



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**“INSTRUMENTACIÓN DE LA ESTACIÓN MEXICALTZINGO
DE LA LINEA 12 DEL METRO”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTAN:

RAÚL MANUEL RADILLA CAMACHO
JESÚS ODILÓN VEGA FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. SERGIO MACUIL ROBLES

México, D.F. Octubre 2010





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.

A mis padres, hermanos, amigos y maestros:

Manuel Salvador Radilla Barrientos

Mirna Guadalupe Camacho Reus

Juan Carlos Radilla Camacho

María Fernanda Radilla Camacho

Claudia Arlet Espindola Luna

Gracias por su apoyo incondicional y la motivación que me dieron para terminar este gran capítulo de mi vida.

Raúl Manuel Radilla Camacho

AGRADECIMIENTOS

A nuestra muy querida Alma Mater, nuestra Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, por la cual somos ingenieros con formación integral y de alta calidad profesional.

Al M.I. Sergio Macuil Robles por su apoyo como profesor, director de tesis, asesor y vínculo profesional durante nuestros últimos semestres de carrera y en la actualidad.

A la fundación ICA por permitirnos realizar nuestras prácticas profesionales y trabajo de tesis como becarios del Proyecto Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

A todo el personal tanto de obra como de oficina de el Proyecto Línea 12, en particular al departamento de Instrumentación Geotécnica que nos permitió ayudarles y nos facilitó la información necesaria para la realización de este trabajo.

Y finalmente a nuestras familias y amigos por su incondicional apoyo y constante motivación para lograr la conclusión de esta importante etapa en nuestras vidas.

PRÓLOGO

En septiembre de 2009 se nos presentó la oportunidad de realizar prácticas profesionales por un periodo de 6 meses en el Proyecto de la Línea 12 del Metro de la Ciudad de México, con la idea final de continuar con nuestra formación integral de ingenieros y poder realizar este trabajo final sobre el área de Instrumentación donde nos tocó colaborar.

Mediante Fundación ICA se nos vinculó al área de Instrumentación de la Línea 12 del Metro, área de la cuál desconocíamos sus actividades y funciones. Al paso del tiempo fuimos aprendiendo las funciones de esta área y la importante función que realiza dentro de las áreas de construcción e ingeniería.

Los compañeros del departamento nos ofrecieron varias opciones de tema con el material con el que ya se contaba. Incluso el gerente del área nos ofreció temas muy interesantes aunque complicados, no podíamos realizar dicho tema debido al nivel de preparación que el tema obligaba a tener.

Nuestras funciones en el departamento eran mixtas tanto en campo con en oficina, así que sabíamos cómo estaba la situación en un lado y otro. Razón por la cual optamos por elegir nuestro tema basándonos en las actividades que desarrollamos dentro del departamento, la instalación de los instrumentos, monitoreo, procesamiento de datos e interpretación de resultados.

De esta manera, presentamos nuestro trabajo en el cuál dejamos plasmadas las actividades realizadas y los conocimientos adquiridos en esta interesante área de Instrumentación de este gran proyecto Línea 12 del Metro de la Ciudad de México.

INDICE

INTRODUCCIÓN	7
1. ANTECEDENTES	8
1.1. QUE ES LA INSTRUMENTACIÓN	9
1.2. TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN	14
1.3. BENEFICIOS DE LA INSTRUMENTACIÓN	25
2. DESCRIPCIÓN DE PROYECTO LINEA 12 DEL METRO	30
2.1. ALCANCE	31
2.2. TIPO DE CONTRATO	35
2.3. INTEGRACIÓN DEL CONSORCIO	39
3. TIPOS DE INSTRUMENTOS UTILIZADOS EN LA L12 DEL METRO	44
3.1. INSTRUMENTACIÓN VERTICAL	45
3.2. INSTRUMENTACIÓN HORIZONTAL	52
3.3. INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN DE PRESIONES	57
4. INSTRUMENTOS INSTALADOS EN LA ESTACIÓN MEXICALTZINGO	66
4.1. INSTRUMENTOS HORIZONTALES	67
4.2. INSTRUMENTOS VERTICALES	78
4.3. INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIONES	82
5. PROCESO DE INSTALACIÓN	90
5.1. INSTRUMENTOS VERTICALES	91
5.2. INSTRUMENTOS HORIZONTALES	93
5.3. INSTRUMENTOS PARA MEDICION DE PRESIONES	106
6. CONCLUSIONES	124
7. ANEXOS	128
7.1. REPORTE FOTOGRÁFICO	129

INTRODUCCIÓN

El motivo de la ejecución de este trabajo fue el de plasmar un tema de vanguardia en la Ingeniería de diseño y construcción. El tema, la instrumentación geotécnica aplicada en la construcción.

Con el presente trabajo se busca darle al lector un amplio panorama sobre la instrumentación geotécnica y sus aplicaciones y beneficios para un proyecto.

Hablando un poco más de los objetivos que tiene la instrumentación, uno de los objetivos básicos de la instrumentación geotécnica consiste en medir la respuesta del terreno ante determinadas variaciones en las condiciones de su entorno, las cuales pueden ser debidas a la ejecución de obras o a fenómenos naturales.

Para que un proyecto sea capaz de estimar la respuesta del terreno, debe haber contado durante su desarrollo con las herramientas de cálculo adecuadas para modelar la situación, alimentadas con información obtenida de campo, ésta puede ser el perfil estratigráfico de la zona en estudio o del terreno sobre el que se va a llevar a cabo la obra.

Con esta ligera plática del tema, procederemos a describir brevemente el contenido de los capítulos. En los primeros capítulos se tratan los antecedentes de la instrumentación así como las definiciones de sus diferentes tipos e instrumentos utilizados generalmente en la práctica. El capítulo 2 se enfoca a dar una descripción del proyecto Línea 12.

Los capítulos siguientes detallan nuestro caso práctico que es la instrumentación de la Estación Mexicaltzingo. En estos capítulos se describen y definen los instrumentos que se instalaron, las especificaciones que se utilizaron así como los reportes de instalación y lecturas iniciales de los instrumentos. Ya que esto fue un caso real, algunos reportes no se incluyen debido a la falta de instalación de los instrumentos por causas de tiempos de construcción del proyecto. Esperamos este trabajo sea de su agrado y le sirva en algún momento.

CAPITULO 1.

ANTECEDENTES

1.1. QUE ES LA INSTRUMENTACIÓN

En esta primera parte empezaremos a introducirlos en el tema de la Instrumentación. Ejemplificando que es la instrumentación con una definición corta y precisa sobre ésta por parte del M.I. Oscar Sergio Aguilar Pérez dice así:

“La instrumentación es una combinación de conocimientos teóricos-prácticos que están enfocados al uso de dispositivos y técnicas especiales que nos permiten obtener información cualitativa y cuantitativa de las variables que caracterizan el comportamiento de una estructura, con el fin de evaluar su seguridad, y en su caso tomar acciones preventivas o correctivas, tanto en la etapa constructiva como de operación”.

Basados en esta definición, la instrumentación no es más que el uso de aparatos o instrumentos especializados de medición para obtener información del comportamiento del cuerpo o elemento o estructura en estudio.

Uno de los objetivos básicos de la instrumentación consiste en medir la respuesta del terreno ante determinadas variaciones en las condiciones de su entorno, estas respuestas pueden ser causadas por la ejecución de obras o por fenómenos naturales.

También, entre otros objetivos de la instrumentación también cabe mencionar:

- Conocer el comportamiento de la obra bajo condiciones de cargas normales y extraordinarias.
- Detectar oportunamente riesgos o problemas de la estructura, tanto en su etapa constructiva, como operativa.
- Obtener conocimientos que nos permitan mejorar el diseño de obras futuras.

Capítulo I: Antecedentes

Especialmente en el caso en que la instrumentación tenga como objetivo el control del comportamiento del terreno en el entorno de una obra, ejecutada en superficie o subterránea, tan sólo será realmente útil sí, durante la estructuración del proyecto se ha incluido entre sus resultados, la previsión, por parte de los ingenieros diseñadores de cada área, como el área de geotecnia, estructuras, así como de construcción, la respuesta del terreno ante las agresiones que va a sufrir durante la ejecución del proyecto.

Durante el desarrollo del proyecto se deberá contar con las herramientas de cálculo necesarias y adecuadas para modelar, en la medida de lo posible, lo más real que se pueda la situación, siendo este modelo, alimentado por información precisa obtenida de campo o zona de estudio donde se va a llevar a cabo la obra. Todo esto, para que se pueda estimar una respuesta del terreno en base a las condiciones del terreno y las acciones que en éste se realizarán.

Una vez definido el proceso a seguir en la obra y seleccionadas las magnitudes a controlar se diseñará el correspondiente programa de instrumentación, en el que se indicará el tipo de instrumentación ideal, prestando especial atención al rango de medida, la precisión que será capaz de proporcionar y la frecuencia con la que se deben efectuar las lecturas de seguimiento.

Un sistema de instrumentación se diseña en función del tipo de estructura, tomando en cuenta tanto las condiciones geotécnicas como topográficas del sitio, así como los recursos disponibles.

Para lograr un buen diseño de un programa de instrumentación o auscultación se deberán considerar los siguientes puntos:

1. Definir las condiciones del proyecto:
 - Tipo de proyecto,
 - proyecto de diseño,
 - estratigrafía del subsuelo y sus propiedades físicas y mecánicas,
 - condiciones del agua subterránea,
 - estado de edificaciones aledañas y otras instalaciones,
 - condiciones ambientales y
 - método planeado de construcción y conocimiento de las situaciones de crisis.

2. Predecir mecanismos de control de comportamiento. Se determinarán una o varias hipótesis para mecanismos que puedan controlar los movimientos o el resultado en los cambios en los esfuerzos y presiones de poro.

3. Definir las soluciones requeridas para las preguntas geotécnicas y constructivas planteadas. Cada instrumento en un proyecto debe ser seleccionado para ayudar a dar respuesta a una pregunta específica, esto nos lleva a que si no hay alguna pregunta o duda que se tenga sobre el comportamiento de las estructuras, cuerpos o elementos, entonces no hay razón para usar algún instrumento.

4. Seleccionar los parámetros de monitoreo. Esto es para definir que parámetros son más importantes para monitorear en el proyecto, por ejemplo: presión de poro, presión total, deformaciones, esfuerzos, temperatura, cargas, etc.

Capítulo I: Antecedentes

5. Estimar magnitudes de los cambios. Estas predicciones son necesarias ya que el rango y la sensibilidad de los instrumentos son elegidos en base a esto. Se estima un valor máximo esperado para seleccionar el rango del instrumento y un valor mínimo para seleccionar la sensibilidad o precisión del instrumento.

6. Diseñar medidas correctivas. Decidir, en ventaja, una solución positiva para problemas que puedan ser descubiertos mediante resultados de observación. Si estos resultados llegaran a requerir acciones correctivas, estas pueden basarse en planes apropiados anticipados a la corrección.

7. Selección de los instrumentos. Se deberán cumplir los puntos anteriores en orden de seguir con la selección. Para este punto, el bajo costo de algunos instrumentos contra otros no debe ser razón de la selección del instrumento sino la confiabilidad y simplicidad del instrumento para hacer el trabajo.

8. Seleccionar los sitios de medición. Estas locaciones se ubicarán mediante la evaluación de las zonas críticas del proyecto basadas en el análisis de las mismas mediante un programa de elementos finitos o estudios y pruebas de campo.

9. Identificar y registrar factores que pudiesen afectar o influir en las mediciones. Las mediciones por si solas no siempre ofrecen soluciones directas. Se tiene que relacionar las causas con las mediciones por lo que se debe llevar una bitácora de obra o registro donde se indiquen posibles factores que puedan provocar cambios en los parámetros de medición.

10. Establecer procedimientos para la confiabilidad de las lecturas. El personal responsable de la instrumentación deberá asegurarse de que los instrumentos utilizados así como las unidades de lectura funciones de manera correcta y confiable.

11. Preparar el presupuesto. Este incluye los costos, siendo cuidadoso en hacer una estimación realista de la duración del proyecto para lo siguiente:

- Planeación del programa de monitoreo,
- diseño detallado de los instrumentos,
- procuración de los instrumentos,
- instalación de los instrumentos,
- mantenimiento y calibración de los instrumentos,
- establecer una agenda o programa de recolección y actualización de datos,
- procesamiento y presentación de datos,
- interpretación y reporte de datos y
- decisión sobre la implementación de medidas en base a los resultados de la interpretación.

12. Preparar un diseño de reporte de instrumentación. Este reporte deberá resumir el resultado de los puntos anteriores.

Capítulo I: Antecedentes

13. Generar las especificaciones de instalación y las procuraciones de los instrumentos. Se tienen que preparar un documento donde se describen los requerimientos del instrumento que incluye la precisión y resolución y el resultado esperado. Se preparará un documento donde se indica el procedimiento paso por paso para la instalación del instrumento usando las instrucciones o manual del fabricante del producto así como las especificaciones de los geotécnicos respecto a la estratigrafía del sitio de instalación.

De los puntos anteriormente expuestos, dada la mutua relación que existe entre la caracterización geotécnica del terreno que ha sufrido o va a sufrir un cambio en sus condiciones de estabilidad y la instrumentación aplicable para efectuar el seguimiento, únicamente si en ambas actuaciones se cuenta con las técnicas adecuadas se obtendrán resultados plenamente válidos.

1.2. TIPOS DE INSTRUMENTACIÓN

Existen varios tipos de instrumentación, para mediciones en campo, en laboratorio, en este caso describiremos los tipos de instrumentación que se usan para monitorear durante la ejecución de la obra o construcción. Con estos se tiene un control sobre los movimientos o desplazamientos que se presentan en el suelo o elementos estructurales durante procesos de excavación y en las construcciones vecinas a la obra, las cuales se ven afectadas por la construcción de la misma.

Los sistemas de instrumentación usados para estos casos, son generalmente clasificados en los siguientes tipos básicos:

- Desplazamiento vertical
- Desplazamiento horizontal
- Medición óptica
- Presión de suelo o total
- Presión de poro y niveles piezométricos
- Esfuerzos y deformaciones.

A continuación se explicarán con detalle los tipos básicos de los instrumentos.

Desplazamiento Vertical

Los desplazamientos verticales son monitoreados en muchas situaciones en los proyectos de construcción. Uno de los problemas más comunes en construcción es la localización de la obra en lugares donde el suelo está formado por tierra de granos finos, tales como la arcilla, limos y materiales orgánicos.

En estos suelos, debido a excavación o cargas ocasionadas por los terraplenes tendidos sobre estos tipos de suelo, se tienen problemas de asentamientos ya sea en edificaciones o terrenos vecinos a la excavación y asentamientos en el terraplén debido a que estos suelos están siendo sometidos a cargas a los que no estaban sometidos antes.

Dichos asentamientos causan un mayor gasto para la obra ya que produce gastos de reconstrucción de terraplén, mayor volumen de tierra usado, mala calidad para el manejo en la vía después de la construcción y daños a las construcciones o instalaciones vecinas a la obra.

Capítulo I: Antecedentes

Con estas descripciones de lo que es el desplazamiento vertical, se puede decir, que en general, el monitoreo de los desplazamientos verticales sirven o ayudan al ingeniero a:

- Verificar que la consolidación del suelo está actuando de manera esperada o predicha.
- Predecir y ajustar la elevación final del terraplén.
- Verificar el comportamiento de las cimentaciones.
- Determinar el tiempo y necesidad de aplicar las correcciones necesarias.
- Monitorear el proceso de consolidación en los terraplenes.
- Monitorear el proceso de consolidación de los estratos base.
- En una excavación, monitorear el empuje del suelo del fondo.
- Monitorear el asentamiento o expansión del suelo debido a la extracción de parte del suelo o empujes externos, fuera de la excavación.
- En las cimentaciones, monitorear el desempeño de las estructuras de cimentación bajo las cargas de las estructuras que soporta y así poder prevenir fallas en la superestructura por asentamientos diferenciales.
- En las vías y las camas de las vías, se monitorea el hundimiento de las mismas durante la construcción del túnel y pasos inferiores.

- En las estructuras superficiales, se monitorea la deformación vertical para detectar asentamientos diferenciales o totales en la estructura mientras se llevan a cabo excavaciones u operaciones de bombeo de agua cerca de estas estructuras.
- En pruebas de pilas de cimentación, se monitorea el esfuerzo al que es sometida la estructura y la deformación vertical debajo del suelo de apoyo de la misma.

Desplazamiento Horizontal

El preocuparse por la presencia y la magnitud de los movimientos horizontales ocurre generalmente en los sitios donde se construyen elementos de contención, ya sean, muros milán, muros tablestaca o muros de contención para los taludes de excavación, cortes verticales en roca y cortes en suelos blandos y donde hay deslaves o taludes inestables existen. En estos casos, encontramos que es deseable, aunque más que deseable, necesario, monitorear las deformaciones laterales durante las siguientes situaciones:

- 1.- Durante la construcción. Los desplazamientos horizontales pueden ser monitoreados durante la construcción y después de la construcción, específicamente en los lugares donde el muro se encuentra reteniendo el empuje del suelo y las construcciones vecinas detrás del muro. Esto ayudará a observar el comportamiento de la estructura con el esfuerzo provocado por el peso de la estructura vecina sobre el suelo que retiene el muro, así como simplemente en el corte vertical dependiendo del tipo del suelo en el que se esté trabajando.
- 2.- Asentamientos esperados. Las deformaciones laterales, para estos casos, pueden ser monitoreados si se prevé un gran asentamiento de las estructuras. De ser así, el desplazamiento lateral por falla de los materiales de cimentación ocurre al mismo tiempo que los asentamientos verticales. Este movimiento lateral puede ser perjudicial y afectar a las vías férreas tendidas, estructuras o lugares de almacén, entre otras, que se encuentran en la vecindad de la zona.

Para estos casos, decimos entonces que los desplazamientos horizontales deben ser detectados, guardados, analizados y comparados con los cálculos de la estabilidad de paredes o taludes. Ya que las magnitudes y rangos de desplazamiento son lo más importante de estas mediciones o lecturas. Así como

Capítulo I: Antecedentes

el buen entendimiento por parte del analizador o ingeniero analista, de las áreas de deflexión, donde se lleva a cabo el movimiento lateral.

Existe una variedad de aparatos o instrumentos de medición para tomar lecturas o mediciones de los desplazamientos laterales que se desean medir o estudiar. Para la elección de estos instrumentos, a veces es difícil la determinación de cuáles son los más óptimos para cubrir las áreas, volúmenes de corte, rellenos de tierra o roca significantes o de importancia para la obra.

Mediciones Ópticas

Las mediciones ópticas tradicionales representan la más económica y menos compleja forma de instrumentación para el monitoreo de las deformaciones. Los instrumentos ópticos, propios de la topografía para esta forma de medición, pueden ser usados para determinar movimientos laterales y verticales, esto claro, con un cierto rango y precisión en las mediciones.

Este método normalmente usa niveletas u objetivos como puntos de referencia, estos se marcan con ayuda de topografía para la correcta ubicación de los puntos de referencia ya que ellos son los que se encargarán de monitorear con la frecuencia especificada para dicho proyecto o etapa de lecturas de la zona o edificación a monitorear.

La principal desventaja en este método de monitoreo es que la brigada de topografía tiene que ser movilizada de un punto de monitoreo al otro cada vez que se necesitan las lecturas con la frecuencia que ya se había especificado para el proyecto o la zona de monitoreo. Este método puede ser muy eficiente para el monitoreo de desplazamientos notables siempre y cuando la precisión de el que

toma las lecturas sea buena, así como el cumplimiento con la frecuencia de lecturas especificada para el proyecto o zona de monitoreo.

Con los avances en la tecnología se ha optado por usar equipos automatizados o de alta precisión para estos casos como las estaciones totales, que toman lecturas automatizadas y los sistemas GPS o de posicionamiento global, para el monitoreo de los desplazamientos de edificaciones, taludes o grandes masas de suelo.

La ventaja de esto, es que las lecturas pueden ser monitoreadas remotamente desde una oficina que cuente con computadora, sin la necesidad de una brigada de trabajo (equipo de técnicos o auxiliares) que pueda fallar en la toma de lecturas.

Presión de suelos o presión total

Existe instrumentación especial para medir la presión total o la presión del suelo. Como ya se sabe, la presión de tierra no es otra cosa más que los esfuerzos totales o presión total del suelo. Esta incluye la presión del suelo por su peso y la presión de poro o presión hidrostática. Estas mediciones de presión total se pueden clasificar en dos categorías básicas:

- Mediciones dentro de la masa de suelo y
- Mediciones en las paredes o caras de una estructura de contención.

Para poder medir estas presiones ya existen instrumentos especiales para ello, estos son llamados celdas y son, entre las principales, 3 tipos diferentes:

- Celdas de presión total (presión de suelos)
- Celdas de esfuerzos de suelos
- Celdas de presión de suelos (sin presión hidrostática)

Capítulo I: Antecedentes

Las mediciones de la presión total usando las celdas de presión, a veces resultan difíciles de interpretar, se necesita realmente entender todo lo que está afectando en ese momento al suelo para entender las lecturas que arroja el instrumento a la hora de registrar las lecturas. En algunas aplicaciones o casos puede causar incertidumbre en las lecturas debido a los factores que afectan las mediciones del instrumento.

Estos problemas se pueden ver asociados o ser causados por la colocación del instrumento en el punto en estudio. Hay veces que si en la estructura donde va el instrumento, en esta caso, la celda de presión, no se toman las precauciones necesarias y se tiene una mala instalación, a la hora de dejar ahogada o enterrada la celda, esta puede moverse y no quedar alineada con la superficie de contacto, provocando de esta manera una serie de lecturas incongruentes con lo que se esperaba en los cálculos realizados.

Otro problema que puede presentarse a la hora de la instalación del instrumento es que, el suelo sea virgen, esto afecta ya que puede que la instalación modifique las propiedades del suelo causando que este se comporte de manera imprevista y se tengan lecturas que no son congruentes con los cálculos.

Para rellenos compactados, tierras armadas y suelos que lleven trabajo de ingeniería, la colocación o instalación del instrumento no será de relevancia o importancia ya que conforme van aumentando los esfuerzos van acercándose a un estado de equilibrio durante el proceso constructivo.

Por lo tanto no se necesita tener un monitoreo de los esfuerzos en el suelo, aunque si así se desea se puede hacer sin ningún problema, solo teniendo en

cuenta que los esfuerzos que se presentan aquí serán mayores y podrán afectar la capacidad de la celda y resultar en la toma de lecturas erróneas.

A parte de los tipos de instrumento de medición llamados celdas, estas se dividen en subtipos, estos subtipos van relacionados con la tecnología de medición, estas celdas pueden ser del tipo:

- Neumática;
- Hidráulica;
- De cuerda vibrante o hilo vibrátil;
- Semiconductor o transductor de presiones y
- De deformímetros.

Presión de Poro y niveles piezométricos.

Para medir la presión de poro, ya sea en roca o en suelo, usamos los transductores de presión de poro, o más comúnmente llamados o denominados piezómetros o sondas piezométricas. Estos instrumentos miden la presión de poro basándose en la columna de agua que se encuentra sobre ellos. Esta columna de agua puede medirse mecánicamente, mediante la inmersión de un sensor que detecta el nivel hidrostático de agua o nivel de agua freática o ya sea por medios electrónicos o sensores electromecánicos con su correspondiente unidad de lectura. A continuación se explica un poco más de los dos tipos de medios para medir la presión de poro:

1. **Sistemas Mecánicos.** Con el método mecánico de monitoreo de presiones de poro, normalmente se ve incluida la instalación de estaciones piezométricas o tubos piezométricos. Este tipo de instalación necesita un sellado de manera

Capítulo I: Antecedentes

que solo responda a la presión del nivel de agua freática alrededor del elemento filtrador y no a las presiones de otras elevaciones.

Estos piezómetros pueden ser instalados en un relleno, sellados y/o con filtro en la perforación y empujados (hincados) o conducidos al lugar donde se desean instalar.

La instalación de los piezómetros y componentes usados es parecida a la de los pozos de observación con la diferencia de que en el piezómetro se usan sellos o filtros.

La superficie de agua en la tubería se estabiliza en la elevación piezométrica y esta elevación es determinada mediante el sondeo con una probeta o sonda, o mediante el uso de sensores electrónicos y *datalogger* o registrador de datos instalado en la tubería para monitorear las variaciones de elevaciones del nivel freático a determinados intervalos de tiempo.

Hay que tener en cuenta que las tuberías no se deben de dejar desprotegidas ya que pueden verse afectadas por vandalismo o por acción natural, contaminación causada por agua de lluvia u obstrucciones debido al arrastre de materiales. Se recomienda siempre dejar estas instalaciones protegidas ya sea por una válvula tapa que permita la libre interacción con la presión atmosférica.

2. Sistemas electrónicos o neumáticos de presión de poro. Estos transductores o piezómetros pueden ser hincados en el suelo o instalados en la tubería. Normalmente se usa un empaque de arena para que el área de lectura no se vea contaminada o afectada por el mismo suelo. Posteriormente el espacio que queda en la perforación, entre el suelo y el instrumento, es relleno con un grout especial que se mezcla tratando de igualar las características del

suelo para que mantenga el mismo comportamiento y para prevenir las condiciones hidrostáticas del suelo que rodea al instrumento de manera que no afecte a la hora de realizar las lecturas de presión de poro.

El sensor se conecta mediante un cable hasta la superficie ya sea a un registro instalado en el lugar de la perforación y conectándose a un *datalogger* y descargar los datos del registro con una computadora portátil o dejando simplemente la conexión del cable en el registro para posteriormente tomar las lecturas con una unidad de lectura especial para el instrumento. Este tipo de instrumentos son de respuesta más rápida a los cambios en la presión de poro que los instrumentos mecánicos.

Una opción para hacer mediciones de presión de poro es instalar el instrumento electrónico fuera del tubo de inclinómetro o de Sondex. Este medidor es colado en la perforación con un *grout* especial para el tipo de suelo donde se hizo la perforación de manera que se comporte con las mismas características del suelo. Debido al empleo de este método de sellado no es requerido un empaque de arena alrededor del instrumento.

Las pruebas de laboratorio y campo han demostrado que los empaques de arena no son necesarios ya que a través del *grout* como empaque se pueden obtener lecturas de presión de poro confiables.

La ventaja que nos ofrece este método, siendo esta de aspecto constructivo y económico, es que no es necesaria otra perforación independiente para la instalación del piezómetro.

Esfuerzos y deformaciones.

El diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, se pueden evaluar varios ejemplos sencillos para los cuales se registra simultáneamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido sobre el elemento. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado *diagrama de esfuerzo y deformación*.

En el aula o en el gabinete, mientras analizamos estos esfuerzos obteniéndolos mediante la aplicación de la Ley de Hooke que nos dice que “la deformación es directamente proporcional al esfuerzo en el tramo elástico del elemento”, en campo o en la realidad, a la hora de construir los materiales presentan un comportamiento un poco distinto al esperado diseñado en gabinete.

Es por eso que la relación suelo-estructura y entre los propios elementos de la estructura es crítica durante todo su proceso de construcción. Para esto se tienen que estudiar o analizar ciertos puntos críticos o elementos estructurales que se cree pueden ser los importantes durante el proceso constructivo de la estructura ya que los esfuerzos y deformaciones que en ellos se presentan serán clave para confirmar lo esperado en el diseño o en su caso, prevenir y solucionar alguna posible falla que pueda tener durante su construcción.

Para este tipo de estudios y mediciones se usan instrumentos especializados que nos ayudan a obtener los datos que necesitamos, esfuerzos y deformaciones. Estos instrumentos pueden ser celdas de carga, deformímetros y medidores de tensión o “*strain gauge*” los cuales son diseñados para instalarse en lugares claves ya sea en el suelo o en la propia estructura para medir los esfuerzos y las cargas que se presentan en el suelo y en los elementos estructurales.

Explicando un poco el funcionamiento de los instrumentos para este tipo de mediciones, en el caso de las celdas de carga esta se deforma debido al esfuerzo aplicado sobre la misma, esta deformación es medida en la celda por *strain gauges* conectados a la misma. La función de esta celda de carga es para conocer los esfuerzos axiales ya que estas solo miden en un solo eje los esfuerzos. Estas celdas son debidamente calibradas en el laboratorio o fábrica con cargas conocidas en una maquina de pruebas universal.

La determinación del rango de cargas del instrumento será crítica y deberá ser evaluado por el especialista en geotecnia del proyecto y este decidirá su nivel de sensibilidad. Ya que este instrumento debe ser capaz de detectar incrementos cambios en el incremento de esfuerzos por lo general la sensibilidad de estos instrumentos es requerida con un rango de 50 a 100 partes del total de la tensión o esfuerzo esperado.

Para entender un poco mejor estos diferentes tipos de mediciones, en lo siguientes capítulos se explicarán los instrumentos a detalle mostrando tanto su funcionamiento, como su instalación y algunas mediciones de los mismos en la estación Mexicaltzingo de la línea 12 del metro.

1.3 BENEFICIOS DE LA INSTRUMENTACIÓN

La Instrumentación Geotécnica y Estructural ha sido utilizada por los ingenieros de caminos, de obras públicas y de minas para el seguimiento del comportamiento del terreno y de estructuras ejecutadas por el hombre.

Capítulo I: Antecedentes

La instrumentación se puede aplicar en cualquier fase del proyecto: en la fase inicial de proyecto y reconocimiento del terreno, en la fase constructiva y en la fase de operación (durante la vida del proyecto). Todas las fases pueden necesitar un cierto grado de instrumentación.

Durante la primera fase, es necesario determinar cuáles son los posibles problemas para definir las mediciones que puedan ser necesarias. Durante la fase constructiva, la comprobación de los supuestos asumidos y la modificación de los modelos usados, en caso necesario, es llevada a cabo. Finalmente, durante la tercera fase, se hace un seguimiento del comportamiento de la estructura a largo plazo.

De esta manera podemos entender mejor lo que la instrumentación significa y su importancia durante el proceso de construcción. En las grandes obras, o pequeñas obras, que tengan un riesgo probable durante la construcción se utilizan sistemas de auscultación o monitoreo por razones de importancia tanto para el cliente como para el constructor o contratista, ya que estos sistemas ayudarían a prevenir pérdidas económicas y de tiempo para el constructor. Por lo anterior, se ocupa la instrumentación por las siguientes razones:

- Investigaciones de sitio: para caracterizar las condiciones iniciales del lugar, las condiciones más usuales son; presión de poro, estabilidad de taludes y permeabilidad del suelo.
- Verificación de diseño: los instrumentos son usados para verificar que el comportamiento y las predicciones hechas vayan conforme a lo esperado. Los datos que se obtengan de la fase inicial del proyecto pueden revelar la necesidad o la oportunidad de hacer la modificación del proyecto para las siguientes fases.

- Control de la construcción: Los instrumentos son usados para monitorear los efectos de la construcción. Los datos que arroje la instrumentación pueden ayudar al ingeniero constructor a determinar que tan rápido se puede proceder con la construcción sin que esta tenga riesgo de falla.
- Control de calidad: Puede usarse para reforzar la calidad de la mano de obra en el proyecto y para documentar que el trabajo se ha realizado conforme a las especificaciones.
- Protección legal: Los datos de la instrumentación pueden ser evidencia o respaldo para una defensa legal en caso de que los dueños de las construcciones aledañas a la obra presenten quejas o demandas por daños a sus propiedades ocasionados por la construcción.
- Desempeño: Los instrumentos son usados para monitorear el desempeño interno de la estructura. Por ejemplo, el monitorear las goteras y presión de poro en las puede comprobar el desempeño presas, así como también, el monitoreo del movimiento en taludes y muros garantizará el desempeño de los mismos.
- Avance en el Estado-de-Arte: Algunas mediciones de campo, con fines de investigación, han hecho que muchas teorías sean puestas a prueba en la realidad y la instrumentación ha ayudado a que estas se puedan corroborar con la medición continua y en tiempo real de lo que sucede en el objeto en estudio. Dando lugar al mejoramiento, comprobación y rectificación de las teorías o hipótesis de la construcción y la mecánica de suelos.

