



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA  
CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE MURO MILÁN EN ZONA  
GEOTÉCNICA DE TRANSICIÓN EN LA CDMX, ASÍ COMO LA  
PROPUESTA DE MONITOREO DE ESTE, MEDIANTE  
INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA DURANTE LA  
CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA**

**T E S I N A**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN GEOTECNIA**

PRESENTA:

**ING. SEMIRAMISE VALLE MARTÍNEZ**

DIRECTOR DE TESINA: **ING. HÉCTOR ALFREDO LEGORRETA CUEVAS**

Ciudad Universitaria, CD. MX.

JULIO 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, José de Jesús Valle Torres y María Guadalupe Martínez Guerrero, porque gracias a ellos logré concluir una Licenciatura, la cual me abrió el panorama y en la cual descubrí mi gusto y admiración por la Geotecnia, gracias a ellos soy lo que soy, gracias por su apoyo incondicional, sus llamados de atención, sus consejos, su paciencia y principalmente a su amor.

**“Y quiero agradecer a mi padre y a mi madre ahora que los tengo aquí, por traerme y por cuidar de mí, los amo por hacerme lo que soy y lo que fui”.**

A mi núcleo familiar, hermana Fabiola Tinoco Martínez, sobrina Sharis Navarrete Tinoco, sobrino Mauricio Matías Vázquez Tinoco, y cuñado José Javier Vázquez Romero, gracias por existir y por estar siempre cuando los necesito y por respetar que no me apareciera en semanas a visitarlos, por aguantar mi mal humor y ayudarme a despejarme cuando lo necesito, estar en familia siempre es lo mejor.

A mis abuelitas Amalia Torres Gamiño y Martha Guerrero Conde, agradezco a la vida por permitirme conocerlas, porque no todos tenemos la dicha de conocer y convivir con los bellos seres que dieron vida a nuestros padres, de escuchar sus historias y de poder admirarlas. Sé que no estuve mucho tiempo con ustedes y que tal vez por mis asuntos menos importantes las descuidé, de eso me arrepiento, perdón. Se fueron al cielo justo en el transcurso de esta etapa de mi vida y me hubiera gustado compartir con ustedes ahora que la concluyo.

A la Ingeniera Civil y Especialista en Geotecnia Arianna Ramírez Aguirre, porque gracias a ti descubrí la posibilidad de especializarme en esta área, de la cual compartimos el gusto y pasión, gracias por tu apoyo, por ayudarme en lo que necesito, por estar siempre al pendiente y por esta amistad desde el primer semestre de la licenciatura, siempre serás un buen ejemplo a seguir.

A Mayra Marisol Sánchez Romero, por estar conmigo en el comienzo de esta etapa escolar y ahora en el final de ella, y aunque me distraigas gracias por siempre apoyarme en todo, 18 años de amistad son casi una vida juntas y sé que llegaremos al final de ella así, juntas.

A la Técnico en Metrología y Control de Calidad e Ingeniera Geóloga Berenice Andrea Neri Moreno, gracias infinitas por tu apoyo durante esta aventura que fue la especialidad, gracias por apoyarme siempre, por recordarme esas cosas importantes que siempre olvidaba, por aguantar a esta Semi que aunque conoces desde hace 15 años y compartiste también la etapa de vocacional, quizás no conocías esa etapa de mi vida que tenía que trabajar e ir a la escuela, en la que ya somos adultas e independientes en todos los sentidos, en la que me llegue a frustrar por mil y un razones, gracias por permanecer ahí apoyándome y felicidades por un logro más juntas, pero principalmente felicidades por demostrarnos a todos los que tenemos la dicha de conocerte que a pesar de las adversidades pudiste seguir de pie y caminando en busca de un futuro mejor, estoy muy orgullosa de ti.

Al Arquitecto Diego Adán Ramírez González, gracias por acompañarme incondicionalmente en esta etapa desde el inicio hasta el final, por apoyarme, por regañarme, por consolarme, gracias por darme todo tu amor, tu cariño y tu kokoro, gracias por todos los momentos vividos, sabes que tu ayuda ha sido muy valiosa para mí, gracias por desvelarte conmigo cuando no tenías la obligación de hacerlo, gracias infinitas por ser parte de este logro, gracias por llevarme de comer en el trabajo, por cuidarme, por estar al pendiente de mí en todo momento, gracias por alentarme a seguir adelante con este que era mi sueño.

A mis amigos y compañeros de trabajo en el “Proyecto del NAICM-GeoSol”, gracias por siempre apoyarme y alentarme, gracias por siempre cuidarme y regañarme cuando fuere necesario, para los que también estudiaron el posgrado gracias por compartirme su experiencia como estudiantes de especialidad, animarme y apoyarme.

A GeoSol gracias por darme las facilidades de realizar este logro a la par de participar en un magno proyecto de infraestructura.

A la Ing. Rosa Guadalupe Bernabé Sánchez y las empresas que representa por apoyarme con información sobre el proyecto y la construcción que realizó en Av. Insurgentes No. 1082.

Al Ing. Julio Cesar Terán Méndez por su asesoría sobre el uso de instrumentación geotécnica para monitoreo de este proyecto.

Al Ing. Héctor Alfredo Legorreta Cuevas por aceptar dirigir este trabajo, por todo su apoyo y conocimiento aportado, gracias por siempre estar.

A todos y cada uno de mis profesores de la Especialidad y a mis sinodales, gracias por sus llamados de atención y exigencias, pero principalmente gracias por toda esa paciencia y por todos los conocimientos compartidos.

A todos mis compañeros de clase y colegas con los que compartí esta aventura, en la cual siempre buscamos apoyarnos mutuamente.

A toda mi familia y todos mis amigos que me han ayudado, aportado o tan solo escuchado, gracias; y a los que tal vez no, de igual manera gracias por ser parte de mi vida.

**Semiramise Valle Martínez.**



## Índice de contenido.

1	Objetivo.....	1
2	Introducción.....	1
2.1	Antecedentes del proyecto.....	1
2.2	Colindancias del predio.....	5
3	Caracterización geotécnica.....	5
3.1	Zonificación geotécnica.....	5
3.2	Trabajos de exploración.....	7
3.3	Trabajos de laboratorio.....	9
3.4	Interpretación estratigráfica inicial.....	15
3.5	Condiciones piezométricas.....	16
3.6	Solución de cimentación y procedimiento de excavación.....	16
4	Estratigrafía real.....	17
4.1	Implicaciones del estrato de boleos y fragmentos de roca en la excavación.....	20
5	Procedimiento constructivo de muro Milán.....	22
5.1	Muro guía (Brocal).....	22
5.2	Selección del equipo para excavación.....	23
5.3	Excavación de tramos de zanja.....	23
5.4	Sistema de excavación.....	24
5.5	Juntas.....	24
5.6	Colocación del armado.....	25
5.7	Vaciado de concreto.....	26
5.8	Demolición de brocal y construcción de trabe de coronamiento.....	27
6	Excavación para sistema de anclaje y top-down.....	28
6.1	Consideraciones de anclaje.....	31
7	Propuesta del sistema de instrumentación.....	32
7.1	Introducción.....	32
7.2	Justificación.....	33
7.3	Metodología de trabajos.....	33
7.3.1	Instalación del sistema de instrumentación.....	33
7.3.2	Referencias topográficas superficiales.....	33
7.3.3	Referencias topográficas en edificaciones.....	34
7.3.4	Piezómetros abiertos o de Casagrande.....	35



7.3.5	Inclinómetros verticales.....	37
7.3.6	Extensómetros multipunto. ....	39
7.4	Medición del sistema de instrumentación. ....	42
7.5	Proceso de datos del sistema de instrumentación. ....	42
7.5.1	Revisión de resultados. ....	43
7.5.2	Informes de mediciones.....	43
7.6	Deformaciones permisibles en la estructura. ....	43
7.6.1	Alarmas de evaluación de riesgo en las deformaciones de la estructura.....	43
7.6.1.1	Primer nivel de evaluación (Evaluación Rápida).....	44
7.6.1.2	Segundo nivel de evaluación (Evaluación Detallada).....	44
7.6.1.3	Tercer nivel de evaluación (Evaluación Insegura).....	44
8	Memoria fotográfica del procedimiento constructivo de muro Milán en Insurgentes No. 1082. ....	44
9	Conclusiones. ....	54
10	Referencias Bibliográficas.....	54
11	Colaboradores.....	54

## Índice de complementos.

<i>Ilustración 1. Esquema de edificio corte C A-13.....</i>	<i>2</i>
<i>Ilustración 2. Esquema de edificio corte D A-14.....</i>	<i>3</i>
<i>Ilustración 3. Localización de cortes C A-13 Y D A-14 en planta representativa.....</i>	<i>4</i>
<i>Ilustración 4. Delimitación de muro en Zona "A" y "B". ....</i>	<i>16</i>
<i>Ilustración 5. Proyección de estratigrafía documentada en la excavación hasta -37.62 m. ....</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 6. Proyección de estratigrafía documentada en la excavación hasta -30.20 m. ....</i>	<i>19</i>
<i>Ilustración 7. Proyección de flujo de lodo bentónico en estratos de boleos y rocas durante la excavación. ....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 8. Proyección de flujo de concreto en estratos de boleos y rocas durante el colado. ....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 9. Esquema de brocal.....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 10. Secuencia de avance de construcción de paneles.....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 11. Vaciado de concreto.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 12. Demolición de brocal y construcción de trabe de coronamiento.....</i>	<i>27</i>
<i>Ilustración 13. Excavación para ejecución del 1er nivel de anclaje y construcción de pilas. ....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 14. Excavación para ejecución del 2do nivel de anclaje y construcción de losa. ....</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 15. Excavación para ejecución del 3er nivel de anclaje y 1er sótano.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 16. Excavación para ejecución del 4to nivel de anclaje y 2do sótano.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 17. Excavación para ejecución del 5to nivel de anclaje y 3er sótano.....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 18. Excavación para ejecución del 8vo nivel de anclaje y 6to sótano. ....</i>	<i>30</i>
<i>Ilustración 19. Excavación para ejecución del 11vo nivel de anclaje y 10mo sótano.....</i>	<i>31</i>
<i>Ilustración 20. Localización de referencias topográficas en edificaciones. ....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 21. Sección de tubería inclinométrica y orientación de ejes (A+, B+ y A-, B-). ....</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 22. Planta general con propuesta de sistema de instrumentación.....</i>	<i>41</i>



Imagen 1. Localización del predio.....	5
Imagen 2. Zonificación Geotécnica. Recuperado del RCDF y NTC, de fecha 15 de diciembre, 2017. ....	6
Imagen 3. Ubicación de SPT-1 y PCA-1.....	8
Imagen 4. Ubicación del tercer SPT realizado por ICGeo. ....	17
Foto 1. Exploración con SPT.....	7
Foto 2. Boleos extraídos.....	20
Foto 3. Equipo para la excavación. ....	23
Foto 4. Excavación de zanja. ....	23
Foto 5. Juntas tubulares de sección circular entre tableros. ....	25
Foto 6. Tubo de PVC ranurado.....	35
Foto 7. Sonda eléctrica o piezométrica. ....	37
Foto 8. Armado de brocal.....	44
Foto 9. Cimbrado de brocal. ....	45
Foto 10. Colado de brocal. ....	45
Foto 11. Colado de brocal. ....	46
Foto 12. Excavación de zanja con almeja.....	46
Foto 13. Retiro de material de excavación de zanja.....	47
Foto 14. Boleos producto de excavación de aproximadamente 90 cm de diámetro. ....	47
Foto 15. Junta metálica de sección circular para machihembrado de paneles. ....	48
Foto 16. Colocación de junta en zanja.....	48
Foto 17. Habilitado de parrilla para izaje.....	49
Foto 18. Izado de armado de acero. ....	49
Foto 19. Posicionamiento de armado para descenso en zanja. ....	50
Foto 20. Colocación de armado en zanja. ....	50
Foto 21. Descenso de armado en zanja.....	51
Foto 22. Retiro de balancín. ....	51
Foto 23. Amarre de parrilla a brocal.....	52
Foto 24. Colado con tubería Tremie.....	52
Foto 25. Vaciado de concreto.....	53
Foto 26. Retiro de junta. ....	53
Perfil 1. SPT-1.....	11
Perfil 2. SPT-2.....	13
Perfil 3. PCA-1.....	14
Figura 1. Elementos para izado de armado.....	25
Figura 2. Amarre de parrilla al brocal.....	26
Figura 3. Ejemplos de instrumentos de medición.....	32
Tabla 1. Distribución de anclas por colindancia.....	31
Tabla 2. Referencias topográficas superficiales.....	34
Tabla 3. Referencias topográficas en edificaciones en lindero oriente.....	34
Tabla 4. Granulometría de los agregados de la cámara piezométrica.....	36
Tabla 5. Mezclas de lechada utilizadas para sellar barrenos.....	36
Tabla 6. Piezómetros abiertos tipo Casagrande.....	37
Tabla 7. Inclínómetros verticales.....	39
Tabla 8. Extensómetros multipunto.....	40
Tabla 9. Frecuencia de mediciones para el sistema de instrumentación.....	42



## 1 Objetivo.

Durante el posgrado uno de los temas abarcados en varias de las asignaturas fue sobre Instrumentación Geotécnica, lo cual me motivo a seleccionarlo como parte de mi tema de tesina y así poder aplicar lo aprendido en un proyecto real. Comenzando con la búsqueda de información sobre diferentes tipos de instrumentación, así como su aplicación en campo y laboratorio, sin embargo, el enfoque decidí darlo al campo en un proyecto que considero es interesante y que podemos encontrar actualmente en ciudades grandes ya que, debido a la búsqueda de crecimiento económico, se procede con la construcción de grandes edificaciones.

Es por ello que se presenta el procedimiento constructivo de un muro Milán construido en Av. Insurgentes No. 1082, bajo condiciones poco comunes en una zona Geotécnica en la cual se presentan materiales de alta resistencia lo cual dificulta llevar a cabo una excavación profunda. Además de proponer la instrumentación Geotécnica necesaria para llevar a cabo el monitoreo del comportamiento de la estructura del muro Milán y estructuras colindantes, desde el inicio de la excavación hasta el final de la construcción de la superestructura, para lograr un monitoreo continuo y prevenir cualquier contratiempo.

Cabe mencionar que dicho trabajo se basa en información proporcionada por ICGeo (Ingeniería y Construcción Geotécnica SA de CV-Mecánica de Suelos y Cimentaciones) y EGECIP (Especialistas En Geotecnia y Cimentaciones Profundas SRL De CV-Mecánica de Suelos y Construcción), empresas que llevaron a cabo la construcción de muro Milán y pilas respectivamente.

## 2 Introducción.

El predio correspondiente a este proyecto se localiza en Avenida Insurgentes No. 1082, Colonia Insurgentes San Borja, Delegación Benito Juárez, Ciudad de México, C.P. 03100. El proyecto consiste en la construcción de un edificio de uso mixto, en específico para oficinas y locales comerciales, desplantado en pilas y un cajón.

Inicialmente el predio contaba con dos edificaciones de características no conocidas, los cuales fueron demolidas previo a la exploración geotécnica.

A consecuencia de dicha demolición se realizó una excavación por retiro de material de cimentación, nivelando a -3.50 m a partir de nivel “cero” o de banquetta. Dicha excavación se contuvo con anclas provisionales.

Al finalizar la construcción del muro Milán y proceder con la demolición del brocal, dicho muro se alargó hasta el nivel de banquetta con su respectiva trabe de coronamiento para así proceder con la colocación de anclas definitivas bajo las consideraciones que se presentaran posteriormente en el presente trabajo.

### 2.1 Antecedentes del proyecto.

El edificio consta de planta baja más 17 niveles y 10 sótanos de estacionamiento; el predio donde se proyecta la construcción del edificio es un polígono irregular que cuenta con un área de 2,508.50 m<sup>2</sup> de superficie aproximadamente. La delimitación del área mencionada se estabilizó mediante la construcción de un muro Milán para el sostenimiento de paredes en excavación y posteriormente se llevó a cabo la construcción de sótanos. En la *Ilustración 1, 2 y 3* se observan 2 cortes del edificio y una planta representativa respectivamente.



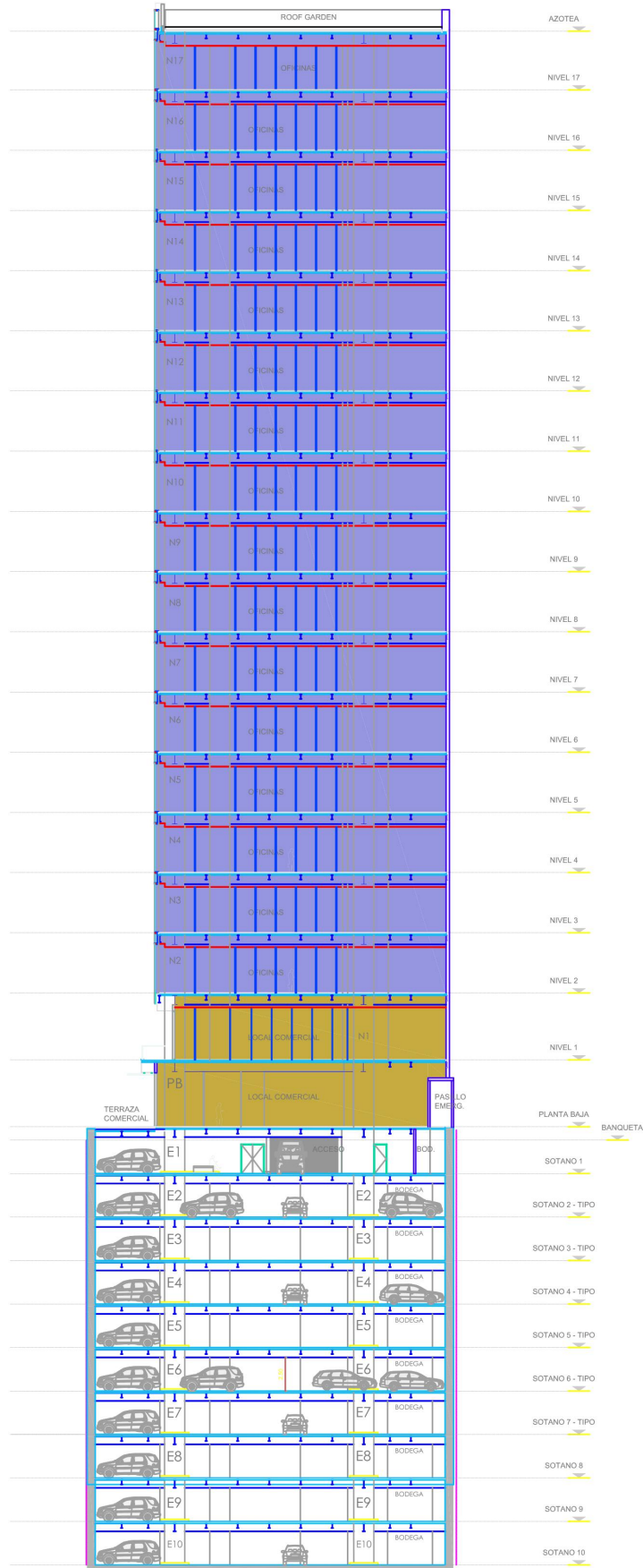


Ilustración 1. Esquema de edificio corte CA-13.





