



GEOTECNIA 2000
C/ Ponzano, 69 – 6º 11
28003 Madrid
Tel.: 91 – 441 10 63
Fax: 91 – 399 36 46
E-Mail:
oficinatecnica@geotecnia2000.com

Fernando Herrera Rodríguez
Geólogo
Master en Ingeniería Geológica, U.C.M.
Director Técnico de GEOTECNIA 2000

Álvaro Linares-Rivas de Eguibar
Geólogo
Director General de GEOTECNIA 2000

Auscultación e Instrumentación Geotécnica de Taludes

*Jornadas Técnicas sobre Taludes
y Laderas Inestables*

-
*Ilustre Colegio Oficial de Geólogos de España
Asociación de Ingeniería Geológica de España
Fundación de Ferrocarriles Españoles*



INDICE

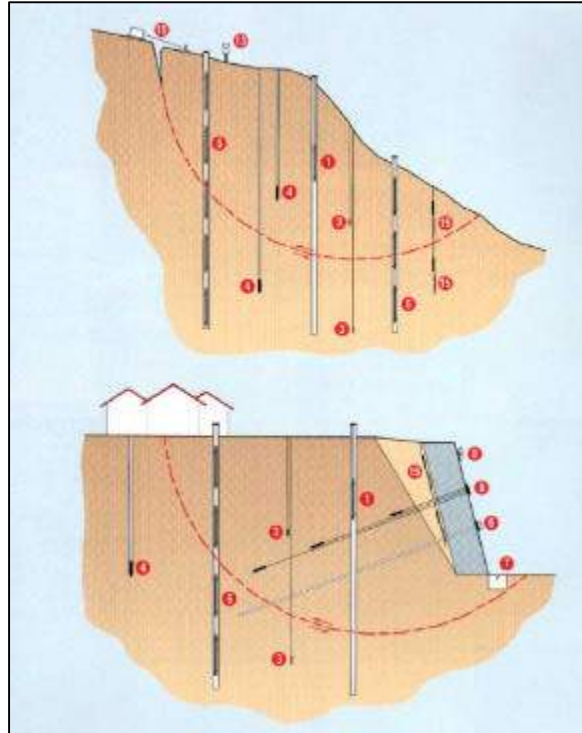
INTRODUCCIÓN	2
CAMPAÑA DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA.....	3
Magnitudes usualmente sujetas a control.....	3
Sistemas de Medida.....	4
CONTROL DE MOVIMIENTOS SUPERFICIALES	5
CONTROL DE MOVIMIENTOS EN EL INTERIOR DEL TERRENO.....	7
INCLINOMETRÍA	7
Procedimiento de Instalación de un Inclinómetro.....	8
INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	10
EXTENSOMETRÍA.....	11
MEDIDA DE DEFORMACIONES ENTRE PUNTOS SUPERFICIALES PRÓXIMOS	13
MEDIDA DE PRESIONES INTERSTICIALES	14
Pozos de observación.....	14
Piezómetros abiertos.....	14
Piezómetros cerrados.....	14
Partes de un piezómetro cerrado.....	15
CONTROL DE FUERZAS.....	18
CONTROL DE FUERZAS EN ANCLAJES.....	18
CONTROL DE PRESIONES SOBRE MUROS DE CONTENCIÓN	18
BIBLIOGRAFÍA	19

INTRODUCCIÓN

Cada vez son más el número de obras que en alguna de sus partes y en diferentes tiempos, la instrumentación geotécnica está presente. Podemos citar entre muchas, las excavaciones subterráneas (túneles y cavernas), grandes taludes, presas de materiales sueltos, escombreras y balsas mineras.

Esta proliferación del uso de la instrumentación geotécnica se debe a la necesidad que los proyectistas y constructores tienen de comprobar que las condiciones geotécnicas y el dimensionamiento de las obras y estructuras están en consonancia, es decir, los parámetros geotécnicos de cálculo son los que realmente tenemos en campo.

La instrumentación geotécnica o *auscultación* no se centra únicamente en la etapa de explotación de una obra, sino que está presente en la etapa de diseño y de construcción de la misma. Así durante la **etapa de diseño**, son frecuentes las medidas de las presiones intersticiales, tensiones in situ o capacidades portantes. La instrumentación en esta etapa tiene gran importancia, ya que ayuda enormemente a la hora de definir el modelo geotécnico que mejor se ajusta a la realidad. Durante la **etapa constructiva**, aquella que comprende el tiempo de la construcción de la obra, la instrumentación geotécnica tiene gran interés ya que puede comprobarse que el comportamiento del terreno se ajusta a lo planteado en el modelo geotécnico del proyecto. Caso de no ser así, puede modificarse y adecuarse a lo observado. La instrumentación más utilizada en fase de construcción es: extensometría para medida de asentamientos en terraplenes, inclinometría en taludes, convergencias en túneles, etc.



Por último en la etapa de explotación de una obra, son frecuentes las comprobaciones del comportamiento del terreno y comprobación de que la obra se comporta según lo diseñado. La instrumentación más utilizada es: extensometría e inclinometría en materiales sueltos, piezómetros para el control de subpresiones en diques de balsas, presas o terraplenes, células de carga en bulones y anclajes, etc.