Beneficios después de la construcción

Los ingenieros tenemos la obligación de construir estructuras seguras, sobre todo si estas implican, en caso de accidente, la pérdida de vidas humanas. El

Capítulo I: Antecedentes

desempeñar un monitoreo durante la vida de una estructura mediante métodos de observación e instrumentación puede ser una excelente forma de asegurar la seguridad de la estructura a largo plazo.

Algunos ejemplos que se pueden mencionar para monitoreo a corto y largo plazo en nuestro caso particular son:

- El monitoreo de las fuerzas de empuje del suelo sobre los muros milán mediante inclinómetros en suelo y en muro.
- Las celdas de presión en la losa de fondo de las estaciones para la medición de las cargas de la estructura hacia el suelo con el fin de monitorear los límites de carga del subsuelo.
- Los piezómetros en la losa de fondo de las estaciones para corroborar las mediciones de las cargas de las celdas de presión así como ver la variación de los niveles freáticos en la estación.
- Las celdas de presión en los anillos del túnel hecho con escudo para monitorear la carga del suelo hacia el anillo.
- Los extensómetros magnéticos y de barras en el túnel y cruces con zonas críticas para tener un control del hundimiento regional de la zona.
- Los deformímetros de acero y concreto ahogados en las dovelas de los anillos instrumentados para monitorear los esfuerzos que actúan en ellas y tener un control del comportamiento del anillo.
- Los *tilt meters* o clinómetros en edificios importantes que están en trazo de la Línea 12, para tener un monitoreo continuo de los cambios en su inclinación debido al paso del escudo y durante la operación de la Línea 12

CAPITULO 2.

DESCRIPCIÓN DE PROYECTO

LINEA 12 DEL METRO

2.1 ALCANCE

En la ciudad de México se vive una problemática diaria con el transporte, los habitantes pierden demasiado tiempo en transportarse desde su hogar hasta su lugar de trabajo. Este tiempo perdido causa que la competitividad de la gente y su vida social se vea afectada generando problemas laborales y personales.

Por tal motivo se proyectó la Línea 12 del Metro, de acuerdo con el plan maestro del Metro, para satisfacer la demanda de transporte de la actual población de la Ciudad de México. Esta línea tiene como finalidad agilizar la movilidad de los habitantes de las 7 delegaciones por las que cruza la línea: Tláhuac, Iztapalapa, Coyoacán, Benito Juárez, Xochimilco, Milpa Alta y Álvaro Obregón.

Dicho proyecto cuenta con las siguientes características físicas, técnicas y operativas generalizadas:

- 24.5 km de recorrido de la Línea desde Tláhuac hasta Mixcoac.
- 20 estaciones de las cuales 4 son de correspondencia con otras líneas
- 35 trenes de rodada férrea de 8 vagones cada uno
- Pilotaje automático digital
- Alimentación de energía eléctrica: en alta tensión 230 KVA
- Tracción: línea elevadiza de contacto (catenaria) de 1500vcc
- Radiotelefonía
- Desplazamiento promedio de 12 millones de personas al mes
- Mínima distancia en transbordos
- Preparaciones para continuidad de la Red
- Áreas de estacionamiento
- Ciclovías para bicicletas en todas las estaciones

Capítulo 2: Descripción de Proyecto Línea 12 del Metro

- Infraestructura planeada considerando necesidades de operación y mantenimiento de la Línea
- Alternativas de integración del comercio formal e informal en terminales y estaciones
- Estaciones con servicio de internet, sanitarios, guarderías, elevadores, guía táctil.
- Equipamiento para la seguridad pública con vigilancia en las instalaciones y mejor alumbrado público en la zona de influencia.

Estas características fueron propuestas, analizadas e implementadas en base a estudios previos como la demanda de transporte, análisis costo-beneficio, rentabilidad del proyecto, entre otros. Con las cuales se obtendrán una serie de beneficios sociales, económicos y ecológicos, como:

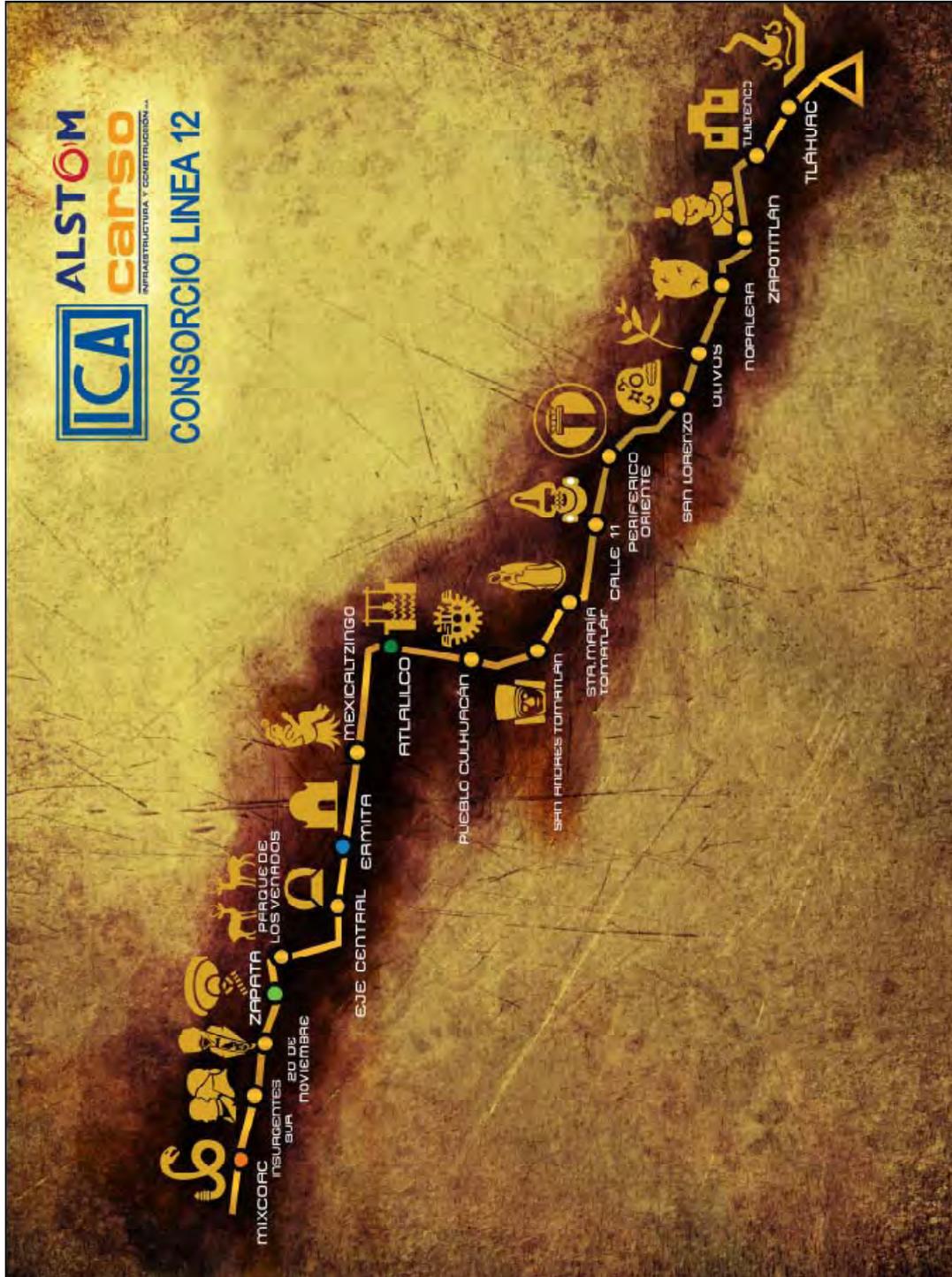
- ✓ Disminución de tiempo de tráfico vial hasta por 2 horas y media
- ✓ Ahorro en el gasto diario de transporte de las familias
- ✓ Disminución de contaminación ambiental por emisiones de gases y ruidos que producen los vehículos de combustión
- ✓ Se mejora la calidad de vida de la población al sur-orienté de la ciudad
- ✓ Se detonarán proyectos públicos y privados a causa de la inversión en Metro
- ✓ Se aumentará la productividad de la ciudad al reducir el tiempo de transporte de los habitantes hasta por 1 hora 15 minutos.
- ✓ Se ofrecerán opciones de conexión del sur-orienté con las principales zonas de servicios, empleo, educación y recreación de la ciudad.

Esta obra, en sus 24 km de recorrido, tendrá diferentes sistemas constructivos debido al trazo de la misma y los estudios geotécnicos realizados en ella. Por lo que para su construcción se dividió la línea en 4 tramos:

- Tramo superficial con longitud de 1,637 m. comenzando en predios baldíos de Tláhuac, después
- Tramo elevado con longitud de 13,740 m. corriendo al centro de la Av. Tláhuac hasta la calle de Ganaderos donde se convierte en
- Tramo en cajón subterráneo con longitud de 1,296 m. donde gira con esta solución sobre Av. Ermita – Iztapalapa hasta la calle de Centeno convirtiéndose en
- Tramo en túnel con longitud de 7,368m excavado con escudo EPB hasta Mixcoac.

En la siguiente figura se muestra el trazo y las estaciones de la Línea 12.

Fig. 2.1.1 Trazo de la línea 12.



2.2 TIPO DE CONTRATO

El esquema de licitación de la obra fue “Licitación de Obra Pública tradicional” para un contrato de tipo EPC, por sus siglas en inglés *Engineering, Procurement and Construction*, en el cuál el contratista asume la total responsabilidad del proyecto y ejecución del mismo, con poca participación por parte del cliente. Este tipo de contratos requieren un mayor ajuste en cuanto a plazos y costes de entrega.

Como dice el nombre del tipo de contrato, ingeniería, procuración y construcción, el contratista se encargará de proyectar, conseguir el material necesario y llevar a cabo la construcción del proyecto. Este tipo de contratos son ampliamente usados en las competencias internacionales, últimamente usados también de manera nacional en grandes obras. A continuación se describen de manera más detallada las características del contrato y el proceso que se lleva a cabo para su ejecución.

1. Concepto

El contrato EPC es un contrato en el cual el contratista queda de acuerdo con el cliente, mediante un presupuesto estimado, generalmente, a precio alzado, a proyectar, construir y poner en correcto funcionamiento una obra determinada que él cliente previamente ha proyectado. En este tipo de contrato se recalca que el contratista asume toda la responsabilidad de la obra ya que el cliente no se verá incluido en el proyecto directamente, sino por terceros o supervisión.

Una de las obligaciones principales para el contrato EPC es el procuramiento, o sea, el suministro de materiales y maquinaria; el transporte de los mismos al lugar necesario; la realización de las obras civiles; la instalación y montaje de todas las estructuras necesarias, y la puesta en funcionamiento de la obra proyectada.

En ciertos casos, posteriormente se puede arreglar o ponerse de acuerdo en la formación y reclutamiento de personal de operación y de mantenimiento.

Con este tipo de contratos, lo que se busca es que desaparezca la tradicional relación tripartita entre cliente (contratante), ingeniero y contratista, para quedar sustituida por una única relación entre cliente-contratista, en la que este último, junto a sus funciones tradicionales, asume la concepción del proyecto.

no de los requisitos principales para que el contratista sea considerado para obtener el contrato es que este sea especializado en el tipo de proyecto, así como la obligación de este de entregar un producto terminado en óptimas condiciones. Por dicha razón, a veces las licitaciones se vuelven adjudicaciones directas ya que solo ciertos contratistas cumplen con semejantes requisitos.

2. Características

Como ya se ha dado a notar, los principales rasgos de este contrato son: a) el contratista se hace cargo del proyecto y ejecución del mismo, y b) el contratista tiene la completa responsabilidad de entregar al cliente las instalaciones en óptimas condiciones y funcionamiento. Por lo tanto, se hacen notar las siguientes características de los contratos tipo EPC:

- El contrato EPC a diferencia del contrato tradicional implica la celebración de un solo y único contrato realizado entre el cliente y el contratista. Este tipo de contratos, por lo general ejerce una fuerte influencia decisiva por la tecnología empleada para la ejecución del mismo.

- En los contratos EPC, ya que el contratista asume la completa responsabilidad de la obra, se determina el objeto y función del cliente y/o los ingenieros participantes.
- A diferencia de los contratos tradicionales de construcción, en los contratos EPC la elaboración detallada del proyecto tiene lugar una vez concluido el contrato, con lo cual se le cede derecho al contratista a introducir modificaciones en los planos de proyecto, esto claro, a su propio coste y riesgo y siempre que se respeten los parámetros contractuales acordados (calidad, cantidades de materias primas, rendimientos) sin que sea necesaria la aprobación del cliente.
- Esta estructura de los contratos tipo EPC hace que la participación del cliente, en ciertos casos pueda ser no necesaria durante la ejecución de la obra hasta su entrega.
- Finalmente, ya que el contratista se ve obligado a asumir la total responsabilidad del proyecto, el precio a determinar para el proyecto será generalmente, a precio alzado.

3. Fases

De manera general, cabe señalar dos fases principales:

1.- Determinación de los objetivos del cliente, selección del contratista y arreglo de los términos contractuales, todo esto es la preparación del contrato.

2.- Ejecución del contrato: esta fase comprende el comienzo de los trabajos, el desarrollo de la obra y su completa realización, funcionamiento y aceptación por parte del cliente.

Capítulo 2: Descripción de Proyecto Línea 12 del Metro

En la fase de preparación del contrato podemos señalar que el ingeniero o en este caso, contratista solo podrá asesorar al cliente en:

- a) La preparación de los documentos de invitación a la presentación de ofertas,
- b) la comparación y selección de ofertas, y
- c) En determinado caso, a elaborar las especificaciones generales del proyecto en las que se indicará de manera imprecisa las condiciones técnicas exigidas por el cliente sin que ello suponga asumir responsabilidad alguna por la concepción detallada del mismo. Ya que en los contratos del tipo EPC la descripción detallada de la obra tiene lugar durante la ejecución de la misma, esta tendrá ciertos aspectos legales a cubrir:

1. Indeterminación del objeto del contrato al momento de otorgar el contrato, lo que se pretende suplir por medio de estándares.
2. Se le concederán mayores derechos al contratista para modificar el proyecto siempre y cuando el cliente esté informado, revise o apruebe tales cambios, y los cambios no afecten los términos y garantías acordados.
3. El contratista responderá por las posibles fallas y/o omisiones que pueda tener en la ejecución del proyecto y los derechos del cliente a introducir modificaciones quedan restringidos y generalmente dan lugar a una compensación de los costes en los que haya podido incurrir el contratista.

Habiéndose explicado de manera detallada lo que es un contrato de Ingeniería, Procuración y Construcción se hace la aclaración del contrato que se maneja para

este proyecto. La obra como tal, fue contratada como “Proyecto Integral a Precio Alzado y Tiempo Determinado de la Línea 12” este, básicamente consta de:

- Desarrollo de proyecto de obras inducidas.
- Proyecto de Trazo, Perfil y Gálidos, donde se establece la trayectoria, de los 25.1 Km de que consta la línea y la ubicación de las 20 estaciones que la integran, así como los talleres en Tláhuac y la cola de maniobras en Mixcoac.

2.3 INTEGRACIÓN DEL CONSORCIO

Como ya se explicó en el punto anterior, el tipo de contrato por el que se licitó la obra, este cuenta con un contratista. En este punto se explicará la manera en la que se integra el consorcio formado por tres empresas para que juntas concursaran por la adjudicación del contrato de obra de la Línea 12 del Metro.

El consorcio se integró, en abril de 2008 firmando un acuerdo entre tres empresas, dos mexicanas y una francesa, para concursar por el proyecto de la Línea 12, este proyecto fue licitado de manera tradicional con la característica de ser un “Proyecto integral a precio alzado y tiempo determinado” que para este caso, es lo mismo que un contrato EPC y como ya se mencionó, este contrato generalmente es a precio alzado.

El valor total del contrato es de alrededor de 18,000 millones de pesos (IVA incluido), cifra que fue dividida casi en dos partes iguales para las obras civiles y las obras electromecánicas. Poco más de la mitad fue dividido entre las empresas

Capítulo 2: Descripción de Proyecto Línea 12 del Metro

mexicanas dedicadas a obra civil y la otra parte a la empresa francesa dedicada a obra electromecánica.

De esta forma, se da inicio a la construcción de la Línea 12 del sistema de transporte colectivo. Después de licitado y adjudicado el contrato al Consorcio Línea 12 en abril de 2008, estas empresas comienzan la construcción del proyecto que tiene contemplado 25.1km de longitud de recorrido de Tláhuac hasta Mixcoac. Dentro de estos se contemplaron 20 estaciones, dos terminales: Talleres Tláhuac y Cola Mixcoac, así como 4 estaciones de transferencia o correspondencia.

Ya que esta obra está dividida en obra civil y en obra electromecánica, en el consorcio se hizo la división de los frentes, de manera que cada uno tiene un porcentaje de obra adjudicado.

La línea 12, que es construida en 2 fases y 4 distintas soluciones, se explica en la tabla siguiente:

FASES	DESCRIPCIÓN	SOLUCIÓN	EMPRESA A CARGO
FASE 1	Esta corre desde Tláhuac hasta	Solución Superficial	ICA
	Atlalilco con una longitud de 15,377m.	Solución Tramo Elevado	ICA y CARSO
FASE 2	A partir de Atlalilco terminando en	Solución Sección Cajón Subterráneo	ICA
	Mixcoac con una longitud de 8,664m	Solución Túnel con Escudo EPB	ICA
OBRA ELECTROME CÁNICA	Toda la línea	Instalaciones Electromecánicas y vías	ALSTHOM

De esta manera entonces, queda dividida la parte de obra civil para las dos empresas mexicanas, esta incluye la Terminación de la Fase 1 y sus estaciones superficiales y elevadas con su terminal, que tendrá fin y puesta en servicio para el 30 de abril de 2011; así como la fase 2, que será las fase de mayor tiempo de construcción por la solución de túnel con escudo diseñada para la misma. Esta se espera esté terminada y operando para el 30 de abril de 2012.

En la siguiente figura se muestra el croquis de la división de la construcción de la Línea 12 así como sus diferentes procedimientos de construcción utilizados.

Fig. 2.3.1 Plano de división de la línea y procedimientos constructivos.

CAPITULO 3.

**TIPOS DE INSTRUMENTOS
UTILIZADOS EN LA L12 DEL METRO**

En este capítulo se mostrará la descripción de cada uno de los instrumentos utilizados en la línea 12 así como esquemas del uso de los mismos. Estos instrumentos fueron instalados en las estaciones así como también al interior y al exterior del túnel.

3.1 INSTRUMENTACIÓN VERTICAL

Extensómetro de barras

En el metro, estos fueron instalados con la finalidad de medir el asentamiento del suelo al paso del escudo durante su cruce con el puente del Circuito interior y la calzada Ermita-Iztapalapa para tener un control de los desplazamientos y poder prever alguna situación crítica durante el paso del escudo.

Estos extensómetros miden el desplazamiento o deformación en el suelo, roca y estructuras de concreto. Tienen que ser instalados en perforaciones con una o hasta 8 anclas dependiendo de la profundidad necesaria a la que se quiera medir. El movimiento de las barras se da debido a que las anclas se van asentando con el suelo y estas a su vez asientan las barras. Este movimiento es medido en la cabeza de las barras, donde se encuentra un anillo especial con el que se puede ver el asentamiento de las barras donde se mide con un vernier especial en los orificios que van dejando las barras en el anillo. De manera automática también se puede hacer mediante un sistema hidráulico de medición.

Algunas aplicaciones útiles para el uso de estos extensómetros son las siguientes:

- Movimientos del suelo alrededor del túnel
- En la deformación de los cimientos de las presas

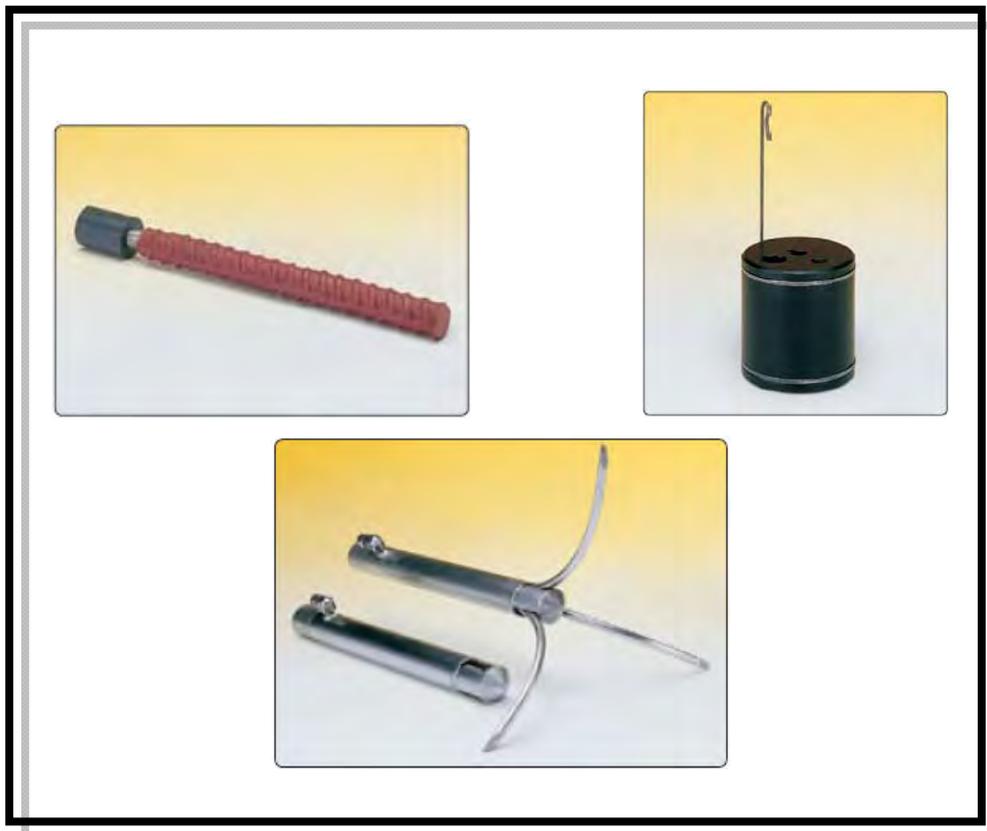
Capítulo 3: Tipos de Instrumentos utilizados en la L12 del Metro

- Movimiento del suelo detrás de estructuras de retención, tales como muros milán, tablestacas, etc....
- Movimiento del suelo en las paredes de un pozo de mina.
- Deformación en las pilas de concreto
- Subsistencia en los túneles y minas.
- Asentamiento o emersión de los cimientos en suelos blandos.

Las partes que conforman el extensómetro se explica a continuación:

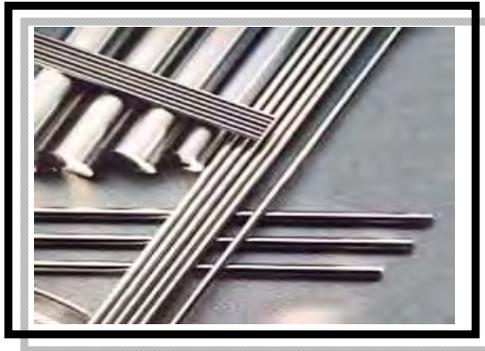
- **Las anclas.** Están son hechas de acero inoxidable perforado para las tipo anulares, al igual que las del tipo araña. El ancla final es una varilla corrugada con adaptador para la barra del extensómetro.

Fig. 3.1.1 Anclas.

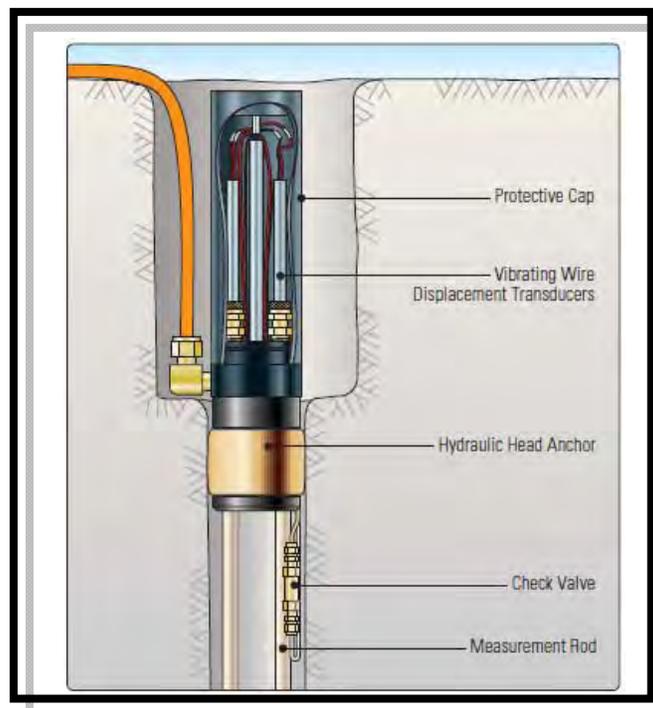


- **Barras.** Estas son barras redondas de acero inoxidable de $\frac{1}{4}$ ". Estas son machimbradas en un torno de manera que se puedan conectar y alcanzar la longitud necesaria de proyecto. Otro tipo de material usado también son las barras de fibra de vidrio y de grafito.

Fig. 3.1.2 Barras de Acero Inoxidable.



- **Cabezal del extensómetro y medidor.** El cabezal es diseñado de manera que quepa en la perforación pero tampoco se hunda con las barras sino que sirva como nivel de referencia. Es como un ancla anillo pero ajustada para poder ponerle un medidor automático o poder medir manualmente el desplazamiento. **Fig. 3.1.3 Cabezal y medidor**

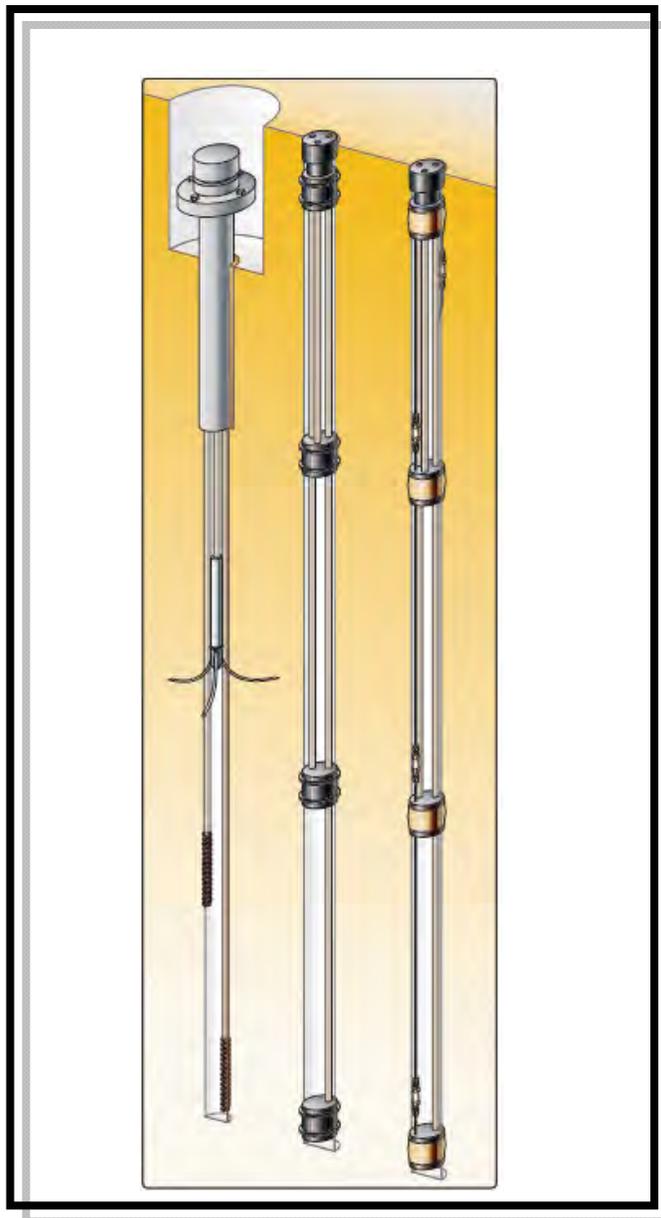


Capítulo 3: Tipos de Instrumentos utilizados en la L12 del Metro

En la imagen se muestra el arreglo del cabezal del extensómetro con el transductor o medidor de cuerda vibrante.

Este tipo de extensómetro tiene variantes de acuerdo al tipo de suelo y precisión en los movimientos que se quieren monitorear. En la siguiente imagen se ilustran los tipos y su vista al final de la instalación.

Fig. 3.1.4 Instalación Final



Extensómetro magnético

El extensómetro magnético fue diseñado para medir asentamientos o emersión de suelos blandos bajo la influencia de la carga o descarga sobre este debido a la construcción de estructuras, rellenos, túneles, entre otros. Este proporciona un medio para determinar el desplazamiento total y el desplazamiento entre cada una de las anclas.

En el metro este sistema fue instalado junto con la tubería de inclinómetro para medir los asentamientos del suelo durante el paso del escudo en el intertramo de la lumbrera de Mexicaltzingo a la estación Mexicaltzingo, ya que la zona en la que fue instalada se encontraron restos arqueológicos y los edificios colindantes son de delicada situación estructural.

El modo de operación de este extensómetro consta en instalar las anclas magnéticas tipo arañas, de acuerdo con el proyecto y los estratos que se quieran monitorear, en un tubo de pvc o ya sea en un tubo telescópico de inclinómetro, a las alturas correspondientes. Al final del tubo se pondrá un ancla magnética de tipo anillo que será el punto de referencia para las demás.

Una vez instaladas las anclas se procederá con una sonda a medir las alturas a donde se encuentren las arañas. Esta sonda emitirá un sonido cada vez que se encuentre con el campo magnético de la araña, indicando su posición y de manera manual se medirá la longitud del cable usado para llegar a las diferentes posiciones de las arañas y se registrará cada altura para al final tener el control de los desplazamientos de las mismas.

En los siguientes esquemas se muestran las partes de un extensómetro magnético así como su estado instalado.