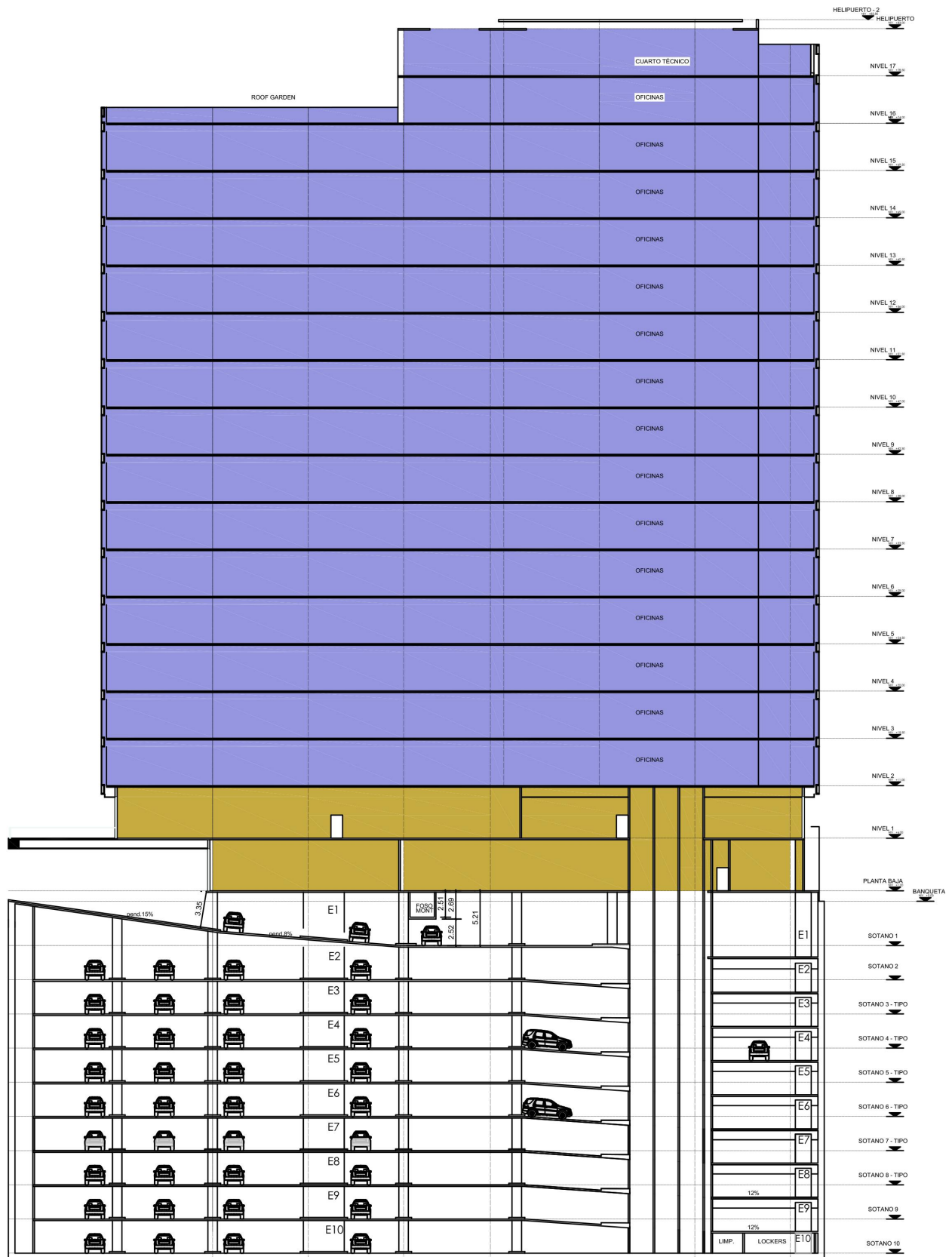


Ilustración 2. Esquema de edificio corte D A-14.



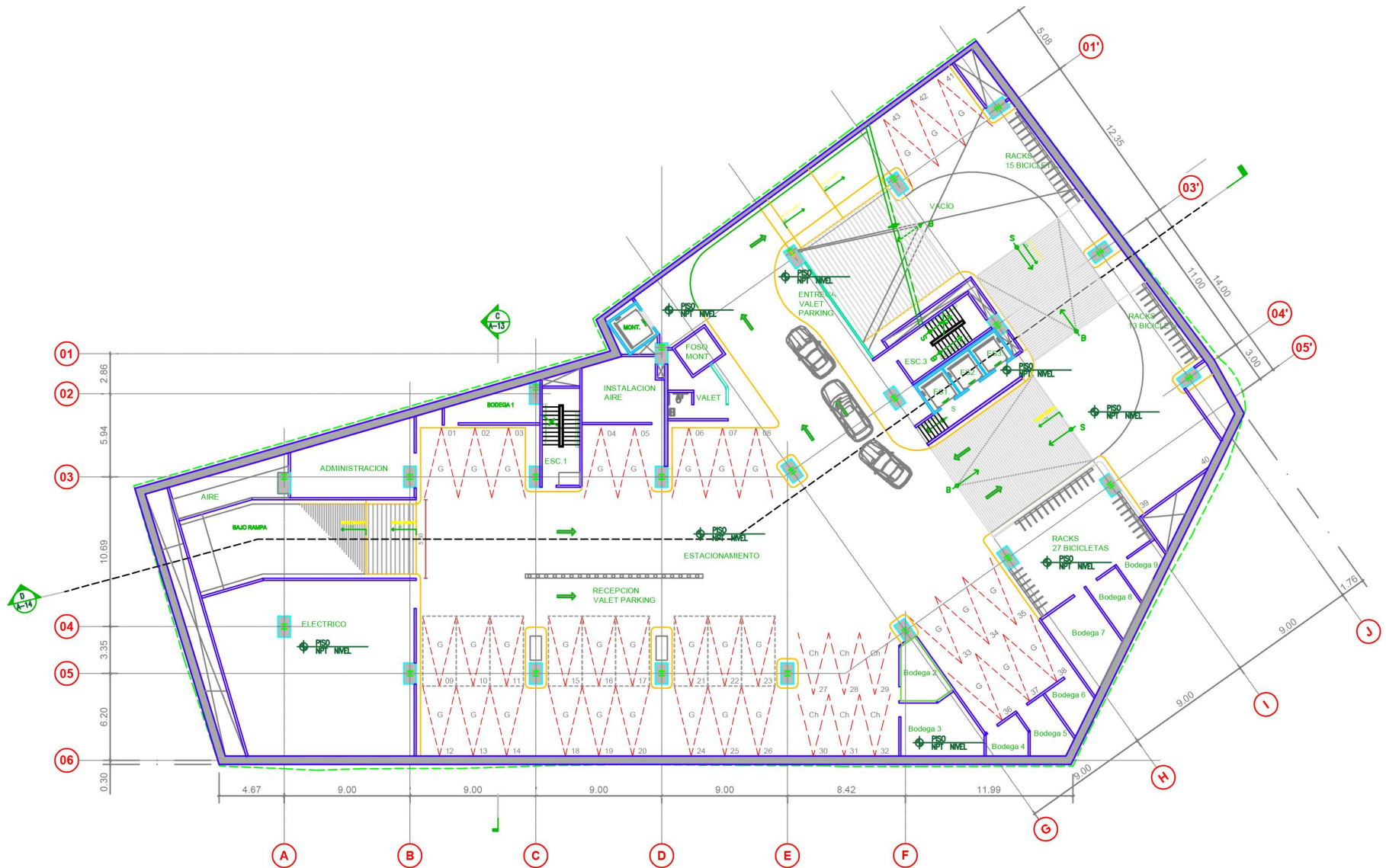


Ilustración 3. Localización de cortes C A-13 Y D A-14 en planta representativa.



## 2.2 Colindancias del predio.

El predio colinda al norte con calle Sacramento, al sur con las calles Porfirio Díaz y Pilares al oeste con Av. Insurgentes y al este con estructuras de dos a tres niveles. (Ver Imagen 1).



Imagen 1. Localización del predio.

## 3 Caracterización geotécnica.

### 3.1 Zonificación geotécnica.

Según el RCDF y NTC, de fecha 15 de diciembre de 2017, como lo define el artículo 170 del Capítulo VIII del Título Sexto del Reglamento, la Ciudad de México se divide en tres zonas con las siguientes características generales:

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



b) Zona II. Transición, en la que los depósitos profundos se encuentran a 20 m de profundidad, o menos, y que está constituida predominantemente por estratos arenosos y limo arenosos intercalados con capas de arcilla lacustre; el espesor de éstas es variable entre decenas de centímetros y pocos metros; y

c) Zona III. Lacustre, integrada por potentes depósitos de arcilla altamente compresibles, separados por capas arenosas con contenido diverso de limo o arcilla. Estas capas arenosas son en general medianamente compactas a muy compactas y de espesor variable de centímetros a varios metros. Los 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. En la *Imagen 2* se muestran las porciones de la Ciudad de México cuyo subsuelo se conoce aproximadamente en cuanto a la zonificación anterior.

El predio del proyecto en desarrollo se localiza en la zona geotécnica II denominada "Transición". Así también, en la *Imagen 2* se ubica dicho predio en la zona correspondiente.

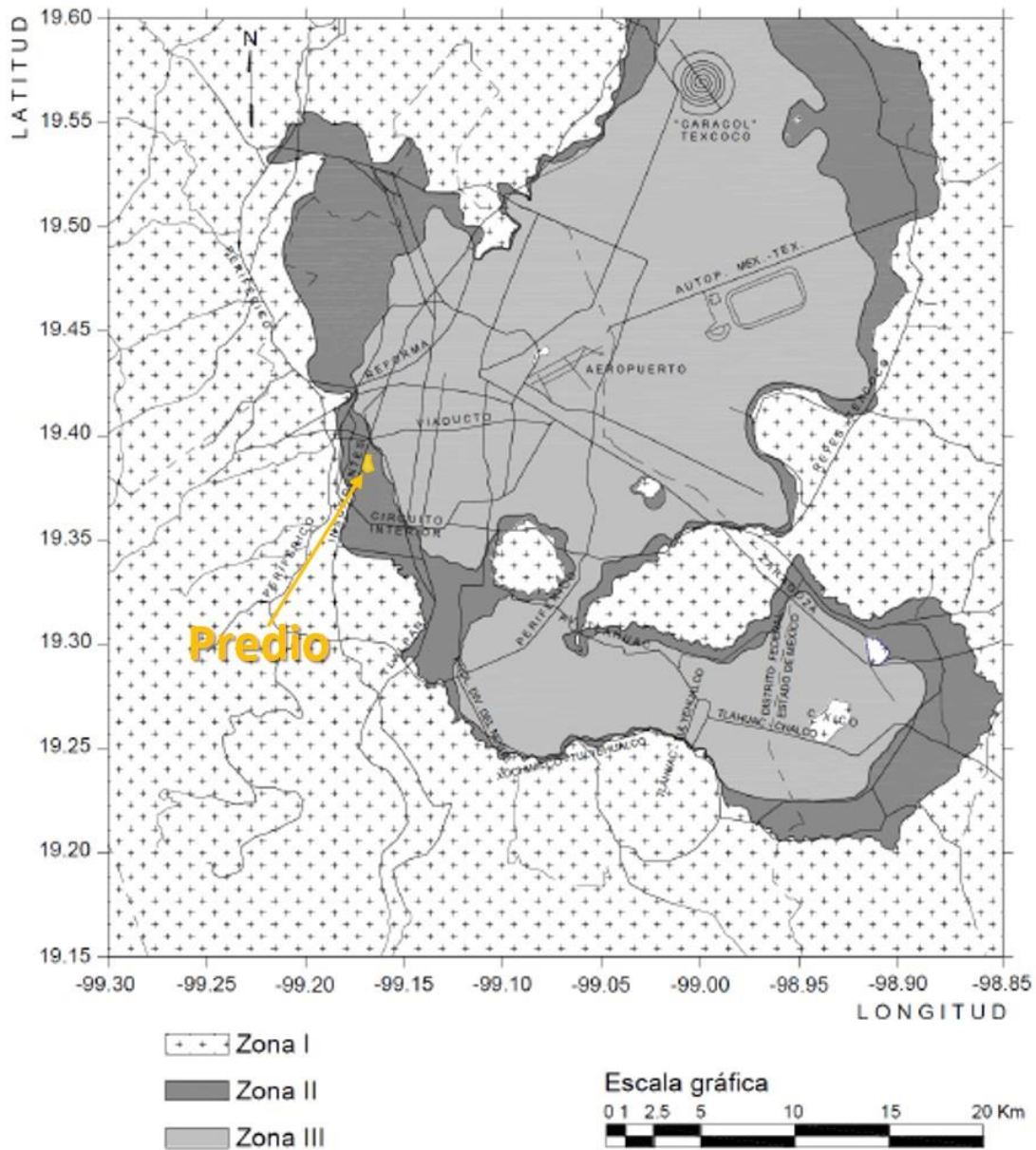


Imagen 2. Zonificación Geotécnica. Recuperado del RCDF y NTC, de fecha 15 de diciembre, 2017.



### 3.2 Trabajos de exploración.

Con el fin de caracterizar las condiciones estratigráficas del sitio en estudio y medir la resistencia del suelo a la penetración, se llevaron a cabo dos sondeos de penetración estándar (SPT-1 y SPT-2) a 35.0 y 42.0 m de profundidad respectivamente, un sondeo de cono eléctrico a 15.0 m de profundidad y un pozo a cielo abierto (PCA) a 2.0 m de profundidad. Para el presente trabajo se cuenta con resultados del SPT-1, SPT-2 y PCA-1 plasmados en los *Perfiles 1, 2 y 3* respectivamente, los cuales se muestran como antecedente y con fines únicamente informativos.

*Sondeo de penetración estándar (SPT).* El Sondeo de Penetración Estándar se emplea para recuperar muestras alteradas de suelo, la cuales en campo permiten identificar tipos de suelo y definir estratigrafía; en laboratorio, permiten la identificación de propiedades índice como contenido de humedad, límites de consistencia, entre otros. Con el número de golpes que se necesita para hincar el penetrómetro usado en la prueba se estima, mediante relaciones empíricas, la resistencia al corte. (*Ver Foto 1*).

El penetrómetro consiste en un tubo de acero en cuyo extremo se acopla una zapata afilada del mismo material. El tubo está cortado longitudinalmente para facilitar la observación y recuperación de la muestra. Aparte del Penetrómetro estándar, la ejecución de un SPT requiere la utilización de Columna de Barras de acero BW en la cual el penetrómetro se acopla en la parte inferior de esta.

El Penetrómetro se hince mediante el golpeteo de un martinete de 63.5 Kg con una caída de 76 centímetros. Tiene además una varilla guía por medidas de seguridad.

Se utiliza también un Malacate en el cual se enrolla un cable manila de 0.75 a 1 pulgada de diámetro, utilizado para levantar el martinete y dejarlo caer libremente.

Durante la ejecución del sondeo se debe hincar el penetrómetro 60 centímetros a la profundidad a la que se desea muestrear, contando el número de golpes del martinete correspondiente a cada etapa de 15 centímetros. En caso de que se alcancen 50 golpes sin que se supere alguna etapa de 15 cm, se debe suspender la prueba, pues en teoría se altera demasiado el suelo.



Foto 1. Exploración con SPT.



*Sondeo de cono eléctrico (CPTU).* Éste es un ensayo estandarizado que penetra el suelo a una velocidad constante y genera lecturas en tiempo real que permiten una adecuada caracterización de un perfil de suelo. Este se hinca a presión, tiene incorporadas celdas instrumentadas con deformímetros eléctricos que permiten la medición simultánea de las fuerzas necesarias para el hincado de la punta cónica. El penetrómetro se hinca en el suelo con ayuda de un mecanismo hidráulico capaz de aplicar 2.5 t de fuerza axial, esto se hace con una perforadora Mobile Drill Modelo B61 HDX. La velocidad usual del hincado es de 2 cm/s.

Se generan ondas cortantes en la superficie golpeando los extremos de un tablón de madera, o viga metálica, al que se le coloca un geófono testigo que permite determinar el instante en que se provoca los impactos. Las ondas de cortante así generadas viajan a través de la masa del suelo hasta ser detectadas por el cono sísmico a una cierta profundidad. Se repite el procedimiento de golpeteo, en todas las profundidades a estudiar, esto hasta que el sondeo se dé por terminado.

*Pozo a cielo abierto (PCA).* El pozo a cielo abierto permite observar las características estratigráficas superficiales del suelo en su estado natural, así como precisar con un grado de confiabilidad el nivel del agua en el subsuelo en caso de existir.

En la *Imagen 3* se indica la localización en planta de los trabajos de exploración llevados a cabo por el laboratorio. En lo que respecta al SPT-2 y CPTU, se desconoce la ubicación en la que estos se llevaron a cabo. La zona sombreada no abarca el área total del predio, sin embargo, se presenta para tener una noción más clara de la información proporcionada.



*Imagen 3. Ubicación de SPT-1 y PCA-1.*



### 3.3 Trabajos de laboratorio.

Posteriormente se realizaron trabajos de laboratorio para la determinación de propiedades índice y gravimétricas. Con base en los resultados obtenidos de la exploración realizada, el laboratorio presentó la siguiente descripción (las profundidades que se reportan son a partir del nivel de terreno natural en cada uno de los puntos explorados):

#### *SPT-1 (Ver Perfil 1).*

*Losa de concreto de 0.0 a 0.15 m.*

*Relleno de 0.15 a 2.80 m.* Estrato conformado por un relleno de arcilla arenosa color café con desperdicio de material de construcción.

*Costra superficial de 2.80 a 4.20 m.* Conformado por arcilla arenosa café oscuro de consistencia firme. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) varía entre los 10 el menor y de 24 el mayor.

*Arcilla arenosa de 4.20 a 8.40 m.* Constituida por arcilla arenosa café oscuro de consistencia blanda a firme. El número de golpes medido en SPT varió entre 4 el más bajo y 20 el mayor.

*Arena arcillosa de 8.40 a 16.80 m.* Estrato conformado por arena arcillosa color café oscuro con lentes de arena fina compacta. El número de golpes medido en SPT varió entre 15 el menor a golpes por arriba de 50.

*Toba areno arcillosa de 16.80 a 35.0 m (nivel máximo de exploración aproximado).* Estrato conformado por una toba areno arcillosa compacta, café rojizo a amarillento, con intercalaciones de arcilla producto de la intemperización de la roca y presencia de gravillas. El número de golpes medido en SPT varió entre 20 el menor a golpes por arriba de 50.

#### *SPT-2 (Ver Perfil 2).*

*Losa de concreto de 0.0 a 0.30 m.*

*Relleno de 0.30 a 1.50 m.* Estrato conformado por un relleno de arcilla arenosa color café oscuro con gravas y desperdicio de material de construcción.

*Costra superficial de 1.50 a 3.80 m.* Conformado por arcilla arenosa café oscuro de consistencia firme a dura con presencia de gravas y gravillas. El número de golpes medido en SPT varió entre 8 el más bajo y golpes por arriba de 50.

*Arcilla arenosa de 3.80 a 7.60 m.* Estrato conformado por arcilla arenosa café oscuro de consistencia blanda a firme. El número de golpes medido en SPT fue de 10 en promedio.

*Arena arcillosa 8.40 a 12.80 m.* Estrato conformado por arena arcillosa color café oscuro con lentes de arena fina compacta. El número de golpes medido en SPT varió entre 25 el menor a golpes por arriba de 50.

*Arcilla de 12.80 a 14.80 m.* Estrato conformado por arcilla café oscuro de consistencia blanda. El número de golpes medido en SPT fue de 4 en promedio.

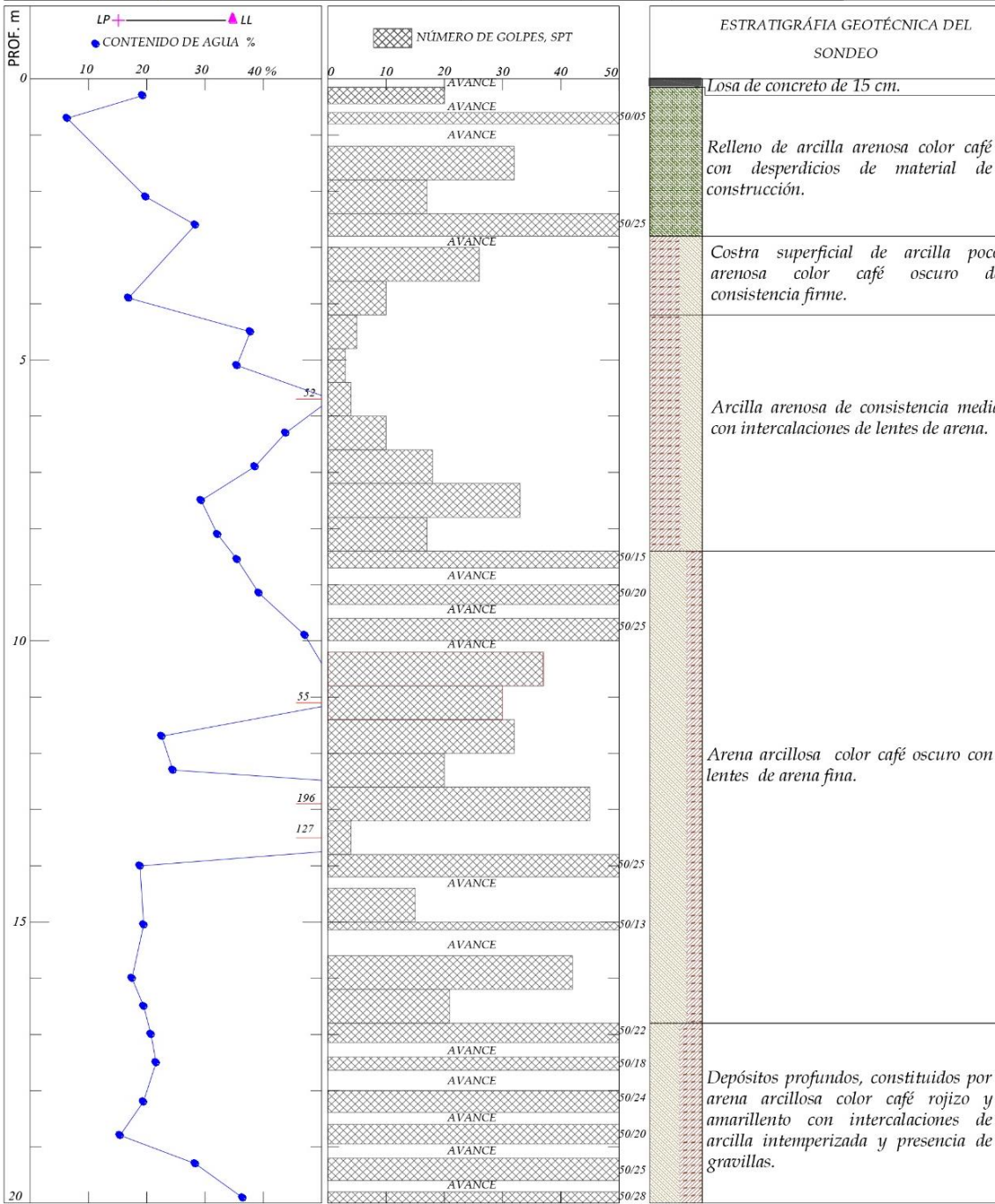
*Toba areno arcillosa de 14.80 a 36.0 m.* Estrato conformado por una toba areno arcillosa compacta, café oscuro con presencia de gravillas y gravas de  $\frac{3}{4}$ " a 1". El número de golpes medido en SPT varió de 26 el más bajo a golpes por arriba de 50. No se descarta la presencia de boleos en este estrato.

