

**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

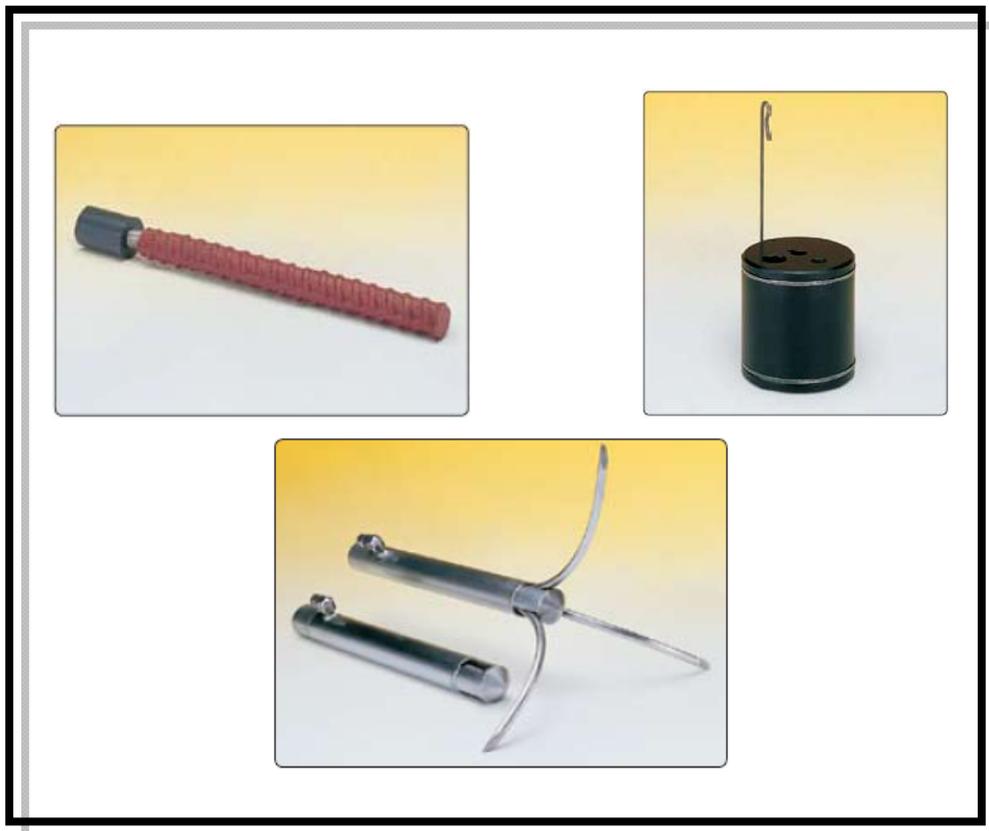
Capítulo 3: Tipos de Instrumentos utilizados en la L12 del Metro

- 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:

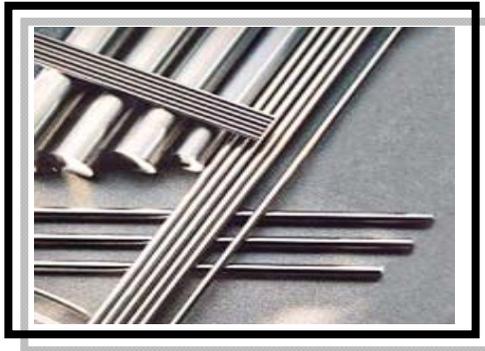
- **Las anclas.** Están son hechas de acero inoxidable perforado para las tipo anulares, al igual que las del tipo araña. El ancla final es una varilla corrugada con adaptador para la barra del extensómetro.