Fig. 3.1.5 Extensómetro Magnético



Fig. 3.1.6 ANILLO MAGNÉTICO DE REFERENCIA

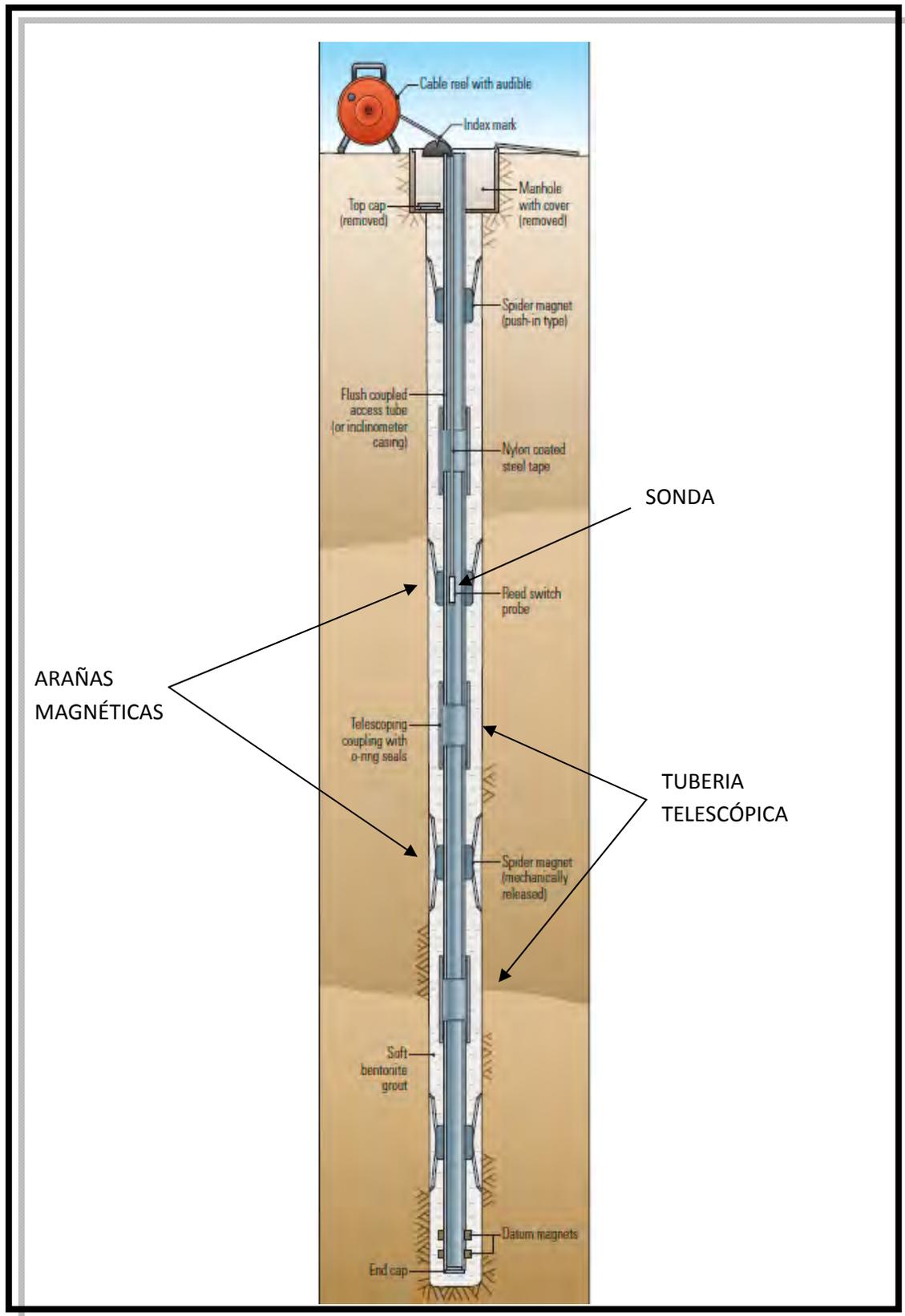


Tabla 3.1.1 Especificaciones técnicas del extensómetro magnético.

Especificaciones Técnicas	
Rango estándar	Depende el cable, hasta 150m
Resolución	1mm
Repetibilidad	± 3mm
Rango de temperatura	De -30° a 80°C
Material de la sonda	Acero inoxidable
Dimensiones de la sonda	178x19mm (L x Ø)
Tubería	PVC de 1" ced 80
Sección telescópica	1m (460mm comprimida totalmente)
Araña magnética	Cuerpo de pvc y garras de acero.
Dimensiones de la araña	445x75x34mm (L x A x E)
Material del magneto base	PVC
Dimensiones del magneto base	60x50x34mm (L x A x E)
Diámetro de la perforación	102 a 152mm

3.2 INSTRUMENTACIÓN HORIZONTAL

Inclinómetro

En el campo de la geotecnia este instrumento es usado para medir movimientos del suelo de forma horizontal como los que pueden ocurrir en taludes inestables (sujetos a deslaves) o para los movimientos laterales del suelo de edificaciones vecinas en excavaciones. Como las realizadas para la construcción de las estaciones del metro. También son utilizados para monitorear la estabilidad de los terraplenes, muros pantalla, la disposición y desviación de los pilotes hincados o perforaciones.

Su modo de operación consiste en la instalación de una tubería especial para inclinómetro, la cual puede ser normal o telescópica, dependiendo de las condiciones del suelo, en una perforación en el suelo, directamente en la estructura de concreto que se quiera monitorear o enterrarlo bajo un terraplén. La tubería de inclinómetro cuenta con 4 ranuras guía ortogonales dentro de la misma, diseñadas como guías para las ruedas de la sonda del inclinómetro.

La sonda es usada para monitorear la inclinación de la tubería con respecto a la vertical y de esta forma detectar cualquier cambio en la inclinación del suelo causada por los movimientos del mismo o de la excavación de la obra.

La sonda cuenta con dos sensores del tipo MEMS (Micro Electro Mechanical Sensor) por sus siglas en inglés, los cuales no son más que unos micro acelerómetros los cuales actúan mediante la fuerza de gravedad. Esta acción provoca cambios en la capacitancia y su voltaje de salida. Este voltaje de salida es proporcional al seno del ángulo de inclinación y a la desviación horizontal de la perforación. De manera que con la unidad de lectura de la sonda, se registran unidades de desplazamiento del inclinómetro que mediante unos cálculos sencillos se transforman en mediciones en sistema métrico decimal o inglés.

De esta forma podemos resumir las partes de un sistema de inclinómetro en las siguientes:

- Una tubería guía de aluminio, plástico ABS o fibra de vidrio.
- Una sonda portátil que contiene un transductor o sistema MEMS
- Una unidad de lectura portátil.
- Un cable eléctrico graduado reforzado

Fig. 3.2.1 Sonda, carrete y unidad de lectura.



Fig. 3.2.2 Tubería telescópica

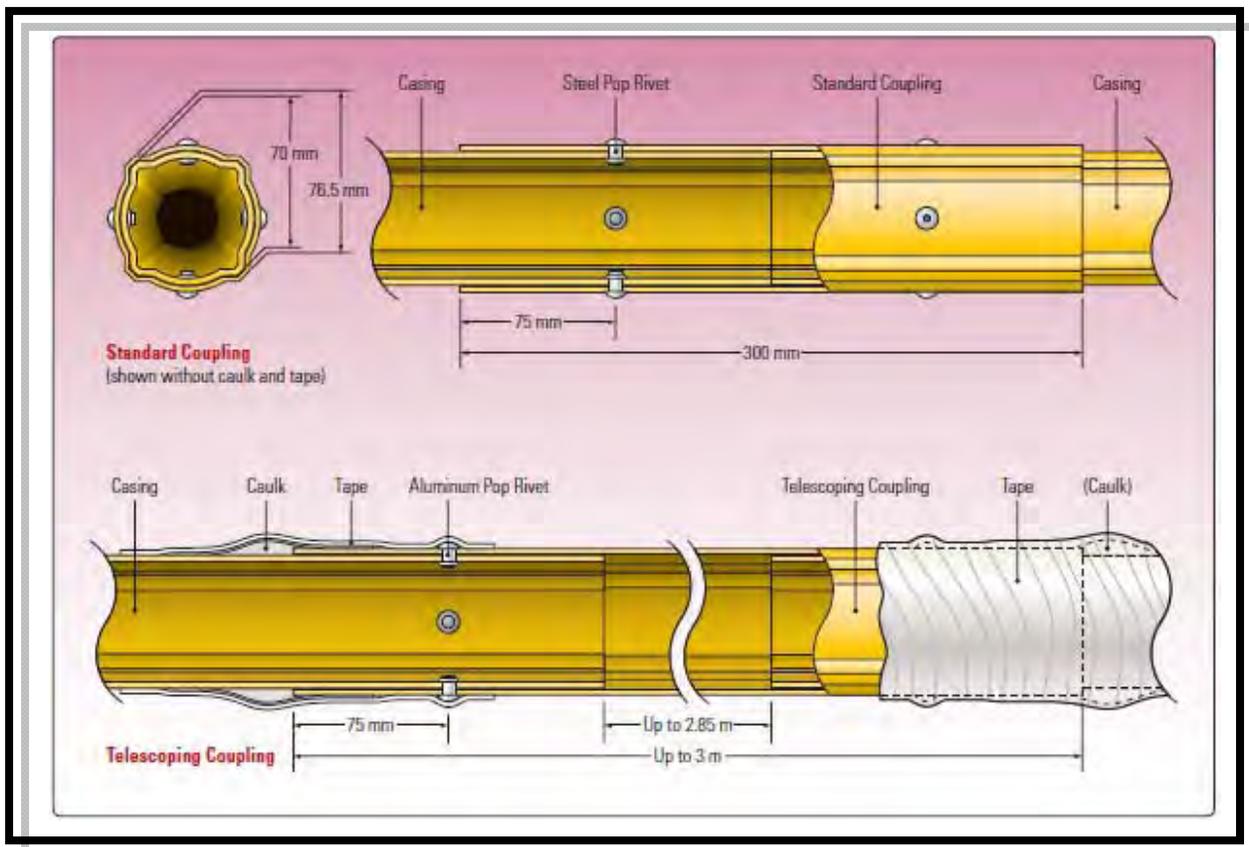


Fig. 3.2.3 Esquema de instalación.

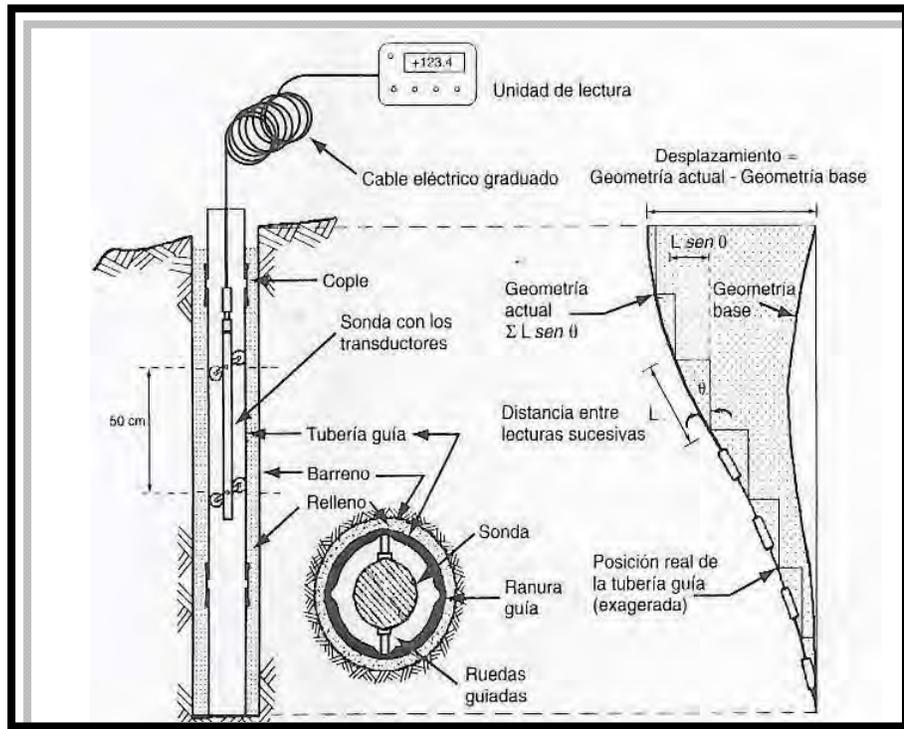


Tabla 3.2.1 Especificaciones técnicas de la tubería y sonda del inclinómetro.

Especificaciones Técnicas	
Tubería	
Diámetro nominal de tubería	70mm, cople 76.5mm
Longitud de tramo de tubo	3m
Material	Fibra de vidrio o ABS
Temperatura máxima	200°C
Presión máxima	1.4 MPa (200psi)
Peso	1.1 kg/m
Sonda	
Rango estándar	15°
Resolución	±0.025mm/500mm
Linealidad y repetibilidad	0.02% F.S.
Rango de temperatura	0° a 85°C
Dimensiones	700x25mm y 1200x25mm (LxØ)

Clinómetro

Este instrumento es utilizado para la medición de la inclinación de estructuras como edificios, puentes, etc... Ya sea en uno o dos ejes. La instalación de la unidad es con la intención de dejarse en el lugar con el fin de tener un registro de los movimientos de la estructura tanto horizontal como vertical de antes, durante y después de la construcción o procedimiento que afectaría su estabilidad.

Cuenta con dos sensores tipo MEMS (Micro Electro Mechanical Sensor), uno para cada eje, vertical y horizontal, que están ensamblados en una caja especial contra intemperie junto con una conexión para la lectura de datos.

Este instrumento tiene varias aplicaciones tales como:

- el monitoreo de la inclinación de muros de retención o muros de edificios
- Inclinación de las pantallas de una presa de concreto
- La seguridad de un edificio durante excavaciones adyacentes
- Monitoreo de puentes
- Y subsidencias del suelo, entre otras.

En el metro, este sistema se utiliza en edificaciones altas aledañas a la excavación de las estaciones para tener monitoreado su comportamiento desde antes y hasta después de la estructura previendo de manera significativa posibles inclinaciones que pueden ser perjudiciales para el edificio y así evitar daños a la estructura y problemas legales y financieros con los dueños. También fue instalado en el puente del cruce Circuito interior con Calzada Ermita-Iztapalapa para monitorear posibles movimientos de la estructura durante el paso del túnel con escudo.

Fig. 3.2.4 Clinómetro utilizado en la L12



3.3 INSTRUMENTACIÓN PARA MEDICIÓN DE PRESIONES

Piezómetro de cuerda vibrante

Este tipo de piezómetros fueron diseñados con la intención de tener un monitoreo a largo plazo de la presión de poro en el subsuelo. El funcionamiento de este instrumento consiste en el uso de un diafragma sensible de acero inoxidable al cual esta conectado un elemento de cuerda vibrante (alambre fino de acero).

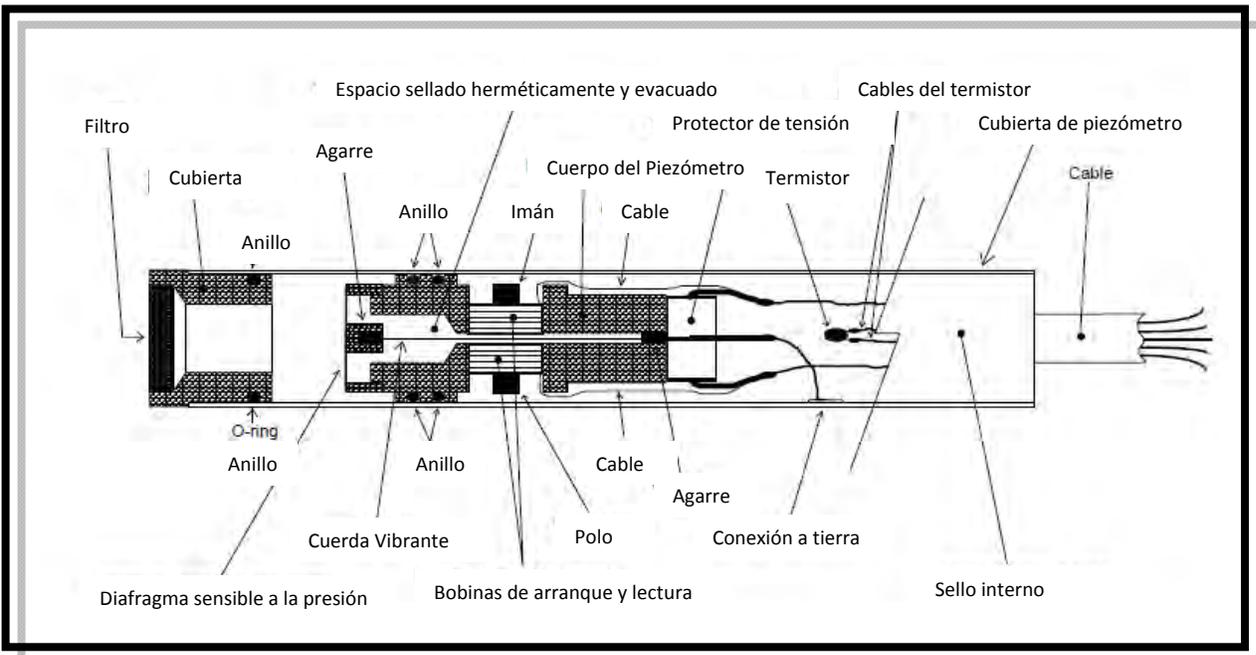
Cuando este esta en uso, el cambio de presiones en el diafragma causa que este se comprima o se contraiga, este movimiento es medido como un cambio en la tensión y frecuencia de vibración del elemento de cuerda vibrante. El cuadrado de la frecuencia de vibración es directamente proporcional a la presión aplicada sobre el diafragma.

Capítulo 3: Tipos de Instrumentos utilizados en la L12 del Metro

Dos bobinas, una con un magneto y otra con un polo se localizan cerca del alambre, estas son afectadas por un pulso que varía la frecuencia y causa que el alambre vibre en su frecuencia de resonancia, cuando la excitación termina el alambre continúa vibrando y una señal eléctrica AC sinusoidal es inducida en las bobinas y transmitidas a la caja de lectura donde es procesada y dando la lectura final de presiones.

En la figura se muestran las partes del sistema de cuerda vibrante del piezómetro.

Fig. 3.3.1 Sistema de cuerda



En el metro estos piezómetros fueron instalados para medir la presión del agua de manera continua y precisa en el subsuelo, se colocaron bajo la losa de fondo de las estaciones y en algunos intertramos junto a los anillos instrumentados del túnel. Estas mediciones se hicieron antes de la construcción de la estación y se siguen tomando aun después de la terminación de la construcción para llevar un monitoreo de la variación de la presiones del suelo bajo las estaciones y en tramos del túnel con escudo.

Fig. 3.3.2 Piezómetro de cuerda vibrante usado en el metro.

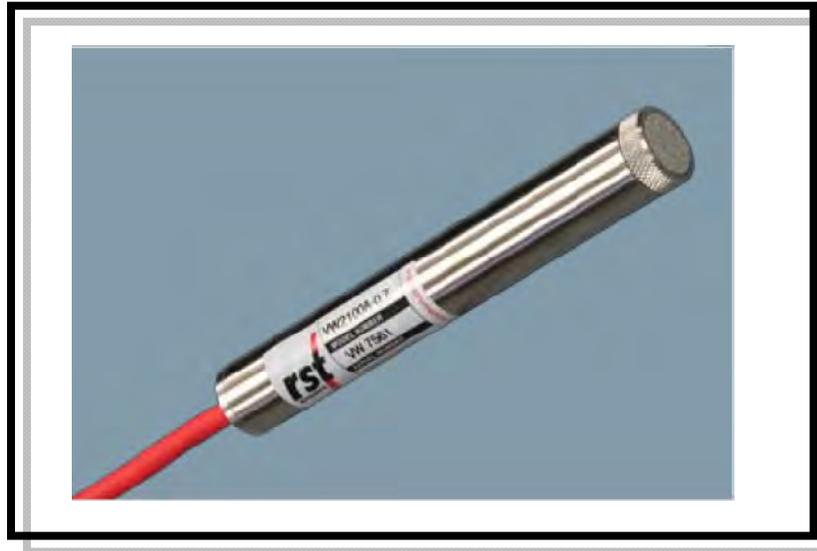


Tabla. 3.3.1 Especificaciones técnicas del piezómetro de cuerda vibrante.

Especificaciones Técnicas	
Material	Armazón de acero inoxidable
Temperatura de operación	-20 a 80°C
Resolución	0.025% F.S mínimo
Precisión	0.1% F.S.
Filtro	Filtro sinterizado de 50micrones
Dimensiones	130x19mm (LxØ)

Piezocelda

Este instrumento, también llamado celda pala, está diseñada para ser hincada en el suelo en donde se quiere saber o medir la presión total de suelo y la presión de poro o presión efectiva. Por lo general este instrumento es instalado en suelos blandos cohesivos, como en la ciudad de México.

Esta puede medir tanto la presión vertical u horizontal dependiendo del sentido en la que fue instalada. También es usada para medir el cambio en el empuje pasivo y activo sobre ciertas estructuras de retención (muros pantalla), como también en túneles.

Se compone básicamente de dos placas longitudinales de acero inoxidable, el espacio entre estas es llenado con glicol desairado y se le instala un filtro y puerto para el piezómetro en la sección no sensible del instrumento. Estas partes son unidas hacia un tubo de acero inoxidable donde se conectan con los transductores de presión de cuerda vibrante.

Su forma de instalación consiste en hacer una perforación con una profundidad menor a la proyectada, con la finalidad de que esta profundidad se alcance hincando la piezocelda un metro más que la profundidad perforada.

Fig. 3.3.3 Piezocelda

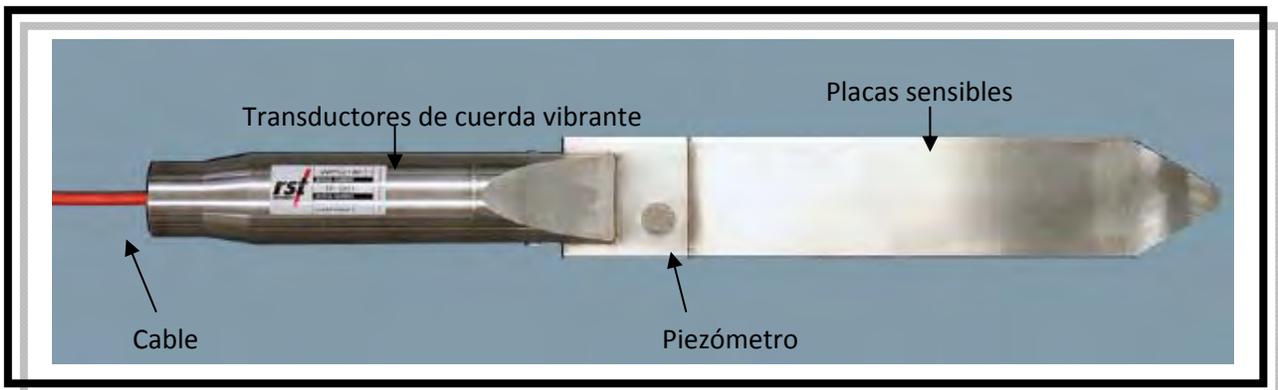


Fig. 3.3.4 Esquema de Piezocelda instalada.

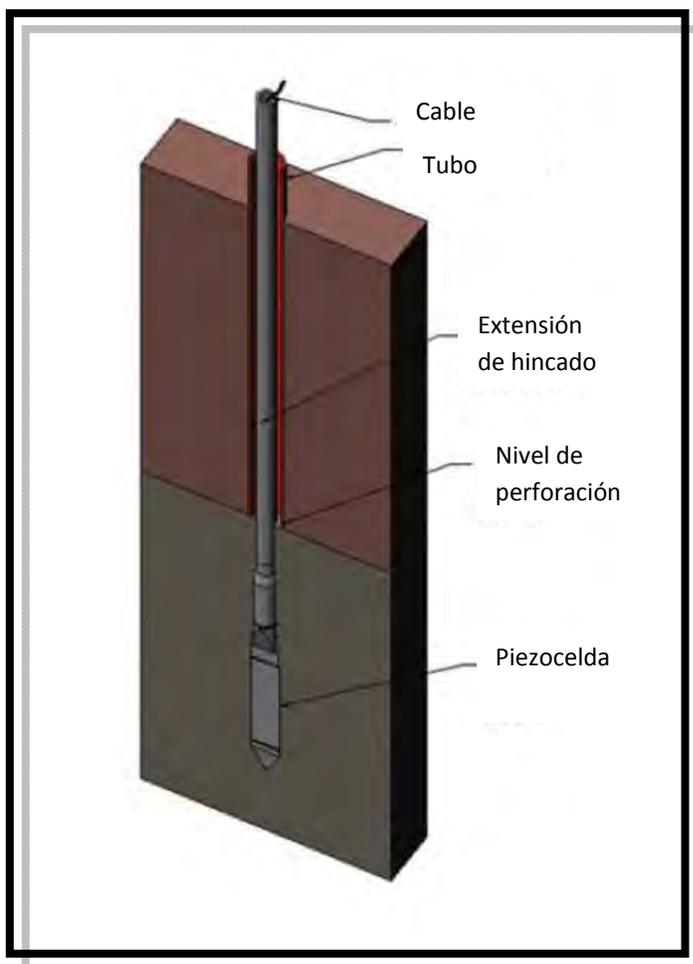


Tabla 3.3.2. Especificaciones técnicas de la piezocelda.

Especificaciones Técnicas	
Rango	70,170,350,700 kPa
Resolución	0.025% F.S.
Precisión	0.1% F.S.
Temperatura de operación	-20 a 80°C
Dimensiones	600x50mm
Filtro	Filtro sinterizado de 50 micrones.

Celda de presión

Las celdas de presión de tierra o presión total, son diseñadas para medir los esfuerzos en el suelo o la presión ejercida por las estructuras hacia el suelo. Ya que estas celdas no solo miden la presión del suelo sino también la presión hidráulica, por eso se les da el nombre de celdas de presión total, por esta razón, para conocer la presión efectiva, es necesario separar la presión de poro mediante las lecturas de un piezómetro y mediante el principio de Terzaghi, donde:

$$\sigma' = \sigma - \mu$$

Donde:

σ' = presión efectiva

σ = presión total

μ = presión de poro

De esta forma y con las propiedades del suelo se conocerá el comportamiento del suelo ante las cargas que actúan sobre él.

Las celdas están conformadas por dos placas delgadas y planas de acero soldadas en su periferia y separadas por una pequeña porción de fluido hidráulico desairado. Cuando es colocada en su posición para usarse, la presión del suelo actúa sobre las placas de manera que comprime las dos placas haciendo que la presión en el fluido aumente. Esta presión es recibida en el transductor, ya sea neumático, hidráulico o de cuerda vibrante, que posteriormente la convierte en señal y es traducida por una unidad de lectura en las unidades de medición correspondientes.

El tipo de celdas depende del caso que se quiera monitorear. En el metro lo que se quiere monitorear son los esfuerzos de la estructura de la estación sobre el suelo para tener controlados los esfuerzos ocasionados por la construcción ya que el suelo tiene una capacidad de carga específica y por especificaciones de proyecto, el hundimiento de la estación no puede rebasar el máximo permisible que establece el RCDF en las normas técnicas complementarias para el diseño y construcción de estructuras de concreto.

La instalación de estas es de manera que quedan ahogadas en el concreto, o enterradas en el suelo, afectando los esfuerzos naturales del suelo. En el siguiente esquema se muestran las partes de la celda de presión y su posición instalada.

Fig. 3.3.5 Partes de la celda de presión.

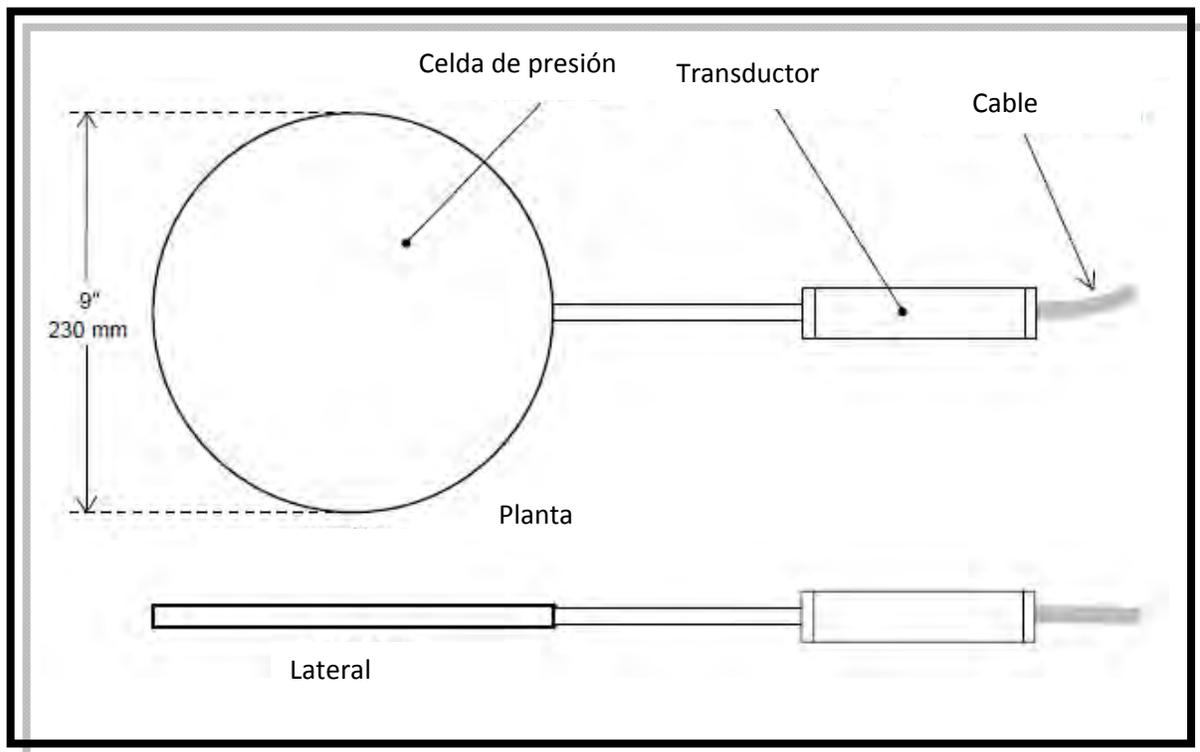


Fig. 3.3.6 Esquema de celda instalada

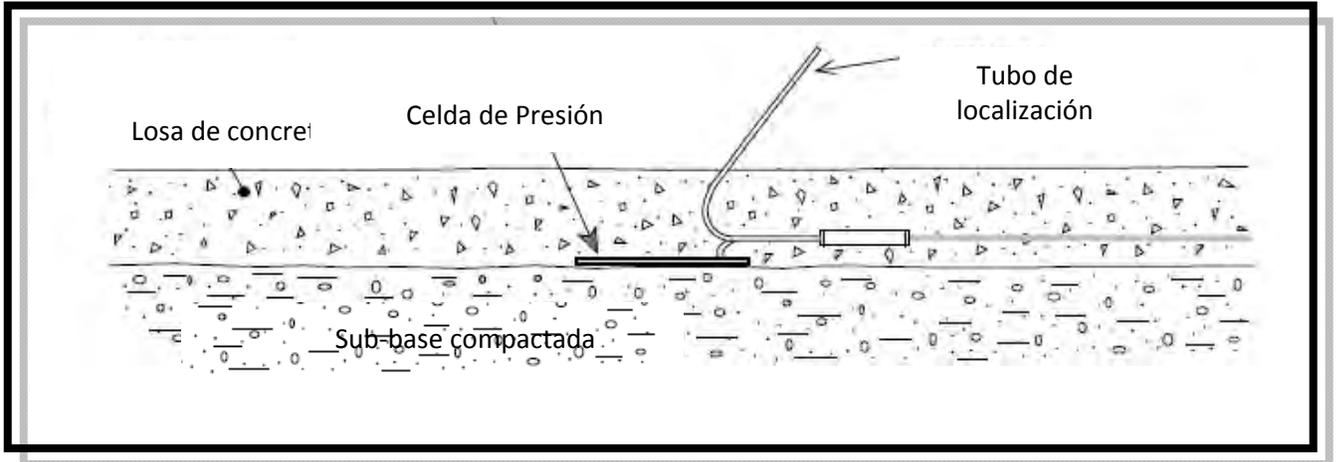
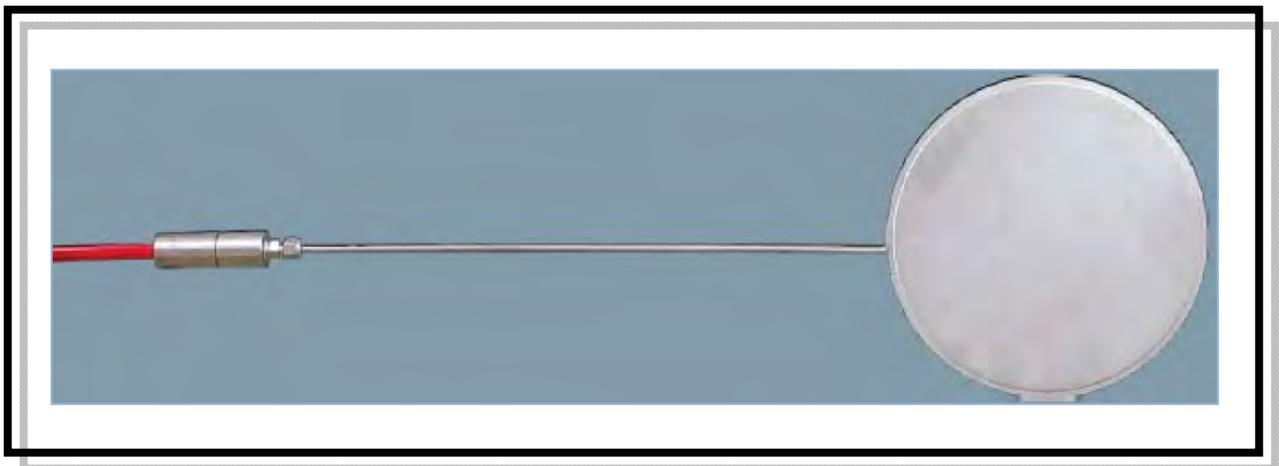


Fig. 3.3.7 Celda de presión utilizada en la L12.



