

14/
29.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ACATLAN”

DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN GEOTECNIA PARA LA INSTRUMENTACION DE OBRAS DE INGENIERIA CIVIL

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A:
FERNANDO GARCIA CASTILLO

ASESOR: ING. CELSO BARRERA CHAVEZ



ACATLAN, EDO. DE MEXICO OCTUBRE DE 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

266860



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.

**UNAM
ENEP ACATLAN**

TITULO DE TESIS:

Dispositivos utilizados en Geotècnia para la instrumentaciòn de obras de Ingenieria Civil.

**Alumno: Fernando Garcia Castillo
Asesor: Ing. Celso Barrera Chàvez**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLÁN"
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

SR. FERNANDO GARCÍA CASTILLO.
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL.
P R E S E N T E .

En atención a su solicitud presentada con fecha de 7 de mayo 1998, me complace notificarle que esta Jefatura de Programa aprobó el tema que propuso, para que lo desarrolle como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"DISPOSITIVOS UTILIZADOS EN GEOTECNIA PARA LA INSTRUMENTACIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL."

INTRODUCCIÓN.

1. CONCEPTOS BÁSICOS.
2. MEDIDORES DE ESTADO DE ESFUERZOS.
3. MEDIDORES DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS VERTICALES.
4. MEDIDORES DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES.
5. MEDIDORES DE ESTADO DE PRESIONES EN EL AGUA.
6. MEDIDORES DE TEMPERATURA.
7. OTROS TIPOS DE DISPOSITIVOS

ANEXOS

CONCLUSIONES.

Asimismo fué designado como asesor de tesis el ING. CELSO BARRERA CHÁVEZ, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito básico para sustentar examen profesional, así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Esta comunicación deberá publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE.
" POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU "
Acatlán Edo. de México a 13 de octubre de 1998.

Ing. Enrique del Castillo Fragoso
Jefe del Programa



ENEP-ACATLÁN
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERÍA

Deseo expresar mis agradecimientos a las siguientes personas e instituciones:

A la UNAM

A la ENEP Acatlán

A los profesores

A mis padres:

Sr. Francisco García Navarrete

Sra. Emma Castillo de García

Al Ing. Celso Barrera Chávez por haberme apoyado para la elaboración de este trabajo.

INDICE

INDICE

INTRODUCCION.....	1
I CONCEPTOS BASICOS.....	3
II MEDIDORES DE ESTADO DE ESFUERZOS.....	9
Introducción	
Celda Glötzl	
Celda Goldbeck	
Celda de carga de cuerda vibrante	
Celda de carga mecánica	
Aparato de hást	
Gato plano	
Celda carlson	
II MEDIDORES DE ASENTAMIENTOS Y MOVIMIENTOS VERTICALES.....	24
Introducción	
Dispositivo para medir asentamientos relativos en una vertical en el interior de un terraplén.	
Medidor francés de asentamientos	
Nivel de agua de precisión	
Aparato para medir asentamientos en terraplenes	
Banco de nivelación profundo	
Torpedo medidor de asentamientos	
Banco de nivel	
Medidor de expansiones o bufamientos	
Técnica californiana	
Placas de asentamientos	
IV MEDIDORES DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES.....	45
Introducción	
Inclinómetro Wilson	
Deformómetro transversal	
Extensómetro	
Detectores de falla de cinta	
Dispositivo para medición de movimientos horizontales en un terraplén	
Técnica Californiana	

V MEDIDORES DEL ESTADO DE PRESIONES EN EL AGUA.....58

Introducción
Piezómetro abierto tipo Casagrande
Piezómetro cerrado tipo neumático
Piezómetro de cuerda vibrante
Piezómetro eléctrico
Piezómetro L.P.C.

VI MEDIDORES DE TEMPERATURA.....69

Introducción
Termómetro de mercurio
Termómetro bimetálico

VII OTROS TIPOS DE DISPOSITIVOS.....74

Introducción
Sismoscopio
Estratoscopio
Cámara fotográfica
Medidores de filtraciones
Cámara de televisión
Acelerógrafo

ANEXOS.....87

CONCLUSIONES.....90

BIBLIOGRAFIA.....92

INTRODUCCION

INTRODUCCION

La instrumentación es una técnica que tiene como objetivo principal la obtención de información acerca de lo que ocurre principalmente en las estructuras de tierra durante y posteriormente a su construcción. Para lograr esto el Ingeniero Geotecnista cuenta con diversos arreglos y dispositivos que colocados convenientemente en la estructura de las obras captan la información sobre los diversos parámetros que interesa conocer. Esta información recolectada es procesada y convertida en datos y gráficas que permiten conocer el estado y evolución que guarda la obra en estudio.

