Unidad Habitacional El Parque,
Av. Piraña 12, Colonia La Planta,
Alcaldía Iztapalapa, Ciudad de México.

# ESTUDIO DEL SUBSUELO

Noviembre, 2019.

Solicitado por:

**C O M I S I Ó N  P A R A  L A  R E C O N S T R U C C I Ó N  D E  L A  C I U D A D  D E  M É X I C O**

Lic. Mario Isaac González Valderrama
*Director General Operativo*

Elaborado por:

**SOILTEC, S.A. DE C.V.**

# INDICE


| Capítulo | | Página |
|---|---|---|
| I | Síntesis | 5 |
| II | Resumen y conclusiones | 6 |
| III | Antecedentes | 14 |
| IV | Génesis y evolución de grietas en el subsuelo | 16 |
| V | Asentamiento súbito de franjas de suelo entre dos grietas cercanas durante sismos | 18 |
| VI | Interpretación de fotografías aéreas antiguas | 22 |
| VII | Exploración del subsuelo | 23 |
| VIII | Estudios de campo para la detección de cavidades en el subsuelo | 24 |
| IX | Ensayes de laboratorio | 25 |
| X | Secuencia estratigráfica y propiedades del subsuelo | 26 |
| XI | Incidencias en la barrenación para la detección de cavidades | 31 |
| XII | Sellado de grietas en la Unidad | 32 |
| XIII | Evaluación de la capacidad de carga y de los asentamientos del subsuelo | 34 |
| XIV | Medidas de mitigación y control | 40 |
| XV | Recomendaciones en caso de reubicación | 41 |
| XVI | Referencias | 42 |

**Anexos**

| | |
|---|---|
| I | Reporte fotográfico de inspección de grietas |
| II | Incidencias durante la perforación |
| III | Levantamiento de daños en las casas |
| IV | Figuras |

# RELACIÓN DE FIGURAS


| Figura | |
|---|---|
| **01** | Localización del sitio |
| **02** | Génesis y evolución de grietas |
| **03** | Trayectoria de grietas siguiendo las áreas de menor esfuerzo horizontal |
| **04** | Par estereoscópico de 1974 |
| **05** | Par estereoscópico de 1985 |
| **06** | Ubicación de sondeos, piezómetros y grietas |
| **07 a 09** | Perfiles estratigráficos de sondeos mixtos selectivos |
| **10 a 12** | Perfiles de sondeos con cono electrónico |
| **13** | Perfil estratigráfico de pozo a cielo abierto |
| **14** | Ubicación de barrenos para detección de cavidades |
| **15** | Inspección de la cimentación y calas en las grietas del subsuelo |
| **16 a 32** | Ensayes de compresión triaxial |
| **33 a 48** | Ensayes de consolidación unidimensional |
| **49** | Corte estratigráfico |
| **50 a 52** | Diagramas de esfuerzos totales, neutros y efectivos por peso propio del suelo |
| **53** | Evolución de los asentamientos por subsidencia |
| **54** | Curvas de igual volumen inyectado |
| **55** | Asentamientos totales calculados en la Unidad |
| **56** | Relación entre los asentamientos totales y el número de niveles de las casas |
| **57** | Plano de niveles |

# I. Síntesis

El presente informe contiene los resultados del estudio del subsuelo que **SOILTEC, S.A. de C.V.**, realizó en el predio ubicado en avenida Piraña 12, Colonia La Planta, en la Alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México, donde se encuentran 121 inmuebles unifamiliares de uso habitacional, de originalmente un solo nivel, y al presente de 2, 3 y hasta 4 niveles, algunos de los cuales han sido afectados por grietas en el subsuelo.

El estudio comprende la exploración del subsuelo y los ensayes de laboratorio necesarios para conocer las propiedades índice y mecánicas del subsuelo, con la finalidad de establecer las causas de las afectaciones de la Unidad y evaluar la habitabilidad de la misma.

Las actividades realizadas para este estudio fueron:

- **Visita de inspección geotécnica con enfoque especial en el fracturamiento del subsuelo.**
- **Exploración del subsuelo con sondeos someros y profundos y con cono electrónico.**
- **Ensayes de laboratorio.**
- **Caracterización del subsuelo.**
- **Análisis teórico de la susceptibilidad de los inmuebles a ser afectados por los agrietamientos del subsuelo.**
- **Indagación histórica del inicio del agrietamiento del subsuelo, a través del estudio estereoscópico de antiguas fotografías aéreas.**
- **Análisis geotécnico.**

# II. Resumen y conclusiones

1. 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. Colinda al este con las avenidas Piraña y Derechos Democráticos, al oeste con la calle El Molino, y al norte y sur con viviendas desde 1 y hasta 4 niveles. 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 dalas 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.

   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.**

2. El asentamiento súbito e inmediato de franjas de suelo entre dos grietas se ha denominado minigraben. El desarrollo de éstos requiere de tres etapas para que el mecanismo de falla sea cinemáticamente admisible, a saber:

- Generación y evolución de grietas por el fenómeno de subsidencia, siguiendo las curvas de nivel del terreno y formando así un bloque entre un par de grietas cercanas y aproximadamente paralelas.

- Excitación de la masa de suelo durante un fenómeno sísmico, abertura y cierre de las grietas que definen el bloque, con la consiguiente pérdida del confinamiento lateral.

- Asentamiento elástico del bloque.

Se ha observado que el minigraben solamente ocurre durante un movimiento sísmico, entre dos grietas cercanas; algunos testimonios señalan que este fenómeno también se presentó en algunas zonas del noreste del Valle de México, durante los sismos de 1985.

Como la aparición de grietas en escalón está directamente relacionada a las grandes discontinuidades de la roca basal, mientras no se estudie exhaustivamente el relieve de ésta en la zona, no podrán delimitarse con una aproximación adecuada las zonas en las que es alta la probabilidad de ocurrencia de grietas con escalón.

Luego entonces, **si se tiene especial cuidado en detectar y tratar tanto las actuales grietas como las nuevas que ocurran en el futuro, se puede concluir que al presente no está en riesgo la seguridad geotécnica de los inmuebles atravesados por las grietas, por lo que puede descartarse su demolición y posterior reubicación.**

3. Pares estereoscópicos correspondientes a vuelos fechados en 1974 y 1985 muestran que el lote en el que ahora se encuentra la Unidad estaba delimitado y con vegetación pequeña, mientras la zona se urbanizaba. No se perciben desniveles, ni rastros de las grietas del subsuelo que hoy la cruzan. La única construcción que yace en el polígono que ahora define la Unidad es la Casa Club, que posteriormente se integraría al diseño de la Unidad.

Durante la exploración del subsuelo, **no se encontró el supuesto relleno sanitario improvisado en una larga zanja de 8 m de profundidad,** cuya existencia mencionaron algunos habitantes de la Unidad.

4. **En la cala bajo la casa 93, se detectó que el socavón reportado previamente es más bien la traza del flanco norte del minigraben** y que atraviesa diagonalmente a la cimentación de las casas 93 y 92. Esta grieta se encuentra inclinada con respecto a la vertical y posee unos 20 cm de abertura.

   En la cala entre las casas 102 y 103, se interceptó otra grieta que corresponde al flanco sur del minigraben y que corre diagonalmente al andador y se prolonga debajo de la casa 102; tiene 30 cm de abertura y también se encuentra inclinada respecto a la vertical. En esta cala se pudo constatar que **la cimentación de ambas casas es independiente, delimitada con una junta,** en contraposición a la información recibida preliminarmente. Además, es notorio un desnivel entre ambas casas.

   Por último, con la cala excavada en el patio trasero de la casa 120, se pudo comprobar la estructuración original de la cimentación de las casas, a la vez que se observó, una vez más, que **la cimentación de la casa es discontinua respecto a las contiguas**.

5. De acuerdo a la zonificación geotécnica del Valle de México, contenida en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones para la Ciudad de México, el predio en estudio, localizado en los 19° 17’ 37.12” de Latitud Norte y 99° 03’ 45.23” de Longitud Oeste, corresponde a la **Zona del Lago (Zona III), integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla.** Estos depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

   Conforme a los resultados obtenidos en campo y laboratorio, la secuencia estratigráfica encontrada se describe a continuación:

**Manto superficial (desde 0.0 y hasta 5.1 m en el noroeste y 2.3 m en el sureste).**

Se conforma de arcillas (**CH**), limos francos (**MH**) o (**ML** y **ML – SM**) y arenas limosas (**SM**) de color café, en tonos grisáceos claros. Cubriendo a estos suelos se detectó un relleno de 1.2 m de espesor integrado por cascajo, con más de 50 golpes en el ensaye de penetración estándar. El contenido de agua en la formación va desde 30 hasta 200% y la consistencia va de blanda a firme, registrándose entre 2 y 8 golpes en la prueba de la penetración estándar.

Se descarta que el gas que se expulsa del suelo y se inflama con la llama de los cerillos o los sopletes, sea producto de una fuga de gas natural o que se produzca por la descomposición de rellenos orgánicos antropogénicos. Probablemente se trate de metano, cuya presencia no es inusual en las arcillas del Valle y que ha sido reportado en la bibliografía correspondiente al Ex – Lago de Texcoco.

El nivel de agua freática se detectó en esta formación a 3.2 m de profundidad.

**Formación Arcillosa Superior (de 5.1 a 40.3 m en el noroeste y de 2.3 a 32.8 m en el sureste).**

Está integrada por arcilla (**CH**) de colores café y gris en tonos claros, oscuros, verdosos y rojizos, con poca arena y carbonato de calcio, cuyo espesor es de 35.2 m en el noroeste y disminuye a 30.5 m en el sureste. En los primeros 11 m se encuentran delgadas intercalaciones no mayores a 1 m, de limo arenoso (**MH**) o arena limosa (**SM**), de color gris oscuro; en particular esta última no aparece en los sondeos CE – 1 y CE – 2.

En las arcillas el contenido de agua oscila entre 100 y 260% en el noroeste de la Unidad y sube hasta 350% en el sureste. En los limos se reduce a 70 y 80% y en las arenas disminuye aún más, hasta 20 a 30%. Las arcillas son de consistencia muy blanda, registrándose, en promedio, 1 golpe en la prueba de penetración estándar. El lente de arena tiene una compacidad muy compacta, con más de 50 golpes para avanzar 28 cm.

En la prueba del cono, la resistencia de punta $q_c$ en las arcillas va desde 8 hasta 20 kgf/cm², y la resistencia del fuste $f_s$ desde 0.08 kgf/cm² hasta 0.32 kgf/cm². En los sondeos CE – 2 y CE – 3, a partir de los 9.2 m de profundidad y hasta el final de ambos sondeos, la resistencia del fuste es inusualmente baja, con valores nulos o que no rebasan los 0.02 kgf/cm².

En las arcillas, la resistencia no drenada va de 0.29 a 0.69 kgf/cm², con ángulos de fricción interna desde 1° y hasta 11° y su peso volumétrico varía de 1142 a 1483 kgf/m³, con módulos de elasticidad en el rango de 33 a 179 kgf/cm² para presiones de confinamiento entre 0.125 y 4 kgf/cm². También en éstas, la densidad de sólidos fluctúa entre 2.13 y 2.45, la relación de vacíos de 3.60 a 7.49 y el esfuerzo de preconsolidación está comprendido entre 1.58 y 3.68 kgf/cm². El coeficiente de compresibilidad volumétrica $m_v$ tiene valores entre 0.029 y 0.086 cm²/kgf y la relación de sobreconsolidación en la formación oscila entre 1.2 y 5.4.

**Depósitos Profundos (desde 40.3 m en el noroeste y 32.8 m al sureste y con espesor indefinido, mayor a 4.7 m).**

Están conformados por arcillas (CH), limos de baja plasticidad (ML) y arenas (SM) de colores café y gris, en tonos verdosos oscuros. Los limos y las arcillas son muy firmes a duros, con resistencia a la penetración estándar de 17 a 38 golpes; su contenido de agua oscila entre 100 y 160%, mientras que en las intercalaciones de arena decrece de 40 a 60%.

6. En la estación piezométrica ubicada en el extremo este de la Unidad, integrada con celdas a 15.85, 30.55 y 36.55 m de profundidad, se registraron abatimientos de la presión de 1.1, 5.3 y 32.9 tonf/m², respectivamente. **El abatimiento es producto de la excesiva extracción de agua del subsuelo en la zona y origina un incipiente *manto colgado*, que permite pronosticar un futuro decremento en la magnitud de la subsidencia.**

   En el pozo de observación, el nivel del agua se detectó a 3.20 m de profundidad.

7. Basados en las mediciones del hundimiento regional originado por el excesivo bombeo de los acuíferos del subsuelo, en los bancos de nivel más cercanos se ha reportado, entre los años 1987 y 2016, tasas de hundimiento que aumentan y después disminuyen hasta el rango de 7.9 a 16.7 cm/año. En todos estos bancos se puede observar que en la década de los 90, durante el desarrollo habitacional de la zona, la tasa de hundimiento aumentó con respecto a los periodos anteriores y se ha mantenido con un aumento relativamente constante, registrándose el mayor hacia el Canal de Chalco.

8. 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**.

   La velocidad de perforación promedio en los primeros dos metros fue de 0.79 m/min, alcanzando valores bajos en la zona suroeste de la Unidad y en la zona central del estacionamiento, donde se encontraron rellenos con cascajo; en el resto de la Unidad, la perforación se realizó rápidamente. Entre 2 y 4 m de profundidad, la velocidad de perforación promedio aumentó hasta 2.35 m/min, evidenciando la presencia de suelos blandos, aunque de igual manera se registraron velocidades bajas al final del estacionamiento y en el primer andador de la Unidad, indicando la presencia de rellenos antropogénicos. En la última etapa, la velocidad de perforación promedio disminuyó, indicando la presencia de suelos más consistentes que los superiores.

9. El volumen de lechada en las perforaciones inclinadas para relleno de grietas varió desde 0.12 hasta 28 $m^3$, excediendo notablemente su volumen teórico, lo que pone en evidencia el gran fisuramiento del suelo. En los barrenos para detección de cavidades fue en promedio de 3.63 $m^3$, con máximos de hasta 27 $m^3$ en los que interceptaron grietas; situación que pone en evidencia nuevamente el fisuramiento. Por otro lado, en las perforaciones tapón, el volumen promedio es de 0.92 $m^3$. **En todos los casos, los mayores volúmenes registrados corroboran la presencia de grietas**.

En algunos barrenos, aunque se rellenaron completamente, con el paso del tiempo el nivel de la lechada se profundizó, llegando incluso a vaciarse, por lo que se inyectaron nuevamente. En algunos otros casos, al perforar o inyectar un barreno, se expulsaba aire o lechada por los barrenos aledaños, haciendo evidente el gran fracturamiento del subsuelo. **Una de las zonas en las que el fracturamiento del suelo es mayor corresponde al minigraben.**

10. La cimentación original de las casas está compuesta por una losa de 10 cm de espesor, desplantada al nivel del terreno, con dalas perimetrales de 20 cm de ancho y 20 cm de peralte, que cubre un área en planta de 45.30 $m^2$.

    **Considerando las condiciones originales de las viviendas, en la combinación de carga vertical**, la cimentación transmite al subsuelo un esfuerzo máximo de 1.60 $tonf/m^2$, mucho menor que la capacidad de carga de 20.02 $tonf/m^2$, por lo que **la cimentación es estable**. **También resulta estable bajo la presencia del sismo de diseño, aun tomando en cuenta que existe un estrato blando intercalado.**

    Considerando que la adición de hasta 3 niveles incrementó proporcionalmente el peso de las casas, se ha determinado que la cimentación es estable en condiciones estáticas, con lo que se comprueba que **el problema de la Unidad es de hundimiento, no de capacidad de carga.**

    Cabe aclarar que este último cálculo no constituye autorización alguna para incrementar el número de niveles, ni garantiza que las viviendas ampliadas cumplan con las expresiones del reglamento en otras condiciones de carga, en especial las que se han extendido fuera de la losa original. Otros factores, particulares para cada edificación, deben ser considerados en el análisis de estabilidad de su cimentación, en especial en condiciones sísmicas, donde la excentricidad de las cargas resulta de vital importancia.

11. Los asentamientos totales calculados van desde 20 cm y hasta 80 cm, ocurriendo los mayores en las zonas en las que se concentran las casas con más de un nivel. Es claro que exceden y con mucho los 15 cm establecidos en las NTC para construcciones colindantes en las zonas II y III. No obstante, el asentamiento total no implica distorsiones angulares mayores, exceptuando en

las inmediaciones de los valores máximos, lo que explica la mediana incidencia de agrietamientos en los muros de las casas. Al respecto y en franca concordancia con los análisis, **los mayores asentamientos diferenciales y agrietamientos en muros, corresponden a las casas de un nivel colindantes con las de 2 a 4 niveles.**

Los asentamientos totales calculados producidos por las casas en su condición original alcanzan valores de hasta 18 cm y son, en general, de orden mucho menor y de distribución más uniforme que los correspondientes a las casas con hasta 4 niveles. Debe notarse que, **si las casas hubieran permanecido en sus condiciones originales, los asentamientos sólo hubieran excedido ligeramente los límites establecidos por las NTC.**

12. En las casas que permanecieron en su condición original y, en especial las que colindan con casas de 2 niveles o más, se deberán evaluar tanto las afectaciones estructurales en muros inducidas por las colindancias, como su propia estabilidad general.

    En las casas con ampliaciones se deberá revisar la estabilidad de la cimentación y la del modelo estructural resultante.

13. En el corto y mediano plazo es necesario que autoridades y ciudadanos implementen algunas medidas de mitigación, que permitan reducir las afectaciones a inmuebles e instalaciones urbanas; las más relevantes se comentan en el capítulo XIV.

14. **La construcción de edificios multifamiliares de 4 a 5 niveles con una cimentación rígida desvía la aparición de grietas a las zonas libres como estacionamientos y jardines, evitando que se generen severos daños.** Además, optimizan el uso del terreno y evitan o limitan la construcción caótica de ampliaciones.

15. Cualquier información adicional o alguna relevante que se hubiese omitido en el presente estudio, deberá comunicarse a SOILTEC, S.A. de C.V., para definir su influencia en lo aquí concluido.

# III. Antecedentes

La Comisión para la Reconstrucción de la Ciudad de México, a través de su Director General Operativo, el Lic. Mario Isaac González Valderrama, encomendó a **SOILTEC, S.A. de C.V.**, el estudio del subsuelo de la Unidad Habitacional ubicada en Av. Piraña #12, Colonia La Planta, en la alcaldía Iztapalapa de la Ciudad de México, con el fin de establecer su habitabilidad y proponer medidas de mitigación y control de las afectaciones que produce el agrietamiento del subsuelo.

El desarrollo habitacional, construido a principios de los años 90, cuenta con un área de 12 828.73 $m^2$ y una envolvente con dimensiones en planta de 268 m por 50 m. Colinda al este con las avenidas Piraña y Derechos Democráticos, al oeste con la calle El Molino, y al norte y sur con viviendas desde 1 y hasta 4 niveles (**Figura 01**).

Originalmente, las 121 viviendas que componen la Unidad solo 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 de concreto reforzado. Con una losa con dalas perimetrales, de iguales dimensiones a la planta de la casa y que también funge como piso de la misma. A la fecha, muchas de las viviendas se han ampliado tanto horizontal como verticalmente.

El subsuelo de la Unidad se encuentra fracturado, con evidencias de al menos dos grietas que corren perpendicularmente a la Unidad, en el sentido oeste – este (**Fotografías 01 y 02**). Los escalones que producen ambas grietas, de origen previo al sismo del 19 de septiembre de 2017, aumentaron durante este último, fracturando las tuberías de drenaje y agua potable dispuestas perpendicularmente a estas, sobre los andadores (**Fotografías 03 y 04**).

Además, en una franja que comprende a las casas 64 a 68 y 93 hasta 102, se asentó alrededor de 40 cm durante el evento sísmico; este desnivel fue parcialmente rellenado con tepetate en el estacionamiento, para permitir la circulación de vehículos dentro de la Unidad (**Fotografía 05**).

Información preliminar proporcionada por habitantes de la Unidad, presupone 6 zonas con *socavaciones*, cuya existencia se discute en el capítulo VIII. De éstas destaca una, bajo la casa 93, con aproximadamente 50 cm de claro vertical, y que abarca a la casa 92 contigua. Es también notoria una ligera inclinación de

la casa 93 hacia la franja de suelo que se asentó durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 (**Fotografía 06**).

Cabe aclarar que muchas de las afectaciones estéticas y estructurales en los acabados de las casas se deben a deficiencias de construcción y a la falta de diseño de la cimentación de las ampliaciones de las casas (si es que cuentan con una). Estos defectos quedaron en evidencia ante la aparición de los asentamientos diferenciales (**Fotografías 07 y 08**).

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 (**Fotografías 09 y 10**). Este fenómeno también ocurre con grupos de casas ampliadas cercanos a casas ligeras de un nivel.

# IV. Génesis y evolución de grietas en el subsuelo

El fenómeno de agrietamiento del suelo que se presenta en las alcaldías de Iztapalapa y Tláhuac de la Ciudad de México, se debe principalmente a la generación de esfuerzos de tensión en la masa de suelo; al ser pequeña su capacidad por tensión, se agrieta. El fenómeno también se produce en otras ciudades del país, como Querétaro, Morelia, Silao, Aguascalientes, entre otros (**Ref. 01**). En la cuenca del Valle de México, el agrietamiento del suelo se produce a través de diferentes mecanismos, entre ellos (**Ref. 02**):

- **Agrietamientos por fracturamiento hidráulico en zonas de encharcamientos.** Se producen cuando una zona con grietas de secado preexistentes, se inunda en época de lluvias. La carga hidráulica sobre las grietas aumenta su abertura y profundidad. En el Valle de México, este tipo de grietas son comunes en la zona de los ex-lagos, como Texcoco y Chalco. El ciclo de secas y lluvias reactiva las grietas cada año y genera nuevas.

- **Agrietamientos asociados a la subsidencia en zonas de transición abrupta.** Se producen en los suelos blandos sujetos al fenómeno de subsidencia originado por el excesivo bombeo de los acuíferos, en zonas donde el contacto entre suelos firmes y blandos es abrupto. Generalmente forman escalones hacia las zonas de mayor asentamiento y son paralelas a los pies de las laderas de sierras, cerros, afloramientos de rocas o materiales rígidos (**Ref. 02**).

- **Agrietamientos atribuibles a anomalías estratigráficas.** Son muy notorias debido a los grandes escalones que originan. Se producen debido a la incompatibilidad de deformaciones entre capas de suelos blandos altamente compresibles, cubiertos por suelos rígidos con fractura frágil.

- **Grietas atribuibles a la vegetación.** Producidas en la periferia de zonas en donde el nivel freático se encuentra abatido por el secado de las arcillas asociado a la presencia de árboles (**Ref. 03**).

- **Grietas atribuibles a estructuras geológicas sepultadas.** Generadas a raíz de la consolidación de suelos blandos sobre materiales rocosos de superficie irregular, que producen un asentamiento que es copia atenuada de la propia superficie.

### IV.1 Evolución de las grietas

En temporada de lluvias, las grietas que permanecen abiertas se llenan de agua, y la consiguiente carga hidráulica presiona en todas las direcciones, haciendo que las grietas aumenten su abertura y profundidad (**Figura 02, a y b**). Al cesar la temporada de lluvias, la discontinuidad en la masa de suelo abate el nivel freático, produciendo asentamientos en la zona aledaña a la grieta (**Figura 02, c**).

El flujo de agua en la dirección de la grieta genera erosión en las paredes de la misma, arrastrando al suelo y generando eventualmente socavones a lo largo de la grieta (**Figura 02, d**). Con el paso del tiempo, la inestabilidad del socavón resulta en el colapso de su bóveda, el material caído se deposita en el fondo y el socavón inicia su proceso de migración hacia la superficie (**Figura 02, e**). Si el socavón no es detectado y rellenado oportunamente, llegará a la superficie, provocando el colapso súbito del suelo y arrastrando todo lo que se encuentre sobre el mismo (**Figura 02, f**).

### IV.2 Tratamiento

La discontinuidad genera una gran vulnerabilidad a la erosión debida al intemperismo, incluida la acción del agua, por lo que se debe restituir la continuidad del medio rellenando la grieta con un material con propiedades similares al propio suelo.

### IV.3 Mitigación

La generación de grietas puede evitarse aumentando los esfuerzos horizontales de compresión en la superficie del suelo, mediante la construcción de un terraplén, con o sin refuerzo, o **bien sustituyendo las viviendas unifamiliares por edificios multifamiliares de 4 a 5 niveles con una cimentación rígida** (**Figura 03**). Estas medidas, al aumentar los esfuerzos horizontales de compresión a magnitudes mayores a su resistencia a la tensión, desvían las grietas de la zona, evitando que se generen severos daños (**Ref. 04**).

# V. Asentamiento súbito de franjas de suelo entre dos grietas cercanas durante sismos

Durante el sismo del 19 de septiembre de 2017, se observó, en algunas zonas de la alcaldía de Iztapalapa, el asentamiento *súbito e inmediato* de franjas de suelo entre dos grietas. Aunque la traza de algunas de éstas precede al sismo, el asentamiento patente se registró *durante* el fenómeno sísmico, causando asombro y terror en la población circunvecina. En el estacionamiento de la Unidad El Parque, en este mismo evento, se formó un desnivel de aproximadamente 40 cm entre dos grietas separadas 27 m.

A falta de una mejor denominación, se ha considerado adecuado nombrar *minigraben* al hundimiento producido entre las grietas, en analogía a los *grabens*, también conocidos como *fosas tectónicas*, en los que se produce una depresión entre dos fallas normales paralelas, cuando la roca se separa por el fenómeno geológico de distensión. El prefijo *mini* se añade para diferenciar ambos fenómenos, pues, entre otras diferencias, el que ocurre en el suelo cuenta con pocas decenas de metros de ancho y un escalón no mayor a 2 m, mientras que el que ocurre en las rocas tiene kilómetros de ancho y longitud y centenares de metros de escalón.

Teóricamente, el desarrollo del minigraben puede ser dividido en tres partes:

- Generación y evolución de grietas por el fenómeno de subsidencia, siguiendo las curvas de nivel del terreno y formando un bloque entre un par de grietas cercanas y aproximadamente paralelas.
- Excitación de la masa de suelo durante un fenómeno sísmico, abertura y cierre de las grietas que definen el bloque, con la consiguiente pérdida del confinamiento lateral.
- Deformación o asentamiento elástico del bloque.

Estos tres elementos son *necesarios* para que el mecanismo de falla sea *cinemáticamente admisible* (*i.e.* que permita el libre movimiento del bloque). Se ha observado que el fenómeno solamente ocurre durante un movimiento sísmico, entre dos grietas cercanas; algunos testimonios señalan que este fenómeno también se presentó en algunas zonas del noreste del Valle de México, durante los sismos de 1985.

### V.1 Formación del bloque

Al combinarse el fenómeno de subsidencia con una *gran discontinuidad* de la roca basal, se generan esfuerzos en la superficie del suelo diferentes a los que experimenta normalmente por su propio

peso. Estos esfuerzos son producidos por la *fluencia* de la arcilla de un lado a otro de la discontinuidad, que a la vez resulta en la plastificación de las zonas donde estos esfuerzos son mayores. Estas discontinuidades de la roca basal han sido reportadas previamente en la zona, y pueden ser tan grandes como cambios verticales de 60 m, en menos de 33 m horizontales (**Ref. 05**).

Eventualmente, dichos esfuerzos producirán una grieta o familia de grietas inclinadas, con la tendencia a definir una cuña de forma triangular. Es probable que estos planos de falla no se desarrollen en su totalidad, debido que, al incrementarse la profundidad, también lo hace el confinamiento; a la vez que los esfuerzos producido por la fluencia mencionada anteriormente disminuyen. Por esto, se asume que la abertura de la grieta disminuye hasta una profundidad *finita*, que define un bloque de forma trapezoidal. Las calas realizadas en la Unidad comprueban que las grietas **no son verticales**.

Es posible que, el bloque también pueda ser delimitado por dos grietas verticales, producidas por un mecanismo *diferente* al mencionado anteriormente (*e.g.* grietas de tensión, desecación, *etc*., ver el capítulo IV).

**V.2 Excitación sísmica de la masa de suelo entre el par de grietas**

Durante un fenómeno sísmico, la propagación de las ondas sísmicas en la masa de suelo produce en ésta un movimiento uniforme. Sin embargo, cuando la masa es *discontinua* (*i.e.* con presencia de grietas), las ondas producen un movimiento desfasado de los bloques de suelo. En algunos momentos, el confinamiento lateral de un bloque se pierde por la abertura de las grietas, y se produce un asentamiento elástico y casi inmediato del bloque. En otros, el bloque se confina con un esfuerzo lateral mayor al del reposo y en consecuencia se expande. Aunque, debido a que el módulo de elasticidad es menor para la carga que para la descarga, las expansiones que se producirán serán de menor magnitud que los asentamientos. De cualquier manera, la abertura deberá ser permanente para que la deformación también lo sea. Este fenómeno de apertura y cierre de grietas fue reportado durante el terremoto de Fukui en Japón, 1948 (**Ref. 06**).

Aunque resulta difícil concebir un mecanismo cinemáticamente admisible que genere una abertura permanente sin un talud o ladera en las proximidades que permita el libre deslizamiento de la masa de suelo, se sabe que, debido a la naturaleza compresible del suelo, las deformaciones inducidas durante el sismo serán *permanentes*. Modelos numéricos de la respuesta sísmica de una columna de suelo bajo grandes aceleraciones, confirman que, al final de la excitación sísmica, se produce una deformación

permanente en la columna de suelo (**Ref. 07**). Además, evidencias de este desplazamiento fueron registradas durante el terremoto de Kumamoto en Japón, en 2016, en el que la superficie del terreno se desplazó horizontalmente varias decenas de centímetros; también se produjeron asentamientos de 1.3 m, en promedio, en franjas de suelo de alrededor de 50 m de ancho (**Ref. 08**).

Durante el sismo de 2017, en la estación acelerográfica ubicada a 6.75 km de distancia de la UH El Parque se registraron aceleraciones máximas de hasta 190 cm/s$^2$, con velocidades en superficie de hasta 50 cm/s. La velocidad de onda cortante en la zona, usando una aproximación basada en la teoría de la elasticidad, es de 52 m/s, de magnitud muy similar a lo reportado en la bibliografía para la zona del lago Xochimilco – Chalco (**Ref. 09**) y que se puede medir a través de sondeos geofísicos.

Con estos dos parámetros, se estiman deformaciones unitarias, de entre 0.12 a 1.08%, que, a manera de ejemplo, representan deformaciones entre 1.2 y 10.8 mm para un ancho de superficie de 1 m. Por lo tanto, se puede decir que la abertura de las grietas fue suficiente para producir la deformación del bloque. Por otro lado, estas deformaciones representan esfuerzos entre 1.25 y 11.21 tonf/m$^2$, en los que el suelo se encuentra en la rama cuasielástica, por lo que no se produce plastificación o falla del suelo por la acción de las ondas.

**V.3 Deformación elástica del bloque**

La magnitud del asentamiento del bloque se puede evaluar a través de la teoría de la elasticidad, calculando las deformaciones producidas *solamente* por el peso propio del bloque, sin confinamiento ni sobrecargas. La deducción puede realizarse para cada hipótesis de forma del bloque, obteniendo las siguientes conclusiones:

- En el caso de un bloque trapezoidal, la deformación depende del módulo de elasticidad, del peso volumétrico del suelo y de la separación y profundidad de las grietas, lo que conlleva a que el asentamiento será mayor conforme más profundas sean las grietas y se reducirá hasta un mínimo teórico entre más ancho sea el minigraben, es decir, entre más separadas estén las grietas.

- Si el bloque es triangular, al concentrarse los esfuerzos en la punta del triángulo, se obtiene un asentamiento teóricamente *infinito*, que no ocurre en la realidad y más bien se encuentra limitado por las características esfuerzo – deformación del suelo.

- Por su parte, en el bloque rectangular, delimitado por dos grietas verticales, el asentamiento no depende del ancho del bloque; solamente del módulo de elasticidad y del peso volumétrico del suelo y de la profundidad de las grietas.

Para la Unidad El Parque, suponiendo un bloque trapezoidal, y usando los parámetros medidos de la superficie del suelo, se ha calculado un asentamiento de 38 cm, de magnitud muy similar a los 40 cm reportados por sus habitantes. Este cálculo se encuentra también en concordancia con los minigrabens reportados en la calle de Molinos y en la Colonia del Mar.

**V.4 Habitabilidad de la zona**

Como la aparición de grietas está directamente relacionada a grandes erraticidades en la profundidad de la roca basal, mientras no se estudie exhaustivamente el relieve de ésta, **no podrán delimitarse con una aproximación adecuada las zonas en las que la probabilidad de ocurrencia de grietas en escalón es alta**.

Luego entonces, si la formación del minigraben responde a los fundamentos teóricos expresados en este capítulo, y se tiene especial cuidado en detectar y tratar tanto las actuales grietas como las nuevas que ocurran en el futuro, **se puede concluir que al presente no está en riesgo la seguridad geotécnica de los inmuebles atravesados por las grietas, por lo que puede descartarse su demolición y posterior reubicación. Obviamente que esta conclusión tiene un carácter temporal, dado que es función de que, por efecto del incipiente manto colgado (ver el Capítulo X), se reduzca marcadamente la subsidencia de la zona.**

Mas bien, debe restituirse la continuidad del subsuelo para evitar los problemas asociados a la presencia de grietas, incluida la formación de otro minigraben durante un sismo de magnitud considerable. También hay que considerar que rigidizando tales inmuebles, en particular su cimentación, podrán soportar un escalón, a costa de una ligera inclinación.

# VI. Interpretación de fotografías aéreas antiguas

Para determinar si las grietas que atraviesan la Unidad Habitacional, y sobre todo las de gran escalón, anteceden a la construcción de la Unidad a principios de los años 90, se utilizaron pares estereoscópicos de fotografías aéreas procedentes de vuelos históricos conservados en la Fundación ICA, A.C.

Así, en el par estereoscópico correspondiente a un vuelo fechado en 1974 (**Ref. 10**), el lote en el que ahora se encuentra la Unidad se encontraba delimitado y con vegetación pequeña. En la interpretación estereoscópica no se detectaron agrietamientos superficiales del subsuelo ni algún desnivel perceptible (**Figura 04**).

Poco más de una década después, en 1985 (**Ref. 11**), la zona circunvecina al lote se encuentra medianamente urbanizada, con viviendas de no más de dos niveles. Por el contrario, el terreno de la futura Unidad permanece delimitado, aunque sin ocuparse y sin vegetación considerable. De igual manera, en la interpretación no se perciben desniveles, ni rastros de las grietas del subsuelo que hoy la cruzan. La única construcción que yace en el polígono que ahora define la Unidad es la *casa club*, que posteriormente se integraría al diseño de la misma (**Figura 05**).

Lo anterior coincide con los testimonios que aseguran que, cuando se construyó la Unidad, el terreno era plano, nivelado y sin la existencia de grietas. En concordancia, durante la exploración del subsuelo, **no se encontró el supuesto relleno sanitario improvisado en una larga zanja de 8 m de profundidad**, cuya existencia mencionaron algunos habitantes de la Unidad.

# VII. Exploración del subsuelo

La exploración del subsuelo (**Figura 06**) incluyó la perforación de 3 sondeos mixtos selectivos denominados M – 1 a M – 3 (**Figuras 07 a 09**), uno profundo, hasta 46.2 m de profundidad y dos someros hasta 15.0 m, combinando la recuperación de muestras alteradas bajo el método de penetración estándar (SPT), con la recuperación de muestras inalteradas mediante el hincado a presión de un muestreador de pared delgada tipo Shelby en los suelos blandos y el hincado a presión y rotación de un Barril Denison en suelos compactos y/o cementados (**Fotografías 11 y 12**).

Adicionalmente, se realizaron tres sondeos de cono electrónico (CE – 1 hasta CE – 3); el primero profundo, hasta 40.1 m de profundidad y los restantes someros, hasta 15.0 m, con el fin de obtener un perfil continuo de la resistencia de punta ($q_c$) y de fuste ($f_s$) del suelo, que al complementarse con la información de los sondeos mixtos, permitió caracterizar con mayor precisión la secuencia estratigráfica (**Figuras 10 a 12**).

Se realizó también un sondeo a cielo abierto, denominado PCA – 1, profundizado a 3 m (**Figura 13**), del cual se extrajeron, de forma manual, tres muestras cúbicas inalteradas (**Fotografías 13 y 14**). Adicionalmente, se realizaron 3 calas en cimentación, denominadas CC – 1 a CC – 3, para observar las grietas y, a la vez, conocer el tipo y estado de la cimentación de los propios inmuebles y los colindantes.

Por último, con el objetivo de monitorear la distribución de la presión de poro en el subsuelo, se instaló una estación piezométrica con 3 piezómetros abiertos tipo Casagrande, denominados PZ – 1 hasta PZ – 3, con celdas a 15.85, 30.55 y 36.55 m de profundidad, respectivamente. Se instaló también un pozo de observación del nivel freático (PO – 1), a 5 m de profundidad.

# VIII. Estudios de campo para la detección de cavidades en el subsuelo

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 y con la distribución que se muestra en la **Figura 14**. Así mismo, 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. De igual manera, se programó el rellenado de los barrenos perforados con la mezcla plástica o con arena y mezcla plástica.

Adicionalmente, en los sitios que se indican en la **Figura 15**, se realizaron 3 calas para corroborar la presencia de los socavones previamente reportados por los vecinos de la Unidad, con los resultados que se discuten a continuación.

Así, en la cala denominada CC – 1, bajo la casa 93, se detectó que **el *socavón* reportado es más bien la traza del flanco norte del minigraben** y que atraviesa diagonalmente a la cimentación de las casas 93 y 92. Esta grieta **se encuentra inclinada con respecto a la vertical** y posee unos 20 cm de abertura (**Fotografías 15 a 19**).

En la cala denominada CC – 2, entre las casas 102 y 103, se interceptó otra grieta que corresponde al flanco sur del minigraben y que corre diagonalmente al andador y se prolonga debajo de la casa 102; tiene 30 cm de abertura y también se encuentra inclinada respecto a la vertical (**Fotografías 20 a 22**). En esta cala se pudo constatar que **la cimentación de ambas casas es independiente y delimitada con una junta**, en contraposición a la información recibida preliminarmente. Además, es notorio un desnivel entre ambas casas, por las razones discutidas al final del capítulo III.

Por último, con la cala CC – 3, excavada en el patio trasero de la casa 120, se pudo comprobar la estructuración original de la cimentación de las casas, a la vez que se observó, una vez más, que **la cimentación de la casa es discontinua respecto a las contiguas** (**Fotografías 23 a 25**).

La detección previa de grietas en la Unidad (**Figura 06**) consistió tanto en el registro de las que afloraban en superficie como de otras muchas inferidas tomando como base los daños en las viviendas. Sin embargo, como se comprueba al final del capítulo XIII, muchos de estos daños responden al efecto de la ampliación de las casas.

# IX. Ensayes de laboratorio

Las muestras recuperadas de la campaña de exploración fueron etiquetadas, protegidas contra la pérdida de humedad y trasladadas al laboratorio de **SOILTEC**, donde se les efectuaron las pruebas necesarias para definir sus propiedades índice y mecánicas.

Encaminados a su correcta identificación, a todas las muestras se les efectuaron los siguientes ensayes índice:

- Clasificación visual y al tacto, en húmedo y en seco, de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).
- Contenido natural de agua.
- Límites de plasticidad, líquido y plástico.
- Análisis granulométrico.

Adicionalmente, a las muestras inalteradas se les realizaron ensayes **de compresión triaxial, no consolidados, no drenados (UU)**, para determinar sus propiedades mecánicas de resistencia cortante, así como **ensayes de consolidación unidimensional** para determinar su compresibilidad.

Los resultados de los ensayes de laboratorio se muestran en las **Figuras 16 a 48**.

# X. Secuencia estratigráfica y propiedades del subsuelo

De acuerdo a la zonificación geotécnica del Valle de México, contenida en las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones para la Ciudad de México (**Ref. 12**), el predio en estudio, localizado en los 19° 17' 37.12" de Latitud Norte y 99° 03' 45.23" de Longitud Oeste (**Figura 1**), corresponde a la **Zona del Lago (Zona III)**, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresible, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estos depósitos lacustres suelen estar cubiertos superficialmente por suelos aluviales, materiales desecados y rellenos artificiales; el espesor de este conjunto puede ser superior a 50 m.

Conforme a los resultados obtenidos en campo y laboratorio, la secuencia estratigráfica encontrada se representa gráficamente en los perfiles estratigráficos de las **Figuras 07 a 09** y en el corte estratigráfico de la **Figura 49** y se describe a continuación:

**Manto superficial (*desde 0.0 y hasta 5.1 m en el noroeste y 2.3 m en el sureste*)**

Se conforma de arcillas (**CH**), limos francos (**MH**) o arenosos (**ML** y **ML – SM**) y arenas limosas (**SM**) de color café, en tonos grisáceos claros. Cubriendo a estos suelos se detectó un relleno de 1.2 m de espesor integrado por cascajo, con más de 50 golpes en el ensaye de penetración estándar.

Ha sido reportado por los habitantes de la Unidad, durante excavaciones someras para reparaciones diversas, la liberación de un gas inodoro del suelo que se inflama con la llama de los sopletes. Se descarta una fuga de gas natural o que se trate de metano producto de la descomposición de rellenos orgánicos antropogénicos. Mas bien corresponde a la presencia de metano en las arcillas orgánicas del Valle que ha sido reportada en la bibliografía correspondiente al Ex – Lago de Texcoco.

El contenido de agua en la formación va desde 30% hasta 200% y la consistencia va de blanda a firme, registrándose entre 2 y 8 golpes en la prueba de la penetración estándar.

En el ensaye de cono, la resistencia de punta $q_c$ se midió entre los 10 y 22 kgf/cm², mientras que la resistencia de fuste $f_s$ alcanzó valores de hasta 0.5 kgf/cm². En ambos casos siendo mayor en la superficie y disminuyendo con la profundidad.

En las arcillas, la resistencia no drenada obtenida en ensayes triaxiales (**UU**) es de 0.50 kgf/cm², en algunos casos con ángulos de fricción interna de hasta 21° (**Figura 16**). En los limos, la cohesión aumenta al rango de 0.15 a 1.19 kgf/cm², con ángulos de fricción interna de 16 a 25° (**Figuras 30 a 32**). En la prueba realizada en la arena, la cohesión disminuye a 0.27 kgf/cm² y el ángulo de fricción aumenta a 24° (Figura 17).

Las arcillas tienen pesos volumétricos entre los 1354 y 1415 kgf/m³ y módulos de elasticidad entre 44 y 105 kgf/cm² para presiones de confinamiento entre 0.125 y 1 kgf/cm². En los limos, el peso volumétrico oscila entre los 1157 y 1884 kgf/m³, el módulo de elasticidad entre 54 y 351 kgf/cm² para presiones de confinamiento iguales a las de las arcillas. En las arenas, los pesos volumétricos aumentan ligeramente al rango entre 1672 a 1773 kgf/m³ y los módulos de elasticidad a 73 a 259 kgf/cm² para las mismas presiones de confinamiento.

Un espécimen de arcilla tiene densidad de sólidos de 2.27, y relación de vacíos de 2.86. En los limos, la densidad de sólidos aumenta al rango de 2.21 a 2.55, con relaciones de vacíos entre 1.70 y 4.47. En las arenas, la densidad de sólidos es de 2.64 y la relación de vacíos de 0.74.

El esfuerzo de preconsolidación fluctúa entre 1.59 y 2.03 kgf/cm², mientras que el coeficiente de compresibilidad volumétrica $m_v$ tiene valores entre 0.050 y 0.129 cm²/kgf. La relación de sobreconsolidación oscila entre 5.0 y 13.7, con valores más elevados cerca de la superficie, atribuibles a factores antrópicos.

El nivel de agua freática se detectó en esta formación a 3.2 m de profundidad.

**Formación Arcillosa Superior (*de 5.1 a 40.3 m en el noroeste y de 2.3 a 32.8 m en el sureste*)**

Está integrada por arcilla (**CH**) de colores café y gris en tonos claros, oscuros, verdosos y rojizos, con poca arena y carbonato de calcio, cuyo espesor es de 35.2 m en

el noroeste y disminuye a 30.5 m en el sureste. En los primeros 11 m se encuentran delgadas intercalaciones, no mayores a 1 m, de limo arenoso (**MH**) o arena limosa (**SM**), de color gris oscuro; en particular esta última no aparece en los sondeos CE – 1 y CE – 2.

En las arcillas el contenido de agua oscila entre 100 y 260% en el noroeste de la Unidad y sube hasta 350% en el sureste. En los limos se reduce a 70 y 80% y en las arenas disminuye aún más, hasta 20 a 30%. Las arcillas son de consistencia muy blanda, registrándose, en promedio, 1 golpe en la prueba de penetración estándar. El lente de arena tiene una compacidad muy compacta, con más de 50 golpes para avanzar 28 cm.

En la prueba del cono, la resistencia de punta $q_c$ en las arcillas va desde 8 hasta 20 kgf/cm$^2$, con dos tendencias: una desde el inicio de la formación hasta 24 m y otra desde ese punto y hasta la frontera inferior, ambas crecientes con la profundidad. La resistencia del fuste $f_s$ muestra también dos tendencias: una desde el inicio y hasta 10.1 m, en la que se mantiene alrededor de 0.08 kgf/cm$^2$ y otra a partir de ese punto hasta el final de la formación en que aumenta al rango desde 0.12 hasta 0.32 kgf/cm$^2$. En los sondeos CE – 2 y CE – 3, a partir de los 9.2 m de profundidad y hasta el final de ambos, la resistencia del fuste es inusualmente baja, con valores nulos o que no rebasan los 0.02 kgf/cm$^2$. En el estrato de arena detectado en el sondeo CE – 2, las resistencias de punta y fuste alcanzan valores máximos de165 kgf/cm$^2$ y 0.4 kgf/cm$^2$, respectivamente.