CAPITULO 4.

INSTRUMENTOS INSTALADOS EN LA ESTACIÓN MEXICALTZINGO

4.1 INSTRUMENTOS HORIZONTALES

Para llevar un monitoreo de las condiciones de la estación desde antes de su construcción hasta el final de la misma y puesta en operación, se elaboró una especificación donde se indican los instrumentos con los que se monitorean las condiciones del suelo y comportamiento de la estación. En esta especificación se describen los instrumentos así como el proceso de instalación a seguir, la frecuencia de monitoreo o toma de lecturas y entrega de reportes.

Con el objeto de observar el comportamiento de la excavación a cielo abierto durante la construcción de la Estación Mexicaltzingo con sección en cajón, así como de los edificios aledaños a la misma, se instaló la instrumentación horizontal a base de inclinómetros. Estos fueron de dos tipos.

- Inclinómetro en Suelo
- Inclinómetro en Muro

El inclinómetro está constituido por una tubería tipo ABS de tramos de aproximadamente 3.00m de longitud y 70mm de diámetro exterior, en el inclinómetro en suelo se utilizaron coples telescópicos en cada unión de tubería.

La tubería tiene cuatro ranuras verticales diametralmente opuestas que sirven de guía a la sonda de medición.

Se instalaron 2 inclinómetros, uno en el terreno natural y otro embebido en el muro milán, alineados en forma colineal.

INCLINÓMETRO EN SUELO.

Este instrumento se instaló en una perforación vertical y limpia de azolve. El procedimiento especificado que se llevó a cabo para la instalación del inclinómetro en el terreno se describe a continuación:

Se realizará una perforación en el suelo de 6" de diámetro usando lodo bentonítico para estabilizar las paredes de la perforación y extraer los recortes de la misma.

La profundidad de desplante de la perforación será de 33.00m y se ubicará al centro del edificio colindante de 4 niveles, del lado sur, identificado con el no. Oficial 443, tal como se muestra en las figuras no. 4.1.1 y no. 4.1.2

Simultáneamente con la actividad anterior se procederá a ensamblar los tramos de tubería y los coples (ver figura 4.1.3) para iniciar su instalación tan pronto termine la perforación; deberá cuidarse que los seguros que garantizan la unión del cople telescópico y la tubería tipo ABS queden bien colocados para evitar torsiones o desprendimientos. La tubería deberá llevar en su extremo inferior un tapón especial para inclinómetros de ABS.

Una vez que se haya alcanzado la profundidad requerida, se limpiará la perforación haciendo circular lodo bentonítico limpio hasta que este retorne en iguales condiciones a la superficie.

Concluido lo anterior se bajará la tubería dentro de la perforación cuidando que un par de ranuras diametralmente opuestas sean perpendiculares al eje de la excavación; durante esta etapa, se preparará la mezcla del material que rellenará el espacio anular entre la tubería y la pared de la perforación, que consistirá en una mezcla de bentonita-cemento-agua, para evitar que fragüe antes de su inyección.

La mezcla de bentonita-cemento-agua se inyectará a baja presión (0.05 kg/cm² como mínimo y 0.50 kg/cm² como máximo), desde el fondo de la perforación hasta alcanzar el nivel correspondiente a 30cm por abajo del terreno natural.

Se fijará el extremo superior de la tubería con un soporte y se construirá un muerto de concreto que servirá como registro de protección del inclinómetro.

Se deberá marcar el instrumento con alguna referencia que lo identifique, y que además señale su profundidad de desplante.

La instalación del inclinómetro, se deberá efectuar tomando en cuenta, las indicaciones aquí descritas, así como el procedimiento recomendado por el proveedor del equipo y las especificaciones del manual Covitur.

El inclinómetro estará localizado a 2.00m del paño exterior del muro milán y se ubicará en la posición que se muestra en las figuras no. 4.1.1 y 4.1.4. En caso de existir interferencia vehicular o por otro tipo de instalaciones, el inclinómetro podrá separarse y reubicarse en banquetta.

INCLINÓMETRO EN MURO.

Siguiendo con la especificación para inclinómetro, la especificación del inclinómetro en muro continúa así.

Previo al colado del muro milán se deberá acoplar una tubería de PVC de 6” y fijarla al armado de la parrilla del muro milán, tal como se muestra en la figura 5, la cual quedara embebida en el muro milán. Una vez colado el muro se realizará la instalación del inclinómetro tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

1.- Se deberán dar facilidades para que se instale la tubería de PVC en la parrilla del armado del muro milán correspondiente, tal como se indica en las figuras no. 4.1.5 y no. 4.1.6.

Capítulo 4: Instrumentos Instalados en la Estación Mexicaltzingo

- 2.- La localización del inclinómetro en la parrilla estará a cargo del personal de proyecto.
- 3.- Se rellenará la tubería con agua previo al proceso de colado de muro milán.
- 4.- Se deberá garantizar que durante el colado del muro milán no haya filtraciones de concreto o de lechada de cemento por los coples de la tubería de PVC.
- 5.- La profundidad de desplante de este inclinómetro será igual a la máxima profundidad del muro milán, respectivo.
- 6.- A las 24 hrs de colado el muro, se deberá colocar la tubería del inclinómetro como muestra la figura 4.1.6.

El inclinómetro en muro estará localizado al centro del edificio colindante de 4 niveles, del lado sur, identificado con el no. Oficial 443 e indicado en la figura no. 4.1.1 (colineal al instalado en el terreno natural).

La frecuencia de lecturas en los inclinómetros será la siguiente:

- a) Primer lectura 15 días previos al inicio de la excavación, la segunda tres días posteriores, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 2 mm; 3 días antes del inicio del bombeo se tomará la última lectura previa al inicio de actividades.
- b) Se realizará una lectura al día durante el bombeo y excavación.
- c) Después de retirar el último nivel de puntales del tablero en cuestión se deberán tomar lecturas una vez al día durante una semana y posteriormente una lectura una vez por semana hasta el colado de la losa tapa.

Fig. 4.1.1 planta de instrumentación, Estación Mexicaltzingo

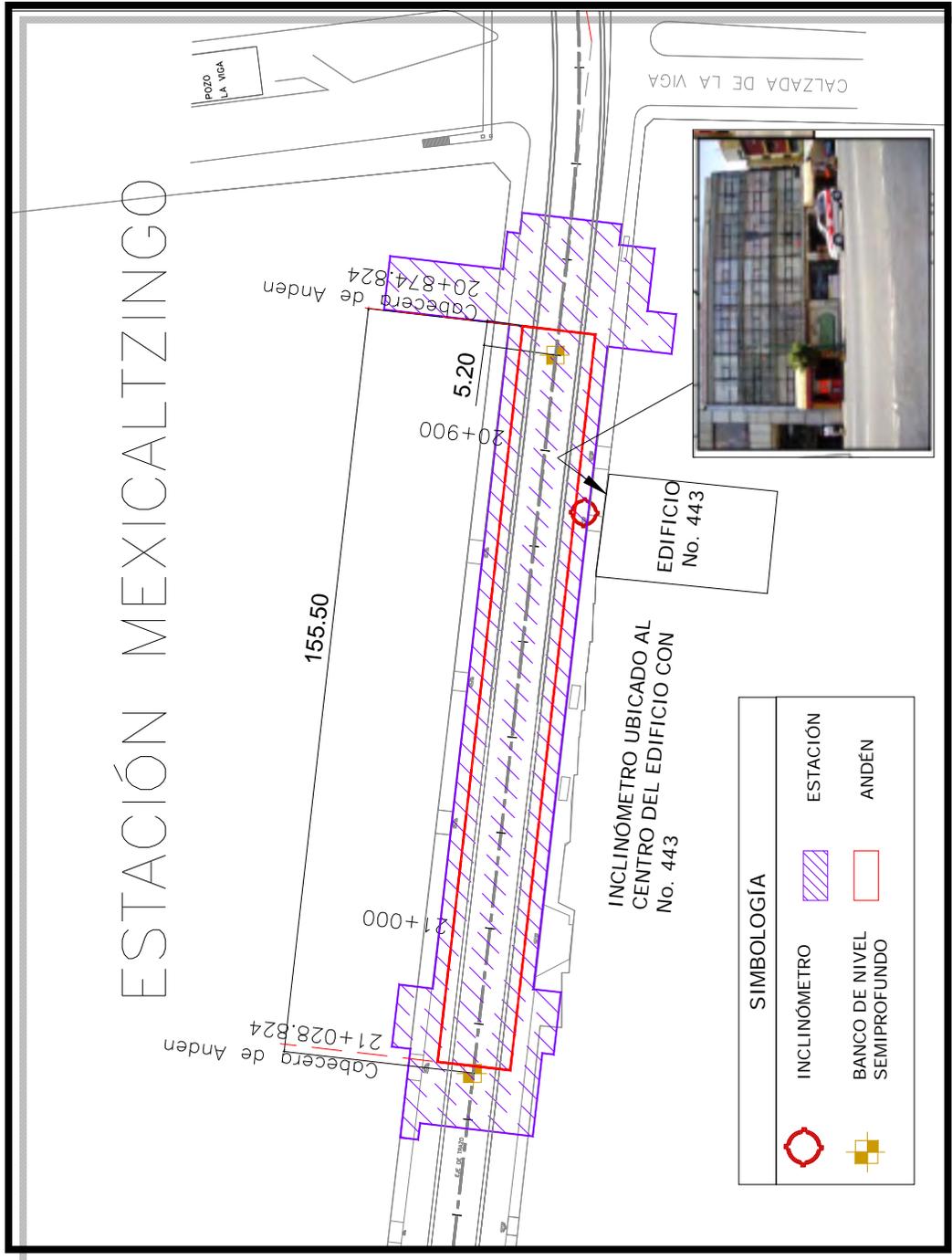


Fig. 4.1.2 instalación de inclinómetro en suelo

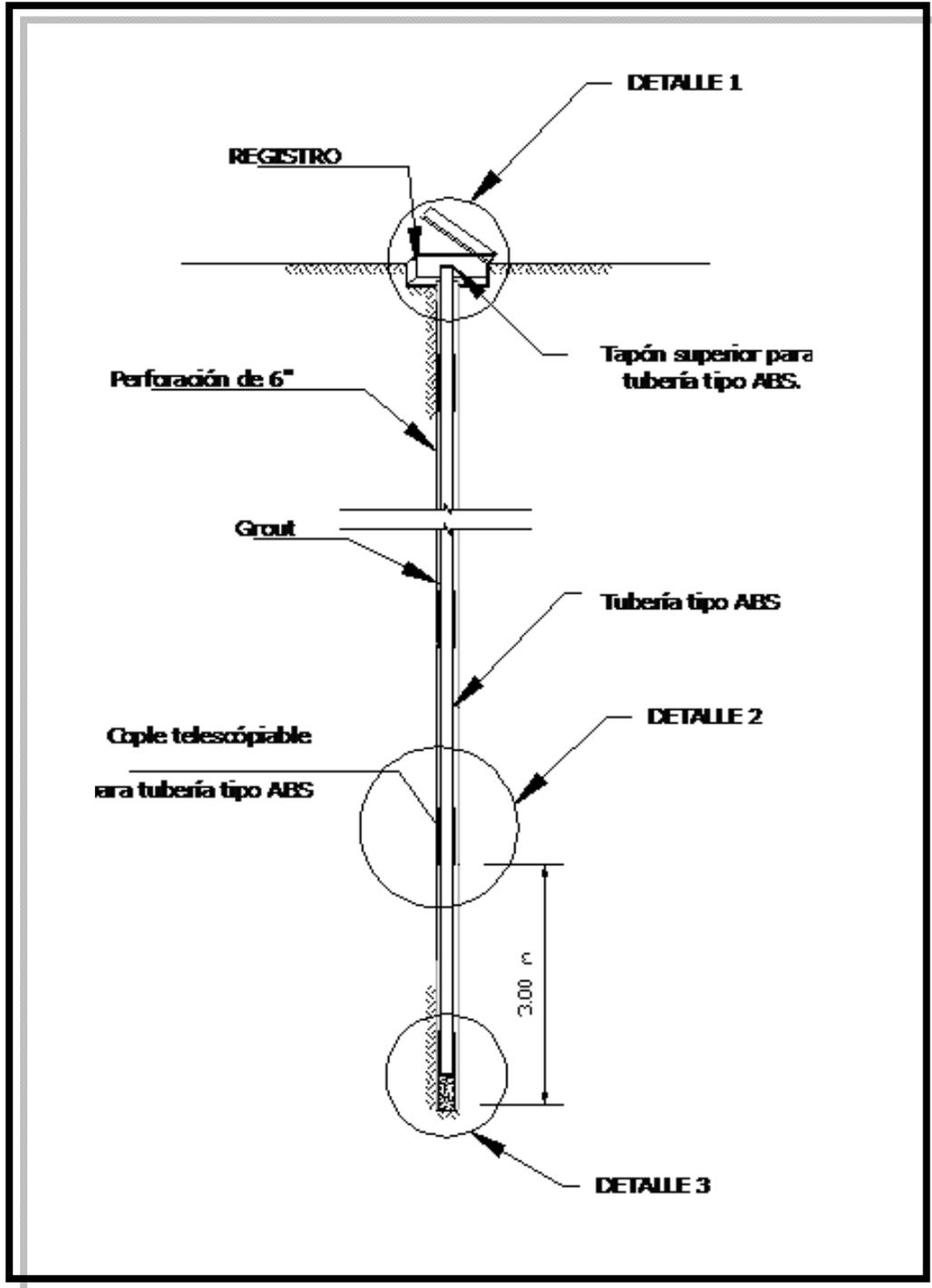


Fig. 4.1.3 tubería y cople de inclinómetro

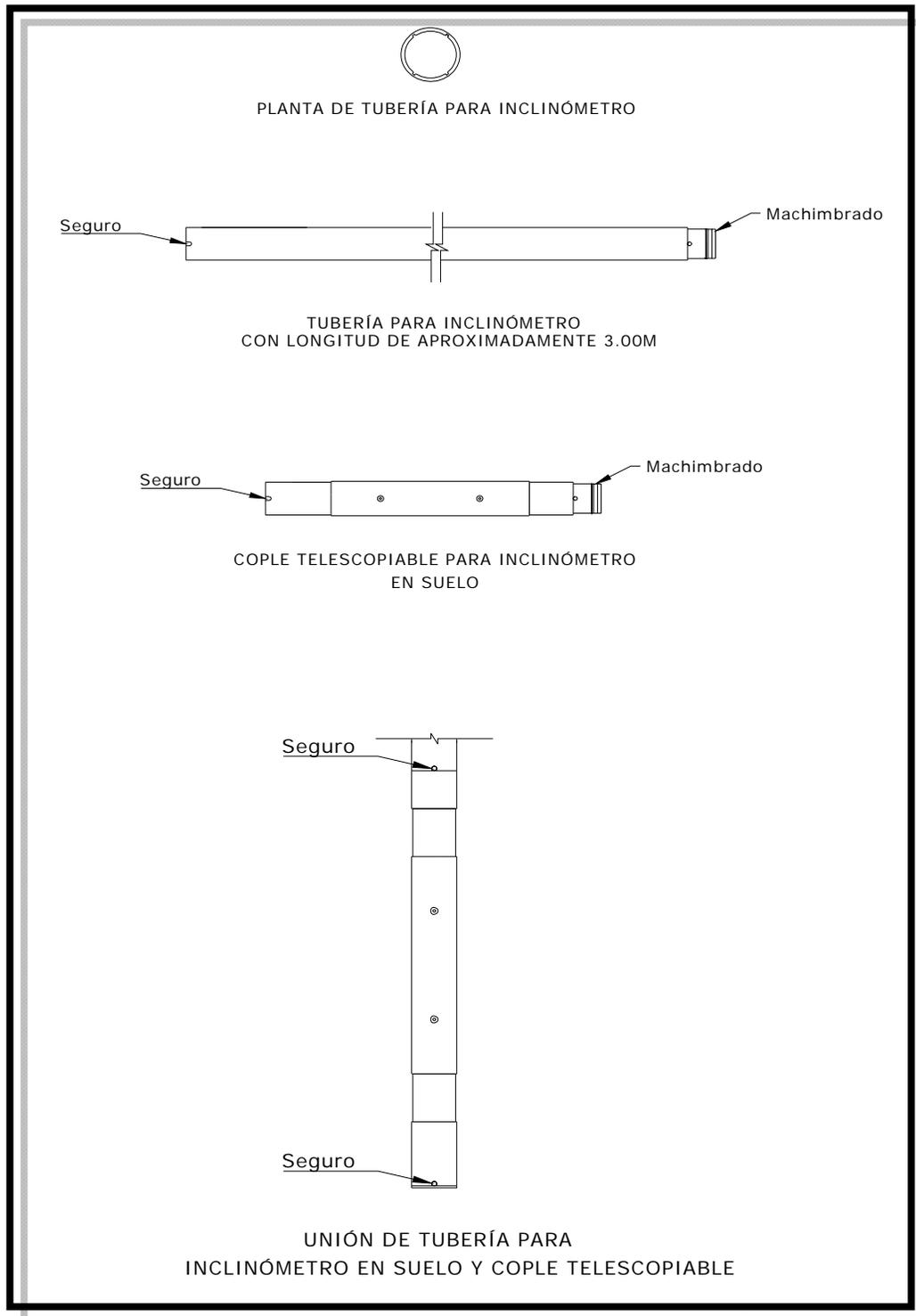


Fig. 4.1.4. Inclinómetro aledaño al muro Milán

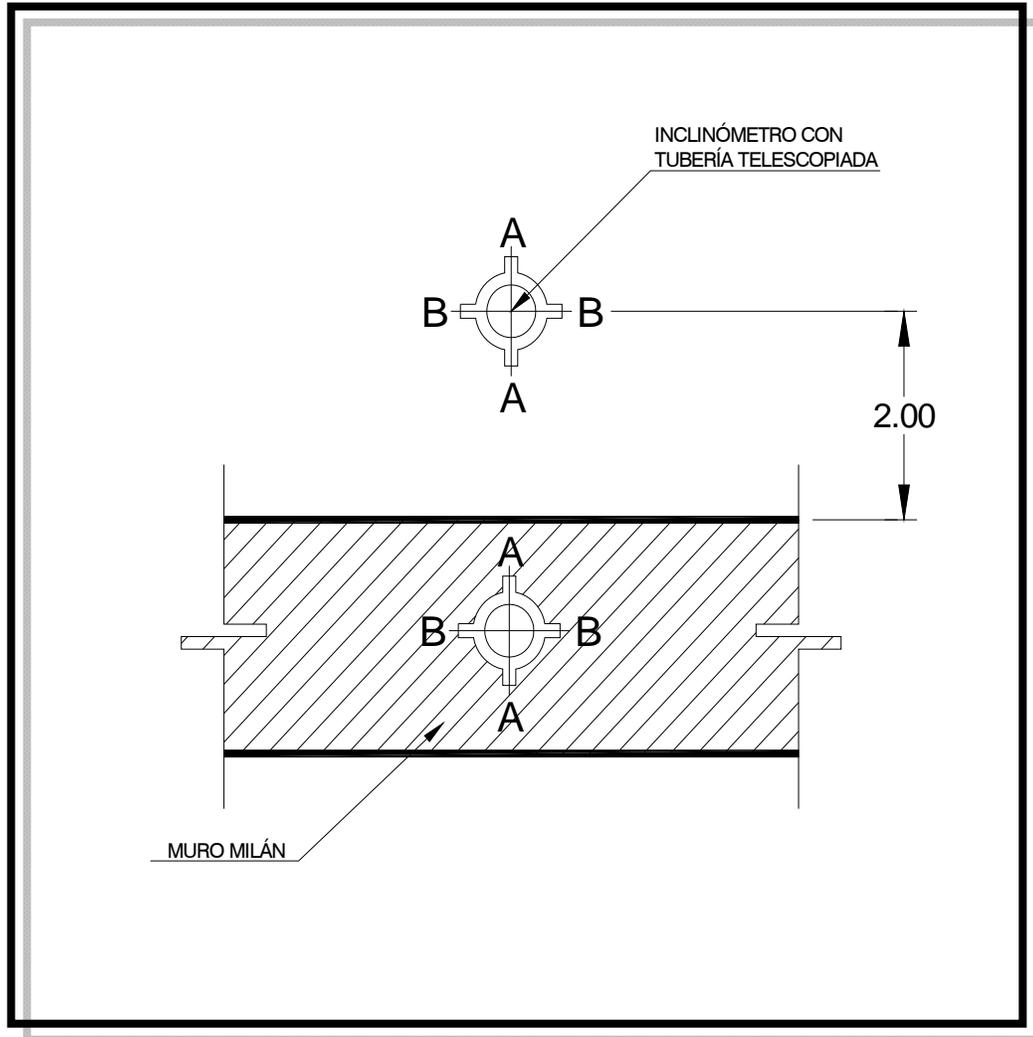


Fig. 4.1.5. Instalación de tubería de pvc en armado de parrilla de muro milán

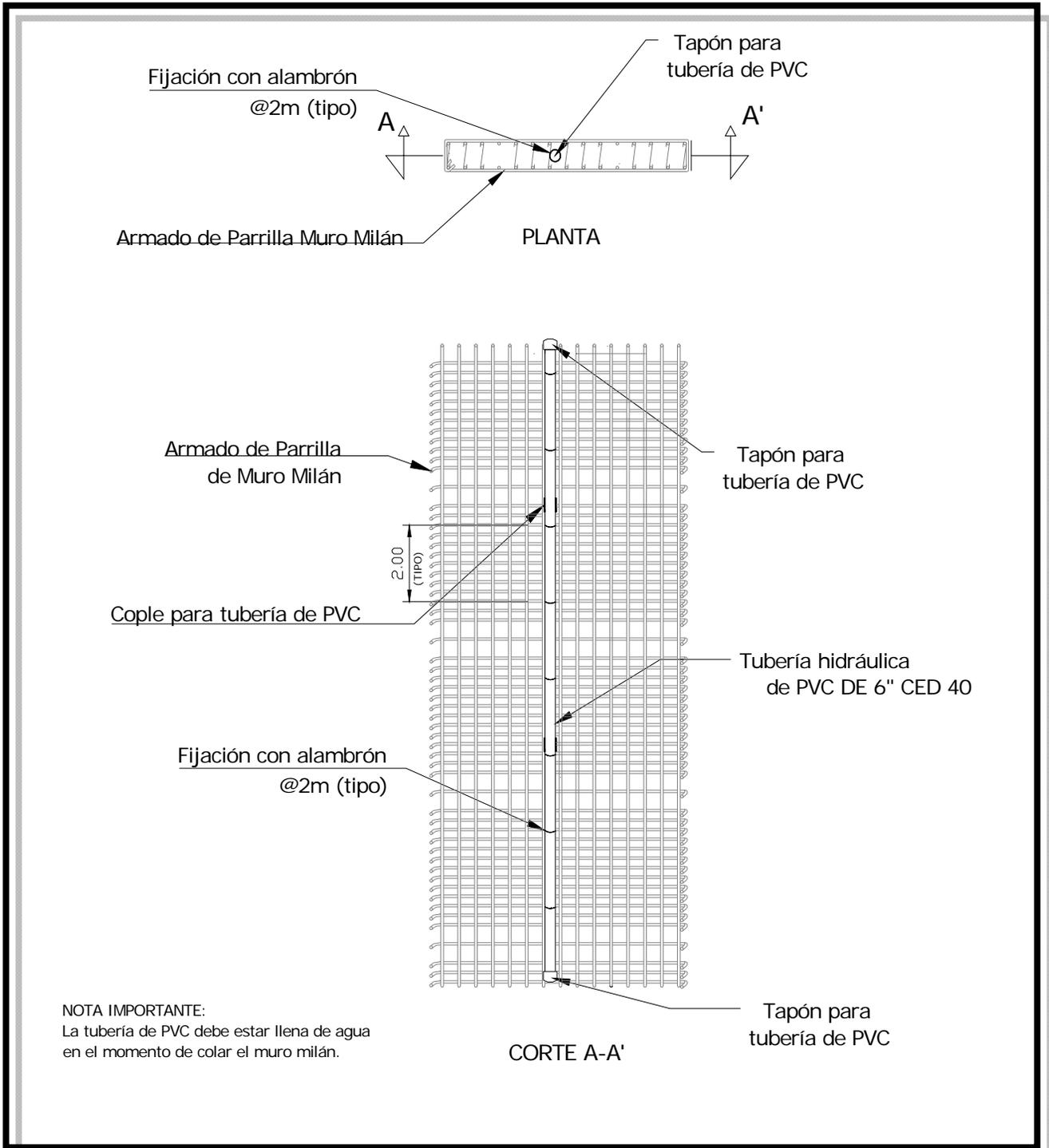


Fig. 4.1.6. Instalación de inclinómetro en muro Milán

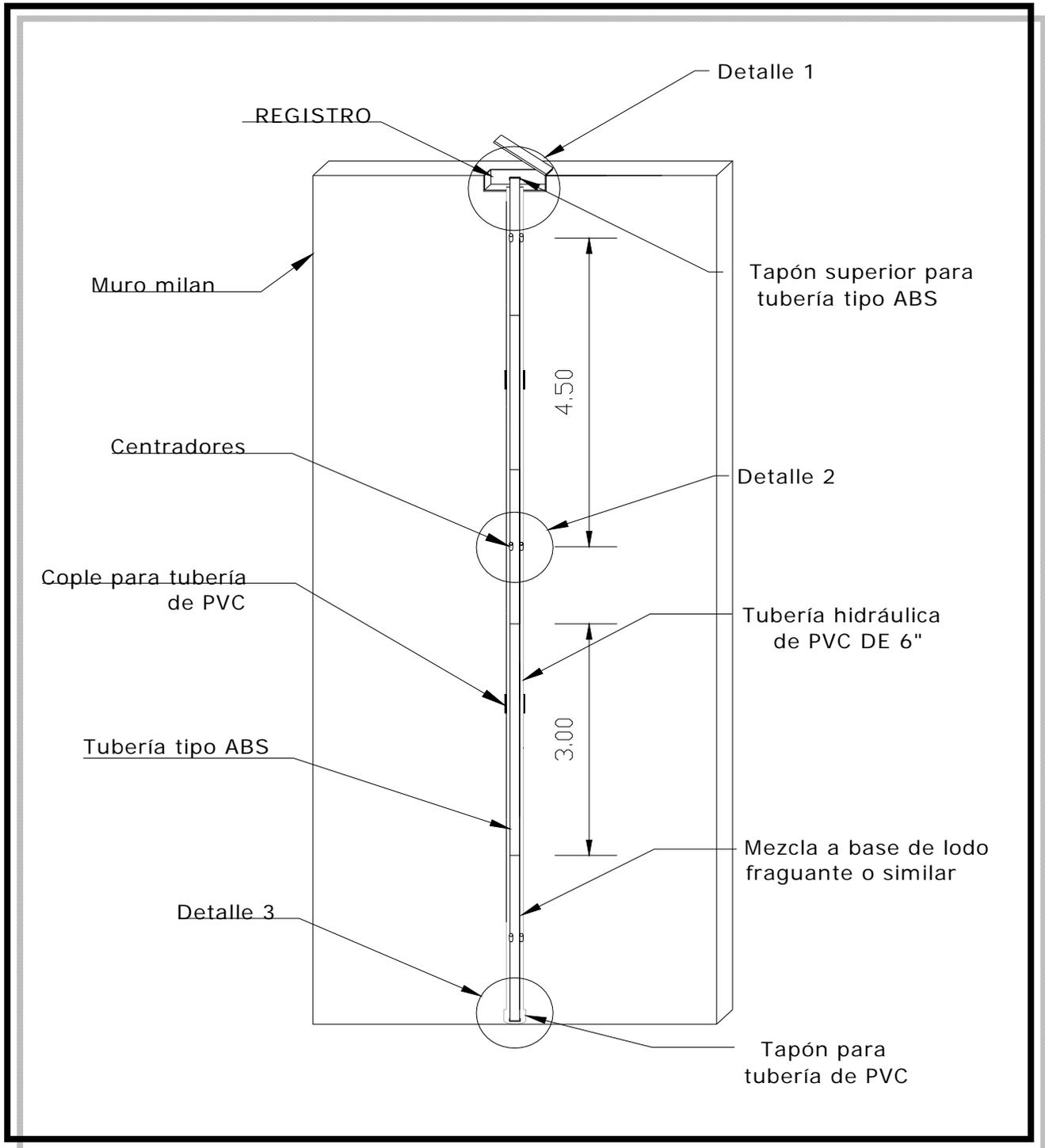
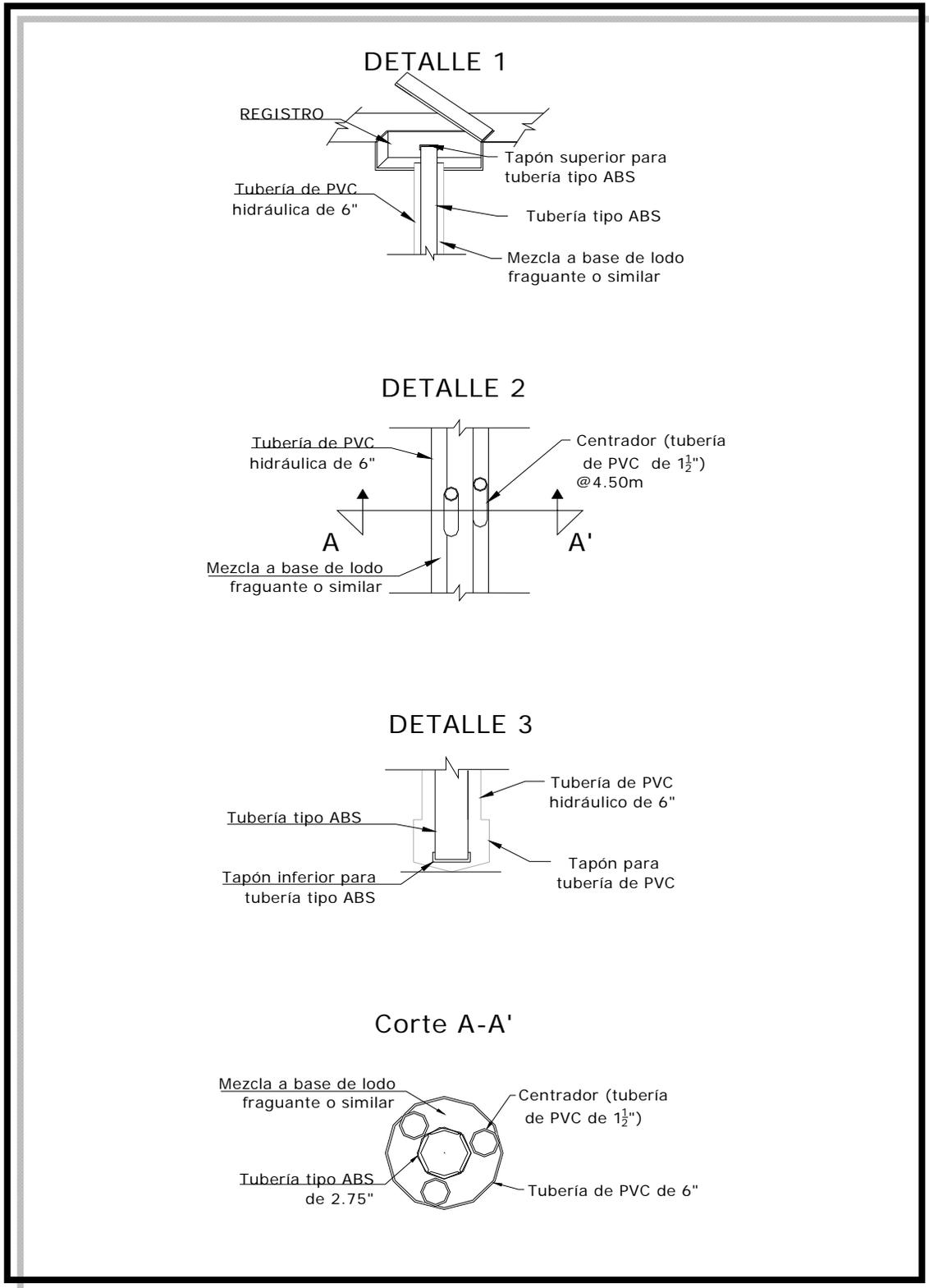


Fig. 4.1.7. Detalles



4.2 INSTRUMENTOS VERTICALES

BANCOS DE NIVEL SEMIPROFUNDOS.

