentar aproximadamente al doble cuando el material se separa en fracciones granulométricas.

En los *tezontles* analizados, dicha separación permite obtener materiales de granulometría aproximadamente uniforme, con un peso volumétrico del orden de 23 % más liviano que el del material original. El mismo principio se puede aplicar a cualquier material granular. Esta afirmación se sustenta en diversas investigaciones, teóricas y experimentales, sobre mezclas óptimas (de porosidad mínima).

Los pesos volumétricos obtenidos a partir de las simulaciones coinciden con resultados experimentales. Algunos autores reportan pesos volumétricos aún menores y aunque no se da información suficiente para calibrar las simulaciones aquí realizadas, es posible que dichos pesos se logren si la densidad de los granos de

tezontle es menor, o si la forma angulosa de las partículas favorece una mayor porosidad.

La presente investigación permite dar recomendaciones prácticas para la construcción de terraplenes ligeros colocando cada fracción granulométrica en una subcapa. Se recomienda agregar un geotextil entre las subcapas para evitar la migración de partículas y aumentar la porosidad aún más por efecto de frontera.

Se considera necesario realizar experimentación física para complementar los resultados de este trabajo.

REFERENCIAS

- Agustín, J. (2009). *Geología y petrogénesis de los volcanes monogenéticos pelagatos, cerro del agua y dos cerros en la sierra Chichinautzín, al sur de la Ciudad de México*. (Tesis de Maestría en ciencias (Vulcanología)). Posgrado en Ciencias de la Tierra, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Ai J., Chen, J., Rotter, J. & Ooi, J. (2011). Assessment of rolling resistance models in discrete element simulations. *Powder Technology*, 206, 269-282.
- Auvinet, G. (1979). Precarga en arcillas del Valle de México. Memoria, Simposio sobre mejoramiento masivo de suelos, Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, pp. 100-102, México.
- Auvinet, G. (1986). *Estructura de los medios granulares*. (Tesis doctoral). División de Estudios de Posgrado, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Auvinet, G. & Bouvard, D. (1987). Low porosity granular soils mixtures. VIIIth Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 3, 251-261, Cartagena, Colombia.
- Auvinet, G. & Bouvard, D. (1988). Geometric scale effect in granular media. Proc. of Powders and Grains, International Conference on Micromechanics of Granular Media, 29-34, Gourves et al., Eds. Clermont-Ferrand, France.
- Auvinet, G. & Pérez A. M. (2016). Terraplenes y bordos sobre suelos blandos. Memoria, XXVIII Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica, Mérida, México
- Brouwers, H. (2006). Particle-size and packing fraction of geometric random packings. *Physical Review*, E 74, 031309, 1-14.
- Brouwers, H. (2011). Packing fraction of geometric random packings of discretely sized particles. *Physical Review*, E 84, 042301, 1-3.
- Cambou, B. (1974). *Etude du frottement entre matériaux rocheux*. Coopération technique Franco-Mexicaine: Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Caquot, A. (1937). Rôle des matériaux inertes dans le béton. Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France, Fascicule 4, Juillet-Août, France.
- Dias, R., Teixeira, J., Mota, M. & Yelshin, A. (2004). Particulate binary mixtures: dependence of packing porosity on particle size ratio. *American Chemical Society, Ind. Eng. Chem., Res.* 43, 7912-7919. <https://doi.org/10.1021/ie040048b>

- Duriez, M. & Arrambide, J. (1961). *Nouveau traité de matériaux de construction*. Vol. I, France: Dunod Editeur.
- Feret, R. (1892). *Annales des Ponts et Chaussées*. Paris, France: Juillet.
- Furnas, C. (1931). Grading aggregates. I. Mathematical relations for beds of broken solids of maximum density. *Ind. Eng. Chem.*, 23, USA.
- González, D. (2016). *Caracterización mecánica de escoria volcánica compactada de la Ciudad de México y sus alrededores*. (Tesis de maestría (Geotecnia)). Programa de Maestría y Doctorado en Geotecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Hossain, K. (2004). Properties of volcanic scoria based lightweight concrete. *Magazine of Concrete Research*, 56(2), 111-120. <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1680%2Fmacr.56.2.111.36296>
- Instituto de Ingeniería, UNAM. (2014). *Reporte interno de pruebas del laboratorio de vías terrestres. Densidad relativa de materiales pétreos para mezclas asfálticas*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Instituto de Ingeniería, UNAM. (2016). Nota Técnica No. GEO-44. Investigaciones y estudios especiales relacionados con aspectos geotécnicos del Nuevo Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (NAICM) en el vaso del Ex lago de Texcoco, zona federal, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Itasca Consulting Goup Inc. (2015). *Particle flow code 5.0, documentation*. Updated Jun, 2019.
- Iwashita, K. & Oda, M. (1998). Rolling resistance at contacts in simulation of shear band development by DEM. *Journal of Engineering Mechanics ASCE*, (124), 285-292. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=2143042>
- Jackson, J.A., Mehl, J. & Neuendorf, K. (2005). *Glossary of Geology*. Alexandria, Virginia: American Geological Institute. ISBN 0-922152-76-4.
- Jiang, M., Shen, Z. & Wang, J. (2015). A novel three-dimensional contact model for granulates incorporating rolling and twisting resistances. *Computers and Geotechnics*, (65), 147-163.
- Juimo, W., Cherradi, T., Abidi, L. & Oliveira, L. (2016). Characterization of natural pozzolan of "Djoungo" (Cameroon) as lightweight aggregate for lightweight concrete. *International Journal of GEOMATE*, 11(27), 2782-2789.
- Kurniawan, A., Kenzie, J. Mc. & Putri, J.A. (2009). General dictionary of geology. *Environmental Geographic Student Association*, Indonesia. <https://doi.org/10.1029/JB079i023p03257>
- Marsal, R.J. & Mazari, M. (1959). *The subsoil of Mexico City*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- McGetchin, T., Settle, M. & Chouet, B. (1974). Cinder cone growth modeled after northeast craters, Mount Etna, Sicily. *Journal of Geophysical research*, 79, (23), 3257-3272. <https://doi.org/10.1029/JB079i023p03257>
- Mooser, F. (1963). Historia tectónica de la Cuenca de México. *Boletín de la Asociación de Geólogos Petroleros*, Nov-Dic, 1963.
- Porter S. (1972). Distribution, morphology and size frequency of cinder cones on Mauna Kea volcano, Hawaii. *Geological Society of America Bulletin*, 83, 3607-3612
- Sánchez, J., Auvinet, G. & Cambou, B. (2015a). Fabric of monosized granular media. *Geomechanics form Micro to Macro*. Soga *et al.* (eds): 1, 73-78, ©Taylor & Francis Group, London, U.K.
- Sánchez, J., Auvinet, G. & Cambou, B. (2015b). Coordination number and geometric anisotropy in binary sphere mixtures. *Geomechanics form Micro to Macro*. Soga *et al.* (eds.): 1, 225-230, ©Taylor & Francis Group, London, U.K.
- Sánchez, J. (2017). *Estudio de los medios granulares por el método de elementos discretos*. (Tesis doctoral). Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México. <http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12372>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT). (2011). Características de los materiales para pavimentos: Materiales para Sub base y Base, N-CMT.4-02-001/11, México.
- Zhou, Y., Xu, B. & Zulli, P. (2002). An experimental and numerical study of the angle of repose of coarse spheres. *Powder Technology*, 25, 45-54.



Mejoramiento de terreno afectado por grietas para la cimentación de viviendas de mampostería

Improvement of ground affected by cracks for the foundation of masonry houses

Sánchez-Guzmán Jesús

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: sangjesus@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-2214-8156>

Auvinet-Guichard Gabriel

Universidad Nacional Autónoma de México

Instituto de Ingeniería

Correo: gauvinetg@iingen.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0003-4674-1659>



Resumen

Este trabajo se refiere al problema del agrietamiento del suelo, el cual afecta gran parte de la zona lacustre del valle de México. Por medio de simulaciones por el Método de Elementos Discretos se estudia el efecto de las grietas sobre el comportamiento de viviendas de mampostería. Específicamente, se consideran las grietas con escalón que se presentan en las zonas de transición entre suelos blandos y firmes de la ciudad. Los modelos reproducen en forma cualitativa los mecanismos de deformación y de fracturamiento que se observan típicamente en las viviendas afectadas. Se pone en evidencia que al incluir una caja disipadora de deformaciones constituida por material granular en la cimentación, los daños en las viviendas se reducen considerablemente. Además, se revisa el comportamiento de la cimentación de "viviendas tipo" en construcción en el área y se emiten algunas recomendaciones complementarias para el mejoramiento del terreno de cimentación.

Descriptor: Grieta, escalón, vivienda de mampostería, cimentación, caja disipadora, material granular.

Abstract

This work refers to the problem of soil cracking that affects a large part of the former lake area of the valley of Mexico. The effect of cracks on the behavior of masonry houses is studied by means of simulations performed using the Discrete Elements Method. Specifically, the cracks with escarpment occurring in the transition zones between soft and firm soils of the city are considered. The models reproduce qualitatively the deformation and fracturing mechanisms that are typically observed in the affected buildings. It is evidenced that by including a dissipative box of granular material in the foundation, the damages in the houses are reduced considerably. In addition, the expected behavior of the foundation of typical new housing build in the area is reviewed and some complementary recommendations for improvement of the foundation ground are given.

Keywords: Crack, escarpment, masonry house, foundation, dissipative box, granular material.