*Toba limo arenosa de 36.0 a 42.0 m (profundidad máxima explorada).* Estrato conformado por una toba limo arenosa café rojizo de consistencia dura con presencia de gravillas. El número de golpes medido en SPT fue superior a 50 para todo el estrato.



# SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

<b>PROYECTO</b> <i>INSURGENTES No. 1082</i>	<b>SONDEO</b> <i>SPT-1</i>	 <small>CIMENTACIONES Y ANCLAJES S.A. DE C.V.</small>
<b>LOCALIZACIÓN</b> <i>Av. Insurgentes # 1082, Colonia San Borja, Delegación Benito Juárez</i>	<b>PROF. EXPLORADA</b> <i>35.0 m</i>	



LP= LÍMITE PLÁSTICO  
 LL= LÍMITE LÍQUIDO  
 PH= PESO DE HERRAMIENTA  
 ABT= AVANCE CON BROCA TRICÓNICA

Resistencia de punta,  $q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>)

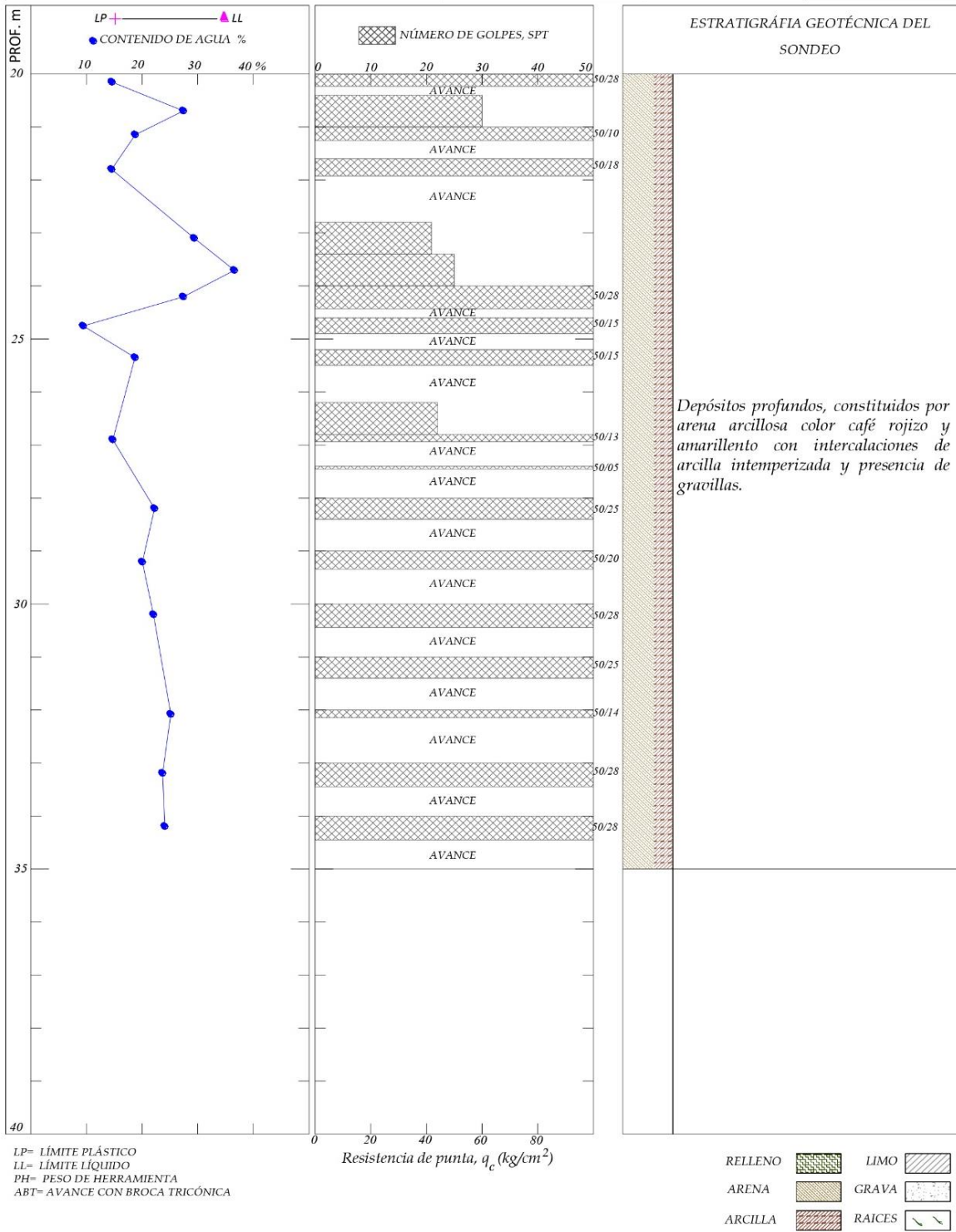
RELLENO		LIMO	
ARENA		GRAVA	
ARCILLA		RAICES	





# SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

PROYECTO <b>INSURGENTES No. 1082</b> LOCALIZACIÓN <i>Av. Insurgentes # 1082, Colonia San Borja, Delegación Benito Juárez</i>	SONDEO <b>SPT-1</b> PROF. EXPLORADA <b>35.0 m</b>	PROF. NAF 
---	--	---------------

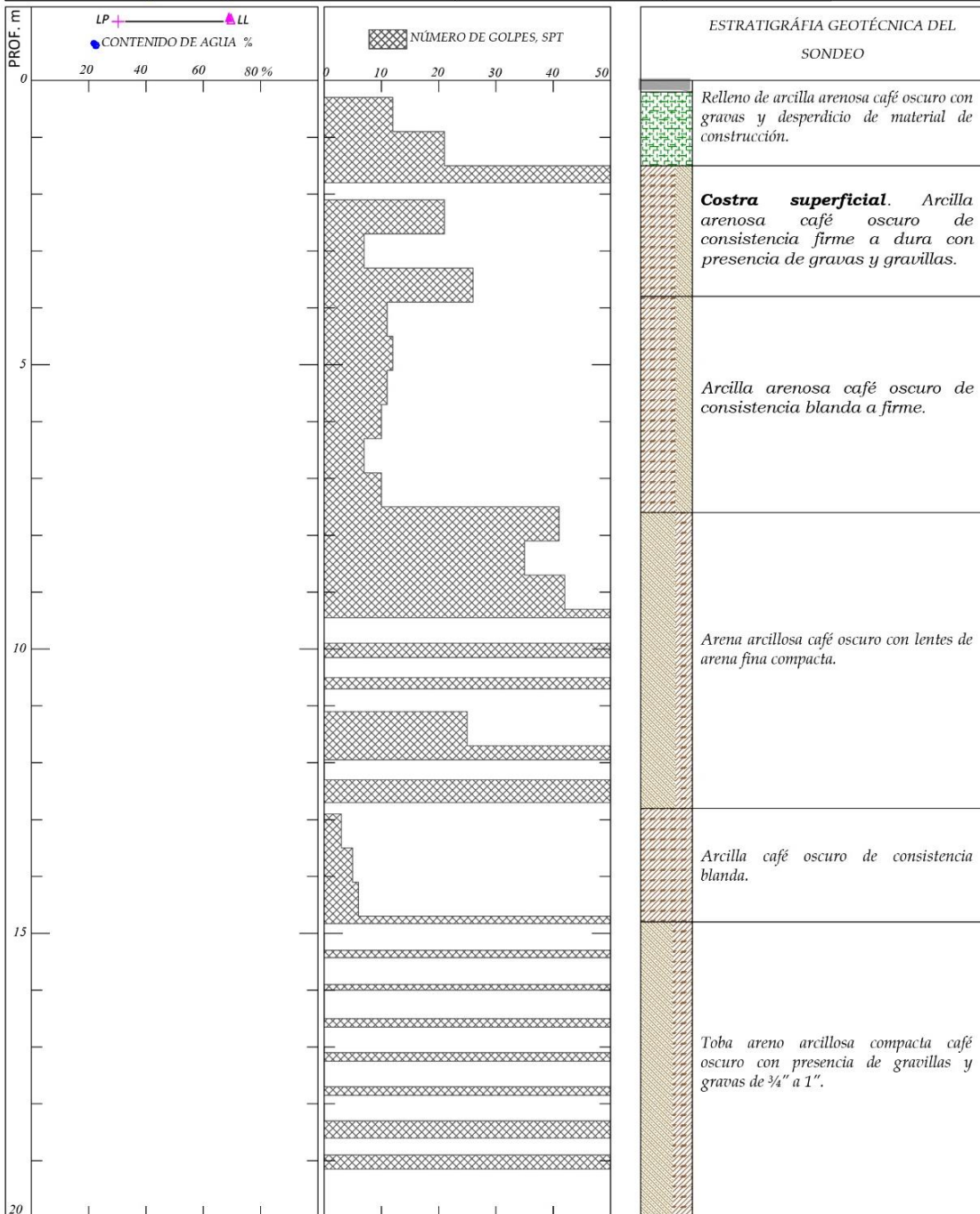


Perfil 1. SPT-1.



# SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

PROYECTO <span style="float: right;"><i>INSURGENTES No. 1082</i></span>	SONDEO <span style="float: right;"><i>SPT-2</i></span>	 CIMANC <small>DIMENTACIONES Y ANCLAJES S.A. DE C.V.</small>
LOCALIZACIÓN <i>Av. Insurgentes No. 1082, Colonia San Borja, Delegación Benito Juárez</i>	PROF. EXPLORADA <i>42.0 m</i>	PROF. NAF



LP= LÍMITE PLÁSTICO  
 LL= LÍMITE LÍQUIDO  
 PH= PESO DE HERRAMIENTA  
 ABT= AVANCE CON BROCA TRICÓNICA

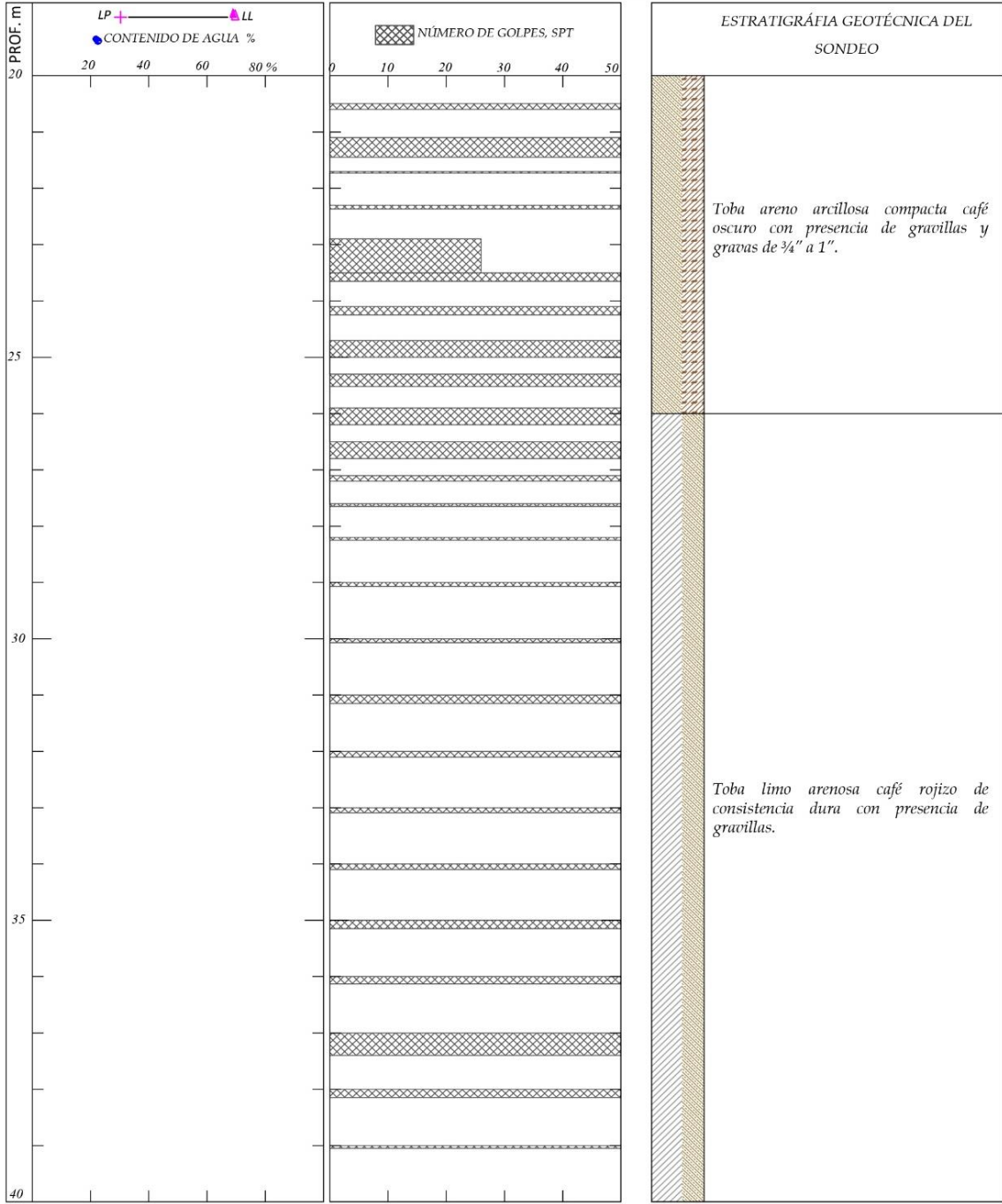
0      20      40      60      80  
 Resistencia de punta,  $q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>)

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



# SONDEO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)

<b>PROYECTO</b> <i>INSURGENTES No. 1082</i>	<b>SONDEO</b> <i>SPT-2</i>	 <b>CIMANC</b> <small>DIMENTACIONES Y ANCLAJES S.A. DE C.V.</small>
<b>LOCALIZACIÓN</b> <i>Av. Insurgentes No. 1082, Colonia San Borja, Delegación Benito Juárez</i>	<b>PROF. EXPLORADA</b> <i>42.0 m</i>	



LP- LÍMITE PLÁSTICO  
 LL- LÍMITE LÍQUIDO  
 PH- PESO DE HERRAMIENTA  
 ABT= AVANCE CON BROCA TRICÓNICA

Resistencia de punta,  $q_c$  (kg/cm<sup>2</sup>)

RELLENO		LIMO	
ARENA		GRAVA	
ARCILLA		RAICES	

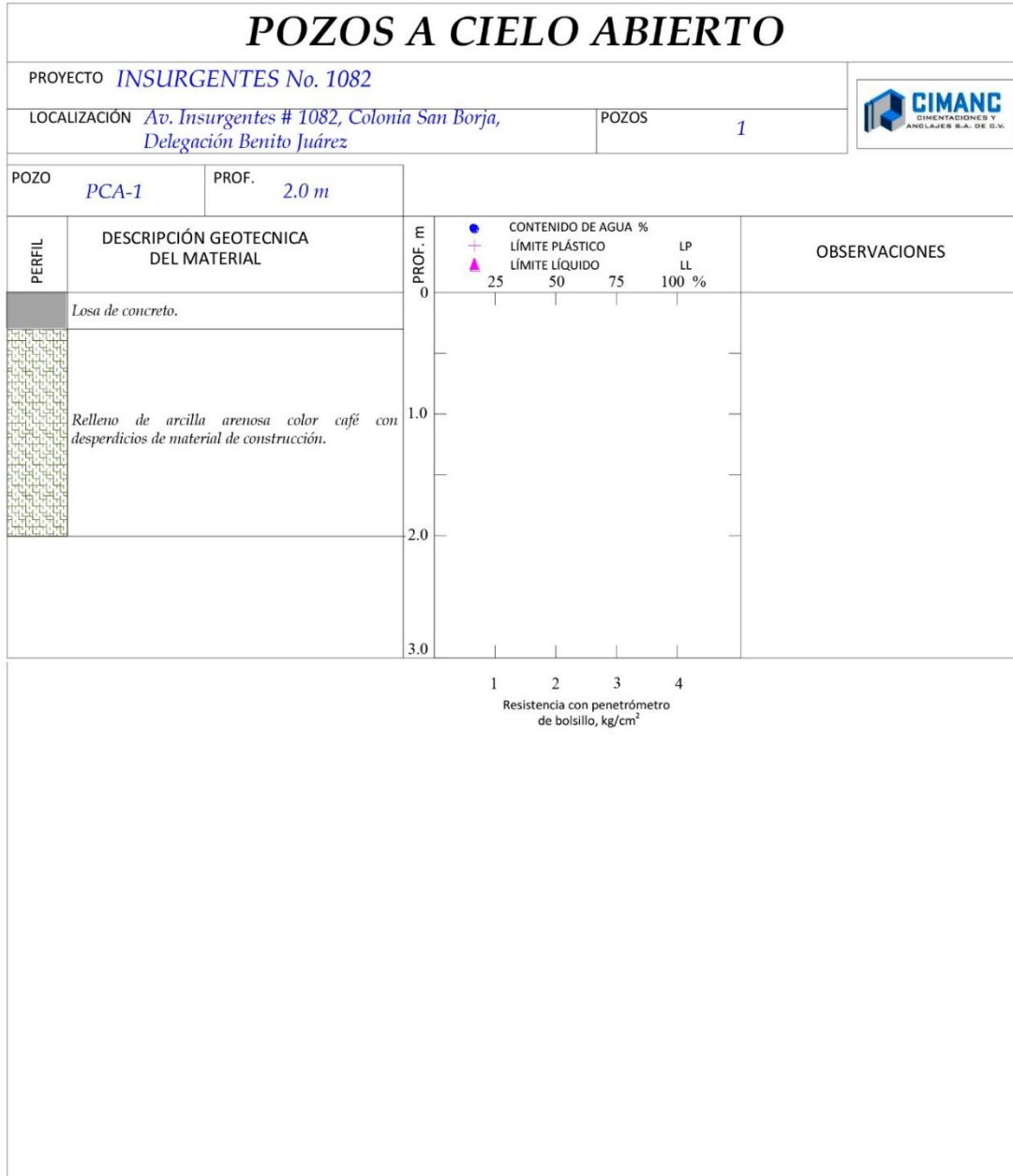
Perfil 2. SPT-2.









Pozo a cielo abierto, PCA. (Ver Perfil 3).

Losa de concreto de 0.0 a 0.3 m.

Relleno de 0.30 a 2.0 m. Estrato conformado por un relleno de arcilla arenosa color café con desperdicios de material de construcción. Nivel freático no localizado.



MC= MUESTRA CÚBICA  
 NAF= NIVEL DE AGUAS FREATICAS  
 TS= TUBO SHELBY

RELLENO 	LIMO 
ARENA 	GRAVA 
ARCILLA 	RAÍCES 

Perfil 3. PCA-1.



### 3.4 Interpretación estratigráfica inicial.

Con base en la información proporcionada por el laboratorio, *EGECIP* realizó la siguiente interpretación estratigráfica considerando también el material en excavación llevada a cabo al terminar demolición:

Rellenos: Losa de concreto de 15 cm de espesor y Estrato conformado por un relleno de arcilla arenosa color café con desperdicios de material de construcción hasta los 1.6 m de profundidad.

Estrato I: Costra superficial de 1.6 a 3.4 m. Conformado por arcilla poco arenosa café oscuro de consistencia media a firme. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) varía entre los 4 el menor y de 13 el mayor.

