

CAPÍTULO I

EQUIPOS DE MEDICIÓN

I. EQUIPOS DE MEDICIÓN

I.1 Generalidades

El ingeniero civil es el encargado de diseñar, planear, construir, operar y dar mantenimiento a obras de infraestructura; durante este proceso debe ser capaz de medir de manera cuantitativa los parámetros que servirán de referencia para tomar decisiones acerca del comportamiento real y teórico de las obras de ingeniería. Es precisamente la necesidad de medir y evaluar los procesos constructivos, así como los materiales utilizados en dichos procesos lo que ha hecho imprescindible la invención y adecuación de instrumentos y técnicas de monitoreo. En la actualidad existen infinidad de instrumentos diseñados para detectar, medir, determinar y monitorear la interacción de las estructuras y/o materiales utilizados en la ingeniería.

Basados en las teorías existentes y en la experiencia de años de trabajo en las diferentes áreas de la ingeniería, es imperativo buscar siempre medir los parámetros de comportamiento de las estructuras, ya que de esta manera estaremos en la capacidad de mejorar, ya que para fines prácticos, solo lo que se puede medir es lo que se puede cambiar. Debido a que el bienestar y seguridad de las personas, los intereses económicos y el progreso mismo de un país está estrechamente ligado a la infraestructura, no debemos escatimar al momento de instrumentar y monitorear las diferentes obras de ingeniería, ya que el costo de no hacerlo adecuadamente puede resultar excesivamente elevado en comparación con el costo total de la obra.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento del túnel de la línea 12 durante el proceso constructivo al paso del escudo, se instaló un sistema de instrumentación que permitió medir la presión de confinamiento sobre las dovelas, los cambios de la geometría transversal de los anillos, así como los asentamientos y desplazamientos en la masa del suelo y en superficie. Dicho sistema está integrado por celdas de presión, convergencias y divergencias automatizados (Tilt meters), referencias superficiales, extensómetro de barras y extensómetro magnético con tubería para inclinómetro. En los siguientes subtemas se describen de manera breve cada uno de estos dispositivos; si se desea mayor información acerca de los instrumentos instalados en el tramo en cuestión, se podrán consultar en las referencias los datos de los proveedores y las direcciones electrónicas donde se pueden revisar manuales, especificaciones, y demás detalles de interés.

El diseño, instalación, monitoreo y procesamiento de información generada de los diferentes dispositivos enfocados al monitoreo de las obras y actividades correspondientes al proyecto fue realizado por el departamento de instrumentación de la línea 12 del metro. La información de las lecturas, mediciones y gráficas generadas fue proporcionada para esta tesis por el área de instrumentación geotécnica del consorcio de la línea 12 del metro de la ciudad de México.

1.2 Celdas de presión

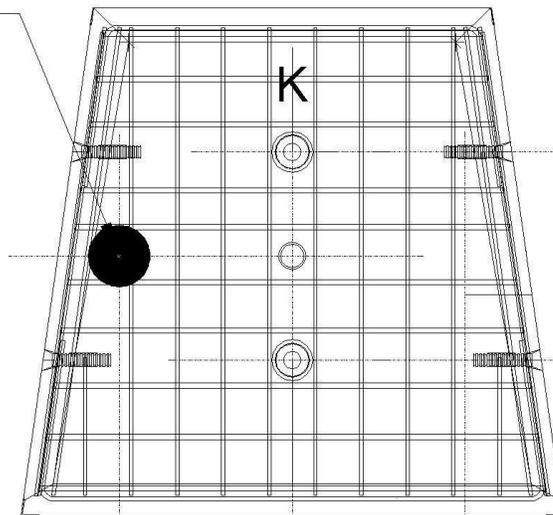
Para detectar la magnitud y distribución de los esfuerzos que el subsuelo ejerce sobre los anillos colocados en el túnel, se instalaron 4 celdas de presión en el anillo 188 ubicado en el cadenamiento 20+641.600 del tramo en estudio. Las celdas de presión de tierra, en ocasiones llamadas también celdas 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. El tipo de la celda de presión de tierra utilizada es del tipo de cuerda vibrante, 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 utilizadas consisten 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 y esta a su vez 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 a 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.

Ubicación de Celda de
Presión CP-01
No. de Serie: TP1104



VISTA DE CARA INTERIOR DE LA DOVELA "K"

Fig. 4 Esquema de Celda de presión en clave.