En las arcillas, la resistencia no drenada en ensayes triaxiales (**UU**) va de 0.29 a 0.69 kgf/cm$^2$, con ángulos de fricción interna desde 1° y hasta 11°. El peso volumétrico varía de 1142 a 1483 kgf/m$^3$, con módulos de elasticidad en el rango de 33 a 179 kgf/cm$^2$ para presiones de confinamiento entre 0.125 y 4 kgf/cm$^2$ (**Figuras 18 a 29**).

También en estas, la densidad de sólidos fluctúa entre 2.13 y 2.45, y la relación de vacíos de 3.60 a 7.49. El esfuerzo de preconsolidación está comprendido entre 1.58 y 3.68 kgf/cm$^2$, con dos tendencias de disminución con la profundidad, la primera desde el inicio de la formación y hasta 30 m y la siguiente hasta la frontera inferior de la formación.

El coeficiente de compresibilidad volumétrica $m_v$ tiene valores crecientes con la profundidad, entre 0.029 y 0.086 cm$^2$/kgf. La relación de sobreconsolidación en la formación oscila entre 1.2 y 5.4, con una tendencia de disminución contra la profundidad.

En dos casos, indicados con asterisco en la **Figura 50**, se registran valores menores a la unidad, atribuibles a decrementos en la presión de poro por flujo *cuasivertical*.

**Depósitos Profundos (*desde 40.3 m en el noroeste y 32.8 m al sureste y con espesor indefinido, mayor a 4.7 m*)**

Están conformados por arcillas (**CH**), limos de baja plasticidad (**ML**) y arenas (**SM**) de colores café y gris, en tonos verdosos oscuros. Los limos y las arcillas son muy firmes a duros, con resistencia a la penetración estándar de 17 a 38 golpes; su contenido de agua oscila entre 100 y 160%, mientras que en las intercalaciones de arena decrece de 40 a 60%.

La resistencia de punta del cono $q_c$ va desde 20 hasta 130 kgf/cm², y la de fuste $f_s$ lo hace de 0.1 a 1.56 kgf/cm², ambas con una tendencia de aumento conforme la profundidad.

**X.1 Piezometría**

La distribución de la presión de poro en el subsuelo se obtuvo mediante una estación piezométrica ubicada en el extremo este de la Unidad, integrada con celdas a 15.85, 30.55 y 36.55 m de profundidad, en las que se registró un abatimiento de la presión de 1.1, 5.3 y 32.9 tonf/m², respectivamente.

El abatimiento es producto de la excesiva extracción de agua del subsuelo en el Valle, y en la Unidad origina un incipiente *manto colgado* (**Figura 50**), que permite pronosticar un decremento en la magnitud de la subsidencia en el futuro inmediato.

En el pozo de observación, el nivel del agua se detectó a 3.20 m de profundidad.

**X.2 Hundimiento Regional**

Basados en las mediciones del hundimiento regional originado por el excesivo bombeo de los acuíferos del subsuelo, que fueron publicadas por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (**Ref. 13**), se ubicaron los bancos cercanos al predio en estudio, obteniéndose la siguiente información que se presenta gráficamente en la **Figura 53**:

El banco de nivel ubicado en la esquina de las calles Salmón y Pez Vela, denominado BN – 1, en los periodos de 1993 a 2003, 2003 a 2006, 2006 a 2008 y 2008 a 2017, ha experimentado tasas de hundimiento

que aumentan en los dos primeros periodos y disminuyen en el último, con magnitudes de 6.3, 7.0, 11.4 y 7.9 cm/año, respectivamente.

Por su parte, el banco de nivel BN – 2, que se encuentra en la calle Encino, entre Ébano y Ocote, presentó tasas de hundimiento que disminuyen ligeramente y después aumentan también ligeramente, de 10.3, 9.4 y 11.6 cm/año, en los periodos comprendidos entre los años 1989 a 1998, 1998 a 2005 y 2005 a 2016, respectivamente.

En contraste, en el banco de nivel BN – 3, instalado en la esquina de las calles Esturión y Perla, en los periodos de 1994 a 1999, 1999 a 2005, 2005 a 2007 y 2007 a 2016, se han registrado velocidades de hundimiento que inicialmente aumentan y en el último periodo disminuyen ligeramente, de 4.9, 10.6, 11.2 y 10.0 cm/año, respectivamente.

Por último, el banco de nivel BN – 4, localizado en Canal de Chalco esquina con Piraña, también tuvo una velocidad de hundimiento que aumenta y disminuye ligeramente en los periodos de 1987 a 1989, 1989 a 1994, 1994 a 1998, 1998 a 2005 y 2005 y 2016, con magnitudes de 39.0, 21.4, 26.6, 14.0 y 16.7 cm/año, respectivamente.

En la década de los 90, durante el desarrollo habitacional de la zona, la tasa de hundimiento aumentó con respecto a los periodos anteriores y se ha mantenido con un aumento relativamente constante, registrándose el mayor hacia el Canal de Chalco.

# XI. Incidencias en la barrenación para la detección de cavidades

Debido al reducido espacio en los andadores por la presencia de rejas, bardas, *etc.*, el acceso del equipo de perforación resultó difícil y en ocasiones imposible. Por esta razón se eligió una perforadora neumática, más compacta y ligera que su semejante hidráulica. Al realizar cada perforación se prestó especial atención a las incidencias que provocan las discontinuidades del suelo.

Para completar la profundidad de cada barreno, se perforó en 3 etapas, en las que se introdujo una barra de 2 m de longitud y se registró el tiempo necesario para realizarlo. Las primeras 2 etapas consistieron en la longitud total de la barra y la última solamente la mitad para alcanzar la profundidad de 5 m. Durante la perforación, no se presentaron pérdidas del aire comprimido y tampoco se registró el avance súbito de la sarta de perforación por peso propio (*i.e.* sin el empuje o la rotación de la máquina), es decir, **no se detectó la presencia de cavidades en el subsuelo de la Unidad**.

El tiempo para perforar los primeros dos metros fue, en promedio, de 6.08 min, alcanzando valores de hasta 28.18 min en el suroeste de la Unidad y en la zona central del estacionamiento, donde se encontró relleno con cascajo. En el resto de la Unidad, donde no se encontró este relleno, la perforación se realizó rápidamente. La velocidad de perforación promedio de esta fase fue de 0.33 m/min.

Entre 2 y 4 m de profundidad, el tiempo de perforación promedio disminuyó a 2.51 min, registrándose de igual manera tiempos de más de 20 min al final del estacionamiento y en el primer andador de la Unidad, indicando la presencia de rellenos antropogénicos. Para esta etapa, la velocidad de perforación promedio aumentó hasta 0.80 m/min, evidenciando la presencia de suelos blandos.

El tiempo para perforar el último metro osciló entre 0.20 y 4.52 min, con una media de 1.08 min; los valores máximos se registran en las mismas zonas que el segmento anterior. La velocidad de perforación promedio aumentó ligeramente a 0.93 m/min, indicando la presencia de suelos más blandos que los superiores.

# XII. Sellado de grietas en la Unidad

Para reestablecer la continuidad del subsuelo interrumpida por la presencia de grietas, a la vez de eliminar el riesgo de que el flujo de agua en las grietas eventualmente genere cavidades de grandes dimensiones, se procedió a rellenarlas mediante la inyección de lechadas conformadas por cementantes – bentonita – agua – aditivos, de propiedades semejantes a los suelos del lugar, registrándose los volúmenes por barreno que se consignan en la **Figura 54, a** y que se encuentran tabulados en el **Anexo III**, junto con las incidencias en la perforación.

Así, el volumen de lechada en las perforaciones inclinadas para relleno de grietas varió desde 0.12 hasta 28 $m^3$, excediendo notablemente su volumen teórico, lo que pone en evidencia el gran fisuramiento del suelo. En los barrenos para detección de cavidades fue en promedio de 3.63 $m^3$, con máximos de hasta 27 $m^3$ en aquellos que interceptaron grietas; situación que pone en evidencia nuevamente el gran fracturamiento del subsuelo. Por otro lado, en las perforaciones tapón, el volumen promedio es de 0.92 $m^3$. **En todos los casos, los mayores volúmenes corroboran la presencia de grandes y extensas grietas.**

En algunos barrenos, el nivel de lechada se profundizó lentamente después de ser rellenados completamente, llegando incluso a vaciarse, por lo que se inyectaron nuevamente. En algunos otros casos, al perforar o inyectar un barreno, se expulsaba aire o mezcla por los barrenos aledaños, **haciendo evidente el gran fracturamiento del subsuelo**. Los barrenos aledaños que fueron rellenados completamente de esta manera indirecta, no fueron inyectados. Por otro lado, en las zonas de fracturamiento menor o nulo, la lechada fluyó por debajo de los adoquines y las losas, en algunos casos levantándolas y en otros creando pequeños montículos.

A través de una interpretación geoestadística de la información pueden estimarse las zonas donde el fracturamiento del suelo es mayor (**Figura 54, b**). Esto se debe a que, cuando se realiza la inyección, se tienen 2 posibilidades:

- Si se inyecta un suelo sin discontinuidades, el volumen inyectado será muy cercano al volumen del barreno.
- Si se inyecta una discontinuidad (e.g. una grieta), la mezcla fluirá con poca o nula resistencia hasta llenarla completamente; si se continúa la inyección, se incrementará la profundidad y abertura de

las fracturas. Todo esto se traduce en volúmenes de inyección elevados, mucho mayores a los del barreno.

En la Unidad, esta zona corresponde al minigraben, comprobando la hipótesis involucrada en el capítulo V, de que se generan esfuerzos adicionales en la superficie del suelo por la fluencia de la arcilla de un lado a otro de la discontinuidad de la roca basal.

Por otro lado, debido a que la lechada tiene propiedades mecánicas similares al subsuelo y a que se realizaron inyecciones perimetrales que impidieron el flujo de la misma fuera de la Unidad, **el comportamiento del subsuelo *restituido* será semejante al de su estado original sin grietas, por lo que no se presentarán afectaciones en las colindancias como producto de la inyección.**

# XIII. Evaluación de la capacidad de carga y de los asentamientos del subsuelo

## XIII.1 Tipo de cimentación

La cimentación original de las casas está compuesta por una losa de 10 cm de espesor, desplantada al nivel del terreno, con dalas perimetrales de 20 cm de ancho y 20 cm de peralte, que cubre un área en planta de 45.30 m² (**Figura 15**).

## XIII.2 Estados límite de falla

Se revisó la estabilidad de la losa bajo carga vertical de acuerdo con la expresión siguiente, contenida en las NTC (**Ref. 13**), utilizando información procedente de pruebas triaxiales UU, considerando al estrato de apoyo como puramente cohesivo, y utilizando un factor de resistencia igual a 0.65:

$$\frac{\sum \mathrm{QF_c}}{\mathrm{A}} < \mathrm{c_u N_c F_R} + \sigma_\mathrm{v} \qquad \text{.....(1)}$$

Donde:

$\sum \mathrm{QF_c} =$ Suma de las acciones verticales a nivel de cimentación, afectada por su respectivo factor de carga (tonf/m²).

$\mathrm{A} =$ Área del cimiento (m²).

$c_u =$ Resistencia no drenada del suelo de desplante (tonf/m²).

$\mathrm{N_c} =$ Factor de capacidad de carga (adimensional).

$\sigma_\mathrm{v} =$ Esfuerzo vertical total a la profundidad de desplante (tonf/m²).

$\mathrm{F_R} =$ Factor de resistencia (Adimensional).

***Condiciones estáticas en viviendas de un nivel***

Considerando las condiciones originales de las viviendas, en la combinación de carga vertical que involucra a las cargas permanentes más las variables con su intensidad máxima, ambas afectadas por los factores de carga correspondientes, la cimentación transmite al subsuelo un esfuerzo máximo de 1.60 tonf/m², por lo que se satisface la desigualdad (1):

$$1.61 \text{ tonf/m}^2 < 20.02 \text{ tonf/m}^2$$

***Condiciones dinámicas en viviendas de un nivel***

Se revisó también la capacidad de carga de la cimentación para las viviendas originales bajo la presencia del sismo de diseño, considerando que, en todas las combinaciones establecidas por las NTC, el momento de volteo conlleva a un área de desplante reducida.

Así, en la condición de carga más desfavorable se genera un esfuerzo máximo de 1.23 tonf/m², magnitud que satisfacen nuevamente la desigualdad (1), considerando la capacidad de carga en condiciones dinámicas:

$$1.23\ \text{tonf/m}^2 < 15.59\ \text{tonf/m}^2$$

Cabe citar que en ninguna de las condiciones de carga se generan esfuerzos de tensión.

***Estrato blando en viviendas de un nivel***

Se revisó también la capacidad de carga de las cimentaciones tomando en cuenta que se encuentran asentadas sobre un suelo intercalado por un estrato blando, siguiendo el criterio establecido por las NTC, para las condiciones estáticas y dinámicas. Una vez más, la cimentación satisface la expresión (1).

*En condiciones estáticas:*

$$0.71\ \text{tonf/m}^2 < 11.11\ \text{tonf/m}^2$$

*En condiciones dinámicas:*

$$0.52\ \text{tonf/m}^2 < 8.69\ \text{tonf/m}^2$$

***Viviendas con más de un nivel***

Para analizar el caso de las viviendas que al presente cuentan con niveles adicionales al original, se realizó el análisis bajo condiciones estáticas para evaluar la estabilidad de la cimentación, asumiendo que la adición de niveles incrementa *proporcionalmente* el peso de la estructura. Así, para las viviendas de con 1 a 3 niveles adicionales, se cumple con la desigualdad (1):

*Con un nivel adicional:*

$$2.26\ \text{tonf/m}^2 < 20.02\ \text{tonf/m}^2$$

*Con dos niveles adicionales:*

$$2.92\ \text{tonf/m}^2 < 20.02\ \text{tonf/m}^2$$

*Con tres niveles adicionales:*

$$3.58\ \text{tonf/m}^2 < 20.02\ \text{tonf/m}^2$$

Es fundamental aclarar que este último cálculo es *aproximado* y *cualitativo* y **no implica autorización alguna para incrementar el número de niveles, ni garantiza que las viviendas ampliadas cumplan con las expresiones del reglamento en otras condiciones de carga, en especial las que se han extendido fuera de la losa original.** Otros factores, particulares para cada edificación, deben ser considerados en el análisis de estabilidad de la cimentación de estas viviendas, en especial en condiciones sísmicas, donde la excentricidad de las cargas resulta de vital importancia.

***Capacidad de carga del tanque elevado***

Para el tanque elevado – cisterna, que presenta indicios de un muy ligero desnivel hacia el oeste, se analizó la capacidad de carga de su cimentación en todas las condiciones establecidas anteriormente, usando dimensiones y cargas aproximadas, así como hipótesis simplificadas de su comportamiento en condiciones dinámicas. Así, nuevamente se cumple con la desigualdad (1):

*En condiciones estáticas:*

$$8.20\ \text{tonf/m}^2 < 23.49\ \text{tonf/m}^2$$

*En condiciones dinámicas:*

$$10.01\ \text{tonf/m}^2 < 17.30\ \text{tonf/m}^2$$

Además, considerando el estrato blando, la cimentación también satisface la expresión (1):

*En condiciones estáticas:*

$$4.96\ \text{tonf/m}^2 < 13.83\ \text{tonf/m}^2$$

*En condiciones dinámicas:*

$$4.86\ \text{tonf/m}^2 < 10.54\ \text{tonf/m}^2$$

Se comprueba entonces, bajo estas suposiciones, que la cimentación del tanque elevado – cisterna es estable en todas las condiciones de carga, por lo que se descarta que su desnivel, de origen aún sin precisar, se deba a una falla por capacidad de carga durante el sismo. Mas bien parece estar asociado al hundimiento regional y a la grieta que corre muy cercana a la esquina oeste del tanque.

Un estudio más detallado de las cargas del tanque elevado, así como de su comportamiento dinámico, deberá ser realizado para comprobar la estabilidad de la cimentación.

**XIII.3 Estados límite de servicio**

Se analizaron los asentamientos a través de un modelo analítico que consideró el efecto de grupo debido a la posición de las viviendas dentro de la Unidad. En los subsecuentes análisis de los asentamientos se despreció la contribución de los inmuebles circunvecinos, comúnmente de planta baja.

***Asentamientos elásticos (Inmediatos)***

Los asentamientos elásticos de la cimentación se calcularon de acuerdo con la teoría de la elasticidad, para las acciones de diseño permanentes más las acciones variables con su intensidad media, ambas afectadas por un factor de carga unitario, con la siguiente expresión (**Ref. 14**):

$$\delta_e = q_0 \frac{B}{E_s}[(1-v^2)F_1 + (1-v-v^2)F_2] \qquad \text{.....(2)}$$

Donde:

$\delta_e =$ Asentamiento elástico (m).

$q_0 =$ Esfuerzo transmitido por la cimentación (tonf/m²).

$E_s =$ Módulo de elasticidad del suelo (tonf/m²).

$\upsilon =$ Relación de Poisson del suelo.

$B =$ Ancho de la cimentación (m).

$F_1$ y $F_2 =$ Funciones de $z/B$ y $L/B$ (-).

$L =$ Longitud de la cimentación (m).

Así, considerando la cimentación como flexible se evaluaron los asentamientos elásticos para toda la Unidad, el asentamiento máximo, de 1 cm, se produce en las zonas central y oeste de la Unidad, debido a que corresponden a la mayor concentración de casas con más de un nivel.

***Asentamientos por consolidación primaria (diferidos)***

Los asentamientos de las casas debidos a la consolidación del subsuelo se calcularon de acuerdo a las NTC (**Ref. 12**), para las acciones permanentes más las acciones variables con su intensidad media, ambas afectadas por un factor de carga unitario, mediante la expresión:

$$\Delta \mathrm{H} = \sum_{0}^{H} \left[\frac{\Delta e}{1 + e_0}\right] \Delta z \qquad \text{.....(3)}$$

Donde:

$\Delta \mathrm{H} =$ Asentamiento de un estrato de espesor H (m).

$e_0 =$ Relación de vacíos inicial.

$\Delta e =$ Variación de la relación de vacíos bajo el incremento de esfuerzo efectivo vertical inducido a la profundidad z.

$\Delta z =$ Espesores de estratos elementales dentro de los cuales los esfuerzos pueden considerarse uniformes (m).

Así, el asentamiento diferido, debido a un proceso de consolidación unidimensional inducido por la carga neta que los inmuebles transmiten al subsuelo, se determinó a partir de los datos obtenidos de las pruebas de consolidación unidimensional en cada sondeo, utilizando un programa de computación.

***Asentamientos totales***

Sumando los asentamientos inmediatos más los diferidos se obtienen los asentamientos totales, que se muestran gráficamente en la **Figura 55, a** y que van desde 20 y hasta 80 cm, y son mayores en las zonas en las que se concentran las casas con más de un nivel, al oeste y al este, delimitando una franja intermedia donde son mucho menores.

Es claro que exceden y con mucho los 15 cm establecidos en las NTC para construcciones colindantes en las zonas II y III. No obstante, el asentamiento total no implica distorsiones angulares mayores de 0.003, exceptuando en las inmediaciones de los valores máximos, lo que explica la mediana incidencia de agrietamientos en los muros de las casas. Al respecto y en franca concordancia con los análisis, los mayores asentamientos diferenciales y agrietamientos en muros, corresponden a las casas de un nivel colindantes con las de 2 a 4 niveles (**Figura 56**) y que se relacionan con los medidos en la Unidad (**Figura 57**).

**XIII.4 Asentamientos producidos por la ampliación de las casas**

Para evaluar el efecto que tuvo el incremento del número niveles en las casas, se calcularon los asentamientos en la Unidad producidos por las casas en su condición original, utilizando la misma estratigrafía y considerando el efecto de grupo. Así, los asentamientos totales, que se muestran en la **Figura 55, b**, alcanzan valores de hasta 18 cm y son, en general, de orden mucho menor y de distribución más uniforme que los calculados considerando las casas con hasta 4 niveles. Puede notarse que, si las casas hubieran permanecido en sus condiciones originales, los asentamientos sólo hubieran excedido ligeramente los límites establecidos por las NTC.

Con fines comparativos, se calcularon los asentamientos totales con la misma estratigrafía considerando *una sola casa*. Así, los asentamientos resultan de 4 cm bajo el centro, lo que confirma la gran importancia que tiene el efecto de grupo en los asentamientos, en especial en construcciones tan cercanas.

En la **Figura 56, a** se superponen los asentamientos calculados con el número de niveles de las casas para observar la manera directa en qué se relacionan ambos factores. Además, en la **Figura 56, b** se puede ver como muchas de las grietas reportadas previamente, en especial las que se encuentran fuera de la zona del minigraben, coinciden con la colindancia entre casas de un nivel y de 2 o más niveles. Un reporte detallado, casa por casa, de las afectaciones en muros de fachada, su causa, y sugerencias de análisis y solución, se consigna en el **Anexo IV**.

# XIV. Medidas de mitigación y control

En el corto y mediano plazos es necesario que autoridades y ciudadanos implementen algunas medidas de mitigación, que permitan reducir las afectaciones a inmuebles e instalaciones urbanas. Entre las más relevantes están:

- Reducir la concentración de los pozos para dotación de agua a la urbe en la zona estratigráfica de lomeríos o Zona I.
- La recarga del acuífero con agua de lluvia, previo tratamiento.
- La conservación rural de las áreas de recarga de la Sierra del Chichinautzin, evitando que se transformen en urbanas.
- El uso racional del agua, apoyado en tarifas crecientes para consumos crecientes.
- El incentivar el desarrollo sustentable de otras regiones del país, como alguna vez se planteó con el programa de las 100 ciudades.
- El periódico monitoreo e inspección de los ductos de agua potable y alcantarillado, de manera de sustituir con oportunidad cualquier tramo desacoplado o fracturado.

Para el control de los asentamientos por subsidencia se requiere que el Gobierno de la Ciudad de México instale en toda la zona una retícula de bancos de nivel superficiales, estaciones piezométricas en los depósitos compresibles y en el basamento rocoso o poco compresible; así como bancos de nivel profundos en el basamento. Todos los instrumentos deben ser medidos periódicamente, una vez por año las referencias de nivel y dos veces por año los piezómetros, al inicio del estiaje y de la temporada de lluvias. Convendrá también medir los desplazamientos horizontales del subsuelo a lo largo de líneas dispuestas en algunas calles. Una alternativa para la medición remota de estos desplazamientos consiste en la Interferometría Diferencial de Radar de Apertura Sintética (DInSAR), en la que se usan pares de imágenes procedentes de radares de apertura sintética (SAR) para estudiar las diferencias entre las variaciones entre ambas.

En la Unidad Habitacional hay que medir con la periodicidad antes señalada tanto las referencias de nivel marcadas en los inmuebles como las estaciones piezométricas, registrando los resultados en un reporte técnico, complementado con las conclusiones y recomendaciones de una inspección geotécnica – estructural.

# XV. Recomendaciones en caso de reubicación

Aunque a través del presente estudio **se ha determinado que no resulta necesaria la reubicación de los habitantes de la Unidad**, a continuación se presentan recomendaciones generales en caso de optar por la reubicación de sus habitantes, por motivos diferentes a los técnicos.

En caso de que la reubicación se realice en lotes vacíos de la misma zona de la Ciudad de México, sujetos al *mismo* fenómeno de agrietamiento, **se deberá estudiar exhaustivamente la topografía de la roca basal para descartar la existencia de discontinuidades en ésta que pudieran generar grietas en el futuro**.

Además, **se recomienda la construcción de edificios multifamiliares de hasta 5 niveles equipados con una cimentación rígida**, en contraposición a las viviendas unifamiliares, por las razones expuestas al final del capítulo IV y por la innegable ventaja de que este tipo de edificios optimizan el uso del terreno y evitan o limitan la construcción caótica de ampliaciones. Tómese a las Unidades Habitacionales Ana Bolena y El Parque como ejemplo: ambas se encuentran en terrenos de áreas similares, 15 300 y 12 800 $m^2$, respectivamente, y cuentan con viviendas de aproximadamente la misma área, 47.6 y 45.3 $m^2$, respectivamente. Mientras la Unidad Ana Bolena tiene 448 viviendas, en la Unidad El Parque se reduce a 121, por lo que la primera tiene una densidad de población ($m^2$ de vivienda / $m^2$ de terreno) 3.25 veces más grande que la segunda.

Ciudad de México, diciembre de 2019.

Atentamente,

**SOILTEC, S.A. de C.V.**

| **Elaboró:** | **Revisó:** |
|---|---|
| Ing. Enrique Barragán Ramírez. | Ing. Juan Mario Rodríguez G. |
| Geotecnia | Director Técnico |

# XVI. Referencias

01. **Pacheco J., Zermeño M.** (2011) Soil cracks related to land subsidence. The main geotechnical hazard affecting to constructions in Aguascalientes City, México. Aguascalientes: 2011 Pan-Am CGS.

02. **Auvinet G., Méndez E. & Juárez M.,** (2016). *El subsuelo de la Ciudad de México, volumen III.* Ciudad de México: Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

03. **Sámano A. A. & Rodríguez J. M.,** (1992). Asentamientos Diferenciales de Estructuras Provocados por la Desecación Generada por la Vegetación en el Valle de México. Ciudad de México: SOILTEC.

04. **SOILTEC** (2019). Estudio del Subsuelo para el Renivelado de los Inmuebles: Unidad Habitacional Ana Bolena. Ciudad de México: SOILTEC.

05. **Limaymanta, F. et al** (2012). Delimitación neuronal de zonas geológicas usando ruido sísmico: Suelos de Transición en la Línea 12 del Metro. Ciudad de México: XXVI Reunión Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería Geotécnica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Geotécnica.

06. **Kobayashi, Y.,** (1968). Mechanism of Earthquake Damage to Embankments and Slopes. Tokyo, Japan: Japanese National Railways.

07. **Laera, A & Brinkgreve, R.B.** (2015). Ground Response Analysis in PLAXIS 2D. The Netherlands: PLAXIS.

08. **Yasuda, S. et. al.** (2018). Grabens that Formed in a Caldera of the Aso during the 2016 Kumamoto Earthquake in Japan. Tokyo: Japanese Geotechnical Society.

09. **Jaime, A.** (1988). *Geotecnia y Sismicidad en el Valle de México*. 1st ed. Ciudad de México: Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.

10. **Fundación ICA, A.C.** (1974). Serie 2412. Faja 30:18, Faja 30:19. Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C. Ciudad de México.

11. **Fundación ICA, A.C.** (1985). Serie 2879. Faja 54:38, Faja 54:39. Fondo Aerofotográfico Acervo Histórico Fundación ICA, A.C. Ciudad de México.

12. **GDF.** (2017). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones. Ciudad de México.

13. **GDF, SOBSE, DGCOH**. (2005). Fichas de Nivelación de Bancos de Nivel Implantados por la DGCOH en la Ciudad de México y Área Metropolitana. México, D.F.: GDF.

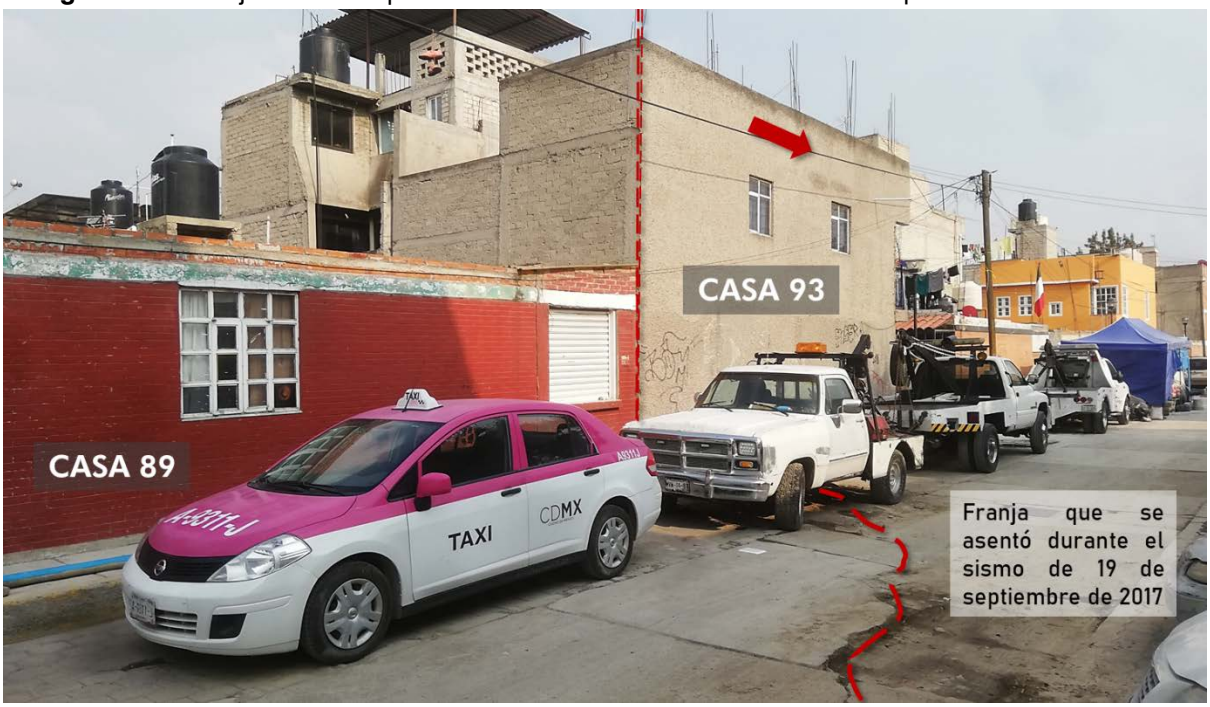
14. **Juárez E. & Rico A**. (1967). *Mecánica de suelos, Tomo II*. México, D.F.: LIMUSA

## ANEXO I. Reporte fotográfico

**Fotografías 01 y 02:** Afloramiento de la grieta que corre longitudinalmente por la Unidad.

**Fotografías 03 y 04:** Asentamientos en algunas zonas de la Unidad.

**Fotografía 05:** Franja de suelo que se asentó durante el sismo del 19 de septiembre de 2017.




**Fotografía 06:** Desplomo apreciable en la casa 93.

**Fotografías 07 y 08:** Afectaciones debidas a deficiencias de construcción.

**Fotografías 09 y 10:** Afectaciones a colindancias producidas por el aumento de niveles.

**Fotografías 11 y 12:** Perforadora y muestreo en la Unidad.

**Fotografías 13 y 14:** Pozo a cielo abierto y extracción de muestras cúbicas inalteradas.

**Fotografías 15, 16 y 17:** Cala CC – 1 en la grieta bajo la casa 93.

**Fotografías 18 y 19**: Detalle de la grieta bajo la casa 93.

**Fotografías 20, 21 y 22**: Cala CC – 2 entre las casas 102 y 103.

**Fotografías 23, 24 y 25**: Cala CC – 3 en la casa 120.

**ANEXO II. Tablas**

**Tabla 01. Incidencias durante la perforación**

| ID | Velocidad de perforación por etapa (m/min) | | | Volumen Inyectado (m³) | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1ra | 2da | 3ra | | |
| PD-1 | | | | 0.12 | |
| PD-2 | | | | 0.92 | |
| PD-3 | | | | 0.06 | |
| PD-4 | | | | 0.06 | |
| PD-5 | | | | 0.10 | |
| PD-6 | | | | 0.10 | |
| PD-7 | | | | 0.10 | |
| PD-8 | | | | 0.10 | |
| PD-9 | | | | 0.10 | |
| PD-10 | | | | 0.10 | |
| PD-11 | | | | 0.10 | |
| PD-12 | | | | 0.10 | |
| PD-13 | | | | 0.10 | |
| PD-14 | | | | 0.10 | |
| PD-15 | | | | 0.10 | |
| PD-16 | | | | 0.10 | |
| PD-17 | | | | 0.10 | |
| PD-18 | 0.07 | 1.19 | 0.90 | 0.08 | |
| PD-19 | 0.09 | 2.61 | 1.58 | 0.08 | |
| PD-20 | 0.14 | 1.82 | 0.44 | 0.08 | |
| PD-21 | | | | 0.10 | |
| PD-22 | | | | 0.10 | |
| PD-22-A | | | | 8.28 | Barreno cambió de lugar |
| PD-23 | | | | 0.10 | |
| PD-24 | | | | 0.10 | |
| PD-25 | 0.63 | 1.22 | 1.58 | 0.46 | |
| PD-26 | 0.21 | 1.94 | 0.55 | 0.92 | |
| PD-27 | 0.40 | 1.48 | 1.03 | 0.92 | |
| PD-28 | 0.10 | 1.69 | 0.65 | 5.98 | |
| PD-29 | 0.15 | 1.36 | 5.00 | 0.46 | |
| PD-30 | 0.13 | 0.86 | 1.36 | 5.29 | |
| PD-31 | 0.27 | 1.58 | 0.94 | 8.74 | |
| PD-32 | 0.47 | 0.67 | 0.33 | 14.95 | |
| PD-33 | | | | 0.23 | |
| PD-34 | 0.16 | 0.92 | 0.67 | 10.12 | |
| PD-35 | 0.33 | 1.14 | 0.98 | | No se inyectó porque se comunicó con PI-8 |
| PD-36 | 0.09 | 0.18 | 0.80 | | No se inyectó porque se comunicó con PD-37 |
| PD-37 | 0.20 | 0.53 | 0.43 | 11.04 | Se comunicó con el PD-36 |
| PD-38 | 0.17 | 0.09 | 0.92 | 2.07 | |
| PD-39 | | | | 13.80 | |
| PD-40 | | | | 1.84 | |
| PD-41 | | | | 1.84 | Se comunicó con PT-5 |
| PD-42 | | | | 0.46 | |
| PD-43 | | | | 1.84 | |

| ID | Velocidad de perforación por etapa (m/min) | | | Volumen Inyectado (m³) | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1ra | 2da | 3ra | | |
| PD-44 | | | | 2.76 | |
| PD-44-A | | | | 0.46 | |
| PD-45 | | | | 2.30 | |
| PD-46 | | | | 3.22 | |
| PD-47 | | | | 3.22 | |
| PD-48 | | | | 6.00 | |
| PD-49 | 0.47 | 2.00 | 0.71 | 9.00 | |
| PD-50 | 0.17 | 0.18 | 2.22 | 12.00 | |
| PD-51 | 0.15 | 0.36 | 0.22 | 9.00 | |
| PD-51-A | | | | 3.50 | |
| PD-52 | 0.33 | 2.79 | 1.67 | 9.00 | |
| PD-53 | 0.13 | 3.75 | 1.33 | 9.00 | |
| PD-54 | | | | 6.00 | |
| PD-55 | | | | 15.00 | |
| PD-56 | | | | 18.00 | |
| PD-57 | | | | 12.00 | |
| PD-58 | | | | 6.00 | |
| PD-59 | 0.43 | 0.39 | 0.73 | 6.00 | |
| PD-60 | | | | 0.46 | |
| PD-61 | 0.11 | 0.42 | 0.53 | 9.00 | |
| PD-62 | 0.54 | 1.17 | 0.42 | 6.00 | |
| PD-62-A | | | | 6.00 | |
| PD-63 | 0.25 | 0.19 | 1.82 | 6.00 | |
| PD-64 | 0.40 | 1.52 | 0.41 | 2.76 | |
| PD-65 | 0.32 | 0.17 | 1.18 | 4.60 | |
| PD-66 | 0.58 | 2.73 | 1.36 | 4.60 | |
| PD-67 | | | | 5.06 | |
| PD-68 | 0.92 | 0.08 | 1.28 | 0.46 | |
| PD-69 | | | | 0.23 | |
| PD-70 | | | | 0.23 | |
| PD-71 | | | | 0.23 | |
| PD-72 | | | | 0.23 | |
| PD-73 | | | | 6.00 | |
| PD-74 | | | | 6.00 | |
| PD-75 | | | | 3.00 | |
| PD-76 | | | | 4.60 | |
| PD-77 | | | | 2.76 | |
| PD-78 | | | | 1.84 | |
| PD-79 | | | | 2.76 | |
| PD-80 | | | | 1.38 | |
| PD-81 | | | | 2.00 | |
| PD-82 | | | | 2.00 | |
| PD-83 | | | | 2.00 | |
| PD-84 | | | | 0.69 | |
| PD-85 | | | | 6.00 | |
| PD-86 | | | | 6.00 | |

| ID | Velocidad de perforación por etapa (m/min) | | | Volumen Inyectado (m³) | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1ra | 2da | 3ra | | |
| PD-87 | | | | 6.00 | |
| PD-88 | | | | 4.50 | |
| PD-89 | | | | 12.00 | |
| PD-90 | | | | 21.00 | |
| PD-91 | | | | 0.46 | |
| PD-92 | | | | 3.68 | |
| PD-93 | | | | 12.42 | |
| PD-94 | | | | 5.98 | |
| PD-95 | | | | 3.68 | |
| PD-96 | | | | 5.06 | |
| PD-97 | | | | 3.22 | |
| PD-98 | | | | 6.44 | |
| PD-99 | | | | 0.92 | |
| PD-100 | | | | 2.30 | |
| PD-101 | | | | 8.74 | |
| PD-102 | | | | 0.46 | |
| PD-103 | 1.79 | 1.90 | 0.97 | 0.23 | |
| PD-104 | | | | 0.23 | |
| PD-105 | 1.26 | 2.03 | 1.88 | 0.03 | |
| PD-106 | | | | 0.03 | |
| PD-107 | | | | 0.03 | |
| PD-108 | 0.61 | 1.90 | 1.76 | 0.03 | |
| PD-109 | | | | 0.03 | |
| PD-110 | 0.12 | 4.80 | 0.68 | 0.03 | |
| PD-111 | | | | 0.03 | |
| PD-112 | | | | 0.03 | |
| PD-113 | 0.21 | 5.22 | 2.86 | 0.06 | |
| PD-114 | 1.10 | 3.75 | 1.07 | 0.06 | |
| PD-115 | 1.30 | 2.00 | 0.94 | 0.06 | |
| PD-116 | 0.25 | 2.31 | 0.79 | 0.06 | |
| PD-117 | 0.41 | 2.73 | 0.67 | 0.06 | |
| PD-118 | 0.16 | 2.79 | 0.51 | 0.06 | |
| PD-119 | 1.41 | 1.94 | 1.82 | 0.06 | |
| PD-120 | 0.83 | 1.46 | 1.33 | 0.06 | |
| PD-121 | 0.53 | 1.14 | 0.39 | 0.23 | |
| PD-122 | 1.11 | 1.38 | 0.41 | 3.00 | |
| PD-123 | 1.03 | 1.54 | 1.40 | 0.23 | |
| PD-124 | 0.98 | 1.28 | 1.22 | 0.46 | |
| PD-125 | 0.62 | 0.41 | 1.30 | 7.36 | |
| PD-126 | 0.56 | 2.50 | 1.20 | 2.30 | |
| PD-127 | 1.94 | 0.99 | 1.54 | 0.92 | |
| PD-128 | 1.46 | 4.44 | 2.31 | 0.92 | |
| PD-129 | 1.64 | 1.06 | 0.59 | 0.46 | |
| PD-130 | 2.00 | 2.93 | 1.25 | 0.46 | |
| PD-131 | 1.46 | 1.48 | 0.70 | 0.46 | |
| PD-132 | 1.24 | 0.98 | 2.07 | 3.00 | |

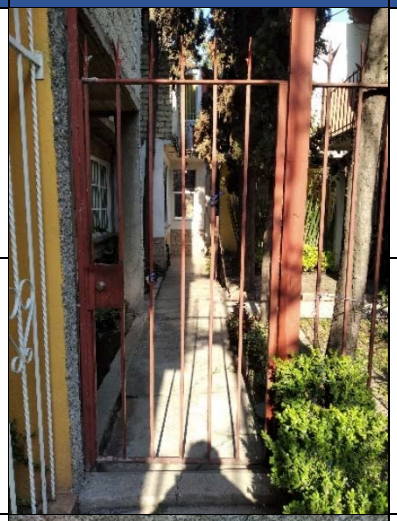
| ID | Velocidad de perforación por etapa (m/min) | | | Volumen Inyectado (m³) | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1ra | 2da | 3ra | | |
| PD-133 | 1.48 | 1.74 | 1.03 | 0.23 | |
| PD-134 | 1.43 | 4.00 | 2.22 | 0.23 | |
| PD-135 | 1.06 | 2.67 | 1.58 | 3.00 | |
| PD-136 | 0.93 | 2.73 | 1.71 | 7.00 | |
| PD-137 | 1.29 | 1.76 | 2.14 | 9.00 | |
| PD-138 | 0.22 | 1.32 | 0.76 | 3.00 | |
| PD-139 | 0.81 | 1.94 | 1.54 | 7.50 | |
| PD-140 | | | | 3.00 | |
| PD-141 | | | | | No se inyectó porque se comunicó con el PT-7 |
| PD-142 | | | | 9.00 | |
| PD-143 | | | | 5.98 | |
| PD-144 | | | | 13.80 | |
| PD-145 | | | | 4.60 | |
| PD-146 | | | | 0.92 | Se comunicó con el PT-6 |
| PD-147 | | | | 0.46 | |
| PD-147-A | | | | 2.76 | |
| PD-148 | | | | 5.98 | |
| PD-149 | | | | 4.60 | |
| PD-150 | | | | 4.14 | |
| PD-151 | | | | 2.76 | |
| PD-152 | | | | 2.30 | |
| PD-153 | | | | 5.06 | |
| PD-154 | | | | 3.68 | |
| PD-155 | | | | 13.34 | Se comunicó con PD-168 |
| PD-156 | | | | 1.15 | |
| PD-157 | | | | 0.23 | |
| PD-158 | | | | 6.90 | |
| PD-159 | | | | 9.66 | |
| PD-160 | | | | 3.22 | |
| PD-161 | | | | 0.10 | |
| PD-162 | | | | 0.10 | |
| PD-163 | | | | 1.84 | |
| PD-164 | | | | 3.68 | |
| PD-165 | | | | 3.22 | |
| PD-166 | | | | 0.46 | |
| PD-167 | | | | 4.60 | |
| PD-168 | | | | | No se inyectó porque se comunicó con PD-155 |
| PD-169 | | | | 7.13 | Se comunicó con PI-4 |
| PD-170 | | | | 2.30 | |
| PD-171 | | | | 8.28 | |
| PD-172 | | | | 2.30 | |
| PD-173 | | | | 2.76 | |
| PD-174 | | | | 3.22 | |
| PD-175 | | | | 9.20 | Se comunicó con PD-176 |
| PD-176 | | | | | No se inyectó porque se comunicó con PD-176 |
| PD-177 | | | | 0.46 | |

| ID | Velocidad de perforación por etapa (m/min) | | | Volumen Inyectado (m³) | Notas |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1ra | 2da | 3ra | | |
| PD-178 | | | | 0.92 | |
| PD-179 | 0.94 | 1.33 | 0.94 | 10.12 | |
| PD-180 | | | | 0.46 | |
| PD-181 | 0.07 | 3.87 | 0.95 | 15.64 | |
| PD-182 | | | | 0.92 | |
| PD-183 | | | | 27.00 | |
| PD-184 | 1.12 | 0.71 | 1.71 | 5.25 | |
| PD-185 | 1.05 | 1.90 | 2.40 | 0.23 | |
| PD-186 | 1.30 | 1.54 | 3.00 | 0.23 | |
| PD-187 | 1.05 | 1.20 | 2.86 | 3.00 | |
| PD-187-A | | | | 3.00 | |
| PD-188 | 1.06 | 3.43 | 2.40 | 18.00 | |
| PD-189 | 2.14 | 2.11 | 1.58 | 3.00 | |
| PD-190 | 0.66 | 2.67 | 1.22 | 3.00 | |
| PD-191 | 1.03 | 2.79 | 1.36 | 3.00 | |
| PD-192 | 1.67 | 5.00 | 0.59 | 3.00 | |
| PD-193 | 1.60 | 2.61 | 1.76 | 0.92 | |
| PD-194 | 0.59 | 0.90 | 0.91 | 0.92 | |
| PD-195 | 1.43 | 40.00 | 2.31 | 0.46 | |
| PD-196 | 1.32 | 3.75 | 3.33 | 0.46 | |
| PD-197 | 2.00 | 1.17 | 1.67 | 1.84 | |
| PD-198 | 2.00 | 2.61 | 1.58 | 0.46 | |
| PD-199 | 0.63 | 1.40 | 0.65 | 6.00 | |

**Tabla 02. Volumen inyectado**

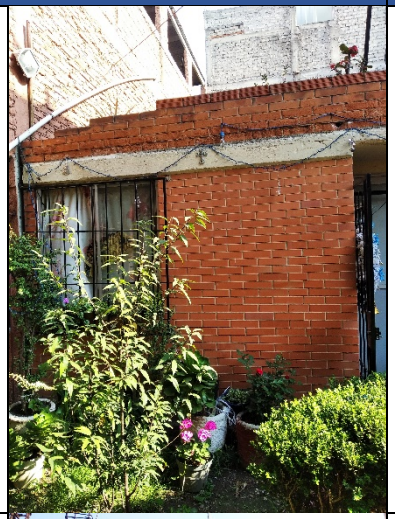
| ID | Volumen inyectado ($m^3$) | Notas |
|---|---|---|
| PI-1 | 11.50 | |
| PI-2 | 2.99 | |
| PI-3 | 11.04 | |
| PI-4 | | No se inyectó porque se comunicó con PD-169 |
| PI-5 | 2.53 | |
| PI-6 | 5.52 | |
| PI-7 | 0.23 | |
| PI-8 | 19.78 | Se comunicó con PD-35 |
| PI-9 | 8.28 | |
| PI-10 | 1.84 | |
| PI-11 | 1.38 | |
| PI-12 | 0.46 | Ademado |
| PI-13 | 0.92 | Ademado |
| PI-14 | 2.30 | |
| PI-15 | 1.38 | Ademado |
| PI-16 | 1.38 | Ademado |
| PI-17 | 28.00 | |
| PI-18 | 16.50 | |
| PI-19 | 1.75 | |
| PI-20 | 9.00 | |
| PI-21 | 1.50 | Ademado |
| PI-22 | | No resultó necesaria su inyección, la inyección aledaña rellenó las grietas e impidió la inyección. |
| PI-23 | | |
| PI-24 | 2.00 | |
| PI-25 | 6.00 | |
| PI-26 | 0.46 | Ademado |
| PI-27 | 0.12 | Ademado |
| PI-28 | 0.12 | Ademado |
| PI-29 | 0.12 | Ademado |
| PI-30 | 0.12 | Ademado |
| PT-1 | 1.84 | |
| PT-2 | | Inalcanzable |
| PT-3 | | Inalcanzable |
| PT-4 | 0.46 | |
| PT-5 | | No se inyectó porque se comunicó con PD-41 |
| PT-6 | | No se inyectó porque se comunicó con PD-146 |
| PT-7 | 0.46 | Se comunicó con el PD-141 |
| PT-8 | | Inalcanzable |
| PT-9 | | Inalcanzable |
| PT-10 | 0.92 | |