Estrato II: Arcilla 3.4 a 4.6 m. Constituido por arcilla arenosa poco limosa de consistencia muy firme. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) varía entre 36 el menor y mayores a 43.

Estrato III: Arena arcillosa 4.6 a 7.0 m. Constituido por arena arcillosa poco limosa color café oscuro. El número de golpes medido en SPT varía entre 7 el menor y mayores a 10.

Estrato IV: Depósitos profundos 7.0 a 9.40 m. Constituido por arena arcillosa poco limosa color café verdoso y gris verdoso, con contenido de agua de 50 a 64% de consistencia dura. El número de golpes medido en SPT varía entre 36 el menor y mayores a 45.

Estrato V: Depósitos profundos 9.40 a 11.20 m. Constituido por arena arcillosa poco limosa color café verdoso y gris verdoso, con contenido de agua de 38 a 50% de consistencia muy firme. El número de golpes medido en SPT varía entre 20 el menor y mayores a 22.

Estrato VI: Depósitos profundos 11.20 a 12.40 m. Constituido por arena arcillosa poco limosa color café verdoso y gris verdoso, con contenido de agua de 37 a 53% de consistencia muy compacta. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

Estrato VII: Depósitos profundos 12.40 a 16.60 m. Constituido por arena arcillosa poco limosa color café oscuro, café verdoso y café rojizo, con contenido de agua de 86 a 141% de consistencia media firme. El número de golpes medido en SPT de 4 a 10 golpes.

Estrato VIII: Depósitos profundos 16.60 a 17.80 m. Constituido por arena poco limosa color café verdoso con contenido de agua de 9 a 10% de consistencia muy compacta. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

Estrato IX: Depósitos profundos 17.80 a 22.60 m. Constituido por limo arenoso arcilloso con pocas gravas, color café verdoso con contenido de agua de 25 a 32% de consistencia muy dura. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

Estrato X: Depósitos profundos 22.60 a 24.40 m. Constituido por arena limosa poco arcillosa con gravas, color café con contenido de agua de 15 a 27% de consistencia muy compacta. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

Estrato XI: Depósitos profundos 24.40 a 28.00 m. Constituido por limo arenoso poco arcilloso con pocas gravas, color café con contenido de agua de 23 a 30% de consistencia muy compacta. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.



Estrato XII: Depósitos profundos 28.00 a 35.20 m. Constituido por arena limosa poco arcillosa con pocas gravas, color café con contenido de agua de 16 a 24% de consistencia muy compacta. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

Estrato XIII: Depósitos profundos 35.20 a 38.20 m. Constituido por limo areno poco arcilloso, color café con contenido de agua de 29 a 31% de consistencia muy dura. El número de golpes medido en SPT de más de 50 golpes.

### 3.5 Condiciones piezométricas.

El NAF no fue localizado durante la exploración y excavación, sin embargo, se tuvo presencia de un manto colgado a 8.0 m de profundidad.

### 3.6 Solución de cimentación y procedimiento de excavación.

La empresa proyectista tomo la decisión de llevar a cabo y diseñar la solución de cimentación definitiva a base de pilas coladas in situ y cajón, así como también de llevar a cabo la excavación con muro Milán, el cual fue diseñado también por la empresa proyectista, por lo que no se cuenta con información detallada de cálculo y justificación de dicha solución y procedimiento para el presente trabajo.

Para fines prácticos del presente trabajo, la construcción del muro Milán perimetral para sostener colindancias, se dividirá en zona "A" y "B". En la Zona "A" se estabilizo mediante un muro Milán de 45 cm de espesor desplantado a -38 m a partir del nivel "cero", el cual posteriormente se estabilizo mediante anclaje. En lo que respecta a la Zona "B" se realizó la construcción de un muro Milán perimetral de 60 cm de ancho desplantado a -38 m a partir del nivel "cero" el cual posteriormente se estabilizo con losas definitivas en un procedimiento de excavación y construcción mediante el método denominado Top-Down. En la *Ilustración 4* se indica con línea discontinua azul el muro de 45 cm en zona "A" y con línea discontinua verde el muro de 60 cm en zona "B".

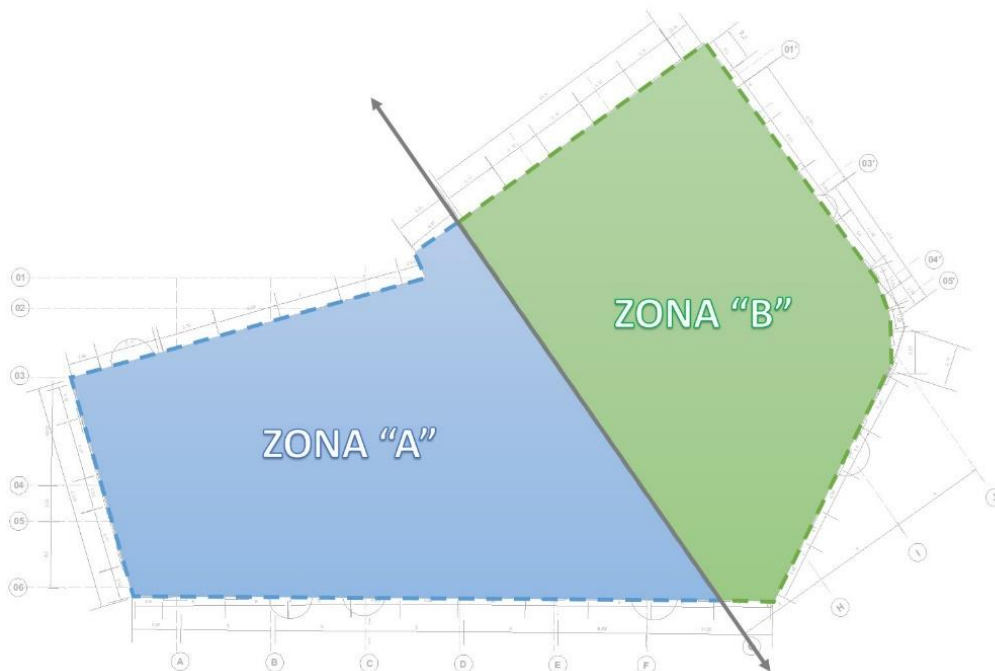


Ilustración 4. Delimitación de muro en Zona "A" y "B".



## 4 Estratigrafía real.

En el desarrollo de la excavación del muro Milán se detectó una estratigrafía diferente a la presentada en el capítulo anterior. La principal diferencia es la existencia de una secuencia de materiales aluviales como boleos y fragmentos de roca que aparecen de los -19 a los -28 m de profundidad, llegando incluso a los -32 m en algunas zonas.

Por lo anterior, dicha excavación fue documentada por la empresa *ICGeo*, quien llevo a cabo entonces un tercer SPT a 60 m de profundidad el cual correlacionó con los resultados proporcionados por el laboratorio inicialmente; en la *Imagen 4* se muestra la ubicación del tercer SPT.



*Imagen 4. Ubicación del tercer SPT realizado por ICGeo.*

De esta manera se llegó a la siguiente interpretación estratigráfica:

De 0.15 a 3.0 m. *Relleno arcilloso* color café grisáceo con desperdicios de material de construcción y lentes de arena fina.

De 3.0 a 8.0 m. *arcilla arenosa* café oscuro de consistencia firme. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) varía entre los 4 el menor y de 32 el mayor.

De 8.0 a 10.5 m. *arena limosa* café oscuro de consistencia firme. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue mayor a los 50.

De 10.5 a 19.0 m. *arena arcillosa* color café con lentes arcillosos y arenosos. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) varía entre los 20 y 40. Existen boleos de 1 a 2 pulgadas de los 17 a los 19 m.

De 19.0 a 22.0 m. boleos de 4 a 12 pulgadas con arena limosa color café. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue superior a los 50.

De 22.0 a 24.0 m. *arena limosa con boleos de 6 a 8 pulgadas* color café. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue superior a los 50.



De 24.0 a 26.0 m. *arena limosa* color café en estado semi-compacto. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue de 25 en promedio.

De 26.0 a 28.0 m. *arena arcillosa* color café con boleos de 4 a 12 pulgadas. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue de 50 con un lente de 25.

De 28.0 a 38.0 m. *arena arcillosa* color café en estado muy compacto con arena gruesa y gravillas. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue de 50.

De 38.0 a 60.0 m. *secuencia de tobas* arena limosas y arcillosa en estado muy compacto con arena gruesa y gravillas. El número de golpes medido en prueba de penetración estándar (SPT) fue de 50.

En la *Ilustración 5 y 6* se muestra la proyección de estratigrafía documentada durante la excavación en diferentes zonas.

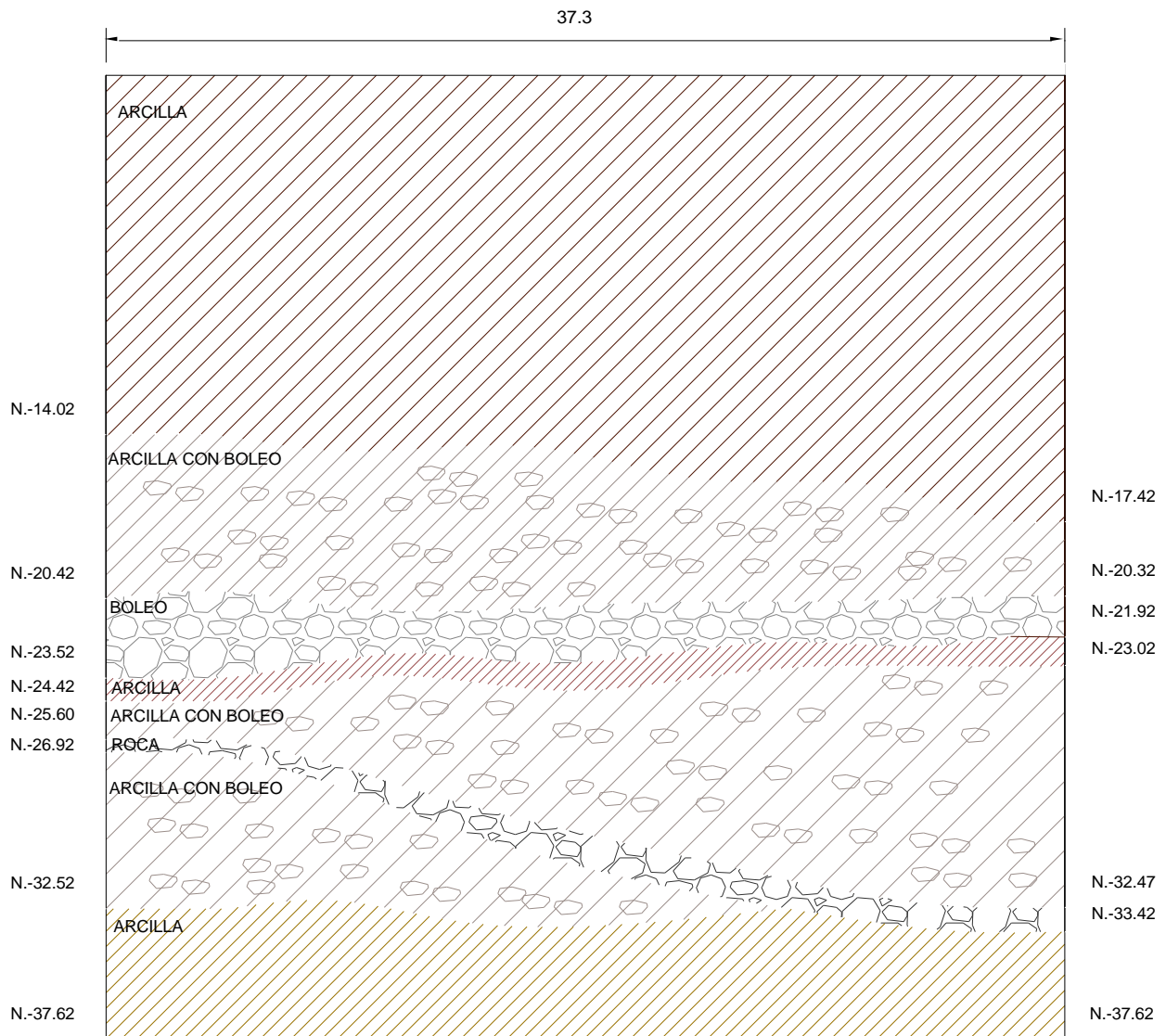


Ilustración 5. Proyección de estratigrafía documentada en la excavación hasta -37.62 m.





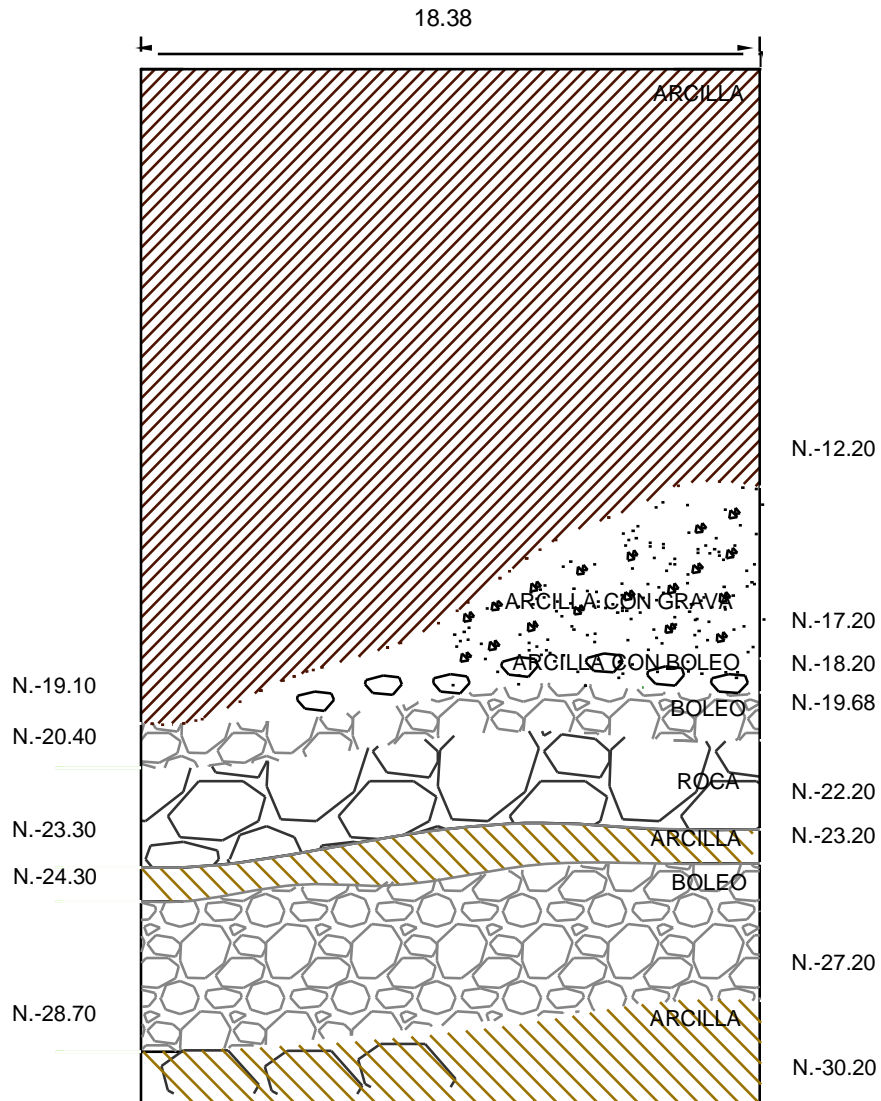


Ilustración 6. Proyección de estratigrafía documentada en la excavación hasta -30.20 m.

El tipo de estructura de las partículas del estrato de boleos es predominantemente granular, semicircular y circular en el caso de los boleos y fragmentos de roca, siendo así la estructura más ventajosa para permitir la circulación de agua y aire.

Debido al tamaño de los fragmentos de roca se generan vacíos o espacios grandes en el contacto entre ellos, permitiendo con esto que fluyan los líquidos como agua, lodo bentónico y concreto.

En la *Foto 2* se observan diferentes boleos extraídos en la excavación.





Foto 2. Boleos extraídos.

#### 4.1 Implicaciones del estrato de boleos y fragmentos de roca en la excavación.

La condición estratigráfica real disminuyó los rendimientos de excavación de módulos del muro Milán y provocó un continuo mantenimiento de la almeja como herramienta de excavación, además de la implementación del uso de trépano a percusión para romper la estructura de los fragmentos de roca más grandes.

Debido a las características antes mencionadas este estrato funciona como un dren natural. En consecuencia, por la alta porosidad del estrato de boleos y rocas permite el paso de fluido como agua, lodo bentónico y concreto. Esto generó un alto consumo principalmente de lodo bentónico para estabilizar las excavaciones, así como un sobreconsumo de concreto.

En lo que respecta al lodo bentónico, el consumo adicional por modulo excavado fue del orden de 0% a 130.31%. (Ver Ilustración 7).

En la Ilustración 8 se presenta una proyección estimada del flujo de concreto en dicho estrato durante el colado.



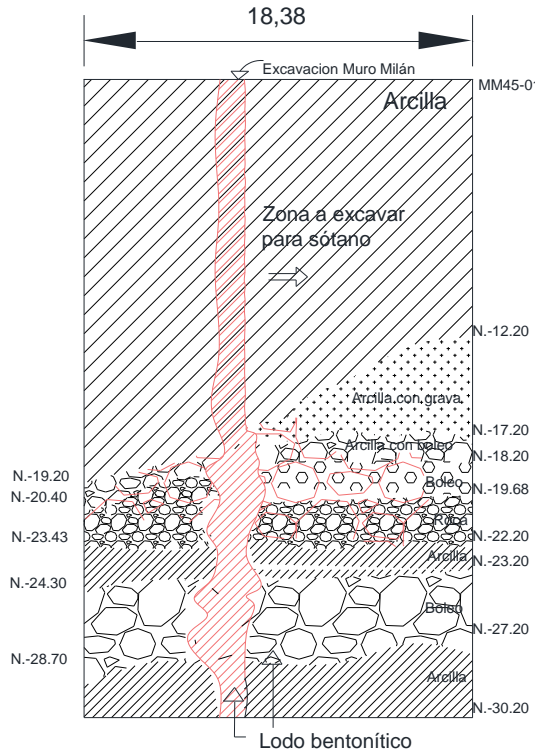


Ilustración 7. Proyección de flujo de lodo bentónico en estratos de boleos y rocas durante la excavación.

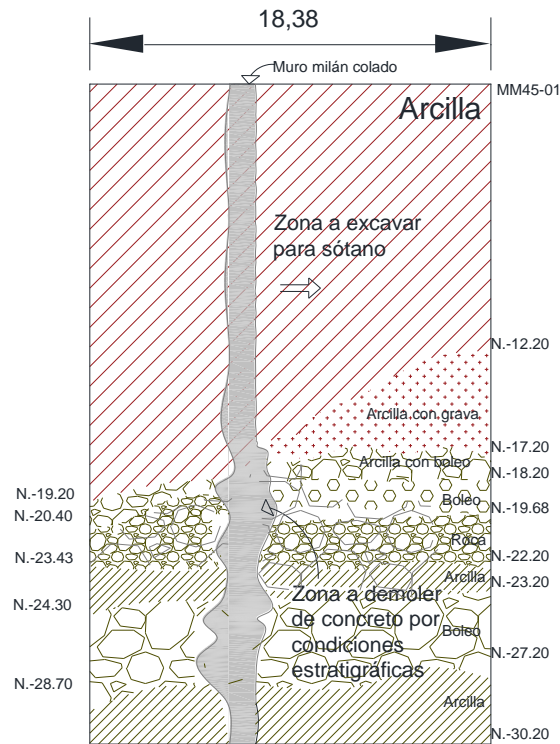


Ilustración 8. Proyección de flujo de concreto en estratos de boleos y rocas durante el colado.