Fig. 5 Celda de presión colocada en dovela.

I.3 Sistema de convergencias y divergencias automatizado

Las dovelas que conforman el túnel de la línea 12 siguen los radios de un mismo centro, formando así un arco radial, estas dovelas a su vez forman un anillo compuesto de 8 dovelas, 7 de ellas son el soporte estructural del anillo, mientras que la octava forma la

clave del túnel. Las designaciones de cada dovela son: A1, A2, A3, A4, A5, B, C y la letra K corresponde a la ya mencionada clave. La presente tesis no tiene como objetivo la descripción detallada de las dovelas, sin embargo, se presenta de manera esquemática en la figura 8 el anillo instrumentado con la ubicación respectiva de las piezas que lo conforman. Si se requiere mayor información acerca de dovelas se puede consultar la bibliografía adicional de esta tesis.

Con el fin de observar el comportamiento del revestimiento primario a lo largo del túnel excavado con escudo de la línea 12 del metro, en el momento en que el túnel se encuentre en la zona de pórticos o carros del escudo excavador, se instaló un sistema a base de Tilt meters que permitió medir las deformaciones del revestimiento primario (anillo de dovelas) al interior del túnel, conforme el avance de excavación. Los Tilt meters son sensores micro eléctrico-mecánicos (MEMS) uniaxiales de sistema direccionable (sensores encadenados o en serie) los cuales se conectaron a un datalogger de un canal mediante el cual se automatizó la medición tomando lecturas cada 6 horas y se programó para poder coleccionar los datos en un PC de campo compatible.



Fig. 6 Tilt meter colocado en dovela.

Se instrumentaron 2 anillos con 6 Tilt meters cada uno, empotrados al paño interior de cada dovela y se ubicaron aproximadamente al centro de cada una. Los anillos instrumentados tienen una separación de 75 anillos, los cuales se colocaron conforme el avance de la excavación. Para la presente tesis, los anillos instrumentados que corresponden al tramo en estudio, son el anillo 28 y el 103, las mediciones obtenidas por el datalogger así como las gráficas generadas a través de los datos recabados serán analizadas en el capítulo II.

Debido a la longitud de 514 metros de la lumbrera de acceso a la cabecera oriente de la estación Mexicaltzingo, resulta imposible instrumentar la mayoría de los anillos que lo integran, empero, los dos anillos que se ubican en dicho intertramo servirán para presentar las mediciones obtenidas por el sistema de convergencias y divergencias automatizados. Es imprescindible destacar que la colocación del sistema de convergencias y divergencias en los anillos 28 y 103 no necesariamente podrían constituir el comportamiento de todo el intertramo, sin embargo, para los fines de esta tesis los dos anillos instrumentados se considerarán en inicio como representativos del conjunto, ya que en el capítulo IV se harán las observaciones y conclusiones pertinentes para justificar o desacreditar dicha suposición.



Fig. 7 Datalogger utilizado para la automatización de los tilt meters.