CAMPAÑA DE INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

En una campaña de instrumentación geotécnica, deben definirse perfectamente las magnitudes que se van a medir, con qué aparatos se van a realizar los registros y con qué periodicidad. Todas ellas se derivan directamente de una correcta definición del problema geotécnico planteado. Así por ejemplo: no es lo mismo realizar la auscultación de los movimientos producidos por una tuneladora encargada de excavar un túnel para un metro de una ciudad que realizar mediciones de desplazamientos en una ladera natural sometida a un proceso de creep. En el primer caso deberemos registrar movimientos horizontales y sobre todo verticales (asientos), así como controlar la aparición de grietas y su magnitud en edificios próximos. Al tratarse de movimientos relativamente rápidos la periodicidad de medida será alta (diariamente, semanalmente). En el segundo caso, al tratarse de un fenómeno de movimiento lento, la periodicidad será larga (mensualmente, trimestralmente) y la magnitud a medir serán movimientos en la horizontal.

Como conclusión, en toda campaña de instrumentación geotécnica o de auscultación debe quedar perfectamente definido:

- Problema geotécnico causante de la necesidad de la campaña de auscultación.
- Parámetro a medir y rango esperado del mismo.
- Instrumentación o aparatos de medida necesarios.
- Ubicación óptima de los aparatos.
- Periodicidad de medida.
- Personal técnico y auxiliar necesario.

Magnitudes usualmente sujetas a control

Particularizándolo para el caso concreto de la instrumentación geotécnica de taludes y laderas, las magnitudes más usualmente sometidas al control son:

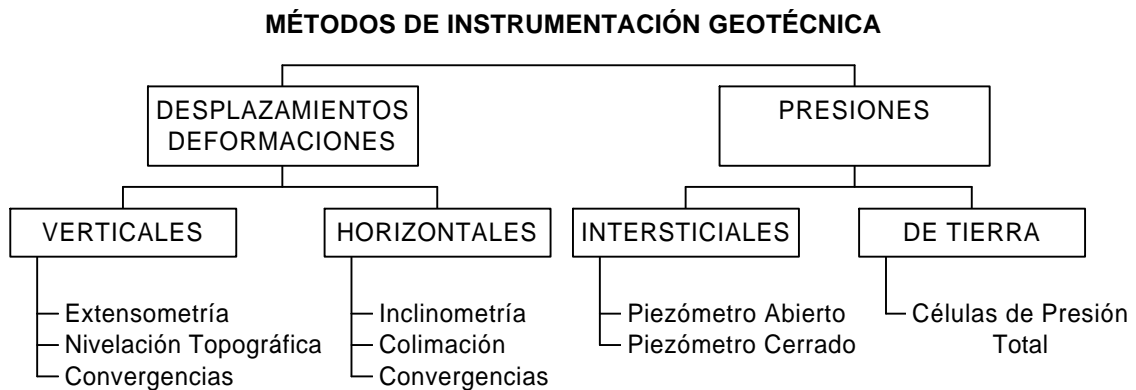
- **Movimientos superficiales:** mediante métodos topográficos, que permitan definir la extensión superficial de la posible zona sometida a los procesos de inestabilidad propia de taludes y laderas.
- **Movimientos en el interior del terreno:** mediante la instalación de equipos o aparatos en el interior de sondeos, que permitan definir la superficie de deslizamiento, la zona sometida a movimiento y la masa movilizada.
- **Movimiento de apertura de grietas** entre bloques de rocas en un talud rocoso de un macizo fracturado, mediante medidores tridimensionales de juntas.
- **Presiones intersticiales y niveles freáticos** en el interior del terreno, para establecer redes de flujo del talud, variaciones estacionales, etc. mediante la instalación de piezómetros cerrados o abiertos.
- **Presiones totales** actuantes sobre muros o **Fuerzas** de anclaje, utilizados en la estabilización de taludes inestables.

Sistemas de Medida

Son muchos los sistemas de medida utilizados en la instrumentación geotécnica. Puede establecerse una jerarquización dependiendo de la magnitud de la medida, Así tenemos:

- Métodos geodésicos (triangulación, trilateración y poligonalización), Nivelación y Colimación, con los que se pueden realizar controles de movimientos superficiales (horizontales y verticales).
- Extensometría e Inclínometría para el control de movimientos verticales y horizontales respectivamente en el interior del terreno.
- Medidores tridimensionales de juntas, cintas de convergencia, potenciómetros y flexímetros para el control de movimientos entre puntos superficiales próximos.
- Pozos de observación, piezómetros abiertos y cerrados, para el control de presiones intersticiales.
- Células de carga y transductores de presión, para el control de fuerzas de anclaje y presiones.

En el gráfico siguiente se muestran cada uno de los métodos o sistemas de medida, relacionados con las magnitudes sometidas a control.