El objetivo de este trabajo es, como su título lo señala, realizar un compendio de los dispositivos utilizados en Geotécnica para la instrumentación de obras de Ingeniería Civil.

Para lograr esto se consultó la bibliografía sobre el tema y se escogieron aquellos instrumentos de uso más común en el campo de la Ingeniería Geotécnica.

Es importante mencionar que durante la elaboración de este trabajo pudo constatarse que el tema objeto de estudio es bastante amplio. La instrumentación puede dividirse para su estudio en diversas áreas:

- Instrumentos y técnicas
- Planeación de la instrumentación
- Computación y electrónica aplicada a la instrumentación
- Dispositivos comerciales para instrumentación
- Procedimientos de instalación y calibración de instrumentos
- Instrumentación de obras específicas (taludes, túneles, terraplenes, etc.)

Cada área puede dar lugar a su vez a extensos tratados. En el presente trabajo se abordan sólo los dos primeros temas como una primera aproximación a la instrumentación. Los restantes se consideran temas intermedios y avanzados.

Este trabajo se encuentra dividido de la siguiente manera:

En el capítulo I se explican algunos de los conceptos básicos en los que se funda la instrumentación, la necesidad de instrumentar, la planeación de una instrumentación y los principios de los instrumentos.

En el capítulo II se dan a conocer los dispositivos que permiten conocer la magnitud de los esfuerzos y sus aplicaciones en trabajos de Ingeniería.

El capítulo III está dedicado a los medidores de asentamientos y movimientos verticales.

En el capítulo IV se abordan los medidores de movimientos horizontales.

En el capítulo V se muestran los medidores del estado de presiones en el agua (piezómetros).

En el capítulo VI se tratan los medidores de temperatura.

Y en el capítulo VII se hace una relación de algunos otros dispositivos utilizados en el campo de la Ingeniería Geotécnica.

El contar con una instrumentación nos permite obtener información exacta y actualizada que puede tener diversas aplicaciones:

1) Diversos tipos de accidentes en obras de Ingeniería como derrumbes de túneles o deslizamiento de taludes pueden ser prevenidos con el consiguiente ahorro monetario y de posible pérdida de vidas humanas.

2) Las teorías, factores, fórmulas, constantes, métodos constructivos, etc. que utiliza el Ingeniero Geotecnista pueden ser afinados mediante la información producto de un programa de instrumentación.

3) Las diversas especificaciones de una obra como capacidad de carga en pilas y pilotes, temperatura de colado de concreto entre otras pueden ser cumplidas.

Por último debe tenerse presente que la información es un activo de gran valor. Si nuestras actividades lo reclaman y permiten podemos tener archivos manuales o computarizados de todos aquellos aspectos relacionados con la Ingeniería Geotécnica que deseemos conocer. Aquella institución, empresa o Ingeniero que cuente con información calibrada sobre las diversas teorías que utiliza en forma continua podrá tener una visión más amplia y exacta de las actividades que se le encomienden.

CAPITULO I
CONCEPTOS BASICOS

CONCEPTOS BASICOS

Definición de instrumentación

La instrumentación es una técnica cuyo objetivo principal es la obtención de información acerca de lo que ocurre con el comportamiento de las estructuras de tierra durante y posteriormente a su construcción. Para lograr esto existen diversas técnicas y dispositivos que colocados convenientemente en la estructura de las obras captan la información sobre los diversos parámetros que interesa conocer. La información recolectada por los instrumentos es procesada y convertida en datos que se pueden presentar en tablas y gráficas que permiten conocer el estado y evolución que guarda la obra en estudio.

Aplicaciones de la instrumentación en Geotécnia

Las aplicaciones de la instrumentación se pueden dividir fundamentalmente en tres importantes áreas:

- 1) Prevención de accidentes.
- 2) Investigación y desarrollo.
- 3) Control de calidad.

Prevención de accidentes

Tiene como objetivo el evitar la ocurrencia de los diversos tipos de fallas o accidentes que se pueden presentar durante y posteriormente a la construcción de una obra de Ingeniería.

Ejemplos:

- .Falla por deslizamiento en taludes
- .Falla de fondo en excavaciones profundas
- .Falla por extrusión en túneles
- .Falla de ademe durante la excavación de túneles
- .Colapso de presas
- .Desabastecimiento de agua potable en ciudades

Investigación y desarrollo

Su objetivo es evaluar o mejorar las diversas teorías en que basa sus cálculos la Ingeniería Geotécnica. También es posible evaluar la eficacia de algún nuevo método constructivo.