INTRODUCCIÓN

El agrietamiento del suelo de la Ciudad de México induce daños en las vialidades, servicios públicos y edificaciones. Las grietas asociadas al hundimiento regional en zonas de transición son particularmente problemáticas debido a que presentan un escalón y son difíciles de controlar (Auvinet *et al.*, 2017).

Los sismos de 2017 agravaron el problema del agrietamiento y de los daños a las edificaciones. Por lo anterior, se puso en marcha el Programa de Reconstrucción de la Ciudad de México, que contempla el diseño de viviendas familiares para la reconstrucción de edificaciones dañadas.

Tomando en cuenta que no es posible detener el hundimiento regional de la ciudad en el corto plazo, los esfuerzos deben concentrarse en implementar medidas de mitigación de daños para prolongar la vida útil de las viviendas por reconstruir. Auvinet *et al.* (2019a) han propuesto recurrir a una "caja disipadora de deformaciones unitarias" para distribuir el desplazamiento vertical del escalón de una grieta en una distancia horizontal considerable en la superficie del terreno (Figura 1).

Este trabajo se enfoca en el estudio del efecto de la caja disipadora sobre el comportamiento de viviendas. Los análisis se realizan por medio de simulaciones numéricas con el Método de Elementos Discretos (Cundall y Strack, 1979), tomando en cuenta tanto las grietas en el suelo como las características estructurales de las viviendas.

Los objetivos de este trabajo son el comportamiento de una vivienda simplificada de mampostería afectada por una grieta con escalón en el suelo, sin y con caja disipadora, y proponer algunas modificaciones a dicha caja para obtener un mejor comportamiento en una vivienda tipo.

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.

DAÑOS EN LAS VIVIENDAS CAUSADOS POR EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO

Las viviendas que se encuentran directamente sobre grietas en el suelo pueden verse afectadas en diferentes

formas dependiendo de las condiciones que la grieta impone, así como de las características de su estructura. Frecuentemente, la estructura se constituye por muros de mampostería reforzados con algunos elementos de concreto. Se ha observado que, generalmente, las edificaciones afectadas no cuentan con una cimentación formal, sino únicamente con un firme sobre el cual se desplantan (Auvinet *et al.*, 2019b).

Cuando la vivienda es de dimensiones pequeñas y se encuentra bien estructurada se mueve como cuerpo rígido, sin daños, pero con inclinaciones considerables (Figura 2a).

Frecuentemente, los muros de mampostería son los primeros en fracturarse. 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 (Figura 2b).

Cuando los escalones en las grietas alcanzan alturas considerables, se imponen desplazamientos tan grandes a las viviendas, que los muros de mampostería pueden presentar fracturas con amplias aberturas (Figura 2c).

SIMULACIÓN SIMPLIFICADA DEL COMPORTAMIENTO DE VIVIENDAS

Para analizar el comportamiento de viviendas en presencia de grieta se recurre al Método de Elementos Discretos (DEM), (Cundall y Hart, 1992). El medio se representa mediante un conjunto de partículas individuales que interactúan en sus puntos de contacto. Los contactos entre partículas se crean y se destruyen durante el proceso de cálculo. El método es capaz de reconocer automáticamente los nuevos contactos. A la escala de las partículas se hace uso de la mecánica del cuerpo rígido. El cálculo numérico se realiza alternando la aplicación de la segunda ley de Newton en cada partícula y de una ley fuerza-desplazamiento (modelo de contacto) en los puntos de contacto. La forma elemental de las partículas es la esfera, sin embargo, es posible considerar cualquier geometría.

Desde un punto de vista macroscópico, las deformaciones se deben a los movimientos relativos entre granos, siendo despreciables las deformaciones internas de las partículas (Sánchez, 2017).

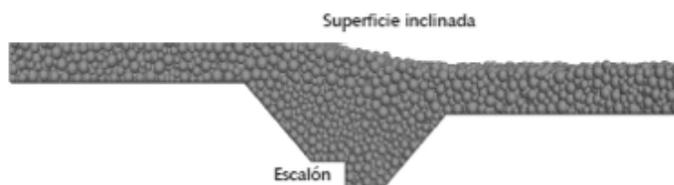


Figura 1. Caja disipadora de deformaciones unitarias





Figura 2. Daños observados en viviendas de mampostería afectadas por grietas en el suelo

Tomando en cuenta lo anterior, se construye un modelo tridimensional simplificado con elementos discretos recurriendo al programa PFC v5 (Itasca, 2016). La edificación consta de cuatro muros de ladrillos. Se acepta que los ladrillos son cuerpos rígidos que interactúan en sus contactos por fricción (coeficiente de fricción $\mu = 0.7$) y con una densidad de sólidos $\rho = 1.7$; no se toma en cuenta la cohesión del mortero de unión ni los elementos de refuerzo estructural de la vivienda.

Cada ladrillo se representa por medio de un grupo de esferas secantes que se construye con el algoritmo de Taghavi (2011). Entre mayor sea el número de esferas y más diversos sean sus diámetros, mejor será la representación geométrica del ladrillo, sin embargo, esto implica un mayor tiempo de cálculo. Los ladrillos interactúan unos con otros en sus puntos de contacto y no se pueden romper.

Los muros de mampostería se construyen colocando uno a uno los ladrillos en un arreglo conveniente. La Figura 3 presenta un ejemplo de ladrillo y el modelo simplificado de la vivienda. En el modelo se considera que se presenta una grieta en el suelo de desplante que cruza perpendicularmente dos de los muros. En otro caso de análisis se considera que la grieta incide con un ángulo de 60° respecto a la dirección longitudinal del muro.

El estado inicial de la vivienda de mampostería es el que se presenta en la Figura 3; los muros se encuentran

en equilibrio estático. Para generar un escalón en la grieta, se impone una velocidad descendente en el plano horizontal ubicado del lado derecho del modelo. Esta velocidad es lo suficientemente baja para no inducir efectos de inercia en los muros de la vivienda. Los resultados se revisan cuando el escalón presenta una altura final de $\delta_z = 0.05, 0.1$ y 0.2 m.

La Figura 4 presenta los desplazamientos verticales de la construcción de mampostería para diferentes alturas δ_z del escalón de la grieta. Se observa que para $\delta_z = 0.05$ m, los ladrillos que están en contacto con la grieta se separan entre sí y se abre una fractura en la base de los muros. Los ladrillos que se encuentran del lado alto de la grieta permanecen en su posición inicial. Los desplazamientos relativos entre ladrillos se presentan del lado bajo de la grieta en una región en forma de "V" y el resto de los ladrillos del lado bajo de la grieta se desplazan con el terreno subyacente. Se obtienen resultados semejantes cuando la grieta cruza los muros en forma oblicua.

Para $\delta_z = 0.1$ m, la abertura en la base de los muros es del mismo orden de magnitud que el escalón en la grieta. Los desplazamientos relativos entre ladrillos se distribuyen en una región cada vez más amplia y se observa una separación horizontal entre ladrillos del lado alto de la grieta, principalmente cuando la grieta cruza al centro de los muros. Cuando la grieta cruza

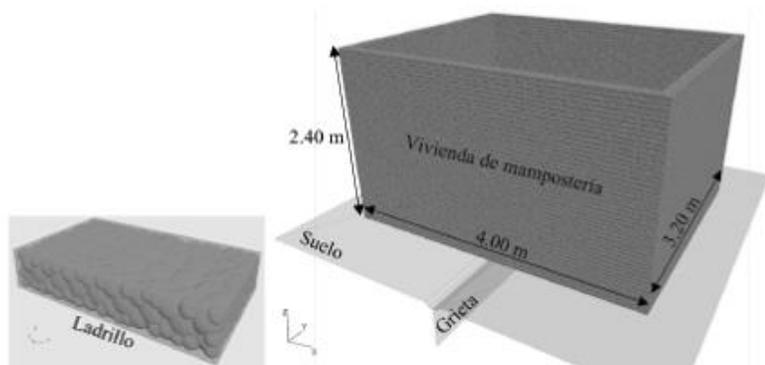


Figura 3. Ladrillo y modelo simplificado de una vivienda de mampostería

cerca de una esquina de la vivienda, la zona de desplazamientos relativos entre ladrillos es más estrecha.

Un escalón $\delta_z = 0.2$ m en la grieta causa severos daños en los muros afectados. Se observa un desprendimiento de ladrillos en la parte baja del muro y una separación horizontal entre ladrillos en una región considerable.

En todos los casos presentados en la Figura 4, los muros que no son cruzados por la grieta no presentan daños.

Estos resultados coinciden cualitativamente con los casos reales presentados en la Figura 2. Por tanto, se concluye que este modelo simplificado reproduce en forma aceptable los mecanismos de deformación y fracturamiento de las viviendas de mampostería. Para una comparación cuantitativa sería necesario tomar en cuenta las condiciones particulares de cada vivienda de interés.

Retomando el concepto implícito en el diseño de la caja disipadora (Auvinet *et al.*, 2019a), las edificaciones se pueden proteger en cierta medida colocando material granular limpio (menos de 5 % de finos) en la cimentación. El material granular colocado sobre las grietas distribuye horizontalmente los desplazamientos verticales que se presentan en la superficie del terreno.

El medio granular está constituido por esferas rígidas, con densidad de sólidos $\rho = 2.6$ y un coeficiente de fricción $\mu = 0.7$ (equivalente a un ángulo de fricción

interparticular $\phi_p = 35^\circ$). En los modelos numéricos se considera una granulometría con coeficiente de uniformidad $C_u = 2.5$. Resulta difícil modelar materiales mejor graduados debido a que el número de partículas crece drásticamente. Se considera que el material se encuentra en estado compacto.