CONTROL DE MOVIMIENTOS SUPERFICIALES

Los movimientos superficiales que se registran durante el proceso de inestabilización de un talud son importantes, y de su control pueden deducirse velocidades de deformación, la zona comprendida por la inestabilidad o sometida a movimiento. Existen varios métodos o técnicas topográficas para registrar estos movimientos:

- **Método geodésico**, que comprende varias técnicas: la *Triangulación* (medida de ángulos entre 2 ó más puntos fijos), la *Trilateración* (medida de distancias entre 3 ó más puntos fijos) y la *Poligonalización* (medida de ángulos y distancias de al menos 3 bases o puntos fijos).
- **Nivelación**, que consiste en la medida de movimientos verticales respecto a bases de referencia fija.
- **Colimación**, que consiste en la medida de movimientos horizontales de puntos respecto a un plano de colimación vertical fijo.



La utilización de una técnica u otra dependerá del tipo de movimiento a detectar o controlar, así como del grado de exactitud en la medida. Por ejemplo, se consiguen mayores grados de precisión con la nivelación y la colimación que con el método geodésico. Con la nivelación sólo pueden medirse movimientos verticales y con la colimación sólo horizontales.

Para realizar el control de movimientos superficiales con cierto grado de precisión, es necesario contar con una buena red de bases fijas fuera del área sometida a movimiento, con qué poder calcular las diferencias de movimiento.



Métodos de Control		Sistema de Medida	Observaciones
<i>Métodos geodésicos</i>	<i>Triangulación</i>	Medida de ángulos desde 2 ó más bases fijas.	- Permiten medir movimientos en tres dimensiones.
	<i>Trilateración</i>	Medida de distancias desde 3 ó más bases fijas.	- Precisión media (del orden del centímetro). - Procedimiento de lectura y toma de datos laboriosos.
	<i>Poligonalización</i>	Medida de ángulos y distancias desde al menos 3 bases fijas.	- Requieren personal especializado para la toma e interpretación de datos.
<i>Nivelación</i>		Medida de movimientos verticales respecto a bases de referencia fijas.	- Sólo permiten realizar mediciones de movimientos verticales. - Permiten obtener buenas precisiones (1 mm en 1 Km de recorrido). - Procedimiento de toma de datos e interpretación rápido y sencillo.
<i>Colimación</i>		Medida de movimientos horizontales de los puntos de control respecto a un plano vertical de colimación fijo.	- Buena precisión, del orden del milímetro. - Procedimiento de toma de datos e interpretación rápido y sencillo. - Sólo permite controlar movimientos horizontales, perpendiculares al plano de colimación.

CONTROL DE MOVIMIENTOS EN EL INTERIOR DEL TERRENO

Los movimientos en el interior del terreno, son quizás, aquellos que más pueden interesar a la hora de instrumentalizar un talud o una ladera natural inestable.

Los movimientos que frecuentemente se registran en taludes inestables son:

- De componente vertical.
- De componente horizontal.

Los primeros movimientos (los verticales) se suelen medir mediante la técnica de la Extensometría, con la ayuda de equipos denominados Extensómetros. Los segundos (los horizontales) se registran mediante la técnica denominada Inclínometría, utilizando unos aparatos de medida denominados Inclínómetros.

Ambas técnicas requieren de un sondeo para poder instalarse.

INCLINOMETRÍA

La inclinometría constituye una técnica de instrumentación geotécnica capaz de registrar movimientos horizontales a lo largo de la vertical de un sondeo. Esto permite detectar la zona con movimientos más acusados (planos de deslizamiento), conocer la evolución de los mismos, la velocidad de desplazamiento y los volúmenes movilizados.

Los torpedos inclinométricos (aparatos utilizados para registrar los movimientos horizontales en el interior de un sondeo inclinométrico) detectan movimientos relativos respecto al punto inferior de medida. Como consecuencia, se hace necesario que el sondeo utilizado para instalar la tubería inclinométrica profundice hasta una zona en la que no exista movimiento, es decir por debajo de la zona de movimientos esperada. Es aconsejable realizar un control topográfico de la cabeza del inclinómetro para conocer los movimientos absolutos del mismo.



Como consecuencia, se hace necesario que el sondeo utilizado para instalar la tubería inclinométrica profundice hasta una zona en la que no exista movimiento, es decir por debajo de la zona de movimientos esperada. Es aconsejable realizar un control topográfico de la cabeza del inclinómetro para conocer los movimientos absolutos del mismo.

Procedimiento de Instalación de un Inclinómetro

Una vez realizado un sondeo de profundidad y diámetro adecuado (función de la profundidad a la que se sitúe la zona carente de movimiento, del diámetro de la tubería inclinométrica y manguitos de unión, así como del sistema de hormigonado de la misma, desde el interior o desde el exterior) se colocan tramos de tubería flexible con acanaladuras situadas en los 4 puntos cardinales, unidas mediante tubos-manguito que se sujetan mediante remaches y se les aplica silicona para conseguir la estanqueidad de la columna de tubería. La tubería inclinométrica suele ser de 3 m. de longitud y de materiales diferentes, siendo los más usuales: aluminio, PVC, ABS, etc.

Una vez instalada toda la tubería inclinométrica en el interior del sondeo, correctamente unida mediante los manguitos y con las juntas selladas con silicona y cinta adhesiva, se procede a la cementación de la misma. Esto es, inyectar cemento o mortero en el interior del sondeo, para rellenar la zona entre las paredes del sondeo y la pared exterior de la tubería.