**Fig. 3.1.1 Anclas.**

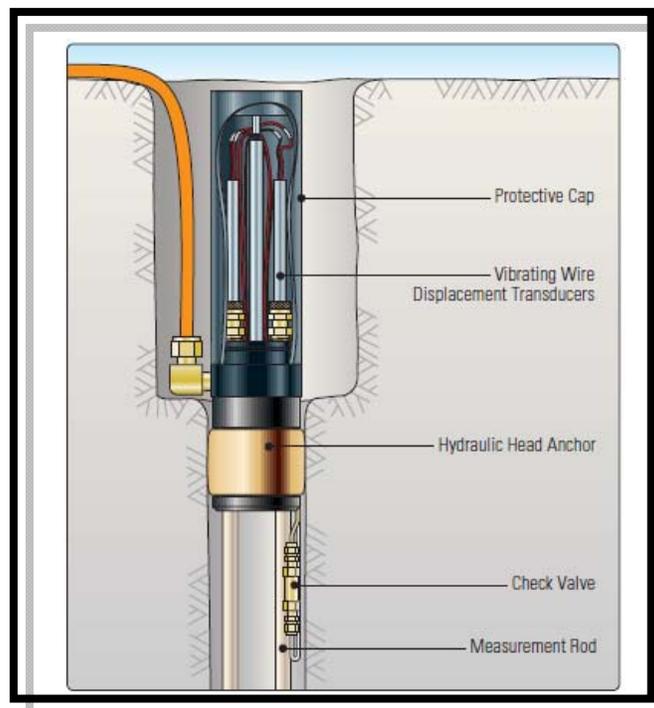


- **Barras.** Estas son barras redondas de acero inoxidable de  $\frac{1}{4}$ ". Estas son machimbradas en un torno de manera que se puedan conectar y alcanzar la longitud necesaria de proyecto. Otro tipo de material usado también son las barras de fibra de vidrio y de grafito.