El comportamiento de una vivienda protegida con material granular se estudia a continuación considerando, por una parte, una capa de 0.4 m de espesor constante y, por otra, una caja disipadora adicional con dentellón granular de 0.5 m de profundidad como se indica en la Figura 5.

La Figura 6 muestra los desplazamientos verticales correspondientes a un escalón en la grieta con altura $\delta_z = 0.2$ m. Se observa que los desplazamientos de los muros del lado alto de la grieta varían gradualmente y los ladrillos presentan desplazamientos relativos entre sí. La parte de la vivienda situada del lado bajo de la grieta se desplaza aproximadamente como un cuerpo rígido. En el material granular de la cimentación se presentan desplazamientos verticales diferentes en la región sobre la grieta y debajo de los muros de la vivienda.

Debido al reacomodo del material granular, los muros se hincan en él y los desplazamientos se distribuyen en distancias horizontales importantes. El agrietamiento de los muros de la vivienda inicia cerca del ápice de la grieta. El dentellón de la caja disipadora ayuda a evi-

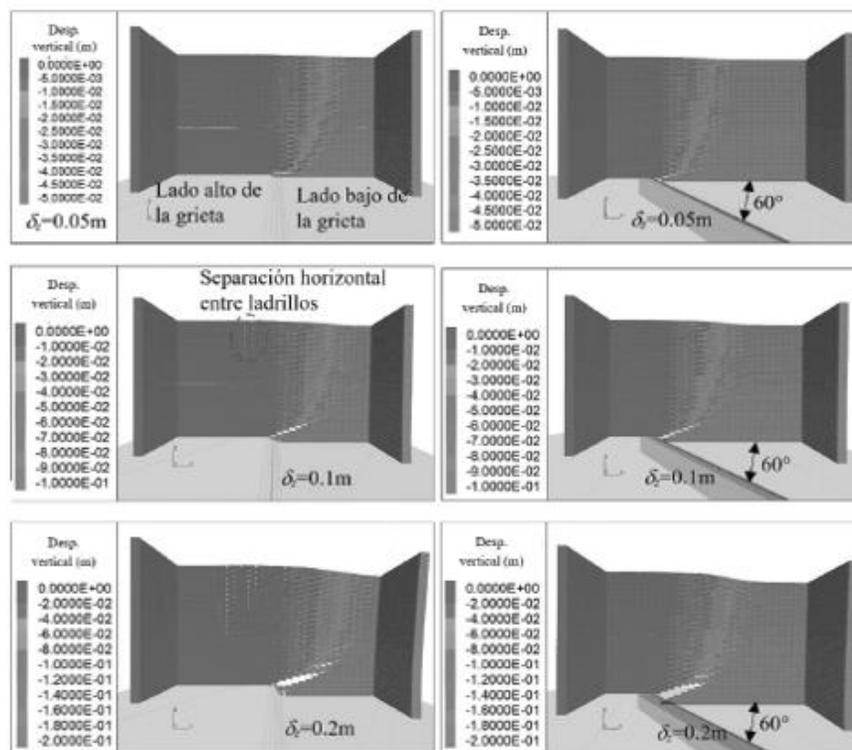


Figura 4. Desplazamientos verticales de una vivienda de mampostería afectada por una grieta en el suelo



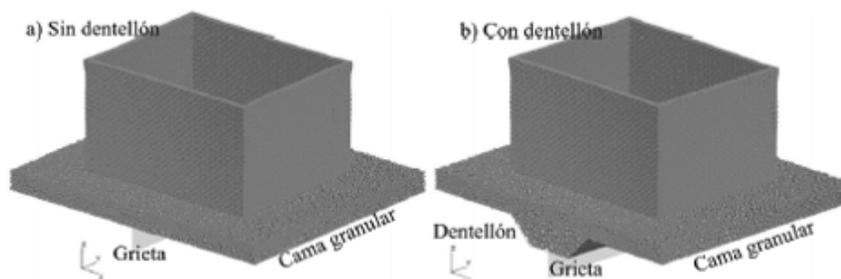


Figura 5. Modelos simplificados de viviendas protegidas con material granular en la cimentación

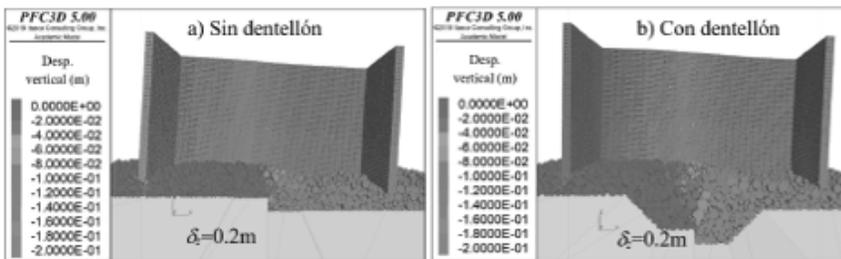


Figura 6. Desplazamientos verticales de viviendas protegidas con material granular en su cimentación

tar la aparición de una fractura en la parte baja de los muros.

El caso más desfavorable se presenta cuando la grieta cruza los muros en forma perpendicular y al centro de los mismos. Si la grieta incide cerca de una esquina de la vivienda, la intersección entre muros aporta una mayor rigidez y la vivienda se comporta como cuerpo rígido deformando el material granular de la cimentación.

La utilidad del material granular en la cimentación de una vivienda afectada por una grieta es evidente. Para un mejor control de la aparición de fracturas en los muros es conveniente aumentar el espesor del material granular sobre la grieta, lo cual se logra con el dentellón de la caja disipadora.

SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA TIPO

Los modelos que se presentan permiten tomar en cuenta las características particulares de las "viviendas tipo" que la Comisión para la Reconstrucción del Gobierno de la Ciudad de México tiene contemplado construir en distintas alcaldías de esta ciudad.

Para contribuir a un mejor desempeño de estas viviendas cuando se desplantan sobre una grieta con escalón moderado, el Instituto de Ingeniería de la UNAM sugirió agregar una caja disipadora de deformaciones en la cimentación (Comité de Grietas, 2019). A continuación, se presenta un análisis bidimensional sobre esta situación.

La Figura 7 muestra el modelo empleado, correspondiente a un corte longitudinal de la vivienda tipo. Se in-

cluyen los elementos de refuerzo, las diferentes capas de material de la cimentación consideradas en el diseño inicial y se agrega un dentellón de material granular.

El modelo de elementos discretos representa el comportamiento de tres materiales esencialmente diferentes. El *tezontle* (escoria volcánica empleada localmente) se simula con interacción mecánica entre partículas por fricción en la superficie de los granos. Para los granos de *tepetate* (suelo limo arenoso compactado) se considera, además, una cohesión $c = 0.1$ MPa para representar la presencia de finos. Para los contactos entre partículas que representan al concreto reforzado se consideran propiedades de rigidez y cohesión equivalentes.

La granulometría de los materiales granulares presenta un coeficiente de uniformidad $C_u = 2.5$; las partículas que representan los elementos de concreto son todas del mismo tamaño.

Los materiales se depositan verticalmente por capas. Para introducir los elementos de concreto reforzado, se realiza la excavación para las contratrabes y posteriormente se generan las partículas de concreto en forma ordenada. Después de alcanzar el equilibrio inicial, se aplica un movimiento vertical en la grieta hasta generar un escalón de altura δ_y .

La Figura 8 presenta los desplazamientos verticales correspondientes a $\delta_y = 0.05$ m. Se observa que el escalón vertical de la grieta se disipa en una distancia horizontal importante gracias al material granular. En la losa de cimentación, los desplazamientos verticales diferenciales se distribuyen en una distancia horizontal $L = 3.24$ m que corresponde a una pendiente media $\delta_y / L = 0.05 / 3.24 = 0.015$.



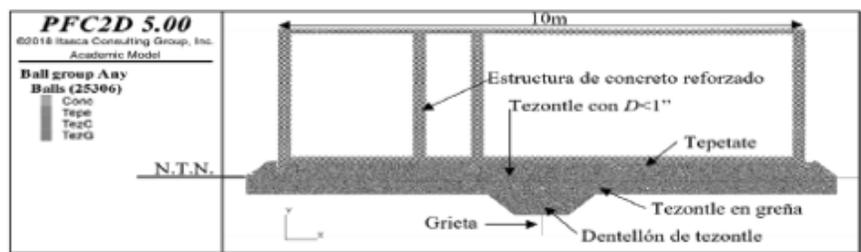


Figura 7. Modelo 2D de una vivienda tipo con caja disipadora en la cimentación

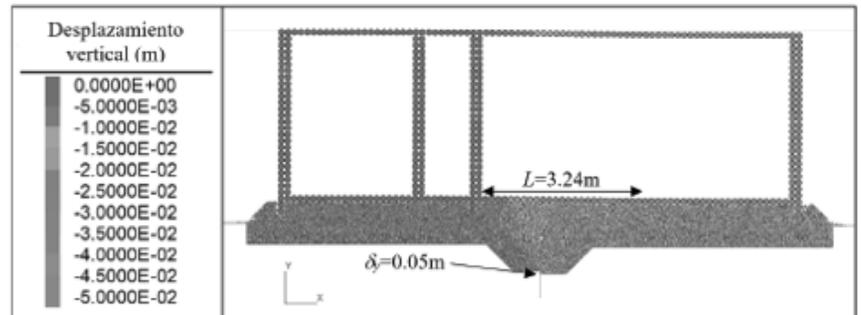


Figura 8. Desplazamientos verticales en el modelo 2D de una vivienda tipo con caja disipadora en la cimentación

En la Figura 8 también se observa que el material granular del lado alto de la grieta no presenta movimientos. Es conveniente que los desplazamientos verticales se propaguen hacia esta zona para reducir la flexión en la vivienda. Una posibilidad consiste en reemplazar parcialmente el *tepetate* por un material deformable, como el poliestireno expandido (unicel).