Existe dos formas de realizar el proceso de cementación:

- Cementación desde el exterior de la tubería inclinométrica.
- Cementación desde el interior de la tubería inclinométrica.

Cementación desde el exterior

Consiste en inyectar cemento entre la tubería y la pared del sondeo, con ayuda de una manguera de inyección que se hace descender hasta lo más profundo del sondeo y se va levantando a medida que se va cementando, para conseguir una perfecta cementación de todo el sondeo.

Cementación desde el interior

Consiste en introducir una tubería de inyección de menor diámetro por el interior de la tubería inclinométrica. En el fondo de la tubería inclinométrica se instala una válvula agujereada y protegida con una membrana de latex, por la que sale la lechada de cemento. Esta válvula se acopla mediante un enchufe rápido a una válvula de inyección instalada en el extremo de la tubería de cementación, de modo que durante la inyección estas dos válvulas permanecen unidas, la presión del cemento dilata la membrana de latex y el cemento sale al exterior (cavidad entre pared del sondeo y pared de la tubería inclinométrica) por los agujeros de la válvula. Cuando cesa la



inyección de cemento, la membrana se cierra e impide la salida y entrada de cemento al interior de la tubería inclinométrica. La presión de inyección no debe ser muy elevada,



ya que sino podría romper la membrana, impidiendo así el aislamiento de la tubería inclinométrica. Una vez cementado el sondeo se retira lentamente la tubería de inyección, consiguiendo así el desacople entre las válvulas. A continuación se inyecta agua limpia hasta que por la boca de la tubería inclinométrica salga agua clara, evidenciando la correcta limpieza de la misma y la inexistencia de cemento en su interior.

La cementación de la tubería debe ser correcta, consiguiendo que la misma actúe solidaria con el terreno circundante. En ocasiones la cementación no es perfecta, existiendo tramos sin cementar o con cementación defectuosa, aspecto este fácilmente comprobable en el momento de la lectura, ya que ésta requiere de mucho tiempo de estabilización.

Una vez cementado el sondeo y como conclusión del inclinómetro, se protege su cabeza y se instala un tapón de boca, para impedir la entrada de objetos extraños al interior del mismo.

Posteriormente al fraguado del cemento (a las 24 - 48 horas) se realiza la primera lectura (lectura inicial), que será la que se tomará como lectura cero y la que servirá de referencia para establecer las diferencias de movimiento y velocidades de deformación.

Las lecturas se realizan con la ayuda de un inclinómetro, que consta de:

- Torpedo con dos pares de ruedas
- Cable
- Unidad de lectura.

a) Torpedo

En él van alojados los sensores que se encargan de detectar la inclinación de la tubería a diferentes profundidades. Estos sensores pueden ser de varios tipos, entre ellos los más utilizados son: los de resistencia eléctrica, de cuerda vibrante y los más precisos los servoacelerómetros. Los torpedos van provistos de ruedas que sirven para deslizarse por las acanaladuras de la tubería inclinométrica. Los torpedos pueden clasificarse según el número de sensores que lleven instalados, en mono y biaxiales, según tengan 1 ó 2 sensores. Los segundos pueden medir en una sólo lectura desplazamientos en dos direcciones.

b) Cable

Es el nexo de unión entre el torpedo de lectura y la unidad de registro. Está construido de materiales poco deformables longitudinalmente para evitar errores en la toma de datos con la profundidad. El cable suele estar provisto de marcas espaciadas

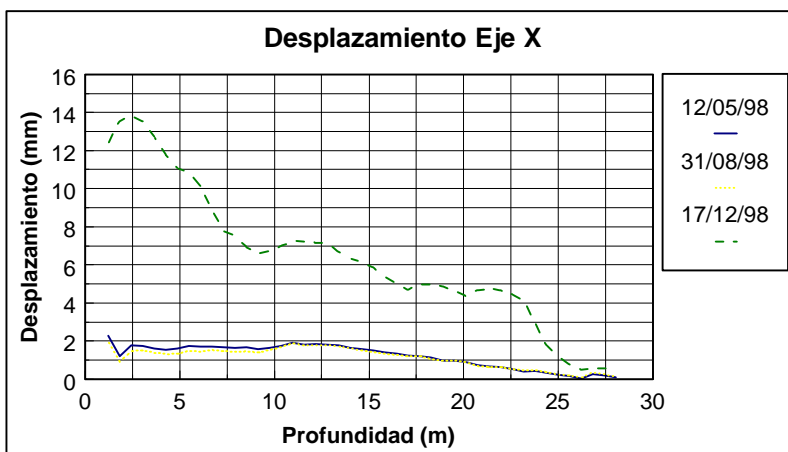
una distancia igual a la longitud existente entre el par de ruedas superiores y el par de ruedas inferiores del torpedo inclinométrico.

c) Unidad de Lectura

Está provista de pantallas (1 ó 2 según el tipo de inclinómetro, mono o biaxial) en donde se refleja la lectura. Las unidades modernas van provistas de unidad de almacenamiento de datos, salida RS232 e impresora.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las deformaciones o desplazamientos horizontales del tubo inclinométrico se van registrando a intervalos de profundidad iguales (según las marcas del cable de la sonda) que coinciden con la distancia existente entre las ruedas del torpedo (según los casos esta distancia puede ser 0,50 ó 0,6096 m -24"-). En los displays de la unidad de lectura se registran valores que son señales eléctricas proporcionales al seno del ángulo entre la vertical y el eje de aquéllos.