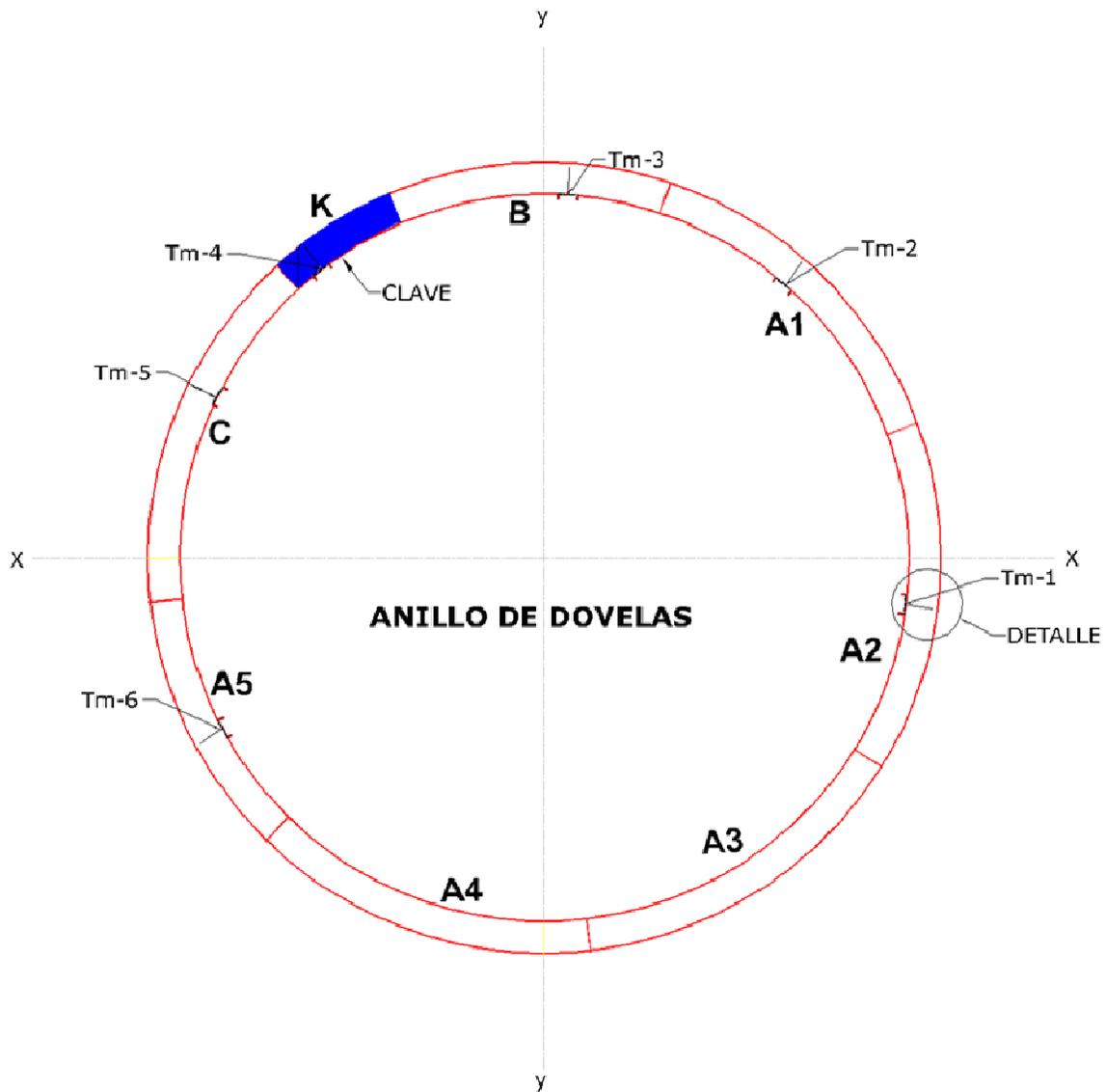


Fig. 8 Esquema del anillo instrumentado con tilt meters.

1.4 Extensómetro magnético con tubería para inclinómetro

El monitoreo del terreno adyacente al paso del escudo se tomó en cuenta debido a los empujes ejercidos sobre el suelo por el paso de la tuneladora y en particular los movimientos horizontales del terreno y los asentamientos durante el paso de dicha máquina. Los esfuerzos generados por los empujes activos y pasivos del suelo pueden dañar el anillo de dovelas e inclusive los edificios que se encuentran en superficie, por lo cual es imperativo determinar el comportamiento de la excavación y de la respuesta del suelo. Con el fin de observar el comportamiento de la excavación por medio del escudo de tipo EPB en el tramo de la lumbreira de acceso y la estación Mexicaltzingo se colocó un sistema de instrumentación denominado extensómetro magnético con tubería para inclinómetro para lograr el objetivo del monitoreo.

El extensómetro magnético con tubería para inclinómetro es un sistema que permite medir tanto movimientos verticales como horizontales en un mismo barreno del subsuelo vecino al mismo. El sistema doble se compone de un extensómetro el cual consta de un anillo magnético de referencia localizado en la parte inferior de la tubería, así como de sensores magnéticos denominados “arañas magnéticas” colocadas a distintas elevaciones, lo que permite medir con mayor precisión el movimiento vertical del suelo vecino. La tubería con la cual se sujetan las “arañas magnéticas” es la correspondiente a la utilizada en los sistemas de inclinómetros convencionales, lo que permite la medición de los desplazamientos horizontales.

De esta manera, el inclinómetro está compuesto por tramos de tubería tipo glue-snap de 3.05m de longitud, la cual contiene en su cara interior cuatro ranuras longitudinales alineadas en dos planos ortogonales, los tramos de tubería están unidos mediante coples telescópicos de 0.605m de longitud que podrán absorber los movimientos verticales del suelo. De manera esquemática la figura 10 muestra la instalación del aparato y algunas partes esenciales del mismo, ya que para la presente tesis el énfasis está en los datos generados por los dispositivos y no en los dispositivos en sí. Para mayores detalles acerca del extensómetro magnético se podrá consultar en las referencias la bibliografía y los sitios web donde se puede profundizar en el tema.