El poliestireno expandido se puede colocar en la zona de concentración de esfuerzos donde queda apoyada la losa de cimentación una vez que se presenta un escalón en la grieta (Figura 9).

Los desplazamientos correspondientes a diferentes alturas del escalón en la grieta se presentan en la Figura 10. Cuando el escalón es $\delta_y = 0.05$ m, la presencia del poliestireno conduce a una mejor redistribución espacial de desplazamientos verticales del lado alto de la grieta en comparación con los resultados de la Figura 8. La vivienda tiende a girar como cuerpo rígido.

Cuando el escalón en la grieta aumenta a $\delta_y = 0.1$ m (Figura 10), los desplazamientos verticales se distribuyen en una distancia horizontal que abarca todo el lado alto de la grieta. Es más evidente el comportamiento de la vivienda como cuerpo rígido. El extremo izquierdo de la vivienda presenta un ligero movimiento hacia arriba; por el contrario, el extremo derecho de la vivienda se hincan ligeramente en el terreno de cimentación. Aceptando que la vivienda gira como cuerpo rígido, se tiene una inclinación media de 1 %.

En el caso extremo en que $\delta_y = 0.2$ m (Figura 10), se observan zonas donde se pierde el contacto entre la losa de cimentación y el terreno subyacente. Esta situación no es deseable, pero de presentarse, podría corregirse

mediante inyecciones, por ejemplo, con espumas o resinas para recuperar el contacto y eventualmente renivelar la vivienda para mejorar su habitabilidad. Previendo la necesidad de estas inyecciones, es recomendable colocar membranas impermeables justo debajo de la losa de cimentación para aislar el material granular.

El efecto del poliestireno expandido en el comportamiento de la cimentación también puede observarse a través de las fuerzas de contacto entre partículas y los esfuerzos verticales asociados. La Figura 11 presenta las fuerzas de contacto; el espesor de las barras indica la magnitud de las fuerzas.

Sin poliestireno expandido, para $\delta_y = 0$ se observa una distribución uniforme de las fuerzas de contacto (Figura 11a). Para $\delta_y = 0.2$ m (Figura 11b) se observa una concentración de fuerzas del lado alto de la grieta (Región A) y una disminución de las fuerzas en el fondo de la caja disipadora, principalmente del lado bajo de la grieta (Región C).

Con poliestireno expandido, en el estado inicial se observa una distribución no uniforme de las fuerzas de contacto en el terreno de cimentación (Figura 11c), debido a la baja capacidad portante de este material. Cuando se presenta el escalón (Figura 11d), las fuerzas máximas del lado alto de la grieta se distribuyen en un espacio más amplio de la cimentación.

Llamando σ_y al esfuerzo vertical local y σ^* al esfuerzo vertical medio en todo el ancho del modelo a la elevación de la región A, la relación de esfuerzos verticales σ_y/σ^* en las regiones A, B y C indica que el poliestireno expandido contribuye a distribuir más uniformemente los esfuerzos cuando se presenta el escalón (Tabla 1). La



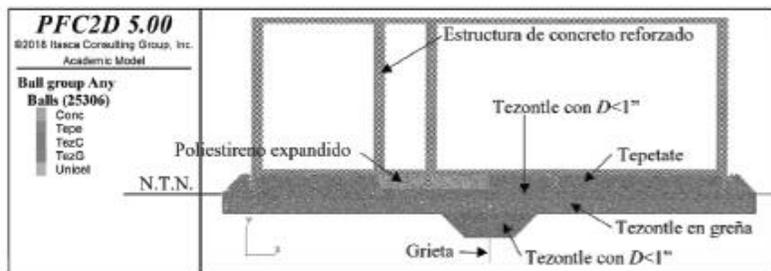


Figura 9. Modelo 2D de una vivienda tipo con caja disipadora y poliestireno expandido

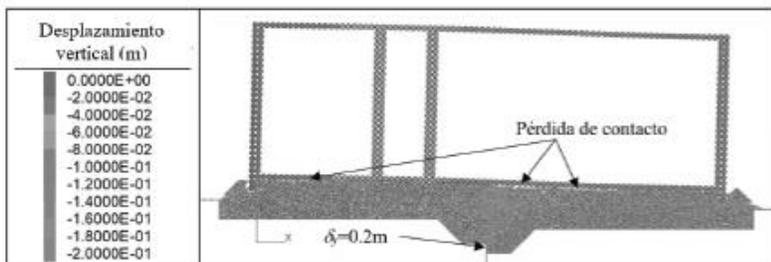
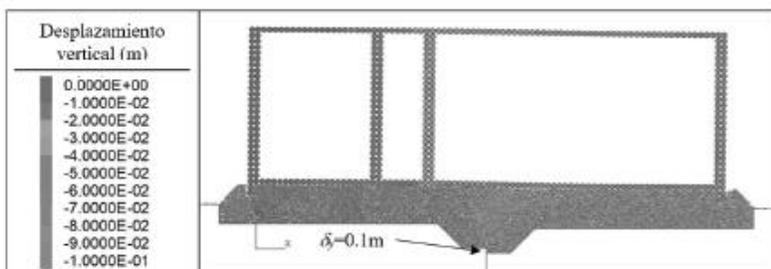
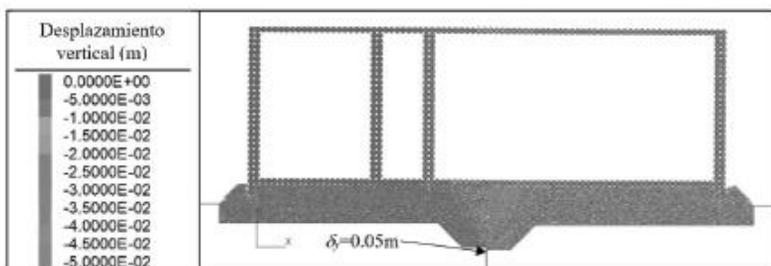


Figura 10. Desplazamientos verticales en modelo 2D de una vivienda tipo con caja disipadora y poliestireno expandido

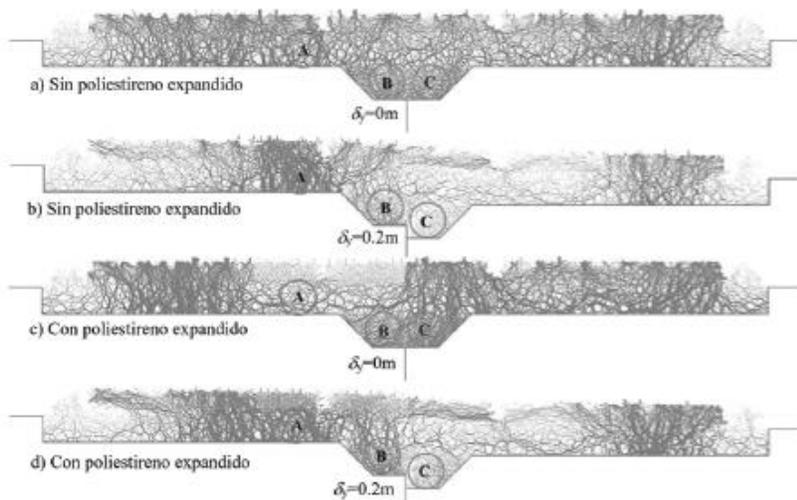


Figura 11. Distribución de fuerzas de contacto entre partículas del terreno de cimentación de una vivienda tipo

Tabla 1. Relación de esfuerzos verticales σ/σ^* en la cimentación de una vivienda tipo

Escalón	Cimentación	Región A	Región B	Región C
$\delta_z = 0$	Sin poliestireno	1.22	1.15	1.07
$\delta_z = 0$	Con poliestireno	0.45	0.80	1.43
$\delta_z = 0.2$ m	Sin poliestireno	3.80	1.25	0.40
$\delta_z = 0.2$ m	Con poliestireno	1.70	1.67	0.99

concentración de esfuerzos en la región A y los esfuerzos de flexión en la losa de cimentación disminuyen.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El agrietamiento del suelo de la Ciudad de México puede generar daños en edificaciones. Ante esta situación, se ha propuesto incluir una "caja disipadora de deformaciones unitarias" de material granular en la cimentación de las viviendas.

Las simulaciones con medios discretos permiten reproducir cualitativamente los daños que las grietas del suelo causan en las viviendas de mampostería. Estos daños consisten en apertura de fracturas en los muros y separación entre ladrillos.

Los modelos simplificados de una vivienda presentados, muestran que al insertar material granular en la cimentación, se reducen considerablemente los daños que podría inducir una grieta con escalón en el suelo. Esto se debe a que los movimientos individuales de las partículas del medio granular distribuyen el desplazamiento vertical en un espacio amplio. El comportamiento mejora cuando el espesor del material granular aumenta, por lo que en caso de confirmarse la existencia de una grieta es conveniente agregar un dentellón (caja disipadora) en la cimentación.

Los análisis realizados para las viviendas tipo, que se construyen en la Ciudad de México indican que los materiales granulares en el terreno de cimentación, incluyendo en su caso una caja disipadora, permiten que la vivienda tienda a moverse como cuerpo rígido cuando se presenta un escalón en el suelo.

Para contribuir a una distribución de esfuerzos más uniforme en la cimentación de una vivienda tipo, el tepetate de la cimentación del lado alto de la grieta se puede reemplazar localmente por un material más deformable, como el poliestireno expandido.