Mediante la formulación siguiente es posible transformar las señales eléctricas en deformaciones:

$$X = [(B1-B2) \cdot j + (A3+A4) \cdot k] / n \cdot \text{paso/sensibilidad}$$

$$Y = [(A1-A2) \cdot k + (B4-B3) \cdot k] / n \cdot \text{paso/sensibilidad}$$

$$R = (X^2 + Y^2)^{1/2}$$

$$A = \text{arctg } Y / X$$

donde:

A1-4, B1-4	representan los valores medidos en los displays
j, k	factores de corrección (vectores unitarios)
n	número de pares de valores (2 ó 4)
paso	paso de sonda (distancia entre ruedas del torpedo)
sensibilidad	sensibilidad del inclinómetro
X	desplazamiento según eje X
Y	desplazamiento según eje Y
R	resultante
A	acimut

EXTENSOMETRÍA

Son equipos capaces de registrar movimientos verticales (asientos) del terreno a diferentes profundidades. Se instalan en el interior de sondeos.

Es aconsejable colocar al menos una de las varillas o hilos por debajo de la zona de movimientos para permitir la medida de movimientos absolutos.

El aparato consta de:

- Anclajes
- Varillas o hilos
- Cabeza

a) Anclajes

Se sitúan en el extremo enterrado de las varillas extensométricas y actúan de elemento de "agarre" entre éstas y el terreno circundante. Se colocan a diferentes profundidades en función del número de varillas.

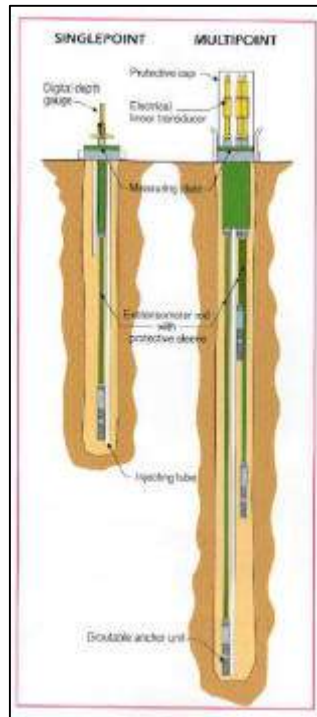
b) Varillas o hilos

Las varillas, metálicas, roscadas por tramos y los hilos de fibra de vidrio, de una única pieza, unen los anclajes con la cabeza del extensómetro. Las varillas y los hilos van protegidos por una tubería elástica (generalmente de nylon), solidaria con el terreno, que permite el libre movimiento de las varillas o hilos reflejando en superficie los asientos (movimientos verticales) a diferentes niveles de profundidad. El tubo protector de hylon se solidariza con el terreno mediante el cemento (de abajo arriba), del sondeo.

c) Cabeza

La cabeza del extensómetro cumple dos funciones: por una parte constituye la base de referencia para la lectura de cada una de las varillas o hilos y por otra, actúa como elemento protector de las mismas.

Generalmente los extensómetros más instalados son los de varillas, debido principalmente a la facilidad en su instalación y por las profundidades a instrumentar (< 40 m.). Cuando la profundidad a reconocer es superior a 40 m. se suelen instalar de hilos.



La medida de las deformaciones o movimientos se realiza en cabeza mediante comparadores analógicos, digitales o mediante transductores eléctricos, alcanzándose

precisiones de centésimas de milímetro a milímetros en función de la longitud de las varillas o hilos y de la temperatura.

Como en el caso de los inclinómetros, es aconsejable realizar controles topográficos de la cabeza de los extensómetros para conocer los movimientos absolutos de los mismos.

Equipo	Sistema de Funcionamiento	Tipos	Observaciones
<i>Inclinómetros</i>	Medida de inclinaciones en diversos puntos del interior de un sondeo mediante una sonda que da una señal eléctrica proporcional a la inclinación: diferencias de medidas realizadas en diversos instantes permiten conocer los movimientos perpendiculares a la dirección del sondeo.	<ul style="list-style-type: none"> - De resistencia eléctrica. - De cuerda vibrante. - De servoacelerómetros. 	<ul style="list-style-type: none"> - El tipo más fiable, preciso y de menos tiempo de respuesta es el de servoacelerómetros, que pueden lograr precisiones en la medida de dos giros de $2 \cdot 10^{-4}$ rad. - Hay que asegurarse en la instalación que el punto inferior de medida se sitúe por debajo de la zona de movimientos.
<i>Extensómetros</i>	<p>Miden movimientos relativos entre la cabeza de un sondeo y/o varios anclajes situados en su interior.</p> <p>Los movimientos de los anclajes se transmiten a la boca del sondeo mediante hilos o varillas.</p> <p>Las medidas se realizan en la cabeza mediante procedimientos mecánicos o eléctricos</p>	<ul style="list-style-type: none"> a) <ul style="list-style-type: none"> - de hilos - de varillas b) <ul style="list-style-type: none"> - de lectura mecánica - de lectura eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> - Para longitudes menores de 40 metros es más conveniente el extensómetro de varillas y para longitudes mayores de 60 metros, el de hilos. - La lectura mecánica se realizará cuando la cabeza del sondeo sea accesible y no se requiera automatizar la medida. - Habrá que elegir el tipo de anclaje más adecuado para cada terreno de forma que se pueda asegurar que queda solidariamente unido al terreno circundante. - Hay que asegurarse que el punto más profundo de medida del extensómetro esté por debajo de la zona de movimiento.