**ANEXO III. Levantamiento de daños en las casas**

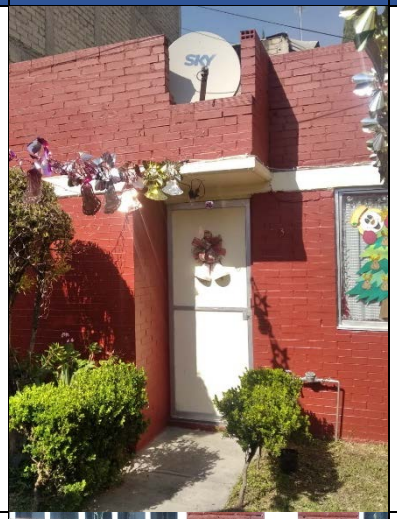
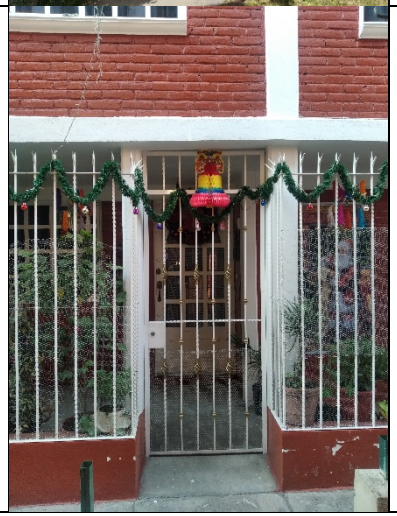
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | Sin daños | - | En cerrada inaccesible junto con las casas 7 y 8 | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta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

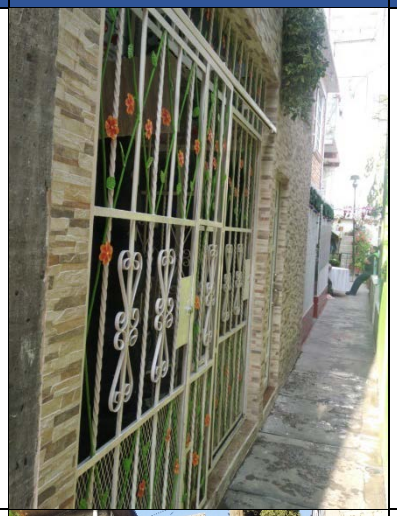
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 | | Sin daños | 0 | - | - |
| 5 | | Fisura en muros en el lado SE | - | - | - |

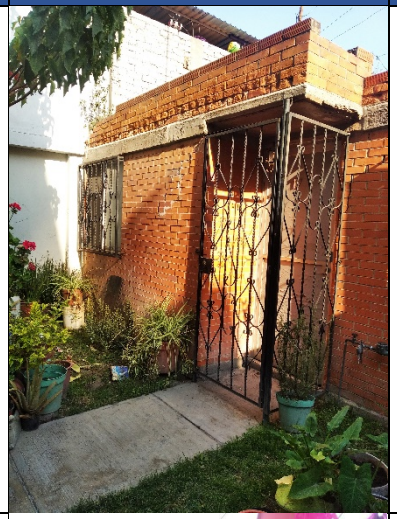
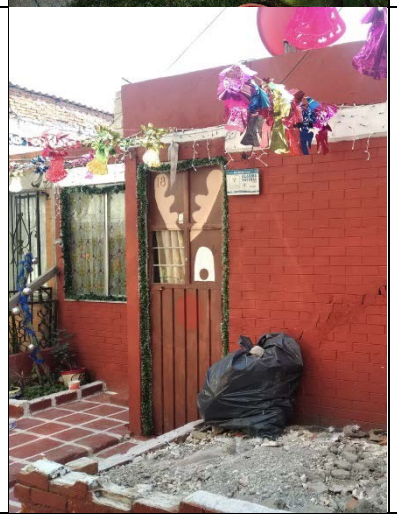
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 6 | | Sin daños | | - | - | - |
| 7 | | Sin daños | | - | En cerrada inaccesible junto con las casas 1 y 2 | - |
| 8 | | | | - | | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

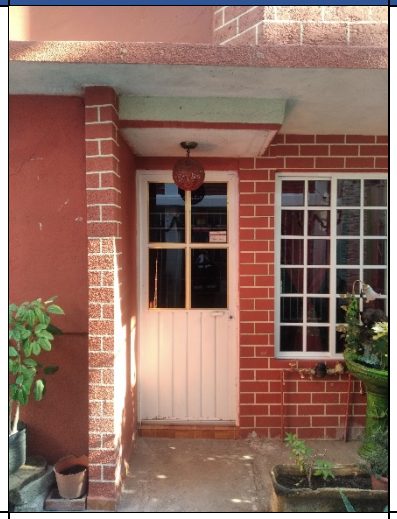
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | | Fisura en fachada, lado NO |  | 0 | - | - |
| 10 | | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

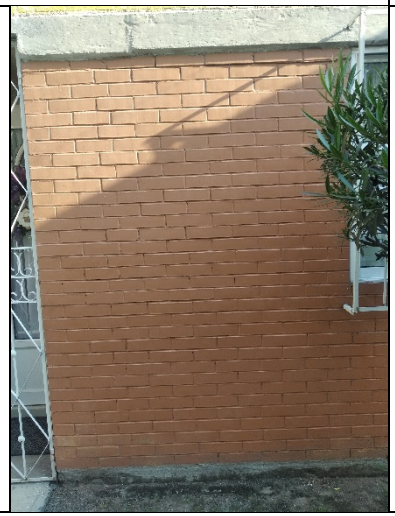
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | | Sin daños | - | - | - |
| 12 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 |  | Grieta de 1.5 m de largo y pequeña abertura en el muro del lado SE | | 0 | - | - |
| 14 |  | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

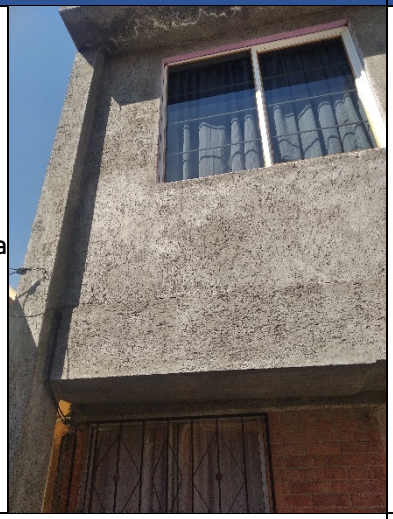
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 15 |  | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 16 | | Inclinación hacia el SO | 1.1 (SO) | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

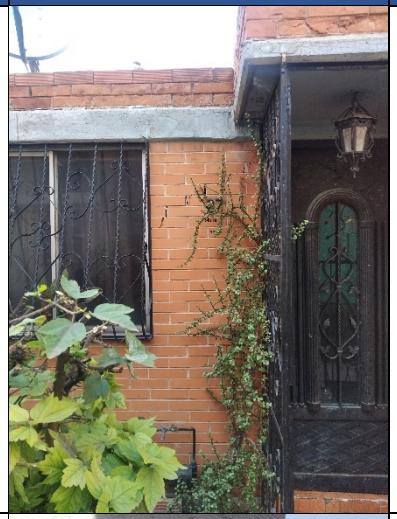
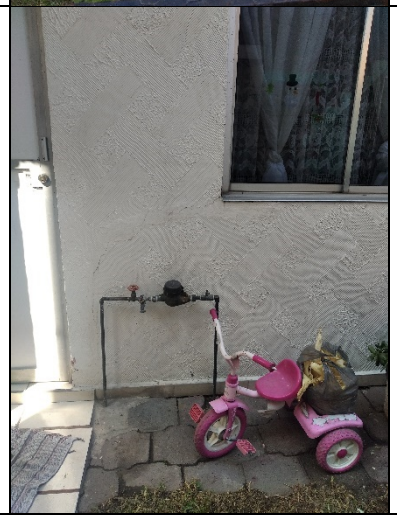
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 17 |  | Grietas en el muro de fachada de hasta 5 cm de abertura. | | 0 | - | Agrietamiento causado posiblemente por el golpeteo con la casa al este, fuera de la Unidad.<br><br>El muro debe de ser reemplazado para restaurar la rigidez de la casa. |
| 18 |  | Grieta visible en el muro de fachada e inclinación hacia el SE. | | 0.6 (SE) | - | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 19 |  | Grieta en el muro de fachada | | 0 | - | Grieta debida a defectos constructivos en el aplanado.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 20 | | Grieta en el muro de fachada | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 21 | | Grieta visible en fachada | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 22 | | Sin daños  | 0 | - | - |

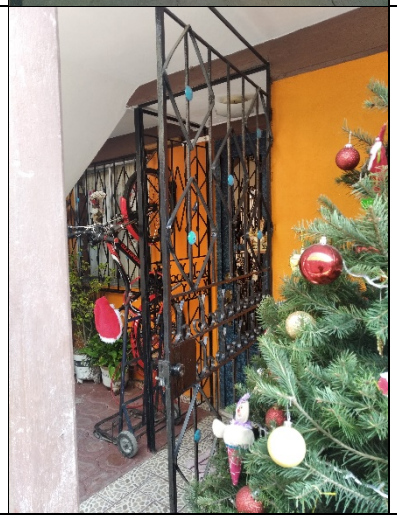
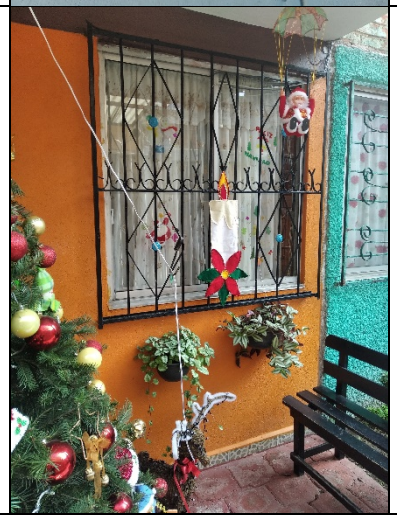
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 23 | | Sin daños | | 0 | - | - |
| 24 | | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

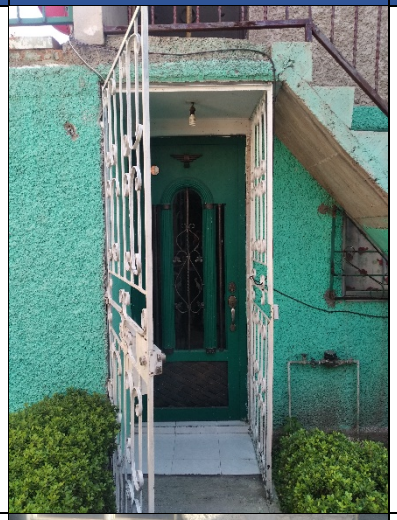
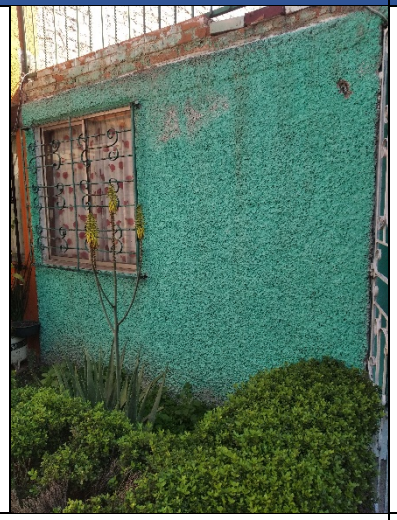
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 25 | | Inclinación hacia el SO |  | 0.7 (SO) | - | Inclinación debida a las excentricidades de carga producidas por la ampliación.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 26 | | - | | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 27 |  | Grieta visible en el muro de fachada | | 0 | - | Agrietamiento debido probablemente a deficiencias constructivas y asentamiento diferencial. |
| 28 | | Fisura en el muro de fachada |  | 0 | - | Agrietamiento debido probablemente a deficiencias constructivas y asentamiento diferencial. |

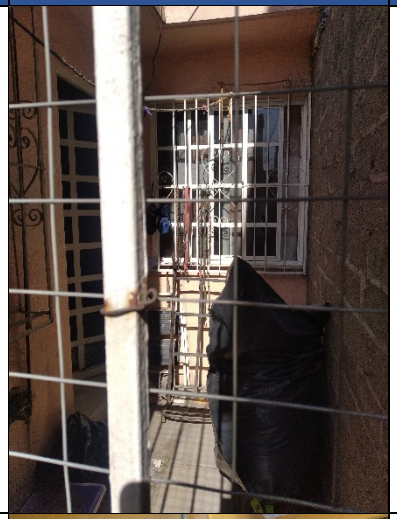
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 29 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 30 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

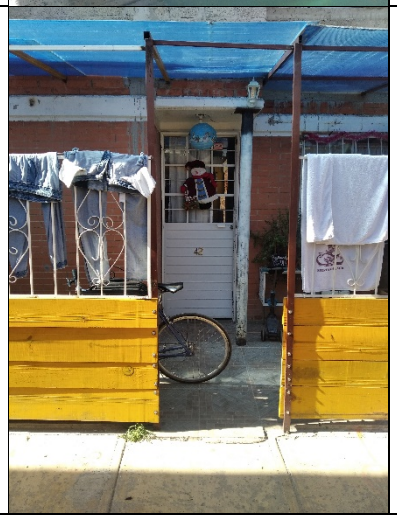
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 31 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 32 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 33 | | Fisura en el muro de fachada | | 0 | - | Fisuramiento en la fachada debido a deficiencias constructivas de la ampliación y el hundimiento hacia el centro del bloque de casas pesadas. |
| 34 |  | Sin daños |  | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

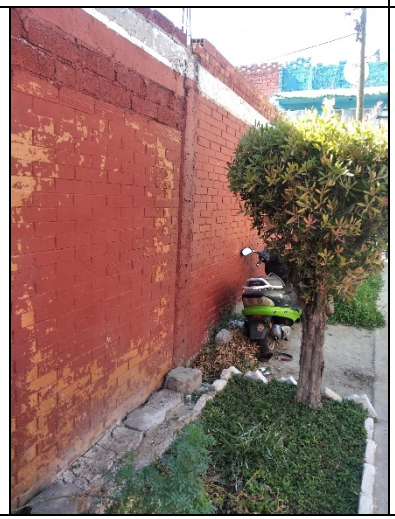
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 35 |  | Sin daños  | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 36 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

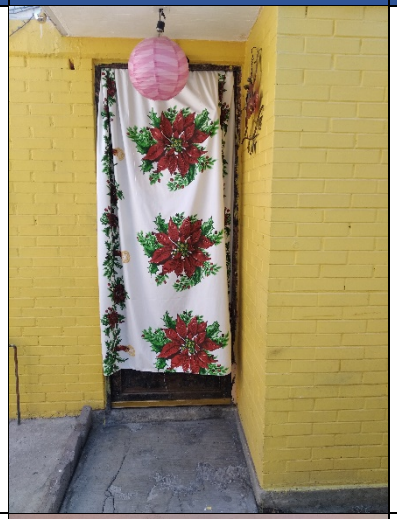
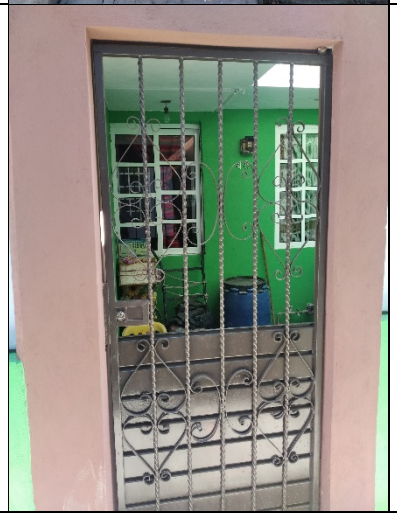
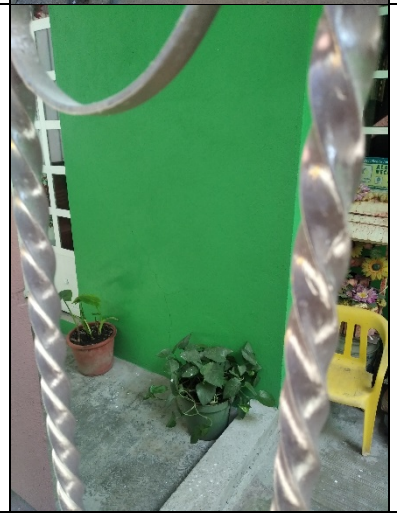
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 37 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 38 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

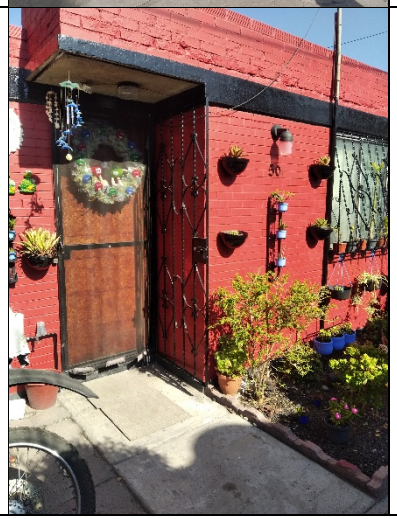
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 39 |  | Sin daños | | - | - | - |
| 40 | | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

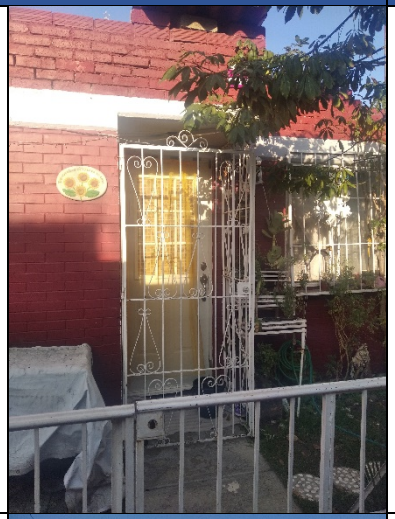
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 41 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 42 |  | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 43 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |
| 44 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 45 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 46 | | Sin daños  | - | - | - |

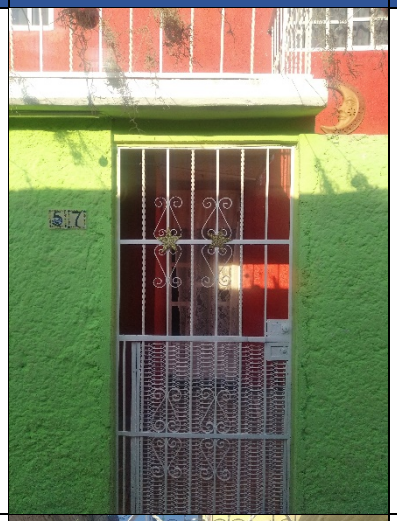
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 47 |  | Sin daños | | 0.8 (NO) | - | El desplomo se debe probablemente a la concentración de casas pesadas al frente (ver **Figura 55 a**). |
| 48 |  | Sin daños |  | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

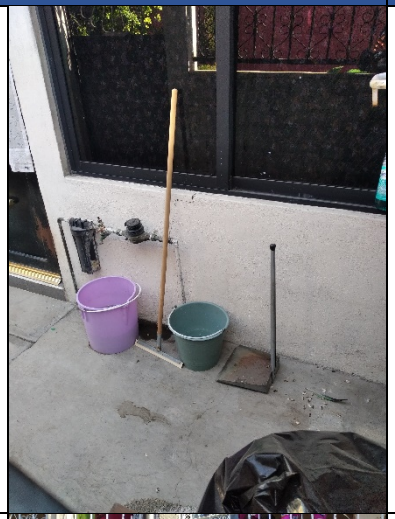
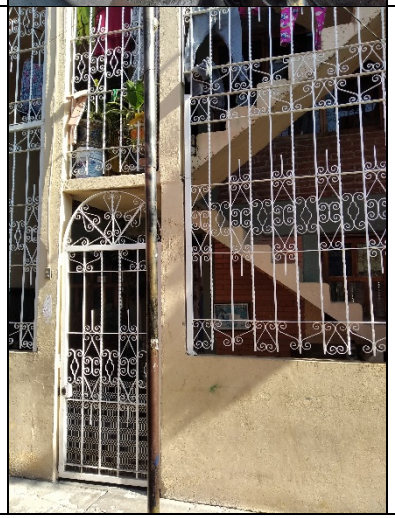
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 49 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |
| 50 |  | Sin daños | 0 | - | - |

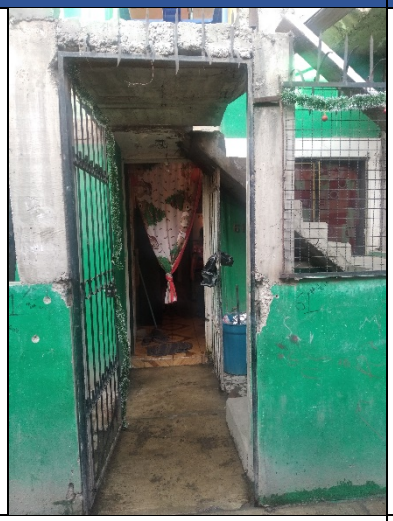
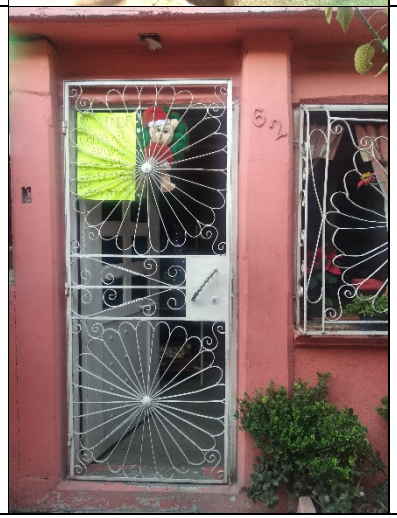
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 51 | | Sin daños |  | 0 | - | - |
| 52 | | Sin daños | | 0 | - | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 53 | | Sin daños | 0 | - | Posiblemente haya experimentado daños por el hundimiento hacia la casa 54, más pesada. |
| 54 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 55 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 56 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |

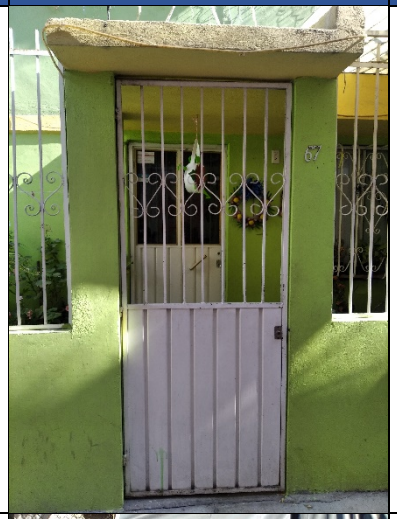
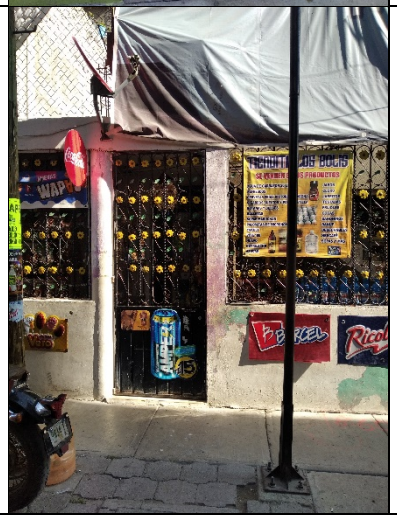
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 57 |  | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 58 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

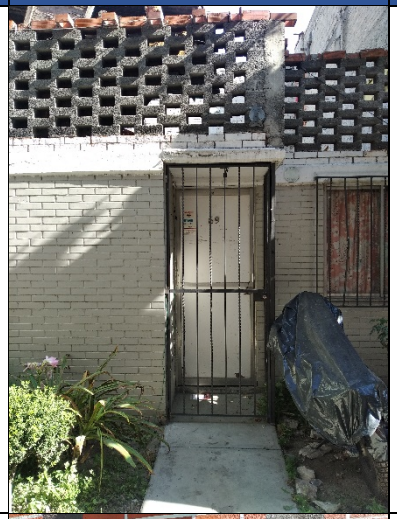
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 59 | | Pequeña fisura en la fachada |  | - | - | Fisura provocada por deficiencias en la construcción de la ventana y/o falla del aplanado.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 60 | | Sin daños |  | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

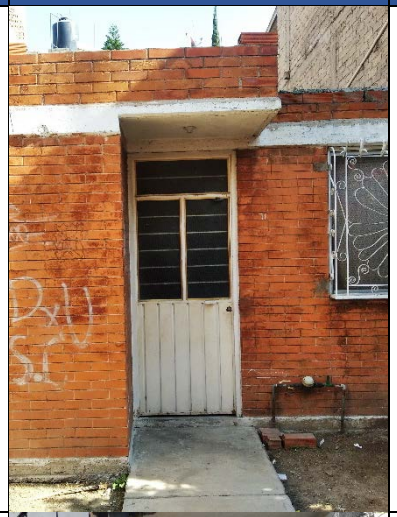
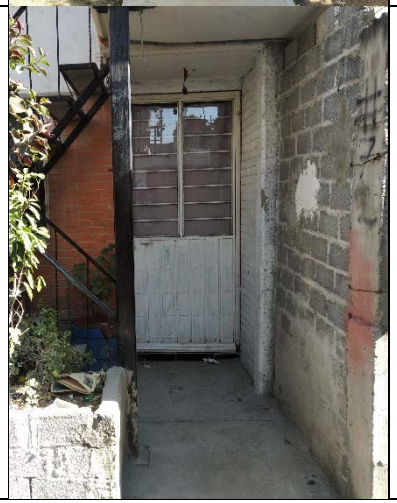
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 61 | | Sin daños |  | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 62 |  | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 63 | | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 64 | | Sin daños | | - | - | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 65 | | Sin daños | | - | - | - |
| 66 | | Sin daños | | 0 | - | - |

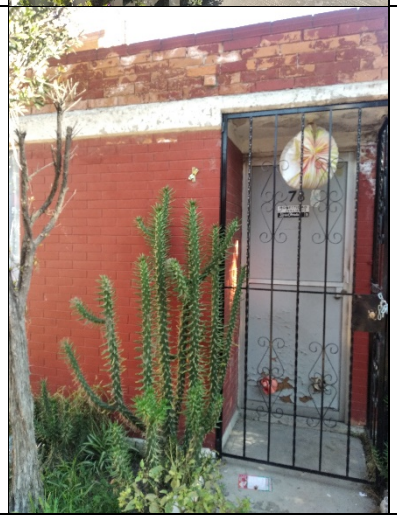
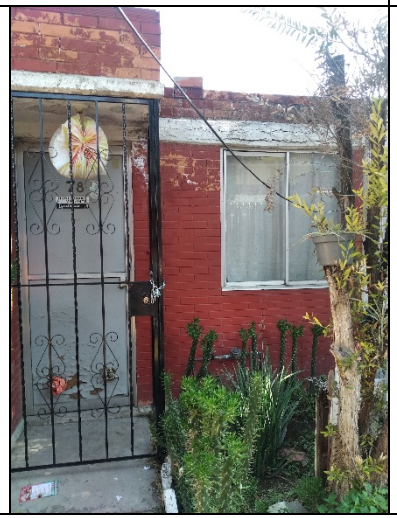
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 67 |  | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 68 |  | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |

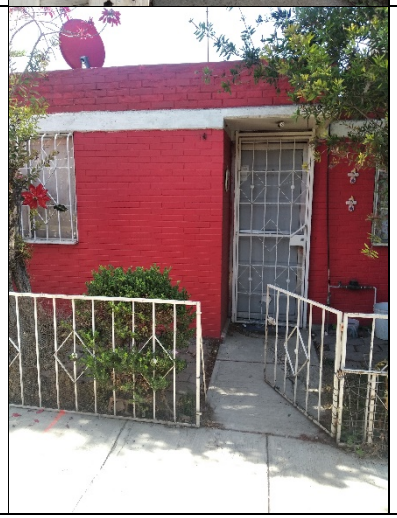
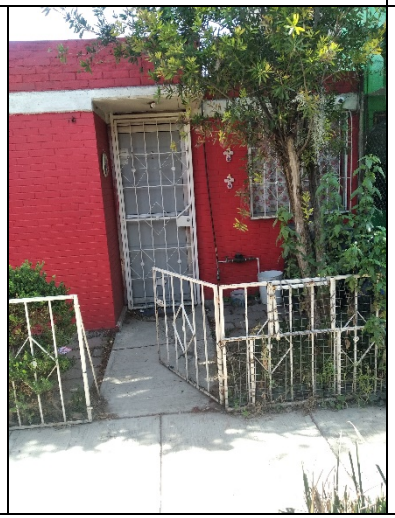
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 69 |  | Sin daños | 0 | - | - |
| 70 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 71 |  | Sin daños | | 0 | - | - |
| 72 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 73 | | Sin daños | | 0 | - | - |
| 74 | | Sin daños | | 0 | - | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 75 | | Sin daños | 0 | - | - |
| 76 | | Sin daños | 0 | - | - |

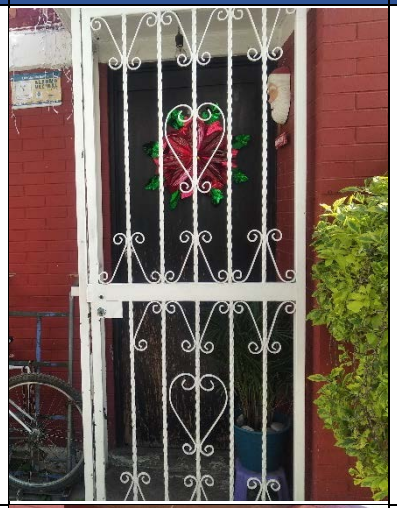
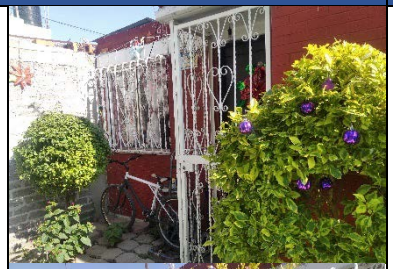
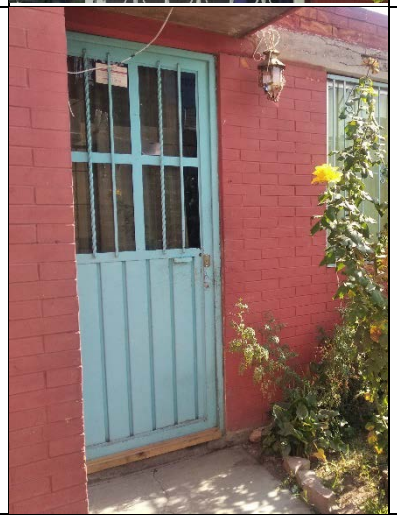
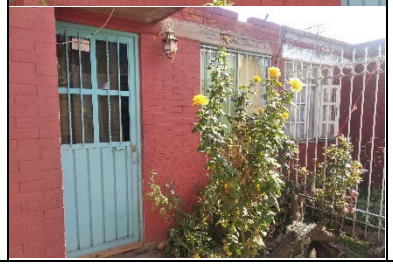
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 77 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 78 |  | Sin daños  | 0 | - | - |

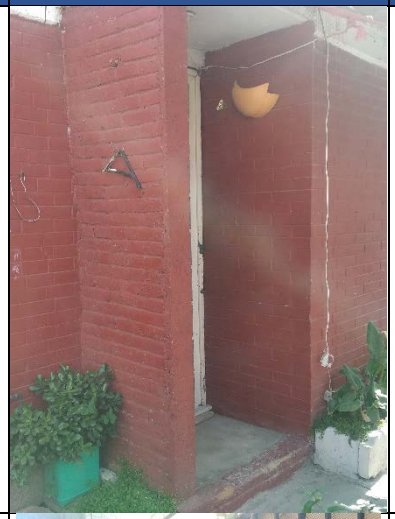
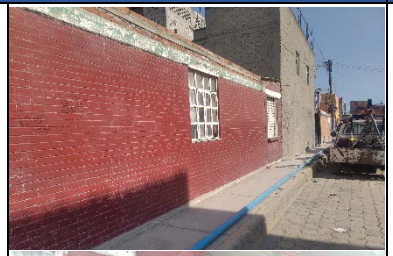
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 79 | | Sin daños | 0 | - | - |
| 80 |  | Sin daños  | 0 | - | - |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 81 | | Sin daños | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 82 | | Sin daños | 0 | - | - |

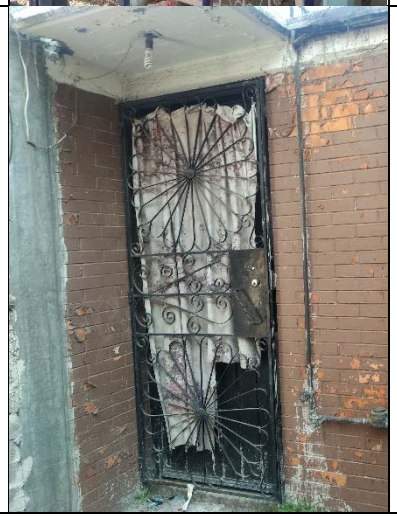
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 83 | | - | | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 84 | | Sin daños | | 0 | - | - |

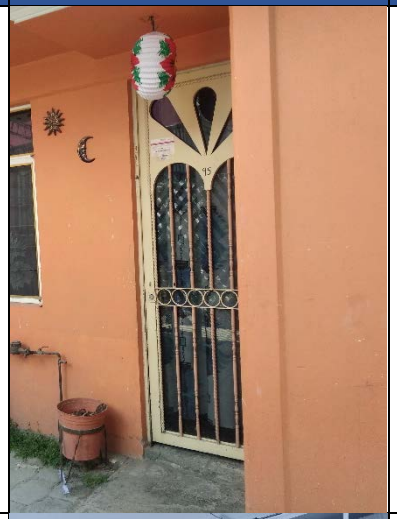
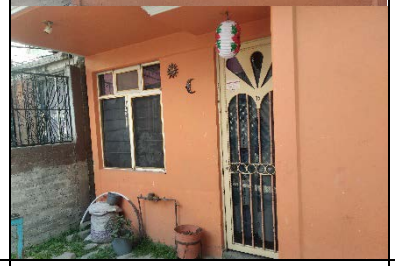
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 85 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |
| 86 | | - | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |

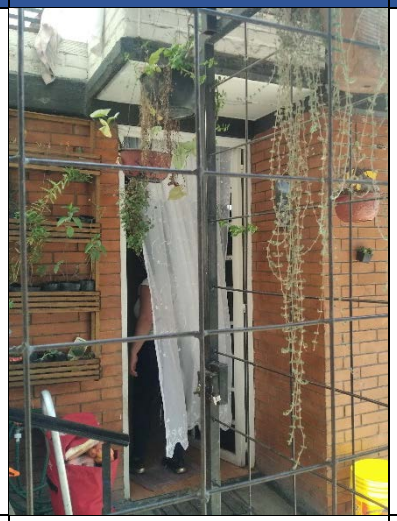
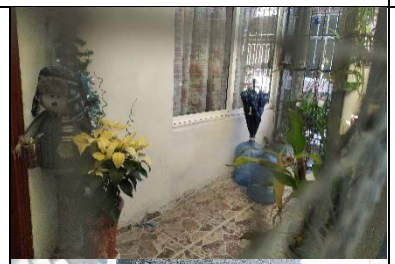
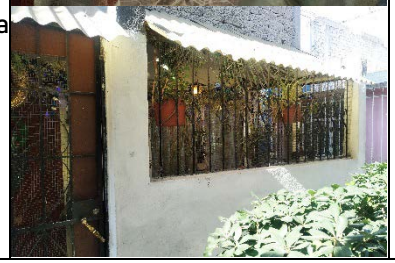
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 87 |  | Sin daños  | 0 | - | - |
| 88 |  | Sin daños  | 0 | - | - |

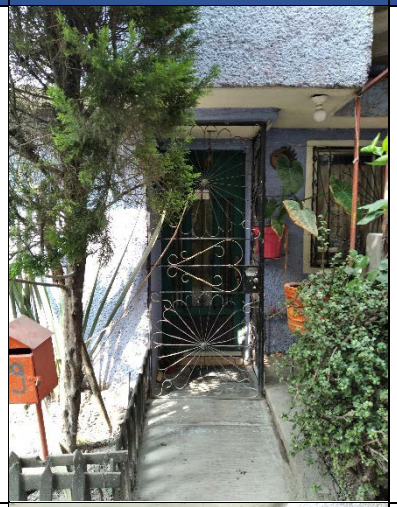
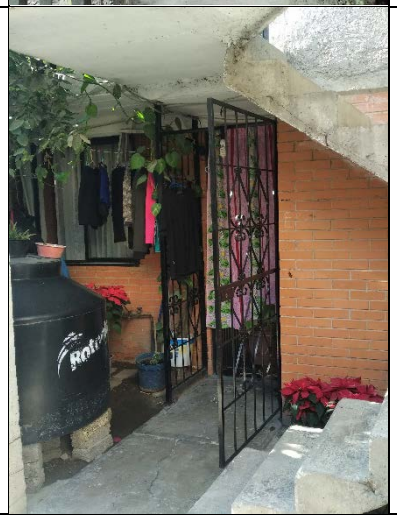
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 89 |  | Sin daños  | 0 | - | - |
| 90 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 91 | | Grieta en muro del lado SE | | 0 | - | El hundimiento diferencial hacia las casas colindantes, 90 y 92, más pesadas, son la causa de los agrietamientos. |
| 92 | | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

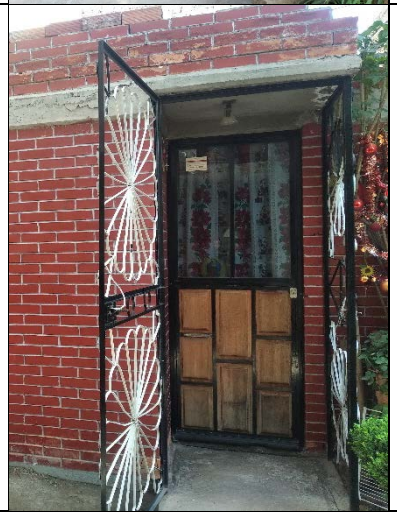
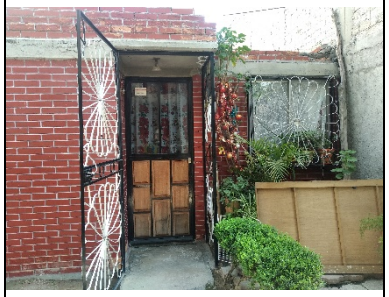
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 93 | | Sin daños | | 1.1 (SE) | - | El desplomo se debe a que la casa se encuentra hundida hacia la grieta en escalón que constituye el flanco norte del minigraben.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 94 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 95 |  | Sin daños |  | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 96 | | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

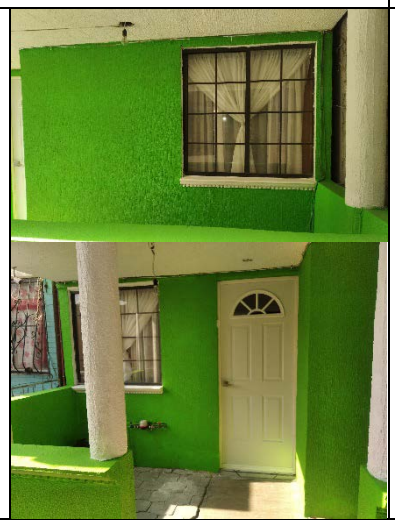
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 97 |  | Sin daños | - | - | - |
| 98 | | Fisura en el muro de fachada   | - | - | Fisuras en los muros debidas probablemente a deficiencias constructivas y/o falla del aplanado durante el sismo de 19/septiembre/2017.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

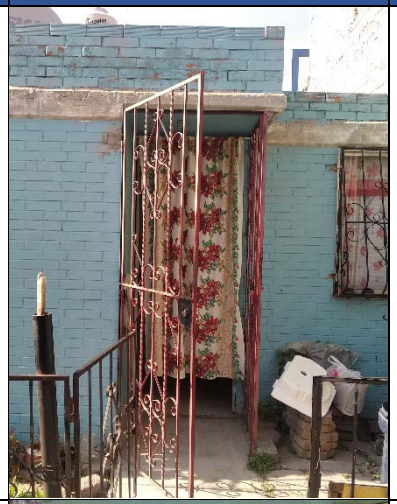
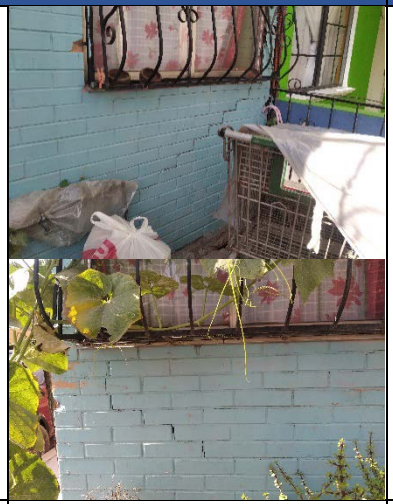
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 99 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 100 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

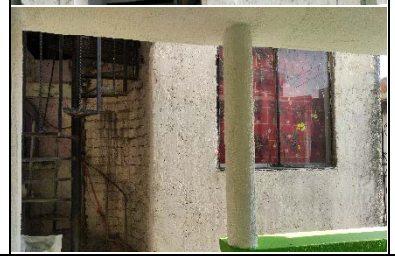
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 101 | | Sin daños | | 0 | - | - |
| 102 | | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

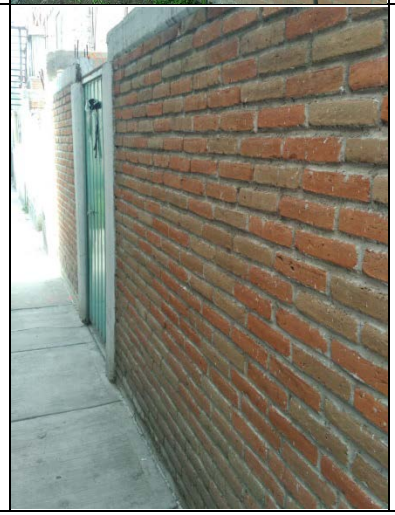
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 103 | | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 104 |  | Sin daños |  | 0 | - | - |

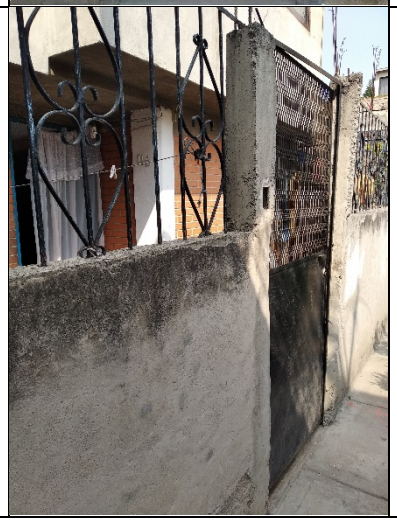
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 105 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 106 | | Sin daños | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

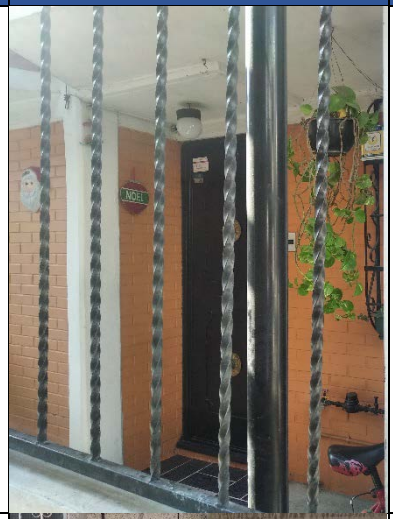
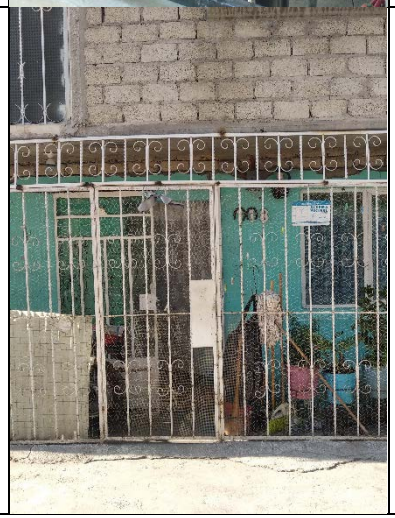
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|
| 107 | | Sin daños | - | - | - |
| 108 | | Sin daños  | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