## 5 Procedimiento constructivo de muro Milán.

La ejecución del muro consta de las operaciones siguientes:

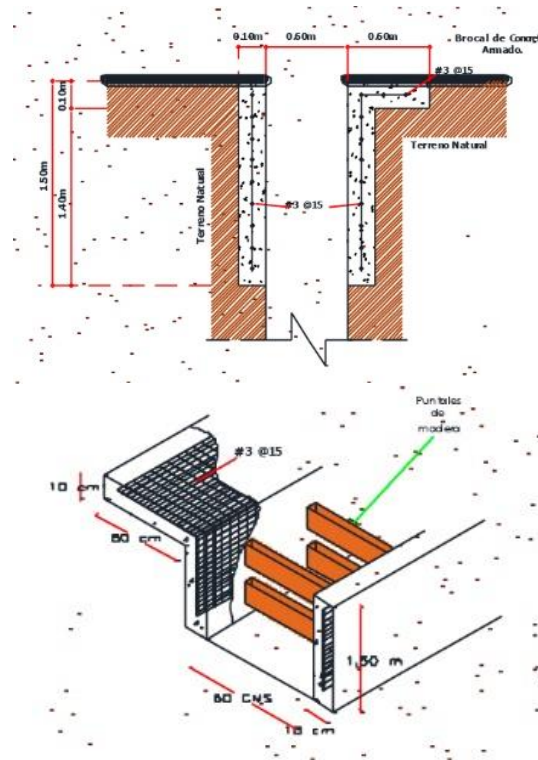
- Construcción de muro guía (Brocal).
- Excavación de tramo de zanja estabilizada con lodo.
- Juntas con tubos metálicos.
- Colocación de armado.
- Vaciado de concreto con tubería Tremie.

### 5.1 Muro guía (Brocal).

Esta estructura de 1.5 m de altura y un ancho de 0.60 m según sea el caso, es ubicado a partir del nivel de banqueta en la superficie del futuro muro de concreto armado y tiene las siguientes funciones:

- Permite marcados y nivelaciones.
- Apoyo para las maniobras (tubo de junta, armado).
- Reserva de lodo al principio de la perforación.
- Estabilidad del suelo en la superficie.
- Guía de los equipos de excavación.
- Soporte de los suelos superficiales cuando presentan problemas de estabilidad.

La *Ilustración 9* muestra de manera esquemática la construcción de un brocal.



*Ilustración 9. Esquema de brocal.*



## 5.2 Selección del equipo para excavación.

De conformidad con la profundidad del muro y las características del suelo, se define cual es el equipo más adecuado para la excavación. La profundidad de desplante del muro Milán es de -38 m por lo que se seleccionó una almeja para ejecución del trabajo. (Ver Foto 3).



Foto 3. Equipo para la excavación.

## 5.3 Excavación de tramos de zanja.

Desde el inicio de la excavación se inyecta lodo para evitar la socavación de la boca de la zanja. Al sacar la herramienta con suelo, debe evitarse la caída de detritus y dejar escurrir el lodo sobrante en la zanja. Durante la excavación se cuida la verticalidad de la herramienta de excavación, evitando desviaciones o inclinaciones en la zanja, garantizando la verticalidad del muro, esto con ayuda de marcas en brocal y pericia del operador de la almeja. (Ver Foto 4).



Foto 4. Excavación de zanja.

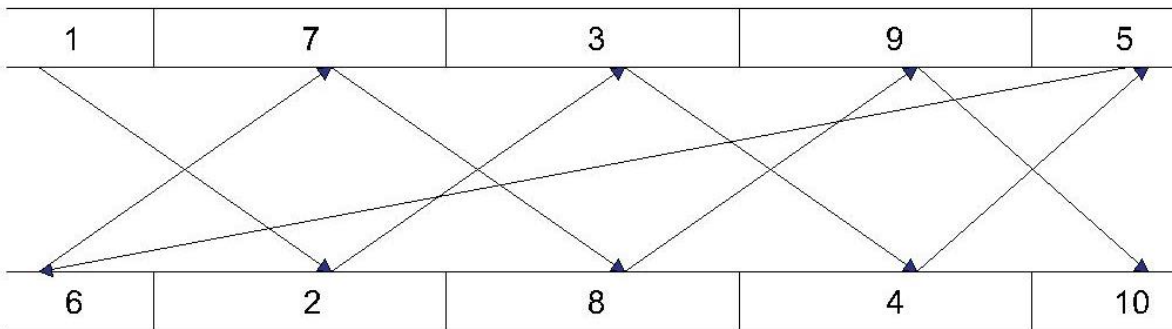


## 5.4 Sistema de excavación.

Para este proyecto la almeja utilizada abre 3.05 m como máximo, por lo que al ser de 6 m de longitud en promedio cada panel, la excavación se realizó en dos posiciones bajando de 3 m en 3 m para excavar la longitud total del panel.

La manera más ordenada y eficiente de construir un muro Milán es como se indica en el esquema de la *Ilustración 10*.

Consiste en una primera etapa de avance, la cual, se detiene cuando los muros iniciales alcanzan la edad mínima, en ese momento el equipo de excavación y colado retrocede para iniciar la segunda etapa de avance, que es la construcción de tableros intermedios.



*Ilustración 10. Secuencia de avance de construcción de paneles.*

## 5.5 Juntas.

En la *Foto 5* se observan juntas tubulares utilizadas en los tableros del muro Milán en este proyecto para lograr el machihembrado entre ellos.

Generalmente son metálicas y constan de un cuerpo tubular de sección rectangular o circular, de ancho igual al muro Milán, que sirve de respaldo y rigidizador a la parte de la junta que deja una huella en el concreto del tablero. En algunos casos esta parte es trapezoidal y también en algunos casos tiene un pequeño canal para alojar una banda de PVC usada como sello entre tablero y tablero.

Se aclara que las juntas se emplean en tableros alternados. Se instalan inmediatamente después de terminar la excavación y antes de que se coloque el acero de refuerzo.

Su extracción se realiza al concluir el colado; es importante determinar el momento en que es conveniente moverlas tomando en consideración el fraguado del concreto ya que pueden quedar atrapadas cuando el concreto se endurece o bien provocar que el concreto fluya hacia el hueco que deja la junta cuando se le levanta si aún no tiene la resistencia adecuada.

Se obtuvieron testigos de fraguado de cada olla de concreto y se monitoreó el tiempo en que se presenta su fraguado inicial. En este momento se procede a mover ligeramente la junta para despejarla, repitiendo esta operación hasta que el concreto tiene auto-soporte y así proceder a retirar las juntas.





Foto 5. Juntas tubulares de sección circular entre tableros.

## 5.6 Colocación del armado.

Se considera dejar un espacio libre de 10 a 15 cm entre el acero para el paso del concreto. Con la finalidad de garantizar una buena cobertura lateral, el armado tendrá un ancho inferior al de la pared de 10 cm aproximadamente. En la *Figura 1* se muestran elementos necesarios del izado para manipular y posicionar el armado, así como fotografías tomadas de la colocación real. Una vez colocada la parrilla se debe amarrar al brocal por medio de unas orejas, para evitar su flotación durante el colado. (Ver *Figura 2*).

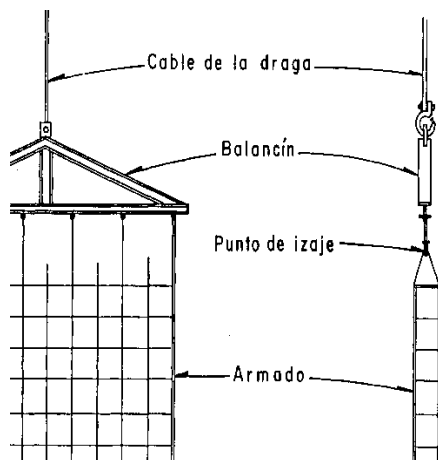


Figura 1. Elementos para izado de armado.



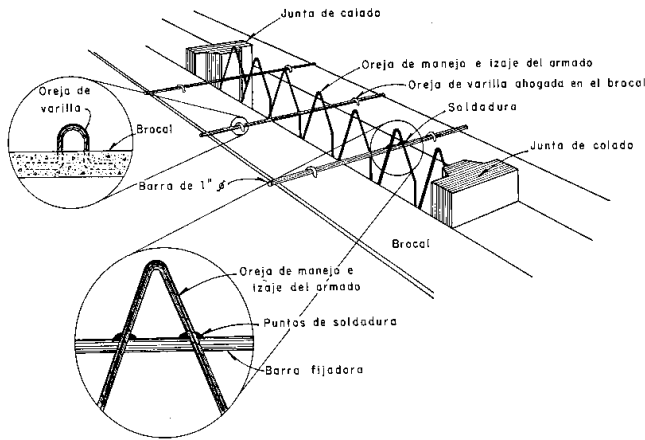


Figura 2. Amarre de parrilla al brocal.

### 5.7 Vaciado de concreto.

El colado se realizó con tubería Tremie bajo lodo bentonítico (Ver Ilustración 11). Cabe agregar que la operación de vaciado no debe ser interrumpida, es decir, debe hacerse en una sola operación. El proceso se inicia con la introducción y armado de las líneas de tubería la cual debe llegar hasta 20 o 30 cm arriba del fondo de la excavación, para vaciar la primera carga de concreto; antes de realizar el primer vaciado debe colocarse un tapón (pelota) en el interior del tubo para que sea empujado por el concreto, desaloje el lodo y sirva como seguro para evitar la penetración del lodo. *Nota.-Para fines prácticos las siguientes ilustraciones correspondientes a vaciado de concreto, demolición de brocal, construcción de trabe de coronamiento, excavación, anclaje y top-down muestran la ubicación del brocal a partir del nivel "cero" o de banqueta, sin embargo, como se comentó en introducción, el brocal se construyó a partir de la excavación por demolición a -3.50 m.*

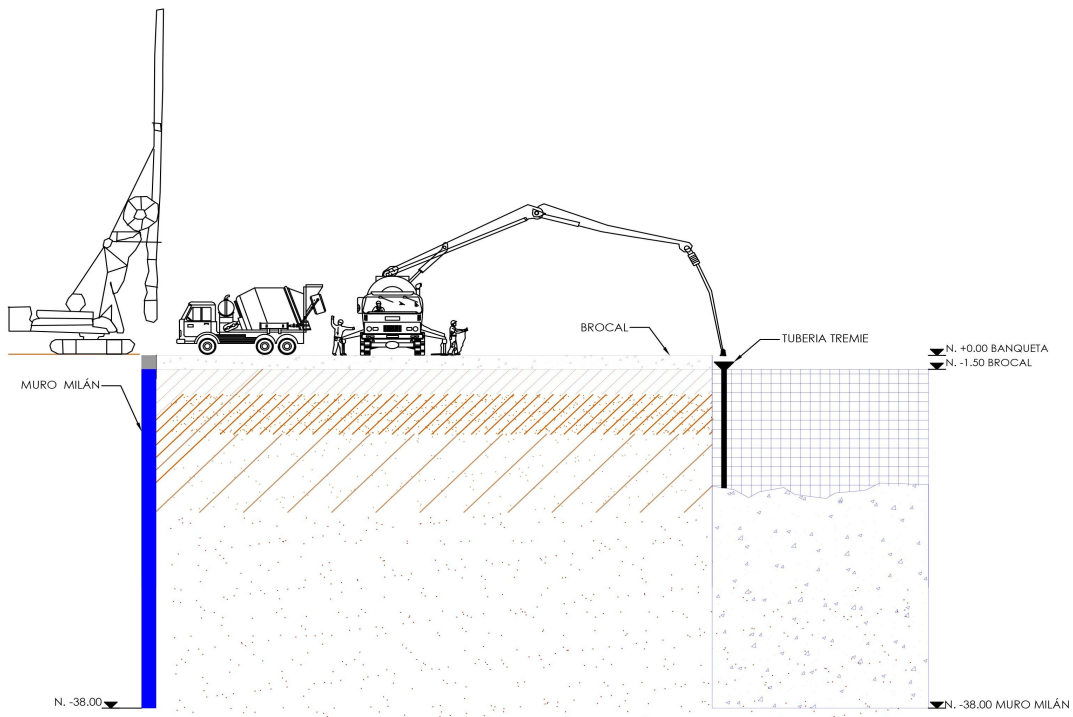


Ilustración 11. Vaciado de concreto.





## 5.8 Demolición de brocal y construcción de trabe de coronamiento.

Al finalizar la construcción del muro Milán en el perímetro del predio, se comenzó con excavación de cepas superficiales para realizar la demolición del brocal y así dar paso a la construcción de la trabe de coronamiento que une estructuralmente a todos los paneles del muro Milán en la parte superior de estos. (*Ver Ilustración 12*).

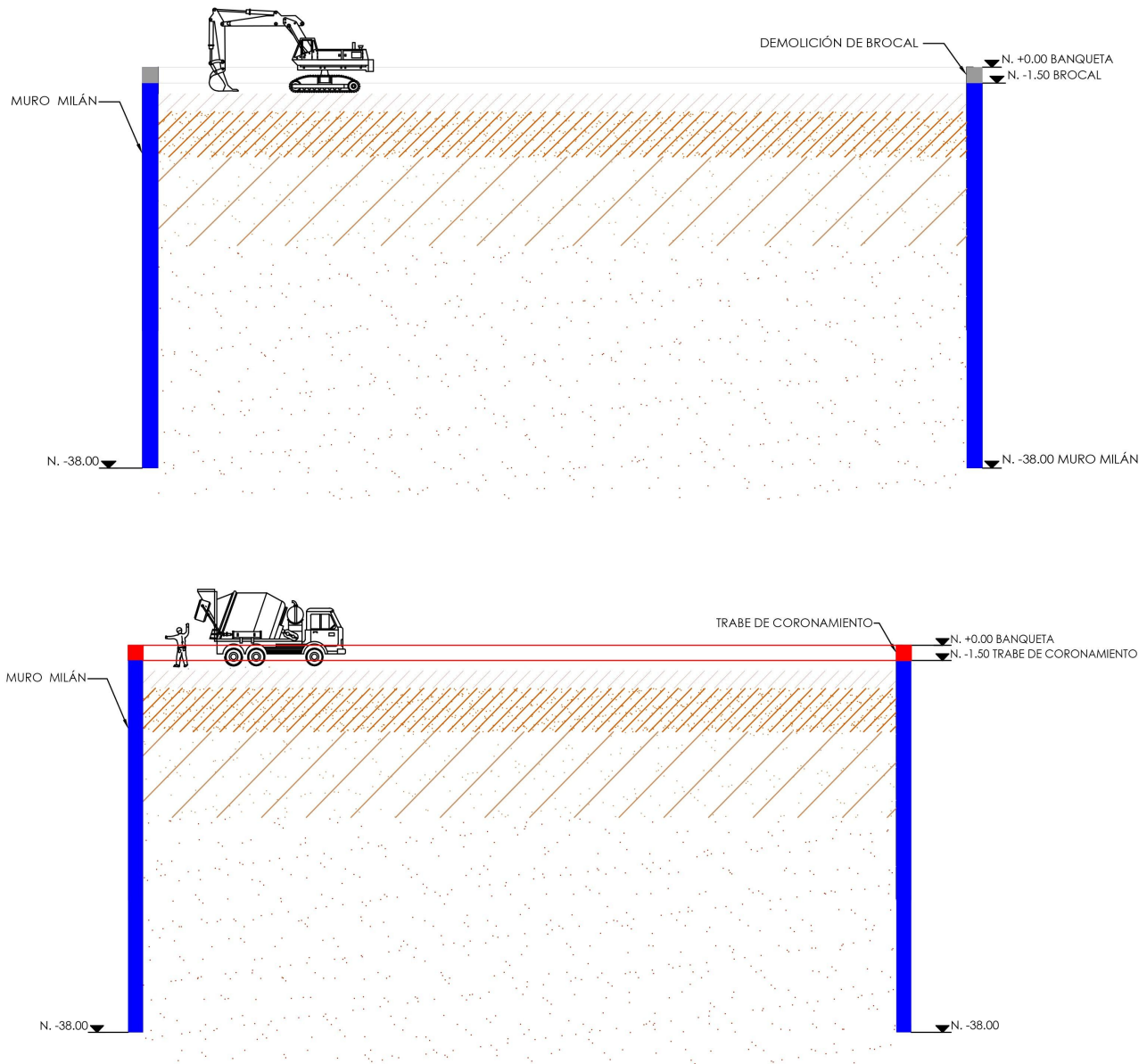


Ilustración 12. Demolición de brocal y construcción de trabe de coronamiento.



## 6 Excavación para sistema de anclaje y top-down.

El procedimiento de excavación inicio ubicando una rampa de acceso con salida a la calle de conveniencia, cabe mencionar que las rampas se pueden considerar temporales y cambiarse de posición conforme la obra lo requiera de acuerdo a su desarrollo. Este procedimiento se ejecuta una vez construido el Muro Milán.

Excavación a -2.5 m, ejecución del 1er nivel de anclaje a -1.50 m sobre muro Milán en zona "A"; EGECEP comienza construcción de pilas de cimentación mediante una perforación desde la superficie hasta -45 m debido al proceso Top Down a desarrollarse en esta zona. La longitud de las pilas va desde el nivel máximo de excavación -33 m hasta el nivel -45 m, donde fueron desplantadas. Al finalizar la construcción de las pilas se ancló un perfil guía a estas, para posteriormente comenzar con el troquelado y construcción de losas para excavación y construcción en Top Down, sistema que fue llevado a cabo por otra empresa. (Ver Ilustración 13).

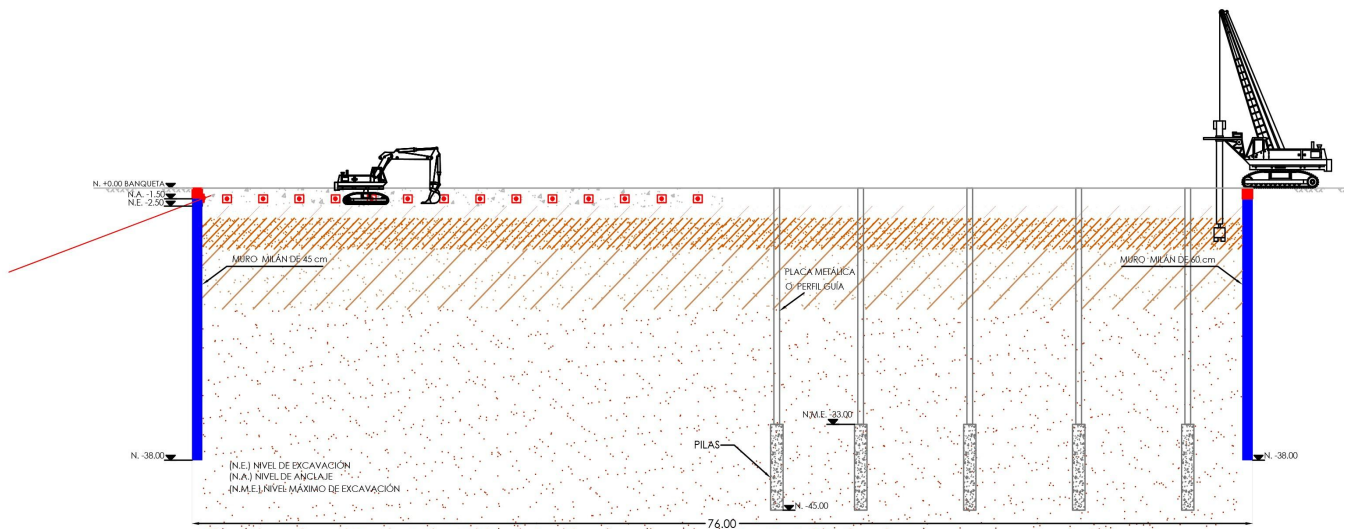


Ilustración 13. Excavación para ejecución del 1er nivel de anclaje y construcción de pilas.

Excavación a -8.30 m, a partir de esta profundidad la excavación se realizó por traspaleo, ejecución del 2do nivel de anclaje a -4.50 m sobre muro Milán en zona "A"; construcción de la losa a nivel +1.00 m sobre muro Milán en zona "B". (Ver Ilustración 14).

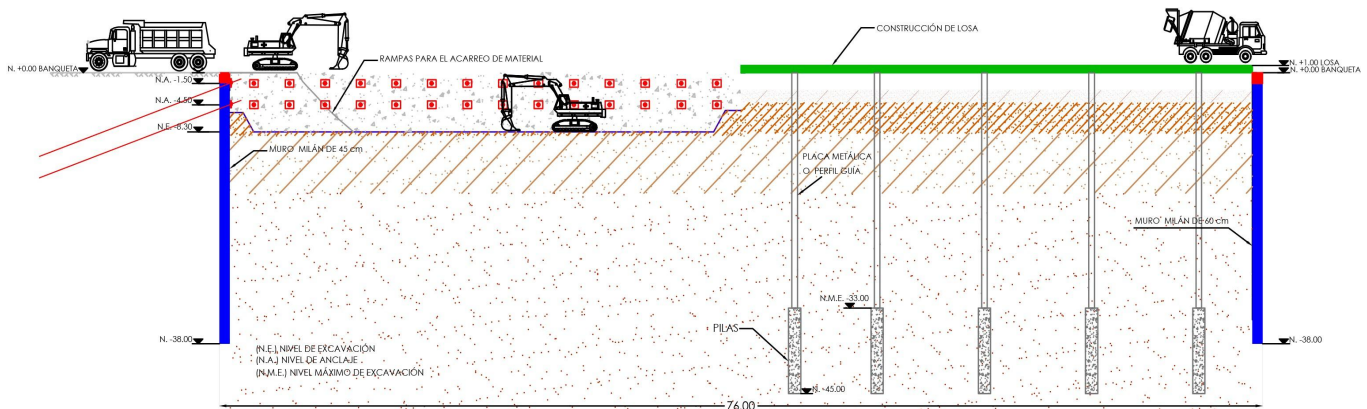


Ilustración 14. Excavación para ejecución del 2do nivel de anclaje y construcción de losa.