**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**

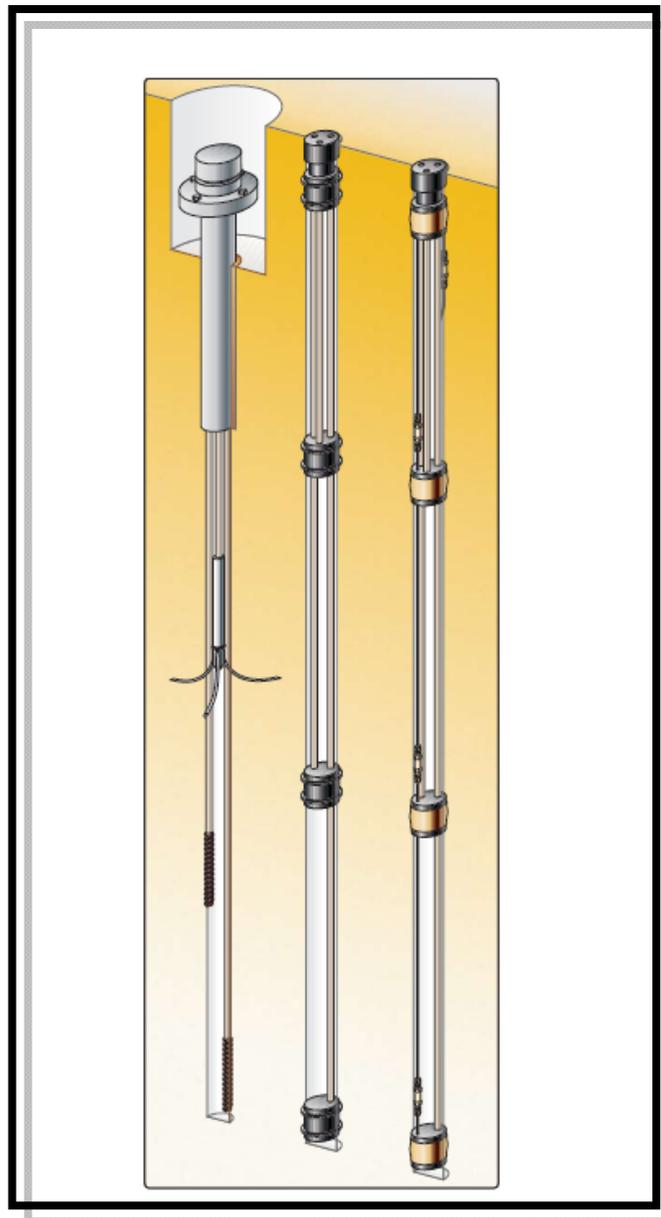


Capítulo 3: Tipos de Instrumentos utilizados en la L12 del Metro

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**

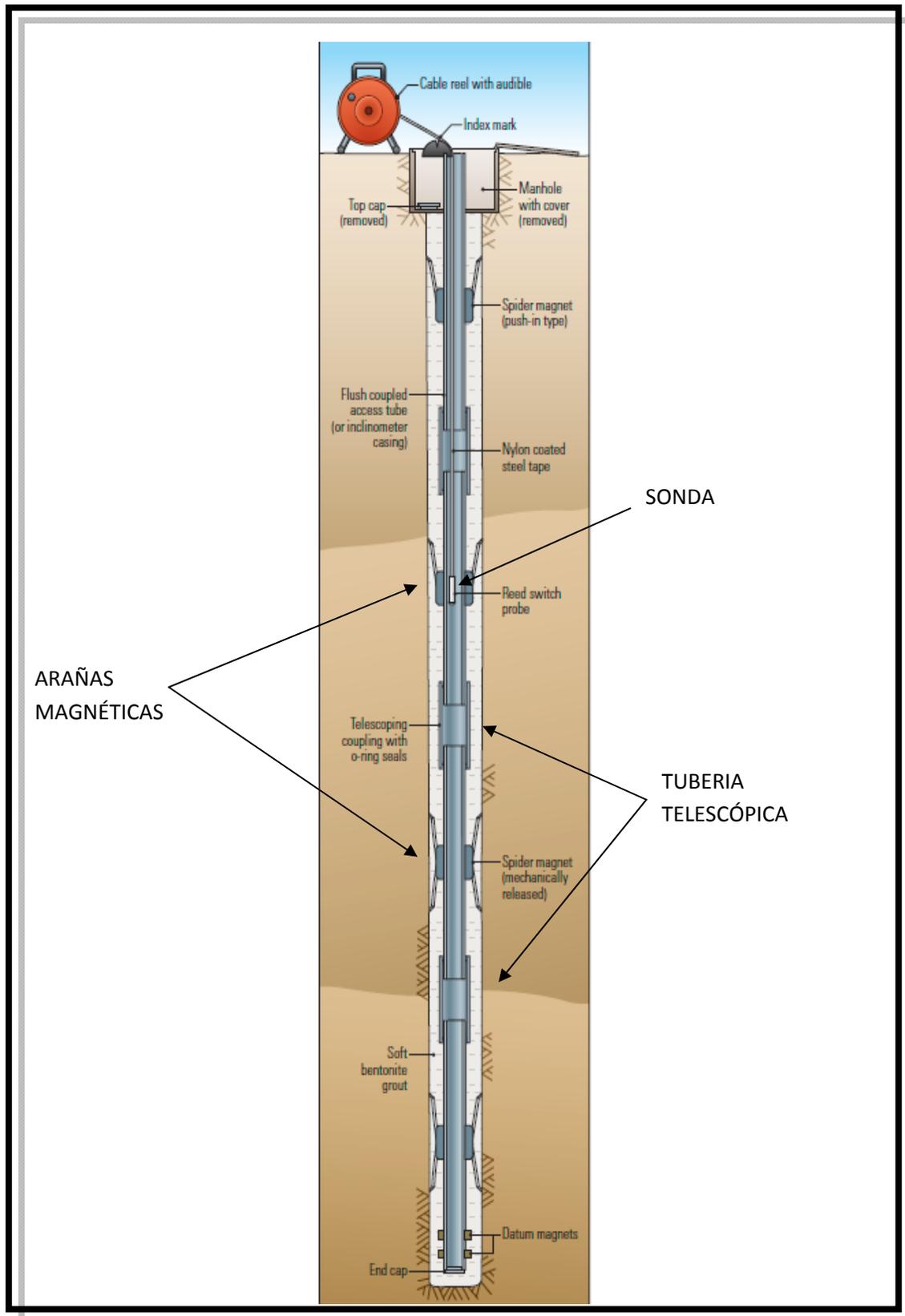


Tabla 3.1.1 Especificaciones técnicas del extensómetro magnético.