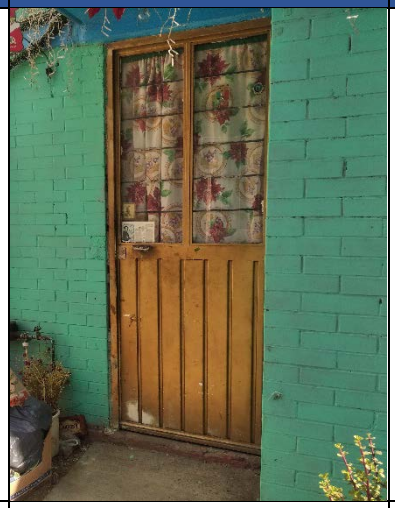
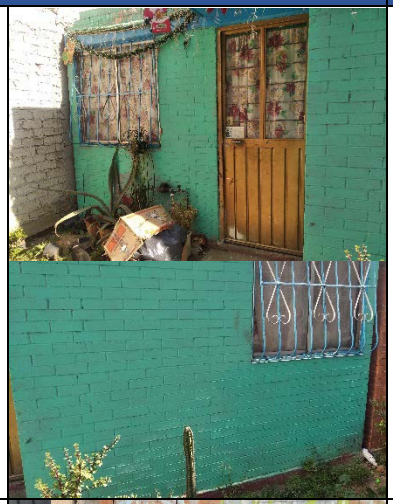
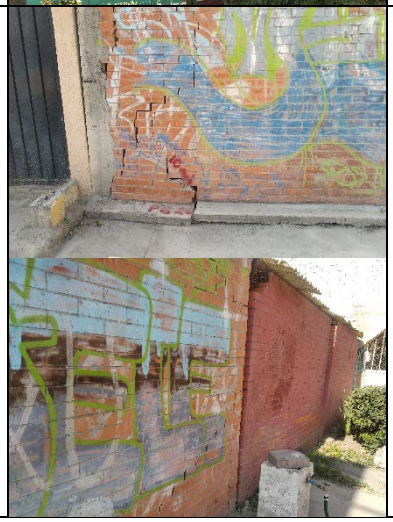
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 109 |  | Grietas en los muros de fachada |  | 0.6 (NE) | - | La casa 108, más pesada, es la causante del asentamiento diferencial y los consiguientes agrietamientos y desplomos. |
| 110 | | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

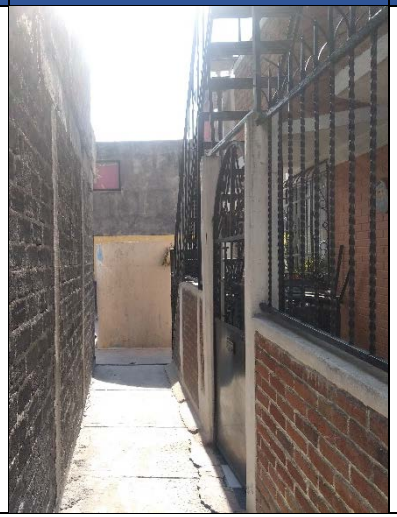
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 111 | | Grietas en la fachada | | 0 | - | Las grietas en la fachada se deben al hundimiento diferencial hacia ambas colindancias, 110 y 112, más pesadas.<br><br>Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 112 | | Sin daños | <br>  | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 113 | | Grietas en la fachada | | 0 | - | Las grietas se deben al hundimiento hacia la casa 112, más pesada. |
| 114 | | Sin daños |  | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

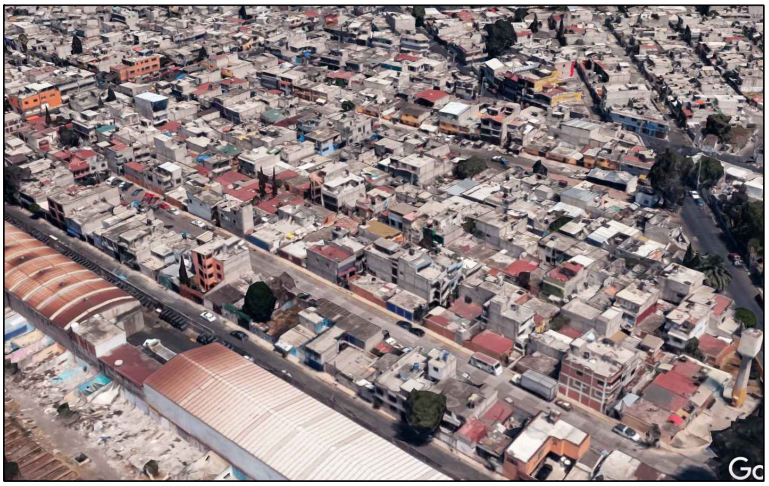
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 115 | | - | | - | No fue posible visualizar la presencia de daños | - |
| 116 |  | Sin daños | | - | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

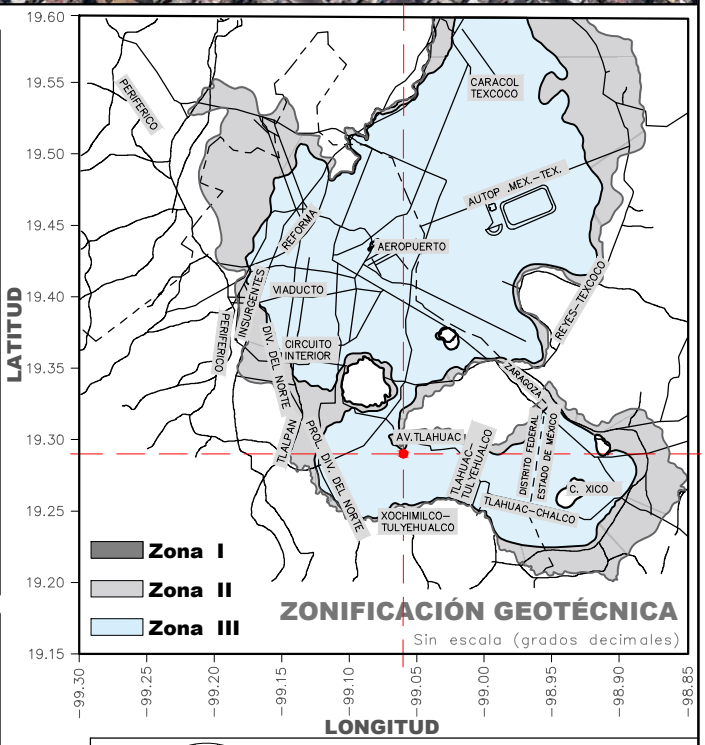
| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 117 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |
| 118 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 119 |  | Muros entre casas sin alteraciones no se encuentran alineados |  | 0.6 (SO) | - | Se deben revisar las implicaciones del tanque elevado y de la casa 118, más pesados, en el asentamiento diferencial. |
| 120 | | Grietas visibles en el muro trasero |  | 1.2 (SO) | - | Se deben revisar las implicaciones de la casa 121, más pesada, en el asentamiento diferencial.<br><br>Daños en el patio trasero se deben probablemente a la falta de cimentación del muro. |

| Casa | Fotografía de fachada | Daños exteriores aparentes | | Inclinación (°) | Notas | Recomendaciones |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 121 |  | Sin daños | | 0 | - | Se debe revisar la estabilidad de la cimentación de la ampliación y la excentricidad que esta produce. |

**ANEXO VI. Figuras**



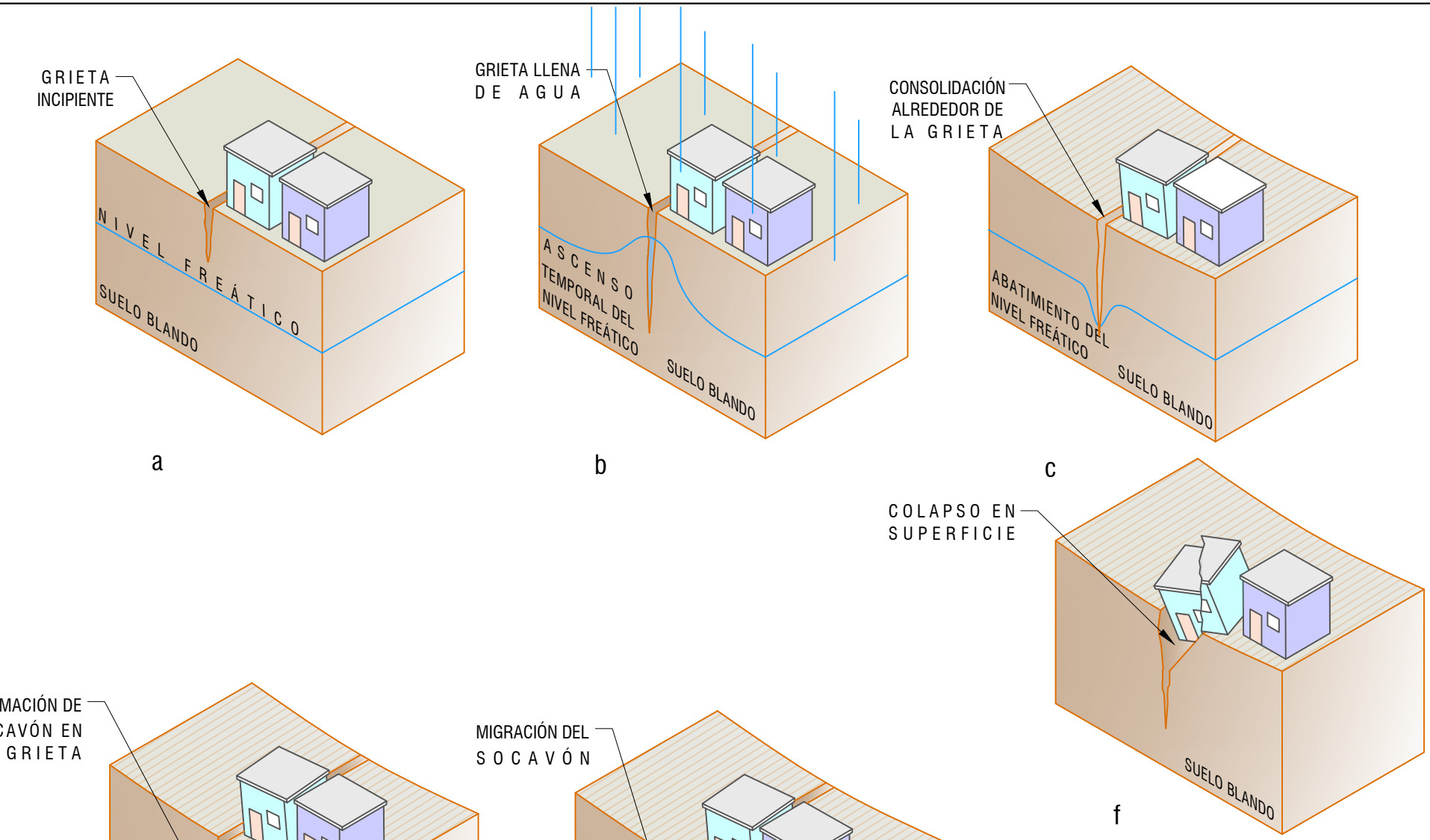



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

LOCALIZACIÓN DEL SITIO

| FIG. 01 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**

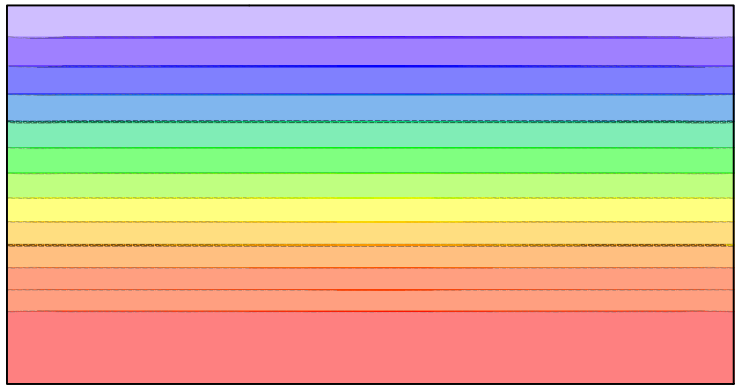
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México

**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

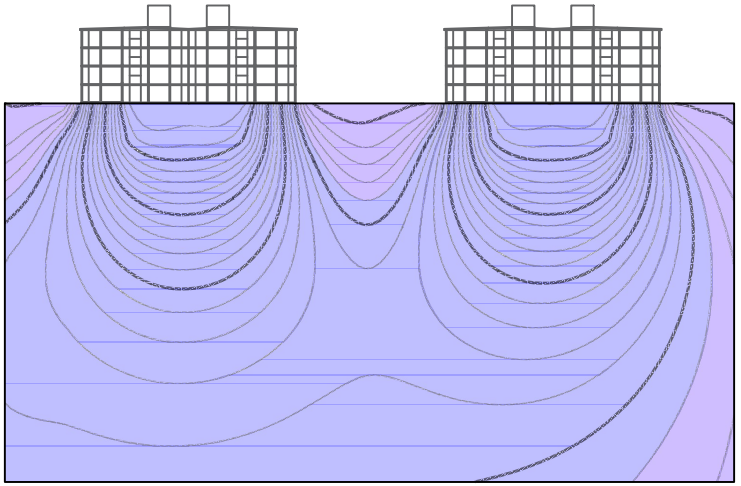
GÉNESIS Y EVOLUCIÓN DE SOCAVONES

| FIG. 02 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

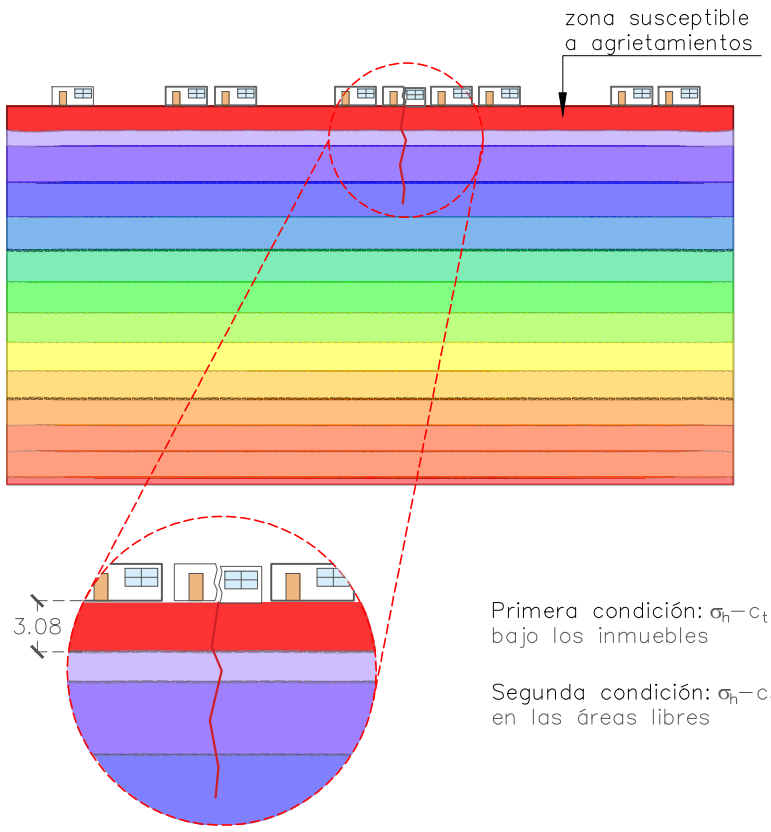
Esfuerzos verticales por peso propio



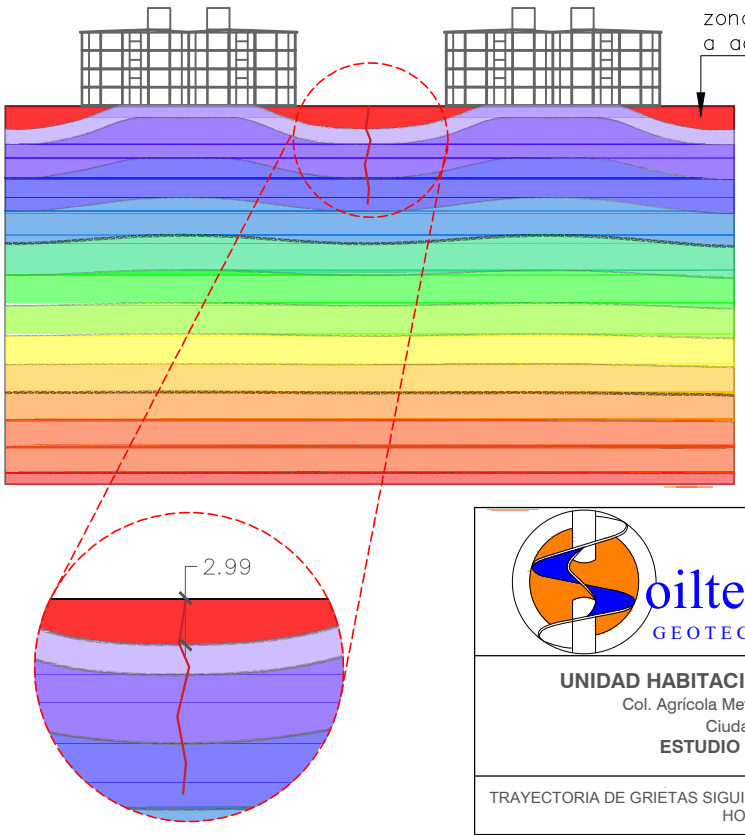
Incremento de esfuerzos horizontales debido a la presencia de edificios

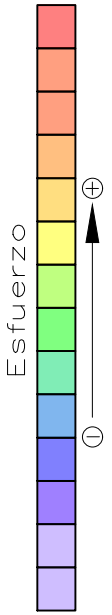


Caso A. Viviendas unifamiliares o sin la presencia de edificios




Caso B. Viviendas multifamiliares




Primera condición: $\sigma_h - c_t > 0$ bajo los inmuebles

Segunda condición: $\sigma_h - c_t < 0$ en las áreas libres

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL ANA BOLENA 270**
Col. Agrícola Metropolitana, Alc. Tláhuac
Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

TRAYECTORIA DE GRIETAS SIGUIENDO LAS ÁREAS DE MENOR ESFUERZO HORIZONTAL

| FIG. 03 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

PAR ESTEREOSCÓPICO DE 1974

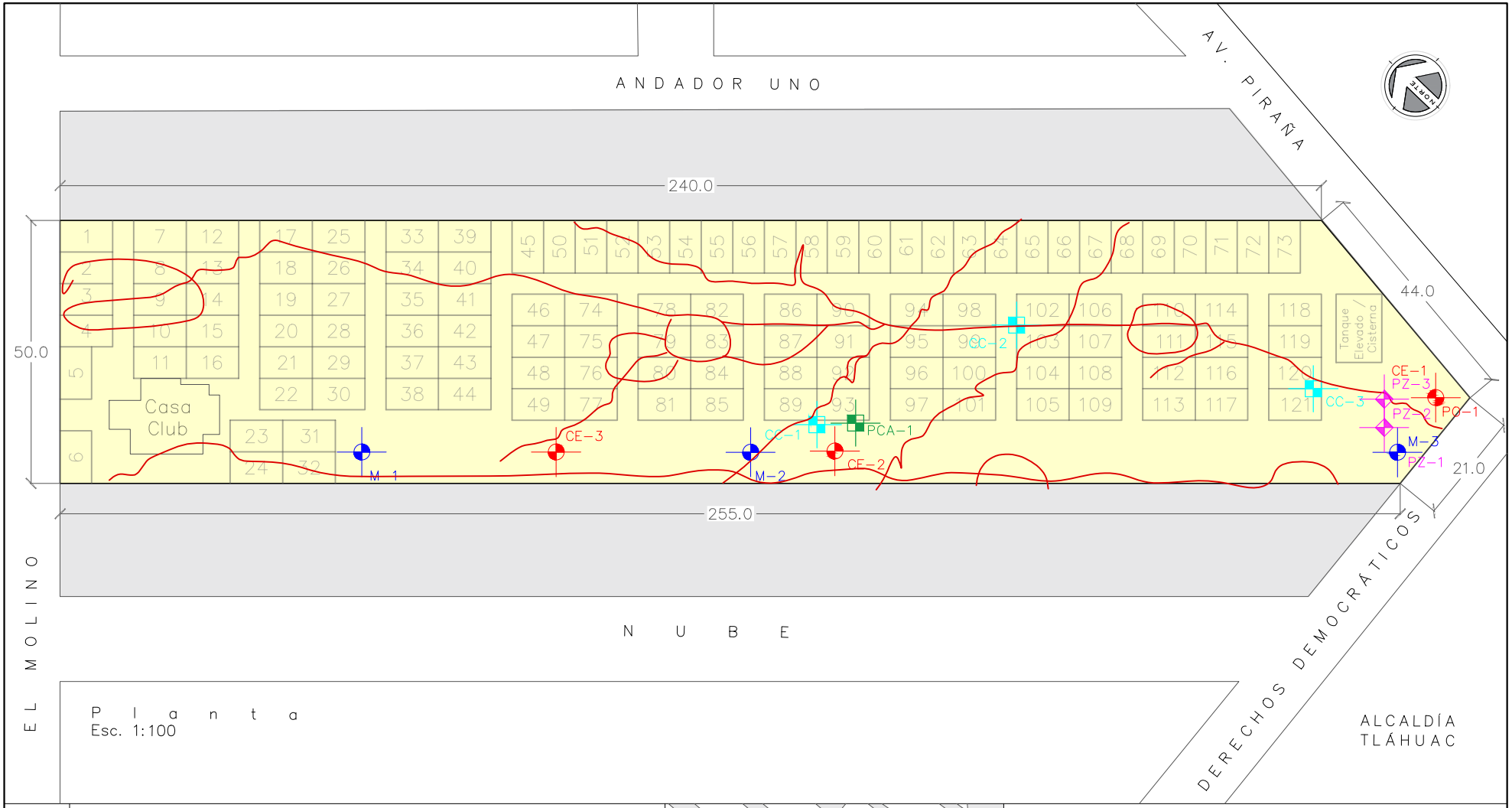
| FIG. 04 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

PAR ESTEREOSCÓPICO DE 1985

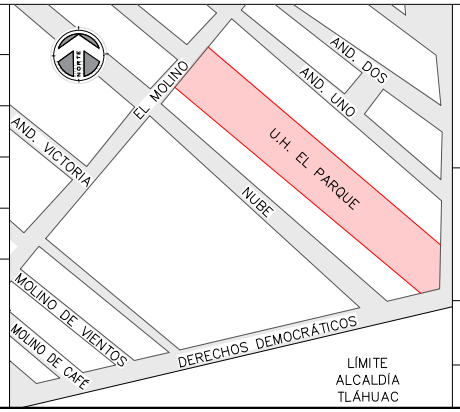
| FIG. 05 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




P l a n t a
Esc. 1:100

## SIMBOLOGÍA

| | | | |
|---|---|---|---|
| M-1 | SONDEO MIXTO SELECTIVO A 46.2m DE PROFUNDIDAD | PCA-1 | SONDEO DE POZO A CIELO ABIERTO A 3.0m DE PROF. |
| M-2 | SONDEO MIXTO SELECTIVO A 15.0m DE PROFUNDIDAD | CC-1 | CALA EN CIMENTACIÓN A 1.5 m DE PROFUNDIDAD |
| M-3 | SONDEO MIXTO SELECTIVO A 15.0m DE PROFUNDIDAD | CC-2 | CALA EN CIMENTACIÓN A 1.5 m DE PROFUNDIDAD |
| CE-1 | SONDEO DE CONO ELÉCTRICO A 40.1m DE PROFUNDIDAD | CC-3 | CALA EN CIMENTACIÓN A 1.5 m DE PROFUNDIDAD |
| CE-2 | SONDEO DE CONO ELÉCTRICO A 15.0m DE PROFUNDIDAD | | GRIETAS Y POSIBLES ZONAS DE SOCAVACIÓN. TRAZO A SIMPLE VISTA REALIZADO POR LA DRA. FERNANDA CAMPA URANGA, PROF. INVESTIGADORA DE LA UACM. |
| CE-3 | SONDEO DE CONO ELÉCTRICO A 15.0m DE PROFUNDIDAD | | |
| PZ-1 | ESTACIÓN PIEZOMÉTRICA CON CELDAS A 5, 14.85, 28.55 Y 36.55m DE PROF | | |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

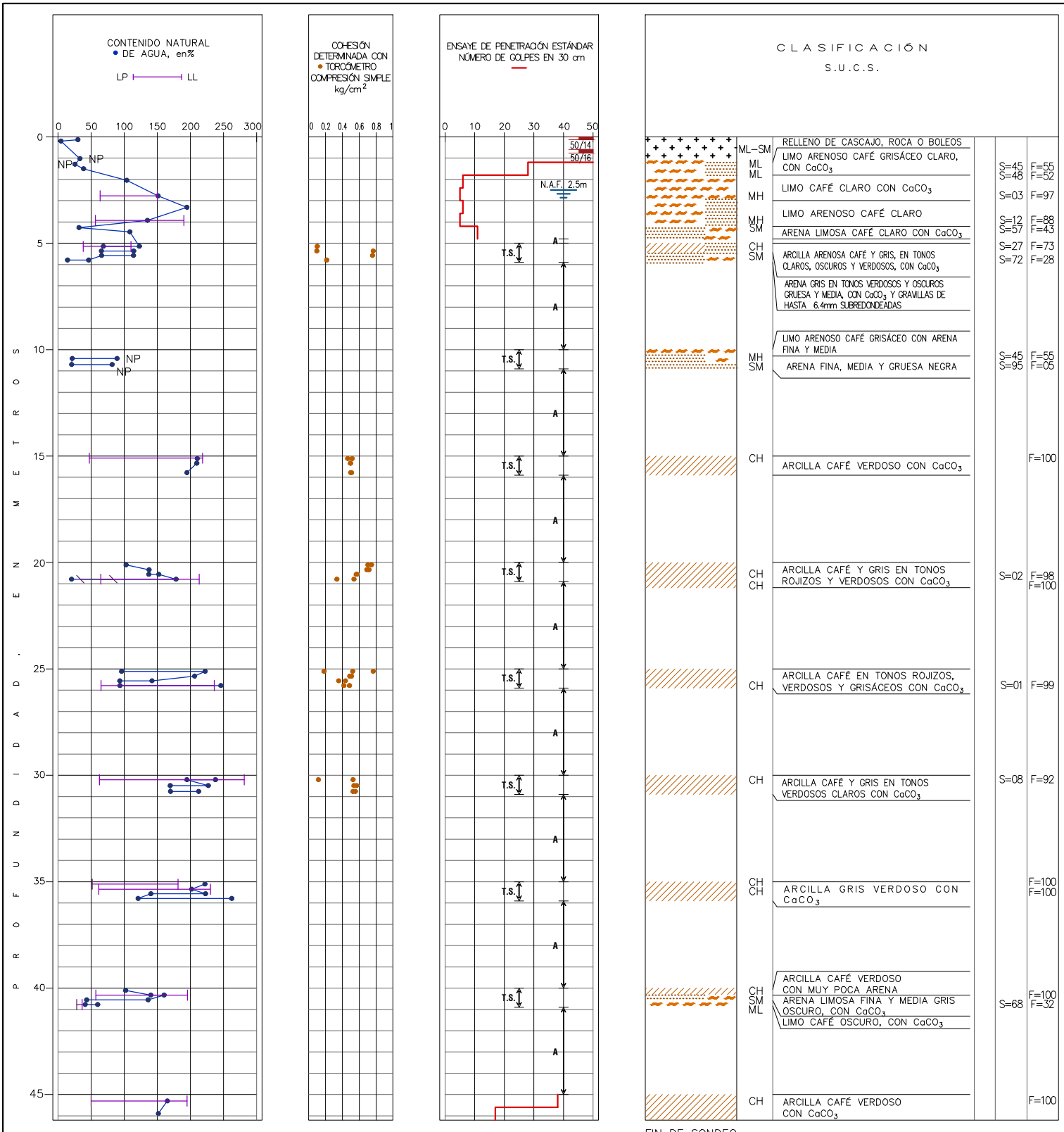
# UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE

Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México

**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

UBICACIÓN DE SONDEOS, PIEZÓMETROS Y GRIETAS INFERIDAS

| FIG. 06 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




Profundidad de exploración: 46.2m
NP=No plástico
Cota brocal=−0.02

Escala Vertical: 1: 250

SIMBOLOGÍA

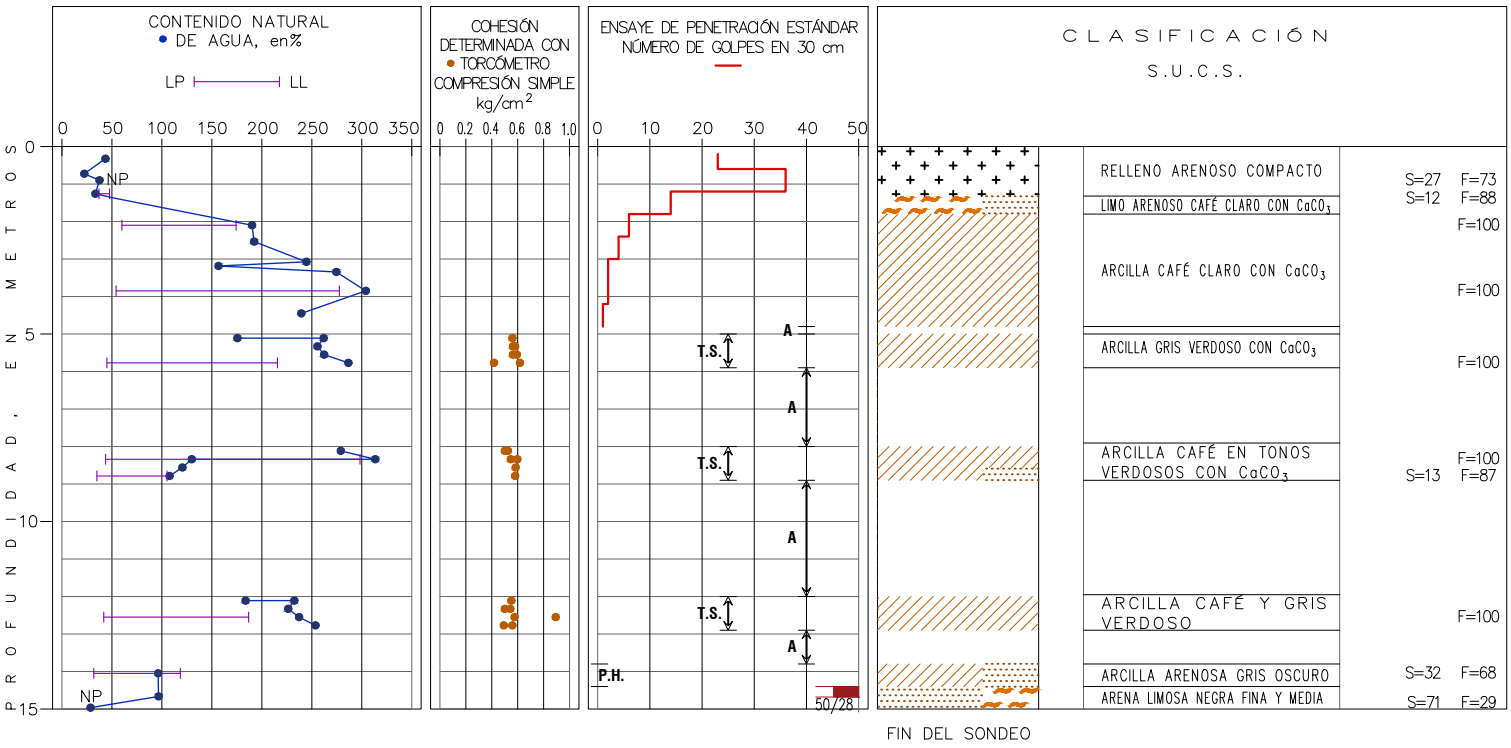
| | | | |
|---|---|---|---|
| | ARCILLA | | GRAVA |
| | LIMO | | RELLENO |
| | ARENA | | |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**
SONDEO M - 1

| FIG. 07 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




FIN DEL SONDEO

Profundidad de exploración: 15.0m
NP=No plástico
Cota brocal=−0.36

Escala Vertical: 1: 200

Muestreo con Tubo Shelby T.S.
Avance sin muestreo A
Más de 50 golpes
Avance con peso propio de la herramienta P.H.

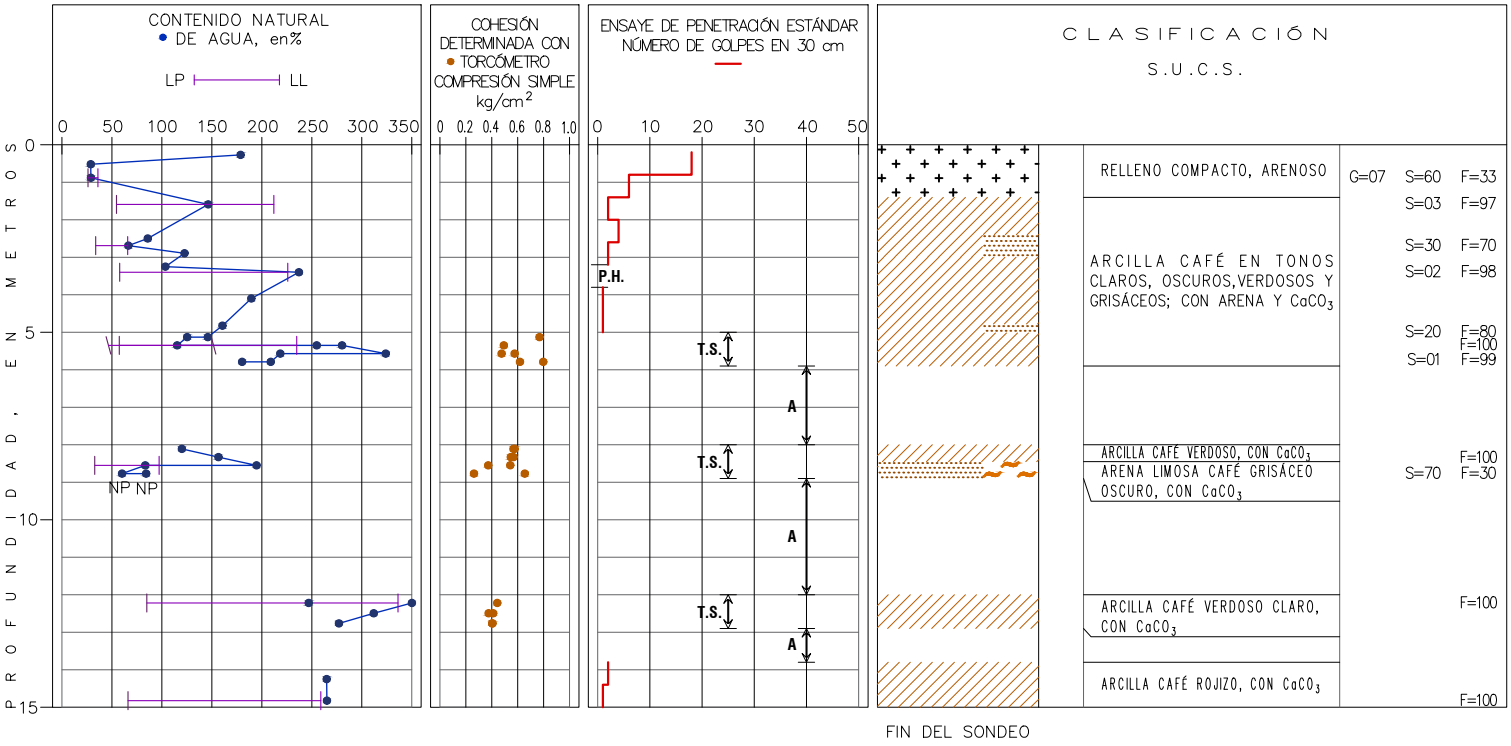
SIMBOLOGÍA

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**
SONDEO M - 2

| FIG. 08 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




Profundidad de exploración: 15.0m
NP=No plástico
Cota brocal=−0.37

Escala Vertical: 1: 200

Muestreo con Tubo Shelby T.S.
Avance sin muestreo A
Más de 50 golpes
Avance con peso propio de la herramienta P.H.

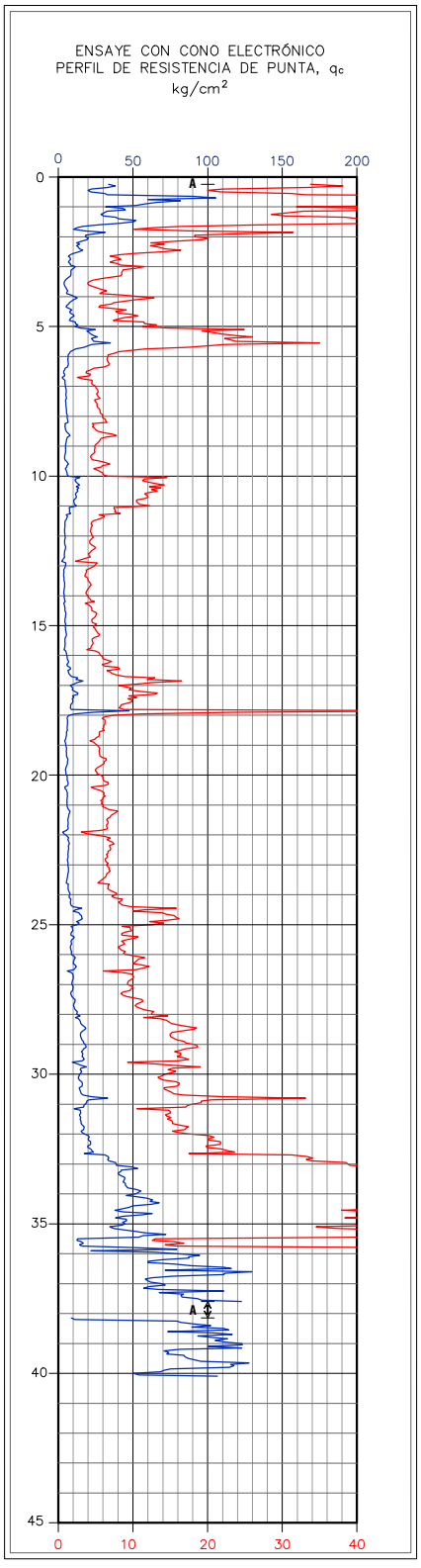
SIMBOLOGÍA

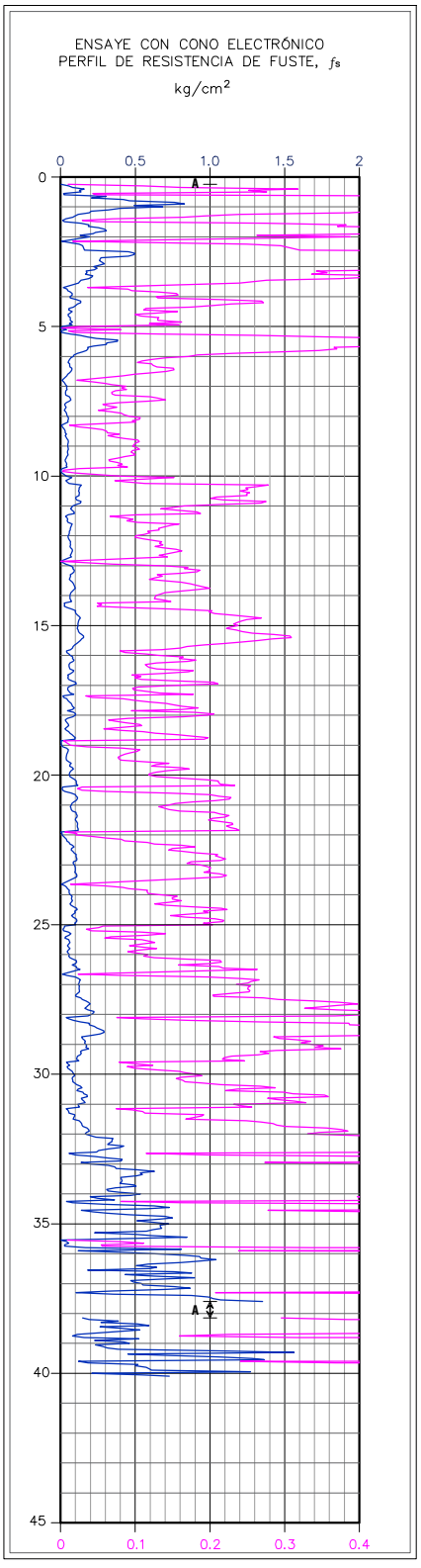
oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**
SONDEO M - 3

| FIG. 09 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




Profundidad de exploración: 40.1m
Cota Brocal=−0.36 m

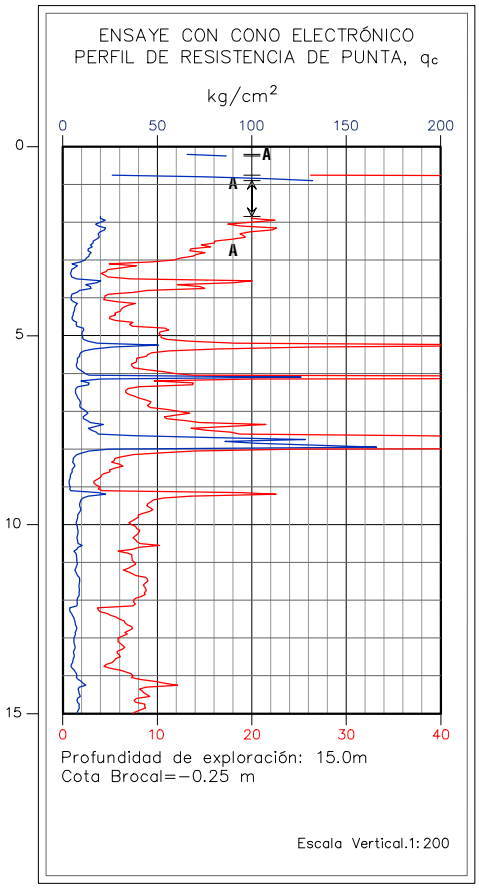
Escala Vertical.1: 250

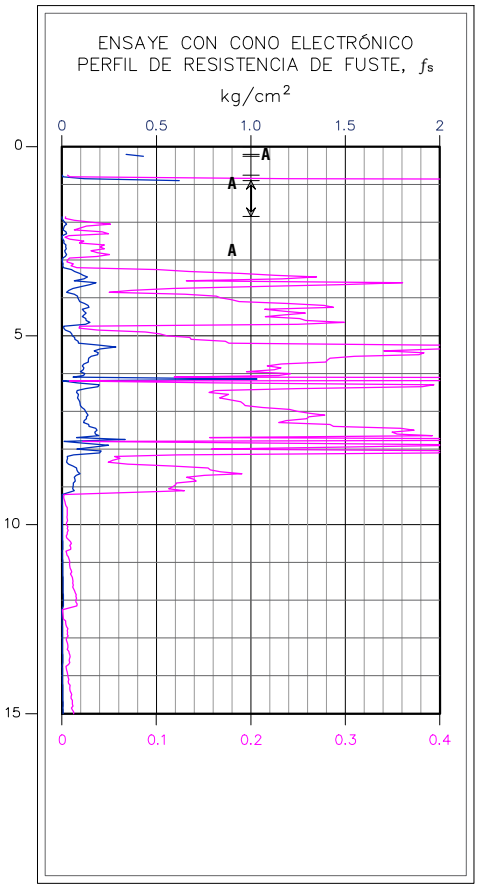
oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**RESISTENCIA DE PUNTA, $q_c$ Y FUSTE**
SONDEO CE - 1

| FIG. 10 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|



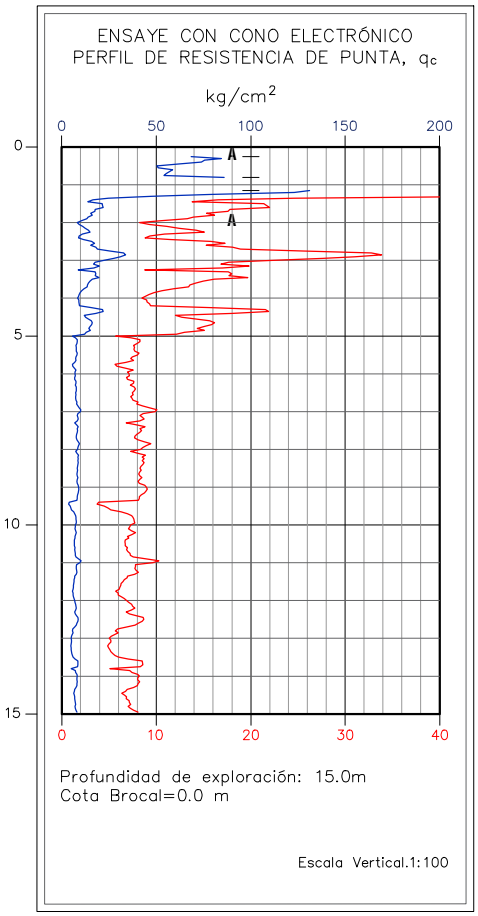



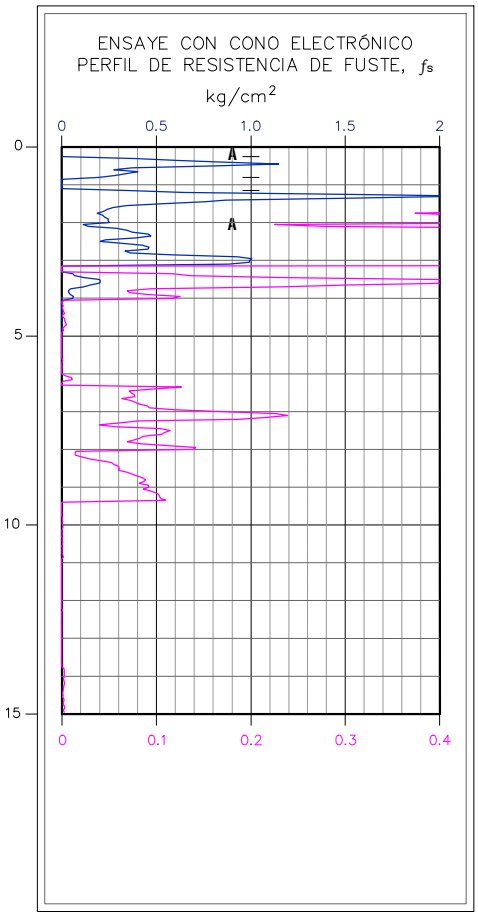

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**RESISTENCIA DE PUNTA, $q_c$ Y FUSTE**
SONDEO CE - 2