Excavación a -11.30 m, construcción del 3er nivel de anclaje a -7.50 m sobre muro Milán en zona “A”; inicio de la excavación y construcción del 1er nivel de sótano sobre muro Milán en zona “B”, se definen los claros en losa para el retiro de material producto de la excavación y construcción. (Ver Ilustración 15).

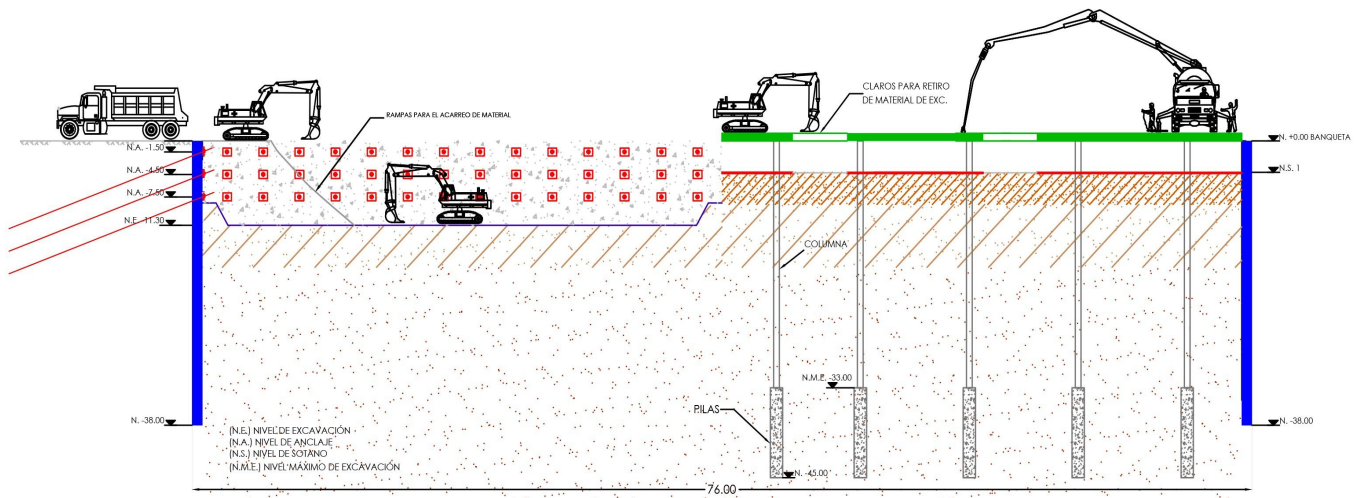


Ilustración 15. Excavación para ejecución del 3er nivel de anclaje y 1er sótano.

Excavación a -14.30 m, construcción del 4to nivel de anclaje a -10.50 m sobre muro Milán en zona “A”; construcción del 2do nivel de sótano sobre muro Milán en zona “B”. (Ver Ilustración 16).

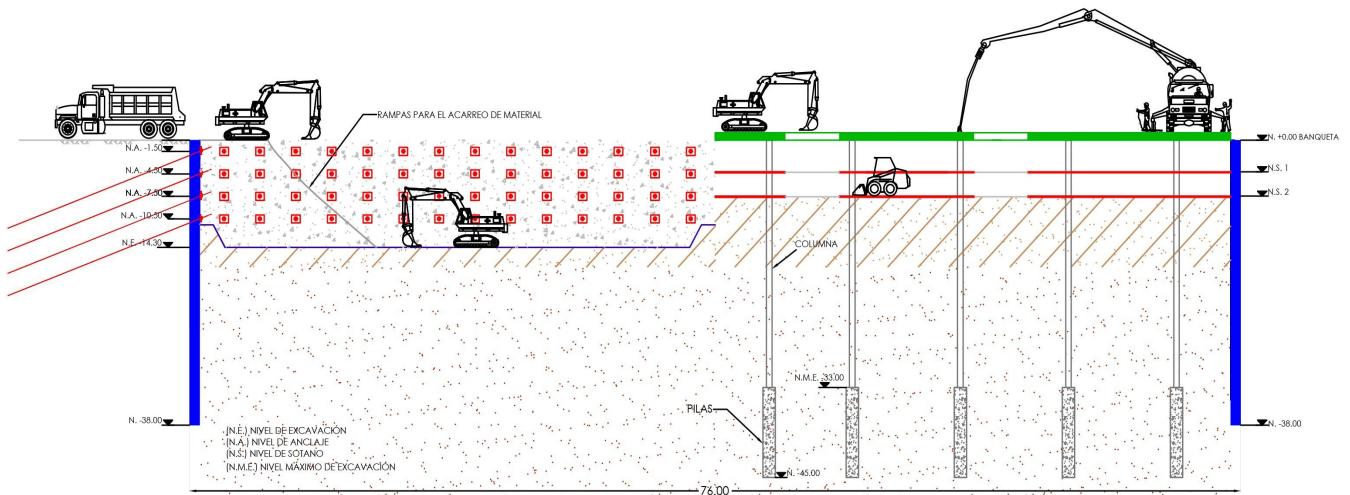


Ilustración 16. Excavación para ejecución del 4to nivel de anclaje y 2do sótano.



Excavación a -17.30 m, construcción del 5to nivel de anclaje a -13.50 m sobre muro Milán en zona “A”; construcción del 3er nivel de sótano sobre muro Milán en zona “B”. (Ver Ilustración 17). Hasta el 7mo nivel de anclaje la excavación se realizó por traspaleo.

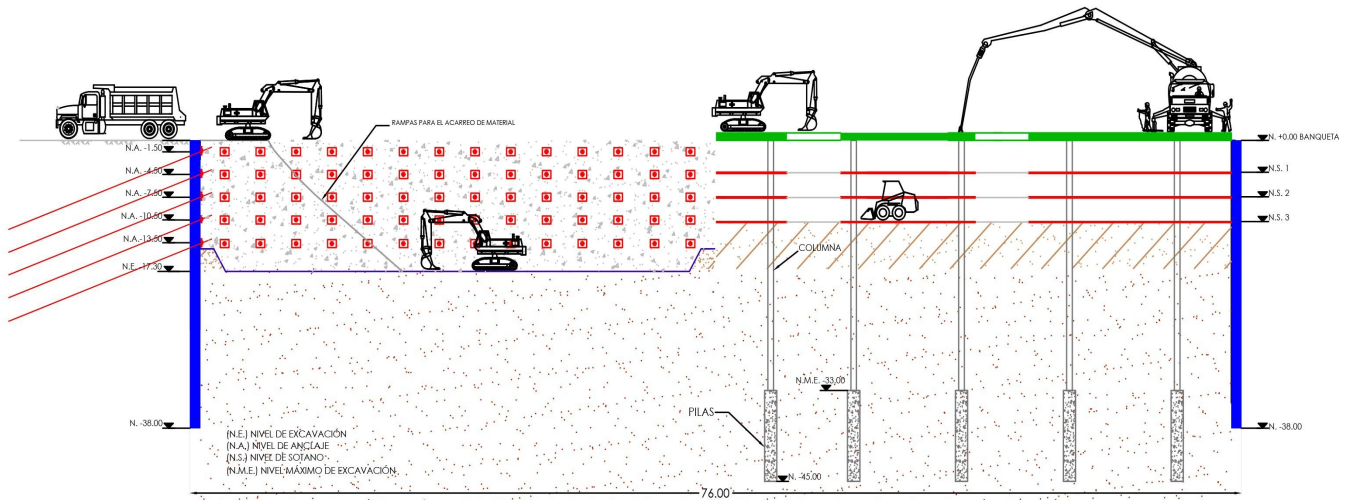


Ilustración 17. Excavación para ejecución del 5to nivel de anclaje y 3er sótano.

Excavación a -26.30 m, a partir de este nivel el procedimiento de excavación se realizó con retroexcavadora y dragas para el retiro de material producto de la excavación, construcción del 8vo nivel de anclaje a -22.50 m sobre muro Milán en zona “A”; construcción del 6to nivel de sótano sobre muro Milán en zona “B”. (Ver Ilustración 18).

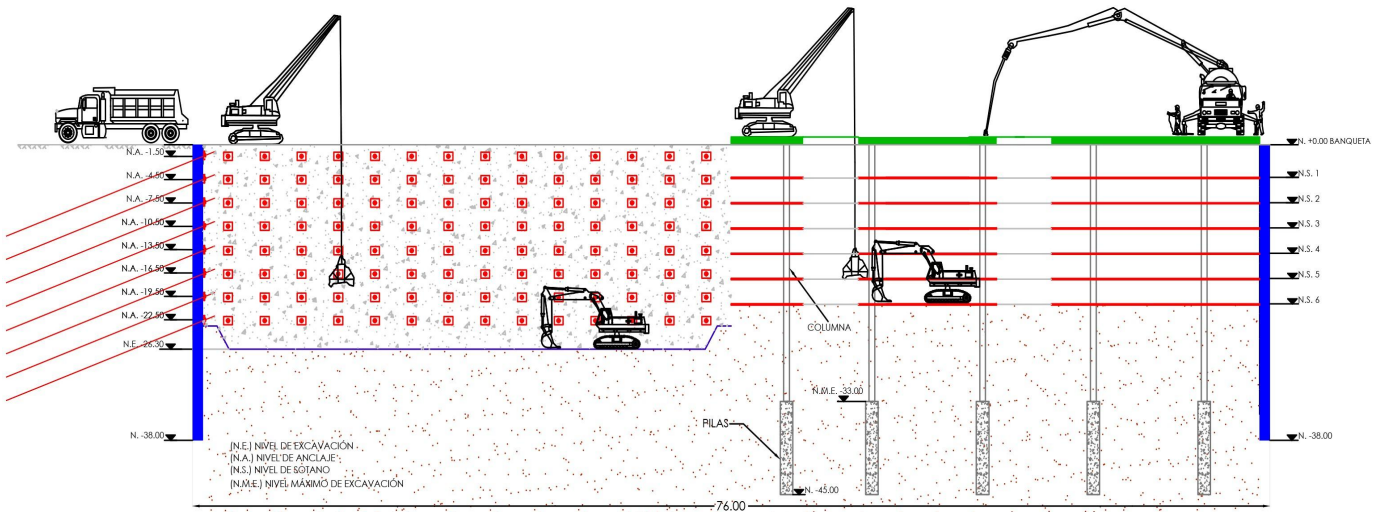


Ilustración 18. Excavación para ejecución del 8vo nivel de anclaje y 6to sótano.



Este proceso se llevó de manera descendente hasta culminar la ejecución del 11vo nivel de anclaje a -31.50 m sobre muro Milán en zona “A”; y la construcción del 10mo nivel de sótano sobre muro Milán en zona “B”. (Ver Ilustración 19).

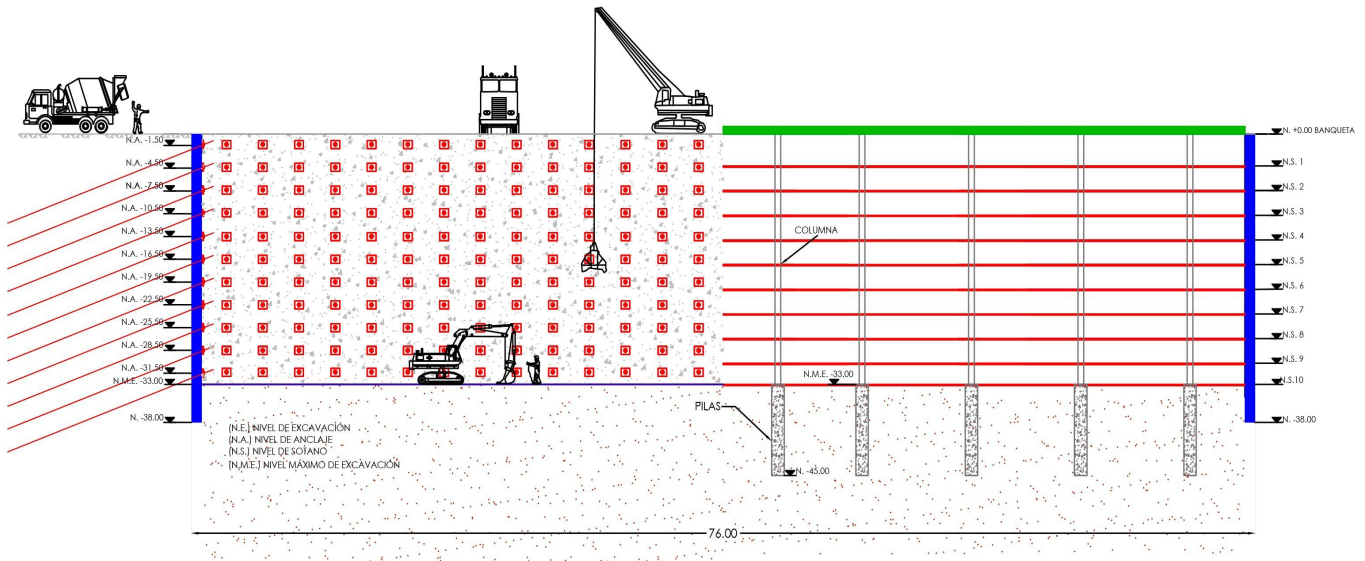


Ilustración 19. Excavación para ejecución del 11vo nivel de anclaje y 10mo sótano.

### 6.1 Consideraciones de anclaje.

Debido a las condiciones del material existente, en la perforación de anclaje se utilizó ademe metálico de 6” de diámetro para garantizar la estabilidad del barreno y evitar caídos dentro del mismo y con ello lograr satisfactoriamente la colocación de las anclas.

En lo que respecta a las anclas las longitudes varían entre 9 m y 36 m con una inclinación de entre 10° y 30°; la longitud del bulbo varía entre 7 m y 9 m y la fuerza de tensado entre 80 ton y 99 ton. Lo anterior según la profundidad o nivel de anclaje y principalmente el material existente según corresponda el estrato en donde se ubican las anclas.

También se tomaron en consideración instalaciones de drenaje, luz, agua, etc., así como las cimentaciones colindantes evitando afectaciones a estas con las anclas.

Las colindancias cuentan con 11 niveles de anclaje cada una; en la *Tabla 1* se muestra la distribución por colindancia, cabe agregar que la colocación de anclas se realizó con un arreglo rectangular.

Tabla 1. Distribución de anclas por colindancia.

Colindancia	Número de anclas por nivel	Total de anclas por colindancia
<b>Poniente (Av. Insurgentes)</b>	18	198
<b>Oriente (Est-1)</b>	14	154
<b>Norte (Calle Sacramento)</b>	7	77



## 7 Propuesta del sistema de instrumentación.

### 7.1 Introducción.

La instrumentación geotécnica es un elemento utilizado en la ingeniería para monitorear el comportamiento de obras de infraestructura mediante la obtención de variables geotécnicas y topográficas por medio de instrumentos de medición, tanto en el procedimiento constructivo como en la operación de obras concluidas, así también para llevar a cabo investigación por medio de modelos y comportamientos basados en teorías ingenieriles. Existen dos categorías generales de instrumentos de medición; la primera categoría se utiliza para la determinación in situ de propiedades de suelo o roca, por ejemplo, resistencia, compresibilidad y permeabilidad, normalmente durante la fase de diseño de un proyecto. La segunda categoría se utiliza para comprobar el comportamiento, normalmente durante la fase de construcción u operación de un proyecto, y puede involucrar medición de presión de agua subterránea, esfuerzos totales, deformación, carga o tensión.

Ejemplos de instrumentos de medición para monitoreo del desempeño de construcciones o sistemas de investigación en campo, se muestran en la *Figura 3*.

- a) Piezómetro hidráulico doble tubo.
- b) Piezómetro de cuerda vibrante.
- c) Stressmeter de cuerda vibrante.
- d) Celda de carga.
- e) Celda de presión.
- f) Strain gage.
- g) Extensómetro multipunto.
- h) Inclínómetro.

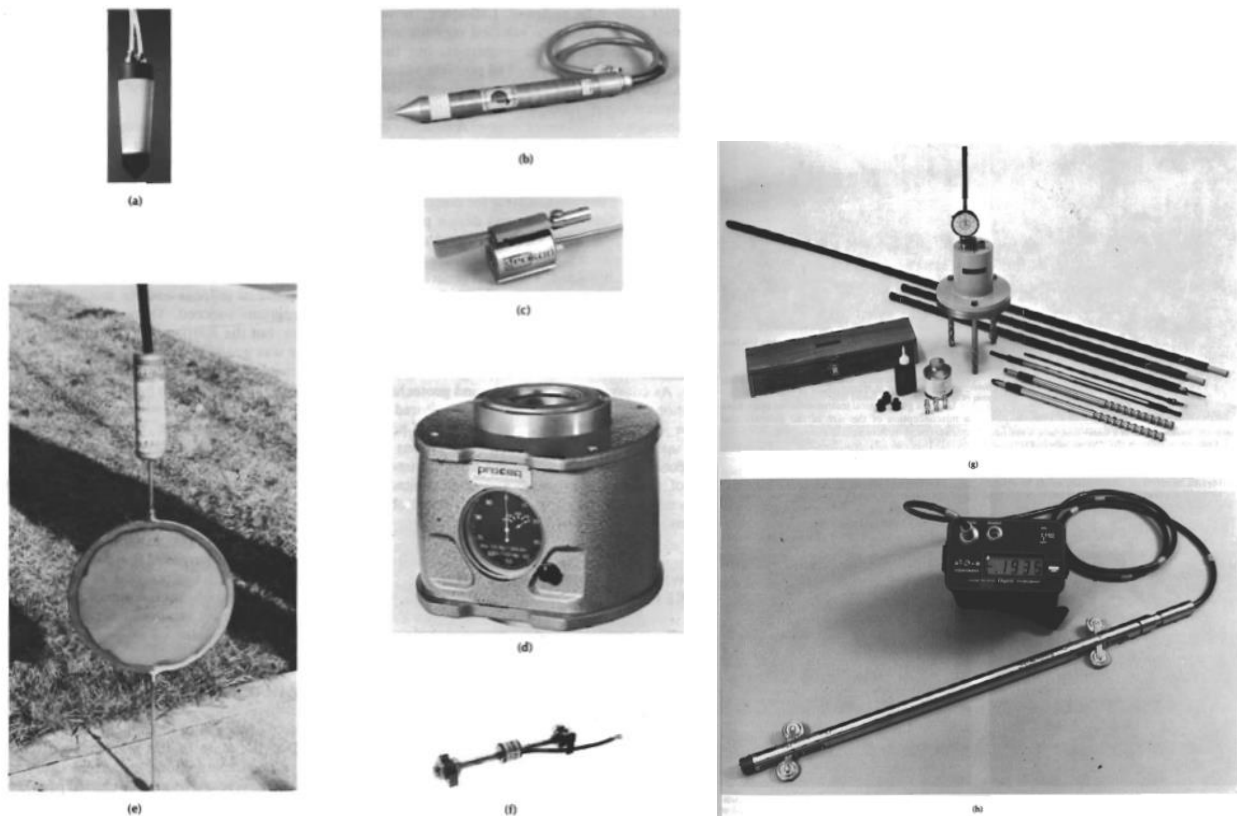


Figura 3. Ejemplos de instrumentos de medición.



Fabricantes de instrumentación geotécnica han desarrollado una gran cantidad de productos valiosos y versátiles para la supervisión de parámetros Geotécnicamente relacionados.

El uso de instrumentación geotécnica no es sólo la selección de instrumentos, es un paso a paso de ingeniería de proceso, que comienza con un objetivo y termina con la aplicación de los datos obtenidos.

## 7.2 Justificación.

El sistema de instrumentación tiene como fin conocer el comportamiento de la estructura, desde la etapa de construcción, para verificar hipótesis y criterios de diseño, y para ajustar procedimientos de construcción y excavación. Este conocimiento permitirá verificar la estabilidad de la excavación, particularmente después de la ocurrencia de cargas extraordinarias como pueden ser sismos, tormentas intensas y, sobre todo, observar las tendencias de los desplazamientos que pueden indicar un comportamiento anormal y/o peligroso.

Considerando lo anterior podemos tomar medidas precautorias, es decir, con base en el comportamiento definido por los resultados de monitoreo de la instrumentación, podemos evitar una falla por medio de elementos de seguridad como podrían ser puntales, troqueles o en un caso fortuito la evacuación del personal para evitar pérdidas humanas.