Ejemplos:

- .Espesor de revestimiento en túneles
- .Dimensionamiento de ademe p/construcción de túneles
- .Procedimiento constructivo para estabilizar taludes

- .Procedimiento constructivo de túneles
- .Asentamientos históricos en el D.F.
- .Capacidad de carga de anclajes
- .Capacidad de carga de pilas
- .Capacidad de carga de pilotes
- .Valores de Thomlinson

Control de calidad

Una obra está sujeta a múltiples especificaciones y requisitos por lo que para su cumplimiento se recurre a la instrumentación.

Ejemplos:

- .Temperatura de colado del concreto
- .Daños a construcciones vecinas
- .Capacidad de carga de pilas
- .Capacidad de carga de pilotes
- .Capacidad de carga de anclajes

Parámetros que se pueden medir

Mediante una adecuada instrumentación podemos conocer los valores de los siguientes parámetros:

- Posición del NAF
- Presión de poro
- Presión total
- Empuje de tierras
- Bufamientos
- Asentamientos
- Deformaciones horizontales
- Deformaciones verticales
- Temperatura
- Vibraciones
- Aceleraciones
- Magnitud de filtraciones
- Esfuerzos
- Capacidad de carga

Obras que es común instrumentar en Ingeniería Geotécnica

- Taludes
- Túneles
- Presas
- Pilotes
- Pilas
- Excavaciones profundas
- Agua potable (reservas)
- Terraplenes

Proyecto de instrumentación

Es un documento que da respuesta a todas las posibles interrogantes que puedan surgir durante la elaboración de un programa de instrumentación.

Planeación de la instrumentación

Es un proceso que da como resultado la redacción del proyecto de instrumentación y que incluye los siguientes apartados:

Introducción

Características del proyecto

Objetivo de la instrumentación

VARIABLES que se van a medir

Predicción de los valores que pueden tomar los parámetros a medir

Encargados de las diferentes operaciones de instrumentación

Selección de aparatos

Especificaciones de aparatos

Factores que pueden afectar los datos medidos

Procedimientos para garantizar la confiabilidad de los datos medidos

Localización, número y distribución de instrumentos

Descripción de la finalidad de todos los instrumentos

Planos y croquis

Procedimientos para la instalación de instrumentos

Programa de instalación de la instrumentación

Datos completos del proveedor de instrumentos

Otras áreas del conocimiento donde se aplica la instrumentación

Vulcanología

Meteorología

Sismología

Estructuras

Hidrología

Costo de la instrumentación

Está formado por tres componentes:

- a) Costo de adquisición de los aparatos
- b) Costo de ajuste, calibración y reparación de aparatos
- c) Costo de instalación, vigilancia y operación de los aparatos durante la etapa de instrumentación.

Principios en los que se basa la instrumentación

- 1- Lo más sofisticado no necesariamente es lo mejor. Debe preferirse la solución más sencilla para el problema de instrumentación en estudio.
- 2- Los resultados de un programa de instrumentación implementado para prevención de accidentes deben conocerse de inmediato.
- 3- Los resultados de un programa de instrumentación implementado para control de calidad deben conocerse de inmediato.
- 4- Los resultados de un programa de instrumentación implementado para investigación son a largo plazo (1 año o más).
- 5- Un dato tomado por personal inexperto o mal tomado es un dato inútil y, por lo tanto, debe desecharse.
- 6- Un dato tomado de manera incompleta es un dato inútil y, por lo tanto, debe desecharse.
- 7- A mayor complejidad en un proyecto de instrumentación mayor deberá ser la capacitación del personal.
- 8- A mayor complejidad en un proyecto de instrumentación mayores posibilidades de fallas.
- 9- A mayor cantidad de componentes electrónicos y de computación, mayor costo.
- 10- Las características más deseables de un Ingeniero instrumentista deberían ser: precisión y claridad mental, paciencia, disciplina, limpieza en el trabajo y orden.
- 11- Todos los miembros de la brigada de instrumentación deberían estar altamente motivados y conocer la gran importancia de la labor que desempeñan.

Aparatos de uso más común en instrumentación

Acelerógrafos
 Piezómetro Casagrande
 Piezómetro neumático
 Bancos de nivel
 Inclínómetro
 Torpedo medidor de asentamientos
 Extensómetro
 Vertedor
 Nivel
 Teodolito
 Celdas de presión

Strain gages

Es un dispositivo cuya resistencia varía proporcionalmente a una fuerza, peso, torque, presión o desplazamiento aplicado al dispositivo a lo largo de su eje sensible. Esta variación

en la resistencia se detecta generalmente conectando uno o más strain gages a un puente de wheatstone.