Los modelos de elementos discretos sugieren que, con las mejoras del terreno de cimentación propuestas en este trabajo, una vivienda tipo puede tolerar un escalón en el suelo de hasta 0.1 m sin presentar daños.

En caso de que en la práctica se identifique un escalón de mayor altura (por ejemplo $\delta_v = 0.2$ m) afectando

una vivienda, las simulaciones muestran que se perdería el contacto de la losa de cimentación con el terreno que la subyace. En este escenario sería recomendable la aplicación de inyecciones debajo de la losa de cimentación para ayudar a recuperar el contacto, a reducir la flexión en la losa de cimentación de la vivienda y eventualmente renivelarla. Las inyecciones demandarían la colocación de membranas impermeables para aislar el material granular.

Existen programas para la construcción de viviendas afectadas por grietas con escalón. Los análisis aquí presentados han sido tomados en cuenta para el diseño de estas viviendas. Será importante observar su comportamiento para validar los estudios realizados en este trabajo, o bien, realizar las modificaciones pertinentes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo de la Secretaría de Educación, Ciencia, Tecnología e Innovación de la Ciudad de México para la realización de la presente investigación.

REFERENCIAS

- Auvinet G., Méndez E. & Juárez M. (2017). *El subsuelo de la ciudad de México* ("The Subsoil of Mexico City"), Vol III, Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, UNAM.
- Auvinet G., Sánchez J. & Pineda A. (2019a). Mitigación de daños ocasionados por grietas en el suelo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XX(4), 1-8. FI-UNAM, México. <https://doi.org/10.22201/ii.25940732e.2019.20n4.046>
- Auvinet G., Juárez M., Méndez E., Martínez S., Hernández F., Sánchez J., Delgado M., Pineda A. & Román H. (2019). 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. Informe elaborado por el Laboratorio de Geoinformática del II-UNAM para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones en el Distrito Federal, CDMX, México.
- Comité de Grietas de la ciudad de México. (2019). Nota técnica No. G-02. Evaluación de soluciones propuestas para cimentaciones de edificaciones en zonas de agrietamiento. Documen-



- to elaborado en el Instituto de Ingeniería de la UNAM para el Instituto para la Seguridad de las Construcciones del Gobierno de la Ciudad de México.
- Cundall P. & Hart R. (1992). Numerical modeling of discontinua. *Engineering Computations*, 9, 101-113. <https://doi.org/10.1108/eb023851>
- Cundall P. & Strack O. (1979). A discrete numerical model for granular assemblies. *Géotechnique*, 29(1), 47- 65. <https://doi.org/10.1680/geot.1979.29.1.47>
- Itasca Consulting Group Inc. (2016). Particle flow code. Minneapolis, USA.
- Sánchez J. (2017). *Estudio de los medios granulares por el método de elementos discretos*. (Tesis doctoral), Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Taghavi R. (2011). Automatic clump generation based on mid-Surface. Proceedings of second international FLAC/DEM symposium. Melbourne, Australia.





**INSTITUTO
DE INGENIERÍA
UNAM**
G E O T E C N I A

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL AGRIETAMIENTO DEL SUELO EN LAS ALCALDÍAS DE
IZTAPALAPA, TLÁHUAC, XOCHIMILCO Y MILPA ALTA Y ACOMPAÑAMIENTO
TÉCNICO EN LA DEFINICIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE SOLUCIONES PARA LAS
EDIFICACIONES AFECTADAS DE DICHAS DEMARCACIONES (SEGUNDA ETAPA)**

No. DE CONVENIO: ISCDF/CEC-04/2020-20

ANEXO I

**ESTADO ACTUAL DE SITIOS
CON GRIETAS TRATADAS POR LOS PROCEDIMIENTOS PROPUESTOS
POR EL II-UNAM
(Información proporcionada por la SCER Iztapalapa)**

Estado actual de sitios con grietas tratadas por los procedimientos propuestos por el II-UNAM.



DIRECCIÓN GENERAL DE OBRAS Y DESARROLLO URBANO
COORDINACIÓN DE SERVICIOS Y MANTENIMIENTO
SUBDIRECCIÓN DE CENTRO DE EVALUACIÓN DE RIESGOS



Sitios visitados con intervenciones de grietas realizadas en 2019 y estado actual				
Sitio	Calle	Referencia	Colonia	Nomenclatura
1	Luis Jasso	Luis García y Emilio Madero	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-215/4
2	Av. Exploradores de Zaragoza	Manuel Gandara y Fuerte de Loreto	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-240/3
3	Calle 19	Avenida 4 y Avenida 6	UH Santa Cruz Meyehualco	AZT-295-100/2
4	Av. Santa Cruz Meyehualco	calle 9 y calle 11	UH Santa Cruz Meyehualco	AZT-295-138/2
5	Emilio Madero	Solón Arguello y José Peón del Valle	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-040/3
6	Emilio Madero	Esquina Santiago de la Vega	Santa Martha Acatitla	ADZ-215-081/3
7	Venustiano Carranza	Francisco Sarabia y Francisco I Madero	Pueblo Santa Martha Acatitla	ADZ-217-055/2
8	Plan de Ayala	Esquina Herminio Chavarría	Ejidos Santa María Aztahuacan	AZT-297-015/3
9	Calle 17	Avenida 2 y Avenida 4	UH Santa Cruz Meyehualco	AZT-295-114/2
10	Calle 15	Calzada Ermita Iztapalapa y Avenida 2	UH Santa Cruz Meyehualco	AZT-295-121/2
11	Calle 63	Esquina Avenida 8	UH Santa Cruz Meyehualco	AZT-296-085/2
12	Guadalupe Victoria	Prof. Otilio Montaña y Eje 6 Sur Las Torres	Ejido Santa María Aztahuacan	AZT-297-064/2 y AZT-297-065/2
13	Abraham González	Venustiano Carranza y Aquiles Serdán	Ejido Santa María Aztahuacan	AZT-297-135/2
14	Manuel Ávila Camacho	Plan de San Luis y Av. Circunvalación	Ejido Santa María Aztahuacan	AZT-298-080/2
15	Genaro Estrada	Manilo Fabio Altamirano y Eduardo Vasconcelos	Jacarandas	AZT-097-060/1
16	Manuel Acuña	Esquina Avenida Hidalgo	Jacarandas	AZT-097-049/3 y AZT-097-034/1
17	Privada Morelos	Esquina Avenida Insurgentes	Las Peñas	SCQ-118-045/2
18	Privada Insurgentes	Esquina Avenida Insurgentes	Las Peñas	SCQ-118-054/2
19	Av. Zacatlán	Esquina San Francisco	Pueblo San Lorenzo Tezonco	SLT-191-014/2

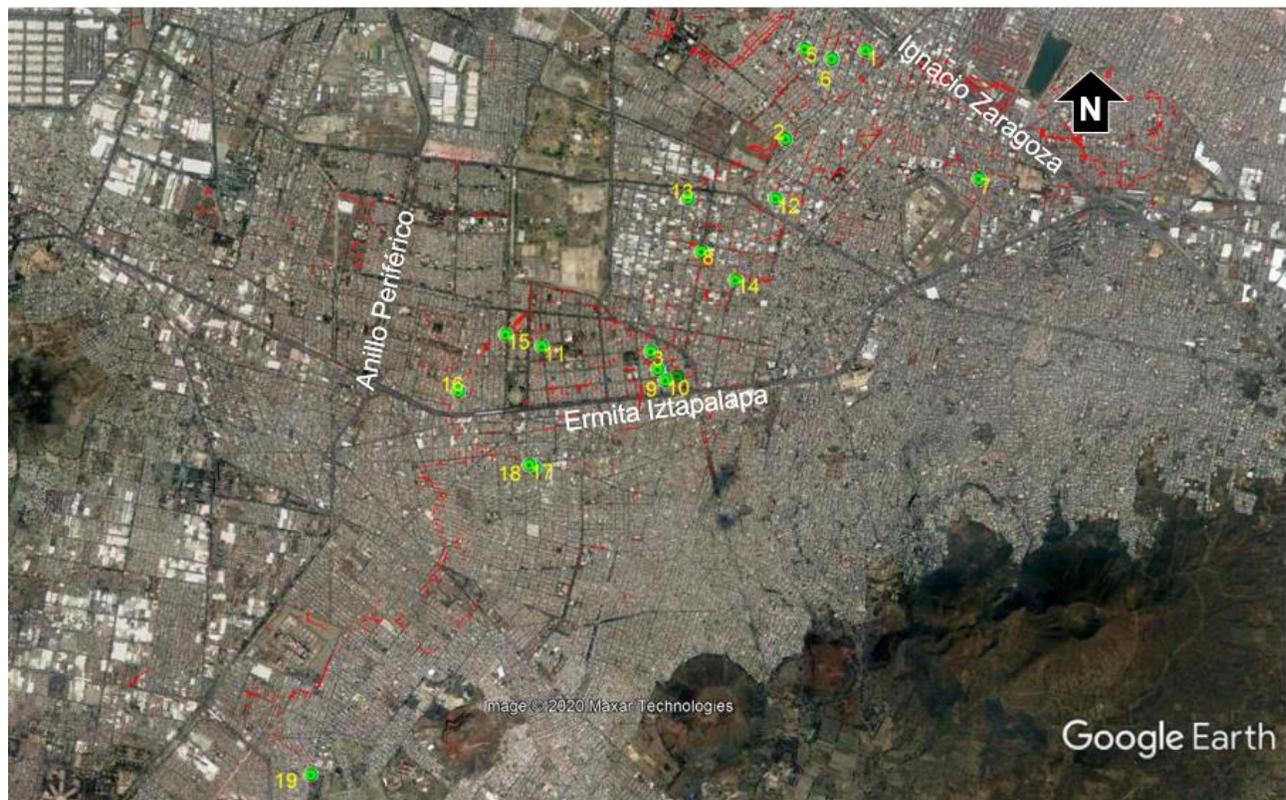


Figura I1. Ubicación de sitios en observación.