El extensómetro antes descrito se colocó en la Av. Ermita, en el cadenamiento 20+662 y la profundidad de instalación fue de 33.10m, la distancia horizontal del extensómetro con respecto al hastial del túnel fue de aproximadamente 7.50m. Este dispositivo es el único que se colocó en el intertramo, por tanto, las mediciones y datos generados no podrán ser comparados con otro instrumento del mismo tipo en este intertramo, sin embargo, para la presente tesis los registros obtenidos son suficientes para poder dar las conclusiones y sugerencias respectivas (capítulo IV), ya que llegado el momento, se sentarán las bases del contexto y características peculiares de las mediciones in situ.



Fig. 9 Arañas magnéticas en tubería para inclinómetro.

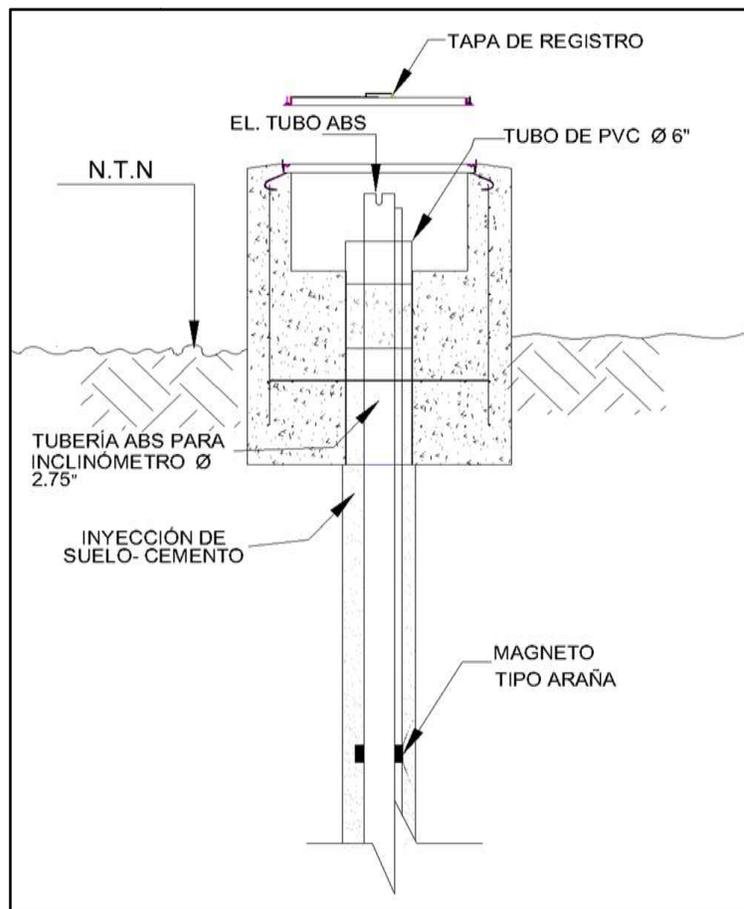


Fig. 10 Esquema de extensómetro magnético con tubería para inclinómetro.

1.5 Referencias superficiales sobre el eje del trazo

A través de levantamientos topográficos periódicos se procedió a determinar los movimientos del suelo en la superficie sobre el eje del trazo del túnel, se colocaron bancos de nivel superficiales con una separación de 20m, con estos bancos se formaron líneas de colimación (la línea imaginaria definida por el punto donde se cruzan los hilos principales y el centro del ocular, es la visual principal con que se trabaja y se le denomina línea de colimación), estas sirvieron para medir las deformaciones verticales que sufrió cada uno de dichos bancos. Las líneas de colimación se colocaron en las calles principales que cruzan el eje de trazo; la distribución de los bancos fue a cada 5m, 10m y 15m respectivamente.