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

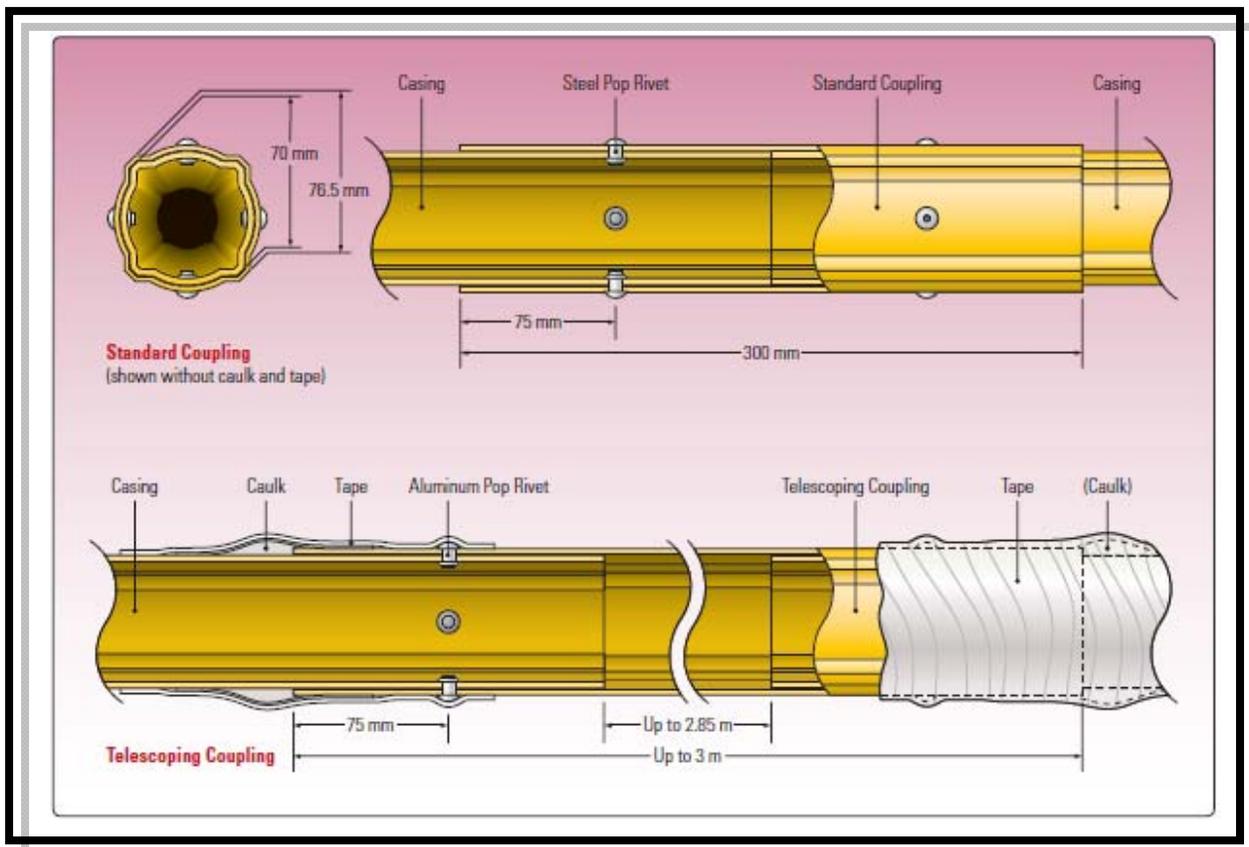
De esta forma podemos resumir las partes de un sistema de inclinómetro en las siguientes:

- 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.**

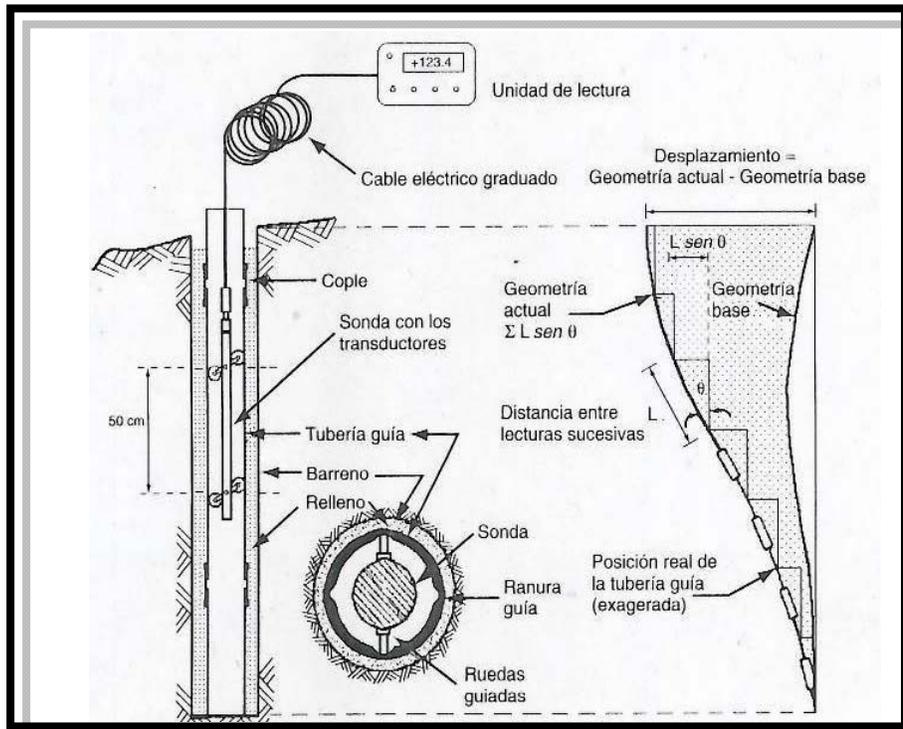


Tabla 3.2.1 Especificaciones técnicas de la tubería y sonda del inclinómetro.

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

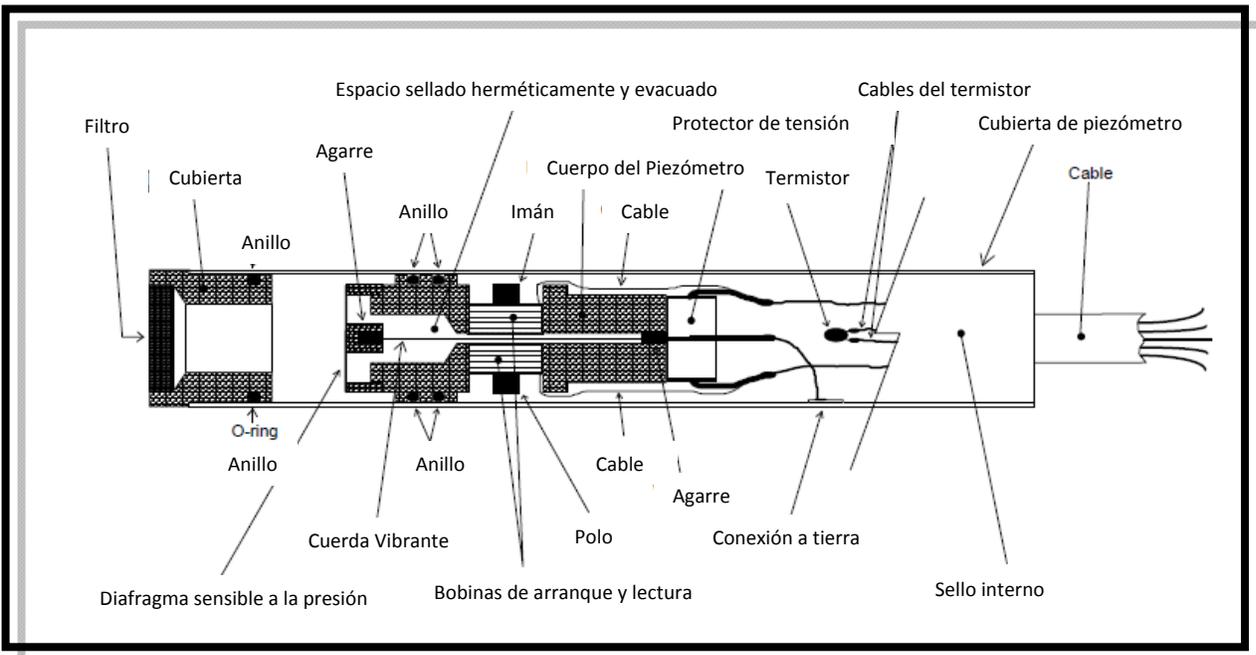
Cuando este esta en uso, el cambio de presiones en el diafragma causa que este se comprima o se contraiga, este movimiento es medido como un cambio en la tensión y frecuencia de vibración del elemento de cuerda vibrante. El cuadrado de la frecuencia de vibración es directamente proporcional a la presión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