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
1984-2021

Estado actual de las cajas disipadoras de deformaciones

Programa para la mitigación de grietas en Iztapalapa

ACUPUNTURA URBANA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 1

Dirección Territorial: Acatitla de Zaragoza

Calle: **Luis Jasso**

Referencias: Luis García y Emilio Madero

Nomenclatura: ADZ-215-215/4

Colonia: Santa Martha Acatitla

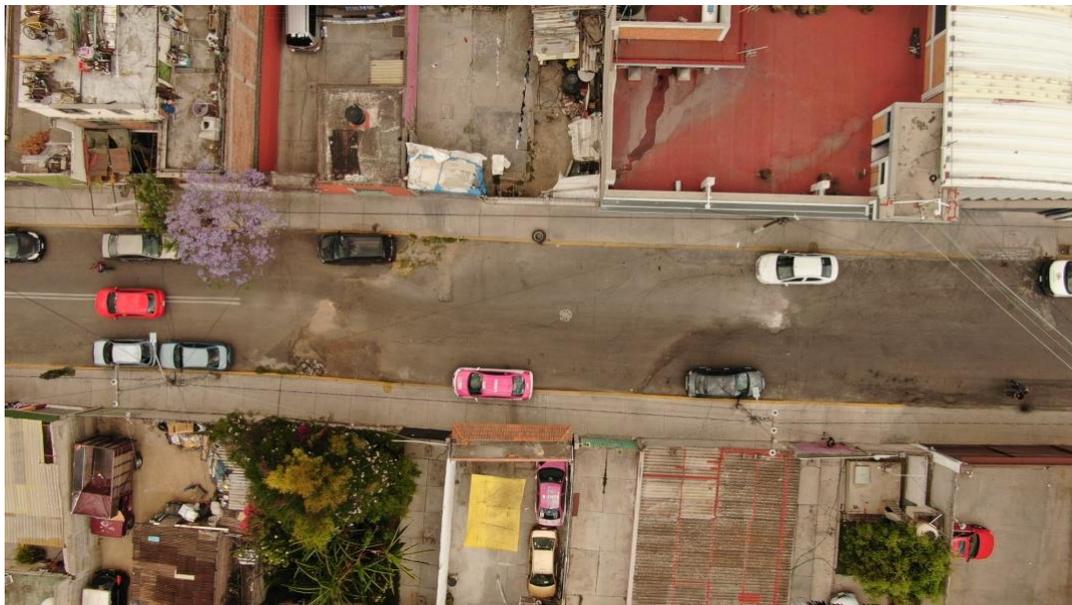


**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

Calle: Luis Jasso
Colonia: Santa Martha Acatitla
Noviembre 2018



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Luis Jasso**
Colonia: Santa Martha Acatitla
Noviembre 2018



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



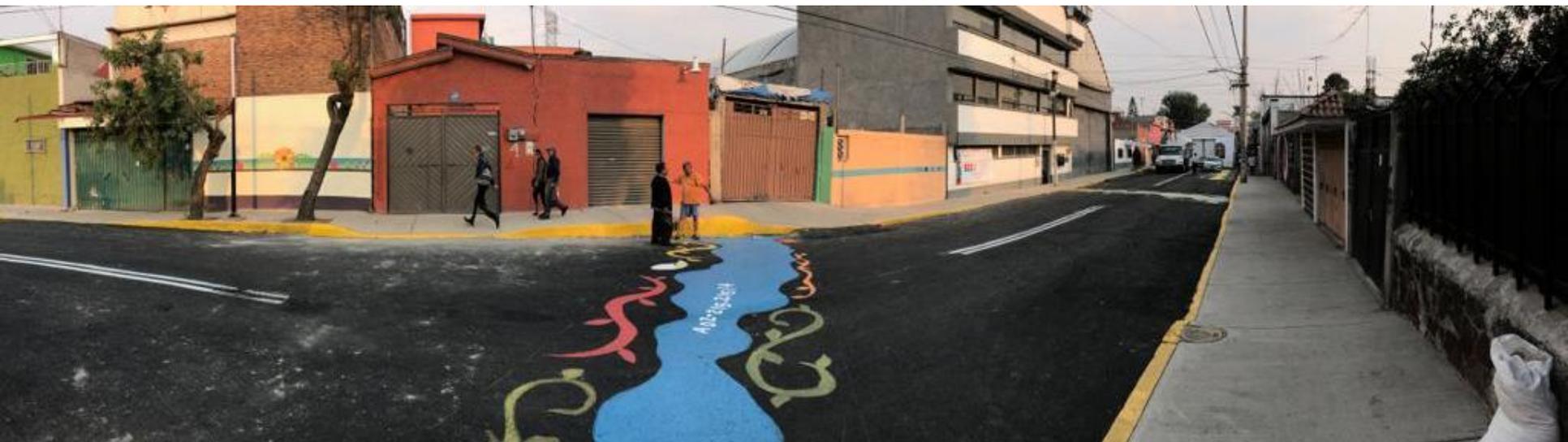


**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

Calle: Luis Jasso
Colonia: Santa Martha Acatitla
Intervención de grieta: mayo 2019



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: Luis Jasso
Colonia: Santa Martha Acatitla
Noviembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 2

Dirección Territorial: Acatitla de Zaragoza

Calle: **Av. Exploradores de Zaragoza**

Referencias: Manuel Gandara y Fuerte de Loreto

Nomenclatura: ADZ-215-240/3

Colonia: Santa Martha Acatitla



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

**Calle: Av. Exploradores de
Zaragoza**
Colonia: Santa Martha Acatitla
Noviembre 2018



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**



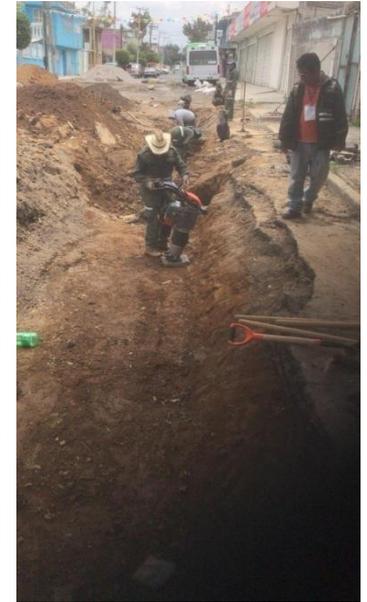


**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

**Calle: Av. Exploradores de
Zaragoza**
Colonia: Santa Martha Acatitla
Intervención de grieta: junio 2019



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: Av. Exploradores de
Zaragoza
Colonia: Santa Martha Acatitla
Intervención de grieta: junio 2019



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



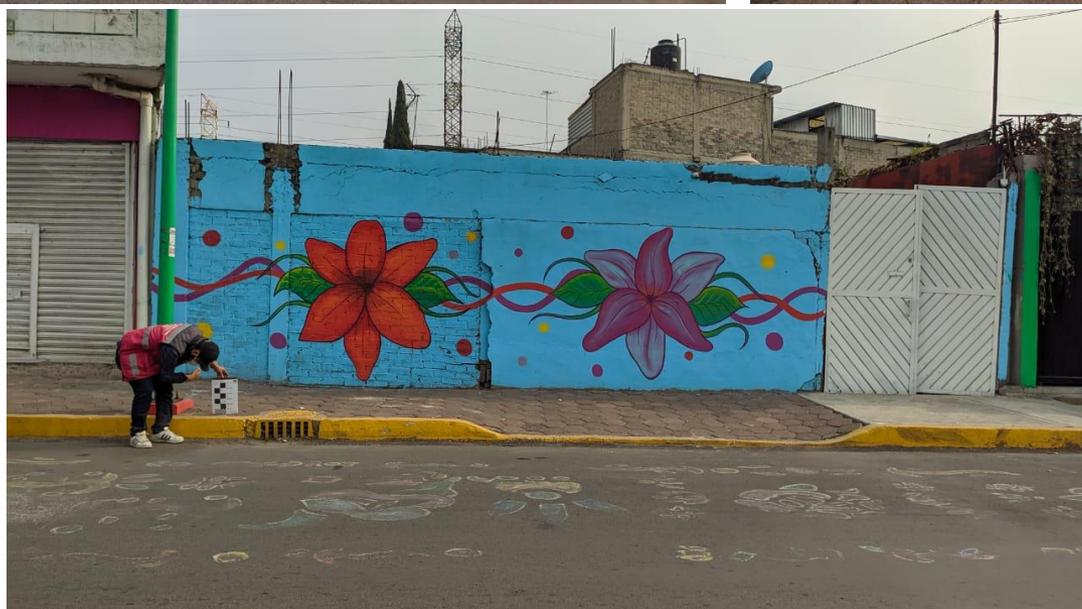
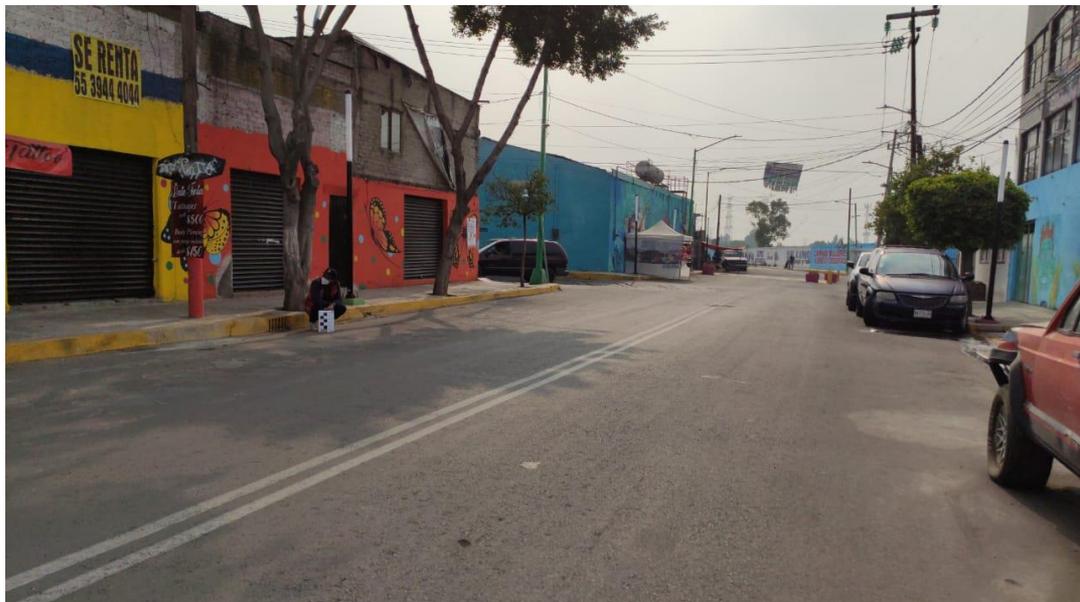


GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: Av. Exploradores de
Zaragoza
Colonia: Santa Martha Acatitla
Noviembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 3

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Calle 19**

Referencias: Avenida 4 y Avenida 6

Nomenclatura: AZT-295-100/2

Colonia: Santa Cruz Meyehualco



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

Calle: 19
Colonia: UH Santa Cruz
Meyehualco
Intervención de grieta: julio 2019



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**



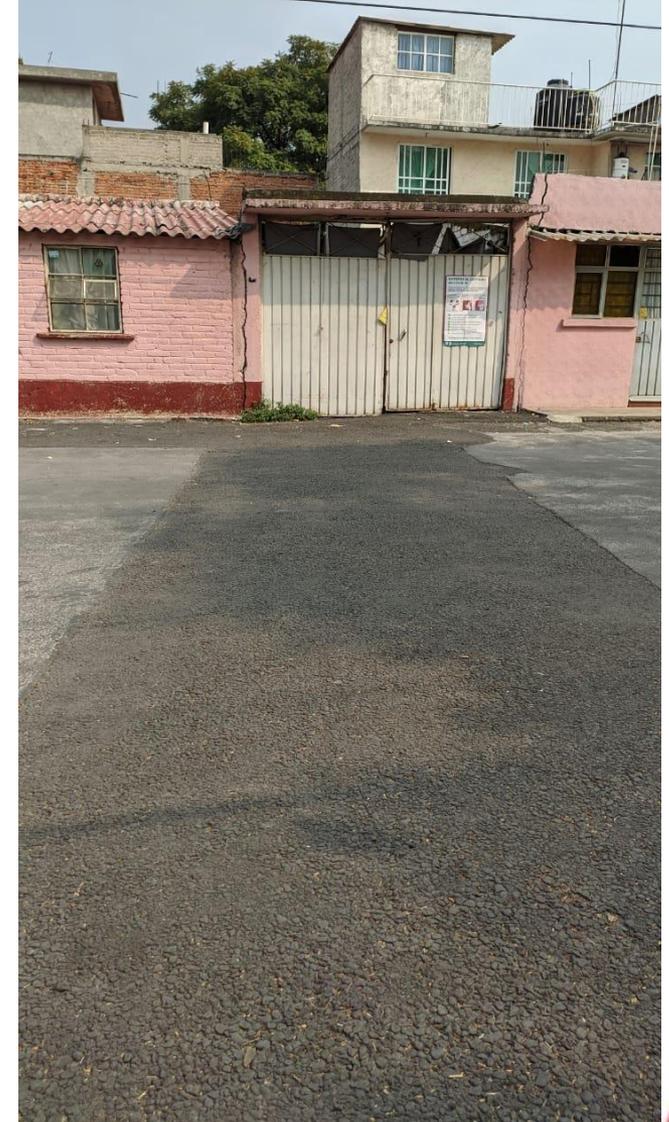


GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: 19
Colonia: UH Santa Cruz
Meyehualco
Noviembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 4

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Av. Santa Cruz Meyehualco**

Referencias: calle 9 y calle 11

Nomenclatura: AZT-295-138/2

Colonia: Santa Cruz Meyehualco



**GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO**

**Calle: Av. Santa Cruz
Meyehualco**
Colonia: UH Santa Cruz
Meyehualco
Junio 2019



**Primera Alcaldía
IZTAPALAPA**





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Av. Santa Cruz**
Meyehualco
Colonia: UH Santa Cruz
Meyehualco
Noviembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 5

Dirección Territorial: Acatitla de Zaragoza

Calle: **Emilio Madero**

Referencias: Solon Arguello y José Peón del Valle

Nomenclatura: ADZ-215-040/3

Colonia: Santa Martha Acatitla

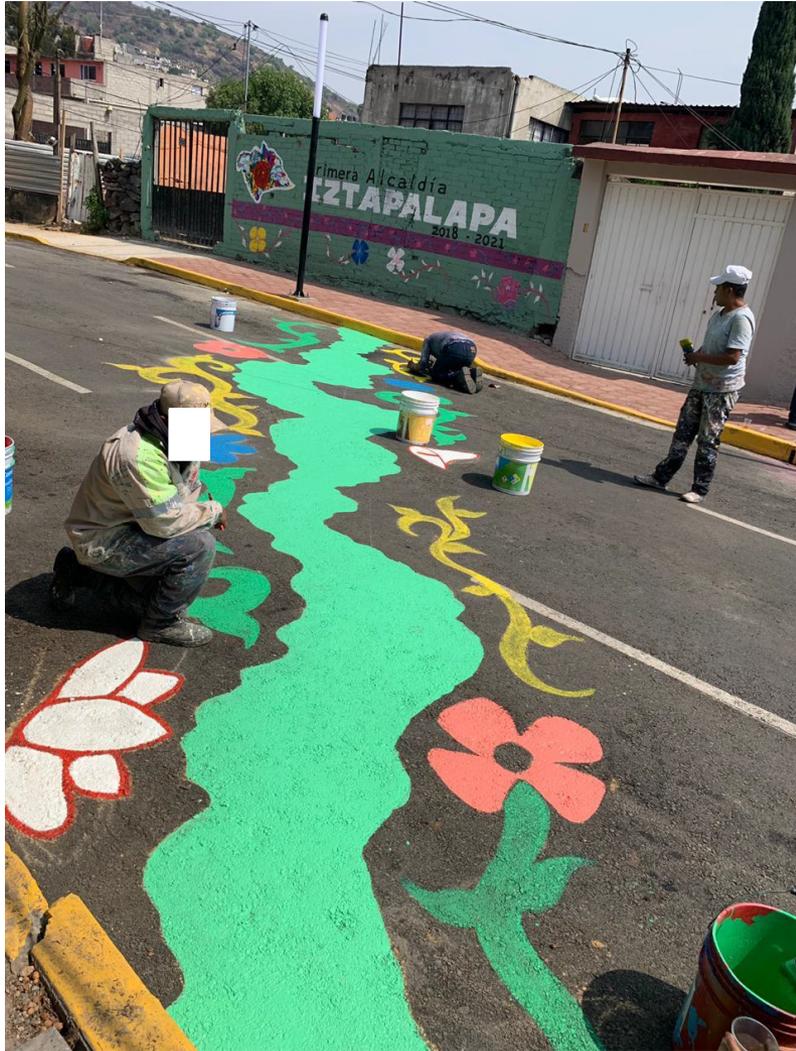


GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Emilio Madero**
Colonia: Santa Martha Acatitla



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Mayo 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 6

Dirección Territorial: Acatitla de Zaragoza

Calle: **Emilio Madero**

Referencias: Esquina Santiago de la Vega

Nomenclatura: ADZ-215-081/3

Colonia: Santa Martha Acatitla



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Emilio Madero**
Colonia: Santa Martha Acatitla

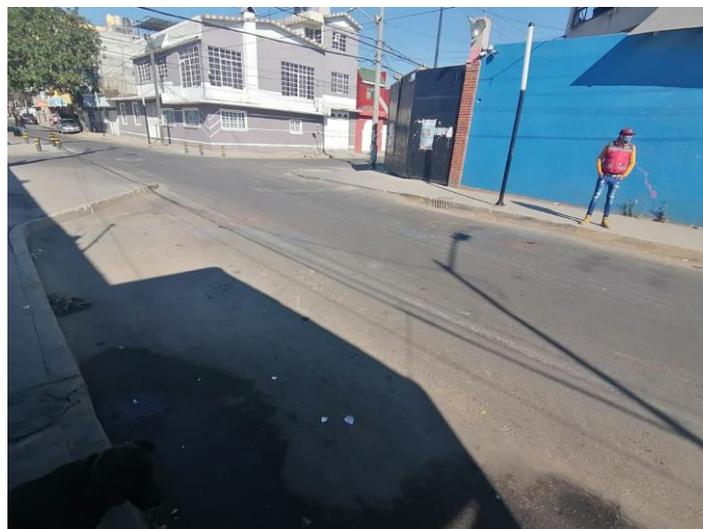


Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Mayo 2019

Diciembre 2020





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 7

Dirección Territorial: Acatitla de Zaragoza

Calle: **Venustiano Carranza**

Referencias: Francisco Sarabia y Francisco I Madero

Nomenclatura: ADZ-217-055/2

Colonia: Pueblo Santa Martha Acatitla



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Venustiano Carranza**
Colonia: Pueblo Santa Martha
Acatitla