Puente de Wheatstone

Es un tipo estándar de puente en el cual todas las ramas del mismo son resistencias. Se emplea para medir resistencias, al paso de una corriente eléctrica.

Trasductor

Es un convertidor de energía, o sea que transforma una señal de una forma a otra. Se usa para medir fuerzas, presiones y desplazamientos. Existen transductores eléctricos de resistividad, capacitancia e inductancia. Por ejemplo, las deformaciones se transforman en cambios de resistencia en los strain gages de resistencia eléctrica.

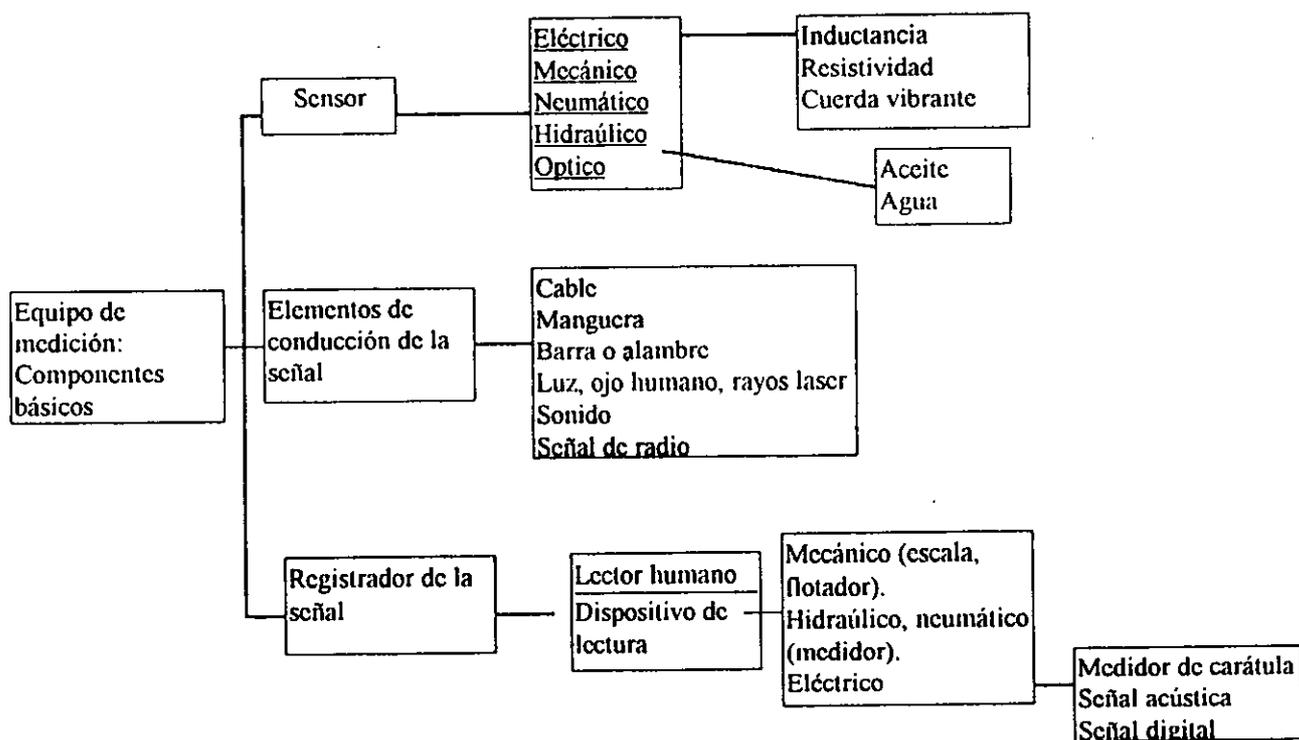
Cuerda vibrante

Estando una cuerda de acero bajo la tensión A su frecuencia de vibración será X1. Si posteriormente la cuerda se somete a la tensión B su frecuencia de vibración será X2. Mediante este principio es posible conocer diferentes magnitudes al saber, por calibración previa, los valores frecuencia-parámetro a medir.