MEDIDA DE DEFORMACIONES ENTRE PUNTOS SUPERFICIALES PRÓXIMOS

Los equipos más comúnmente utilizados son aquellos que se basan en instrumentos metálicos que se anclan a ambos lados de los bloques que pueden presentar movimiento. La medida se puede realizar mediante elementos mecánicos como calibres, cintas métricas, hilos o mediante sistemas con transductores eléctricos como sensores inductivos (LVDT), potenciómetros, sensores de cuerda vibrante, etc.

Podemos clasificar los sistemas de medida en:

- Sistemas de medida de grandes distancias (cintas de convergencia de invar, cinta métrica).
- Sistemas de medida de pequeñas distancias.
 - Con sistemas de medida mecánico (calibre, flexímetro, etc.).
 - Con sistemas de lectura eléctrico (potenciómetro, cuerda vibrante, etc.).



Sistema de Lectura	Sensor de Medida	Observaciones
<i>Equipos con sistema de lectura mecánico</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta de convergencia. - Cinta métrica. - Calibre. - Flexímetro. 	<ul style="list-style-type: none"> - La cinta de convergencia es utilizable para distancias de medidas grandes (> 2 m). - Para distancias pequeñas se podrán utilizar los otros sistemas, dependiendo de la precisión que se necesite. - Poca precisión (pocos milímetros) en la cinta métrica. - Precisión media (décimas de milímetro) en el calibre. - Precisión alta (centésimas de milímetro) en el flexímetro.
<i>Equipos con sistema de lectura eléctrico</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Potenciómetro. - LVDT. - Cuerda vibrante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Son indispensables cuando se quiere automatizar el proceso de toma de datos, o los puntos a controlar no son accesibles. - Para rangos de varios centímetros se ubicarán preferiblemente potenciómetros, para rangos de pocos milímetros, potenciómetros o LVDT y para rangos pequeños (pocas décimas de milímetro), sensores de cuerda vibrante.

MEDIDA DE PRESIONES INTERSTICIALES

En ocasiones, es fundamental conocer con cierta precisión el valor de las presiones intersticiales y niveles freáticos en un talud, con el objeto de establecer las redes de flujo en el mismo.

Existen 3 formas de controlar las presiones intersticiales o niveles freáticos en un talud:

- Pozos de observación.
- Piezómetros abiertos.
- Piezómetros cerrados.

Pozos de observación

Consiste en la introducción de una tubería ranurada en el interior de un sondeo. No permite la lectura de presiones intersticiales, sino la lectura del nivel freático, que se mide mediante una sonda piezoeléctrica que en contacto con el agua produce una señal acústica o luminosa. Este tipo de sistema es adecuado para acuíferos de tipo libre.

El tiempo de respuesta es función del grado de permeabilidad del medio, así cuanto más permeable menor será el tiempo de respuesta.

Piezómetros abiertos

Consiste en un tubo, que presenta ranuración únicamente en el tramo que se desea controlar. Este tramo se aísla del resto del sondeo mediante una capa de bentonita y cemento. Para facilitar la entrada de agua al sondeo, el tramo a controlar se rellena de arena calibrada sílicea y redondeada (no de machaqueo), que constituye un nivel altamente permeable. El nivel piezométrico se mide mediante sondas piezoeléctricas.



Cuando el terreno es de permeabilidad baja o media el tiempo de respuesta es muy alto.

Piezómetros cerrados

Se colocan en el interior de un sondeo, para registrar las variaciones de la presión intersticial del terreno a determinadas profundidades.

El proceso de instalación de un piezómetro cerrado es el siguiente:

- ✓ Una vez realizado el sondeo, se introduce una tubería (de PVC) ranurada en los tramos en los que vayamos a instalar los piezómetros.
- ✓ Se rellena la tubería hasta alcanzar la cota a la que se vaya a colocar el primer piezómetro (el relleno será material impermeable: cemento y bentonita).
- ✓ Alcanzada la cota de colocación del primer piezómetro, se introduce éste rodeado de una cama de arena sílicea redondeada y calibrada, que permita la correcta circulación del agua en el tramo. Posteriormente a este tramo se coloca un tramo sellante que actúa de capa impermeable compuesto por bentonita (en polvo o en pellets). A continuación se rellena con cemento hasta alcanzar la cota de colocación de un nuevo piezómetro.



Todos los piezómetros instalados a lo largo de un sondeo son agrupados en el exterior en una caja o centralita donde se realizan las lecturas. Esta unidad de lectura puede ser de dos tipos: unidad móvil o fija.