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Febrero 2020



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
1987-2017

Sitio 8

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Plan de Ayala**

Referencias: Esquina Herminio Chavarría

Nomenclatura: AZT-297-015/3

Colonia: Ejidos Santa María Aztahuacan



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Plan de Ayala**
Colonia: Ejido Santa María
Aztahuacan
Julio 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Plan de Ayala**
Colonia: Ejido Santa María
Aztahuacan
diciembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 9

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Calle 17**

Referencias: Avenida 2 y Avenida 4

Nomenclatura: AZT-295-114/2

Colonia: UH Santa Cruz Meyehualco



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Calle 17**
Colonia: Santa Cruz Meyehualco



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Julio 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
1987-2021

Sitio 10

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Calle 15**

Referencias: Calzada Ermita Iztapalapa y Avenida 2

Nomenclatura: AZT-295-121/2

Colonia: UH Santa Cruz Meyehualco



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Calle 15**
Colonia: Santa Cruz Meyehualco
Agosto 2019



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Calle 15**
Colonia: Santa Cruz Meyehualco
Diciembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 11

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Calle 63**

Referencias: Esquina Avenida 8

Nomenclatura: AZT-296-085/2

Colonia: UH Santa Cruz Meyehualco



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Calle 63**
Colonia: Santa Cruz Meyehualco
Julio 2019



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Calle 63**
Colonia: Santa Cruz Meyehualco
Diciembre 2020c



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 12

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Guadalupe Victoria**

Referencias: Prof. Otilio Montaña y Eje 6 Sur Las Torres

Nomenclatura: AZT-297-064/2 y AZT-297-065/2

Colonia: Ejido Santa María Aztahuacan

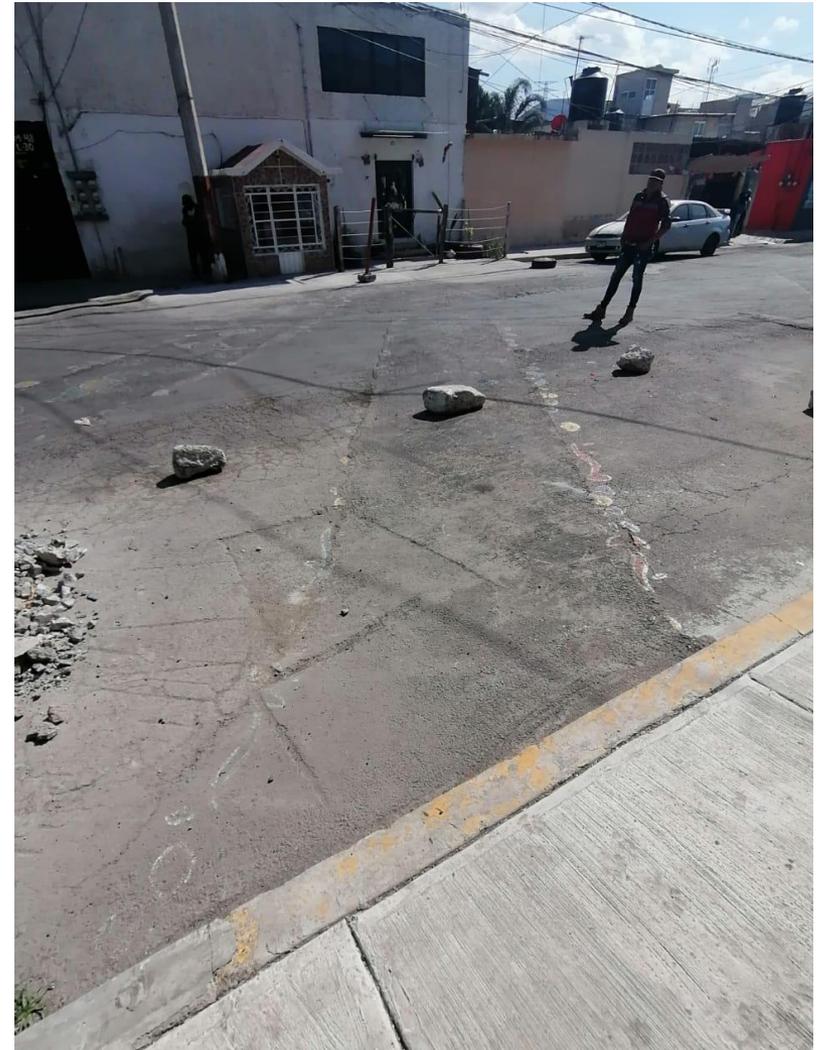


GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Guadalupe Victoria**
Colonia: **Ejido Santa María**
Aztahuacán



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Diciembre 2019

Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
1987-2017

Sitio 13

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Abraham González**

Referencias: Venustiano Carranza y Aquiles Serdán

Nomenclatura: AZT-297-135/2

Colonia: Ejido Santa María Aztahuacan



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Abraham González**
Colonia: **Ejido Santa María**
Aztahuacán



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Diciembre 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 14

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Manuel Ávila Camacho**

Referencias: Plan de San Luis y Av. Circunvalación

Nomenclatura: AZT-298-080/2

Colonia: Ejido Santa María Aztahuacan



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Manuel Ávila Camacho**
Colonia: **Ejido Santa María**
Aztahuacán



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Octubre 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA
2000-2003

Sitio 15

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Genaro Estrada**

Referencias: Manilo Fabio Altamirano y Eduardo Vasconcelos

Nomenclatura: AZT-097-060/1

Colonia: Jacarandas



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Genaro Estrada**
Colonia: Jacarandas



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Abril 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 16

Dirección Territorial: Aztahuacan

Calle: **Manuel Acuña**

Referencias: Esquina Avenida Hidalgo

Nomenclatura: AZT-097-049/3 y AZT-097-034/1

Colonia: Jacarandas



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: Genaro Estrada
Colonia: Jacarandas
Mayo 2019



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Genaro Estrada**
Colonia: Jacarandas
Diciembre 2020



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 17

Dirección Territorial: Santa Cruz Quetzalcoatl

Calle: **Privada Morelos**

Referencias: Esquina Avenida Insurgentes

Nomenclatura: SCQ-118-045/2

Colonia: Las Peñas



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Privada Morelos**
Colonia: Las Peñas



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA





GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 18

Dirección Territorial: Santa Cruz Quetzalcoatl

Calle: **Privada Insurgentes**

Referencias: Esquina Avenida Insurgentes

Nomenclatura: SCQ-118-054/2

Colonia: Las Peñas



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Privada Morelos**
Colonia: Las Peñas



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Diciembre 2019



Diciembre 2020



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA

Sitio 19

Dirección Territorial: Tezonco

Calle: **Av. Zacatlán**

Referencias: Esquina San Francisco

Nomenclatura: SLT-191-014/2

Colonia: Pueblo San Lorenzo Tezonco

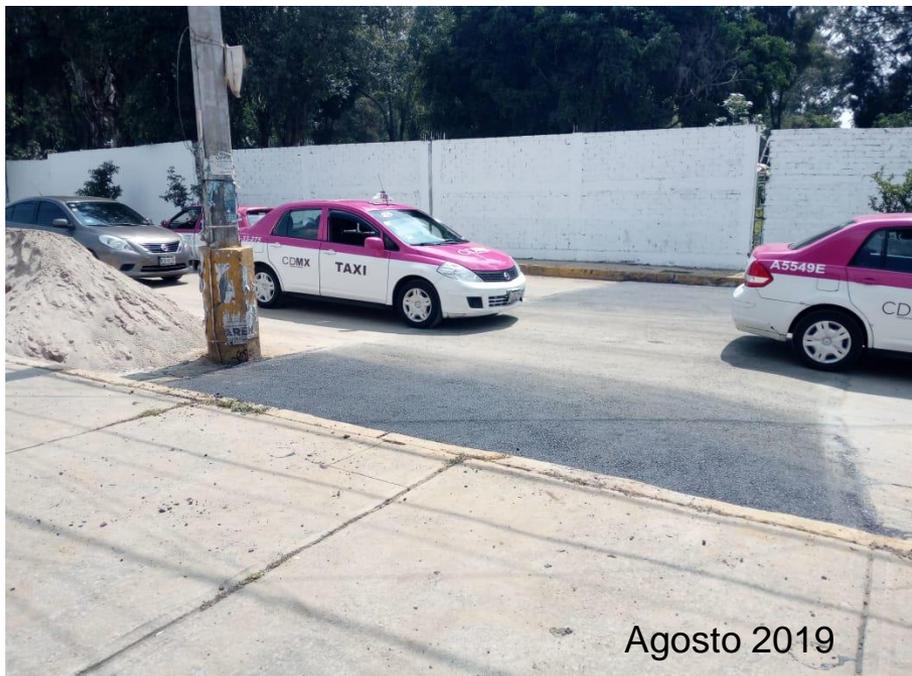


GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Calle: **Av. Zacatlán**
Colonia: Pueblo San Lorenzo
Tezonco



Primera Alcaldía
IZTAPALAPA



Agosto 2019



Diciembre 2020