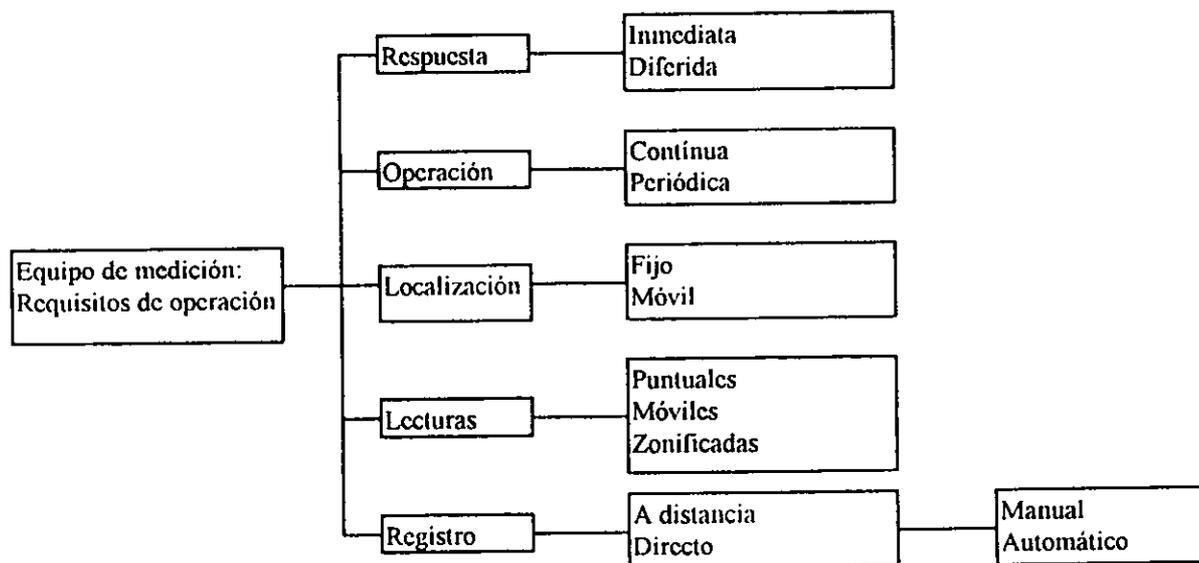
Esfuerzo

Es la fuerza por unidad de área kg/cm², ton/m², lb/pulg².

Componentes básicos de los equipos de medición



Clasificación de los equipos de medición en función de los requisitos de operación



CAPITULO II

**MEDIDORES DE ESTADO DE
ESFUERZOS**

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan los dispositivos que permiten conocer la magnitud de los esfuerzos en el interior de la masa de suelo. Comúnmente conocidos como celdas de presión son instrumentos que convenientemente colocados nos permiten conocer los esfuerzos actuantes en el interior de terraplenes, paredes de túneles, presas de tierra, etc.

CELDA GLÖTZL

Este tipo de celda permite conocer la magnitud de los esfuerzos en el interior de la masa de suelo.

La celda Glötzl está formada por dos láminas de acero con sus extremos unidos entre sí. Las placas se encuentran unidas mediante un anillo rígido de acero galvanizado. El espacio interior se encuentra lleno de aceite. Conectado a la celda mediante un tubo de acero inoxidable se encuentra un indicador de presión que posee dos compartimientos separados por un diafragma.

La cámara a su vez se comunica con dos tubos, uno que se conecta a una bomba y otro de purga. La bomba se comunica con un depósito de aceite y con un manómetro que se encuentran en la caseta de instrumentación desde donde se toman las lecturas.

OPERACIÓN:

1) Inicialmente el sistema desde la celda hasta la cámara y de la cámara a la bomba se encuentra en equilibrio con una precarga p y el diafragma en posición cerrada.

2) Para realizar mediciones se establece entonces un flujo continuo de aceite desde el depósito de aceite hasta la cámara y de esta nuevamente al depósito.

3) De esta manera la presión (L) necesaria para vencer la resistencia del diafragma al paso del aceite será entonces la que el terreno aplica sobre la celda.