Con el fin de verificar posibles movimientos debidos a la excavación, se instalarán (2) bancos de nivel semiprofundos desplantados a 2.00m abajo de la máxima profundidad de excavación correspondiente a la zona en cuestión y localizados al eje del trazo. Los Bancos de Nivel Semiprofundo se instalarán a una distancia de 5.20m y 155.50m respectivamente de la cabecera del andén oriente a poniente, ver ubicación en figura no. 4.1.1.

Los bancos se irán recortando a medida que avance la excavación, tomando las debidas precauciones para que no sean dañados por los equipos de excavación, por lo que en la zona vecina al ademe del banco, la excavación deberá efectuarse a mano.

La instalación de los bancos deberá realizarse de acuerdo a lo indicado en la figura no. 4.2.1.

La frecuencia de las lecturas en estos bancos de nivel, niveletas y plomos será la siguiente:

- a) Primer lectura 15 días previos al inicio de la excavación, la segunda tres días posteriores, si las dos lecturas son similares se toma como inicial, de no ser así se repetirán las lecturas hasta que tengan una diferencia máxima de ± 2 mm; 3 días antes del inicio del bombeo se tomará la última lectura previa al inicio de actividades.
- b) Se realizará una lectura al día durante el bombeo y excavación.

- c) Una vez colada la losa de piso de la etapa en cuestión, la cota de los bancos semiprofundos deberá trasladarse hacia dicha losa sobre la línea de subrasante, para poder continuar con el control de movimientos verticales del tramo, realizando dos nivelaciones por semana (lunes y jueves). Una vez colocado el balasto de la sección, se trasladará la cota a los muros estructurales de la misma.

- d) Terminada la obra civil, las lecturas se realizarán una vez por semana, durante cuatro meses, momento en el cual si la tendencia de las mismas indica estabilidad, podrán suspenderse las lecturas.

PALOMAS Y PLOMOS.

Con el fin de conocer los movimientos que se pudieran presentar en los edificios aledaños a la estación, se procederá a colocar marcas de pintura (palomas) y puntos de desplome en los paramentos de estos, de acuerdo con lo descrito a continuación:

Las palomas se ubicarán en las edificaciones colindantes con la zona de proyecto. Las marcas (palomas) se colocarán en las colindancias de los edificaciones a 1.50m de altura, medido a partir del nivel de banqueta, tal como se muestra en la figura no. 4.2.1.

Además de las líneas de colimación y palomas, se deberán marcar puntos de desplome en los edificios de tres niveles o más, colindantes con la obra, utilizando las botaguas de algunas edificaciones o fijando ménsulas o perfiles de fierro en las azoteas o en donde lo permita la construcción, ver figura No. 4.1.2. Posteriormente se medirán los posibles desplomes que se presenten en cada uno de ellos. Se deberá tomar una lectura de desplome inicial, la cual servirá de referencia y para conocer si la edificación se encuentra desplomada de origen, por lo que deberá tomarse antes del inicio de las obras del metro.

Fig. 4.2.1. Banco de nivel semiprofundo.

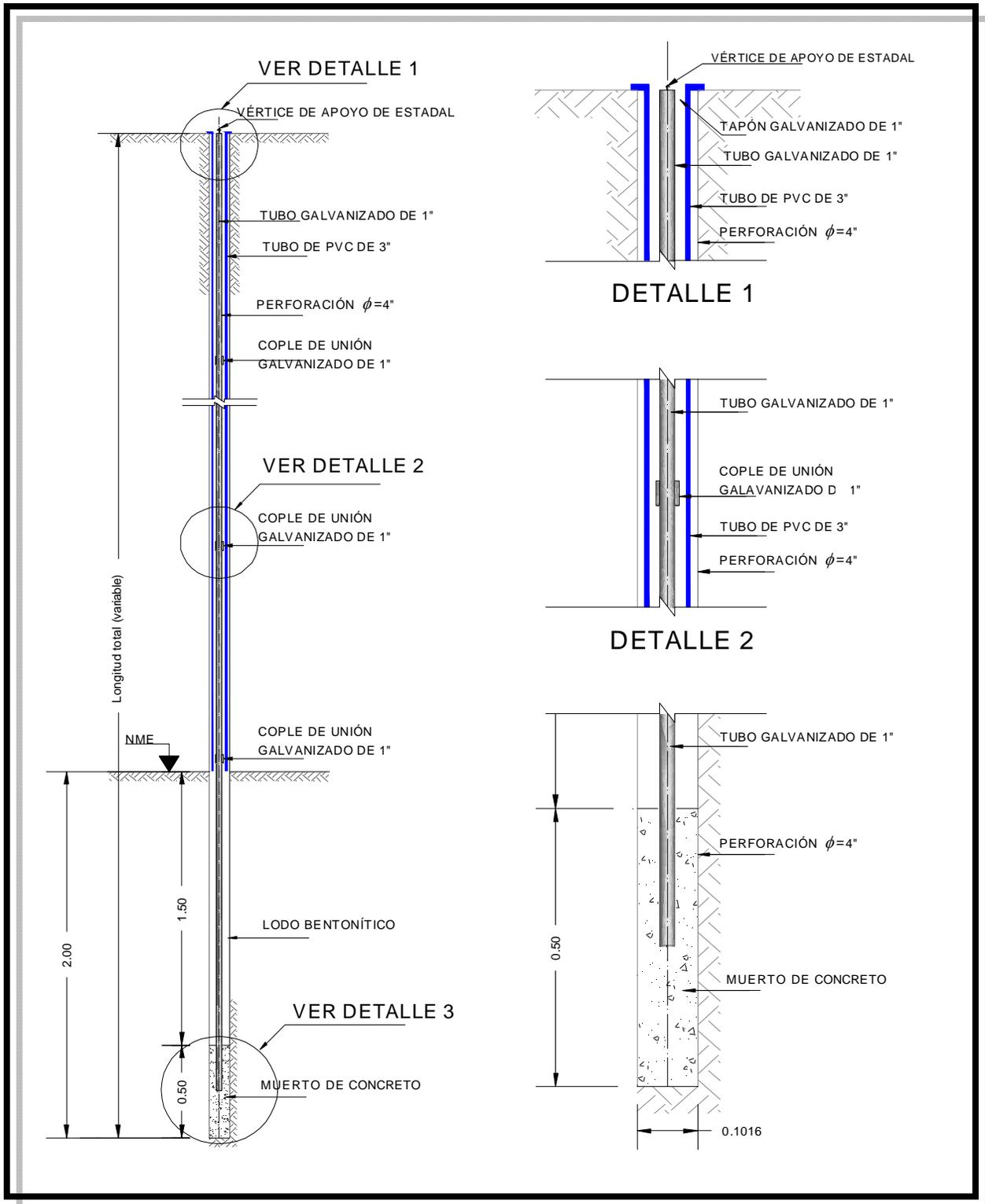
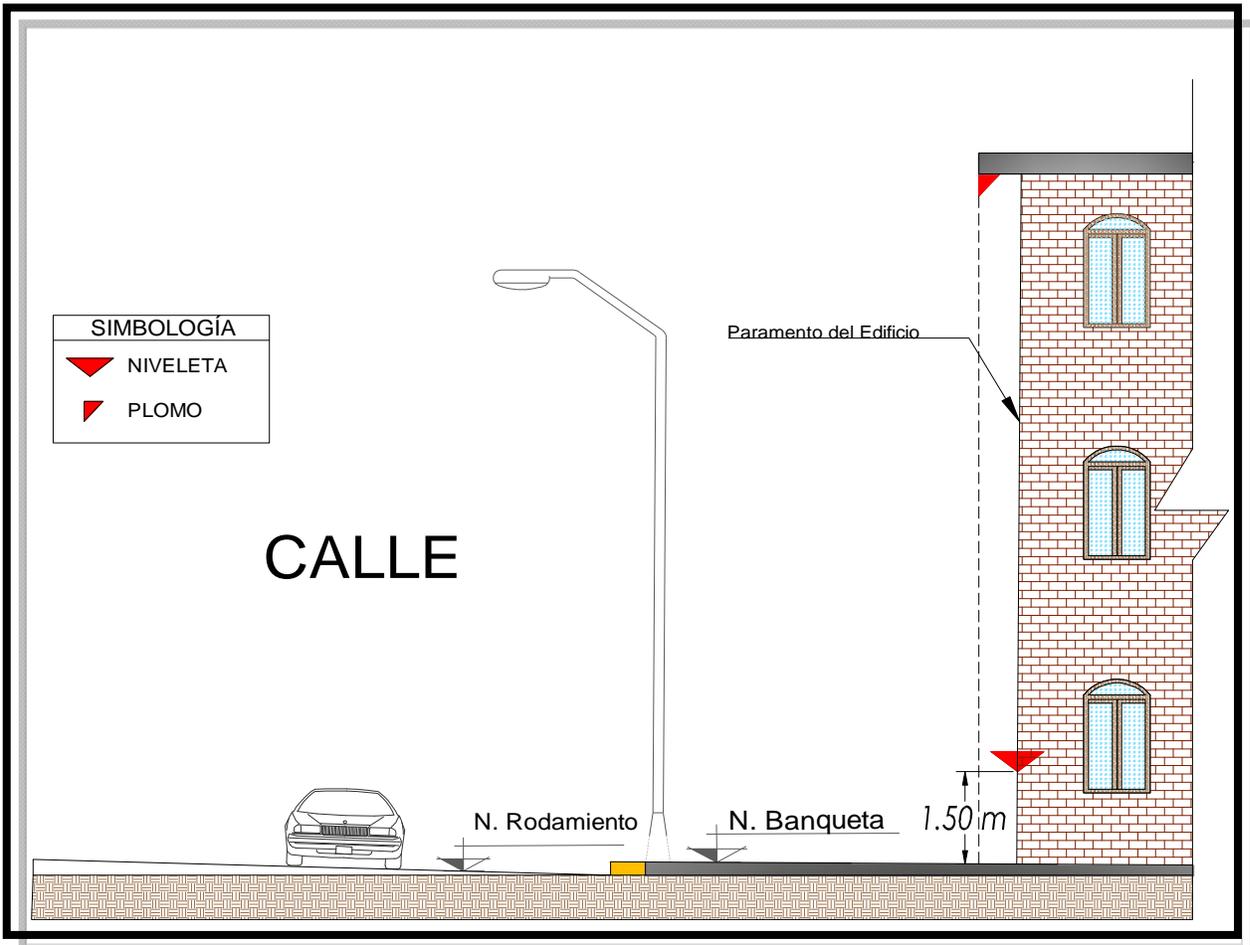


Fig. 4.2.2. Palomas y plomos



4.3 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIONES

PIEZÓMETROS DE CUERDA VIBRANTE

Para medir la presión del agua en el subsuelo bajo la losa de fondo de la estación, se instalarán dos piezómetros de cuerda vibrante, colocados 50m y 104m respectivamente de la cabecera del andén oriente a poniente y 50cm. por debajo del nivel de la losa de fondo, ver ubicación en figura No. 4.3.1.

Previo a la instalación de los piezómetros se deberá verificar su correcto funcionamiento colocando los piezómetros en un recipiente con agua, verificando las lecturas de la presión del agua con los resultados de las hojas de calibración respectivas. Una vez verificado el correcto funcionamiento de cada piezómetro, se les colocara una bolsa de Geotextil tipo mosquitero fabricada en obra, de tal manera que la bolsa cubra completamente al piezómetro, y rellena de granzón, la cual tiene como objetivo funcionar como filtro protector del piezómetro de cuerda vibrante.

Una vez localizada topográficamente la ubicación de los piezómetros, se realizara una excavación de 50x50x50 cm., en la que se colocará granzón la cual funcionará como filtro, ver detalle en figura No. 4.3.1.

Para verificar en campo el correcto funcionamiento del piezómetro, esta será sumergida en un recipiente con agua, durante este proceso, se dará un lapso de tiempo suficiente para garantizar que las lecturas inicial y subsecuentes, tomadas con el auxilio de la unidad de lectura correspondiente, sean estables, determinando así las lecturas iniciales o “cero”.

Una vez verificado el correcto funcionamiento en campo del piezómetro, se procederá a introducirlo en la sección previamente excavado, en este proceso se le irá colocando granzón de tal manera que el piezómetro quede ahogado con el mismo material y tenga la función de un filtro.

En esta actividad el cable de señal del piezómetro se introduce en un tubo de PVC sanitario de 2” de diámetro, la cual servirá para cubrir el cable, y así garantizar el correcto funcionamiento del mismo.

Una vez terminadas las actividades anteriores, se dejara pasar un lapso del orden de 24 horas, con el fin de que el piezómetro se estabilice para poder tomar las lecturas subsecuentes.

Finalmente el cable de señal del piezómetro se llevará hasta la superficie y como medida de protección se construirá un registro de 0.65m de altura, y de 0.60m x 0.60m, se ubicará de acuerdo con los espacios disponibles de cada sitio.

Una vez colocado el piezómetro en el sitio indicado en la estación, la frecuencia de medición será la siguiente:

- a) Se deberán tomar las lecturas necesarias hasta observar una estabilización de las mismas (como mínimo 3 lecturas similares). Una vez logrado lo anterior, y con los datos de las mediciones, se deberán elaborar gráficas tiempo vs presión.
- b) Se realizarán lecturas diarias hasta que las gráficas tiempo vs presión muestren una tendencia de estabilidad.
- c) En el momento en que las gráficas muestran una tendencia de estabilidad franca, las lecturas se realizarán una vez por semana, si después de tres meses se observa la continuidad de la estabilidad, se podrán realizar una vez por mes, hasta la recepción del proyecto.

CELDAS DE PRESIÓN

Para detectar la magnitud y distribución de los esfuerzos de confinamiento que el subsuelo ejerce sobre la losa de fondo de la estación, se instalarán dos celdas de presión colocados a una distancia de 40m y 114m medidos a partir de la cabecera del andén oriente a poniente y 20cm por debajo del nivel de la losa de fondo, ver ubicación en figura No 4.3.2

Previo a la instalación se tomarán lecturas de verificación en las celdas de presión, una segunda inmediatamente después de instalada en la estación.

Una vez verificado el correcto funcionamiento, se procederá a introducir la celda de presión en la sección previamente excavada de 20x40x40 cm., la cual se rellenará con material producto de la excavación, ver detalle de figura no.4.3.2. En esta actividad el cable de señal de la celda de presión se introduce en un tubo de PVC sanitario de 2” de diámetro, la cual servirá para cubrir el cable, y así garantizar el correcto funcionamiento del mismo.

Finalmente el cable de señal de la celda de presión se llevará hasta la superficie y se alojará junto a los cables del piezómetro.

Fig. 4.3.1. Ubicación de piezómetro

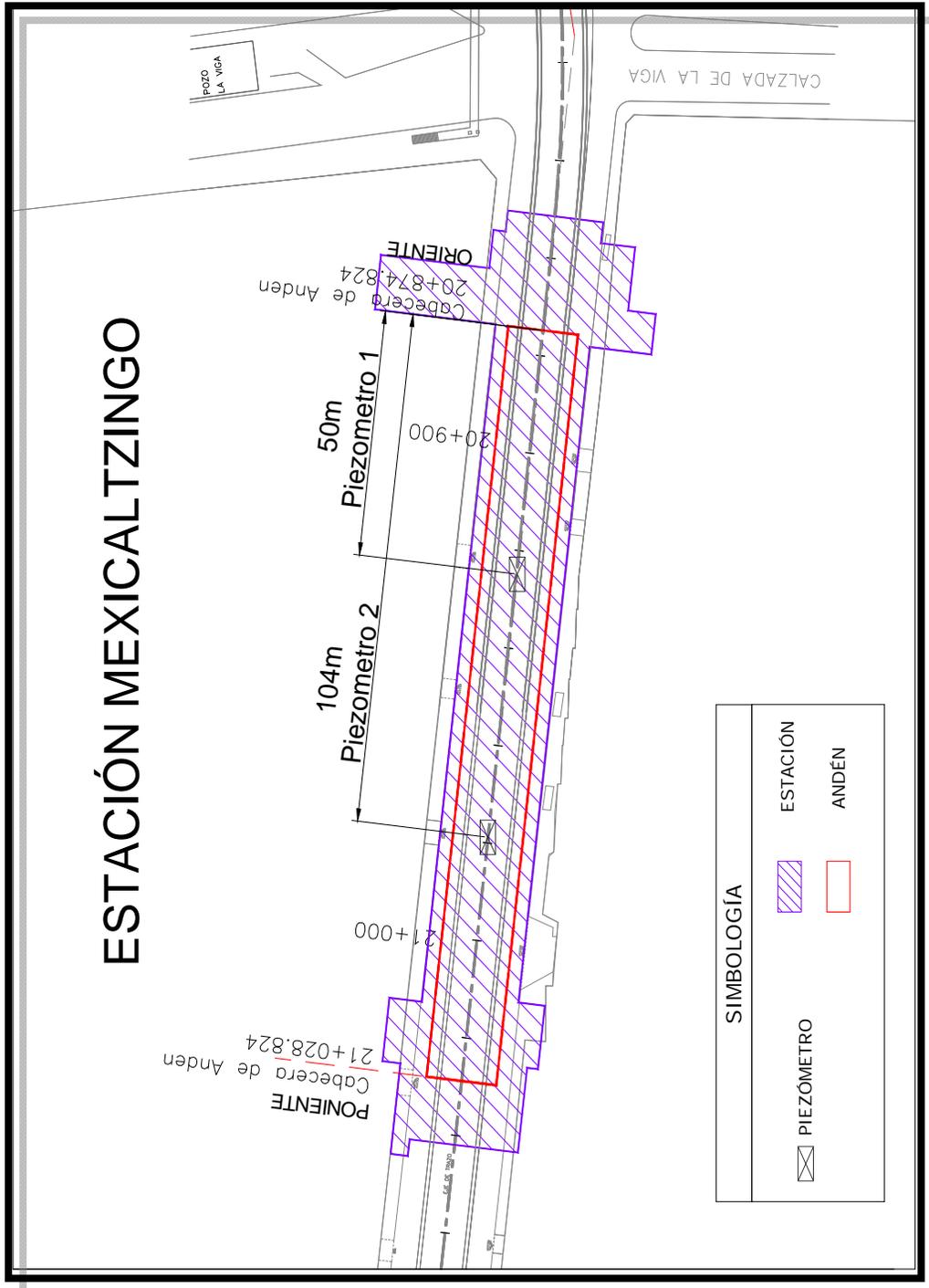


Fig. 4.3.1. Detalle de piezómetro

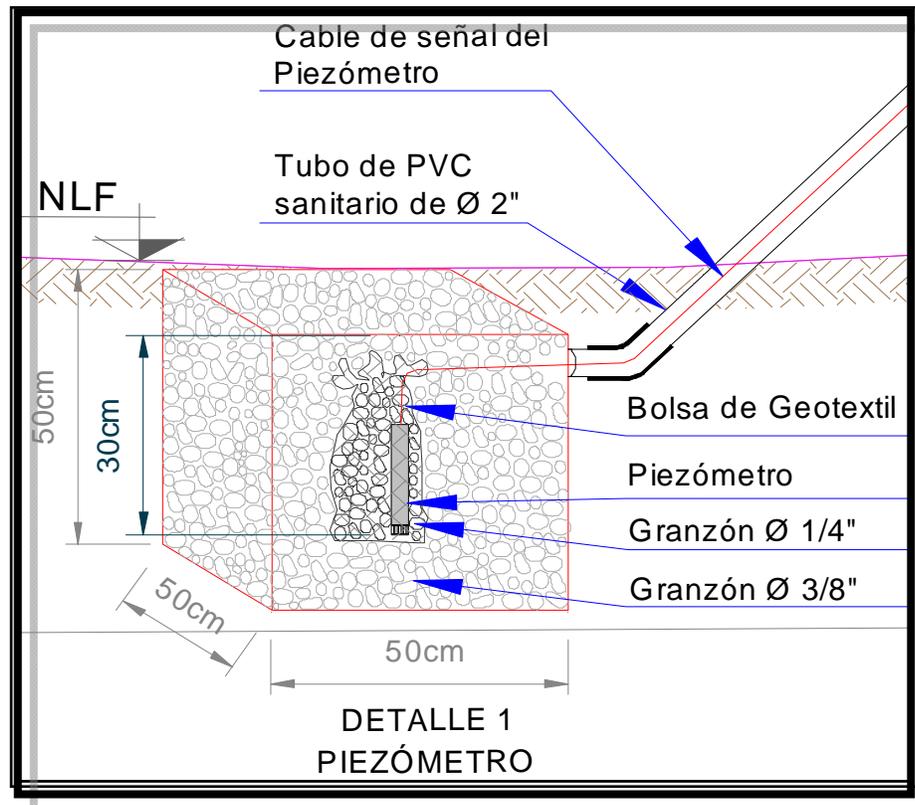
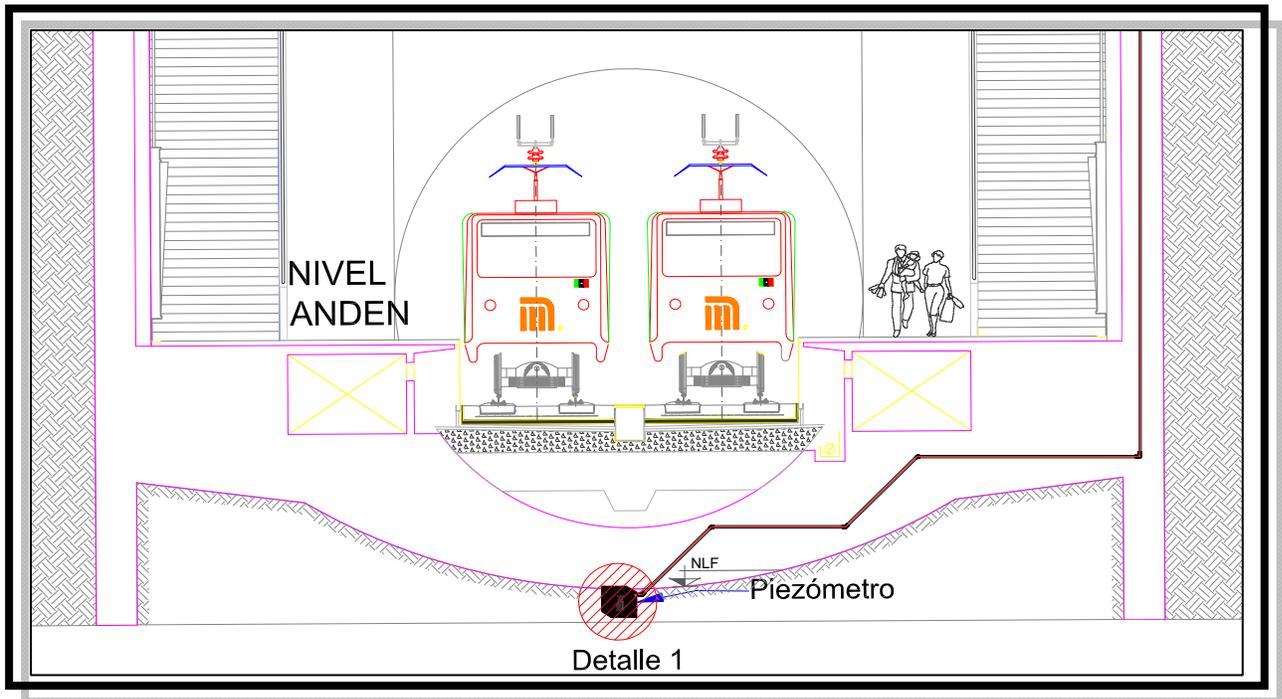


Fig. 4.3.2 Ubicación de celda de presión.

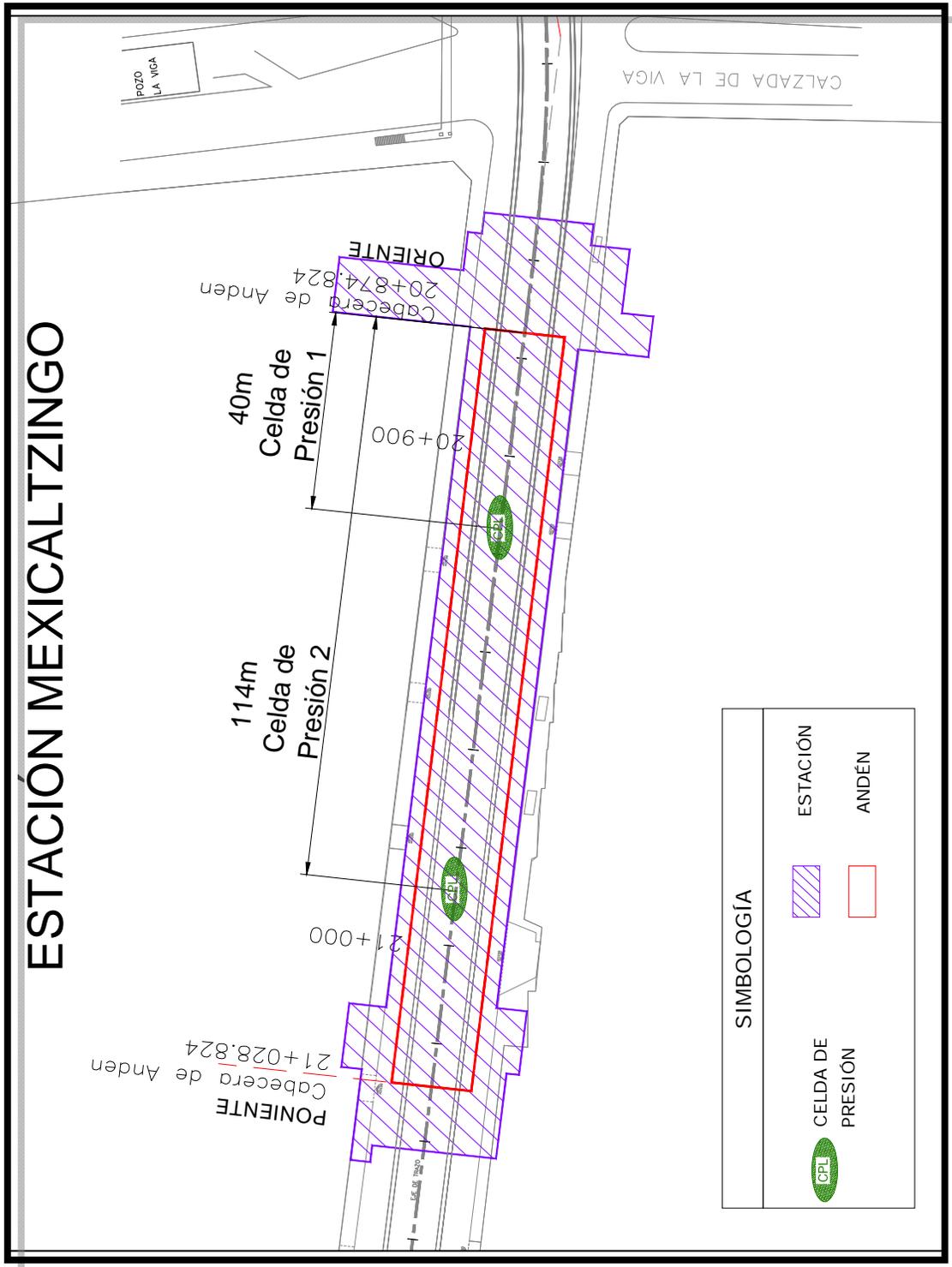
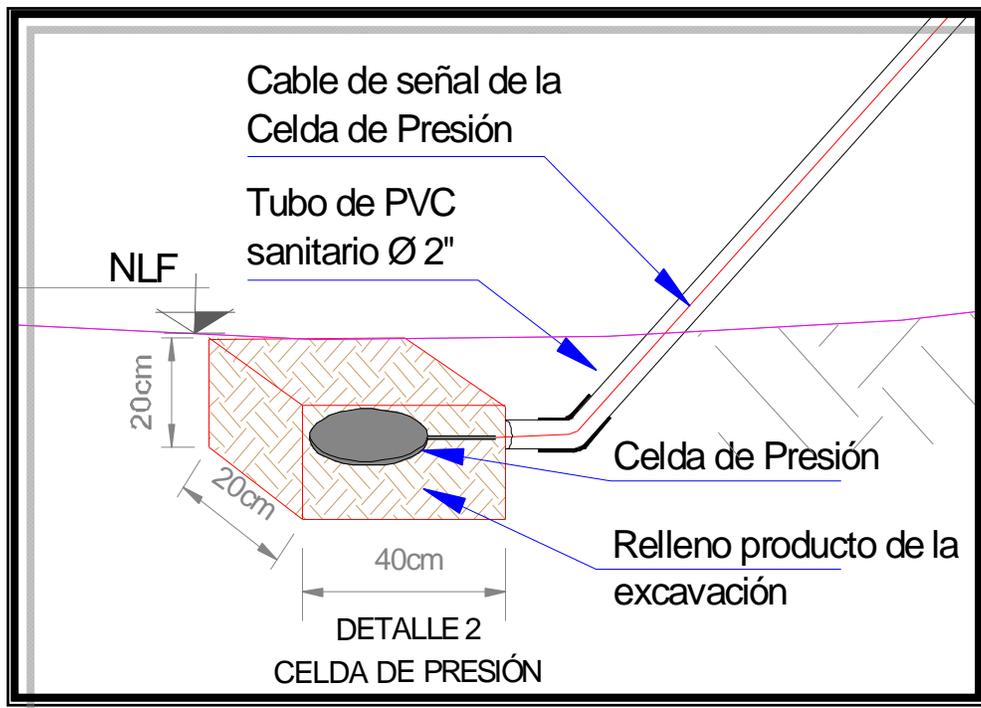
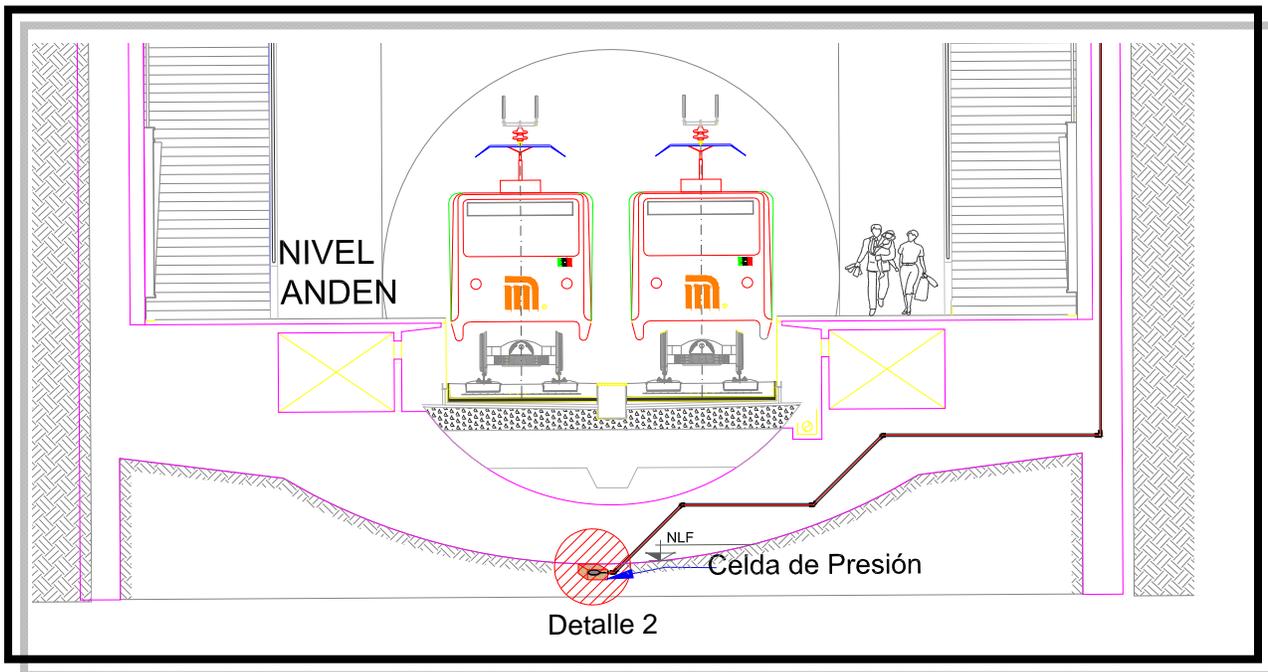


Fig. 4.3.2. Detalle de celda de presión



NOTAS IMPORTANTES.