## 7.3 Metodología de trabajos.

### 7.3.1 Instalación del sistema de instrumentación.

El proceso de instalación se debe regir por el programa general de construcción planteado por la constructora del proyecto y, a partir de este, el programa de implantación del sistema de instrumentación.

El procedimiento de instalación del Sistema de Instrumentación a base de piezómetros abiertos o Casagrande, inclinómetros verticales y extensómetros multipunto se deberá realizar de acuerdo con los procedimientos generales del fabricante de equipos, y de acuerdo con los lineamientos que en este trabajo se indican.

### 7.3.2 Referencias topográficas superficiales.

Estas referencias topográficas se instalarán en la superficie del muro Milán o trabe de coronamiento. Las referencias serán pijas de acero inoxidable con diámetro de 1.27 cm, con punta de gota preferentemente, en su caso podrá sustituirse por clavos de acero para concreto; estas referencias permitirán tener el control topográfico de los movimientos horizontales y verticales superficiales.

Las referencias deberán estar ligadas y ancladas al concreto de manera que sobresalgan sobre la superficie. Se deberá considerar su protección metálica definitiva si lo amerita para evitar que sea dañada durante su vida útil.

Cuando se hayan instalado las referencias será necesario obtener elevación y coordenadas iniciales.

La *Tabla 2* muestra la cantidad y ubicación de referencias topográficas superficiales a instalar.



Tabla 2. Referencias topográficas superficiales.

Instrumento	Nomenclatura	Localización	Cantidad
<b>Referencias topográficas superficiales</b>	RT-1 – RT-12	Lindero Poniente	12
	RT-13 – RT-18	Lindero Poniente	6
	RT-19 – RT-24	Lindero Sur	6
	RT-25 a RT-30	Lindero Oriente	6
	RT-31 a RT-38	Lindero Oriente	8
	RT-39 a RT-41	Lindero Norte	3

### 7.3.3 Referencias topográficas en edificaciones.

Estas referencias topográficas se colocarán sobre las edificaciones colindantes al predio con el objeto de conocer las alteraciones que pudieran ocasionar en ellas los trabajos de excavación. Las referencias serán marcas de pintura en el paramento a 1.5 m por encima del nivel de banqueta en las esquinas al frente de la fachada, estas marcas permitirán tener el control topográfico de los desplomes que pudiesen ocurrir en las edificaciones colindantes.

La *Tabla 3* muestra la cantidad y nomenclatura de referencias topográficas a instalar en edificaciones del lindero oriente. (Ver *Ilustración 20*).

Tabla 3. Referencias topográficas en edificaciones en lindero oriente.

Instrumento	Nomenclatura	Localización	Cantidad
<b>Referencias topográficas en edificaciones</b>	RTE-01 a RTE-04	Edificaciones colindantes	4

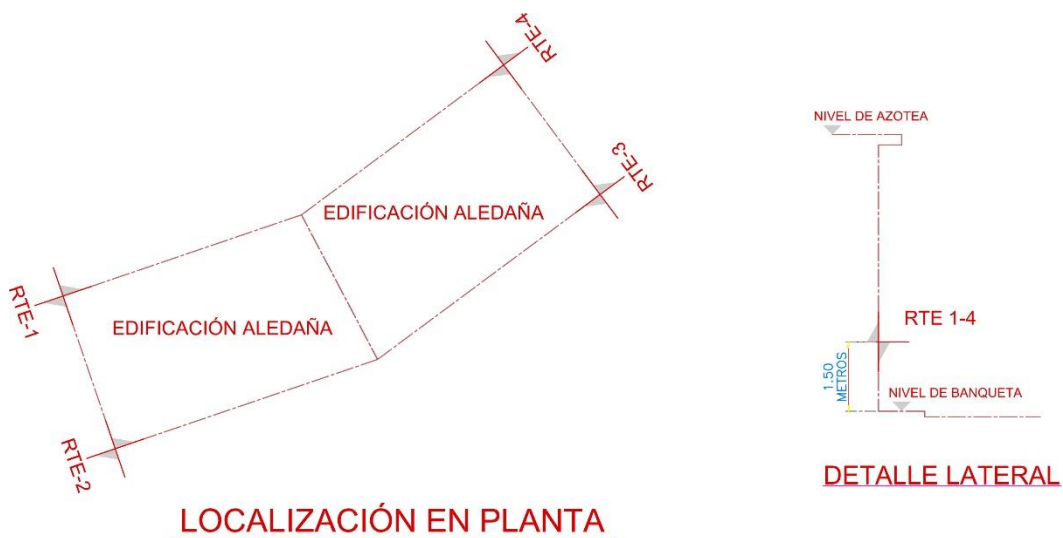


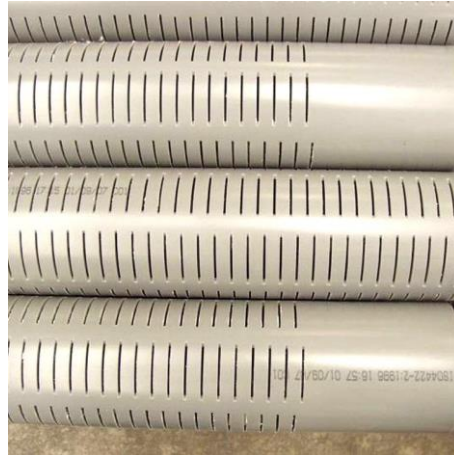
Ilustración 20. Localización de referencias topográficas en edificaciones.





#### 7.3.4 Piezómetros abiertos o de Casagrande.

Un piezómetro abierto o de Casagrande mide el nivel de agua o la presión de poro y consiste en un tubo de PVC corto con ranuras o un cilindro de cerámica porosa, llamado bulbo piezométrico. A uno de estos extremos se le acoplan tubos rectos de menor diámetro hasta alcanzar la superficie. En la *Foto 6* se muestra tubo de PVC ranurado.



*Foto 6. Tubo de PVC ranurado.*

El piezómetro abierto funciona con el principio de los vasos comunicantes. Una celda o bulbo poroso capta el agua del interior del suelo en el punto de interés y la presión que actúa en ese punto la eleva a través de un ducto recto hasta una posición (columna de agua) que equilibra la presión en el bulbo piezométrico; la altura de la columna desde la elevación del bulbo piezométrico hasta el nivel del agua en la tubería, es la medida de la presión de poro en ese punto. La variación de las presiones de poro se obtiene con la medición de las distancias de la superficie libre del agua en el ducto, respecto al nivel de elevación del brocal del tubo de PVC del piezómetro; con esta distancia y el nivel de elevación del bulbo piezométrico, se obtiene la longitud de la columna de agua que interesa.

La instalación de los piezómetros se define principalmente de acuerdo con la estratigrafía del sitio y del nivel de aguas superficiales, sin embargo, debido a que en este proyecto no fue encontrado un NAF, se indica la instalación de estos ya que es común la filtración de agua por fuga en drenaje o tuberías de agua potable, además de que el piezómetro abierto se utiliza en suelos granulares.

En el proceso de perforación para piezómetros no debe emplearse lodo o bentonita, ya que estos materiales alteran la permeabilidad de los materiales del subsuelo impidiendo que la medición del nivel de agua sea correcta, por lo que se requiere el uso de ademe metálico NQ para la instalación del piezómetro y con ello evitar caídos de las paredes de la perforación. Además, será necesario lavar perfectamente el barreno antes de instalar el piezómetro. La instalación será inmediatamente después de realizar el barreno que alojará los piezómetros.

Será necesario elaborar la ficha de instalación, que incluya entre sus datos la localización topográfica del brocal del piezómetro con coordenadas topográficas X, Y y Z.

Para verificar que el instrumento funcione adecuadamente, se debe realizar una prueba de funcionamiento a cada piezómetro recién instalado. Esta información formara parte de la ficha de instalación correspondiente.

Se requiere que los agregados que se utilicen en las cámaras piezométricas estén exentos de limo y arcilla, para lo cual será necesario lavarlos. Las características granulométricas se indican en la *Tabla 4*.



Tabla 4. Granulometría de los agregados de la cámara piezométrica.

Tipo de material	Granulometría	Utilización
<b>Gravilla</b>	Entre 3.96 mm – 6.35 mm	Cámara piezométrica
<b>Arena gruesa</b>	Pasa malla # 4 – retiene malla # 8	Transición
<b>Arena media</b>	Pasa malla # 8 – retiene malla # 30	Segunda Transición
<b>Arena fina</b>	Pasa malla # 30 – retiene malla # 100	Tercera Transición

En la **Tabla 5** se indican dos tipos de mezclas comúnmente utilizadas para sellar los barrenos donde se instalarán los piezómetros.

Tabla 5. Mezclas de lechada utilizadas para sellar barrenos.

Tipo de mezcla	Cemento (kg)	Agua (litros)	Aditivo Intraplast C (gramos)	Aditivo Sikamente NZ (gramos)
<b>Tipo I</b>	50	30	175	175
<b>Tipo II</b>	50	45	675	675

Se deberá formar una cámara piezométrica alrededor de cada bulbo con las siguientes características: una zona permeable, rellena de gravilla de ¼” de diámetro, de longitud variable dependiendo la zona a medir y sobre la cual se debe colocar arena gruesa (pasa malla # 4 y retiene en la # 8), sobre la cual se colocara arena media (pasa malla # 8 y retiene en la # 30), y por ultimo arena fina (para malla # 30 y se retiene en la # 100), para evitar que el filtro pueda ser bloqueado con lechada, arcilla u otro material fino.

Una vez colocadas las arenas, se colocará un sello de lechada de cemento tipo I o tipo II, colocada mediante tubería Tremie hasta llegar a la cámara piezométrica superior o hasta la superficie.

En el caso de encontrar oquedades producto de la disolución de la roca deberán instalarse obturadores que permitan aislar las cámaras piezométricas y sellar el barreno para garantizar el correcto funcionamiento.

En el brocal de la tubería se debe colocar un registro de protección fabricado en acero galvanizado, se deberá correr una nivelación con la que se le dará cota al piezómetro. El registro de protección deberá quedar empotrado en un dado de concreto reforzado. En este caso se colocará a 1 m de distancia del paño exterior del muro hacia la banqueta.

En la **Tabla 6** se muestra la cantidad y ubicación de piezómetros abiertos o Casagrande a instalar.



Tabla 6. Piezómetros abiertos tipo Casagrande.

Instrumento	Nomenclatura	Localización	Profundidad (m)	Cantidad
<b>Piezómetro abierto tipo Casagrande</b>	PIEZÓMETRO-01	Lindero Oriente	36	1
	PIEZÓMETRO-02	Lindero Norte	36	1
	PIEZÓMETRO-03	Lindero Poniente	36	1
	PIEZÓMETRO-04	Lindero Sur	36	1

Se consideran 36 m de profundidad ya que el nivel máximo de excavación es de -33 m y la cámara piezométrica debe estar por debajo de este nivel por lo menos dentro de los -3 m siguientes.

La toma de lecturas en un piezómetro abierto o de Casagrande se realiza con una sonda eléctrica o piezométrica que consiste en un cable de dos conductores eléctricos con una barra cilíndrica pesada de acero inoxidable en su extremo inferior, y un dispositivo de lectura. El extremo superior del cable se conecta a una batería y a un indicador de luz, una alarma o un amperímetro.

La punta se introduce y baja dentro del tubo del piezómetro y, al encontrar la superficie del agua, el circuito eléctrico se cierra y se acciona el indicador. Si se usa un cable graduado, se toma la lectura que corresponda en la posición del nivel del brocal; en su defecto, se marca el cable en ese punto y con una cinta métrica se mide la distancia entre este punto y el extremo inferior del cable. *(Ver Foto 7)*.



Foto 7. Sonda eléctrica o piezométrica.

### 7.3.5 Inclínómetros verticales.

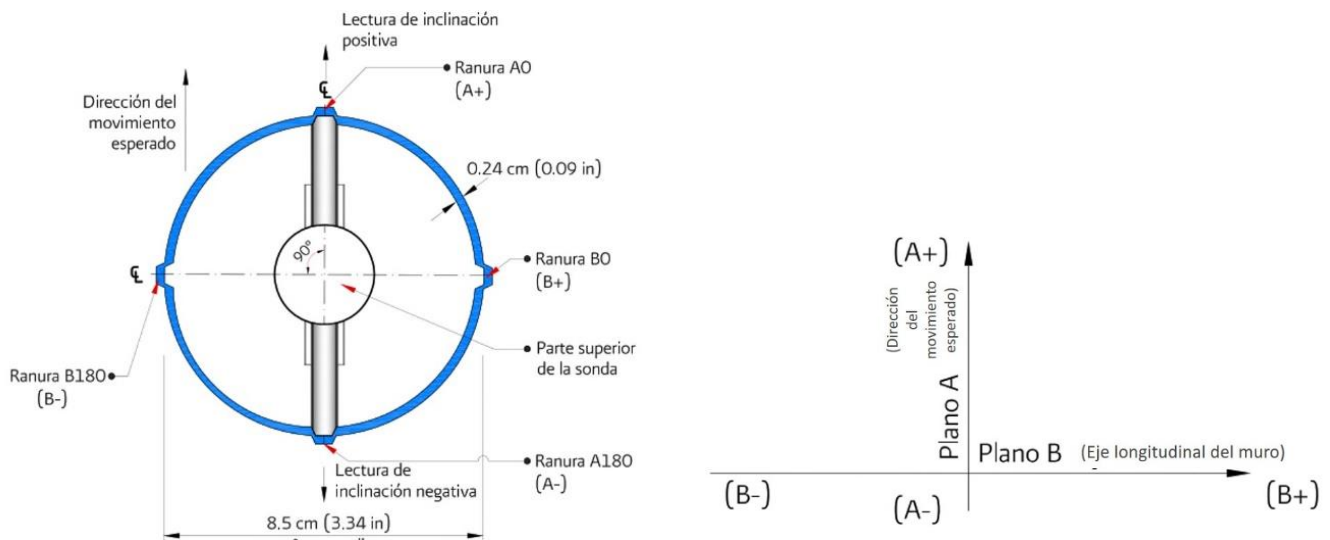
El inclinómetro es un instrumento muy versátil para medir desplazamientos tanto verticales como horizontales de una masa de suelo o roca y también para monitorear la estabilidad de terraplenes y taludes. El inclinómetro mide el cambio de pendiente de un ademe guía colocado dentro de un sondeo o en un relleno, mediante el paso de una sonda guiada o fija en su interior.



La instalación de los inclinómetros verticales se realizará tomando en cuenta los siguientes aspectos:

Todos los tubos ABS que se utilicen para la instalación deberán estar limpios, por lo que será necesario lavarlos con agua libre de impurezas, secarlos y almacenarlos colocando una lona de protección encima de ellos y tapando los extremos con fundas de plástico hasta que sean utilizados.

La tubería ABS para estos inclinómetros será instalada desde nivel "cero". La unión de tubo con tubo se realizará garantizando la conexión. Se ensamblarán los tubos de acuerdo con las especificaciones del fabricante, y se tendrá particular cuidado de que las ranuras de los tubos queden correctamente orientadas en todo momento, tanto en el arranque como durante su prolongación, de acuerdo con los ejes de referencia definidos para el aparato, que es un eje paralelo al sentido longitudinal del muro Milán. En la *Ilustración 21* se muestra la sección de una tubería inclinométrica, así como la orientación de sus ejes.



*Ilustración 21. Sección de tubería inclinométrica y orientación de ejes (A+, B+ y A-, B-).*

Para este proyecto la instalación del inclinómetro se realizará en el muro Milán y se llevará a cabo colocando un tubo de PCV cedula 40 de 8" dentro del armado del muro para que posterior al fraguado se introduzcan los tubos de arranque y toda la longitud de la tubería de cada uno de los inclinómetros dentro de dicho tubo, rellenando el espacio anular entre la pared el tubo de PVC y la tubería con una lechada con la misma resistencia utilizada en el muro.

Una vez posicionando toda la tubería ABS dentro del tubo de PVC, por ningún motivo se deberá girar la columna de tubos, ya que puede ser susceptible a dañarse por torsión. Es importante que previo a la instalación de la tubería ABS será necesario ubicar topográficamente la orientación de las ranuras con dirección de una de ellas hacia donde se esperan los desplazamientos.

El tubo de fondo tendrá un tapón de ABS adosado en la parte inferior. Se deberán sellar las uniones con pegamento especial para tubos ABS y cinta gris para ductos, para asegurar que la lechada no penetre al interior de la tubería del inclinómetro.

El brocal del barreno y las ranuras deberán ser localizados topográficamente con coordenadas X, Y y Z.

Una vez instalado el inclinómetro será necesario obtener la elevación y las coordenadas iniciales de la boca del inclinómetro cada que se realice una instalación.



Al finalizar la instalación de cada conjunto de tubería del inclinómetro, se deberá construir un registro de protección definitivo con brida metálica como protección a la boca del tubo.

La *Tabla 7* muestra la cantidad y ubicación de inclinómetros verticales a instalar.

*Tabla 7. Inclinómetros verticales.*

Instrumento	Nomenclatura	Localización	Profundidad (m)	Cantidad
<b>Inclinómetros verticales</b>	INCLINÓMETRO-01	Lindero Poniente	38	1
	INCLINÓMETRO-02	Lindero Norte	38	1
	INCLINÓMETRO-03	Lindero Oriente	38	1
	INCLINÓMETRO-04	Lindero Oriente	38	1
	INCLINÓMETRO-05	Lindero Sur	38	1
	INCLINÓMETRO-06	Lindero Poniente	38	1

Se considera una profundidad de 38 m ya que es el nivel de desplante del muro Milán, del cual se estarán monitoreando los desplazamientos horizontales.

Las mediciones se realizan con una sonda para inclinómetro vertical, que consiste en un cilindro de acero inoxidable (carcasa) a prueba de agua, de 60 cm de longitud y de 6 cm de diámetro, en donde se aloja el sensor o dispositivo para medir la inclinación con respecto a la vertical, las dimensiones de la carcasa pueden variar según la marca y modelo. La carcasa esta provista de dos pares de ruedas separadas 50 cm.

Durante la toma de lecturas, la sonda mide la inclinación del ademe en dos planos perpendiculares entre sí, de esta manera se obtienen dos conjuntos de datos o lecturas (A+, B+ y A-, B-). Las lecturas se toman a incrementos fijos de 50 cm a lo largo de toda la profundidad. Por tanto, se pueden calcular las componentes horizontales del movimiento tanto transversal como paralela a una cierta dirección del movimiento. Mediante mediciones periódicas se conoce la magnitud, dirección y velocidad de movimiento.

### 7.3.6 Extensómetros multipunto.

Un extensómetro es un instrumento utilizado para medir el cambio de distancia entre dos puntos, cuya separación inicial se conoce.

Para este proyecto se considera un extensómetro eléctrico multipunto con tres niveles de medición o sensores, uno fuera de la superficie de falla y otros dos dentro de esta. Esto con el objetivo de monitorear la apertura o cierre entre los puntos de medición. Los tres puntos de medición serán empotrados a distintas profundidades o distancias dentro de un barreno con una inclinación de 30°.

El instrumento debe funcionar de forma hermética, por lo que todos los transductores de desplazamiento del extensómetro deberán estar perfectamente sellados. Para la instalación se requerirá dejar la preparación de un barreno estable de 3" a 4" de diámetro, que en este caso deberá ademarse por las condiciones del material y evitar caídos de las paredes del barreno, además de que deberá estar libre de azolve.



Dicho barreno requiere de 1 m de longitud más largo que la longitud total del extensómetro multipunto. Las anclas y los sensores deberán estar separados por secciones de extensión, las cuales podrán ser de longitudes de 1, 2 o 3 m.

Las secciones de extensión serán barras rígidas de acero de 9.5 mm de diámetro, protegidas por un tubo telescópico exterior de PVC de 16.8 mm de diámetro.

La *Tabla 8* muestra la cantidad y ubicación de extensómetros multipunto a instalar.