| FIG. 11 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|



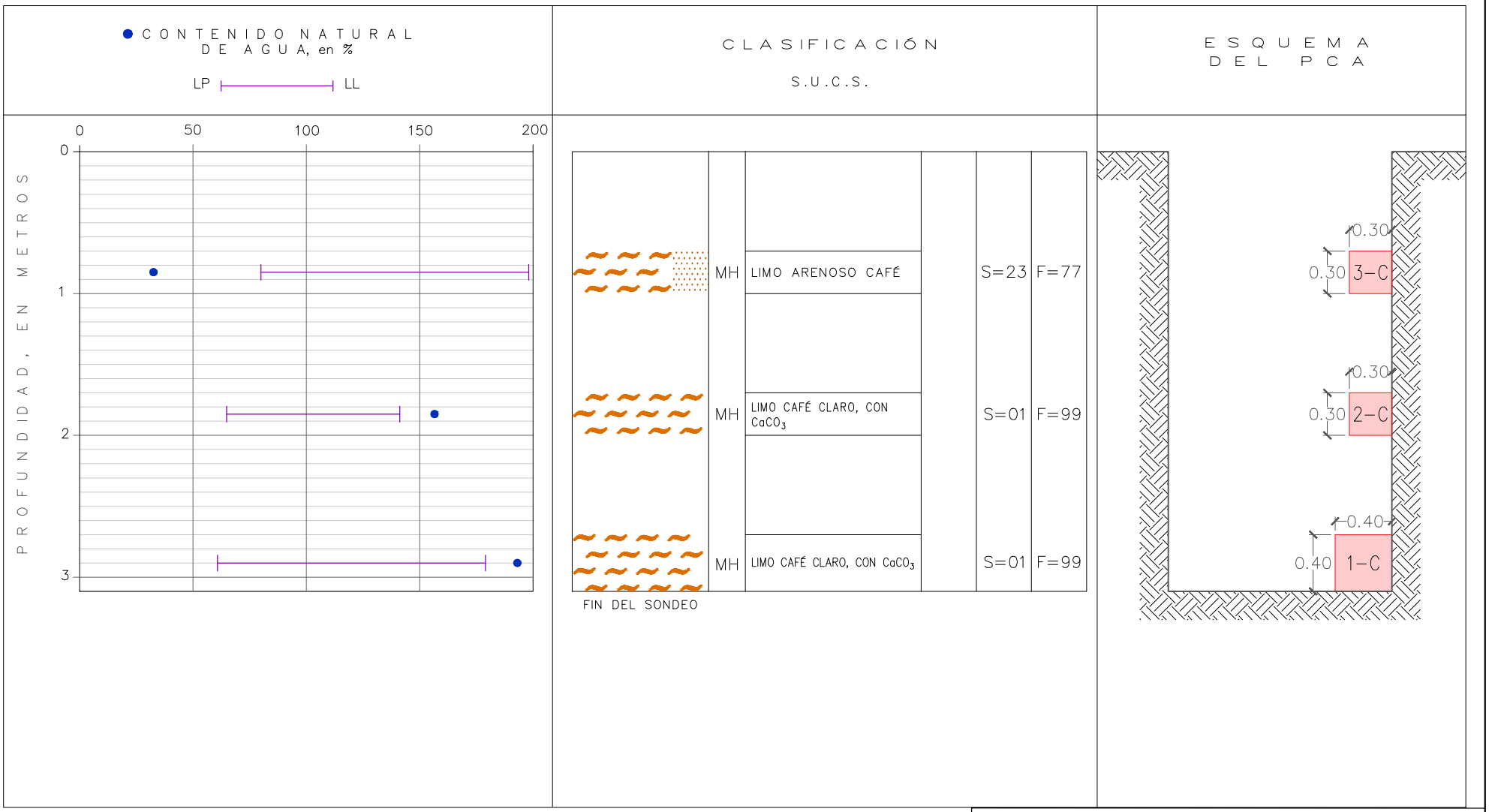




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

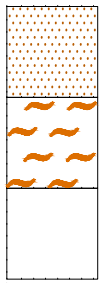
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**RESISTENCIA DE PUNTA, $q_c$ Y FUSTE**
SONDEO CE - 3

| FIG. 12 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




SIMBOLOGÍA



ARENA

LIMO

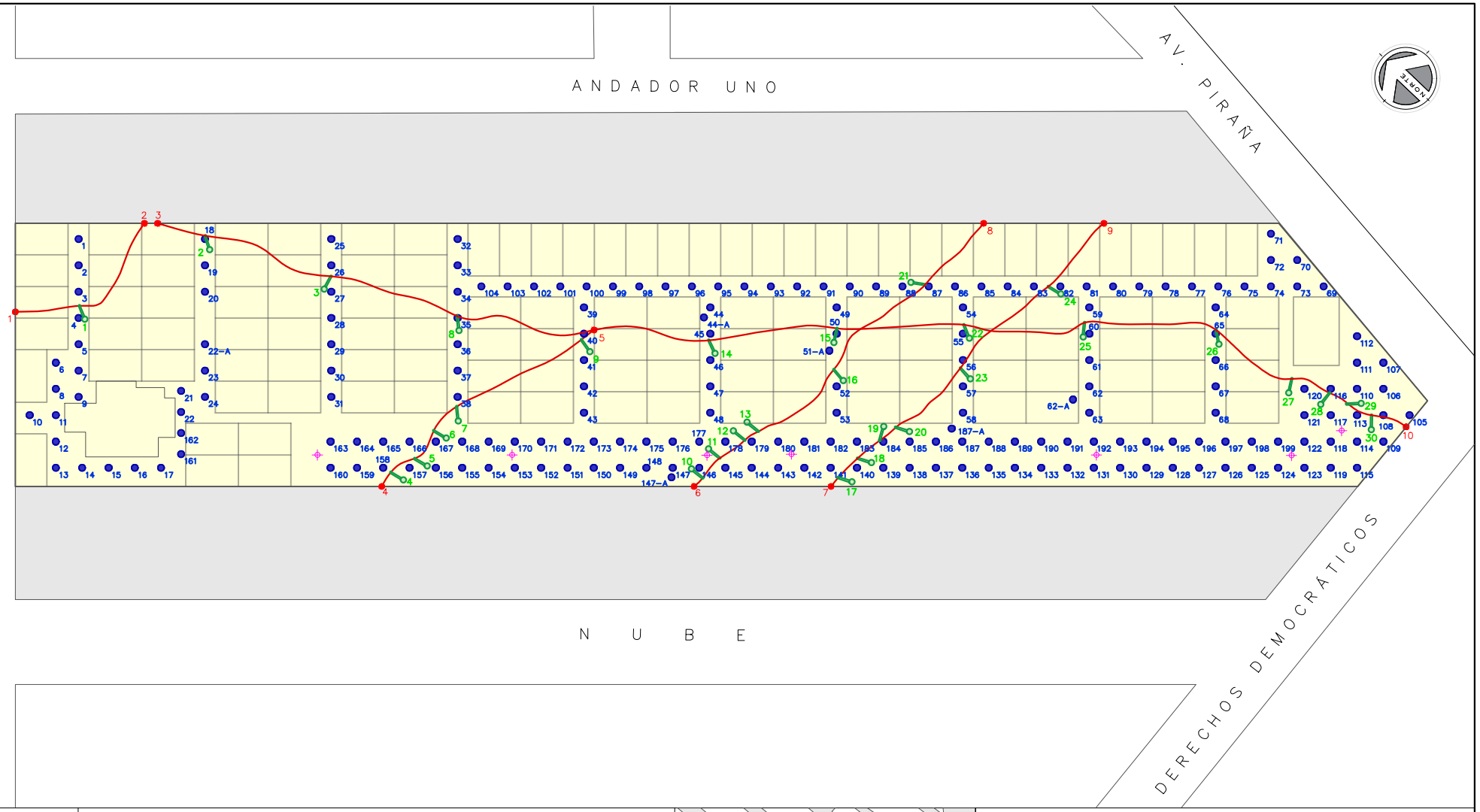
**Soiltec, s.a. de c.v.**
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

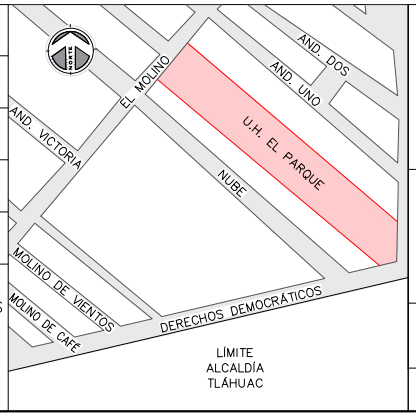
**PERFIL ESTRATIGRÁFICO**

SONDEO PCA - 1

| FIG. 13 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




| SIMBOLOGÍA | | | |
|---|---|---|---|
| 13 | PERFORACIÓN PARA DETECCIÓN DE CAVIDADES EN EL SUBSUELO | | |
| 2 | PERFORACIÓN INCLINADA PARA RELLENO DE GRIETAS | | |
| 4 | PERFORACIÓN TAPÓN | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | INTERPRETACIÓN PRELIMINAR DE LAS GRIETAS TRAZADAS POR LA DRA. FERNANDA CAMPA URANGA. | | |

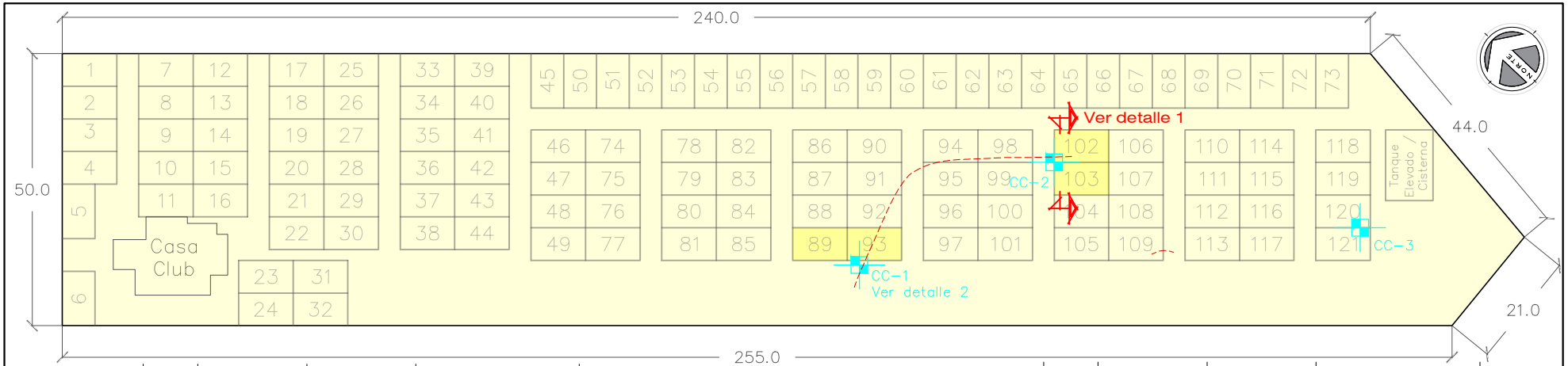



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

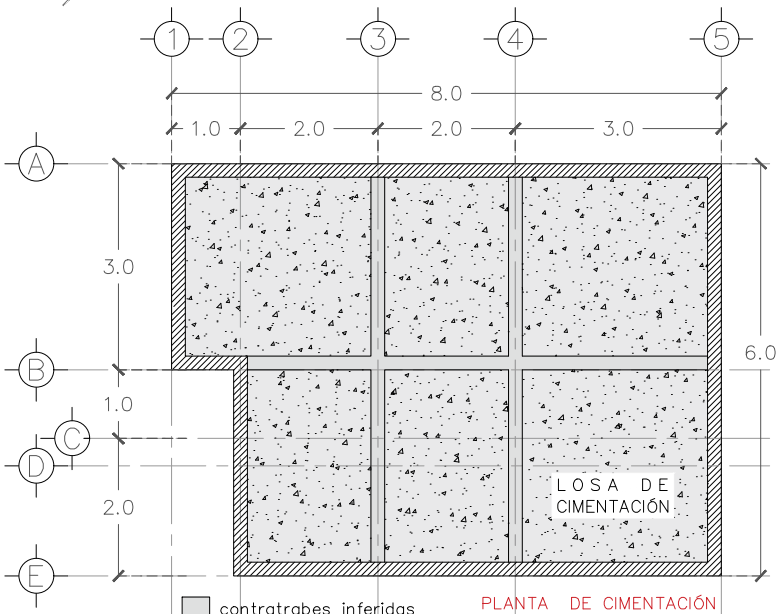
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

UBICACIÓN DE BARRENOS PARA DETECCIÓN DE CAVIDADES

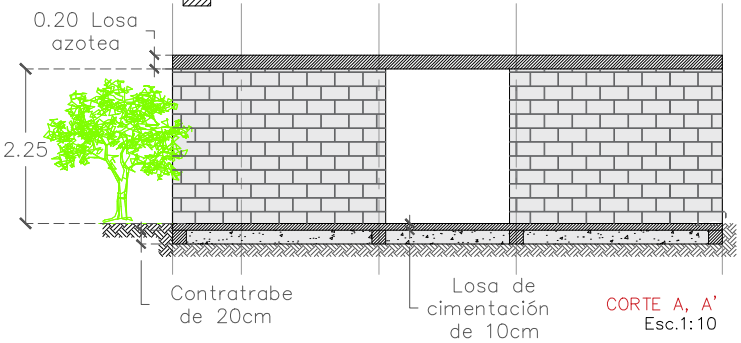
| FIG. 14 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|



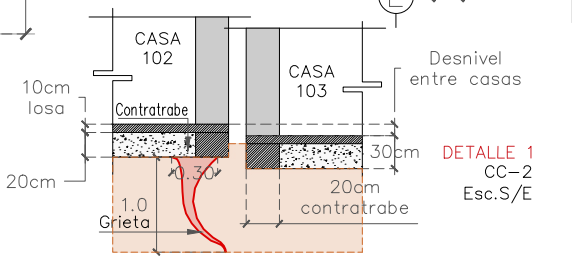

PLANTA GENERAL
Unidad Habitacional El Parque
Esc. 1:100



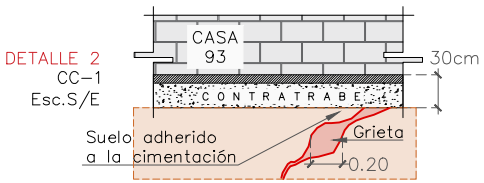

PLANTA DE CIMENTACIÓN
Casa 120, cala CC–3
Esc.1:10



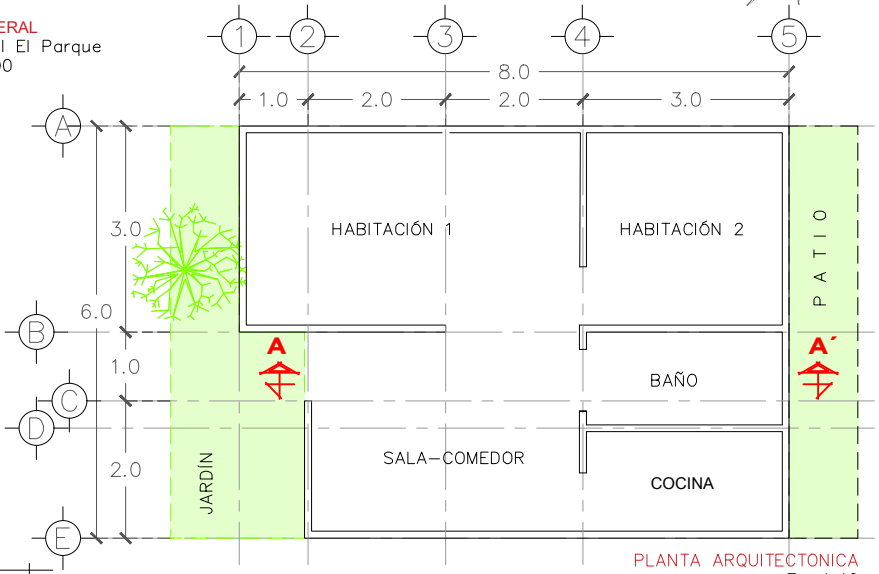

CORTE A, A'
Esc.1:10




DETALLE 1
CC–2
Esc.S/E




DETALLE 2
CC–1
Esc.S/E




PLANTA ARQUITECTONICA
Esc.1:10

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

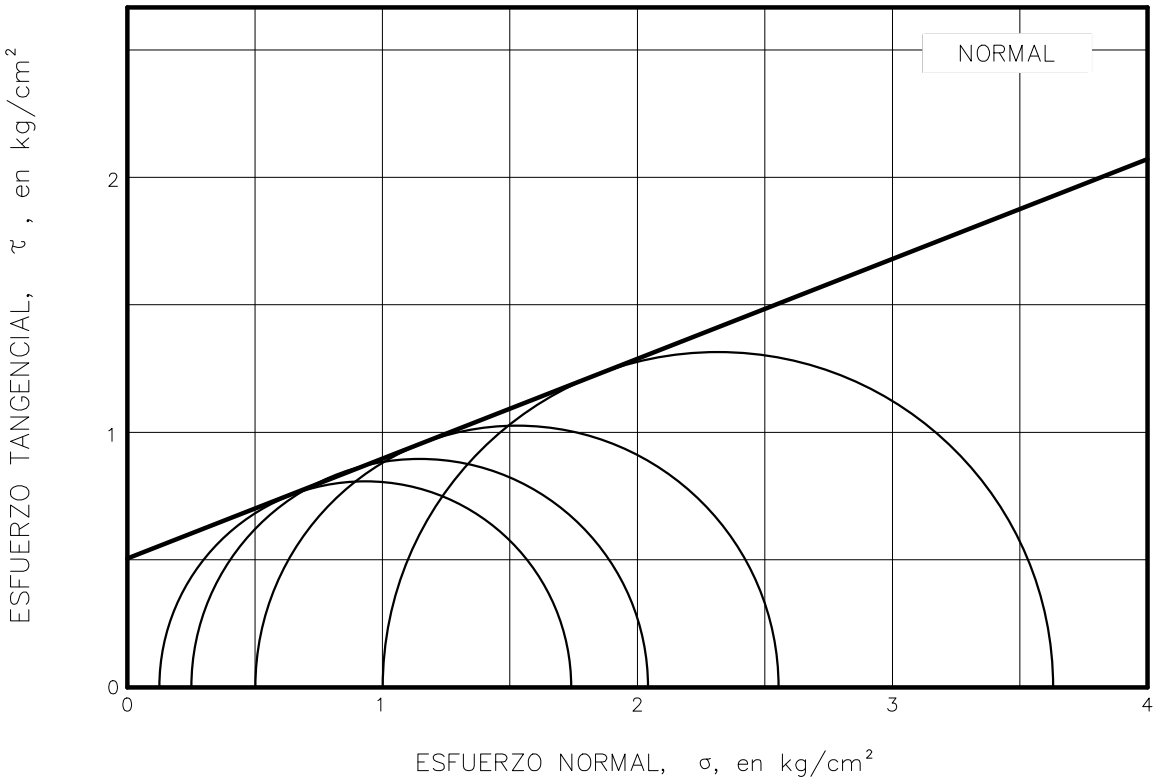
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

INSPECCIÓN DE LA CIMENTACIÓN Y
CALAS EN LAS GRIETAS DEL SUBSUELO

| FIG. 15 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.27 | 2.28 | 105 | – | 110 | 39 | 3.33 | 0.125 | 1.74 | 1415 | CH |
| | 2.47 | 109 | 100 | | | 3.33 | 0.25 | 2.04 | 1366 | |
| | 2.37 | 107 | 102 | | | 3.88 | 0.50 | 2.55 | 1389 | |
| | 2.47 | 107 | 98 | | | 3.88 | 1.00 | 3.63 | 1354 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.50 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 21° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 44 |
| 0.25 | 61 |
| 0.50 | 87 |
| 1.00 | 105 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

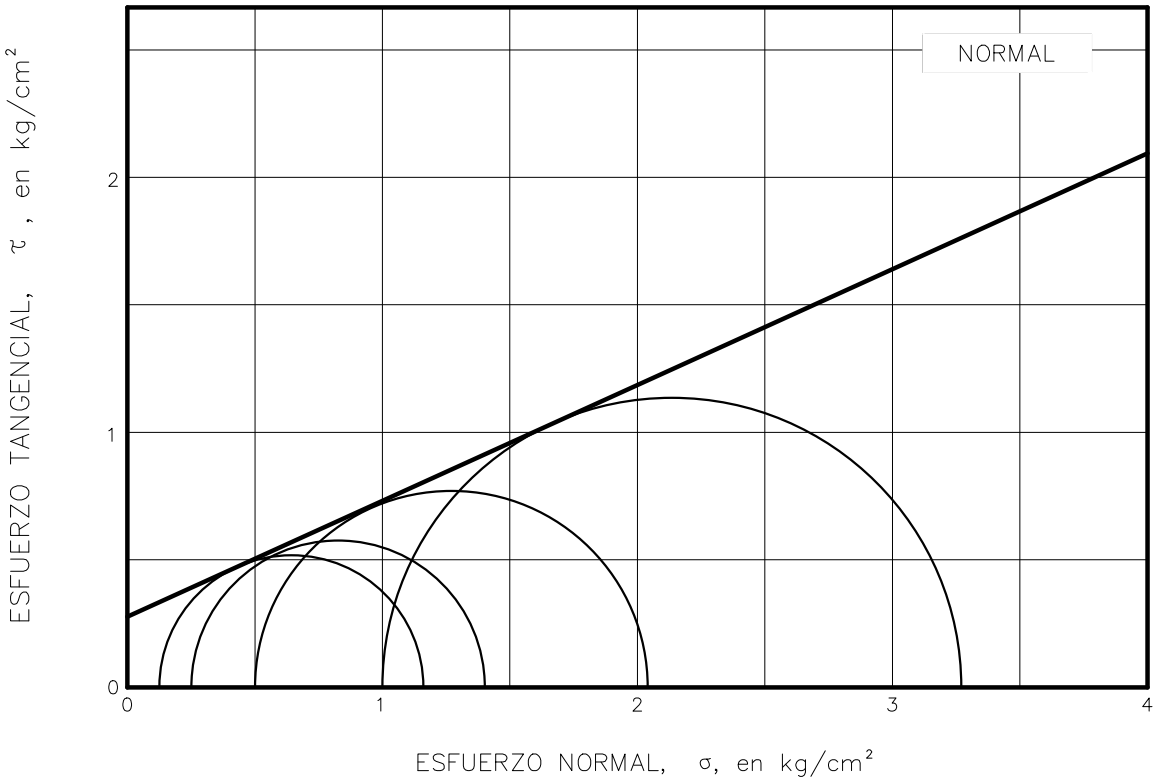
**SONDEO M - 1** **PROF. 5.15 m**

| FIG. 16 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.64 | 0.96 | 24 | 67 | NP | NP | 3.93 | 0.125 | 1.16 | 1672 | SM |
| | 0.86 | 25 | 77 | | | 3.36 | 0.25 | 1.40 | 1773 | |
| | 0.89 | 24 | 72 | | | 3.93 | 0.50 | 2.04 | 1736 | |
| | 0.85 | 23 | 72 | | | 4.60 | 1.00 | 3.27 | 1760 | |

NP=No Plástico

## CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.27 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 24° |

| μ=0.35 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 73 |
| 0.25 | 113 |
| 0.50 | 178 |
| 1.00 | 259 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

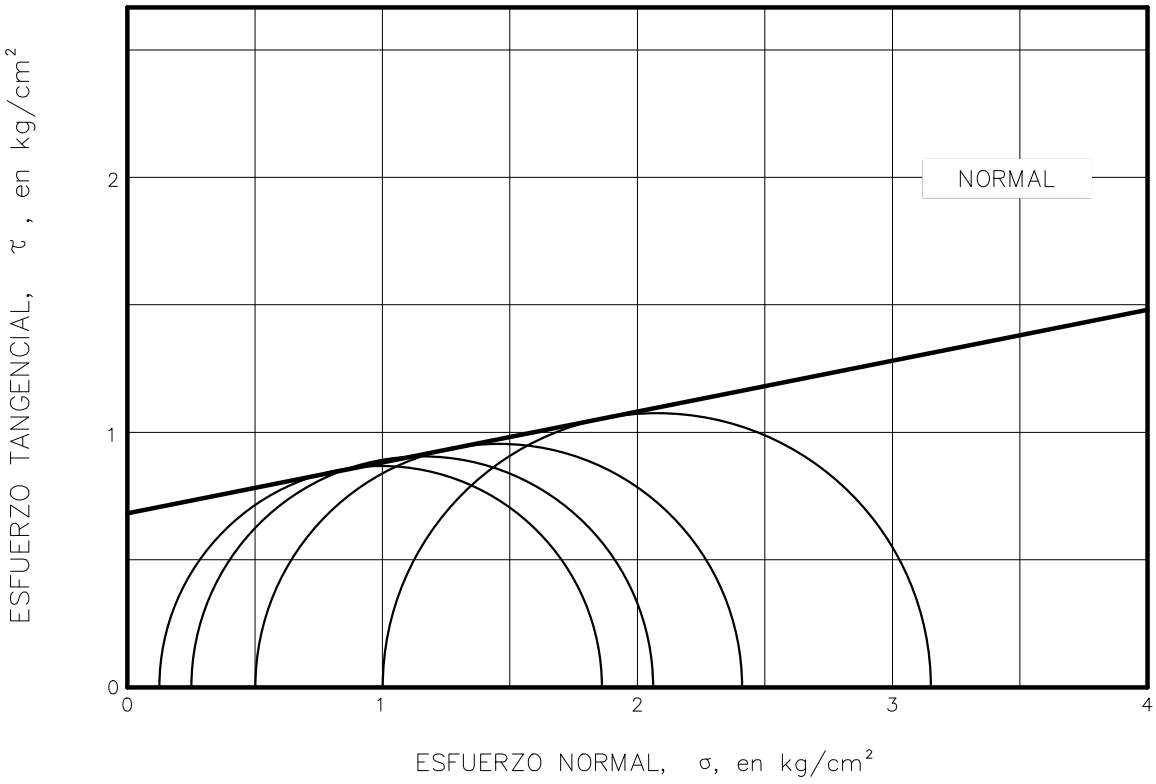
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 5.80 m**

| FIG. 17 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.34 | 4.93 | 212 | 101 | 218 | 48 | 2.78 | 0.125 | 1.86 | 1231 | CH |
| | 5.01 | 214 | 100 | | | 2.78 | 0.25 | 2.06 | 1223 | |
| | 5.08 | 215 | 99 | | | 2.77 | 0.50 | 2.41 | 1212 | |
| | 4.88 | 211 | 101 | | | 3.33 | 1.00 | 3.15 | 1239 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.69 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 11° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 47 |
| 0.25 | 68 |
| 0.50 | 91 |
| 1.00 | 123 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

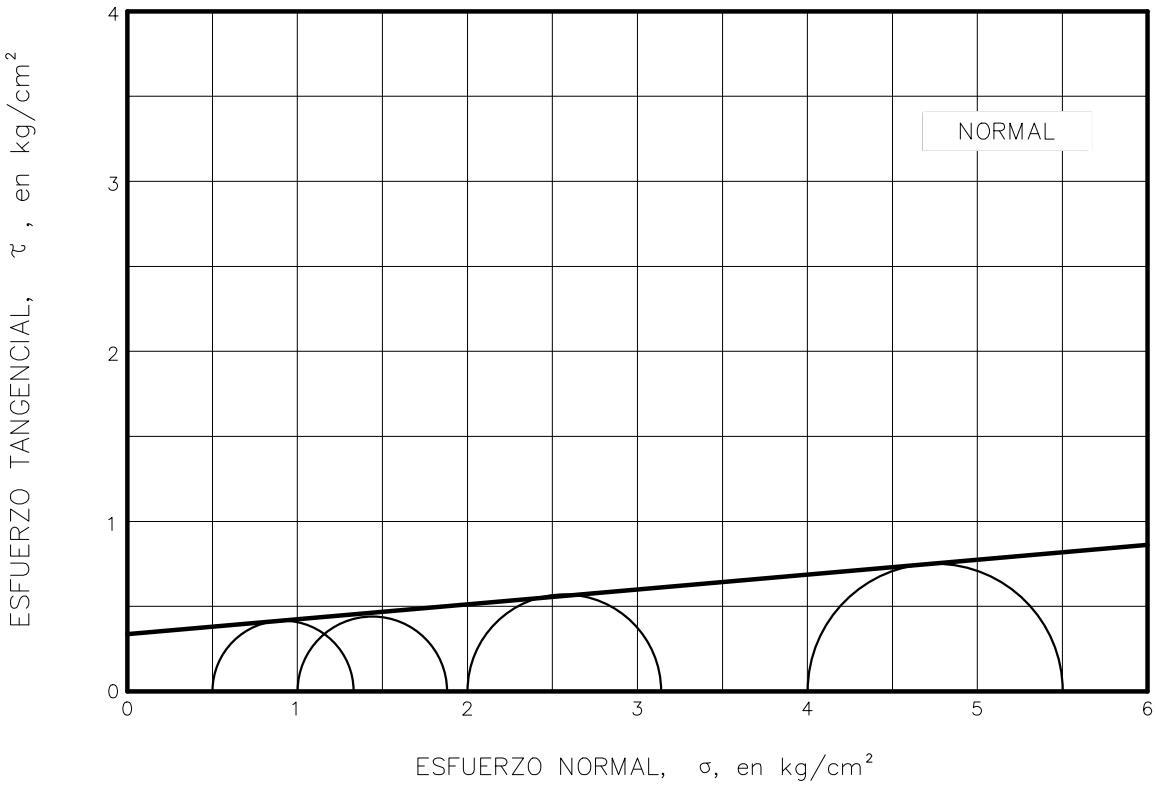
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 15.10 m**

| FIG. 18 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.31 | 4.84 | 204 | 98 | 213 | 62 | 2.22 | 0.50 | 1.33 | 1204 | CH |
| | 4.65 | 197 | 98 | | | 2.22 | 1.00 | 1.88 | 1215 | |
| | 4.90 | 203 | 96 | | | 2.77 | 2.00 | 3.14 | 1188 | |
| | 5.15 | 208 | 94 | | | 2.78 | 4.00 | 5.50 | 1159 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.35 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 5° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.50 | 48 |
| 1.00 | 83 |
| 2.00 | 108 |
| 4.00 | 150 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

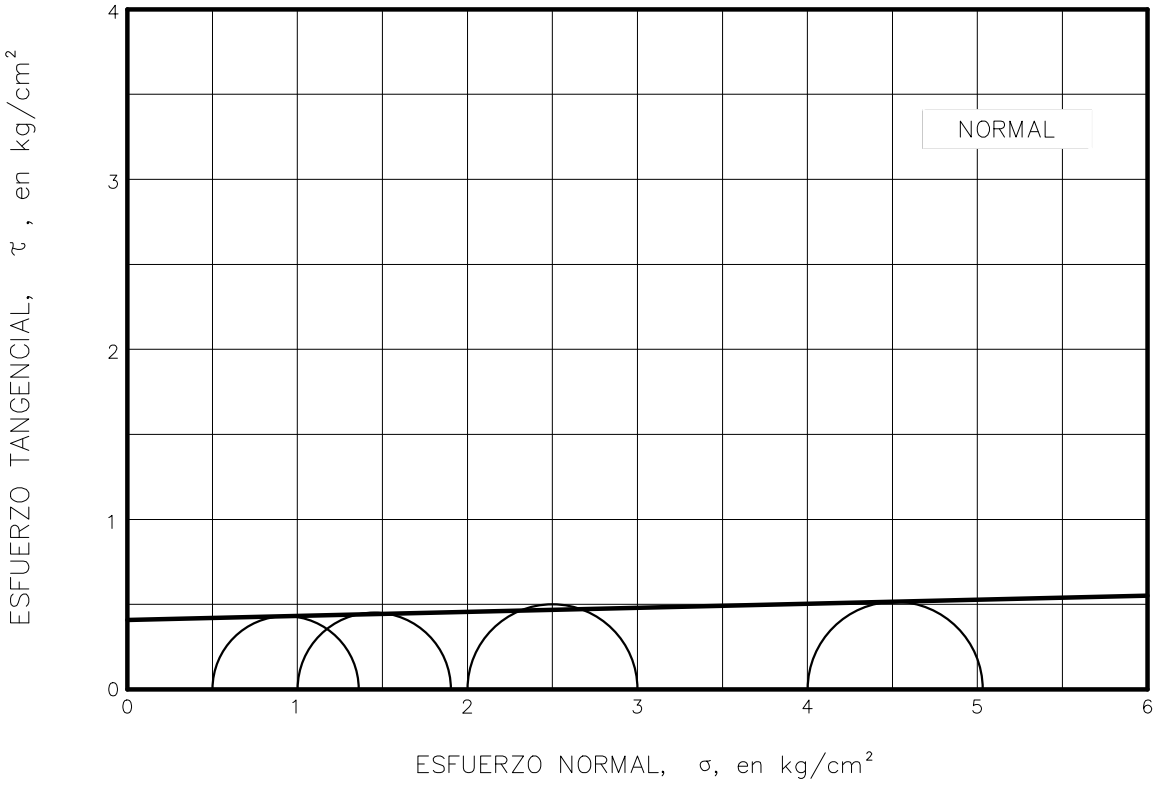
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 20.80 m**

| FIG. 19 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.13 | 4.15 | 197 | 101 | 237 | 64 | 3.40 | 0.50 | 1.36 | 1223 | CH |
| | 4.18 | 202 | 103 | | | 2.27 | 1.00 | 1.90 | 1243 | |
| | 3.98 | 189 | 101 | | | 2.26 | 2.00 | 3.00 | 1235 | |
| | 4.19 | 202 | 103 | | | 1.69 | 4.00 | 5.03 | 1238 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.42 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 1° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.50 | 59 |
| 1.00 | 80 |
| 2.00 | 112 |
| 4.00 | 153 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

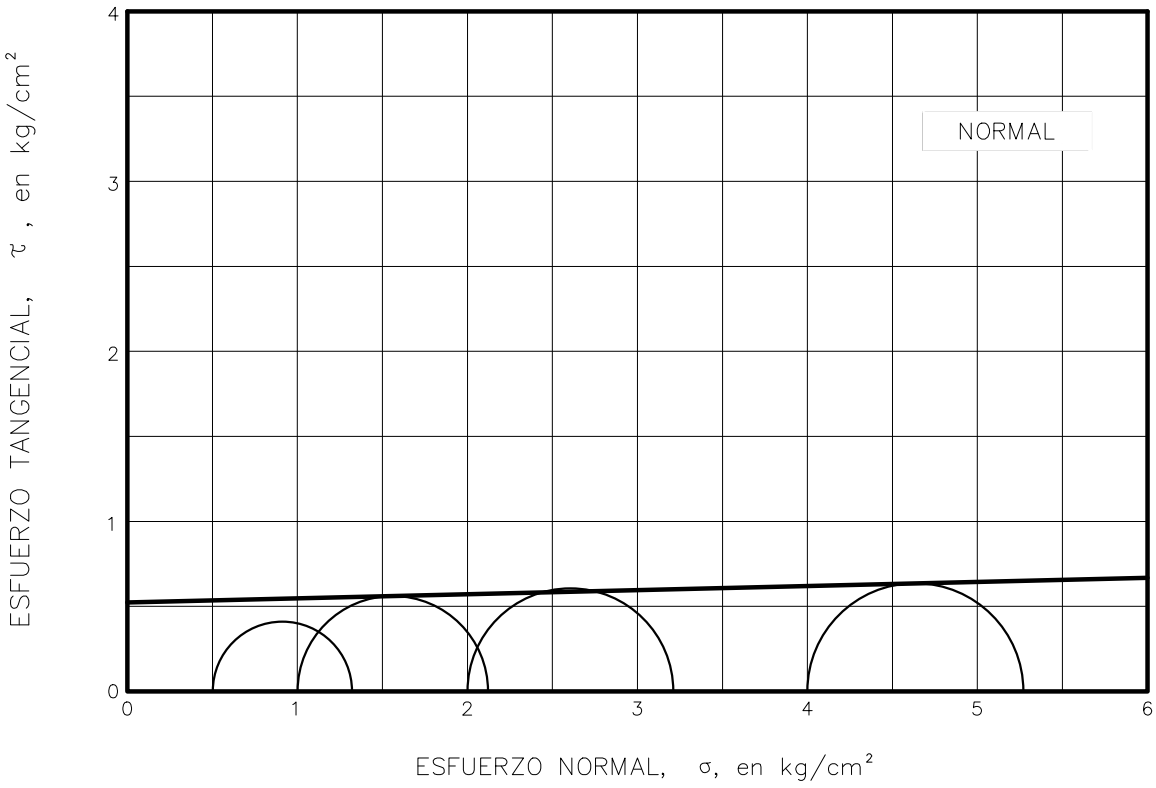
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 25.80 m**

| FIG. 20 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.30 | 5.89 | 253 | 99 | 281 | 63 | 2.80 | 0.50 | 1.32 | 1179 | CH |
| | 6.38 | 276 | 99 | | | 3.37 | 1.00 | 2.12 | 1171 | |
| | 6.44 | 277 | 99 | | | 3.93 | 2.00 | 3.21 | 1164 | |
| | 5.95 | 259 | 100 | | | 3.92 | 4.00 | 5.27 | 1186 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.51 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 1° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.50 | 48 |
| 1.00 | 92 |
| 2.00 | 127 |
| 4.00 | 152 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

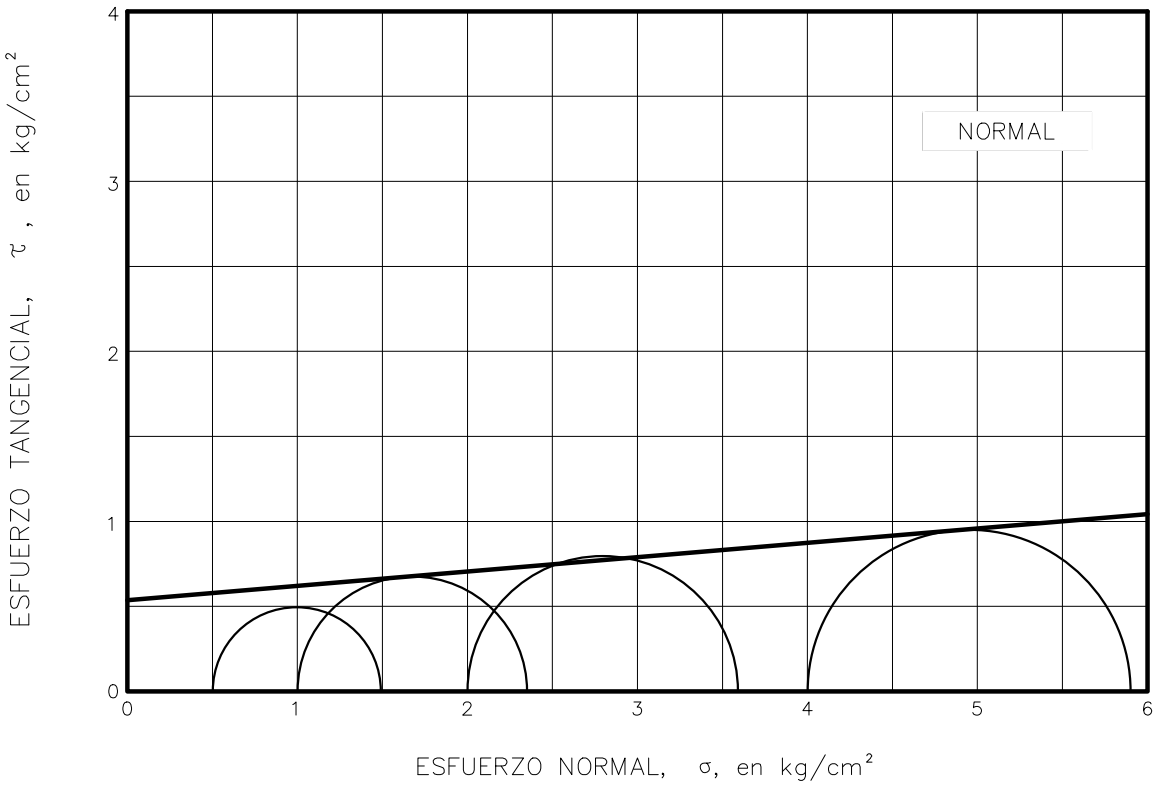
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 30.00 m**

| FIG. 21 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.35 | 3.25 | 143 | 103 | 181 | 52 | 2.22 | 0.50 | 1.49 | 1342 | CH |
| | 3.27 | 137 | 98 | | | 2.77 | 1.00 | 2.35 | 1303 | |
| | 4.74 | 205 | 102 | | | 2.77 | 2.00 | 3.59 | 1251 | |
| | 3.66 | 162 | 104 | | | 2.77 | 4.00 | 5.90 | 1324 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.53 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 5° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.50 | 70 |
| 1.00 | 101 |
| 2.00 | 142 |
| 4.00 | 179 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

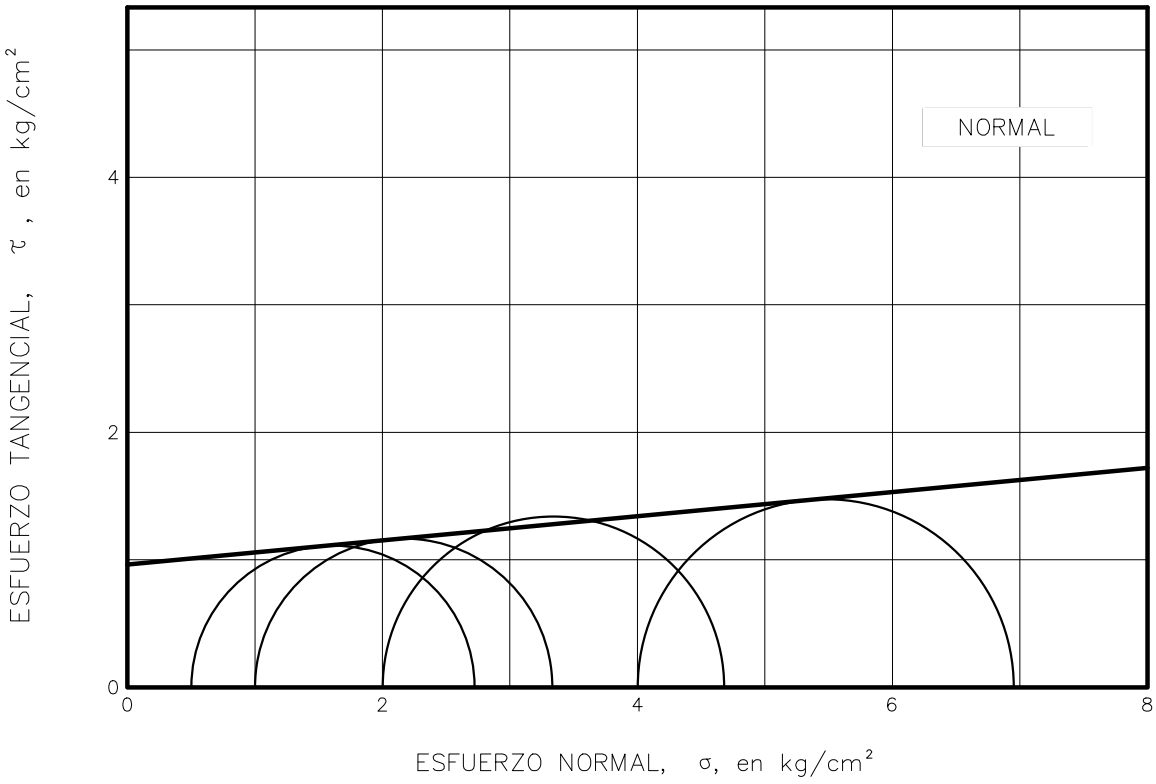
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 35.10 m**

| FIG. 22 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.28 | 3.50 | 157 | 102 | 197 | 57 | 3.89 | 0.50 | 2.72 | 1304 | CH |
| | 3.85 | 171 | 101 | | | 5.89 | 1.00 | 3.33 | 1273 | |
| | 3.87 | 175 | 104 | | | 2.78 | 2.00 | 4.68 | 1292 | |
| | 3.74 | 171 | 104 | | | 2.78 | 4.00 | 6.95 | 1303 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | | |
|---|---|---|
| COHESIÓN : | 0.96 | kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 5.4° | |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.50 | 45 |
| 1.00 | 92 |
| 2.00 | 139 |
| 4.00 | 183 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