1. Con los datos de los bancos de nivel semiprofundos, plomos y palomas se elaborarán gráficas de movimientos contra tiempo. En todas las gráficas se deberá anexar la historia de la excavación, anotando la fecha y hora con que inicie el bombeo, la excavación, cuando se alcance la máxima profundidad, el colado de la plantilla, colado de la losa de fondo, etc.
2. También se llevará a cabo la graficación de las deformaciones medidas en los inclinómetros y los puntos de desplome, indicando en ellas las fechas de inicio de actividades relevantes de la obra (bombeo, excavación, colado de losas, etc.).
3. La escala vertical de todas las gráficas de movimiento deberá ser unitaria en centímetros, de tal manera que se aprecie la magnitud real de la deformación.
4. Estas graficas se llevarán al día, tenerse en un lugar visible en la obra y también mandarse copias al personal de proyecto, para su interpretación correspondiente.
5. En caso de que cualquiera de los elementos de medición resulte dañado deberá reponerse a la brevedad posible, ligar con la nivelación original y continuar con sus lecturas.
6. Todas las mediciones deberán realizarse por la mañana, antes que la reverberación impida obtener lecturas confiables.
7. En caso de presentarse algún evento extraordinario (sismo, precipitaciones intensas, etc.) Se tomará una lectura inmediatamente después de transcurrido el evento y una segunda a las 24 horas de presentarse el mismo.

CAPITULO 5.

PROCESO DE INSTALACIÓN

5.1 INSTRUMENTOS VERTICALES

En este capítulo se describe el reporte de instalación que se presentó al cliente y a la supervisión del proyecto para su aprobación y registro en la documentación del proyecto.

Se muestra una descripción breve del instrumento instalado, el tipo, marca y modelo así como su proceso de instalación, ficha de instalación y registro y gráficas de las primeras lecturas del instrumento. En el capítulo 7 se muestra el reporte fotográfico de cada instrumento mencionado en este capítulo.

Instalación de Bancos de Nivel Semiprofundo

Definición. El Banco de nivel semiprofundo es un sistema que permite medir asentamientos, del subsuelo vecino. La tubería que permite la medición de los desplazamientos verticales está compuesta por tramos de tubería de acero galvanizado de 1” de diámetro y 6.00 m de longitud, y por tramos de tubería de PVC Hidráulico CED 40 de 3” de diámetro.

Instalación. Una vez localizada topográficamente la ubicación de los Bancos de nivel semiprofundos, de acuerdo con lo indicado en los planos de la especificación de instrumentación correspondiente a la estación Eje Central, se procederá conforme a lo siguiente:

- 1) Perforación. con ayuda de una máquina Long Year, se realizó un barreno de 6” de diámetro, el cual fue dos metros mayor a la profundidad de instalación correspondiente, esto con el fin de evitar problemas de azolve.

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

Durante el proceso de barrenación se empleó mezcla de Bentonita-agua como fluido de perforación.

- 2) Una vez terminada la perforación, mediante un pisón acoplado a una sonda, se verificó la profundidad del barreno, así como la limpieza del mismo, verificando que esté libre de obstáculos que pudiesen impedir el descenso de la tubería.
- 3) Colocación de la tubería. Una vez verificada la profundidad y limpieza de la barrenación, se procedió a colocar la tubería en tramos, de tal manera que se facilitó su colocación en el barreno, durante esta actividad, al primer tramo por introducir, se le colocó un tapón inferior. En el extremo inferior del primer tramo de tubería por colocar, se le adosó un muerto o lastre de mortero o concreto simple, la tubería de PVC sirve como camisa de aislamiento entre la tubería de acero galvanizado y el medio.
- 4) Así mismo, a los tramos de la tubería, se les adosó con cinta plástica una manguera de poliducto de 3/4” de diámetro la cual permitió efectuar la inyección de lodo fraguante
- 5) Posteriormente a través del poliducto se inyectó lodo fraguante a baja presión (0.05 Kg/cm² como mínimo y 0.50 Kg/cm² como máximo).
- 6) Una vez terminadas las actividades anteriores, se dejó pasar un lapso suficiente para que la inyección fragüe (del orden de 24 horas), y posteriormente se realizaron las lecturas iniciales.
- 7) Protección. Tomando en cuenta el procedimiento de la recolección de lecturas se colocó un tapón tipo campana, cabe mencionar que es una protección provisional que se desplazará conforme al proceso constructivo, es decir el sistema se acortará con respecto al avance de la excavación.

5.2 INSTRUMENTOS HORIZONTALES

Instalación de inclinómetro en suelo.

Definición. El Inclinómetro, es un sistema que permite medir movimientos horizontales, del subsuelo vecino. La tubería que permite la medición de los desplazamientos horizontales está compuesta por tramos de tubería tipo Glue-Snap ABS de 3.05 m de longitud, la cual contiene en su cara interior cuatro ranuras longitudinales alineadas en dos planos ortogonales, los tramos de tubería estarán unidos mediante coples telescópicos de 0,605m de longitud que podrán absorber los movimientos verticales del suelo.

Instalación. Una vez localizada topográficamente la ubicación de los inclinómetros, de acuerdo a lo indicado en los planos de la especificación de instrumentación correspondiente a la estación Mexicaltzingo, se procederá conforme a lo siguiente:

- 1) Perforación. Realizar con ayuda de una maquina Long Year 38 o similar, un barreno de 6” de diámetro. La profundidad del barreno deberá ser dos metros mayor a la profundidad de instalación correspondiente, esto con el fin de evitar problemas de azolve. Durante el proceso de barrenación se deberá emplear agua limpia como fluido de perforación.

- 2) Una vez terminada la perforación, mediante un pisón acoplado a una sonda, se verificara la profundidad del barreno, así como la limpieza del mismo, verificando que esté libre de obstáculos que pudiesen impedir el descenso de la tubería. En caso necesario se deberá lavar el barreno con agua limpia.

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

- 3) Colocación de la tubería. Una vez verificada la profundidad y limpieza de la barrenación, se procederá al acoplamiento de la tubería modelo Glue-Snap ABS Inclínometer Casing, de la marca Slope Indicator. La tubería se armará en tramos que faciliten su colocación en el barreno, durante esta actividad al primer tramo por introducir se le colocará un tapón inferior. En el extremo inferior del primer tramo de tubería por colocar, se le adosará un muerto o lastre de mortero o concreto simple.

- 4) Los tramos de tubería serán acoplados mediante los coples telescópicos, a modo de que éstos permitan absorber los movimientos verticales de la tubería por el efecto de los movimientos del subsuelo vecino. Durante ésta actividad, se deberá tener especial cuidado en la preparación de los coples telescópicos, garantizando que estos coples queden en las ranuras, para permitir el libre movimiento de la tubería una vez que ésta inicie la interacción con el suelo vecino.

- 5) Así mismo, a los tramos de la tubería ABS, se les adosará con cinta plástica una manguera de poliducto de 3/4” de diámetro la cual permitirá posteriormente efectuar la inyección de lodo fraguante. Para evitar el efecto de flotación de la tubería durante su descenso, ésta será lastrada con agua limpia en su interior.

- 6) Durante el proceso de colocación de la tubería ABS en el barreno, con auxilio de un equipo topográfico, se orientaran las ranuras interiores, de tal forma que uno de los ejes quede orientado de forma perpendicular al eje

del Túnel. Así mismo, durante este proceso se verificara la verticalidad de la tubería.

- 7) Posteriormente a través del poliducto se inyectará a baja presión, 0.05 Kg/cm² como mínimo y 0.50 Kg/cm² como máximo.

- 8) Al final de la instalación de la tubería, frecuentemente la dirección de las ranuras presentan una desviación angular. Este efecto es atribuible al proceso de cementación o inyección de la tubería, para corregir las desviaciones, en las hojas de cálculo se consideraran estos desplazamientos, los cuales son medidos topográficamente en campo. Para el inclinómetro la desviación angular reportada fue de 2°35´12”.

- 9) Una vez terminadas las actividades anteriores, se dejara pasar un lapso de tiempo suficiente para que la inyección fragüe (del orden de 24 horas), y posteriormente poder realizar las lecturas iniciales.

- 10) Construcción de registros. Finalmente como medida de protección se construirá un registro a nivel del terreno natural, y de 0.4m x 0.4m en planta.

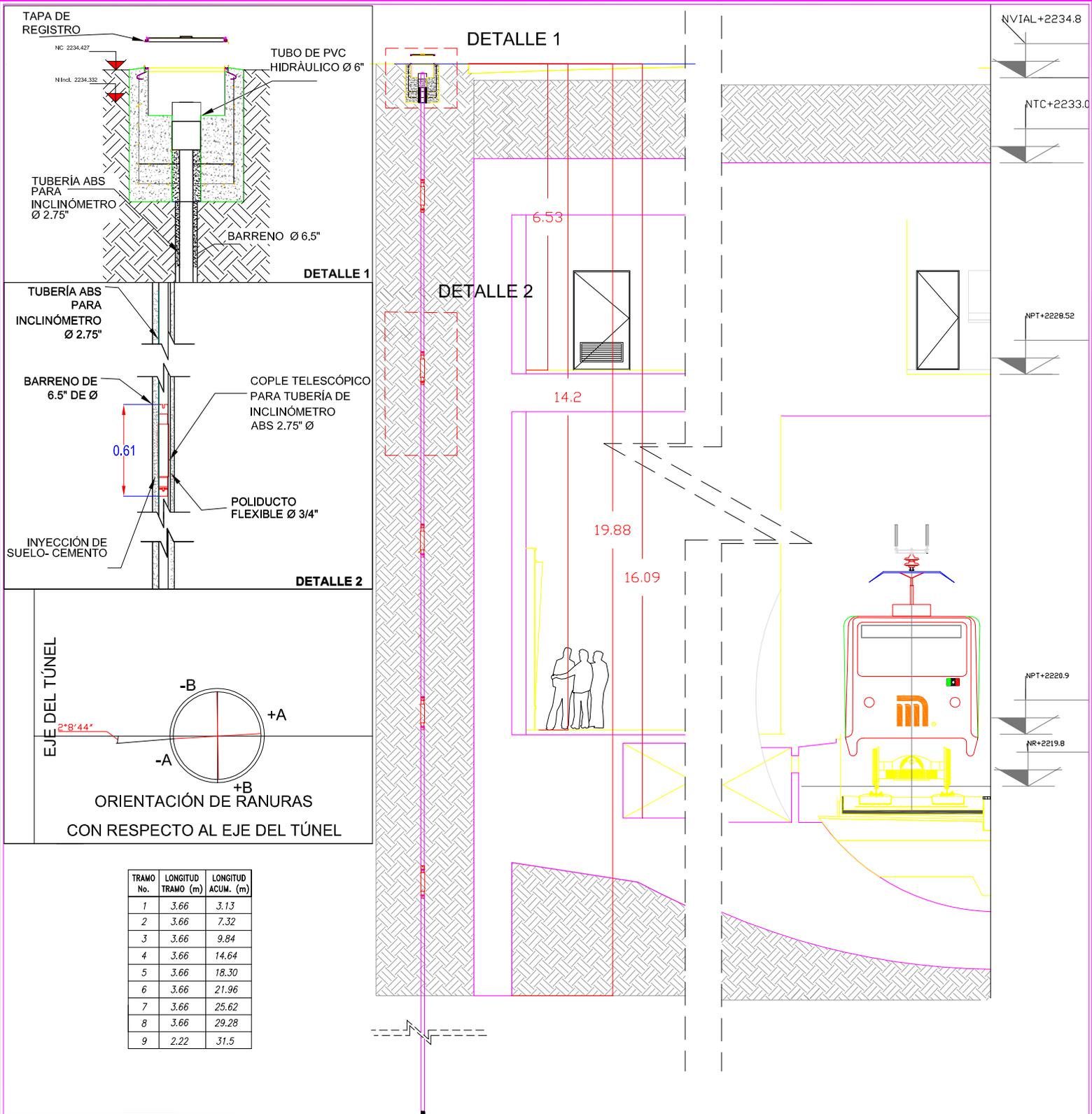
Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

Las coordenadas finales y elevación a la cual quedo instalado el Inclinómetro son las siguientes:

CUADRO DE CONSTRUCCION						
LADO		RUMBO	DISTANCIA	V	C O O R D E N A D A S	
EST	PV				Y	X
				9	2,140,411.0640	487,108.9740
9	10	S 35°32'15.64" E	0.052	10	2,140,411.0220	487,109.0040
10	11	S 46°35'28.10" W	0.051	11	2,140,410.9870	487,108.9670
11	12	N 39°40'04.23" W	0.053	12	2,140,411.0280	487,108.9330
12	9	N 48°42'55.04" E	0.055	9	2,140,411.0640	487,108.9740
ELEVACION TN = 2234.427 ELEVACION INCL = 2234.332						

Anexo a este reporte, se incluye el esquema en planta del sitio de la estación Mexicaltzingo, con los números de identificación y las coordenadas de localización de este instrumento determinadas topográficamente en campo. También se presentan las correspondientes fichas de instalación, elaboradas tal como quedaron colocados estos instrumentos en el campo.

Las hojas de cálculo con las primeras mediciones efectuadas en la tubería del inclinómetro, así como los gráficos de los desplazamientos resultantes se incluyen de igual manera a continuación.



		FICHA DE INSTALACIÓN DE INCLINÓMETRO EN LA ESTACIÓN MEXICALTZINGO CAD 20+912.4			ESTACIÓN MEXICALTZINGO	
PROFUNDIDAD DE BARRENO: 33.00 m.	NO. TOTAL DE TUBOS ABS INSTALADOS: 9 Pzas.	NO. TOTAL DE COPLES TELESCÓPICOS INSTALADOS: 8 Pzas.	LONGITUD TOTAL DE TUBERÍA: 31.5 m.	FECHA DE INSTALACIÓN: SEPTIEMBRE/09	REVISO:	
INSTALÓ:		DESVIACIÓN DE RANURAS: 2°8'44"	ACOTACIONES: m.	ELEVACIONES: m.	02	

RESUMEN DE DATOS A

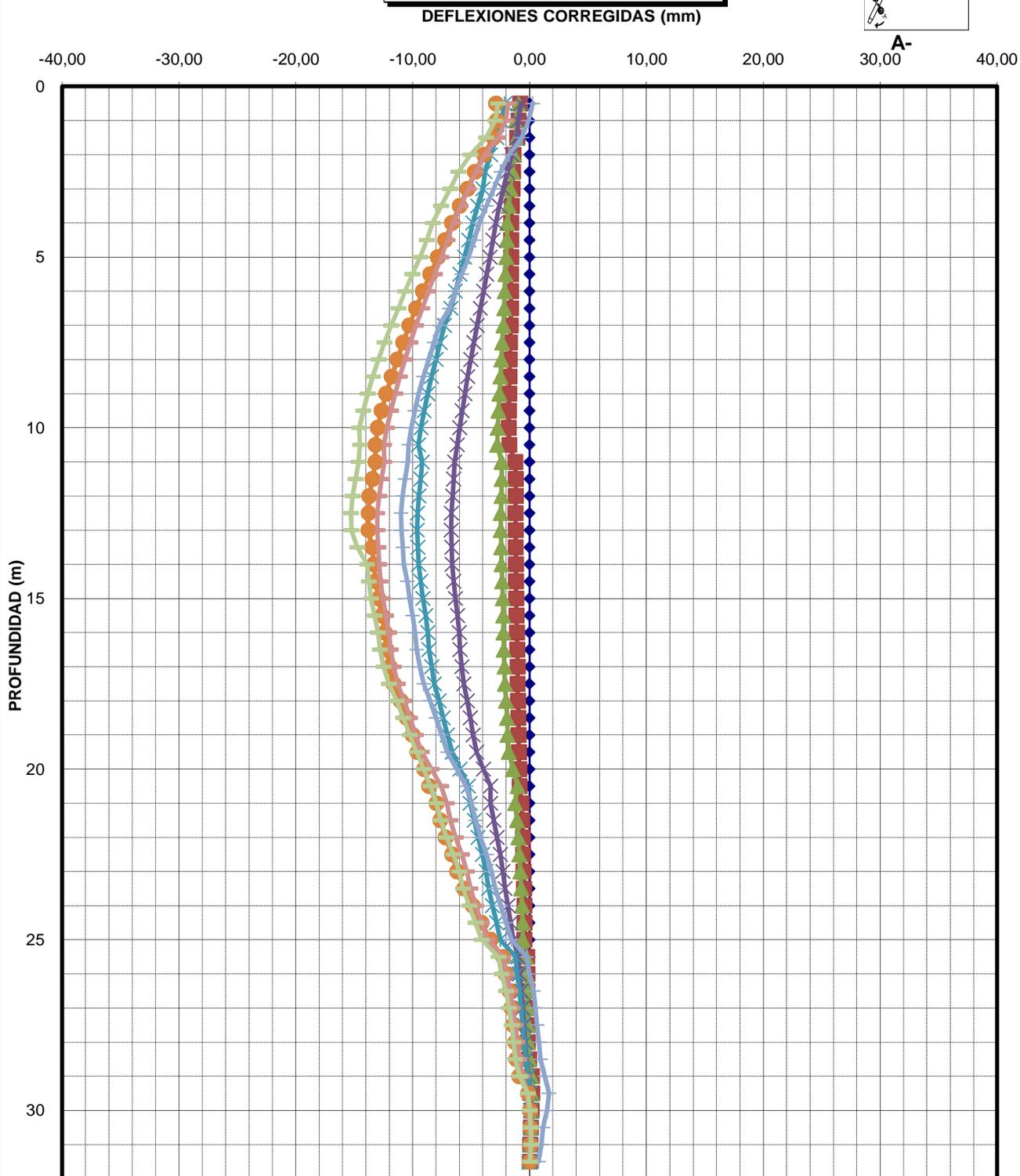
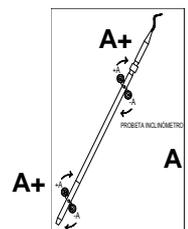
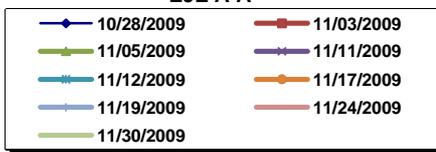
Site
Borehole

MEXICALTZINGO
INCLINIMETRO EN SUELO
EJE A



PROFUNDIDAD	FECHA								
	10/28/2009	11/03/2009	11/05/2009	11/11/2009	11/12/2009	11/17/2009	11/19/2009	11/24/2009	11/30/2009
31,5	0,0000	0,0288	-0,001579372	0,01857648	0,00734176	0,0372123	0,75714522	0,00831637	0,05181004
31	0,0000	0,0736	0,070983112	0,07657118	0,07934745	0,08386162	1,01396834	0,06558048	0,13114706
30,5	0,0000	0,1161	0,128058931	0,10014823	0,09166212	0,07973731	1,15820573	0,04628108	0,12175046
30	0,0000	0,1836	0,174774358	0,11100909	0,06755163	0,02939753	1,50289533	-0,04559037	0,027254
29,5	0,0000	0,2235	0,180881907	0,03489204	5,0278E-05	-0,12102385	1,67065057	-0,19591366	-0,15176112
29	0,0000	0,2098	0,15536549	-0,06806058	-0,10032515	-0,87913706	1,30147733	-0,61432619	-0,83447774
28,5	0,0000	-0,0418	-0,016907763	-0,27733192	-0,33825703	-1,12813758	0,93376363	-0,87759695	-1,23377555
28	0,0000	-0,1344	-0,130587567	-0,38226034	-0,47041528	-1,21710004	0,81317717	-1,02476465	-1,36681085
27,5	0,0000	-0,1393	-0,125766861	-0,47368841	-0,60300853	-1,39261482	0,63969684	-1,22078025	-1,52200312
27	0,0000	-0,1781	-0,154214777	-0,58776243	-0,73463799	-1,55876282	0,49833924	-1,42602088	-1,75740612
26,5	0,0000	-0,1869	-0,20901106	-0,69576647	-0,850762	-1,71064369	0,34296717	-1,6360238	-2,00360181
26	0,0000	-0,1927	-0,257464305	-0,86079209	-1,0696756	-2,03973724	-0,01352254	-1,98802137	-2,40086186
25,5	0,0000	-0,1995	-0,290442847	-0,96200423	-1,20704317	-2,2706701	-0,23185145	-2,22738297	-2,65670831
25	0,0000	-0,4508	-0,579989168	-1,40320154	-2,49172889	-3,36524719	-1,54730195	-3,6196892	-4,086572
24,5	0,0000	-0,4300	-0,580905162	-1,61498575	-2,81719501	-4,11695603	-1,99406922	-4,08642834	-4,61840716
24	0,0000	-0,4356	-0,632279833	-1,85704169	-3,17422292	-4,8594416	-2,45920107	-4,57990386	-5,16103933
23,5	0,0000	-0,4741	-0,706183203	-2,09655206	-3,48964589	-5,598702	-2,93341825	-5,05218574	-5,69147549
23	0,0000	-0,5108	-0,784969096	-2,27424263	-3,71668095	-6,1814749	-3,26314111	-5,36672131	-6,01040683
22,5	0,0000	-0,5446	-0,873086847	-2,50357277	-4,02299375	-6,62951639	-3,67652469	-5,80092026	-6,50406605
22	0,0000	-0,5648	-0,955026177	-2,77876783	-4,40408936	-7,18257999	-4,17330689	-6,31510106	-7,09485607
21,5	0,0000	-0,6183	-1,068822489	-3,05916797	-4,72506701	-7,64154958	-4,61804478	-6,76520735	-7,59122783
21	0,0000	-0,6899	-1,24011046	-3,34436007	-5,08949365	-7,95028175	-4,97002616	-7,07910167	-7,98832872
20,5	0,0000	-0,8493	-1,017321982	-3,34288961	-5,24246262	-8,58353619	-5,43443663	-7,57508691	-8,46899669
20	0,0000	-0,8864	-1,419726091	-3,94897655	-5,94916465	-9,02019581	-6,237409	-8,39494446	-9,04726806
19,5	0,0000	-0,8947	-1,774283642	-4,52533099	-6,61342855	-9,57515262	-7,01847642	-9,2213348	-10,5676143
19	0,0000	-0,9414	-1,87368654	-4,83029793	-7,03216572	-10,0069842	-7,53481799	-9,74306621	-10,2445936
18,5	0,0000	-0,9538	-1,918955279	-5,06647506	-7,38490278	-10,5141988	-8,00738749	-10,2318555	-10,8031328
18	0,0000	-0,9823	-2,005537152	-5,32260205	-7,73466825	-11,0153881	-8,49189292	-10,7202749	-11,3683771
17,5	0,0000	-1,0194	-2,103069025	-5,61619727	-8,14045764	-11,6173032	-9,06623352	-11,2824031	-12,0298502
17	0,0000	-1,0152	-2,145945436	-5,78862442	-8,37372059	-11,9608508	-9,38173705	-11,6168155	-12,4856065
16,5	0,0000	-1,0487	-2,198885457	-5,95275529	-8,60232295	-12,2575556	-9,65294598	-11,8906029	-12,798887
16	0,0000	-1,0796	-2,229155836	-6,01555083	-8,70356119	-12,3864016	-9,78748695	-12,0370336	-12,9593984
15,5	0,0000	-1,1149	-2,248965042	-6,15500967	-8,87624883	-12,6374961	-10,0139722	-12,2842644	-13,2596466
15	0,0000	-1,1442	-2,284063873	-6,3388109	-9,11712816	-12,9324586	-10,2730824	-12,5563843	-13,557631
14,5	0,0000	-1,1593	-2,334878764	-6,48454018	-9,31437406	-13,1805651	-10,4556022	-12,7379335	-13,7496041
14	0,0000	-1,1611	-2,402290783	-6,62351023	-9,49133416	-13,3353453	-10,771472	-12,8722172	-13,9037629
13,5	0,0000	-1,1909	-2,416583601	-6,65272109	-9,54707548	-13,4526647	-10,8433687	-12,9367286	-14,7308068
13	0,0000	-1,1863	-2,456092076	-6,7022244	-9,61513868	-13,7952201	-10,9584934	-13,0303297	-15,2382864
12,5	0,0000	-1,1985	-2,460546493	-6,68227964	-9,58240411	-13,7735072	-10,9878996	-13,0359735	-15,2791733
12	0,0000	-1,1807	-2,405066954	-6,57166415	-9,464695	-13,7168716	-10,8678007	-12,8735627	-15,1408506
11,5	0,0000	-1,1843	-2,371816354	-6,4842006	-9,30773358	-13,4404865	-10,6608651	-12,6522434	-14,8814122
11	0,0000	-1,2159	-2,38840515	-6,40246495	-9,18210591	-13,1854755	-10,4241468	-12,4331849	-14,6228614
10,5	0,0000	-1,7335	-2,758828344	-6,18081281	-9,50690213	-13,1753163	-10,3497893	-12,4722676	-14,5062391
10	0,0000	-1,7718	-2,722951024	-5,97507255	-9,28484793	-12,9958711	-10,1222494	-12,2052373	-14,5876801
9,5	0,0000	-1,7581	-2,649179427	-5,76408403	-9,02125065	-12,6612261	-9,8203841	-11,8625957	-14,2221414
9	0,0000	-1,7381	-2,56718789	-5,52699506	-8,71106261	-12,2643373	-9,48233254	-11,4968241	-13,8412914
8,5	0,0000	-1,7112	-2,484714372	-5,29383306	-8,38159186	-11,8067936	-9,07804306	-11,1085834	-13,4153377
8	0,0000	-1,6926	-2,413083679	-5,02431771	-7,99887701	-11,3112498	-8,63159323	-10,6518808	-12,9163463
7,5	0,0000	-1,6645	-2,343237622	-4,76394115	-7,6441342	-10,8014634	-8,17153116	-10,2063928	-12,4087544
7	0,0000	-1,6095	-2,236990525	-4,48278909	-7,28218753	-10,2911508	-7,72797187	-9,71486269	-11,8459578
6,5	0,0000	-1,5887	-2,169182095	-4,21074592	-6,72676682	-9,71775083	-6,86205769	-9,17436827	-11,2247905
6	0,0000	-1,5981	-2,120740083	-3,9320548	-6,34655329	-9,13229016	-6,34447377	-8,65547011	-10,6555501
5,5	0,0000	-1,5971	-2,062762067	-3,6722981	-5,96003613	-8,503988	-5,7977613	-8,11137841	-10,0221074
5	0,0000	-1,5765	-1,990410508	-3,38262165	-5,55275123	-7,84603899	-5,2256503	-7,53716337	-9,36173438
4,5	0,0000	-1,5745	-1,936543498	-3,11960548	-5,20417273	-7,23626321	-4,74831024	-7,01759935	-8,79544412
4	0,0000	-1,5669	-1,899173622	-2,88933389	-4,85444469	-6,64348236	-4,28894257	-6,53543918	-8,27588685
3,5	0,0000	-1,5160	-1,785127148	-2,57622433	-4,43417372	-5,97975767	-3,68759955	-5,89347154	-7,56387817
3	0,0000	-1,4684	-1,648519887	-2,23816966	-3,99144843	-5,30072667	-3,06621194	-5,21427671	-6,79709837
2,5	0,0000	-1,4251	-1,483551508	-1,90294226	-3,81415918	-4,67267167	-2,4668605	-4,60982551	-6,0842738
2	0,0000	-1,3817	-1,321009986	-1,52119601	-3,3357754	-3,89851696	-1,73737684	-3,84027052	-5,04561715
1,5	0,0000	-1,0471	-1,083315498	-1,07613561	-2,79338023	-3,07798103	-0,66652014	-2,69292376	-3,70085459
1	0,0000	-0,9313	-1,164058295	-0,99195555	-2,40136766	-2,79276029	-0,07322652	-2,05103109	-2,94220487
0,5	0,0000	-0,8009	-0,947612281	-0,72271301	-2,12210103	-2,86502168	0,2590811	-1,83143052	-2,68667867

LÍNEA 12 DEL METRO
REPORTE DE LECTURAS DE INCLINÓMETRO
ESTACIÓN MEXICALTZINGO
EJE A-A



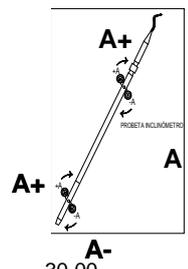
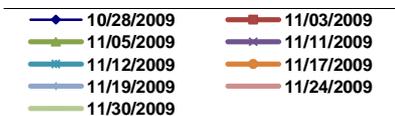
RESUMEN DE DATOS B