Los bancos de nivel en el pavimento están constituidos por un tornillo metálico de 5/8 x 4'', con cabeza semiesférica (cabeza de gota) y una línea grabada perpendicularmente a la ranura que el tornillo tiene en su cabeza, esta ranura servirá de guía a una regla metálica graduada. El tornillo está empotrado de manera firme en la carpeta asfáltica garantizando así su integridad. En áreas verdes los bancos de nivel están constituidos por un cilindro de concreto simple de 15cm de diámetro por 30cm de altura, en este cilindro de concreto se incrustará un tornillo de iguales características al que se usa en pavimento, de esta forma el sistema de bancos de nivel en área verde funciona igual al que se ubica en pavimento.



Fig. 11 Referencia superficial.

Es importante destacar que las nivelaciones tomadas de los bancos de nivel superficiales se hicieron durante la mañana, para de esta forma evitar errores por reverberación; además, los bancos de nivel superficiales que forman las líneas de colimación están referidos a su vez a bancos de nivel profundos, sin embargo, se omitirán las nivelaciones hechas con los bancos de nivel profundo, esto debido a que dichas nivelaciones sirven para medir el hundimiento regional, y este no es tema de estudio en la presente tesis. Para mayor información acerca

del hundimiento regional de la ciudad de México y el hundimiento regional medido durante el proceso constructivo de la línea 12 del metro consulte las referencias bibliográficas dadas al final de esta tesis. De manera esquemática se presenta en la figura 12 una parte del arreglo de los bancos de nivel en el tramo de estudio.

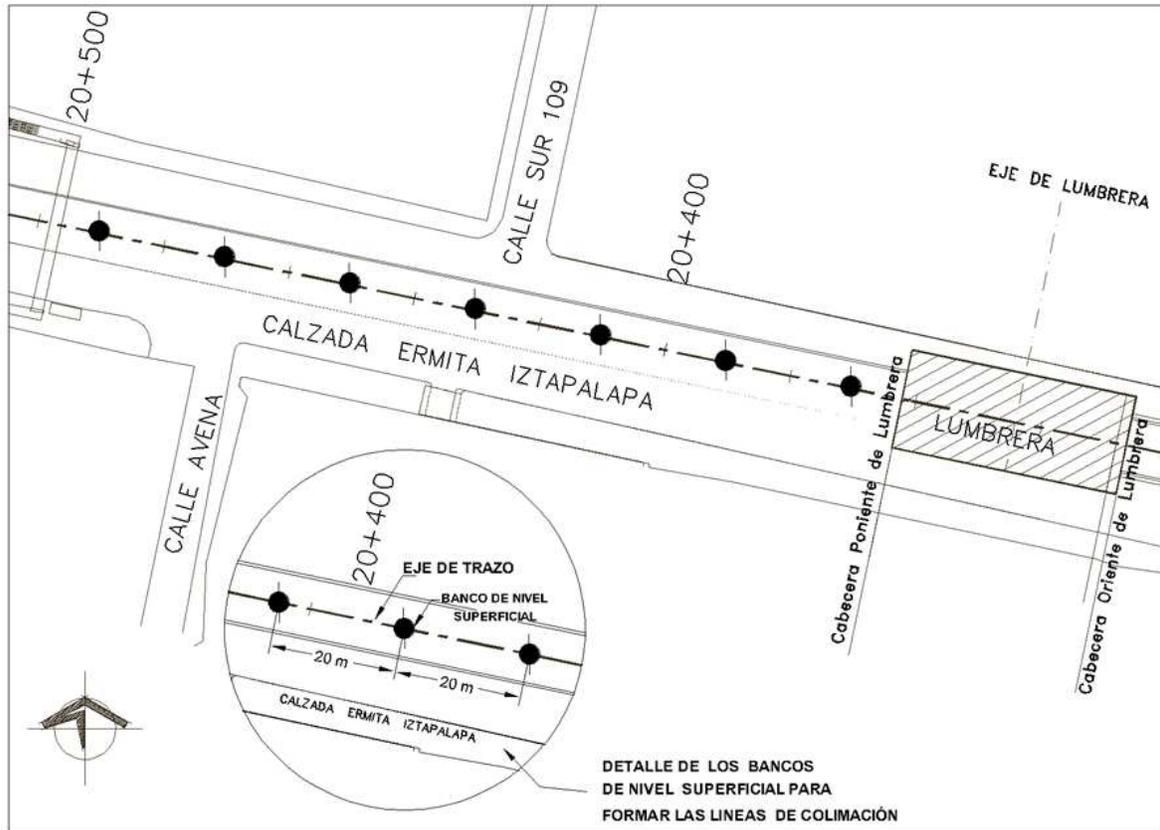


Fig. 12 Vista en planta de referencias superficiales sobre el eje de trazo.