La primera, consiste en una unidad que se conecta a cada uno de los terminales de los diferentes piezómetros, cada vez que se quiera realizar una comprobación de la presión intersticial. La segunda, consiste en una unidad que permanentemente está conectada a los terminales de los piezómetros, con lo que en "tiempo real" pueden conocerse las variaciones de las presiones de agua.

Los piezómetros cerrados son los adecuados, cuando el terreno a auscultar es de baja permeabilidad o cuando se quiere conocer la variación de la presión intersticial a diferentes profundidades en el interior de un sondeo.

Partes de un piezómetro cerrado

Todo piezómetro cerrado está constituido de:

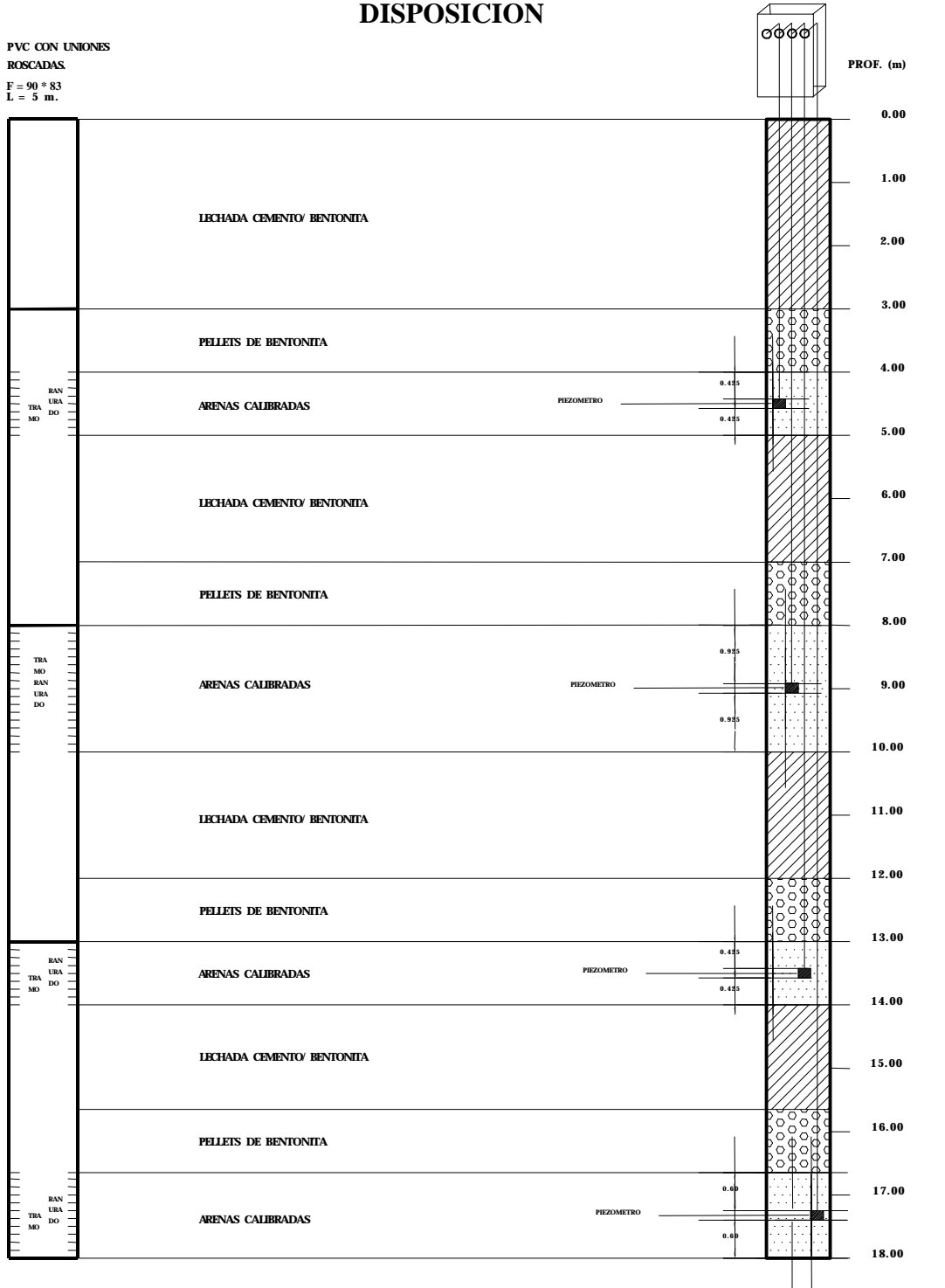
- | | |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a) Filtro poroso | que actúa de material permeable y que permite el paso del agua, desde el exterior al interior del piezómetro. |
| b) Diafragma transductor | que separa la cámara de agua del elemento sensor. |
| c) Elemento sensor | es el que se encarga de medir la presión intersticial existente en el terreno. Existen de diferentes tipos: de cuerda vibrante, neumáticos y de resistencia eléctrica. |
| d) Cable | encargado de conectar el piezómetro con los terminales situados en la cabeza del sondeo. |
| e) Unidad de lectura | encargada de realizar las lecturas. |