*Tabla 8. Extensómetros multipunto.*

Instrumento	Nomenclatura	Localización	Longitud	Longitud	Longitud	Inclinación (°)	Cantidad
			1er punto (m)	2o punto (m)	3er punto (m)		
<b>Extensómetros multipunto</b>	EXTENSÓMETRO-01	Lindero Poniente	20	24	28	30	1
	EXTENSÓMETRO-02	Lindero Norte	20	24	28	30	1
	EXTENSÓMETRO-03	Lindero Oriente	20	24	28	30	1
	EXTENSÓMETRO-04	Lindero Oriente	20	24	28	30	1
	EXTENSÓMETRO-05	Lindero Sur	20	24	28	30	1
	EXTENSÓMETRO-06	Lindero Poniente	20	24	28	30	1

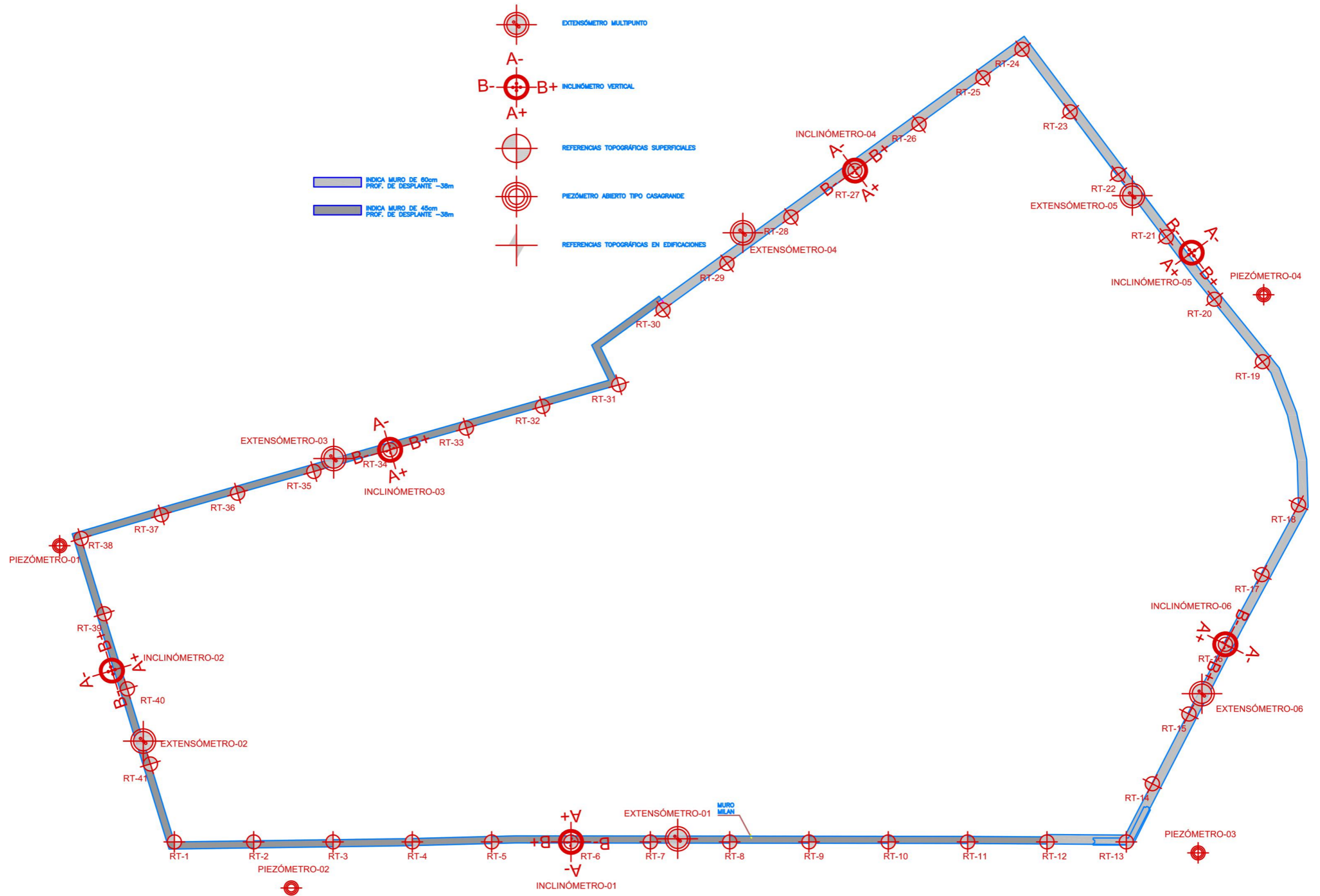
Los barrenos a realizar para la colocación del extensómetro se realizarán entre el nivel 1 y 2 de las líneas de anclaje, es decir, a -3 m a partir del nivel de banqueta y además se ubicará de manera que se consiga un arreglo en tresbolillo con 4 anclas de los niveles mencionados.

El movimiento relativo puede medirse en forma mecánica o en forma eléctrica. La mayoría de los extensómetros multipunto contienen hasta 5 sensores de cuerda vibrante (VW). Éstos se encuentran conectados a un cable multi-conductor, el cual permite las lecturas desde la superficie.

Una vez instalado el extensómetro será necesario obtener registro de las primeras lecturas.

En la *Ilustración 22* se muestra planta general con propuesta de instrumentación.





**LOCALIZACIÓN DEL SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN**

Ilustración 22. Planta general con propuesta de sistema de instrumentación.



## 7.4 Medición del sistema de instrumentación.

Como se mencionó anteriormente el proceso de medición se debe regir por el programa general establecido, es decir, el programa de obra, con el cual se define la frecuencia de las mediciones que dependerá de la etapa en la que se encuentre el proyecto de construcción, y de las necesidades o anomalías que se presenten en algún momento.

El proceso de medición debe realizarse de acuerdo con los procedimientos generales de operación del fabricante de los equipos y a los procedimientos específicos para el sistema de instrumentación. El proceso de la información recabada de las mediciones consistirá en realizar todos los cálculos numéricos necesarios para obtener el valor de las variables que se controlan, elaborar las gráficas que presenten con claridad esos valores de acuerdo con los procedimientos que se especifiquen para tal fin y emitir un informe oportuno y confiable para sus análisis y consulta.

Dos premisas fundamentales de las mediciones son que los datos tienen que ser confiables y oportunos, obtenidos por el personal capacitado empleando equipo calibrado y verificado.

Durante la instalación del sistema de instrumentación se debe realizar mediciones inmediatamente después de la colocación de piezómetros, inclinómetros y extensómetros, y durante las secuencias de excavación con la finalidad de detectar oportunamente cualquier anomalía en la instalación o riesgo en el sistema de sostenimiento.

El programa de mediciones podrá ser ajustado debido a los resultados obtenidos en las mediciones, a juicio del ingeniero responsable de la instrumentación, la siguiente *Tabla 9* muestra la frecuencia de mediciones.

*Tabla 9. Frecuencia de mediciones para el sistema de instrumentación.*

Instrumento	Frecuencia de medición (semanal)	Medición	Comentarios
<b>Piezómetros abiertos</b>	Dos	Nivel de agua	Se realiza una lectura por medición.
<b>Referencias topográficas</b>	Dos	Coordenadas X, Y, Z	Si hay evidencia clara de movimiento realizar las mediciones tres veces por semana.
<b>Inclinómetros verticales</b>	Dos	Desplazamiento horizontal	
<b>Extensómetros multipunto</b>	Dos	Apertura o cierre entre los puntos de medición	

## 7.5 Proceso de datos del sistema de instrumentación.

El proceso de datos de campo consiste en realizar los cálculos numéricos necesarios para obtener el valor de las variables que se controlan, elaborar graficas con claridad de esos valores y sus tendencias de acuerdo con las especificaciones elaboradas para este fin, y emitir un informe oportuno para su análisis y consulta.





### 7.5.1 Revisión de resultados.

La revisión de los resultados del cálculo permite asegurar la confiabilidad de las lecturas. Para ello, el operador de los equipos debe conocer y demostrar el dominio de los procedimientos de toma de lecturas, del principio de medición y características de los instrumentos de medición (precisión, incertidumbre, resolución, intervalo de medición, etc.); debe tener conocimiento del proyecto de instrumentación y conocer los objetivos, y principalmente conocer los procedimientos de cálculo.

Un procedimiento inmediato y sencillo de verificación consiste en comparar los resultados numéricos con las mediciones inmediatas anteriores; si las diferencias son grandes sin causa aparente, se debe revisar con detalle el dato desde el registro de campo, incluso realizar una nueva medición.

Otro procedimiento de revisión de resultados consiste en graficar las variables que se controlan con respecto al tiempo, y observar su evolución. Si las variables no siguen una tendencia definida que responda a un cambio físico de la estructura (por ejemplo, incremento en los niveles de excavación), o se observan cambios significativos y aislados en los valores, entonces hay una probabilidad alta de que los datos sean erróneos; sin embargo, también pudieran indicar la presencia de anomalías en el proceso de datos.

Para ello, cualquier cambio brusco de valores o cambios de las tendencias observadas de alguna variable, resultado del proceso de datos, debe notificarse a la brevedad al ingeniero asesor del proyecto quien debe ordenar las acciones de medición, inspección o recalcu necesario para verificar la confiabilidad del dato y el proceso, antes de emitir un aviso de la existencia de alguna anomalía en el proyecto.

### 7.5.2 Informes de mediciones.

Los informes deben incluir toda la información disponible de manera que facilite el análisis, y debe incluir las gráficas que muestren la evolución de las variables que se controlan y sus cambios con respecto al tiempo en que se ejecuta la excavación para la cimentación y la construcción del edificio.

Los informes deben cumplir con los requisitos de ser confiables y oportunos, para construir un elemento de gran valor en la toma de decisiones que conciernen a la seguridad de la estructura, durante toda la etapa de construcción del proyecto.

Se emitirá un informe de inicio de trabajos del Sistema de Instrumentación con la siguiente información: avance en la construcción y colocación de instrumentos, incidencias, reporte y mediciones de anomalías detectadas, si las hubiera, y entrega de fichas de instalación. Asimismo, se deberán emitir informes mensuales con la siguiente información: archivos de datos y graficas de comportamiento de las mediciones de los instrumentos instalados.

## 7.6 Deformaciones permisibles en la estructura.

### 7.6.1 Alarmas de evaluación de riesgo en las deformaciones de la estructura.

La generación de alarmas nos permitirá la predicción del comportamiento real de la estructura y superestructura, consiste en la respuesta de la estructura bajo un conjunto de cargas aplicadas y de las condiciones que razonablemente se espera que ocurran durante la construcción de la edificación.

La metodología que se describe a continuación permitirá tener control de las deformaciones que se presenten y asimismo la toma de decisiones en el caso de ocurrir anomalías que pongan en peligro al proyecto.



#### 7.6.1.1 Primer nivel de evaluación (Evaluación Rápida).

Ante este nivel es necesario se tenga certeza en los resultados obtenidos, por lo cual será necesario corroborar los resultados cuando menos con tres lecturas subsecuentes. Para este nivel de evaluación se sugiere que los desplazamientos y deformaciones no superen en tres veces la magnitud entre la lectura anterior y la inmediata.

#### 7.6.1.2 Segundo nivel de evaluación (Evaluación Detallada).

En este nivel de evaluación se debe realizar una revisión visual que permita detectar cualquier anomalía que ponga en peligro la estructura. Si después de esta evaluación detallada se observara algún mecanismo de riesgo y al mismo tiempo en el primer nivel se observará un incremento en los desplazamientos y presión de poro será necesario analizar a detalle el criterio propuesto para el sistema de sostenimiento de la estructura.

Así también se recomienda disminuir el intervalo de tiempo entre mediciones tomando lecturas diarias; si se detectan anomalías en este lapso, aunque se encuentre dentro de rangos permisibles, se deberá considerar pasar al siguiente nivel de evaluación.

#### 7.6.1.3 Tercer nivel de evaluación (Evaluación Insegura).

Si después de la evaluación de los dos niveles anteriores se observa una tendencia clara en las deformaciones que presente la estructura será necesario en este nivel tomar acciones preventivas y/o correctivas al sistema de sostenimiento propuesto.

## 8 Memoria fotográfica del procedimiento constructivo de muro Milán en Insurgentes No. 1082.



Foto 8. Armado de brocal.





Foto 9. Cimbrado de brocal.



Foto 10. Colado de brocal.





Foto 11. Colado de brocal.

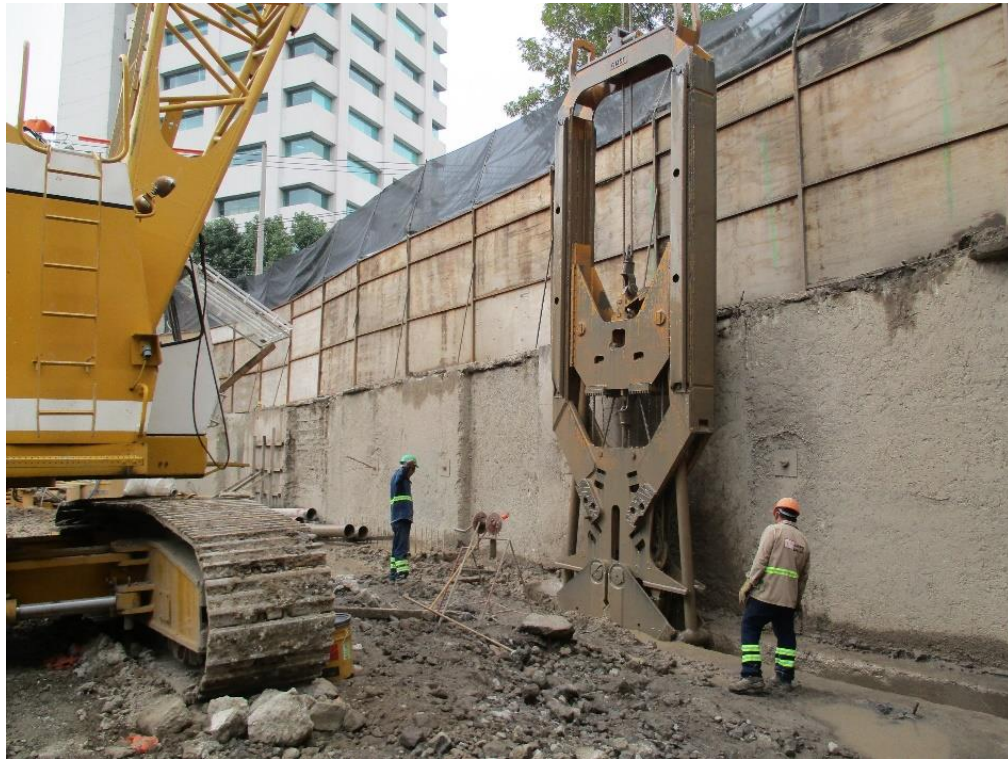


Foto 12. Excavación de zanja con almeja.





Foto 13. Retiro de material de excavación de zanja.



Foto 14. Boleos producto de excavación de aproximadamente 90 cm de diámetro.



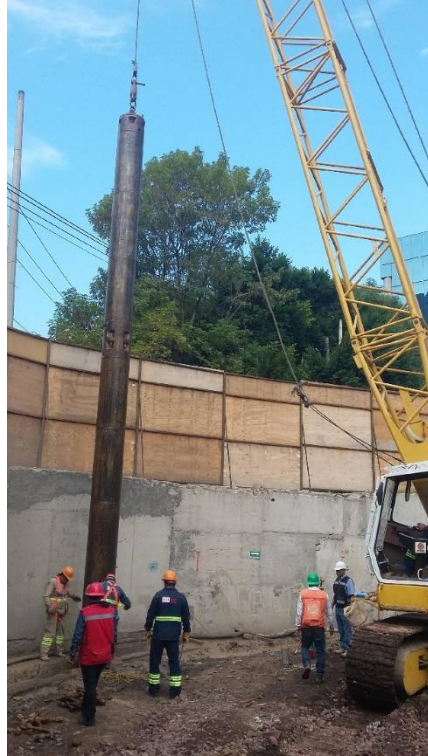


Foto 15. Junta metálica de sección circular para machihembrado de paneles.



Foto 16. Colocación de junta en zanja.





Foto 17. Habilidado de parrilla para izaje.



Foto 18. Izado de armado de acero.



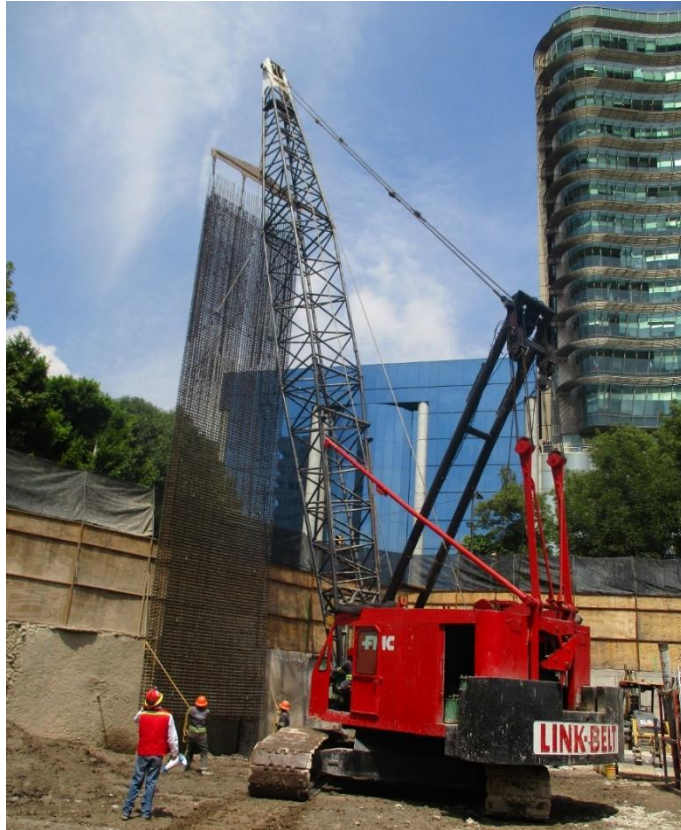


Foto 19. Posicionamiento de armado para descenso en zanja.



Foto 20. Colocación de armado en zanja.







Foto 21. Descenso de armado en zanja.



Foto 22. Retiro de balancín.





Foto 23. Amarre de parrilla a brocal.



Foto 24. Colado con tubería Tremie.





Foto 25. Vaciado de concreto.



Foto 26. Retiro de junta.



## 9 Conclusiones.

Desde mi punto de vista profesional lo más viable y eficiente a colocar en un Muro Milán son piezómetros abiertos o de Casagrande, inclinómetros y extensómetros multipunto, además de llevar un control topográfico. Lo cual conllevó una investigación de los equipos propuestos, en cuanto a su uso y factibilidad para el proyecto, apoyándome principalmente del conocimiento empírico profesional de Ingenieros que tienen a bien trabajar en esta rama y así llegar a la elección correcta, además de también poder aplicar estos conocimientos en la vida profesional y aplicar en diferentes tipos de obra en un futuro.

Por otro lado, en lo que respecta al proyecto como un caso práctico, un estudio de mecánica de suelos es siempre esencial para evitar problemas, que en este caso influyeron principalmente en incremento de costos originado por el elevado consumo de materiales como lo fue, lodo bentonítico, concreto, así como el mantenimiento especial y extraordinario realizado a la maquinaria, sin embargo, en otros casos o proyectos pudo afectar directamente en el comportamiento del suelo y estructura, afectando así a la estabilidad de la excavación o construcción.

Podemos ver que es recomendable implementar el uso de instrumentación en obras grandes para asegurar el correcto funcionamiento durante la vida útil de estas, sin embargo, desafortunadamente no se considera, principalmente por falta de presupuesto.

El uso de instrumentación representa una mejora en futuros proyectos ya que podemos corroborar en obras con monitoreo continuo que el criterio diseño utilizado cumple con los requerimientos esperados.

## 10 Referencias Bibliográficas.

- i. Reglamento de Construcciones del Distrito Federal y Normas Técnicas Complementarias, diciembre 2017.
- ii. Dunnycliff, John, 1988, Geotechnical Instrumentation For Monitoring Field Performance, / John Dunnycliff with the assistance of Gordon E. Green, "Wiley-Interscience Publication", Printed in the United States of America.
- iii. Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 12 Instrumentación y Monitoreo, Jaime Suarez.
- iv. Informe 841.01-051/14, KD178/D16136082, P.H. CHICOASÉN II, CHIS. ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE AUSCULTACIÓN Rev. 2(Abril de 2014), SUBGERENCIA DE SEGURIDAD DE ESTRUCTURAS, *COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD*.
- v. Manual de Mecánica de Suelos. Instrumentación y Monitoreo del Comportamiento de Obras Hidráulicas. *COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA*.
- vi. En lo que respecta a la información del proyecto principal del edificio y muro Milán, como cortes, plantas, perfiles, imágenes, ilustraciones y fotos fueron recuperadas de los informes originales proporcionados por las empresas que llevaron a cabo la construcción del muro Milán y pilas.
- vii. <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-penetracion-estandar.php>
- viii. <https://sismica.com.mx/procedimientos/sondeo-cono-electrico-cptu.php>

## 11 Colaboradores.

ICGeo (Ingeniería y Construcción Geotécnica SA de CV-Mecánica de Suelos y Cimentaciones) y EGEPIP (Especialistas En Geotecnia y Cimentaciones Profundas SRL De CV-Mecánica de Suelos y Construcción), quienes en representación de la ING. Rosa Guadalupe Bernabé Sánchez, aportaron información sobre el proyecto desarrollado en Av. Insurgentes No. 1082.