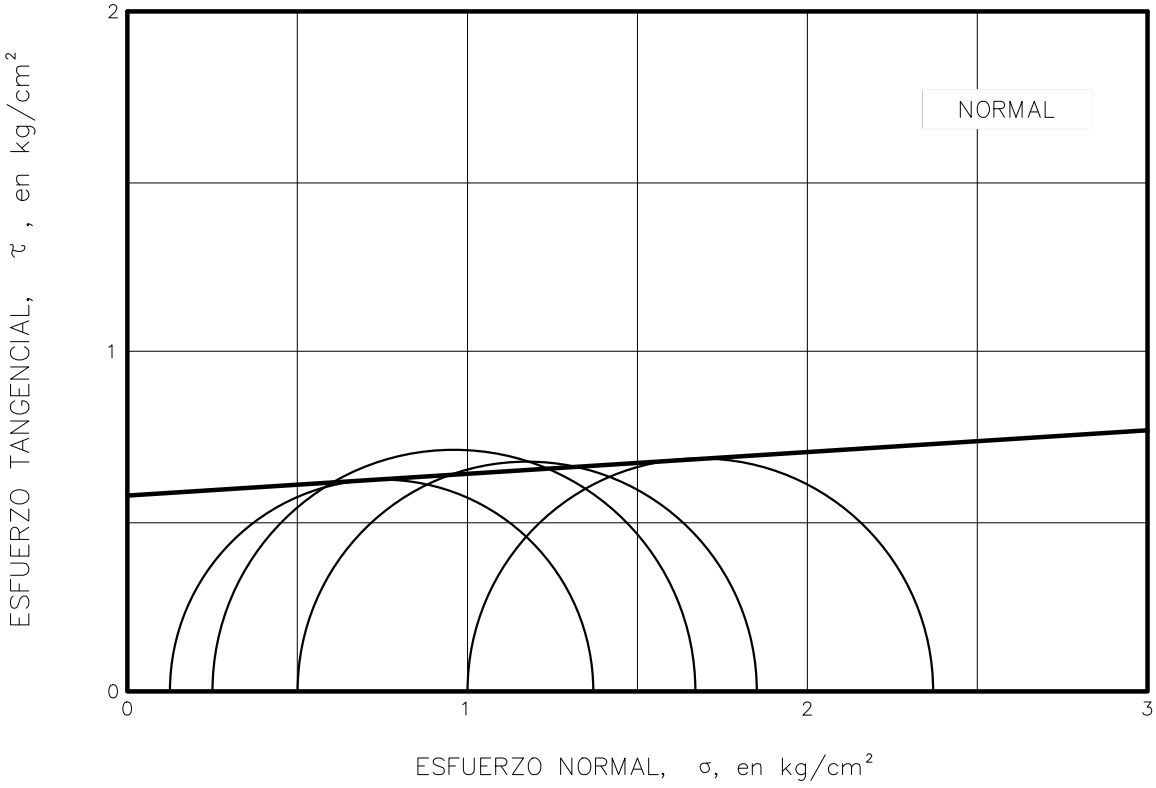
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 1** **PROF. 40.30 m**

| FIG. 23 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.30 | 5.15 | 238 | – | 216 | 44 | 2.75 | 0.125 | 1.37 | 1262 | CH |
| | 4.79 | 212 | 101 | | | 3.00 | 0.25 | 1.67 | 1235 | |
| | 4.93 | 219 | 103 | | | 2.20 | 0.50 | 1.85 | 1234 | |
| | 4.61 | 203 | 101 | | | 2.68 | 1.00 | 2.37 | 1240 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.59 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 3.5° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 39 |
| 0.25 | 78 |
| 0.50 | 107 |
| 1.00 | 117 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

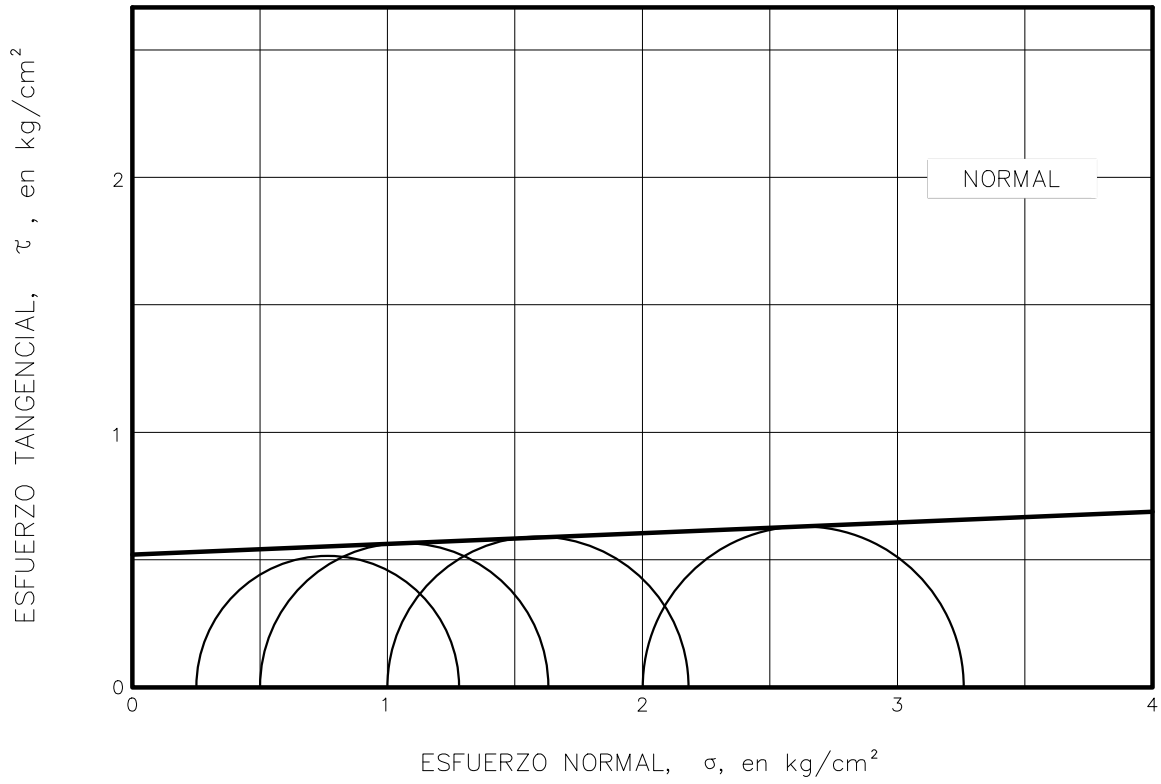
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 2** **PROF. 5.75 m**

| FIG. 24 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.29 | 7.31 | 322 | 101 | 298 | 43 | 2.95 | 0.25 | 1.28 | 1165 | CH |
| | 6.98 | 304 | 100 | | | 3.36 | 0.50 | 1.63 | 1161 | |
| | 7.39 | 318 | 99 | | | 3.42 | 1.00 | 2.18 | 1142 | |
| | 7.09 | 308 | 99 | | | 4.43 | 2.00 | 3.26 | 1155 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | | |
|---|---|---|
| COHESIÓN : | 0.51 | kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 2.5° | |

| $\mu$=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.25 | 46 |
| 0.50 | 89 |
| 1.00 | 110 |
| 2.00 | 150 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

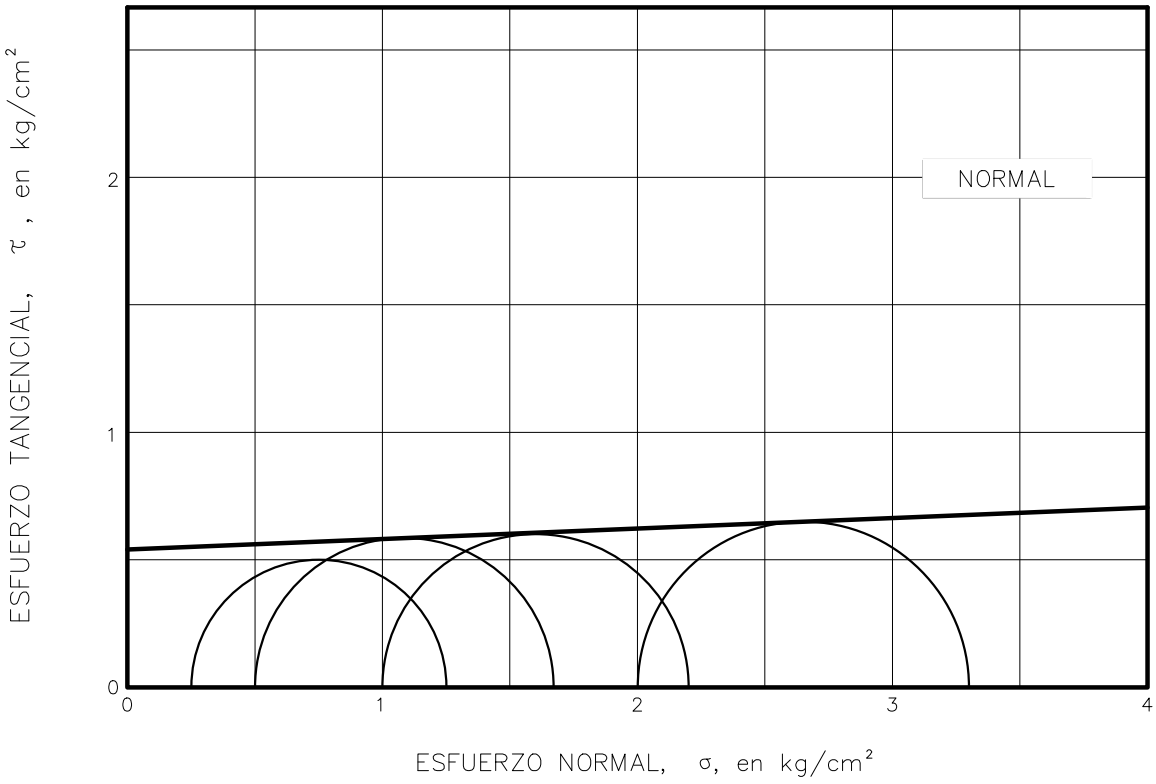
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 2** **PROF. 8.35 m**

| FIG. 25 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.31 | 4.62 | 207 | 103 | 186 | 42 | 1.81 | 0.25 | 1.25 | 1261 | CH |
| | 4.72 | 210 | 103 | | | 2.01 | 0.50 | 1.67 | 1256 | |
| | 4.54 | 205 | 104 | | | 2.09 | 1.00 | 2.20 | 1272 | |
| | 4.65 | 208 | 103 | | | 1.80 | 2.00 | 3.30 | 1258 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.53 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 2.4° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.25 | 49 |
| 0.50 | 94 |
| 1.00 | 135 |
| 2.00 | 159 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

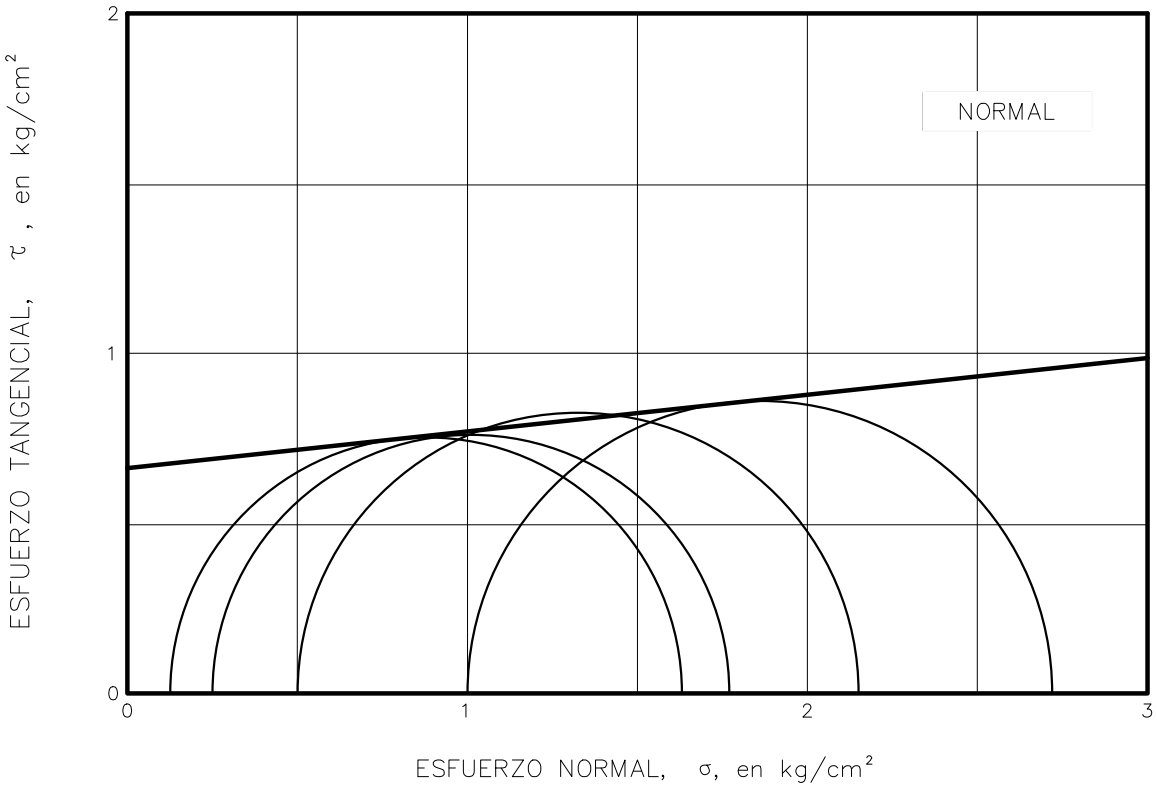
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 2** **PROF. 12.55 m**

| FIG. 26 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.27 | 5.42 | 249 | 104 | 235 | 57 | 1.66 | 0.125 | 1.63 | 1235 | CH |
| | 5.37 | 249 | 105 | | | 1.66 | 0.25 | 1.77 | 1243 | |
| | 5.59 | 254 | 103 | | | 1.66 | 0.50 | 2.15 | 1218 | |
| | 5.56 | 254 | 104 | | | 1.66 | 1.00 | 2.72 | 1226 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.66 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 6.7° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 55 |
| 0.25 | 86 |
| 0.50 | 110 |
| 1.00 | 134 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

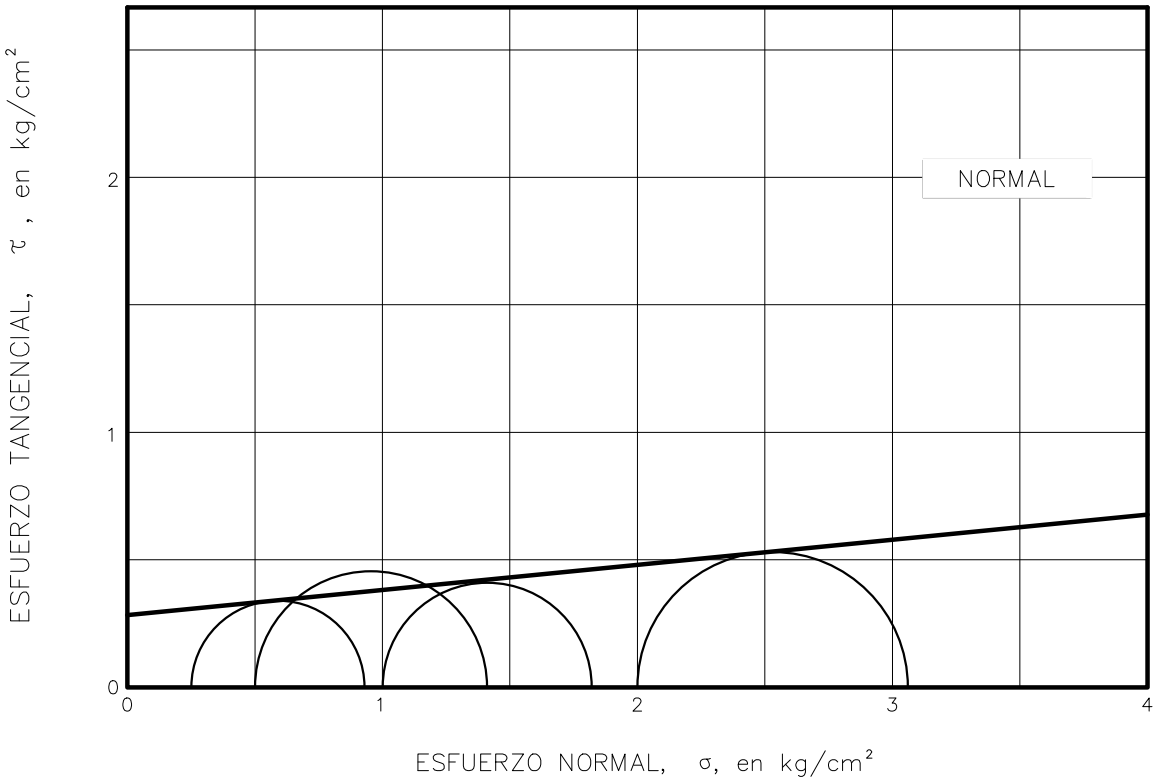
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 3** **PROF. 5.35 m**

| FIG. 27 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.45 | 2.39 | 106 | – | 98 | 32 | 2.80 | 0.25 | 0.93 | 1483 | CH |
| | 2.77 | 115 | 102 | | | 4.48 | 0.50 | 1.41 | 1396 | |
| | 2.68 | 109 | 99 | | | 3.35 | 1.00 | 1.82 | 1389 | |
| | 2.66 | 110 | 101 | | | 2.79 | 2.00 | 3.06 | 1403 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.29 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 6° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.25 | 33 |
| 0.50 | 61 |
| 1.00 | 79 |
| 2.00 | 110 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

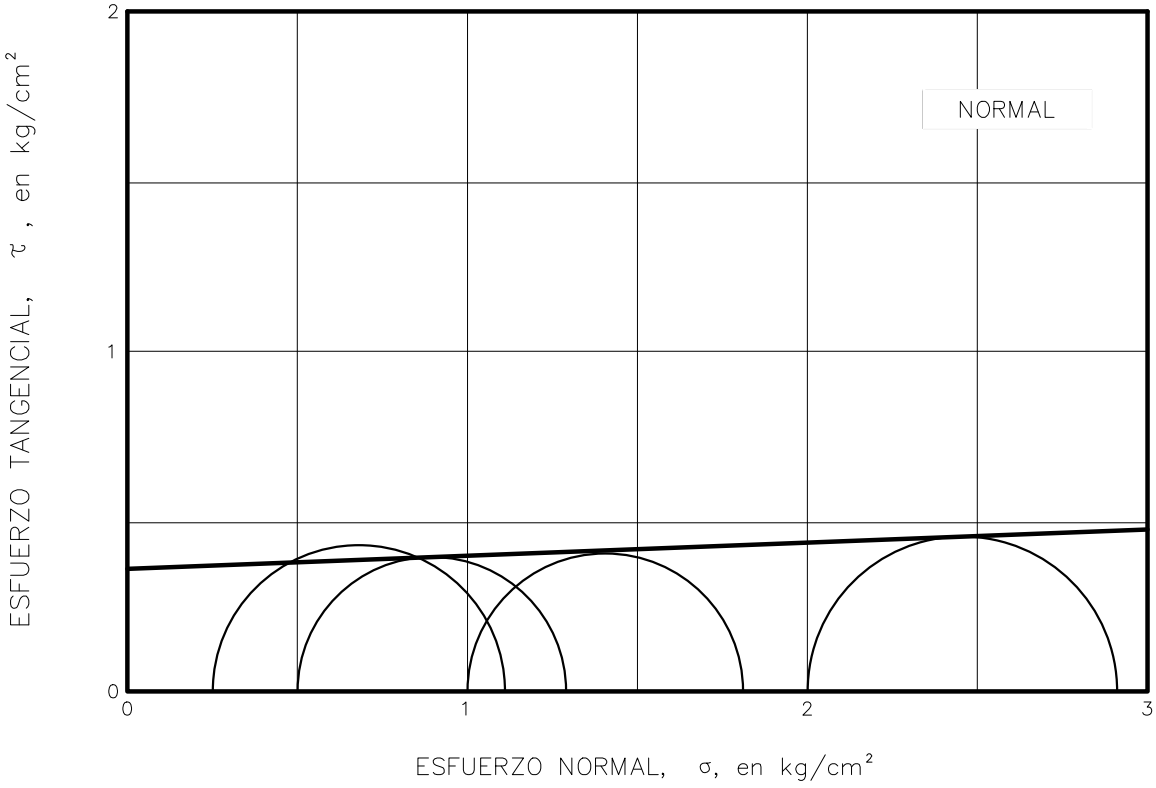
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 3** **PROF. 8.55 m**

| FIG. 28 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.34 | 5.61 | 236 | 98 | 337 | 84 | 2.77 | 0.25 | 1.11 | 1187 | CH |
| | 6.17 | 260 | 98 | | | 1.66 | 0.50 | 1.29 | 1172 | |
| | 6.16 | 262 | 99 | | | 1.66 | 1.00 | 1.81 | 1180 | |
| | 5.46 | 231 | 99 | | | 2.22 | 2.00 | 2.91 | 1197 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 0.36 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 2° |

| μ=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.25 | 47 |
| 0.50 | 69 |
| 1.00 | 84 |
| 2.00 | 119 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

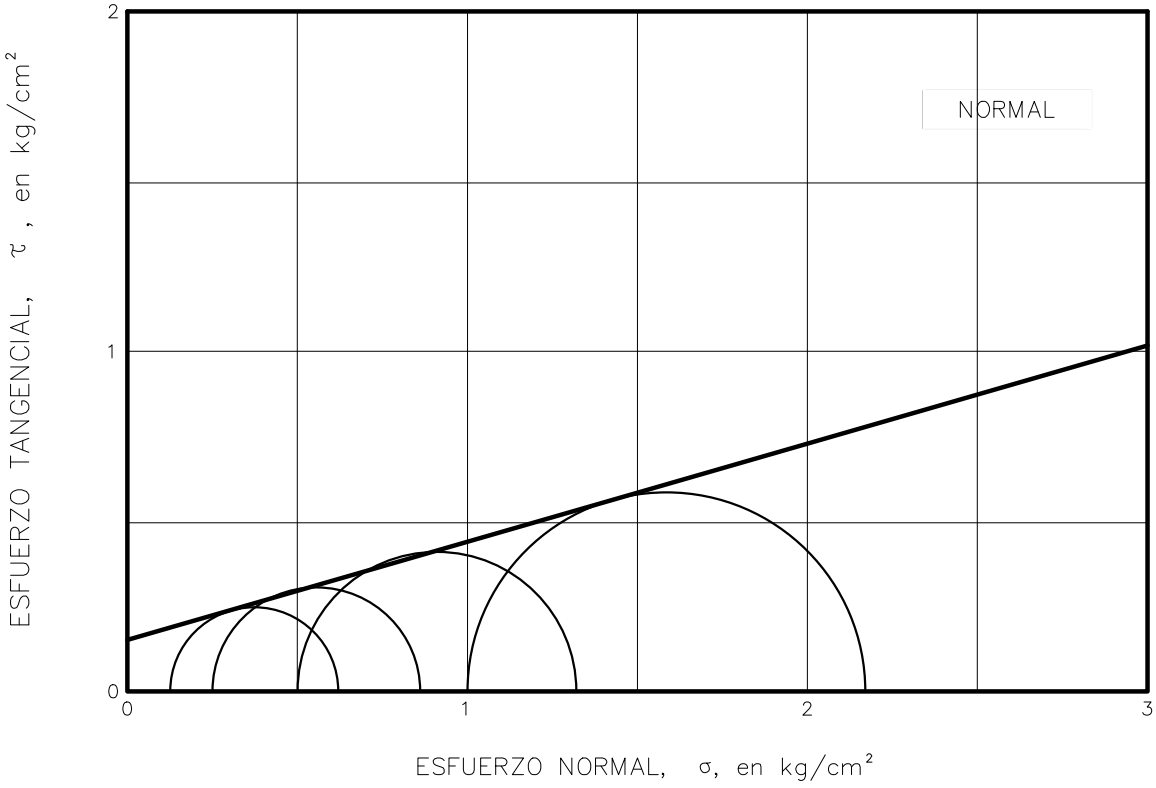
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO M - 3** **PROF. 12.20 m**

| FIG. 29 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta_L$ | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$ kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.55 | 1.04 | 27 | 66 | 198 | 80 | 3.98 | 0.125 | 0.62 | 1589 | MH |
| | 1.09 | 28 | 65 | | | 3.37 | 0.25 | 0.86 | 1556 | |
| | 1.17 | 31 | 67 | | | 3.97 | 0.50 | 1.32 | 1535 | |
| | 0.67 | 23 | 88 | | | 3.95 | 1.00 | 2.17 | 1884 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | | |
|---|---|---|
| COHESIÓN : | 0.15 | kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 16° | |

| μ=0.35 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 54 |
| 0.25 | 87 |
| 0.50 | 136 |
| 1.00 | 226 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

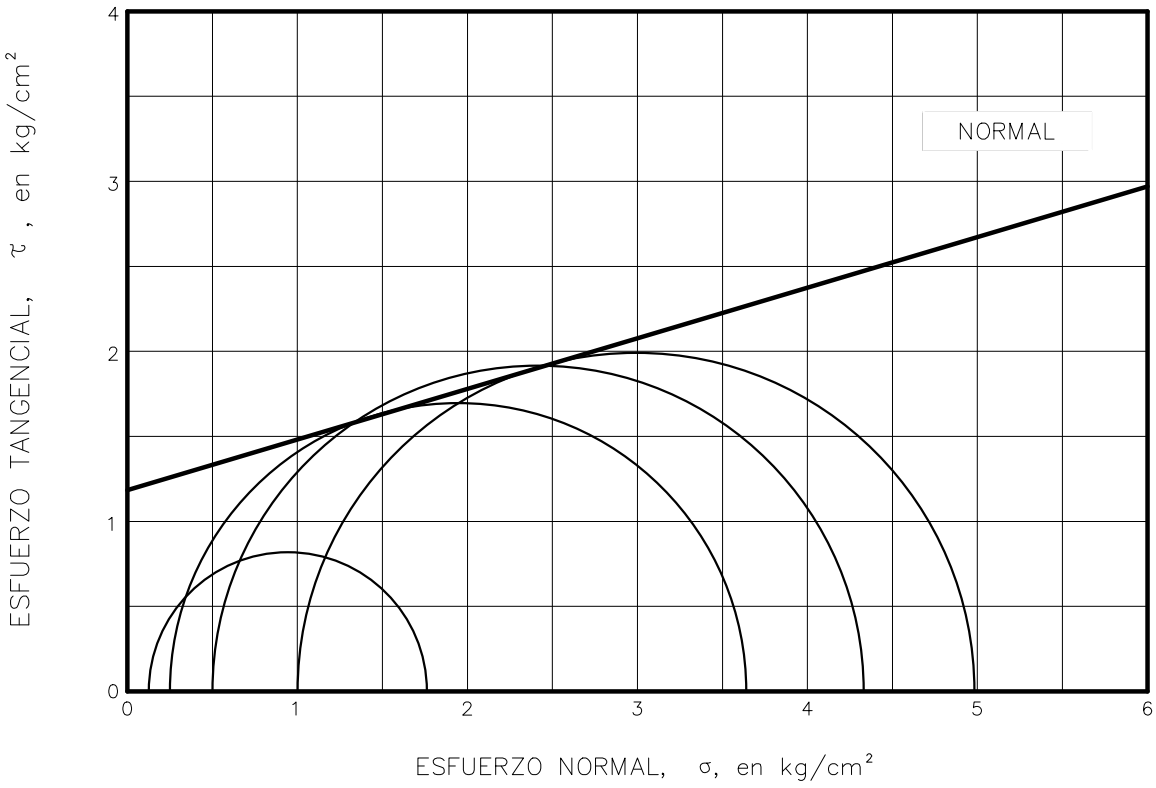
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO PCA - 1** **PROF. 0.85 m**

| FIG. 30 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.21 | 4.03 | 163 | 90 | 141 | 65 | 3.49 | 0.125 | 1.76 | 1157 | MH |
| | 3.93 | 161 | 91 | | | 4.45 | 0.25 | 3.64 | 1170 | |
| | 3.60 | 159 | 98 | | | 3.39 | 0.50 | 4.33 | 1246 | |
| | 3.47 | 157 | 100 | | | 2.78 | 1.00 | 4.98 | 1272 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | | |
|---|---|---|
| COHESIÓN : | 1.19 | kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 17° | |

| μ=0.40 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 152 |
| 0.25 | 211 |
| 0.50 | 266 |
| 1.00 | 351 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

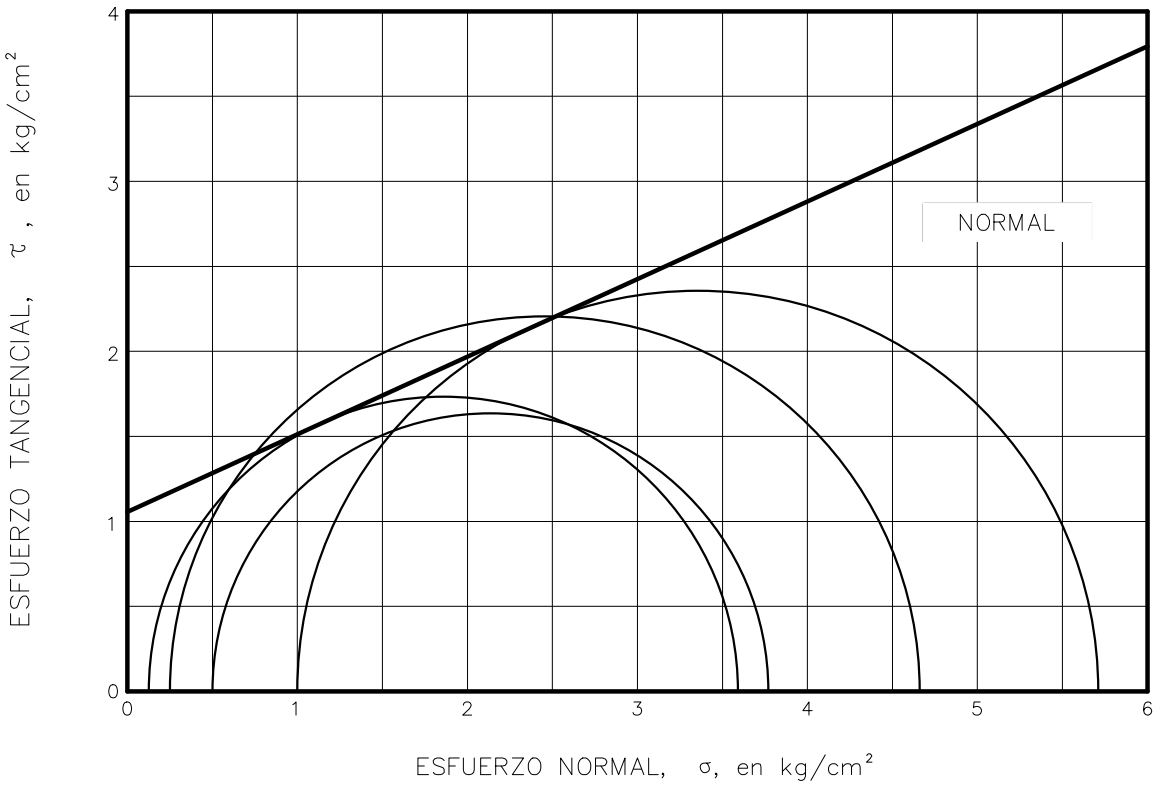
C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO PCA - 1** **PROF. 1.85 m**

| FIG. 31 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACIOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$,% | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$,% | LÍMITE LÍQUIDO LL % | LÍMITE PLÁSTICO LP % | DEFORMACIÓN PORCENTUAL $\delta$/L | ESFUERZO PRINCIPAL MENOR $\sigma_{III}$ kg/cm² | ESFUERZO PRINCIPAL MAYOR $\sigma_I$ kg/cm² | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$,kg/m³ | CLASIF. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.34 | 4.33 | 174 | 94 | 179 | 71 | 1.96 | 0.125 | 3.59 | 1201 | MH |
| | 5.15 | 220 | 100 | | | 2.77 | 0.25 | 4.66 | 1213 | |
| | 4.86 | 205 | 99 | | | 1.66 | 0.50 | 3.77 | 1218 | |
| | 4.91 | 203 | 97 | | | 2.23 | 1.00 | 5.71 | 1200 | |

CÍRCULOS DE FALLA DE MOHR




| | |
|---|---|
| COHESIÓN : | 1.06 kg/cm² |
| ÁNGULO DE FRICCIÓN : | 25° |

| $\mu$=0.50 | |
|---|---|
| CONFINAMIENTO . (kg/cm²) | MÓDULO DE ELASTICIDAD E (kg/cm²) |
| 0.125 | 81 |
| 0.25 | 144 |
| 0.50 | 208 |
| 1.00 | 256 |

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

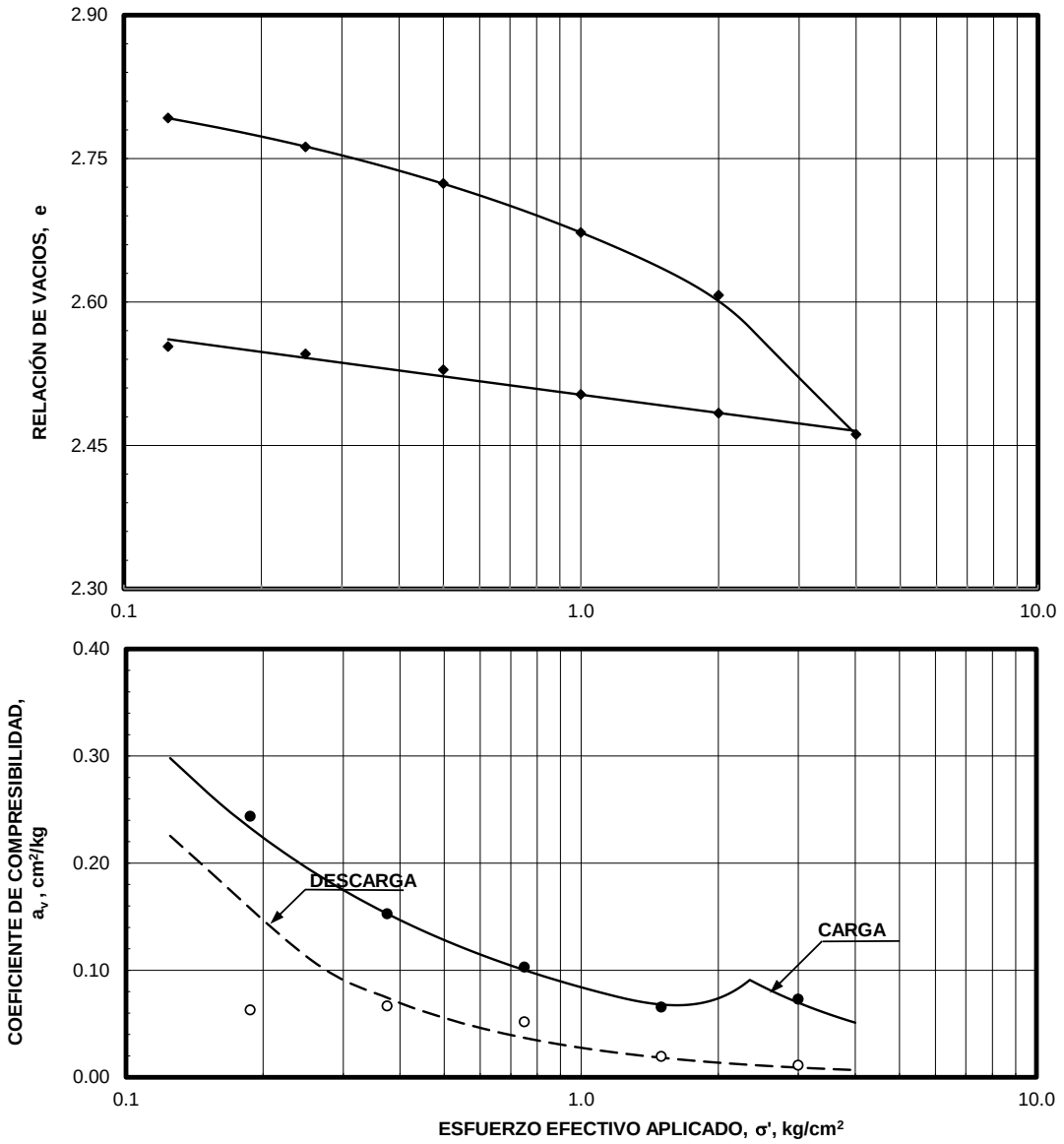
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

C. TRIAXIAL NO CONSOLIDADA - NO DRENADA

**SONDEO PCA - 1** **PROF. 2.90 m**

| FIG. 32 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.27*** | ***2.86*** | ***125*** | ***119*** | ***99*** | ***105*** | ***110*** | ***39*** | ***0.091*** | ***2.347*** | ***2.03*** | ***1319*** | ***CH*** |




**NOTA:** Remoldeo parcial del especimen.

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

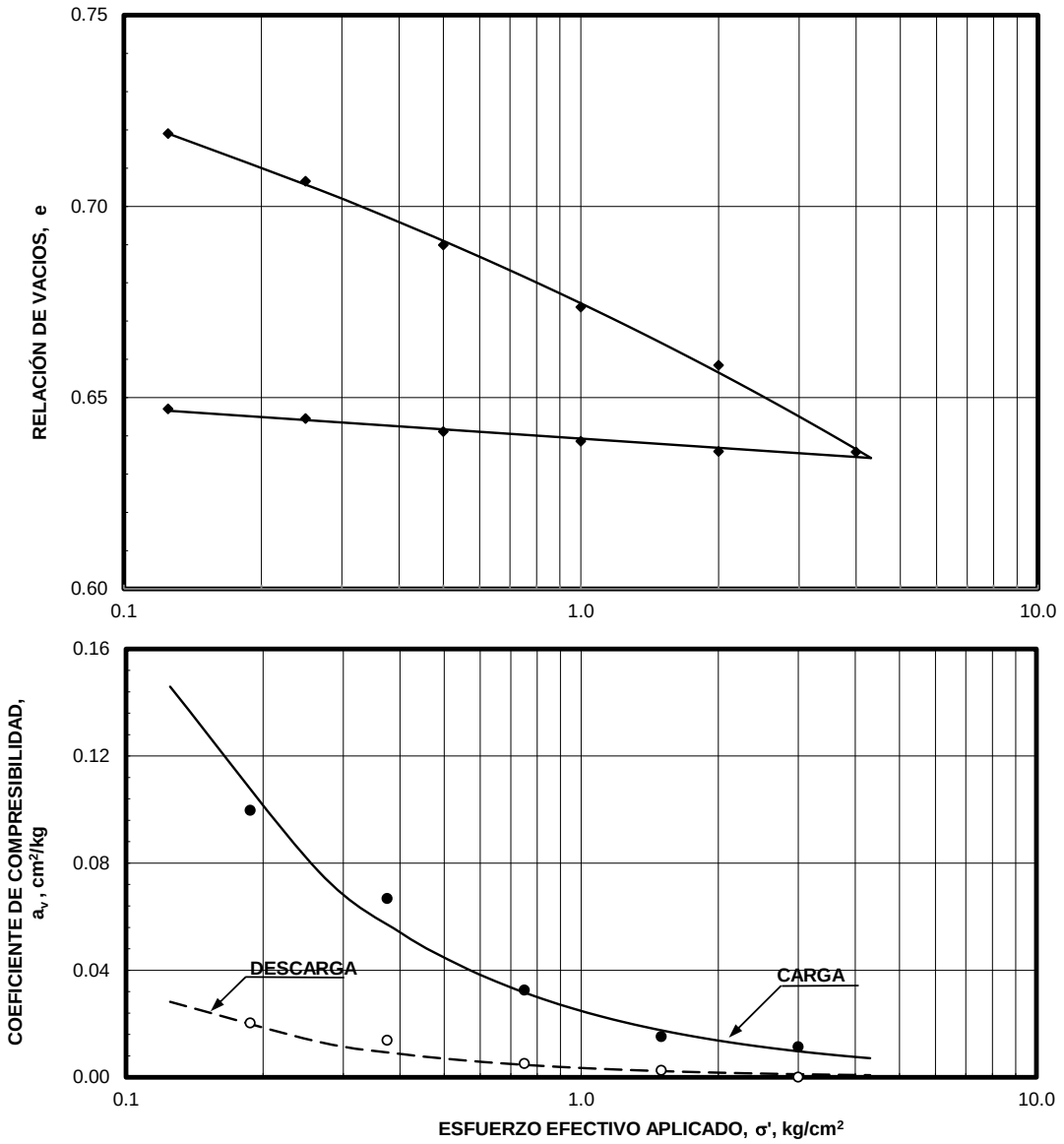
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 5.2 m

| FIG. 33 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| **2.64** | **0.74** | **20** | **17** | **70** | **68** | **NP** | **NP** | **-** | **-** | **-** | **1818** | **SM** |




**NOTA:** Remoldeo total del especimen.

Soiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

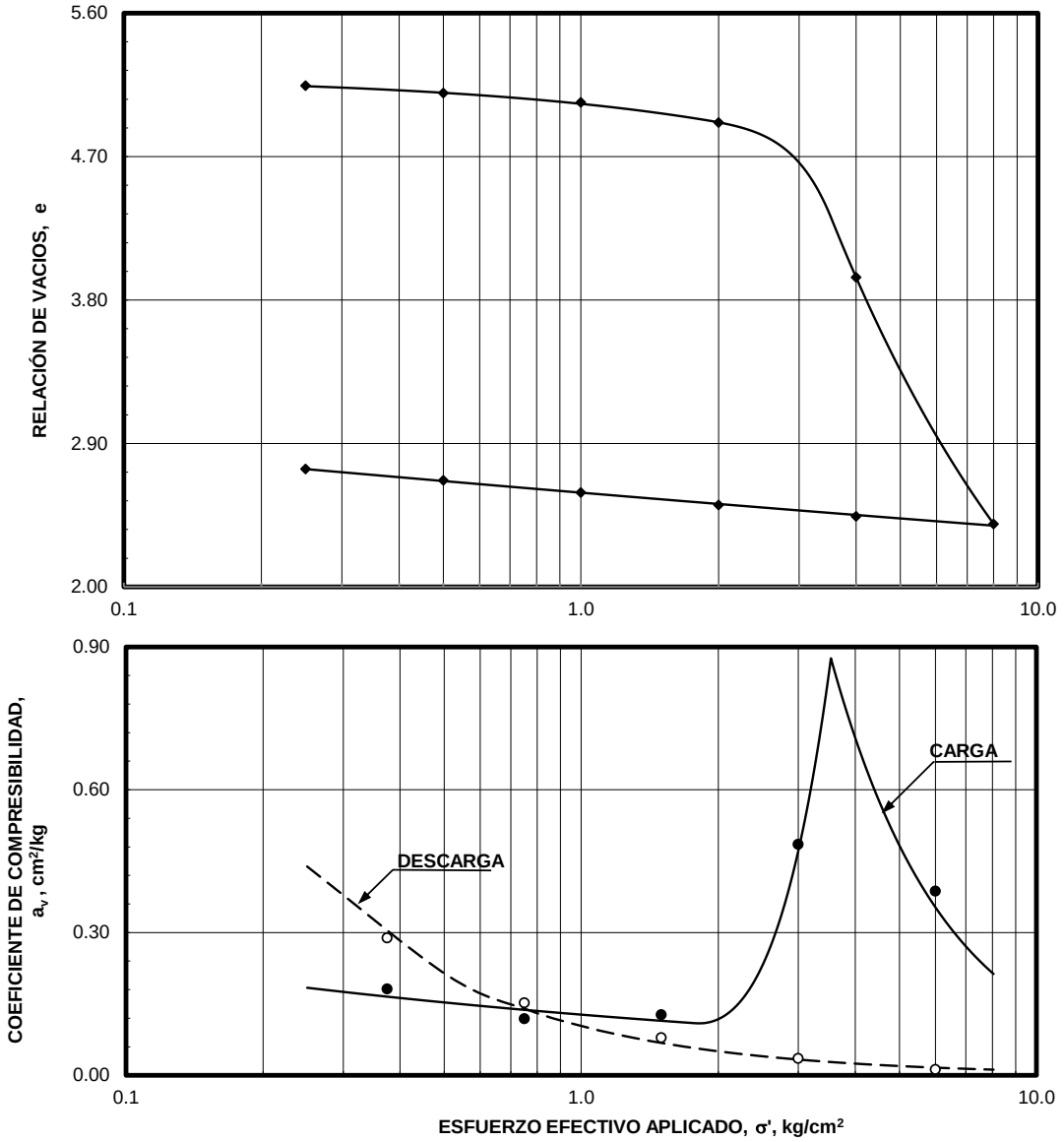
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 5.8 m

| FIG. 34 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.34*** | ***5.26*** | ***228*** | ***160*** | ***101*** | ***92*** | ***218*** | ***48*** | ***0.876*** | ***3.536*** | ***3.03*** | ***1226*** | ***CH*** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