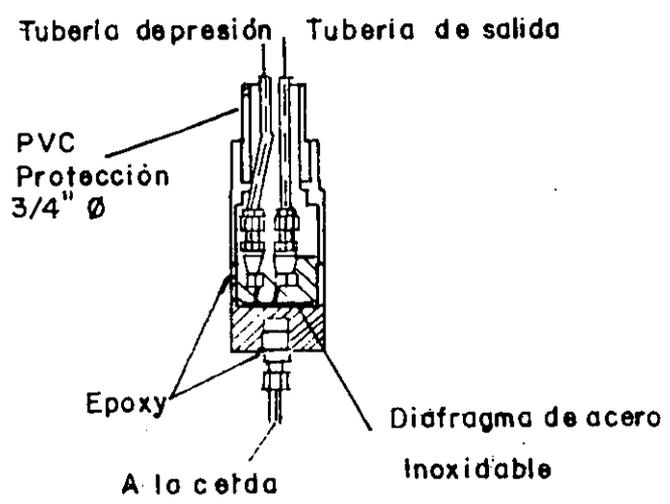
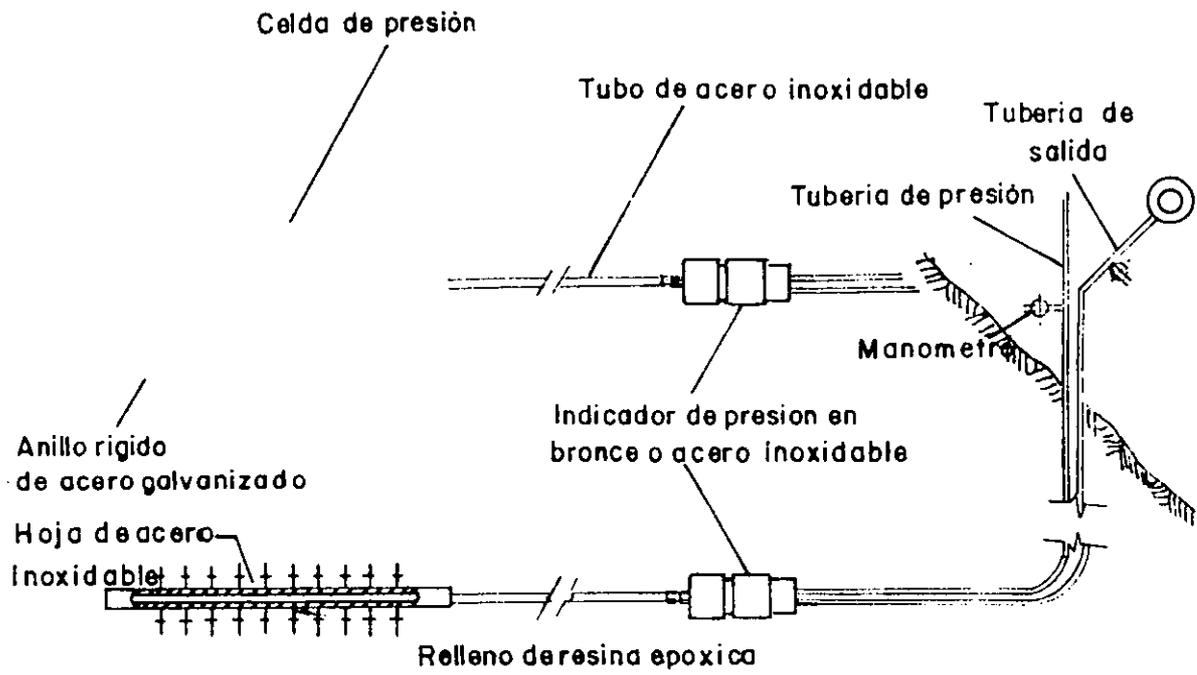
4) Finalmente la presión real actuante sobre la celda será la medida en (3) menos la precarga, o sea ($L-p$) en kg/cm^2 .

APLICACIONES:

Instrumentación de presas de tierra y enrocamiento y terraplenes.

Figura No. 1

CELDA GLÖTZL



INDICADOR DE PRESION

Fig. I

CELDA GOLDBECK

Al igual que otros tipos de celda, esta permite conocer la magnitud de los esfuerzos en la masa de suelo.

La celda Goldbeck consta de una placa superior flexible que se encuentra en contacto con el terreno. Bajo ella se encuentra un compartimiento lleno de aceite cuya función es uniformizar la presión que se ejerce sobre un diafragma medidor instrumentado. El diafragma puede ser una cuerda vibrante o un deformímetro eléctrico. Esta unidad sensible está conectada a un puente de Wheastone en el exterior.

OPERACIÓN:

1) Inicialmente la masa de suelo al actuar sobre la placa flexible transmite presión al aceite en el interior de la cámara.

2) Esta presión es transmitida a un diafragma medidor instrumentado que puede ser una cuerda vibrante o un deformímetro eléctrico.

3) El diafragma se encuentra conectado a un puente de Wheatstone en el exterior que puede detectar cualquier cambio de resistencia eléctrica.

4) La presión puede, por lo tanto, conocerse mediante calibración previa de laboratorio (resistencia-presión) del puente de Wheatstone.

APLICACIONES:

Instrumentación de presas de tierra y terraplenes.
Determinación de presiones de tierra sobre muros de retención, tablaestacas, ademes, etc.