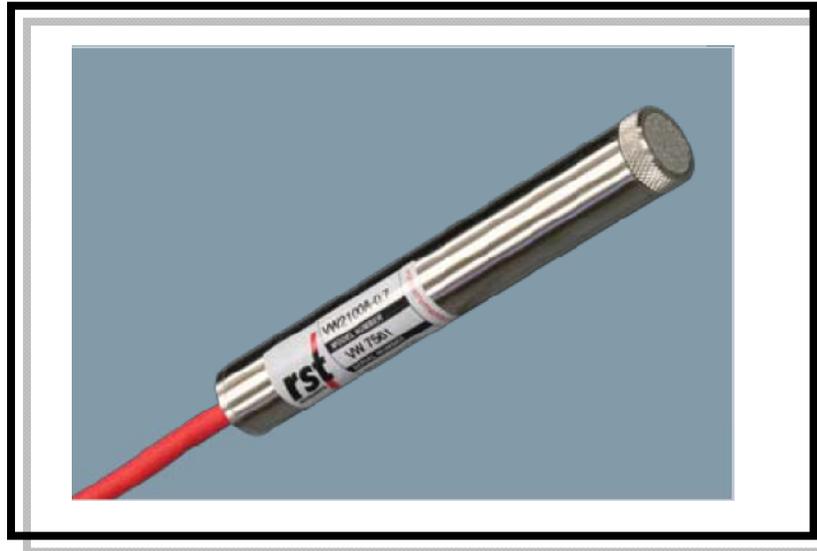
En la figura se muestran las partes del sistema de cuerda vibrante del piezómetro.

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

### Piezocelda

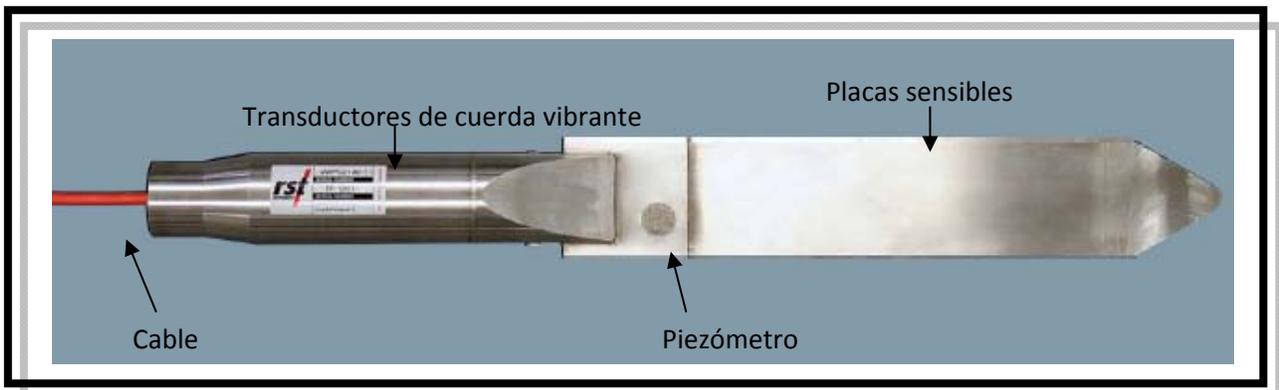
Este instrumento, también llamado celda pala, está diseñada para ser hincada en el suelo en donde se quiere saber o medir la presión total de suelo y la presión de poro o presión efectiva. Por lo general este instrumento es instalado en suelos blandos cohesivos, como en la ciudad de México.