Tipo	Sistema de Medida	Observaciones
<i>Pozo de observación</i>	Tubo ranurado instalado en el interior de un sondeo cuyo nivel de agua se mide con una sonda.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos para medida de niveles freáticos en terrenos permeables. - No se pueden utilizar cuando hay niveles colgados o capas artesianas. - Su tiempo de respuesta es largo, principalmente en terrenos poco permeables. - Movimientos grandes pueden dañar los tubos e impedir las medidas.
<i>Piezómetro abierto</i>	Tubo ranurado en su extremo inferior, instalado en un sondeo. El extremo inferior se sella para evitar transmisión de presiones intersticiales en el interior del taladro. La medida del nivel se realiza con una sonda.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos para medidas de presiones intersticiales en terrenos permeables. - Bajo coste. - Solamente se pueden instalar en un punto del sondeo. - Su tiempo de respuesta es grande principalmente en terrenos poco permeables. - Movimientos grandes pueden dañar los tubos e impedir las medidas.
<i>Piezómetro cerrado</i>	Sensor que detecta la presión intersticial en un punto mediante un transductor que da una señal proporcional a los cambios de presión.	<ul style="list-style-type: none"> - Equipos para control de presiones intersticiales en unos o varios puntos situados en el interior de un sondeo. - Mayor coste que los anteriores. - Su tiempo de respuesta es corto aún en terrenos poco permeables. - Son poco afectados por los movimientos que se puedan producir en un talud. - Los de cuerda vibrante son precisos y fiables. Permiten transmitir la señal a distancias de más de 1000 metros sin perder la precisión. - Los de resistencia eléctrica pierden precisión con las variaciones de la temperatura y al transmitir la señal a distancia su estabilidad a largo plazo no está comprobada. - Los de tipo neumático son aconsejables para distancias entre sensor y unidad de lectura menores de 200 metros, siempre que no se quiera automatizar el proceso de medida.

COLUMNA DE PIEZOMETROS DE CUERDA VIBRANTE

DISPOSICION

PVC CON UNIONES
ROSCADAS
F = 90 * 83
L = 5 m.



CONTROL DE FUERZAS

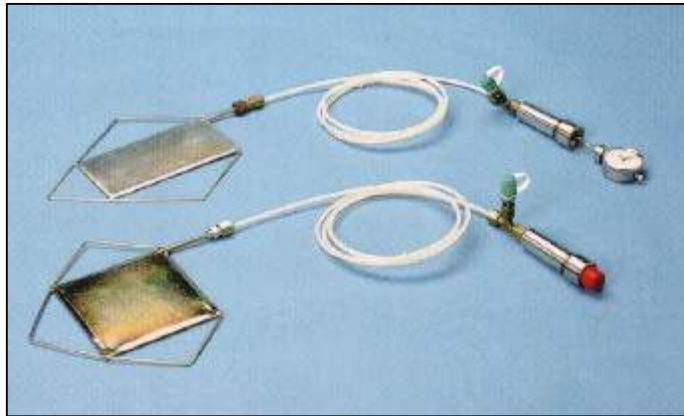
Son aparatos destinados a la medida de presiones y fuerzas.

Para el caso aplicado a taludes, podemos dividirlos en dos tipos:

- a) Control de fuerzas en anclajes.
- b) Control de presiones sobre muros de contención.

CONTROL DE FUERZAS EN ANCLAJES

Los elementos utilizados para medir las fuerzas en los anclajes son las *llamadas células de carga*, que consisten en elementos que se instalan entre la cabeza del anclaje y el terreno, y registran las cargas que un medio comunica a otro.



Podemos clasificarlas como:

- 1) **Mecánicas**, consiste en un elemento mecánico que se deforma durante el proceso de carga. La deformación se mide mediante un comparador.
- 2) **Hidráulicas**, consistentes en dos placas circulares que contienen aceite. La presión se mide mediante transductores (hidráulicos, neumáticos o eléctricos).
- 3) **Cuerda vibrante**, que consiste en un cilindro metálico con un orificio central, sobre cuyas caras actúa la carga. Las deformaciones se miden con sensores de cuerda vibrante.
- 4) **Resistencia eléctrica**, similar a la anterior, pero las deformaciones se miden con bandas extensométricas pegadas a la cara interior del cilindro.

CONTROL DE PRESIONES SOBRE MUROS DE CONTENCIÓN

Los equipos más utilizados son las *células de presión total*. Están formadas por placas rectangulares o circulares de acero de pequeño espesor, separadas entre sí por pocos milímetros, soldadas a lo largo de sus bordes y rellenas con aceite o mercurio. La presión transmitida por el terreno ejerce presión sobre el aceite o mercurio, el cual lo transmite a transductores de presión de tipo neumático, hidráulico o de resistencia eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

- ITGE. “Manual de Taludes”. 1991.
- Oteo Mazo C. “Técnicas de instrumentación en la mecánica de rocas”.
- GEOTECNIA 2000. Diversos informes técnicos.
- Catálogo de SISGEO.
- I.S.R.M. “Suggested methods for monitoring rock movements using borehole extensometers”.
- John. K. W. “Monitoring of the performance of rock slopes as related to design considerations”. Int. Symp. on Field Measurement in Rock Mech. Zurich, Abril 1977.