Figura No. 2

CELDA GOLDBECK

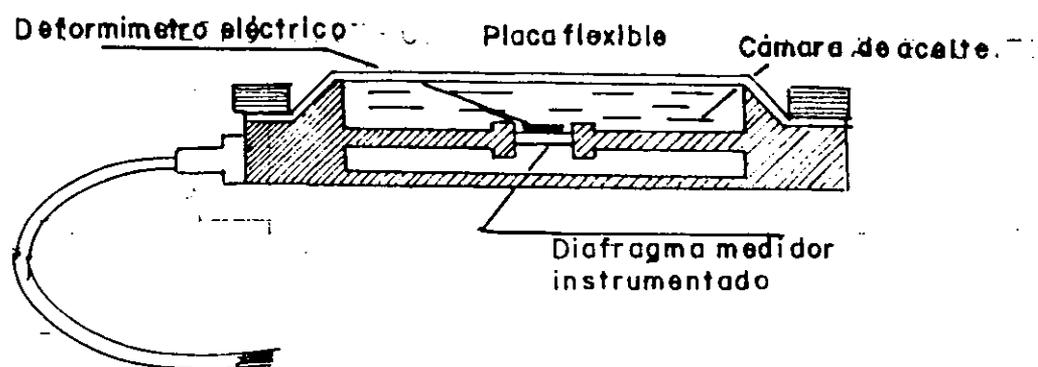


Fig. 2

CELDA DE CARGA DE CUERDA VIBRANTE

Este tipo de celda consta de dos placas unidas entre sí cuyo espacio interior se encuentra lleno de aceite. Un tubo de acero inoxidable conecta a la celda con el dispositivo de medición. En el interior de éste se halla un diafragma que se deforma al cambiar la presión del aceite, una cuerda vibrante y una bobina de inducción. El dispositivo de medición se conecta mediante un cable al aparato contador de frecuencias.

OPERACIÓN:

1) El alambre se encuentra inicialmente estirado entre dos puntos de medición de un elemento estructural o transductor, en ese estado podemos entonces, al inducir una fuerza electromagnética mediante la bobina de inducción, conocer la frecuencia natural de vibración.

2) Si aplicamos a la celda una carga P esta provocará un cambio de presión en el aceite. La presión deformará el diafragma y, por lo tanto, la tensión del alambre variará así como la frecuencia de vibración.

3) El cambio registrado en la frecuencia natural de vibración del alambre será entonces una medida de la deformación en el elemento del transductor.

4) La magnitud de la presión podrá conocerse por calibración previa de laboratorio.

APLICACIONES:

Instrumentación de presas de tierra y terraplenes.