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.**

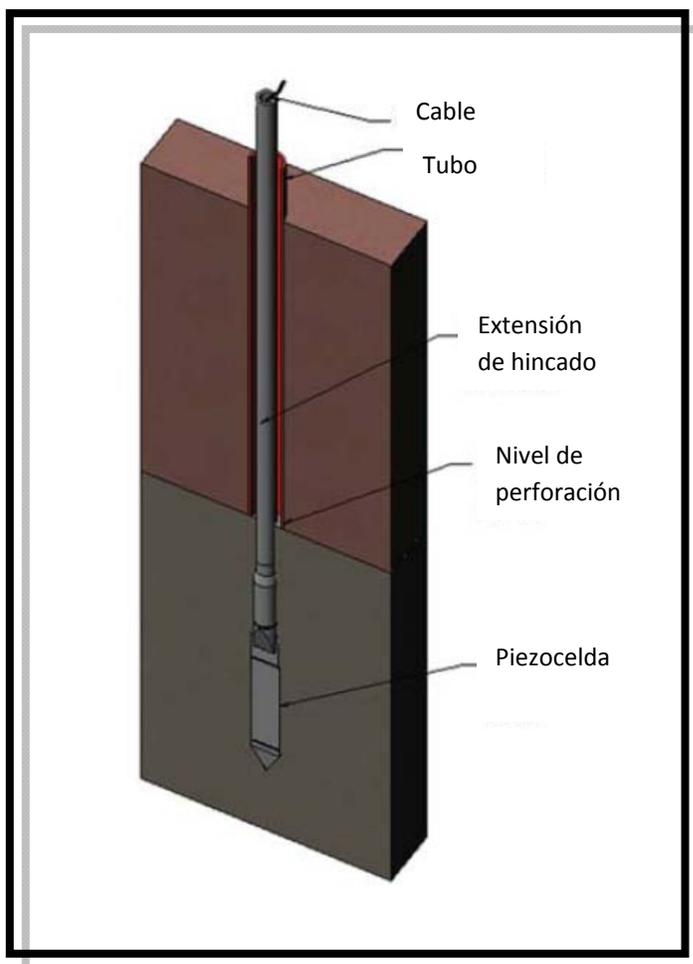


Tabla 3.3.2. Especificaciones técnicas de la piezocelda.

<b>Especificaciones Técnicas</b>	
<b>Rango</b>	70,170,350,700 kPa
<b>Resolución</b>	0.025% F.S.
<b>Precisión</b>	0.1% F.S.
<b>Temperatura de operación</b>	-20 a 80°C
<b>Dimensiones</b>	600x50mm
<b>Filtro</b>	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:

$\sigma'$  = presión efectiva

$\sigma$  = presión total

$\mu$  = presión de poro

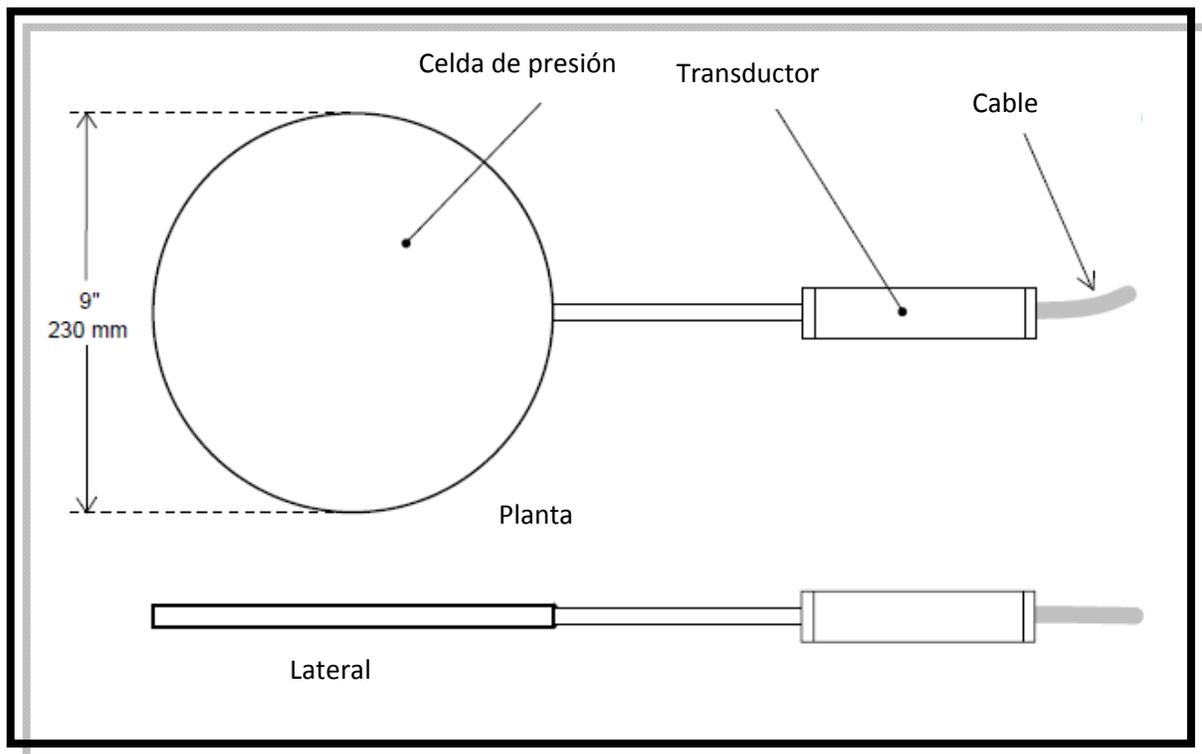
De esta forma y con las propiedades del suelo se conocerá el comportamiento del suelo ante las cargas que actúan sobre él.

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.

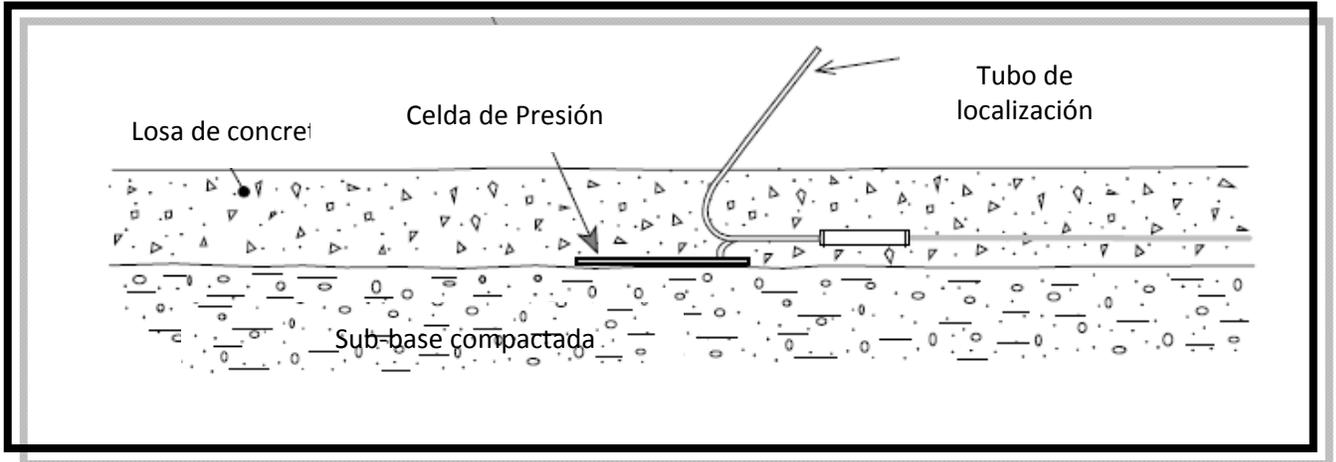
El tipo de celdas depende del caso que se quiera monitorear. En el metro lo que se quiere monitorear son los esfuerzos de la estructura de la estación sobre el suelo para tener controlados los esfuerzos ocasionados por la construcción ya que el suelo tiene una capacidad de carga específica y por especificaciones 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.***