1.6 Extensómetro de Barras

Con el propósito de observar el comportamiento del suelo en las etapas de excavación y construcción del túnel excavado con escudo, en el tramo de Mexicaltzingo a la lumbrera de acceso, se instaló un extensómetro de dos barras verticales en el cadenamiento 20+715.250. El principio de funcionamiento de dicho instrumento es simple, ya que se coloca una barra lisa de acero dentro de un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ " de diámetro de cedula 40, esto con el fin de que el tubo le sirva a la barra como un resguardo para no entrar en contacto directo con el suelo y de esta manera poder deslizarse libremente dentro del ademe formado por el PVC. En la parte inferior del extensómetro se suelda una varilla del número 3 de 15 centímetros de longitud que a su vez es recubierta con pintura epóxica, dichas varillas funcionan como anclas para lograr la interacción entre el suelo y el extensómetro a la profundidad de instalación dada.



Fig. 13 Extensómetro de barras.

El extensómetro de barras se instala dentro de un barreno para medir las deformaciones entre el cabezal del instrumento por medio de levantamientos topográficos, cada una de las barras se ubica a diferentes profundidades (para el caso del extensómetro las profundidades correspondieron con la clave y el hastial del túnel). Para la instalación del extensómetro se realizó un barreno de 4 1/2" de diámetro, al término de la perforación del barreno, mediante un pisón acoplado a una sonda, se verificó la profundidad de la perforación y que el barreno estuviese limpio y libre de obstáculos que pudiesen impedir el descenso del extensómetro ensamblado previamente en la superficie.

Una vez que el extensómetro se coloca en el barreno, se inyectan lodos bentoníticos con una proporción tal que sea el peso volumétrico del lodo y el del terreno perforado sean lo mas cercanas posibles.

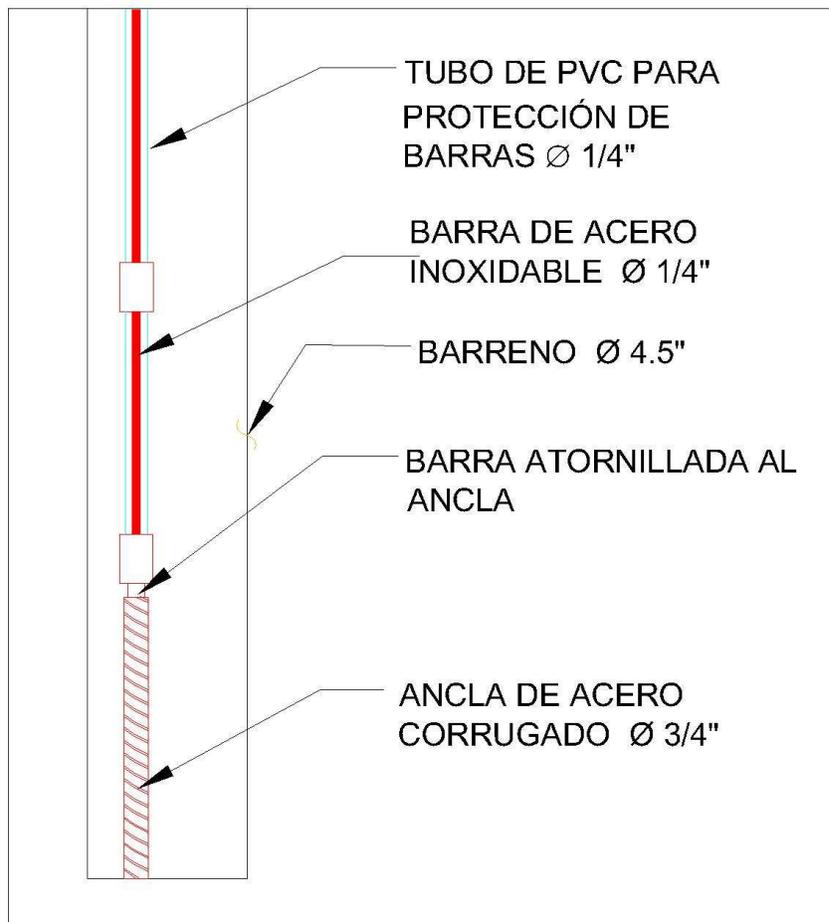


Fig. 14 Esquema de extensómetro de barras.