Site MEXICALTZINGO
Borehole INCLINOMETRO EN SUELO
EJE B

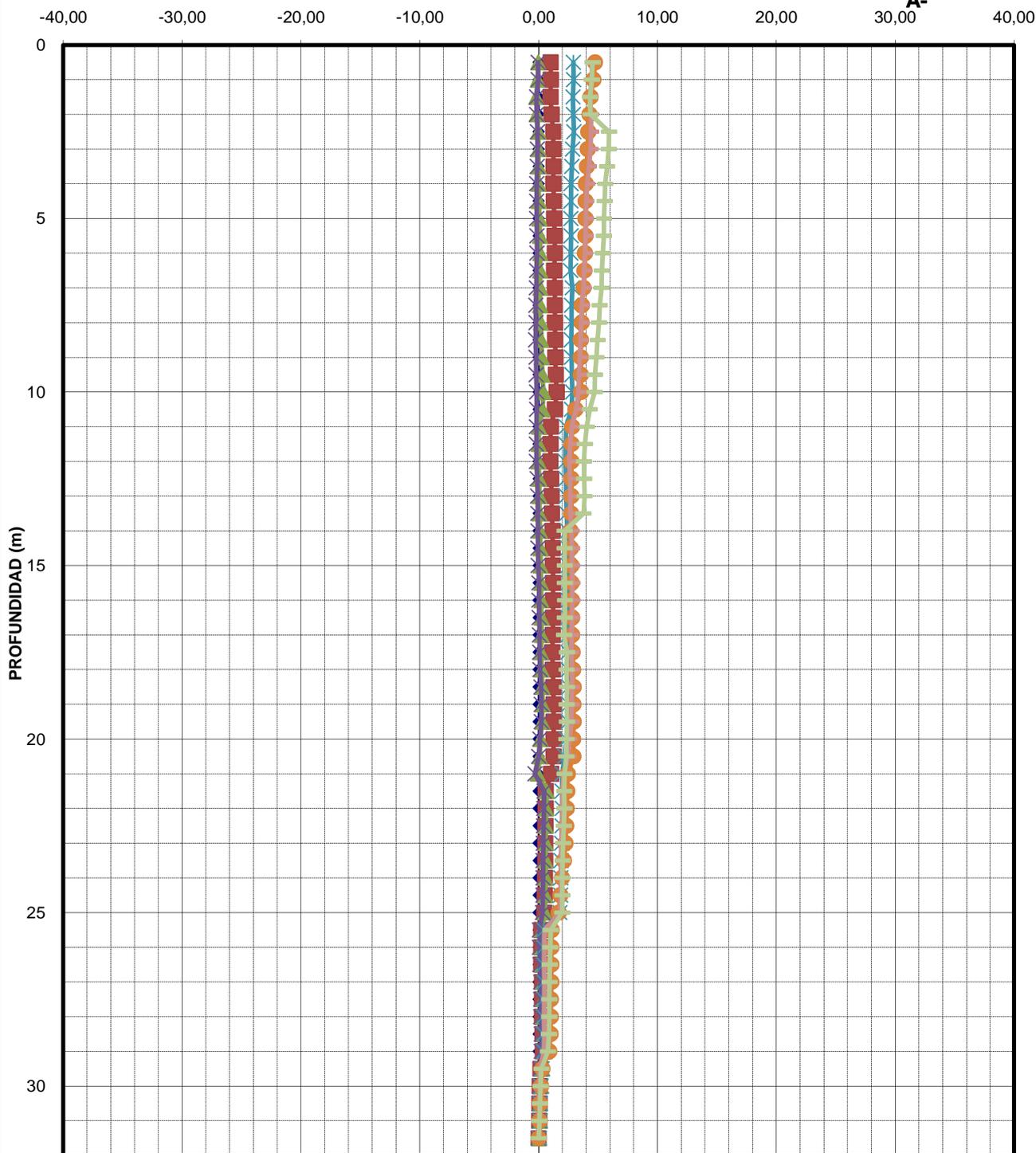


PROFUNDIDAD	FECHA								
	10/28/2009	11/03/2009	11/05/2009	11/11/2009	11/12/2009	11/17/2009	11/19/2009	11/24/2009	11/30/2009
31,5	0,0000	0,0011	0,02600811	-0,00645387	0,04752982	0,00213374	-1,02733991	0,01151395	0,00467649
31	0,0000	0,0537	0,1155121	0,03705206	0,12559384	0,07976738	-1,78040347	0,0437904	0,07295005
30,5	0,0000	0,0746	0,13794108	0,03935615	0,14664256	0,12163327	-1,98903434	0,05332146	0,10899332
30	0,0000	0,0924	0,21809358	0,06560242	0,20403255	0,20069607	-2,01835786	0,06455554	0,16548078
29,5	0,0000	0,1487	0,29883675	0,13003206	0,30400592	0,31957875	-2,00400132	0,09709238	0,23570179
29	0,0000	0,3462	0,51816809	0,21765839	0,407218	0,89338322	-1,59304912	0,47197993	0,78298812
28,5	0,0000	0,3413	0,47719984	0,21940871	0,43212859	1,00380744	-1,52865231	0,48484961	0,8802222
28	0,0000	0,2829	0,39174798	0,17590334	0,41230332	1,02111962	-1,5472766	0,4613203	0,88859703
27,5	0,0000	0,2826	0,371192	0,17946348	0,44905875	1,03838508	-1,49638037	0,49507541	0,89058932
27	0,0000	0,2809	0,36631323	0,16885081	0,4643332	1,06804887	-1,51349232	0,49783913	0,92513559
26,5	0,0000	0,2202	0,31623742	0,11254423	0,41190471	1,06852298	-1,56543152	0,46621309	0,9441687
26	0,0000	0,2259	0,27945488	0,07506147	0,4151806	1,07551274	-1,56609734	0,4767904	0,98439907
25,5	0,0000	0,2202	0,25369226	0,0796021	0,44212338	1,10092755	-1,53756696	0,50199816	1,02721374
25	0,0000	0,4722	0,52303074	0,33069154	1,79117113	1,69372199	-0,6001667	1,8274308	1,99156824
24,5	0,0000	0,5122	0,5620134	0,36568596	1,84462836	1,8230618	-0,55072944	1,85580028	1,99521003
24	0,0000	0,5382	0,59425511	0,36658484	1,87136764	1,96202814	-0,55737783	1,88244003	1,99790376
23,5	0,0000	0,5576	0,5953337	0,37874912	1,89504054	2,1258579	-0,55723748	1,88452516	2,02355807
23	0,0000	0,5604	0,60127907	0,39633423	1,93475717	2,26188228	-0,52396797	1,91877785	2,05796467
22,5	0,0000	0,5759	0,60698721	0,42262116	1,96848433	2,32469539	-0,51082971	1,96842481	2,12607945
22	0,0000	0,5879	0,62917341	0,4320207	1,98230475	2,36864091	-0,52543595	1,99948926	2,1681694
21,5	0,0000	0,6003	0,67146101	0,46684365	1,97746109	2,40814833	-0,58220805	2,00165154	2,1551976
21	0,0000	1,0534	-0,07390266	-0,3045712	1,98034877	2,44748804	-0,62492978	2,12189349	2,17987436
20,5	0,0000	1,2496	0,08955969	0,01260151	2,20972373	2,93493037	-0,37962811	2,49430888	2,32673016
20	0,0000	1,2606	0,16161749	0,10942356	2,31100656	2,90703507	-0,31858348	2,57681089	2,34640727
19,5	0,0000	1,2652	0,30097777	0,22526571	2,48323708	2,94310022	-0,1813461	2,76631337	2,38608401
19	0,0000	1,2574	0,33833095	0,22382743	2,54085475	2,92489573	-0,18444675	2,78763065	2,36142201
18,5	0,0000	1,2364	0,30257432	0,19653708	2,53713366	2,95022617	-0,21662239	2,81105754	2,39129071
18	0,0000	1,1915	0,26236692	0,12469823	2,49778542	2,90405239	-0,30054248	2,8104881	2,35178357
17,5	0,0000	1,1524	0,2069872	0,08367905	2,4600457	2,85909114	-0,33258398	2,76126875	2,37955148
17	0,0000	1,2010	0,24551163	0,06873535	2,47402158	2,81149579	-0,32367966	2,76479471	2,15413991
16,5	0,0000	1,2197	0,24703019	0,04835824	2,47620505	2,82297847	-0,31864377	2,81471768	2,21739166
16	0,0000	1,2251	0,23050374	0,03029095	2,49137993	2,80005598	-0,35255568	2,84550636	2,21940205
15,5	0,0000	1,2156	0,20441796	0,02994131	2,5013247	2,7802741	-0,38944878	2,84003955	2,21011995
15	0,0000	1,1897	0,16473624	-0,02849465	2,46576452	2,75066847	-0,44124255	2,81787687	2,19888873
14,5	0,0000	1,1858	0,15395759	-0,05085121	2,43732647	2,71233117	-0,48091469	2,80968521	2,19671655
14	0,0000	1,1793	0,11338821	-0,05766705	2,41600432	2,69037407	-0,56116893	2,77384346	2,18998345
13,5	0,0000	1,1188	0,07558318	-0,06724644	2,35359741	2,74100859	-0,69944637	2,66831851	3,77914713
13	0,0000	1,0980	0,07514787	-0,07630078	2,32372021	2,75203788	-0,7198201	2,66806895	3,86336315
12,5	0,0000	1,0548	0,0519017	-0,11507963	2,29546345	2,74445059	-0,76829324	2,64933119	3,83554652
12	0,0000	0,9898	-0,01272747	-0,18901794	2,24535152	2,74750525	-0,85550597	2,57997398	3,80957301
11,5	0,0000	1,0032	0,00651828	-0,19356326	2,28314357	2,7692933	-0,8363171	2,66938571	3,90162208
11	0,0000	1,0338	0,02772646	-0,18593663	2,31273457	2,82249117	-0,75962511	2,80406404	4,05624665
10,5	0,0000	1,3641	0,32884839	-0,16511563	2,76273133	3,10361014	-0,52815419	3,16587977	4,2973566
10	0,0000	1,5152	0,40334344	-0,16765015	2,84701418	3,56885493	-0,36939083	3,35122932	4,70806381
9,5	0,0000	1,4441	0,31151901	-0,20560836	2,79303525	3,55652869	-0,37798547	3,39076449	4,74058395
9	0,0000	1,4075	0,26635671	-0,21040676	2,7673772	3,55571668	-0,35992493	3,48166707	4,86408055
8,5	0,0000	1,3966	0,21758216	-0,25411107	2,75268528	3,55645162	-0,34282793	3,52320221	4,96172187
8	0,0000	1,3641	0,18398667	-0,21798149	2,78222824	3,62591474	-0,26744982	3,59392214	5,08761105
7,5	0,0000	1,3624	0,13332076	-0,23942417	2,76448555	3,64267525	-0,23426541	3,63879157	5,13740742
7	0,0000	1,3611	0,14071787	-0,17976421	2,84114973	3,77820615	-0,14117382	3,78034264	5,29767828
6,5	0,0000	1,3033	0,13041318	-0,17478585	2,68539233	3,84614565	-0,53445834	3,82906636	5,32658062
6	0,0000	1,3595	0,14504334	-0,14782156	2,71222997	3,89177894	-0,46065089	3,89747226	5,41475049
5,5	0,0000	1,3475	0,12033957	-0,14130034	2,72884721	3,94104773	-0,41399525	3,95627581	5,48783771
5	0,0000	1,3085	0,06409032	-0,15975441	2,71677401	3,93267022	-0,42038628	3,97583787	5,50105072
4,5	0,0000	1,2759	0,02321107	-0,16575766	2,72071068	3,94862971	-0,41086625	4,01371458	5,54962628
4	0,0000	1,2476	-0,00867951	-0,16483454	2,72582061	3,96969747	-0,35519611	4,08379898	5,60969432
3,5	0,0000	1,2503	-0,0057942	-0,12037435	2,79088917	4,05455956	-0,27204696	4,23157837	5,76273755
3	0,0000	1,2455	-0,0103741	-0,10763367	2,85244236	4,13281929	-0,18202309	4,36315111	5,89737748
2,5	0,0000	1,2268	-0,0251679	-0,10392092	2,97045292	4,18093003	-0,15128204	4,42177827	5,92262155
2	0,0000	1,0889	-0,16616453	-0,17070482	2,92401046	4,28891003	-0,16417904	4,40672455	4,35802617
1,5	0,0000	1,0048	-0,19393131	-0,17595364	2,89026147	4,37257806	-0,24146426	4,33227581	4,31760801
1	0,0000	1,0242	-0,07384771	-0,03439731	2,93929267	4,60793734	-0,17256041	4,46071406	4,48403074
0,5	0,0000	1,0145	-0,03699308	-0,04628611	2,92335195	4,7507112	-0,20494358	4,49789571	4,53567529

LÍNEA 12 DEL METRO
REPORTE DE LECTURAS DE INCLINÓMETRO
ESTACIÓN MEXICALTZINGO
EJE B-B



DEFLEXIONES CORREGIDAS (mm)



Instalación de inclinómetro en muro Milán.

Definición. El Inclinómetro, es un sistema que permite medir movimientos horizontales, del subsuelo vecino. La tubería que permite la medición de los desplazamientos horizontales está compuesta por tramos de tubería tipo Glue-Snap ABS de 3.05 m de longitud, la cual contiene en su cara interior cuatro ranuras longitudinales alineadas en dos planos ortogonales.

Instalación. Una vez localizada topográficamente la ubicación del inclinómetro, de acuerdo a lo indicado en los planos de la especificación de instrumentación correspondiente a la estación Zapata, se procedió conforme a lo siguiente:

- 1) Se adosa en el armado del Muro Milán una tubería de PVC de 6” CED 40, dicha tubería se fija al armado mediante una especie de abrazaderas de acero; para la correcta colocación de los coples, estos fueron pegados con pegamento PVC de alta resistencia y se les colocó una protección de neopreno con el fin de evitar que la tubería emergiera o se desacoplara en el momento del colado o fraguado del concreto.
- 2) En el pie del muro Milán se colocó una parrilla que sirvió como soporte al momento de descender el armado del muro Milán, en esta parrilla además descansa el tapón de fondo, mismo que fue colocado a presión y que fue de igual forma protegido con una doble abrazadera de acero.
- 3) En la parte superior del muro se construyó otra parrilla esta realizó la función de protección extra y ayudó a las abrazaderas para evitar que emergiera la tubería y minimizar en lo posible un desacople de la tubería.
- 4) Una vez terminada la preparación se procede a bajar el armado ya con la tubería de PVC 6” y CED 40 perfectamente acomodada en el centro del

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

módulo a colar, esta maniobra se realizo con un especial cuidado para tratar de conservar lo más posible la verticalidad de la tubería.

- 5) Una vez con el modulo colocado en el lugar que le corresponde y previo al colado de este, se realiza el llenado de la tubería con agua limpia, esto con la finalidad de evitar un colapso generado por la presión del concreto que se colará, además de una contracción de la tubería que impedirá el descenso de la tubería ABS de Inclinómetro.
- 6) Una vez que haya fraguado el concreto de Muro Milán se procederá con la instalación de la tubería ABS de acuerdo a lo siguiente:

Limpieza. Con la ayuda de una maquina Long Year 38 se realizo un lavado con una broca tricónica de 6". La profundidad de limpieza deberá ser la profundidad del muro milán, esto con el fin de evitar problemas de azolve. Durante el proceso de lavado se deberá emplear agua limpia como fluido de limpieza.

- 7) Una vez terminado el lavado, mediante un pisón acoplado a una sonda, se verificará la profundidad del Muro así como la limpieza del mismo, verificando que esté libre de obstáculos que pudiesen impedir el descenso de la tubería.
- 8) Inmediatamente después del lavado se realizará un bombeo de agua a modo que la tubería quede con el menor tirante de agua, esto con la intención de que afecte lo menos posible la resistencia del mortero fluido de alta resistencia. Considerando esto, dicho mortero fue diseñado para una resistencia de 50 Kg/cm^2 mayor que la resistencia del muro.

- 9) Colocación de la tubería. Una vez verificada la profundidad y limpieza del tubo embebido en el Muro Milán, se procederá al acoplamiento de la tubería modelo Glue-Snap ABS Inclínometer Casing, de la marca RST. La tubería se armará en tramos que faciliten su colocación en el barreno, durante esta actividad al primer tramo por introducir se le colocará un tapón inferior.

- 10) Así mismo, a los tramos de la tubería ABS, se les adosará con cinta plástica una manguera de poliducto de 3/4” de diámetro la cual permitirá posteriormente efectuar la inyección de mortero fluido de alta resistencia. Para evitar el efecto de flotación de la tubería durante su descenso, ésta será lastrada con agua limpia en su interior.

- 11) Durante el proceso de colocación de la tubería ABS en el barreno, con auxilio de un equipo topográfico, se orientaran las ranuras interiores, de tal forma que uno de los ejes quede orientado de forma perpendicular al eje del Túnel. Así mismo, durante este proceso se verificará la verticalidad de la tubería.

- 12) Posteriormente a través del poliducto se colocará a gravedad el Mortero fluido de alta resistencia, cuya dosificación se indica en la especificación de la instrumentación de la estación correspondiente.

- 13) Al final de la instalación de la tubería, frecuentemente la dirección de las ranuras presentan una desviación angular. Este efecto es atribuible al proceso de cementación o inyección de la tubería, para corregir las desviaciones, en las hojas de cálculo se consideraran estos desplazamientos, los cuales son medidos topográficamente en campo. Para el inclinómetro la desviación angular reportada fue de $65^{\circ}14'52''$.

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

Una vez terminadas las actividades anteriores, se dejara pasar un lapso de tiempo suficiente para que la inyección fragüe (del orden de 24 horas), y posteriormente poder realizar las lecturas iniciales.

En este caso particular, el inclinómetro en muro Milán de la Estación Mexicaltzingo no fue instalado debido a causas ajenas al personal de Instrumentación de la empresa. Una mala organización y falta de supervisión en obra ocasionó que la preparación para la instrumentación en el muro no fuera instalada durante su proceso de armado y colado.

Por tal motivo no se mostrarán las fichas de instalación, lecturas iniciales y gráficas de comportamiento del inclinómetro en muro Milán así como tampoco en el capítulo 7, no se mostrará reporte fotográfico del inclinómetro en muro Milán.

5.3 INSTRUMENTOS PARA MEDICIÓN DE PRESIONES

Instalación de Piezómetro de cuerda vibrante

Con el propósito de observar el comportamiento de la estructura que conforma la estación Mexicaltzingo, durante su construcción y operación, fue instalado un Piezómetro de cuerda vibrante, bajo la losa de fondo, conformando la estación de instrumentación Mexicaltzingo, en el cadenamiento 20+904.101, de conformidad con las premisas generales de la especificación de la instrumentación geotécnica de la estación Mexicaltzingo.

Descripción. El tipo de los Piezómetros utilizado en la instrumentación de la estación Mexicaltzingo que formará parte de la línea 12 del sistema de transporte colectivo metro, es del tipo de cuerda vibrante (modelo VW 2100 STANDARD VIBRATING WIRE).

El sensor está formado por dos piezas cilíndricas unidas por tubos de acero. La membrana esta soldada al cilindro principal. Todas las partes del otro sensor que el alambre mecaniza con un alambre de acero inoxidable de primera calidad, seleccionados por su bajo rendimiento y resistencia a la corrosión. Un alambre de acero de alta resistencia se encuentra anclado en el centro del diafragma, pasa por el primer cilindro, y está anclada en el segundo cilindro, o bloque final. El cable se une a la membrana y el bloque final de prensado hidráulico y las soldaduras de las partes juntas sin afectar a las propiedades elásticas del alambre. El alambre está establecido en una determinada tensión durante la fabricación. El tubo está vacío y sellado con soldadura de haz de electrones para asegurar una vida larga de calibración. Una bobina montada del imán se utiliza en conjunción con la unidad de lectura para excitar el cable y medir el periodo de vibración del alambre.

Para su correcta manipulación el instrumento se registró en la unidad de lectura de cuerda vibrante en la oficina con las siguientes características:

PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE, LOSA DE FONDO		
Piezometro	Nº de serie	Longitud del cable
MEX-PZ-02	VW12444	45 m

Instalación. Inicialmente mediante un equipo topográfico se realiza la ubicación exacta del punto de losa de fondo donde se colocará el piezómetro para poder realizar la maniobra tan delicada que conlleva la colocación de este aparato, por otro lado se llevó un minucioso control del avance de los trabajos, esto con el fin

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

de no entorpecer los avances del frente de excavación ni ellos la colocación de la instrumentación Geotécnica.

En la oficina se registra el instrumento por instalar en la unidad de lectura correspondiente al modelo VW2106 REDOUT, mediante el software del fabricante nombrando este instrumento como MX-PZ-01 y MX-PZA-02, y de forma simultánea se comprueba el correcto funcionamiento de los instrumentos, además de corroborar que las características son las especificadas por el fabricante de igual forma se recolecta la lectura inicial, esta lectura cero se realizará como lo indica las especificaciones del fabricante, es decir saturando con agua en un recipiente el instrumento y respetando el código de colores que maneja el fabricante.

El cable de señal de cuerda vibrante se hace pasar por un poliducto flexible de $\frac{3}{4}$ " para realizar una protección de dicho cable, esto con la intención de que el cable tenga muy poca interacción con factores que pudieran afectar en el funcionamiento del instrumento en cuestión como pueden ser la humedad en alguna fisura que pudiera tener por defecto o por un mal almacenaje o manejo de transporte, a su vez este poliducto se hace pasar por un tubo sanitario de pvc de 2" esto con la finalidad de que este sistema de conducción (cable con el poliducto) sea protegido por cualquier siniestro como pudiera ser un golpe con herramienta de armado, algún accidente en la colocación de la plantilla de la losa de fondo y además este servirá para tratar de que nuestro sistema de conducción se apegue lo más posible a la geometría de la losa de fondo.

Simultáneamente se construye una pequeña fosa de 50 x 50 x 50 cm de dimensión que sirve para alojar el Piezómetro, este sistema se complementa con una zanja guía que sale de uno de los extremos de la pequeña fosa de alojamiento y termina en la parte superior de la cabecera norte de la losa de fondo de la estación, esta zanja con una profundidad de 20 cm cuidando estrictamente la geometría de dicha losa.

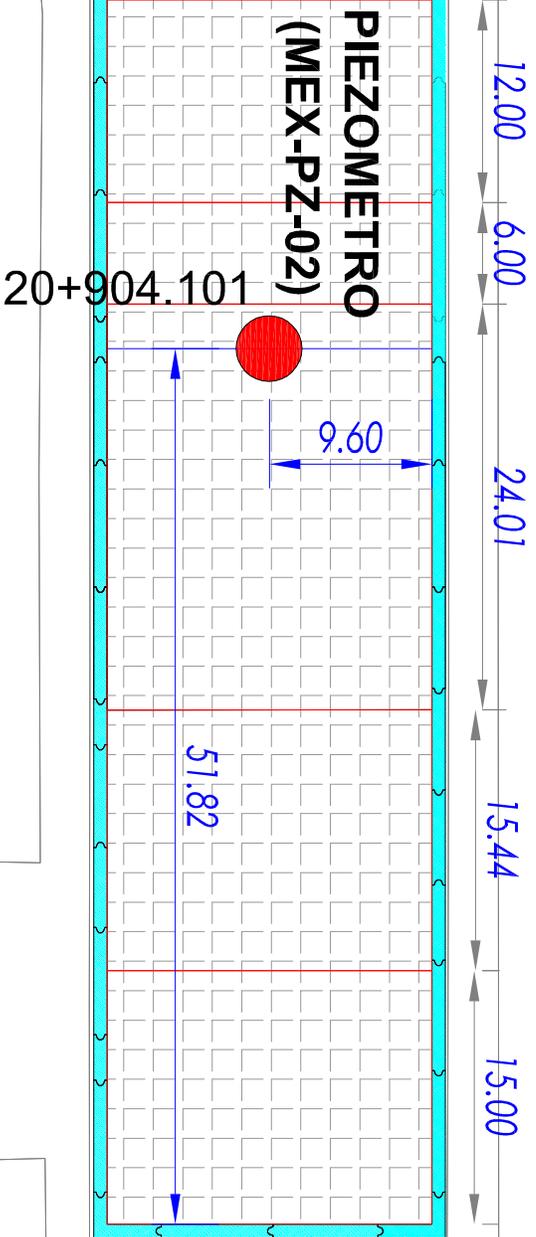
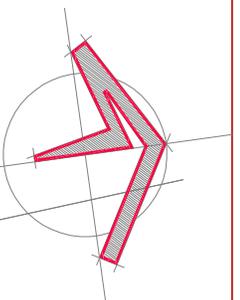
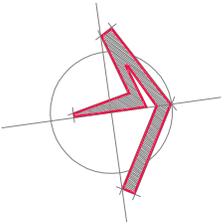
Fabricado en obra se realizó una bolsa de Geotextil rellena de granzón que sirve de filtro para la membrana del piezómetro, posteriormente, fue incorporada una capa de granzón hasta alcanzar la profundidad intencional del piezómetro, en ese momento, con el auxilio de la unidad de lectura de cuerda vibrante, se verifica una vez más el funcionamiento del instrumento, esta altura de granzón llega al paño de la geometría de la losa de fondo, después la zanja fue cubierta con el material producto de la propia excavación.

Resultado de las mediciones iniciales. Después de haber instalado dicho Piezómetro continuaron los trabajos de colado de plantilla de losa de fondo, el comienzo del armado, el final del habilitado del acero y por último el colado de dicha losa, en cada una de las anteriores etapas se realizaron lecturas, la grafica siguiente, muestra el efecto observado en las etapas anteriormente descritas y se incluyen las tablas de cálculo de las lecturas tomadas durante este proceso.

Por otra parte, con los datos de las cedulas de calibración del instrumento, fueron diseñadas las hojas electrónicas de cálculo las cuáles contienen los registros de las presiones entre la fecha de instalación del 11/02/10, y el 22/02/10.

Las hojas de cálculo de las presiones de poro registrado con este instrumento, han sido diseñadas para tomar en cuenta el promedio de tres lecturas subsecuentes de las frecuencias de vibración y de las temperaturas, tomadas en un mismo evento.

La grafica de comportamiento observado de las presiones registradas en la losa de fondo, se presenta en la parte siguiente **así como** el reporte fotográfico con las imágenes tomadas durante los trabajos de instalación del Piezómetro, en la losa de fondo y toma la lectura que se incluyen en el Capítulo 7.



ICA
INSTRUMENTACIÓN
CONSTRUCCIÓN LINEA 12

GOBIERNO
20+904.101

ESTACIÓN
MEICALTZINGO

PIEZOMETROS
1 PZAS.

FECHA DE INSTALACIÓN
11/FEBRERO/2010

ACOTACIONES
m.

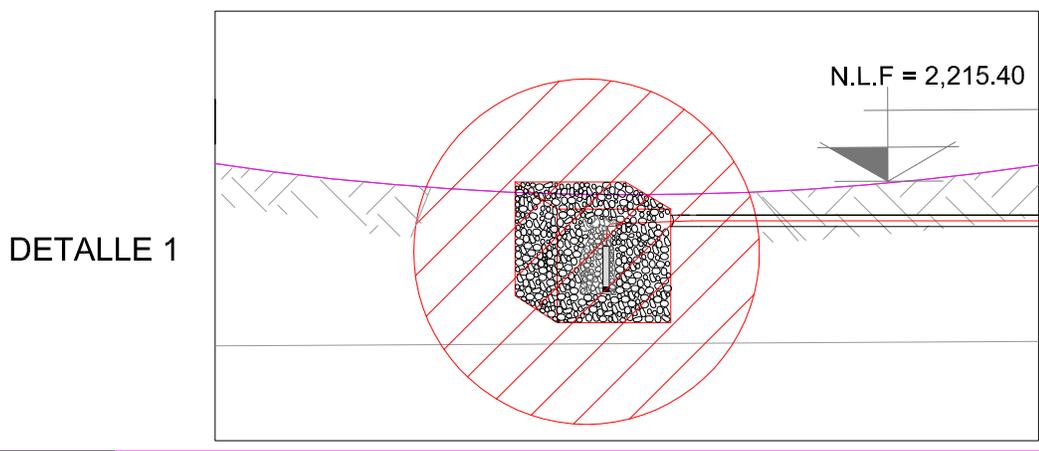
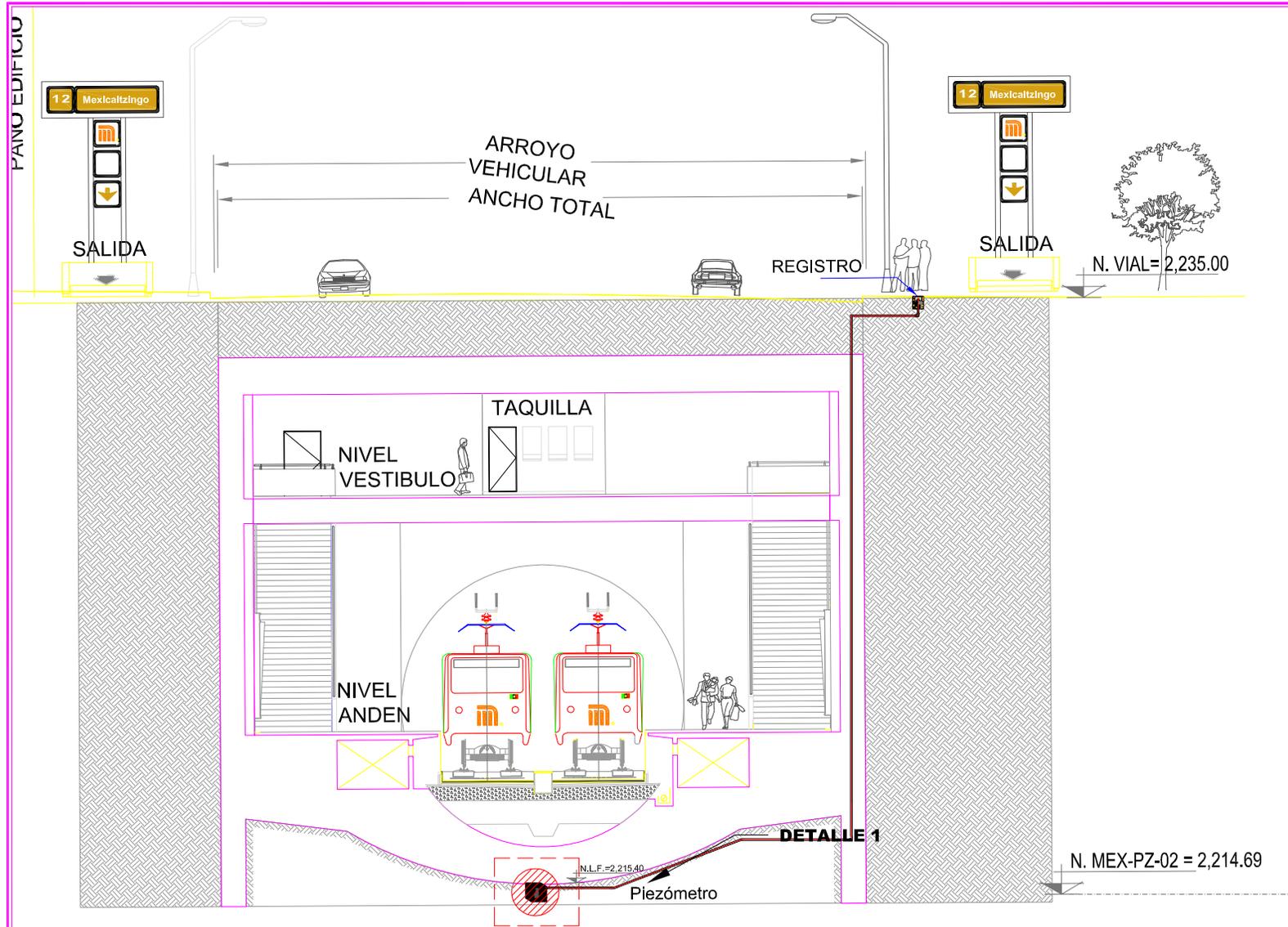
ELEVACIONES
m.