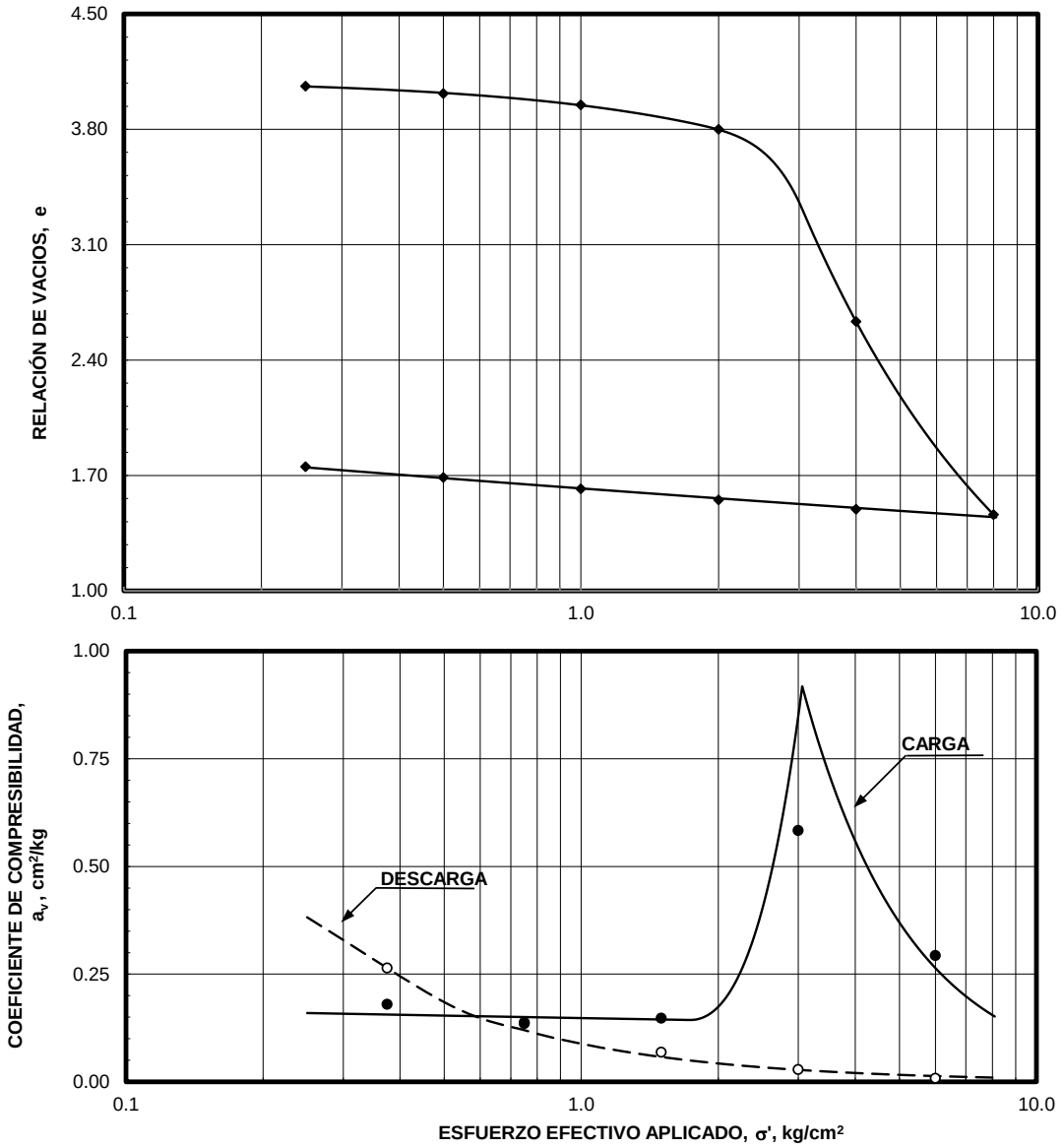
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 15.1 m

| FIG. 35 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| ***2.31*** | ***4.17*** | ***183*** | ***147*** | ***101*** | ***-*** | ***213*** | ***62*** | ***0.918*** | ***3.058*** | ***2.68*** | ***1265*** | ***CH*** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

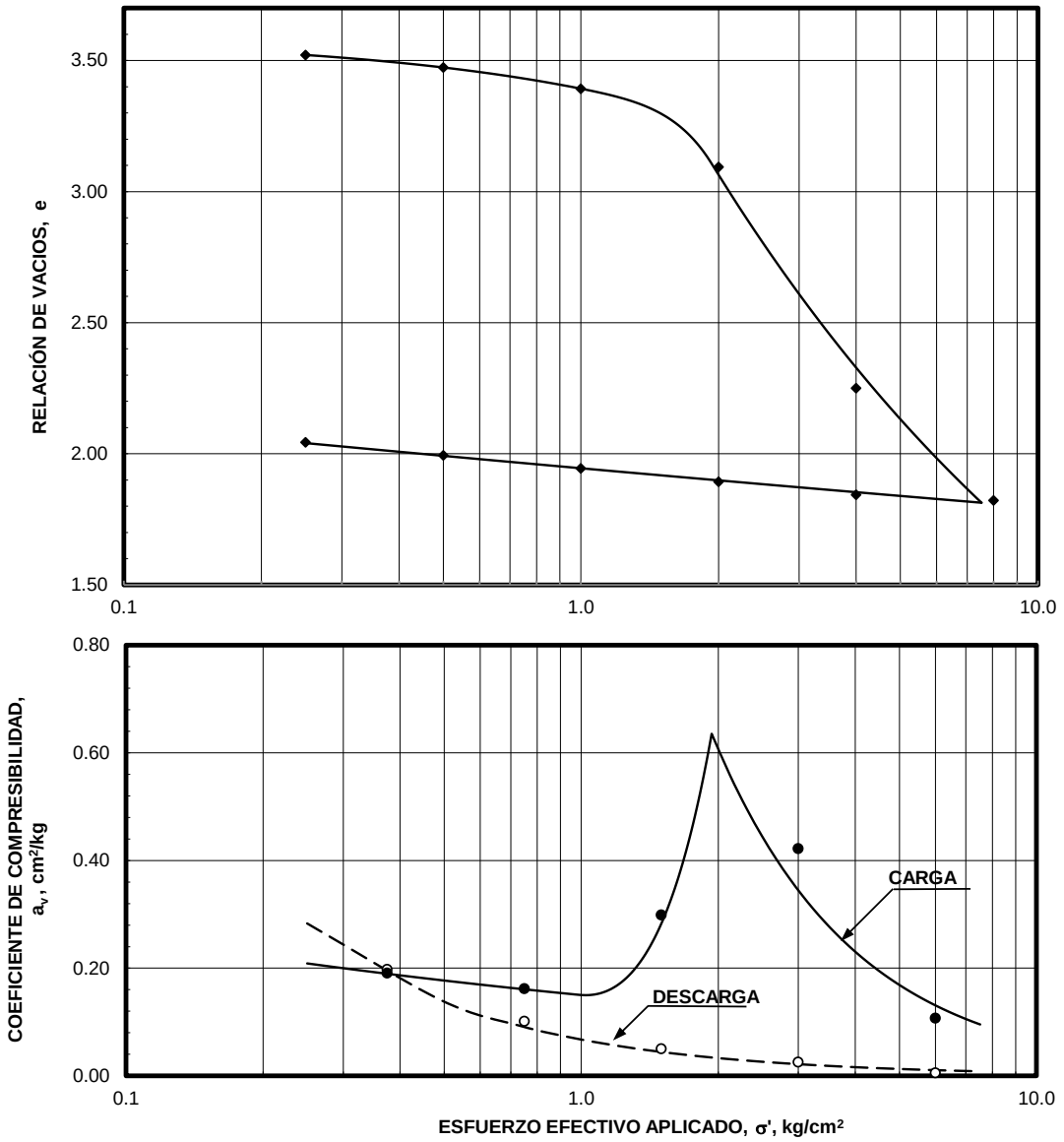
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 20.8 m

| FIG. 36 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| **2.13** | **3.60** | **173** | **123** | **102** | **99** | **237** | **64** | **0.635** | **1.935** | **1.66** | **1264** | **CH** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

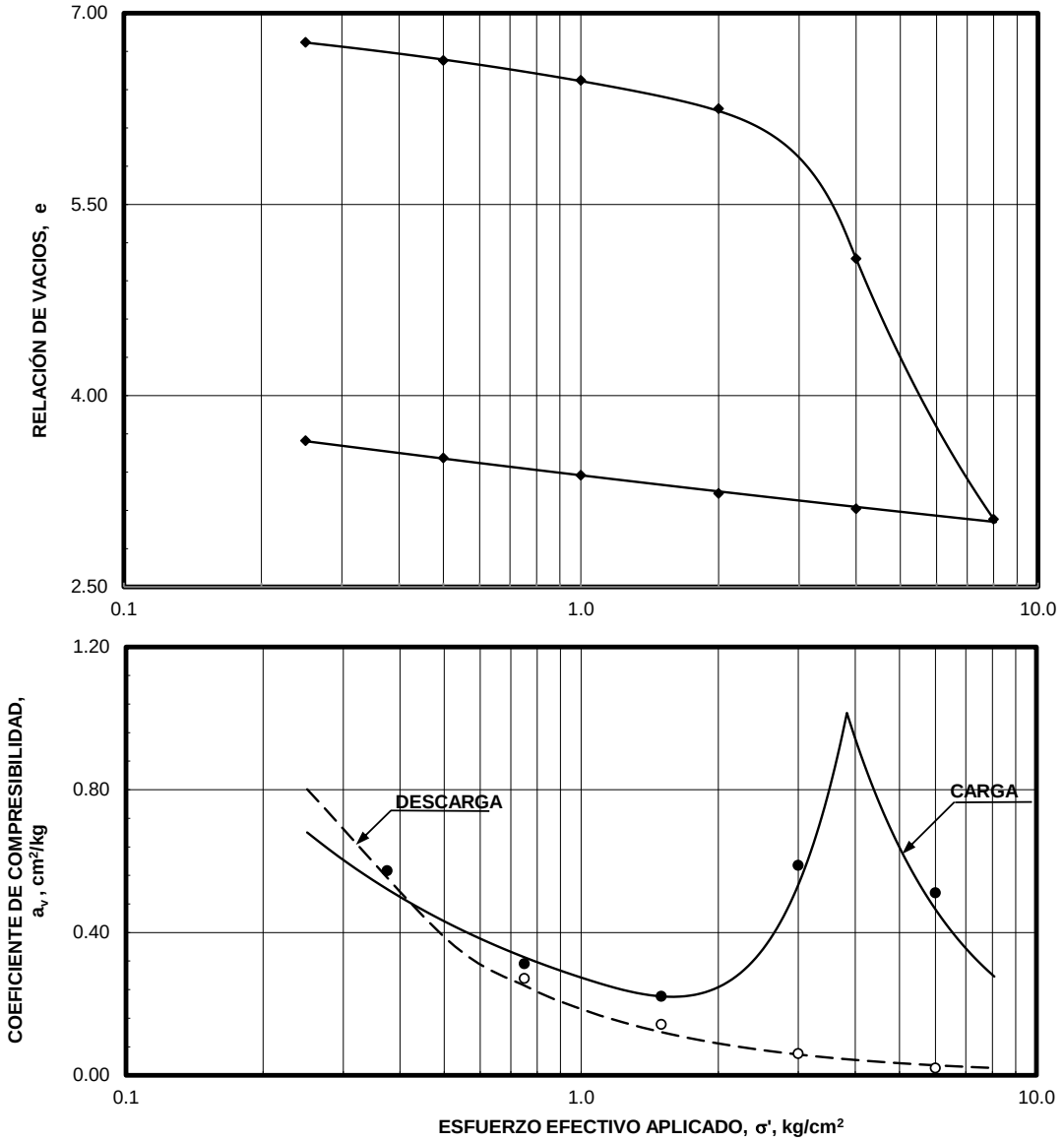
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 25.8 m

| FIG. 37 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| ***2.30*** | ***6.87*** | ***303*** | ***245*** | ***101*** | ***101*** | ***281*** | ***63*** | ***1.015*** | ***3.834*** | ***3.13*** | ***1178*** | ***CH*** |




soiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

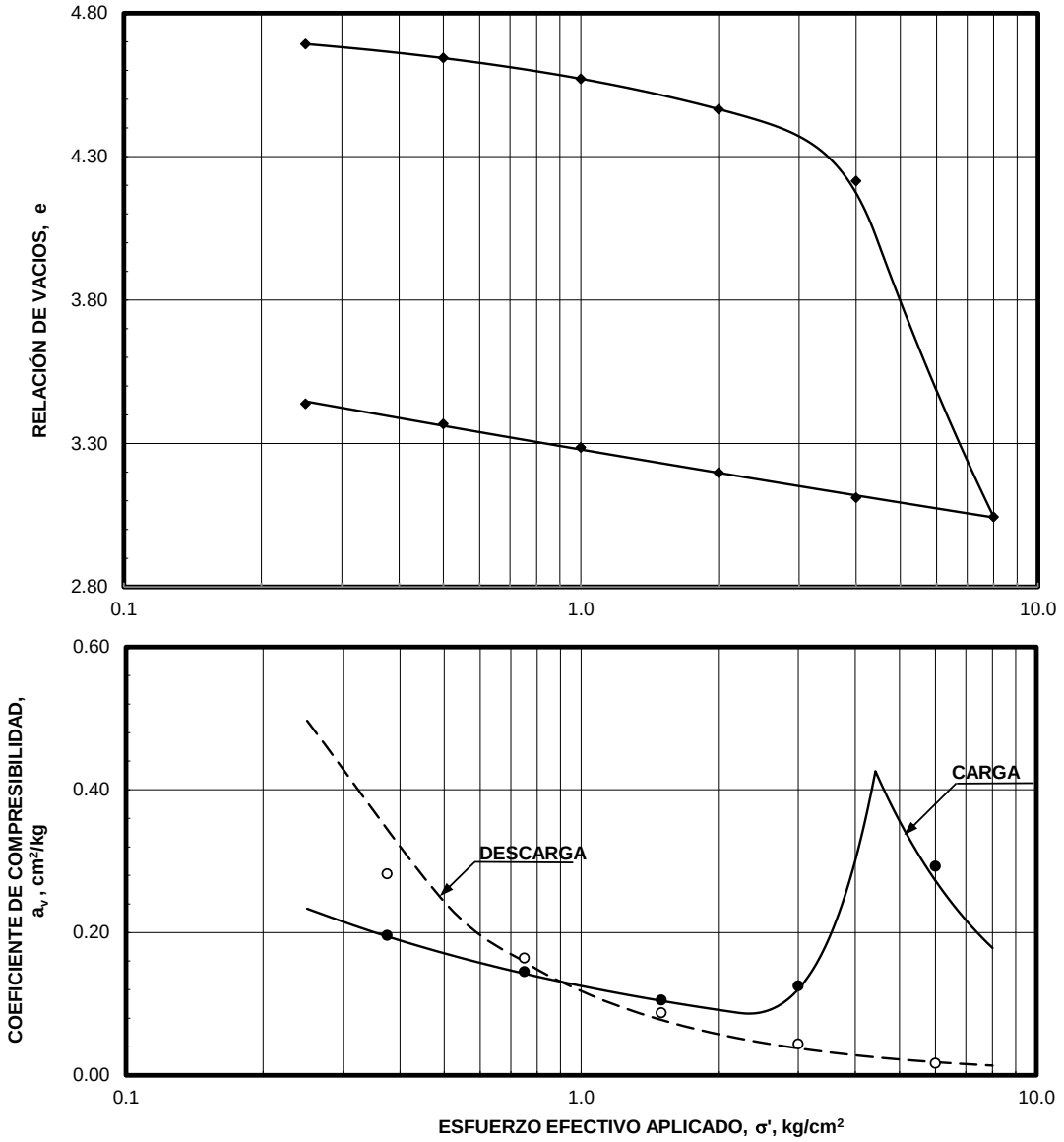
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 30.2 m

| FIG. 38 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.35*** | ***4.79*** | ***203*** | ***172*** | ***100*** | ***-*** | ***181*** | ***52*** | ***0.426*** | ***4.429*** | ***3.79*** | ***1230*** | ***CH*** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

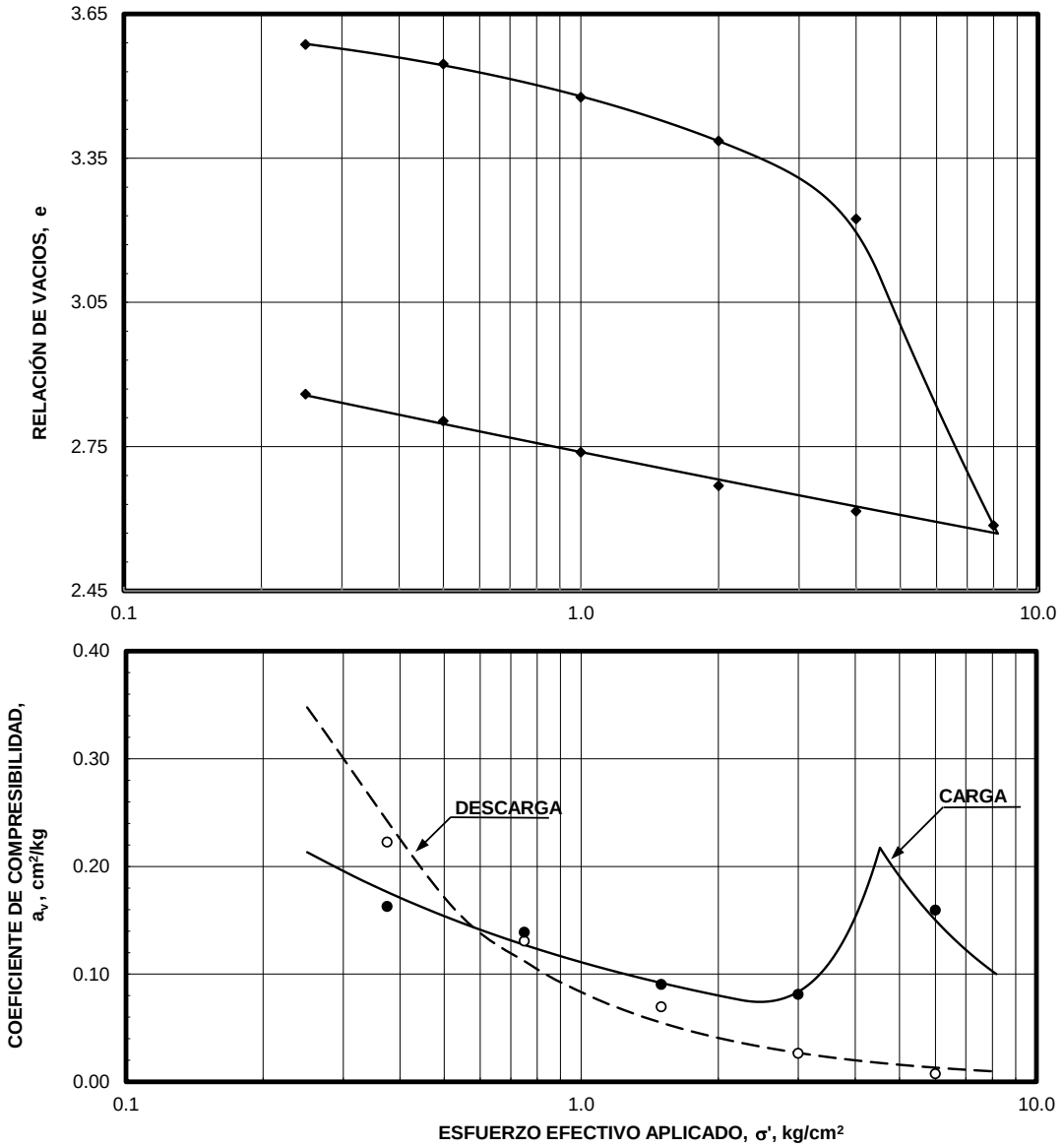
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 35.1 m

| FIG. 39 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_i$, % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_f$, % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_i$, % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_f$, % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.28*** | ***3.66*** | ***163*** | ***143*** | ***102*** | ***-*** | ***197*** | ***57*** | ***0.217*** | ***4.531*** | ***3.86*** | ***1292*** | ***CH*** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

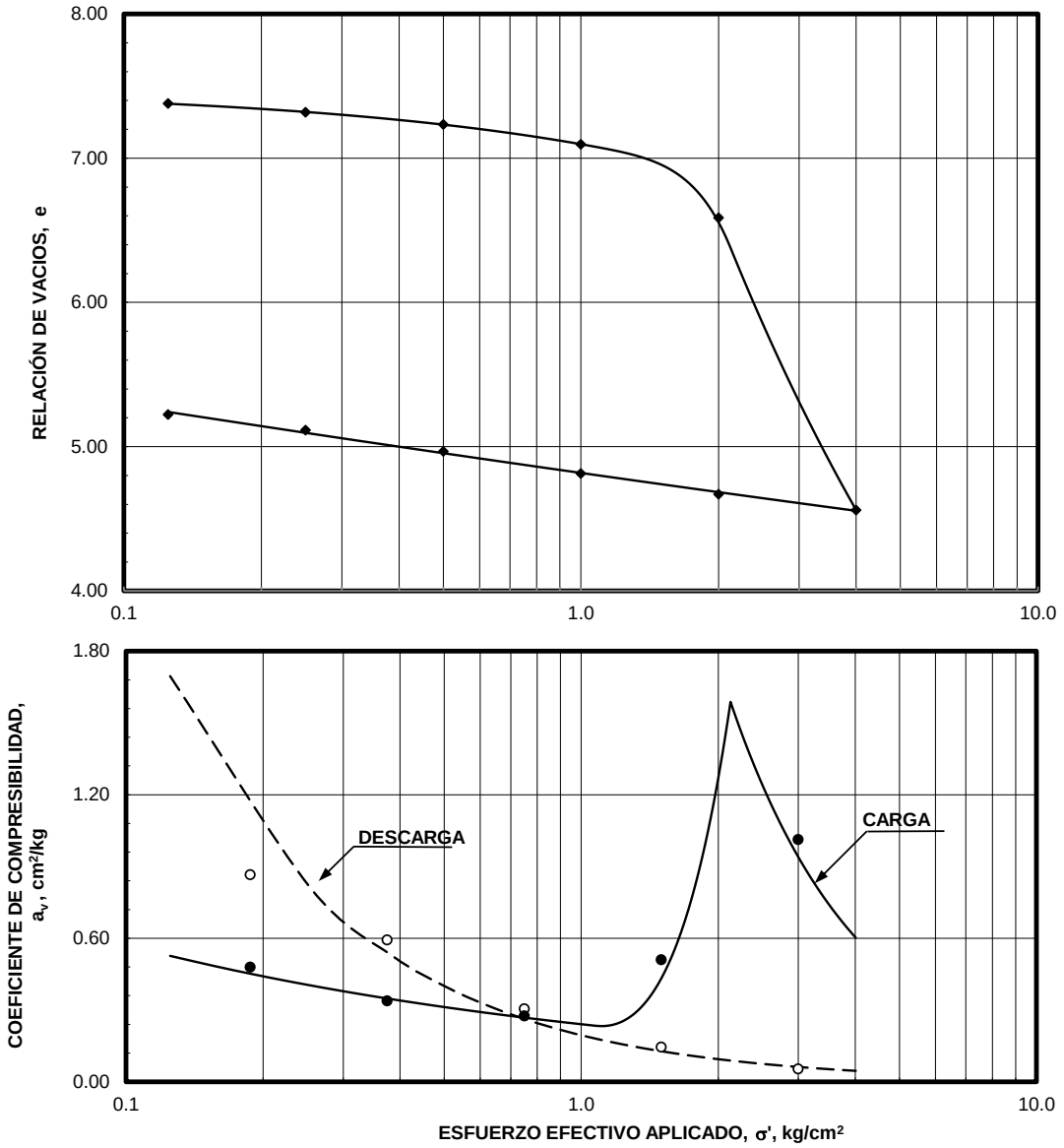
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-1 PROF. 40.3 m

| FIG. 40 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| **2.30** | **7.49** | **317** | **251** | **97** | **-** | **216** | **44** | **1.588** | **2.128** | **1.82** | **1130** | **CH** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

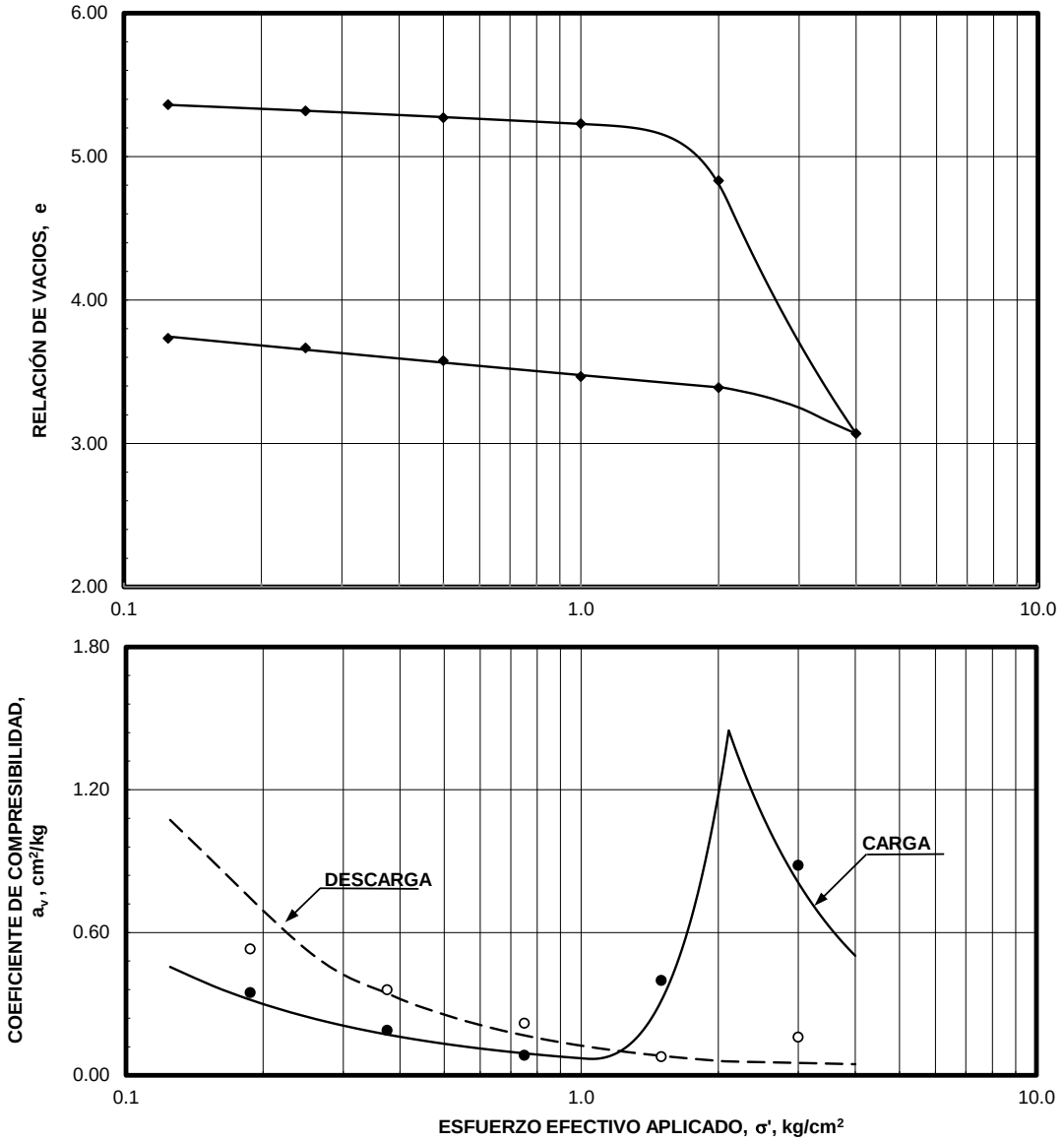
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-2 PROF. 5.8 m

| FIG. 41 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| *2.29* | *5.42* | *240* | *174* | *102* | *-* | *298* | *43* | *1.456* | *2.103* | *1.80* | *1214* | *CH* |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

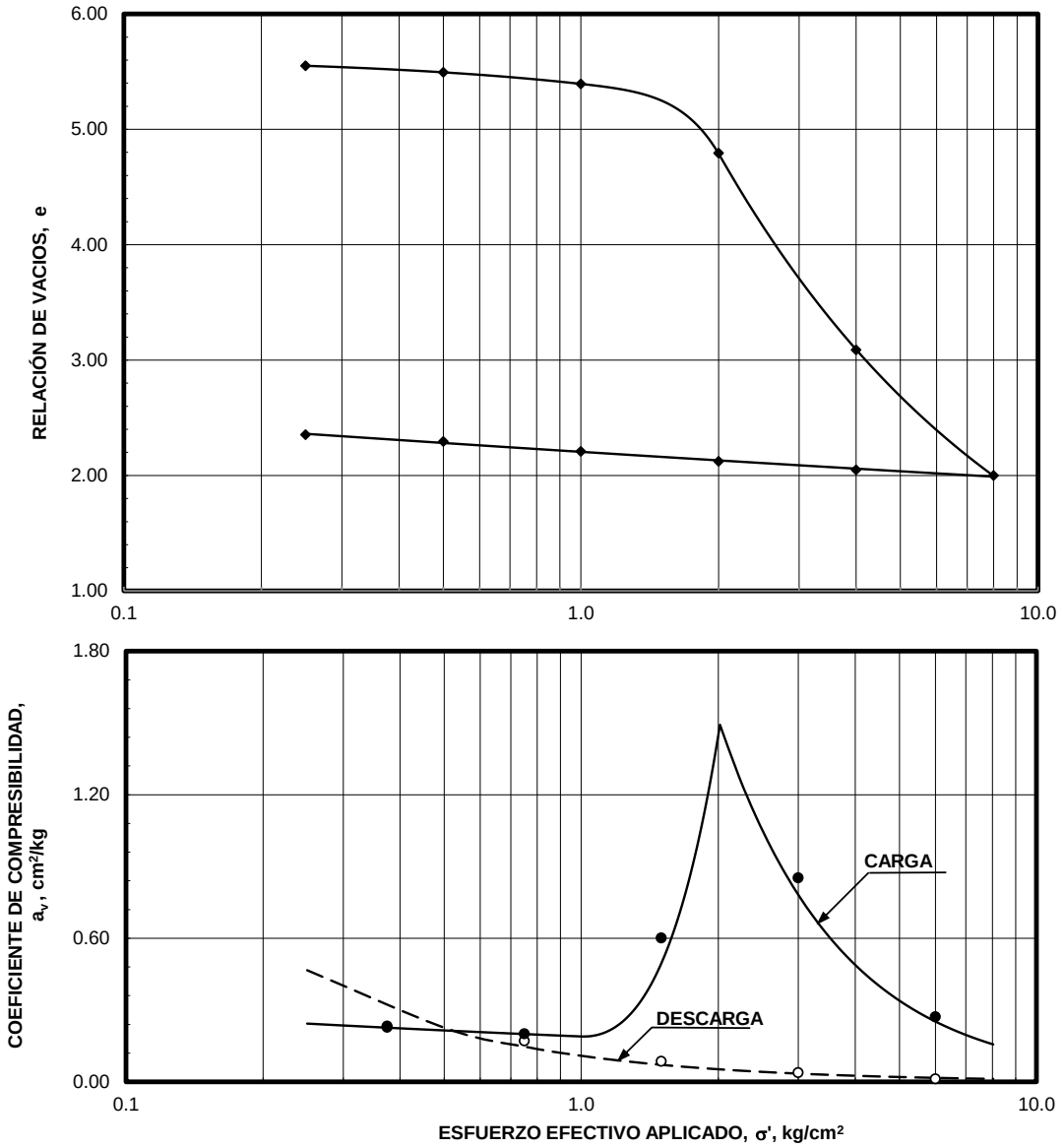
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-2 PROF. 8.3 m

| FIG. 42 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| **2.31** | **5.69** | **250** | **139** | **102** | **-** | **186** | **42** | **1.492** | **2.017** | **1.72** | **1209** | **CH** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

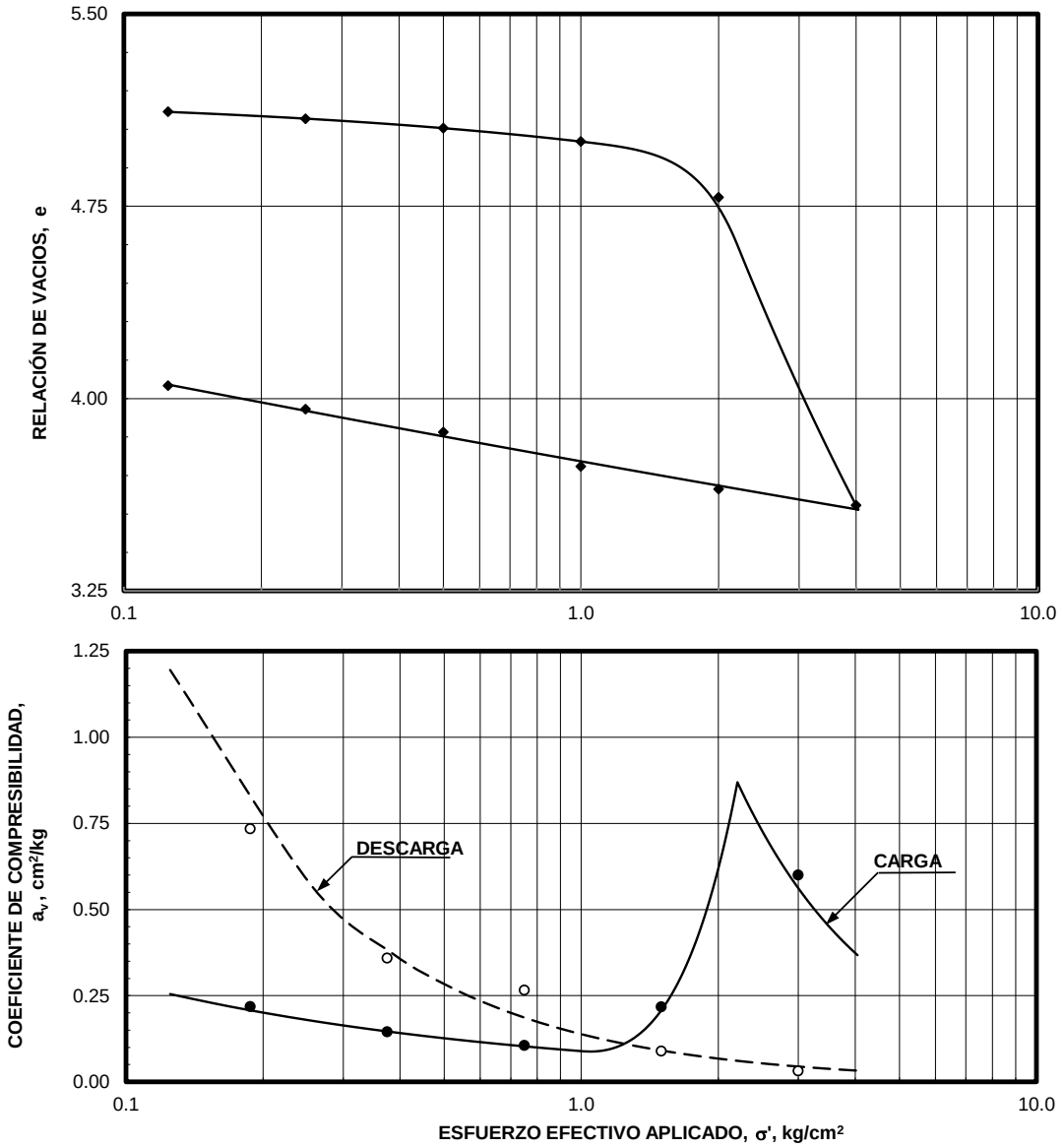
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-2 PROF. 12.6 m

| FIG. 43 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| **2.27** | **5.17** | **228** | **200** | **100** | **-** | **235** | **57** | **0.869** | **2.204** | **1.85** | **1206** | **CH** |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

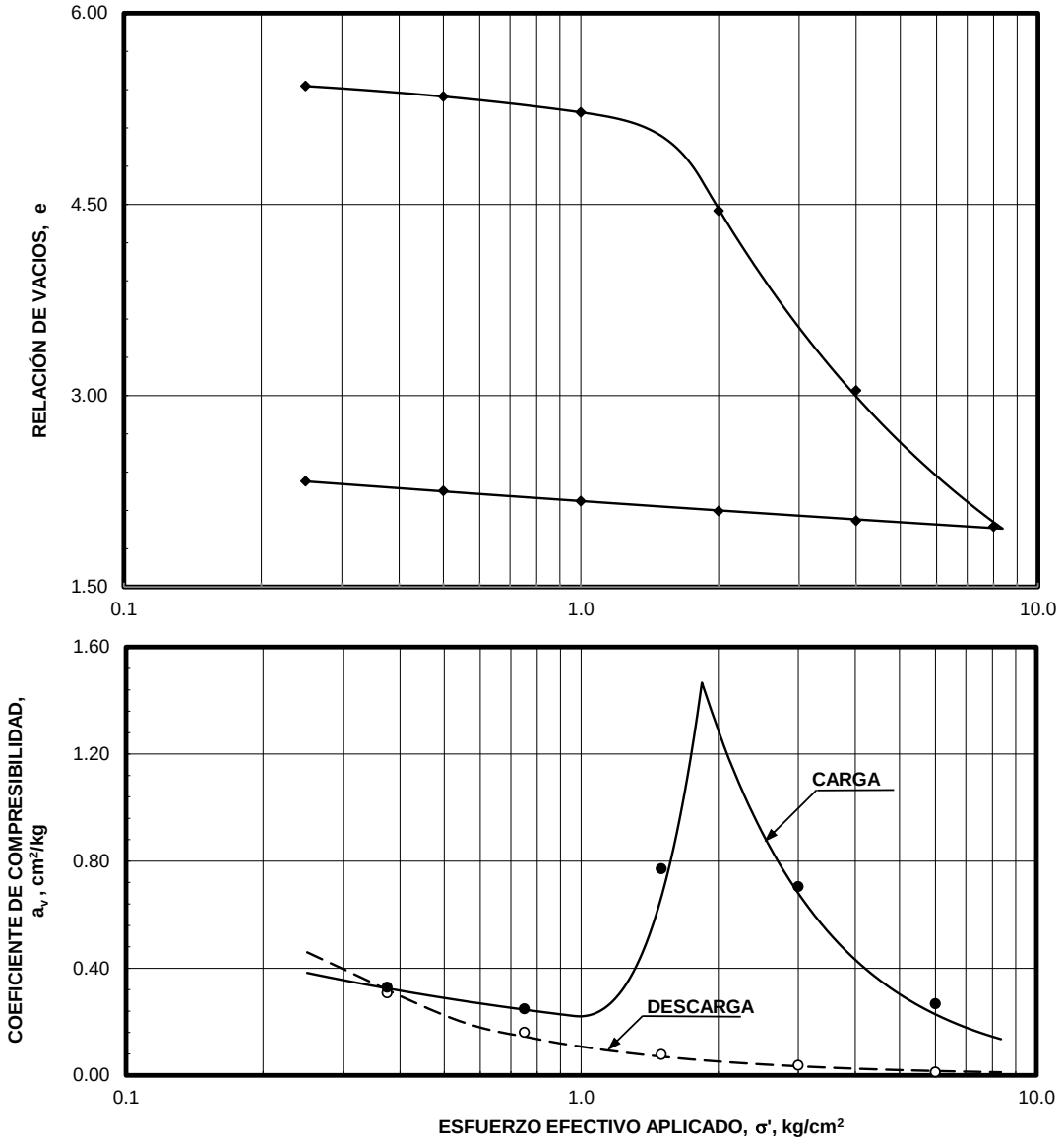
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-3 PROF. 5.4 m

| FIG. 44 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA | | GRADO DE SATURACIÓN | | LÍMITE | | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_h$, $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | INICIAL $W_i$, % | FINAL $W_f$, % | INICIAL $G_i$, % | FINAL $G_f$, % | LÍQUIDO $L_L$ % | PLÁSTICO $L_P$ % | | | | | |
| *2.34* | *5.59* | *240* | *139* | *100* | *-* | *337* | *84* | *1.467* | *1.841* | *1.59* | *1205* | *CH* |




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

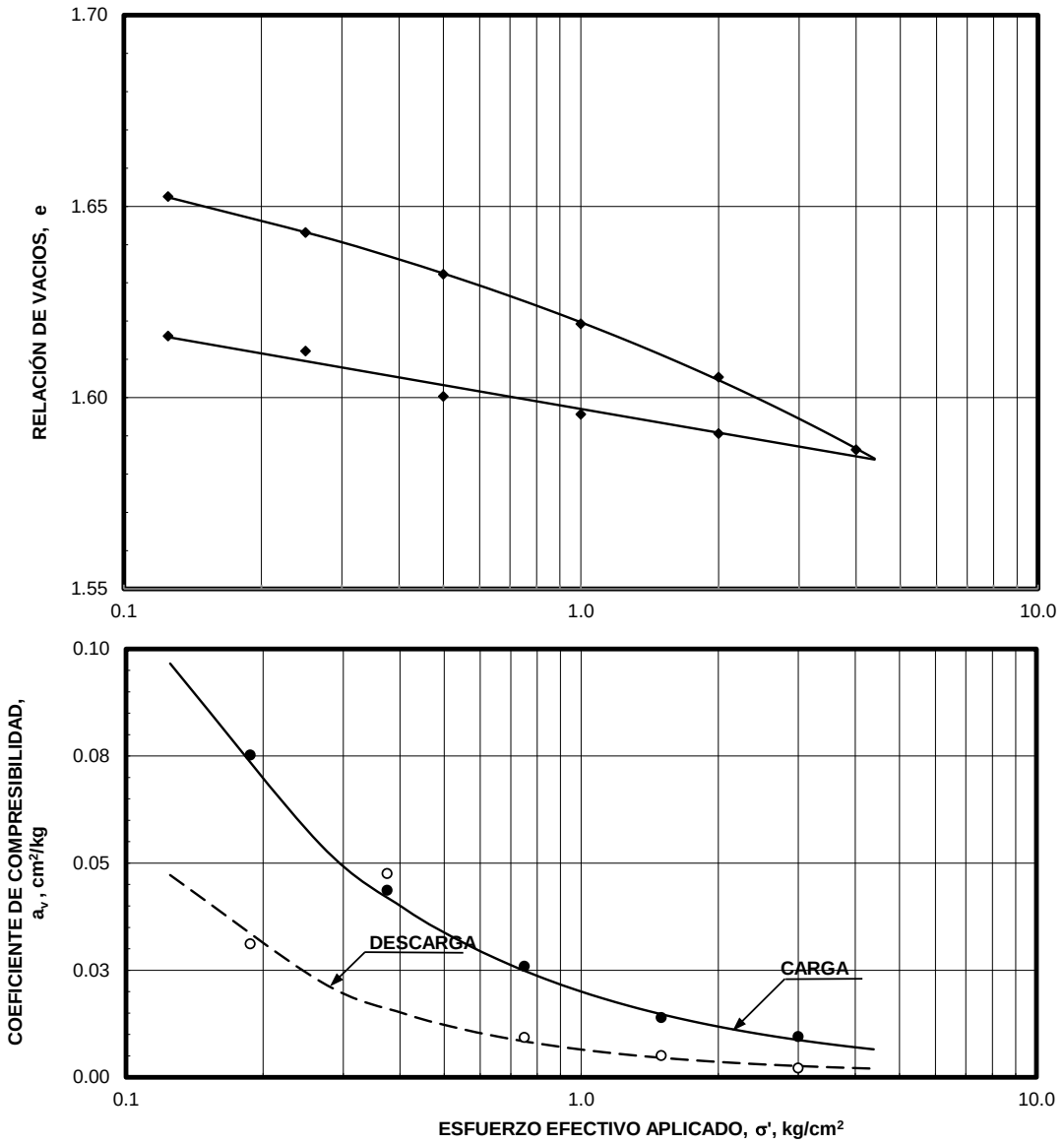
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO M-3 PROF. 12.2 m

| FIG. 45 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx cm$^2$/kg | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. kg/cm$^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ kg/cm$^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ kg/m$^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.55*** | ***1.70*** | ***54*** | ***52*** | ***82*** | ***81*** | ***198*** | ***80*** | ***-*** | ***-*** | ***-*** | ***1459*** | ***MH*** |




**NOTA:** Remoldeo total del especimen.

Soiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

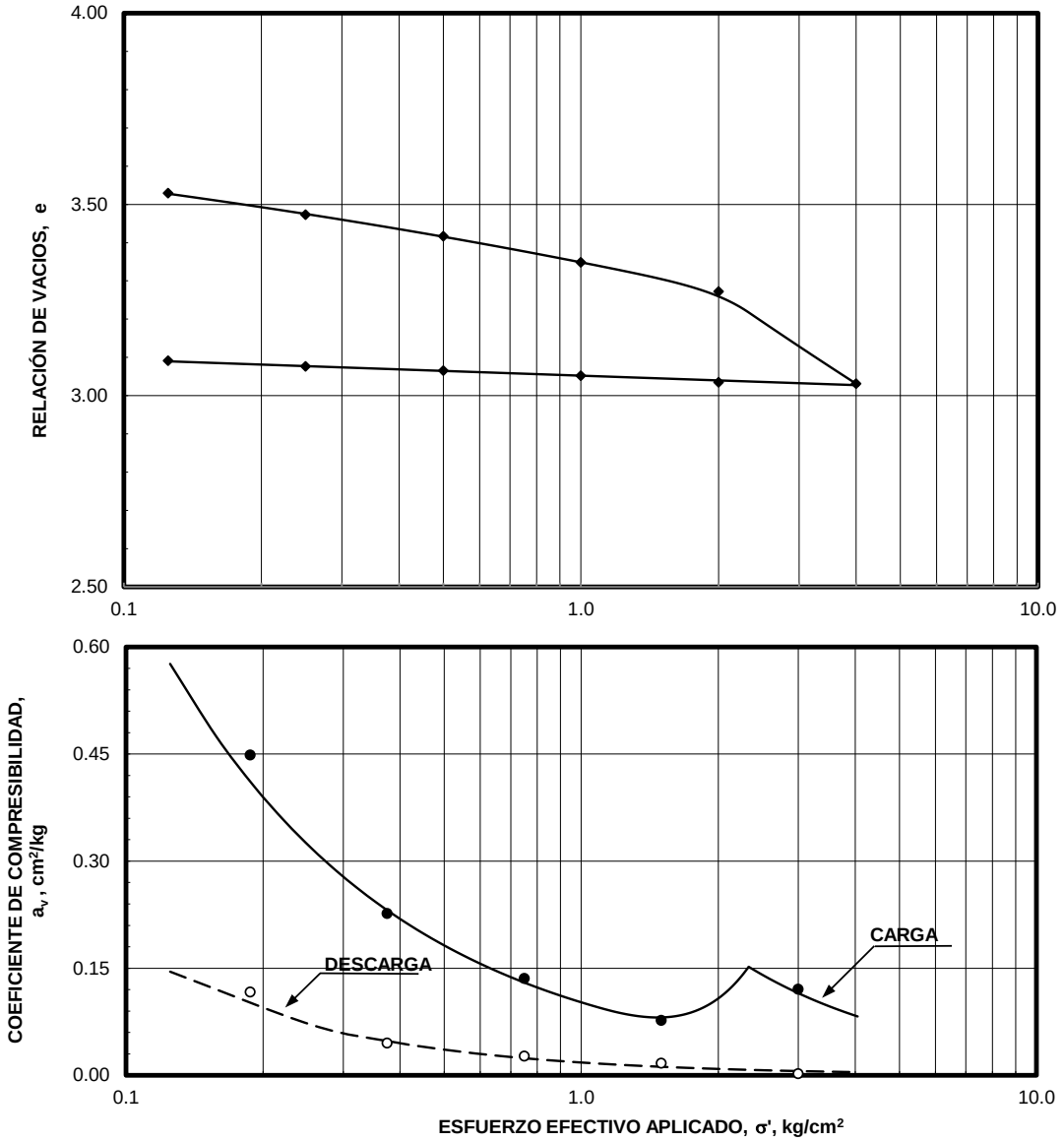
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO PCA-1 PROF. 0.9 m

| FIG. 46 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.21*** | ***3.62*** | ***149*** | ***146*** | ***91*** | ***98*** | ***141*** | ***65*** | ***0.152*** | ***2.330*** | ***1.99*** | ***1194*** | ***MH*** |