INSTALADO
PERIODO

VO. 80.1

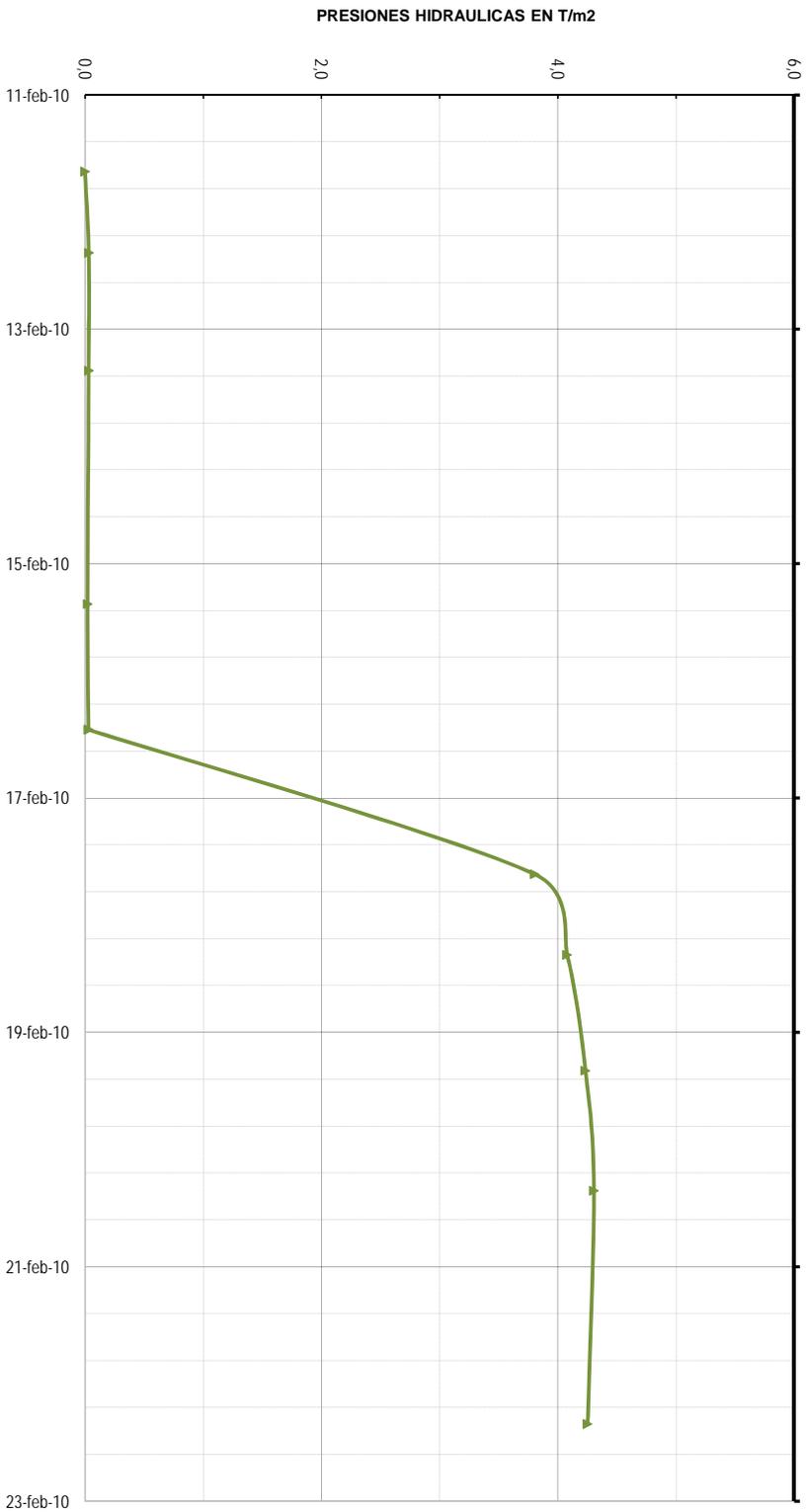
ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN EN LOSA DE FONDO

MEX-PZ-02



		INSTALACION DE PIEZÓMETRO EN LOSA DE FONDO				MEX-PZ-02	
CADENAMIENTO DE INSTALACIÓN: 20+904.101	MODELO DE MULTIPLEXOR: MEX-PZ-02	LONGITUD DE CABLE: 45 m.	DISTANCIA DE LA CABECERA : 51.82 m	ESTACIÓN: MEXICALTZINGO	FECHA DE INSTALACIÓN: 11/FEBRERO/2010	ACOTACIONES: m.	ELEVACIONES: m.
DIBUJÓ:		REVISÓ:		Vo.Bo. :			

PRESION PIEZOMETRICA CONTRA TIEMPO



 CONSORCIO LINEA 12 DEL METRO INSTRUMENTACION ESTACION MEXICALTZINGO		MEX-PZ-02
PIEZOMETRO EN LOSA DE FONDO Cad.: 20+904.101		
Elaboró:	Revisó:	Fecha de Inst.: 11/02/2010

Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

Instalación de Celda de Presión.

Con el propósito de observar el comportamiento de la estructura que conforma la estación Mexicaltzingo, durante su construcción y operación, fue instalada una celda de presión de tierra, bajo la losa de fondo, conformando la estación de instrumentación Mexicaltzingo, en el cadenamiento 20+902.574, de conformidad con las premisas generales de la especificación de la instrumentación geotécnica de la estación Mexicaltzingo.

En el presente reporte se describen las características del instrumento empleado, los trabajos de instalación en campo de la celda de presión de tierra de cuerda vibrante, en losa de fondo. Se adjuntan además, las fichas de instalación del instrumento, las cedulas de calibración en fábrica de las celdas de cuerda vibrante, así como los resultados de mediciones iniciales.

Descripción. El tipo de la celda de presión de tierra utilizada en la instrumentación de la estación Mexicaltzingo que formara parte de la línea 12 del sistema de transporte colectivo metro, es del tipo de cuerda vibrante (modelo LTPC-V), concepto desarrollado originalmente en el año 1958 en el Instituto Geotécnico Noruego (NGI) para la medición de la presión de tierra en tabla-estacados, muros de retención, túneles y presas de tierra.

Las celdas de presión de tierra, en ocasiones llamadas también celdas de “presión total” o celdas de “esfuerzo total”, están diseñadas para medir los esfuerzos en el suelo o las presiones ejercidas por el suelo sobre las estructuras.

Una celda de presión de tierra típica, consiste generalmente en un par de membranas metálicas circulares de acero inoxidable, flexibles, adosadas a un bastidor circular rígido, dejando entre ellas un espacio estrecho que, durante la fabricación, se rellena luego con un fluido hidráulico. Cuando se aplica una presión exterior en la celda, las membranas se deforman generando una presión similar al fluido hidráulico en el interior de la celda.

Un tubo de acero inoxidable conecta la cavidad de la celda rellena con el fluido, a un transductor de presión, de cuerda vibrante, que convierte la presión del fluido en una señal eléctrica que se transmite por un cable a la unidad de lectura.

En el interior del transductor, una cuerda metálica se sujeta en dos de sus extremos la tapa en el remate de cuerpo metálico del transductor, el otro extremo se fija a un diafragma flexible que es solicitado por la presión del fluido hidráulico en el interior de la celda. La cuerda metálica está sujeta a una tensión inicial de fábrica. La cuerda metálica es excitada mediante un pequeño electroimán al que se le aplica una pequeña corriente eléctrica durante la toma de lecturas, provocando que la cuerda vibre con una determinada frecuencia que depende de la magnitud de la tensión a la que está sometida. Al deformarse el diafragma, la tensión de la cuerda se altera, modificando en consecuencia su frecuencia de oscilación, parámetro que es registrado por la unidad de lectura.

En el interior de la cubierta del transductor de cuerda vibrante, se localiza además un sensor para la medición de la temperatura en la ubicación de la celda (“termistor”), de manera que es posible efectuar correcciones en el cálculo de las presiones, ante los cambios de temperatura ambiental.

Para el caso de la instrumentación de la losa de fondo, la celda de presión de tierra de cuerda vibrante utilizada son del modelo LPTPC-V, del fabricante RST, con un rango de medición de 0 a 700 kPa (70 Ton/m²).

Las dimensiones de la celda utilizada son las siguientes:

Diámetro de la celda	114 mm
Distancia del transductor a la placa	480 mm

Cuadro de característica de la celda de presión.

CELDA DE PRESION DE TIERRA, LOSA DE FONDO		
celda	Nº de serie	Longitud del cable
MEX-CP-02	TP1051	45 m

Instalación. Inicialmente mediante un equipo topográfico se realiza la ubicación exacta del punto de la losa de fondo bajo la cual se colocará la celda de presión, por otro lado se llevará un minucioso control del avance de los trabajos, esto con el fin de no entorpecer los avances del frente de excavación ni ellos la colocación de la instrumentación Geotécnica.

En la oficina se registrará el instrumento por instalar en la unidad de lectura correspondiente al modelo VW2106 REDOUT, mediante el software del fabricante, nombrando este instrumento como MX-CP-02, y de forma simultánea se comprueba el correcto funcionamiento del instrumento, además de corroborar que las características son las especificadas por el fabricante y además se recolectará la lectura inicial, respetando el código de colores que maneja el fabricante y que se puede observar en el manual que se adjunta en este documento, que corresponde a la lectura cero y que se puede verificar en el ANEXO D del presente documento.

El cable de señal de cuerda vibrante se hace pasar por un poliducto flexible de $\frac{3}{4}$ " el cual protegerá dicho cable, esto con la intención de que el cable tenga muy poca interacción con factores que pudieran afectar el funcionamiento del instrumento en cuestión como pueden ser la humedad en alguna fisura que pudiera tener por defecto o por un mal almacenaje o manejo de transporte, a su vez este poliducto se hace pasar por un tubo sanitario de pvc de 2" esto con la finalidad de que el sistema de conducción (cable con el poliducto) sea protegido por cualquier siniestro como pudiera ser un golpe con herramienta, algún

accidente durante la colocación de la plantilla de la losa de fondo y además este poliducto servirá para tratar de que nuestro sistema de conducción se apegue lo más posible a la geometría de la losa de fondo.

Simultáneamente se construye una pequeña fosa de 40 x 20 x 20 cm de dimensión que sirve para alojar la celda de presión, este sistema se complementa con una zanja guía que sale de uno de los extremos de la pequeña fosa de almacenaje y termina en la parte superior de la losa de fondo correspondiente a la cabecera norte de la estación, esta zanja tendrá una profundidad de 20 cm aprox.

Ya concluidos tanto el sistema de conducción y la zanja correspondiente, se colocará la celda de presión con la cara sensible hacia la estructura, esto para detectar los esfuerzos generados por la estructura en el terreno correspondiente, esta celda es cubierta con el material propio de la misma excavación, lo mismo sucede con el sistema de conducción, esto con la finalidad (como se ha mencionado reiteradamente) de conservar la geometría de la losa de fondo.

Inmediatamente después de realizar la compactación del material se realizará la segunda lectura.

Resultados de las mediciones iniciales. Después de haber instalado dicha celda se continúa con los trabajos de colado de plantilla, así como el armado y por último el colado de dicha losa, en cada una de las anteriores etapas se realizaron lecturas, la grafica mostrada a continuación muestra el efecto observado en las etapas anteriormente descritas.

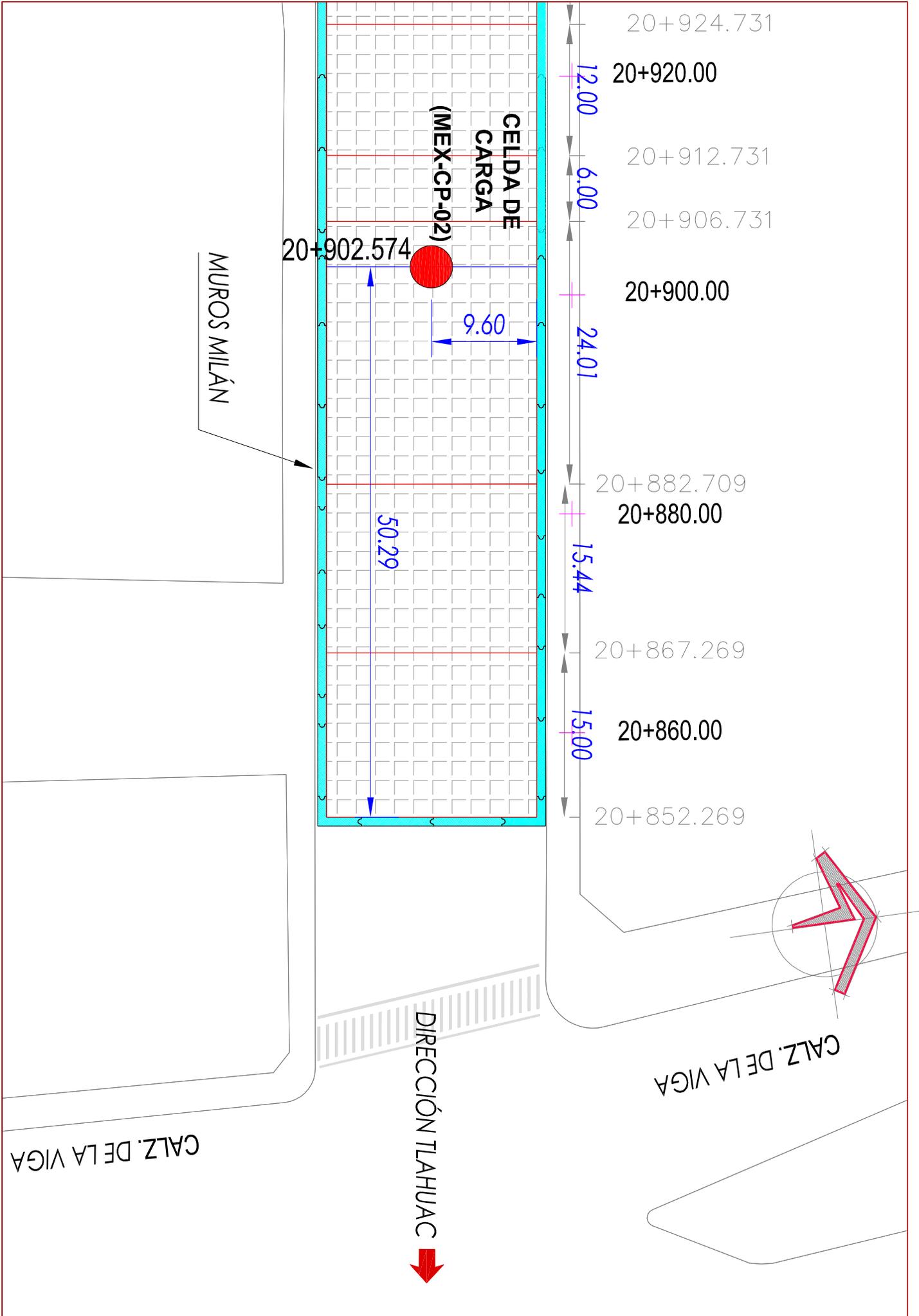
Por otra parte, con los datos de las cédulas de calibración, fueron diseñadas las hojas electrónicas de cálculo de las presiones y que presentan los registros de las presiones medidas en los instrumentos, entre la fecha de instalación del 09/02/10, y el 22/02/10.

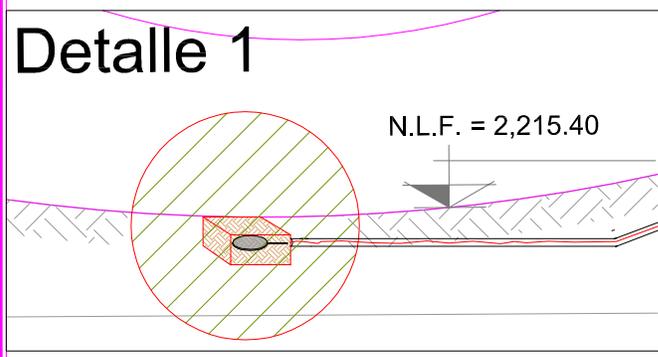
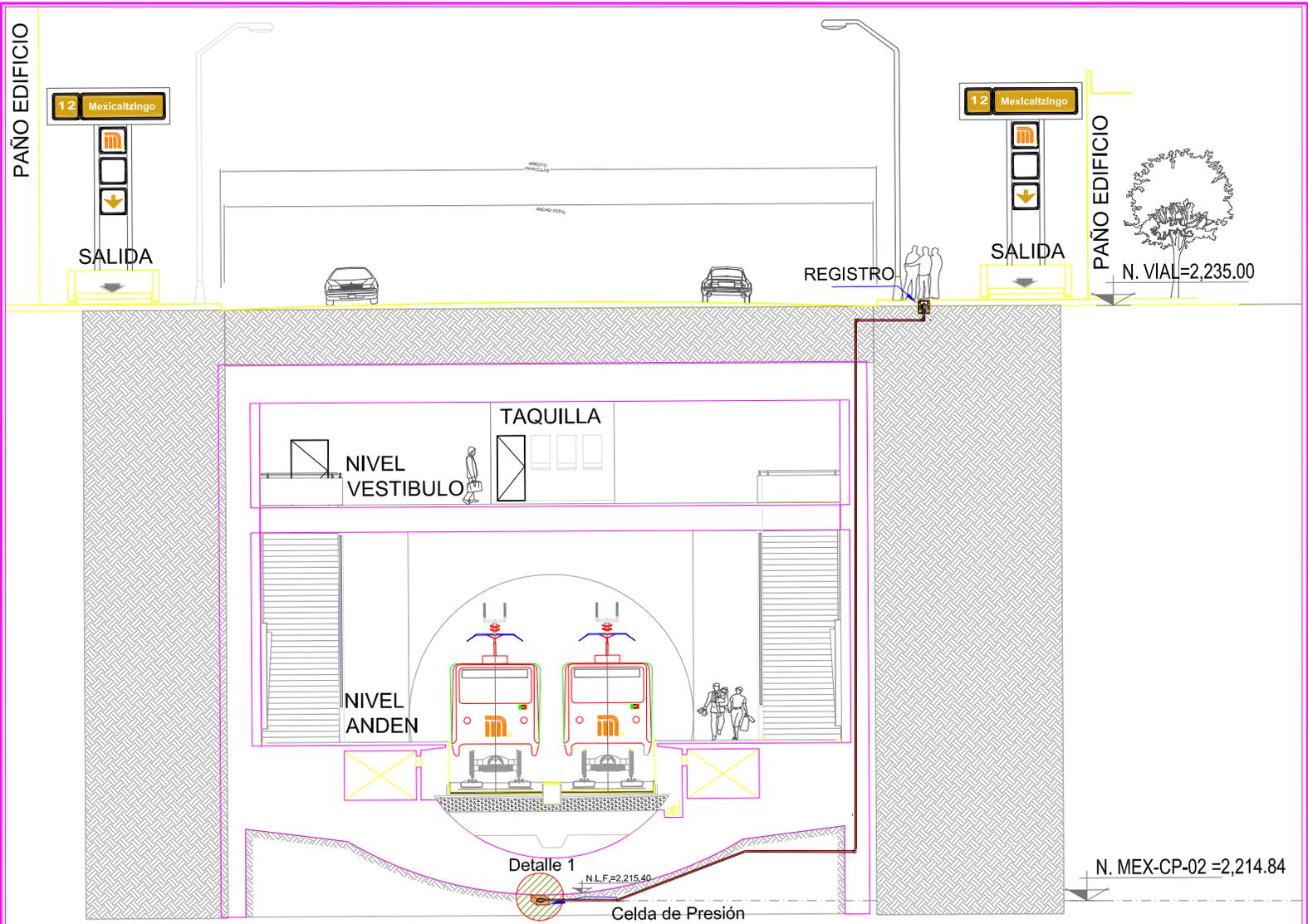
Capítulo 5: Instrumentos Proceso de instalación

Las hojas de cálculo de las presiones de tierra registradas con estos instrumentos, han sido diseñadas para tomar en cuenta el promedio de tres lecturas subsecuentes de las frecuencias de vibración y de las temperaturas, tomadas en un mismo evento.

La gráfica del comportamiento observado de las presiones registradas en la losa de fondo, se presenta adelante.

Algunas de las fotografías tomadas durante los trabajos de instalación de la celdas de presión, en la losa de fondo y toma la lectura inicial se incluyen en Capítulo 7.





		INSTALACION DE CELDA DE PRESION DE TIERRA EN LOSA DE FONDO				MEX-CP-02		
CADENAMIENTO DE INSTALACION: 20+902.574	MODELO DE MULTIPLEXOR: MEX-CP-02	LONGITUD DE CABLE: 45 m.	DISTANCIA DE LA CABECERA : 50.29 m	ESTACION: MEXICALTZINGO	FECHA DE INSTALACION: 09/FEBRERO/2010	ACOTACIONES: m.	ELEVACIONES: m.	02
DIBUJÓ:		REVISÓ:		Vó.Bó. :				

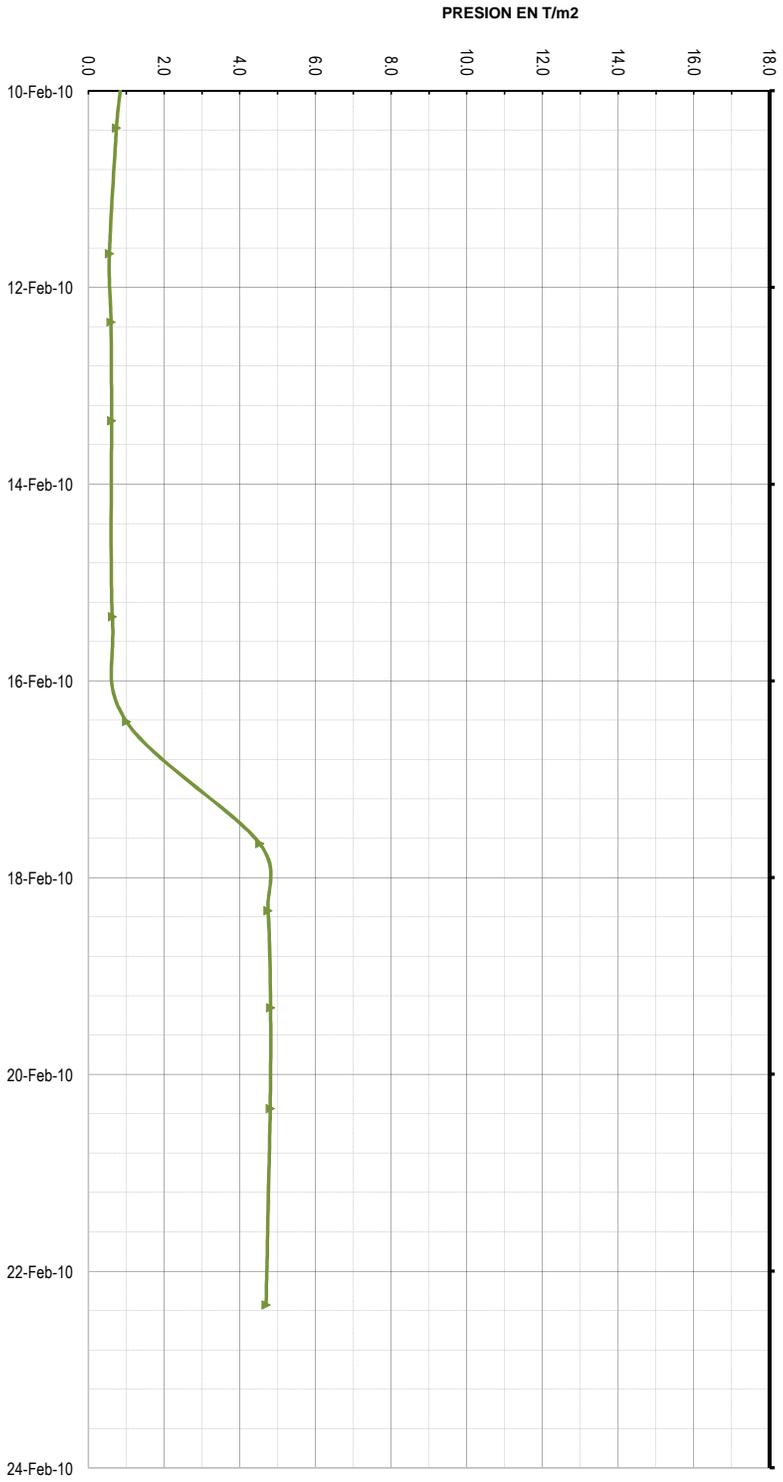


Estación Instrumentada: Mexicaltzingo



c/ Plantilla

PRESION CONTRA TIEMPO



		CONSORCIO LINEA 12 DEL METRO	
INSTRUMENTACION		ESTACION MEXICALTZINGO	
CELDA DE CARGA EN LOSA DE FONDO		MEX-CP-02	
Ced. : 20-902.574		Fecha de Inst.:	
Elaboró:		09/02/2010	

CAPITULO 6.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

Recapitulando un poco, hablamos de lo que es la instrumentación, tanto los diferentes tipos en los que se agrupa, los instrumentos que se usan comúnmente en proyectos, el funcionamiento de estos así como sus procedimientos generales de instalación.

Con este capítulo se pudo entender de manera más clara el tema, de manera que el lector pueda tener una visión clara de lo que es la instrumentación para poder comprender con más facilidad el caso práctico con el que se ejemplifica el trabajo.

En el segundo capítulo, se habla sobre la descripción general del proyecto y tipo de contrato por el que se está ejecutando la obra. Este tipo de contratos llave en mano o como se maneja en la obra pública “Proyecto Integral a Precio Alzado y Tiempo Determinado” buscan reducir la participación del cliente ya que éste solo licita la obra y da rasgos muy generales de lo que se quiere hacer siendo el contratista el que tenga que definir a detalle el proyecto previo con el que se cuantificarán los volúmenes de obra así como todas las obras inducidas, afectaciones y demás, que este proyecto por su magnitud conlleva y elaborar el proyecto definitivo con el que se empezara y terminará la construcción.

El contratista, una vez definido a rasgos generales los volúmenes de obra, equipo y tiempos a utilizar, dará un presupuesto a precio alzado con la finalidad de que con este presupuesto se puedan cubrir todos los gastos de las obras, tanto los directos, como indirectos y los imprevistos que puedan ocurrir.

En los siguientes capítulos, que trataron el caso práctico de la instrumentación instalada en la estación Mexicaltzingo, se concluye que la instrumentación que se logró instalar sirvió para que los ingenieros diseñadores corroboraran el diseño de la estación Mexicaltzingo así como los pronósticos que se hicieron de la misma.

Capítulo 6: Conclusiones

Estos reportes de monitoreo de la instrumentación fueron de vital importancia durante la construcción de la estación ya que con estos se pudieron prevenir posibles hundimientos por exceso de peso de la estructura y material suelto que se tenía en la obra, actuando sobre el suelo.

Ya que este suelo tiene una capacidad de carga específica, se cuidó en todo momento que no se excediera ya que si esta se excedía solamente con la construcción, al paso del escudo, la vía entre el portal de llegada y el portal de salida de la estación, podría presentar severos hundimientos afectando la estructura de la estación debido al sobrepeso que se le estaría dando con el escudo y la estación.

Es por esta razón que la instrumentación es de vital importancia tanto en obras de gran magnitud, como este, el proyecto Línea 12, así como obras de menor magnitud pero con posibilidades de riesgo muy altas.

La instrumentación, tan solo con el hecho de verificar los diseños proyectados, ya está justificando el valor de su inversión ya que gracias al monitoreo de la zona o cuerpo en estudio se comprueba lo predicho y no se tendría que gastar dinero de más debido a fallas de diseño o fallas de procedimiento constructivo.

Dicho esto, estamos seguros de haber cumplido con el objetivo del trabajo, mostrar la instrumentación que se instaló en la estación Mexicaltzingo, así como su beneficio y la función que cumple en el proyecto. Así como ampliar con nuevos conocimientos y actualizar la formación de los ingenieros civiles con la tecnología de vanguardia con la que se realizan las nuevas obras.

CAPITULO 7.

ANEXOS

7.1 REPORTE FOTOGRÁFICO

En este anexo se muestra el reporte fotográfico de la instalación de los instrumentos en la estación Mexicaltzingo de la Línea 12 del Metro.

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSTALACIÓN DE INCLINÓMETRO



Foto 1 Barreno de 6.5"



2.- Vista de tubería de tubería de
Inclinometro.

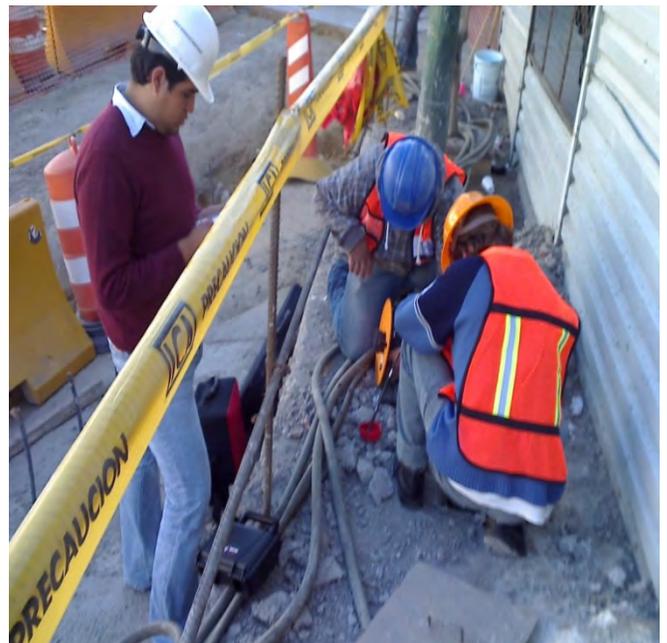
Capítulo 7: Anexos



Fotos 3 y 4.- Preparación de coples telescópicos en Mexicaltzingo.



Fotos 5 y 6.- Primer tramo de tubería y material listo para armarse e hincarse en la estación Mexicaltzingo.



Fotos 09 Construcción de registro y 10.- Toma de lectura inicial.

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSTALACIÓN DE PIEZÓMETRO



Foto 1.- Piezómetro



Foto 2.- Protección de cable de señal con poliducto flexible



Foto 3.- Colocación de piezómetro dentro de bolsa de geotextil con granzón



Foto 4.- Colocación de filtro para piezómetro



Foto 5.- Terminación de la fosa de alojamiento del Piezómetro.



Foto 6.- Realización de zanja para guiar el cable de señal cuidando la plantilla

REPORTE FOTOGRÁFICO DE INSTALACIÓN DE CELDA DE PRESIÓN



Foto 1.- Celda de carga

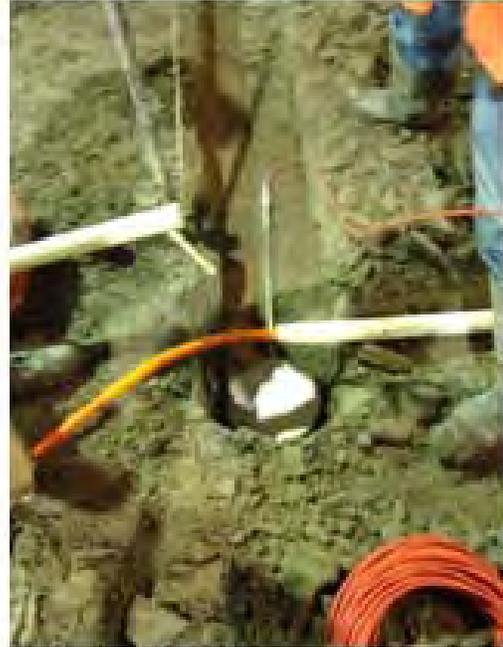


Foto 2.- Colocación de celda en el sitio



Foto 3.- Protección de cable de señal con poliducto flexible



Foto 4.- Realización de zanja para guiar el cable de señal cuidando la geometría de la plantilla

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA

- Guide to Geotechnical Instrumentation. Slope Indicator
www.slopeindicator.com
- Montana Geotechnical Manual, Chapter 11. Instrumentation. Montana Department of Transportation. Ed. 2008
- Fichas técnicas del proveedor RST.
www.rstinstruments.com
- Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance. John Dunicliff. Wiley-Interscience, Ed 2008.
- Soils and Foundations Handbook 2000, Florida Department of Transportation.

Archivo proporcionado por parte del Proyecto Línea 12.

- Especificaciones técnicas de instalación para la estación Mexicaltzingo.
- Reportes de obra e instalación de la instrumentación para la estación Mexicaltzingo.
- Fichas y planos de instrumentación generados en oficina.