**NOTA:** Remoldeo parcial del especimen.

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

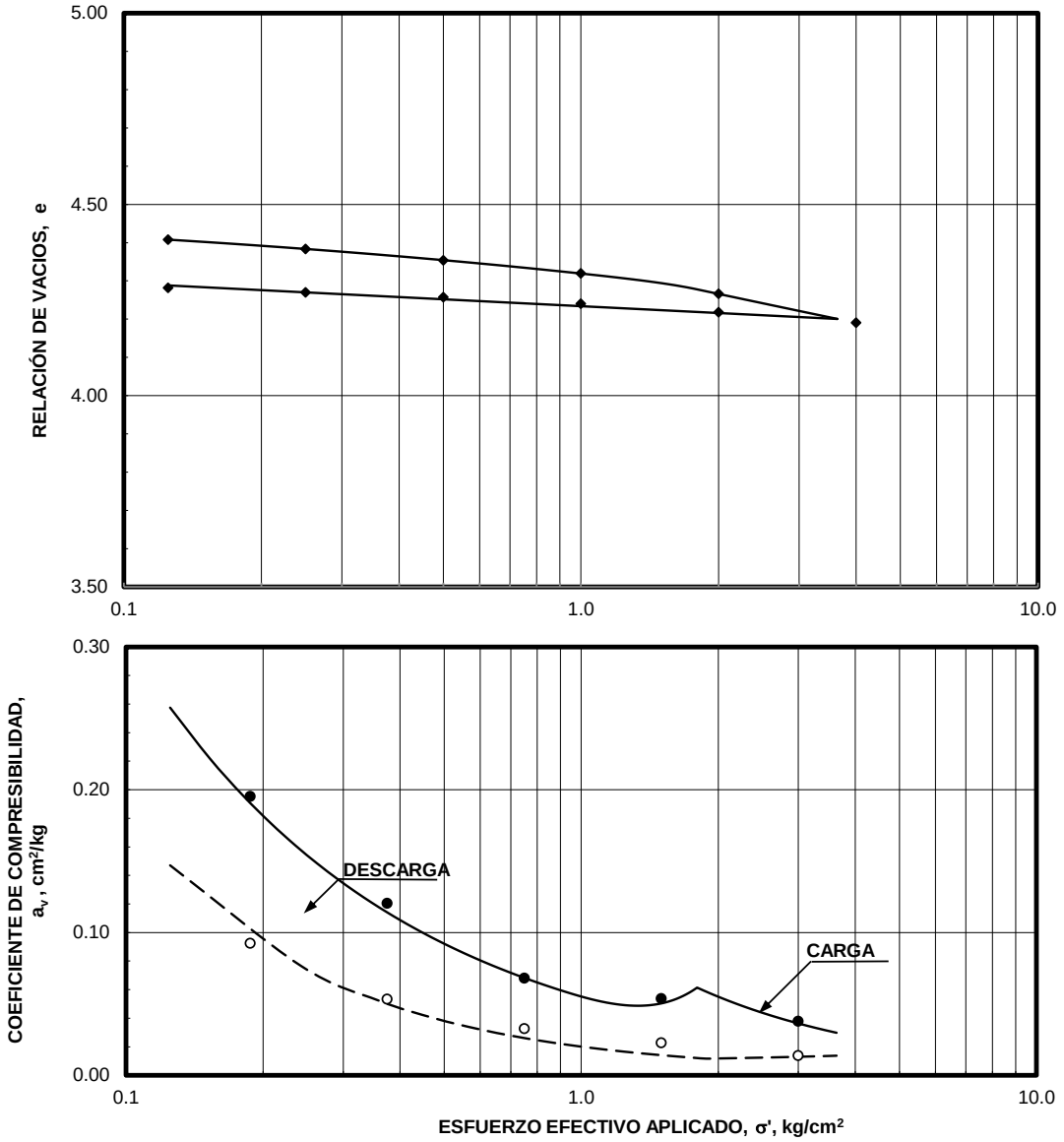
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

SONDEO PCA-1 PROF. 1.9 m

| FIG. 47 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

| DENSIDAD DE SÓLIDOS Ss | RELACIÓN DE VACÍOS INICIAL $e_i$ | CONTENIDO DE AGUA INICIAL $W_{i,}$ % | CONTENIDO DE AGUA FINAL $W_{f,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN INICIAL $G_{i,}$ % | GRADO DE SATURACIÓN FINAL $G_{f,}$ % | LÍMITE LÍQUIDO $L_L$ % | LÍMITE PLÁSTICO $L_P$ % | COEF. COMPRES. $a_v$ máx $cm^2/kg$ | ESFUERZO PARA $a_v$ máx. $kg/cm^2$ | ESFUERZO PRECONS. $\sigma'_C$ $kg/cm^2$ | PESO VOLUMÉTRICO NATURAL $\gamma_{h,}$ $kg/m^3$ | C L A S I F. S.U.C.S. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ***2.34*** | ***4.47*** | ***186*** | ***184*** | ***97*** | ***100*** | ***174*** | ***71*** | ***-*** | ***-*** | ***-*** | ***1222*** | ***MH*** |




**NOTA:** Remoldeo total del especimen.

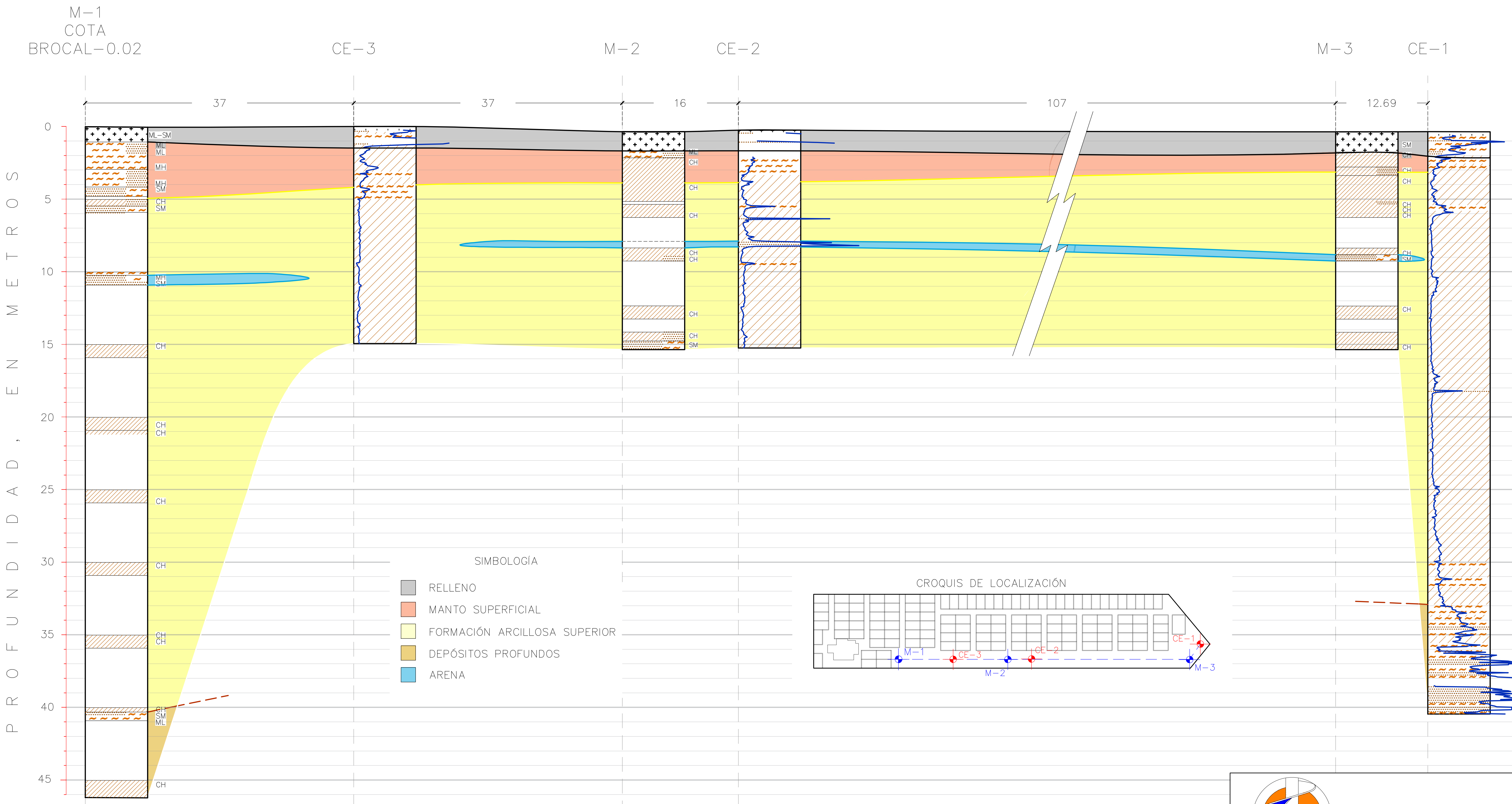
Soiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta, Alc. Iztapalapa
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**ENSAYE DE COMPRESIBILIDAD**

| SONDEO PCA-1 | PROF. 2.9 m |
|---|---|

| FIG. 48 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

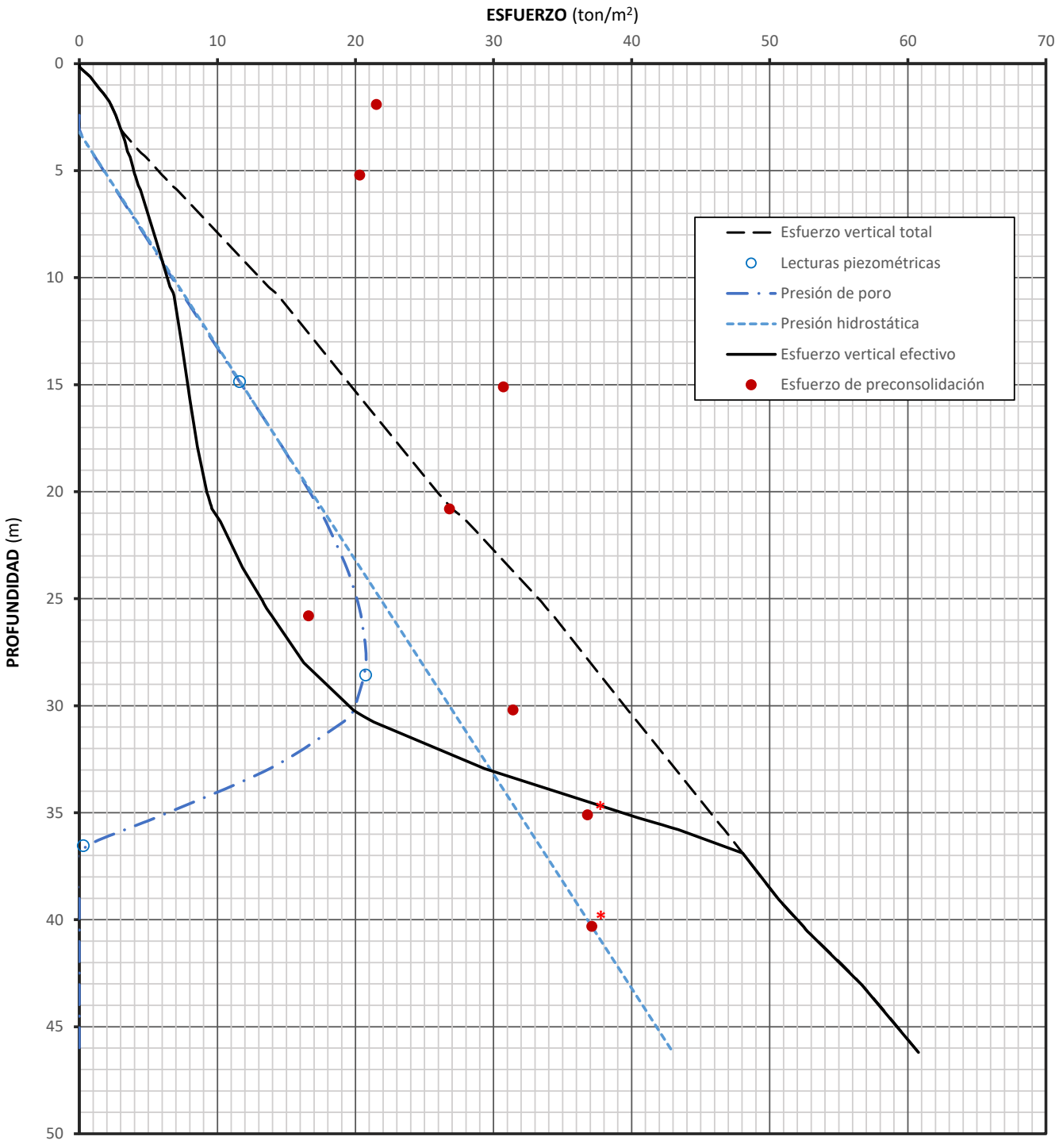



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**CORTE ESTRATIGRÁFICO**

| FIG. 49 | JULIO, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

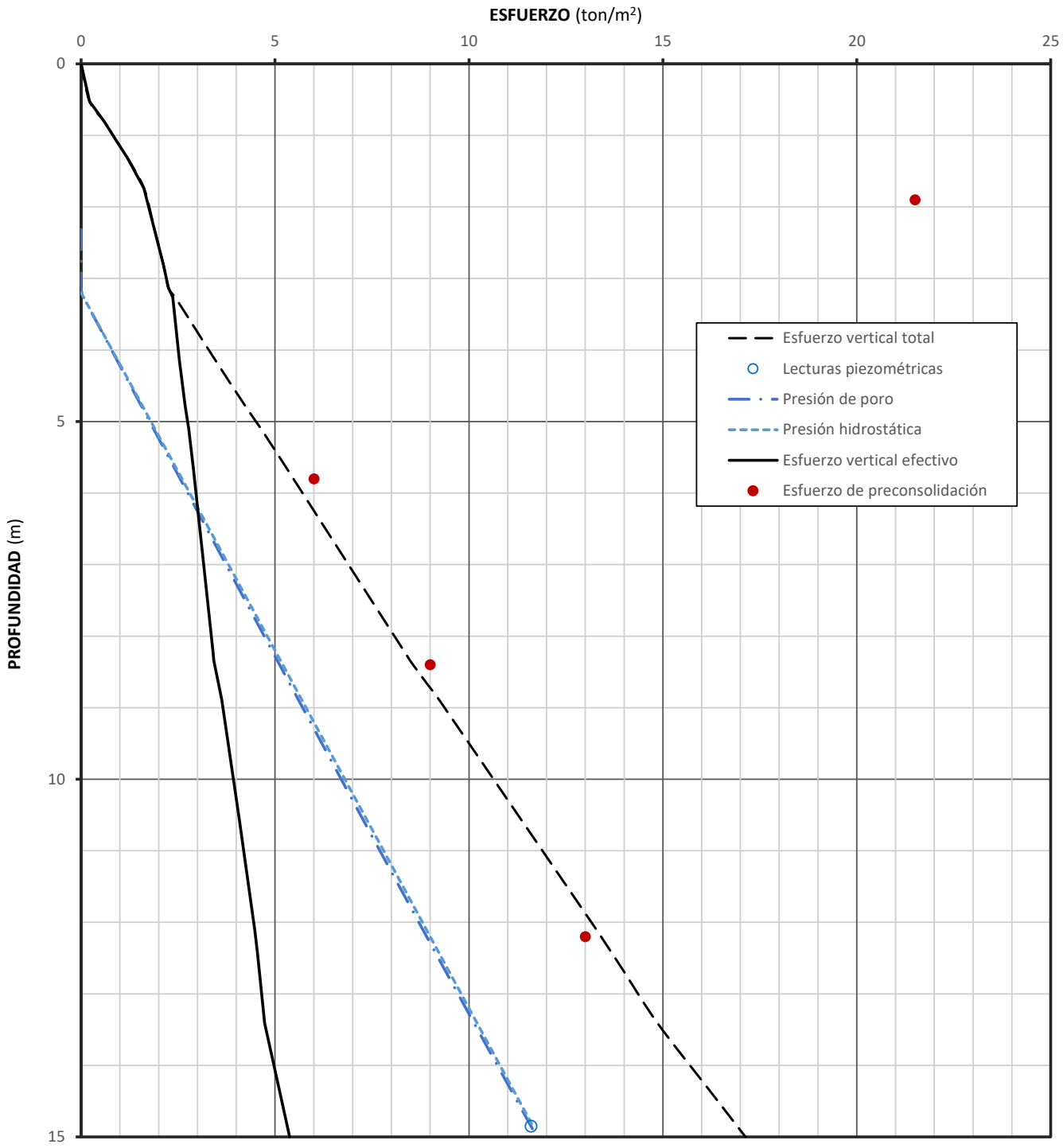



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**DIAGRAMA DE ESFUERZOS TOTALES, NEUTROS Y EFECTIVOS POR PESO PROPIO DEL SUELO**
**SONDEO M-1**

| FIG. 50 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

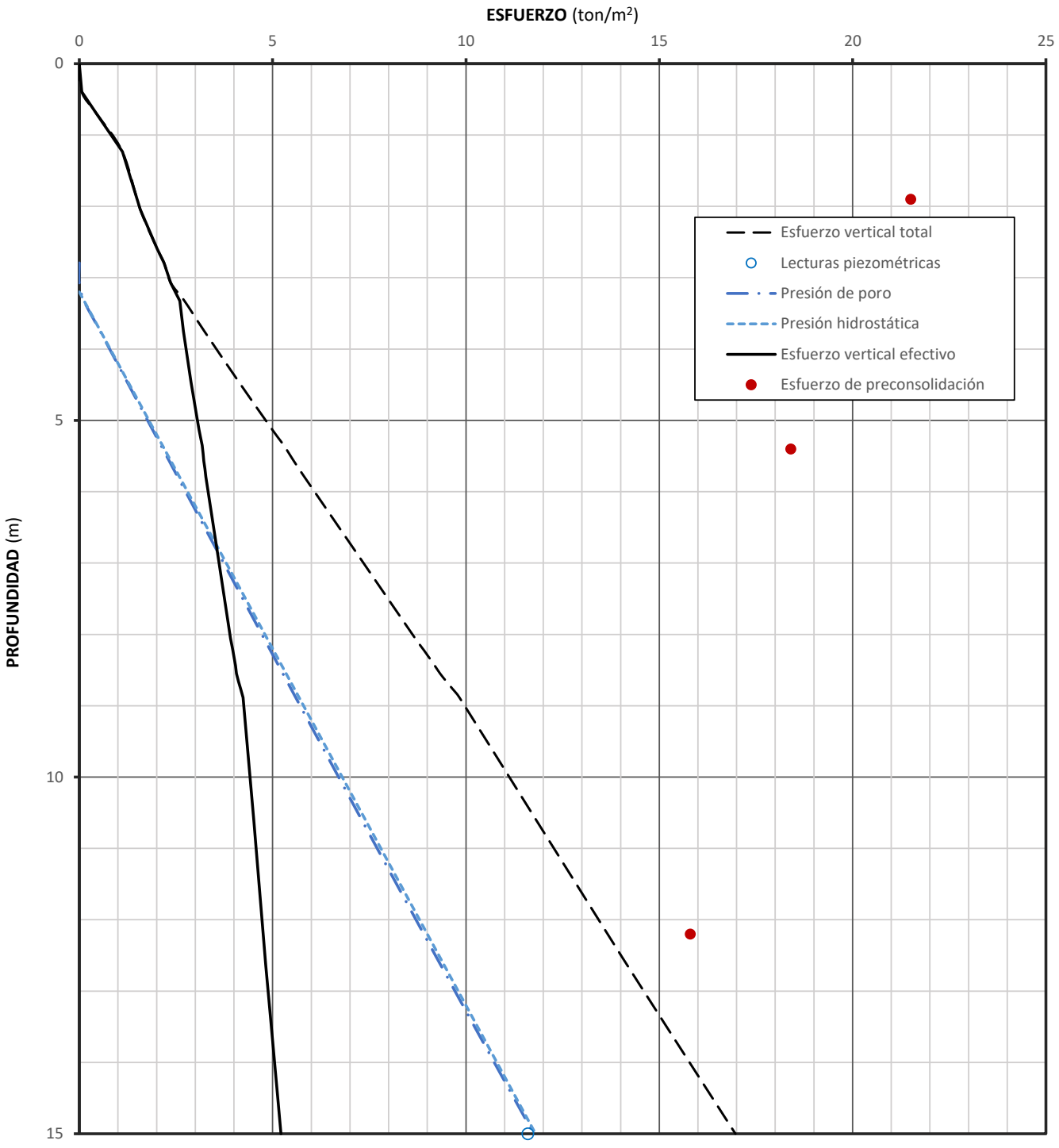
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**

Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México

**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**DIAGRAMA DE ESFUERZOS TOTALES, NEUTROS Y EFECTIVOS POR PESO PROPIO DEL SUELO SONDEO M-2**

| FIG. 51 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

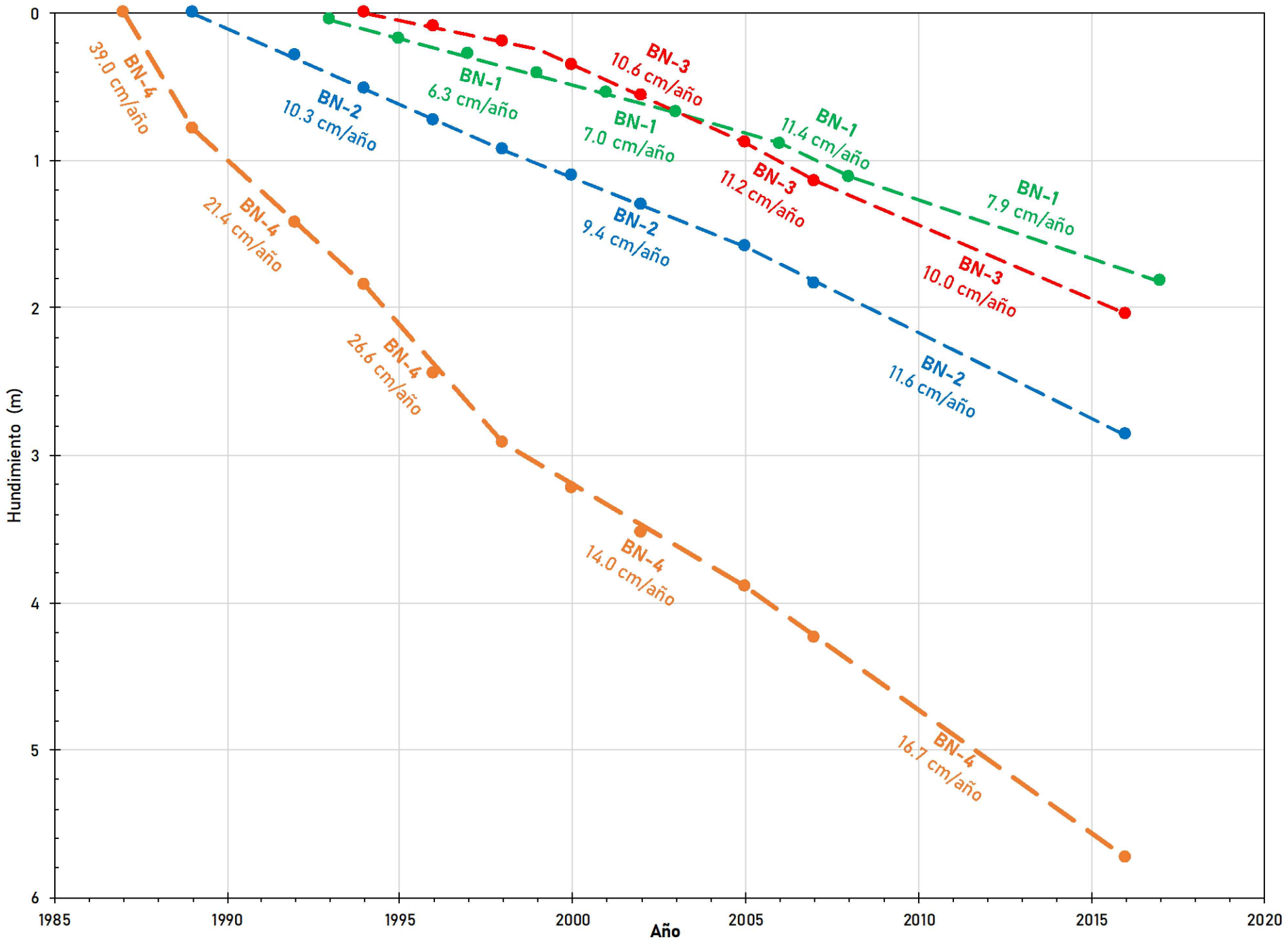
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**

Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México

**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

**DIAGRAMA DE ESFUERZOS TOTALES, NEUTROS Y EFECTIVOS POR PESO PROPIO DEL SUELO**
**SONDEO M-3**

| FIG. 52 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

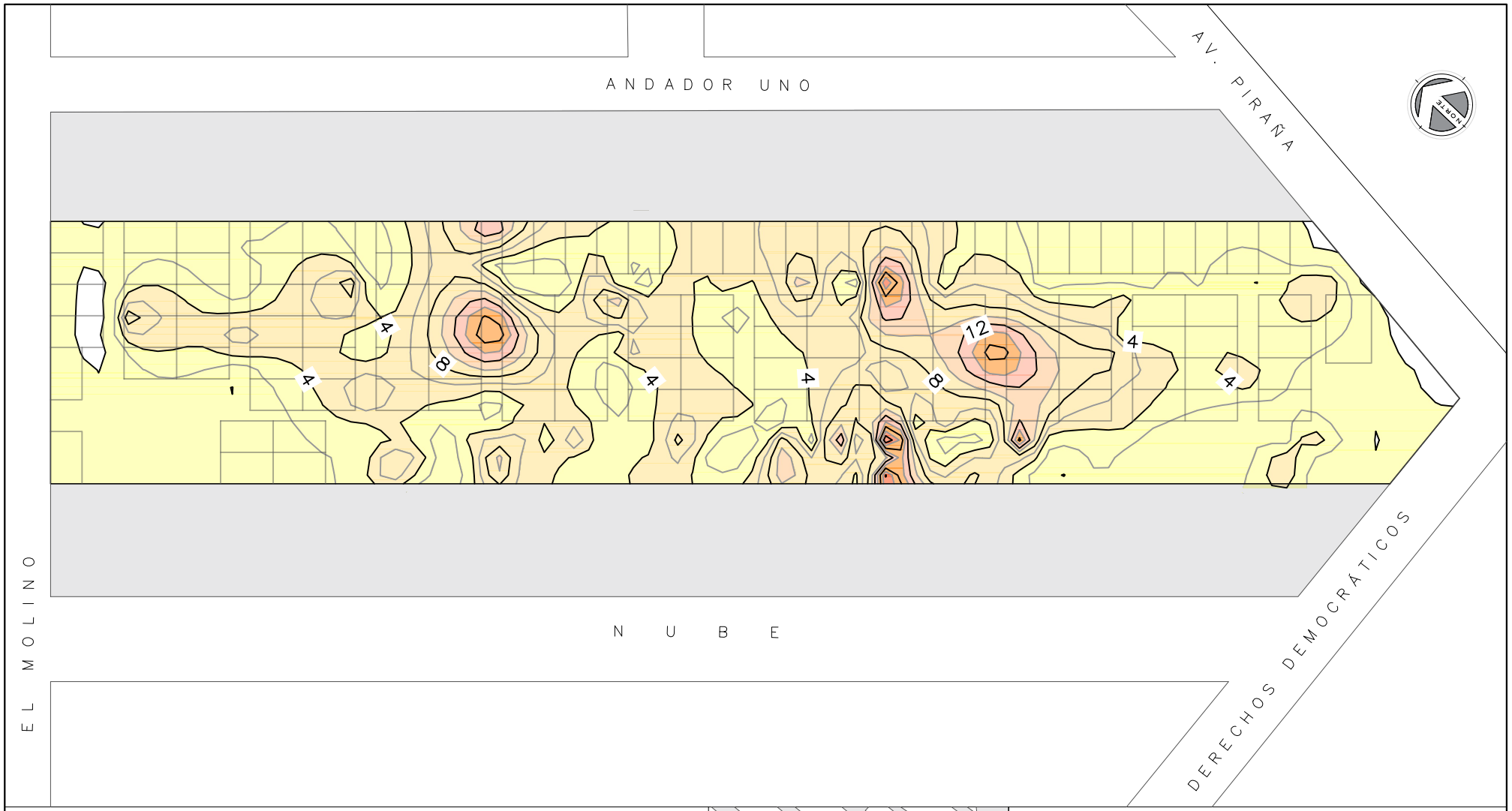


oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. de Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

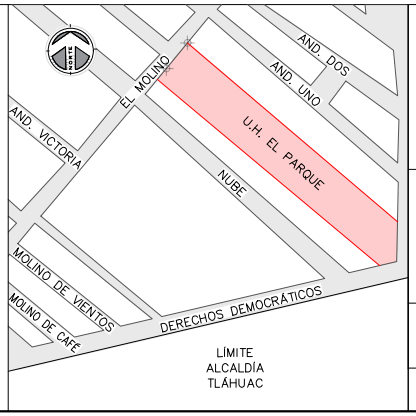
EVOLUCIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS POR SUBSIDENCIA

| FIG. 53 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




Volumen inyectado ($m^3$)

0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30

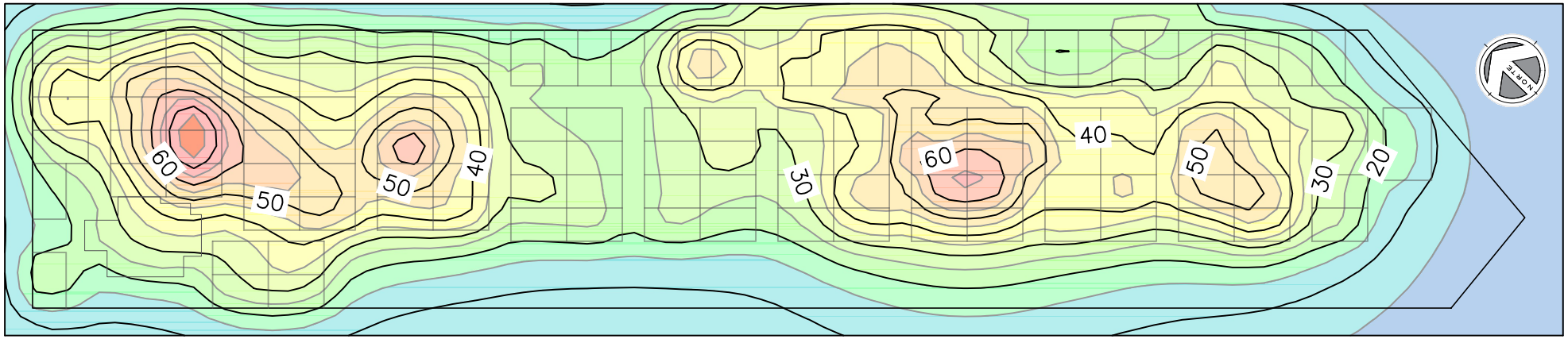



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

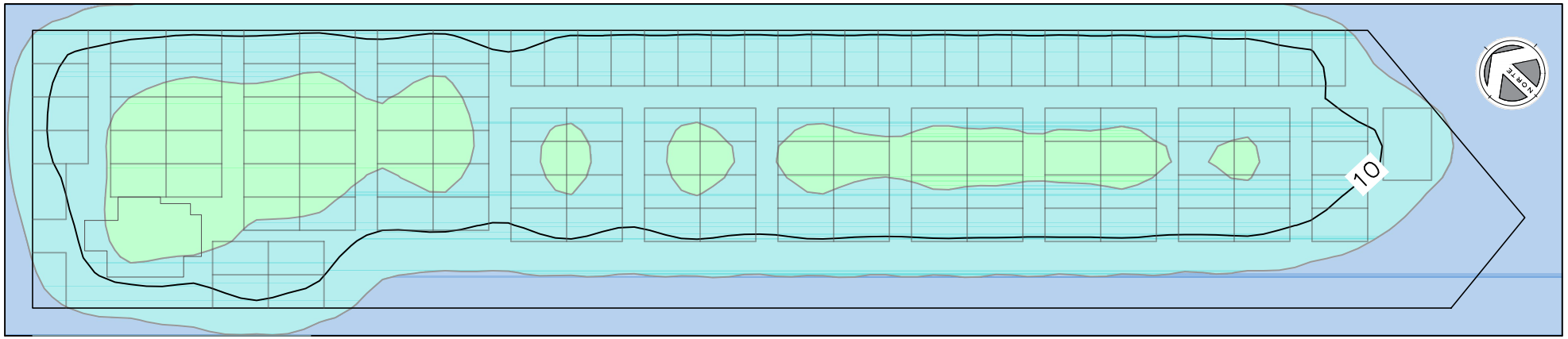
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

CURVAS DE IGUAL VOLÚMEN INYECTADO

| FIG. 54 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




a. Asentamientos Totales (cm)




b. Asentamientos Totales, condición original (cm)

Asentamiento (cm)

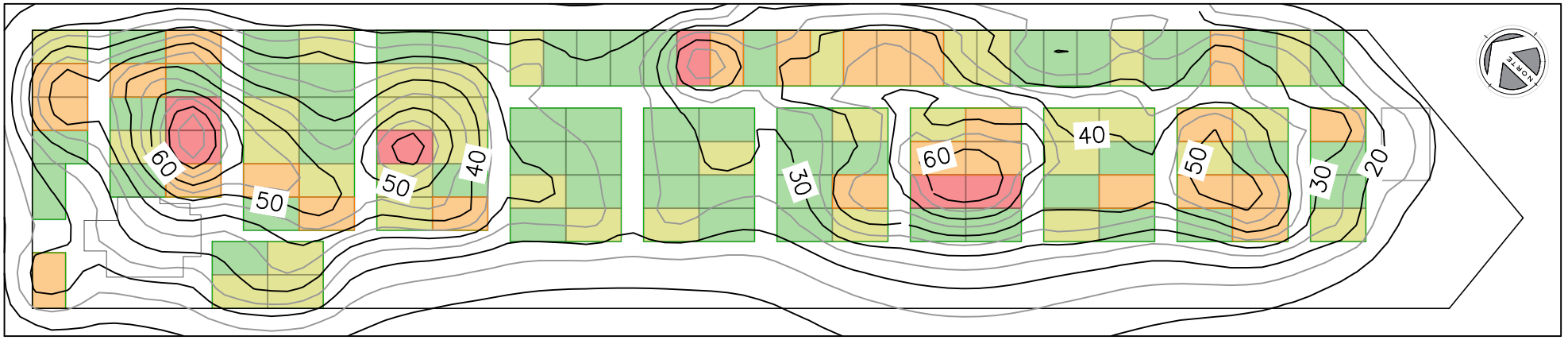
0 20 40 60 80

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

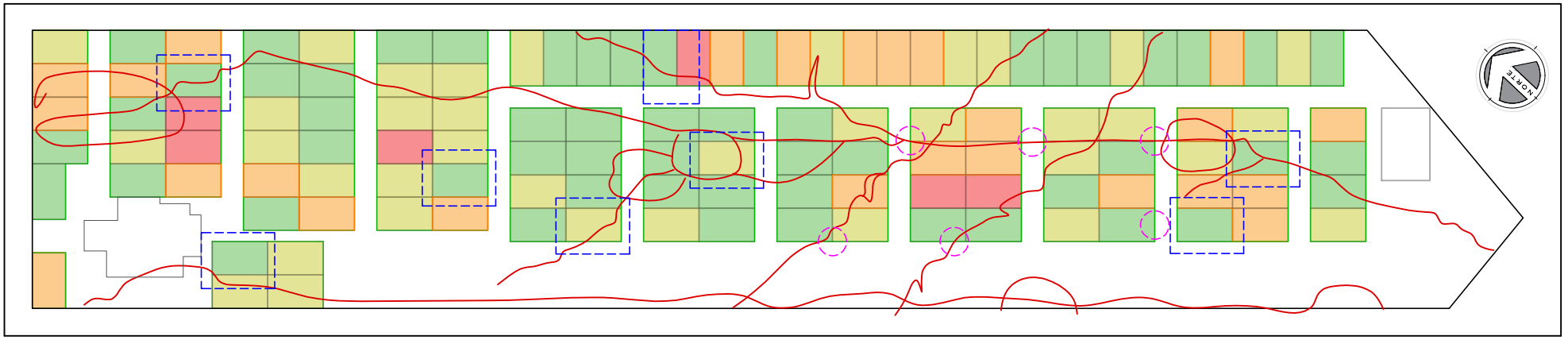
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

ASENTAMIENTOS TOTALES CALCULADOS EN LA UNIDAD

| FIG. 55 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|




a. Asentamientos totales calculados (cm)




b. Grietas reportadas previamente

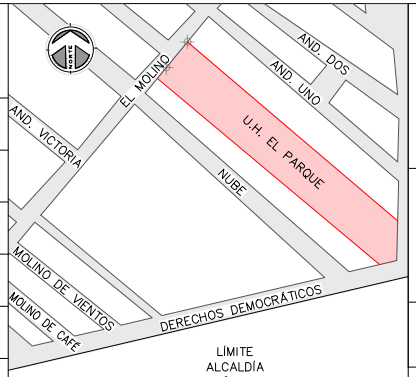
S I M B O L O G Í A

GRIETAS Y POSIBLES ZONAS DE SOCAVACIÓN. TRAZO A SIMPLE VISTA REALIZADO POR LA DRA. FERNANDA CAMPA URANGA, PROF. INVESTIGADORA DE LA UACM.

50

ASENTAMIENTOS TOTALES CALCULADOS, cm

| | |
|---|---|
| | PLANTA BAJA |
| | PLANTA BAJA + 1 NIVEL |
| | PLANTA BAJA + 2 NIVELES |
| | PLANTA BAJA + 3 NIVELES |
| | CONTACTO ENTRE CASAS DE 1 Y MÁS DE 2 NIVELES. |
| | ZONAS EN DONDE SOILTEC DETECTÓ GRIETAS EN EL SUELO MEDIANTE CALAS O AFLORAMIENTO EN LA SUPERFICIE |

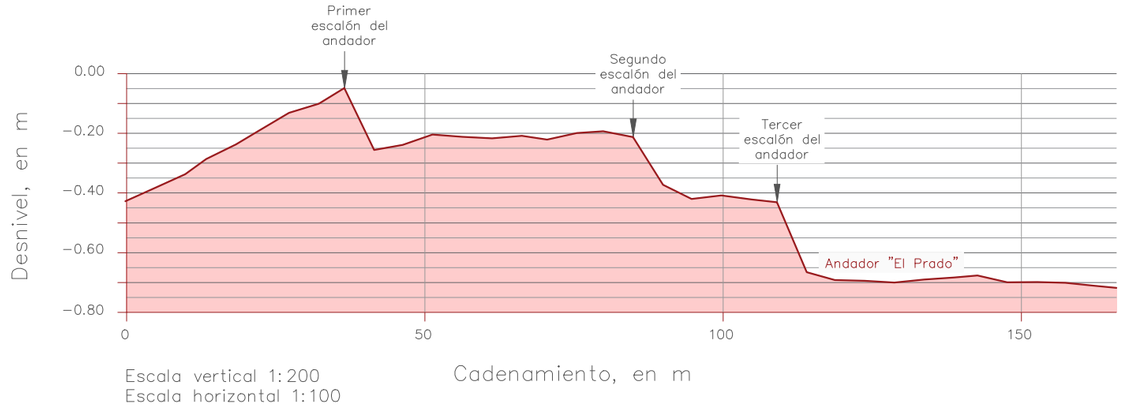



oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

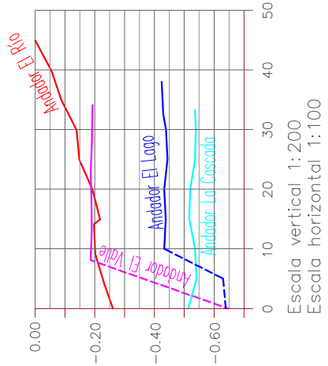
**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

RELACIÓN ENTRE LOS ASENTAMIENTOS CALCULADOS Y EL NÚMERO DE NIVELES DE LAS CASAS

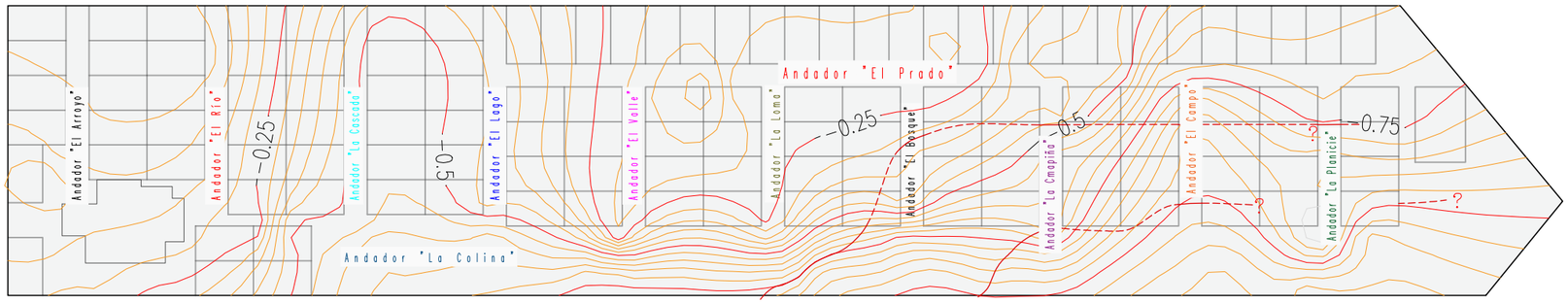
| FIG. 56 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|

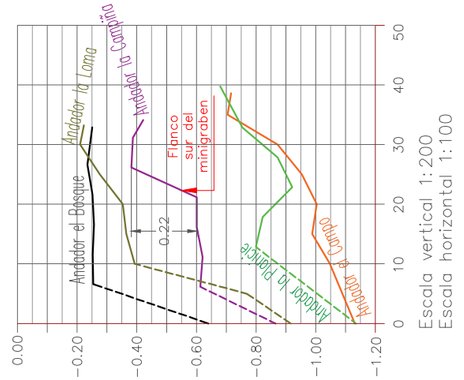



Escala vertical 1:200
Escala horizontal 1:100

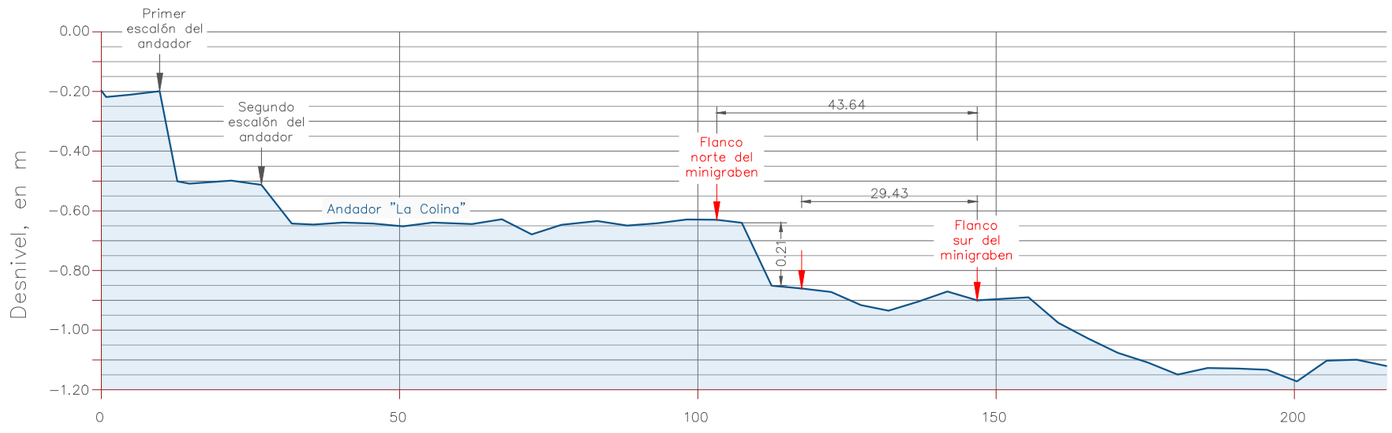



Escala vertical 1:200
Escala horizontal 1:100




Escala vertical 1:200
Escala horizontal 1:100




Escala vertical 1:200
Escala horizontal 1:100

oiltec, s.a. de c.v.
GEOTECNIA Y CIMENTACIONES

**UNIDAD HABITACIONAL EL PARQUE**
Av. Piraña 12, Col. La Planta,
Alc. Iztapalapa, Ciudad de México
**ESTUDIO DEL SUBSUELO**

PLANO DE NIVELES

| FIG. 57 | OCTUBRE, 2019 | CIUDAD DE MÉXICO |
|---|---|---|