Figura No. 3

CELDA DE CARGA DE CUERDA VIBRANTE

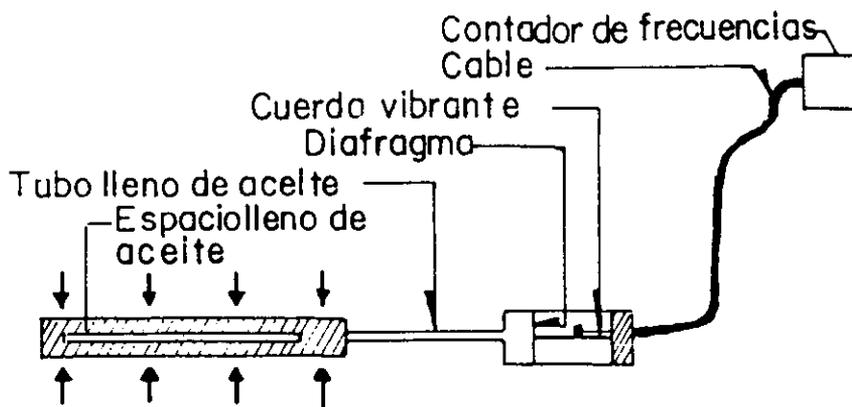


fig.1

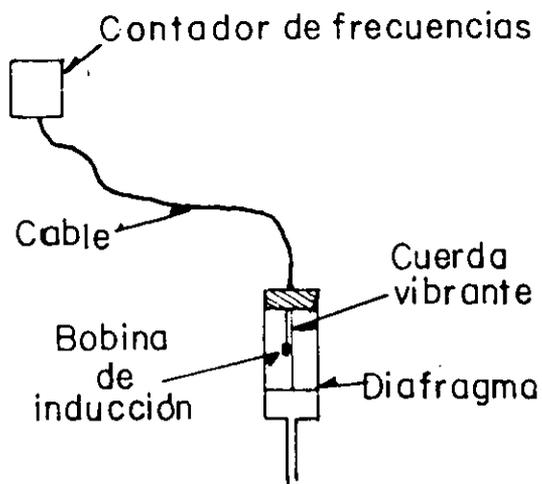


fig.2

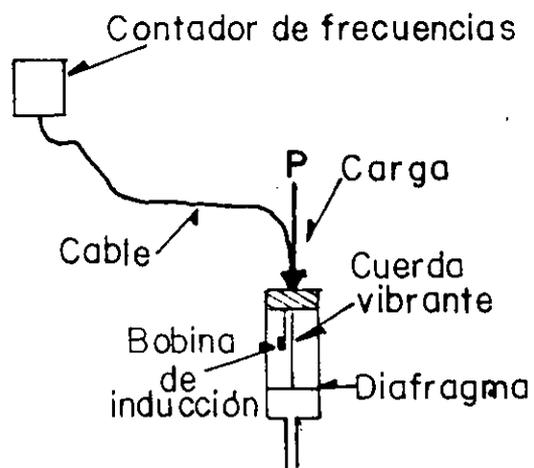


fig.3

CELDA DE CARGA MECÁNICA

El sistema formado en este caso consta de un anillo de acero de alta calidad, unas placas especiales que pueden estar integradas al anillo o fijadas con tornillos y un micrómetro o tornillo micrométrico. Este tipo de celdas tiene muchos usos entre los que se encuentran las pruebas de carga en pilotes y las pruebas de placa. Su capacidad va desde unos cuantos kg hasta 200 ton.

OPERACIÓN:

La operación de este aparato es bastante simple y a continuación se explica:

- 1) Inicialmente cuando el anillo se encuentre sin carga, la lectura del micrómetro debe encontrarse en ceros.
- 2) Si aplicamos una carga P al anillo a través de las placas externas este se deformará una cierta magnitud m que registrará el micrómetro.
- 3) Cada anillo tiene una gráfica de correlación carga-deformación por lo que para cualquier magnitud de deformación m podremos encontrar la carga aplicada P correspondiente.

APLICACIONES:

Pruebas de carga en pilotes, pruebas de placa y pruebas triaxiales.

Figura No. 4

CELDA DE CARGA MECANICA

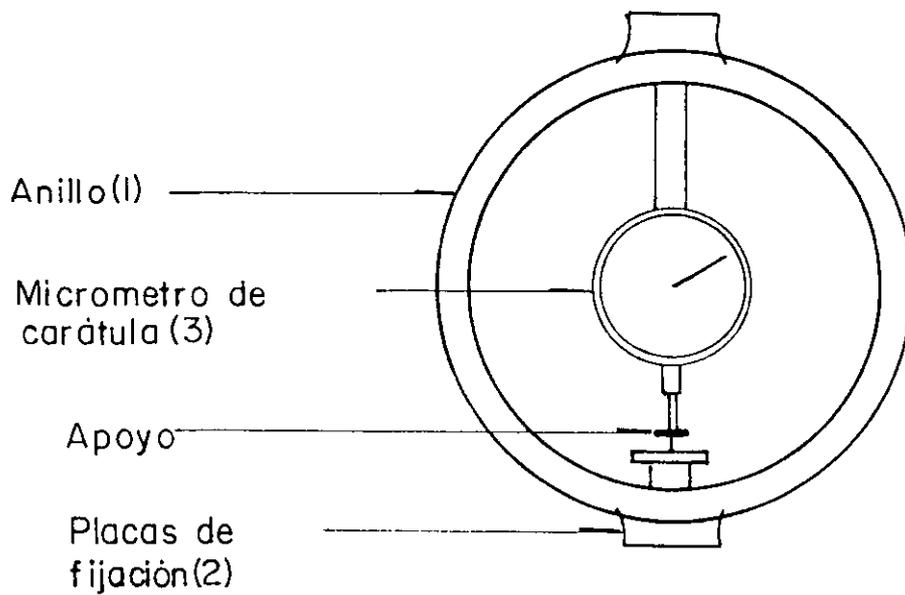


Fig. 4

APARATO DE HAST

El aparato de Hast consta esencialmente de una celda lo suficientemente pequeña para caber en el interior de un barreno de 2.5 cm. de diámetro y suficientemente precisa para registrar confiablemente cambios de 1.0 kg/cm². Esta celda se coloca en el interior de un barreno y a una distancia de aproximadamente 15 m.

OPERACIÓN:

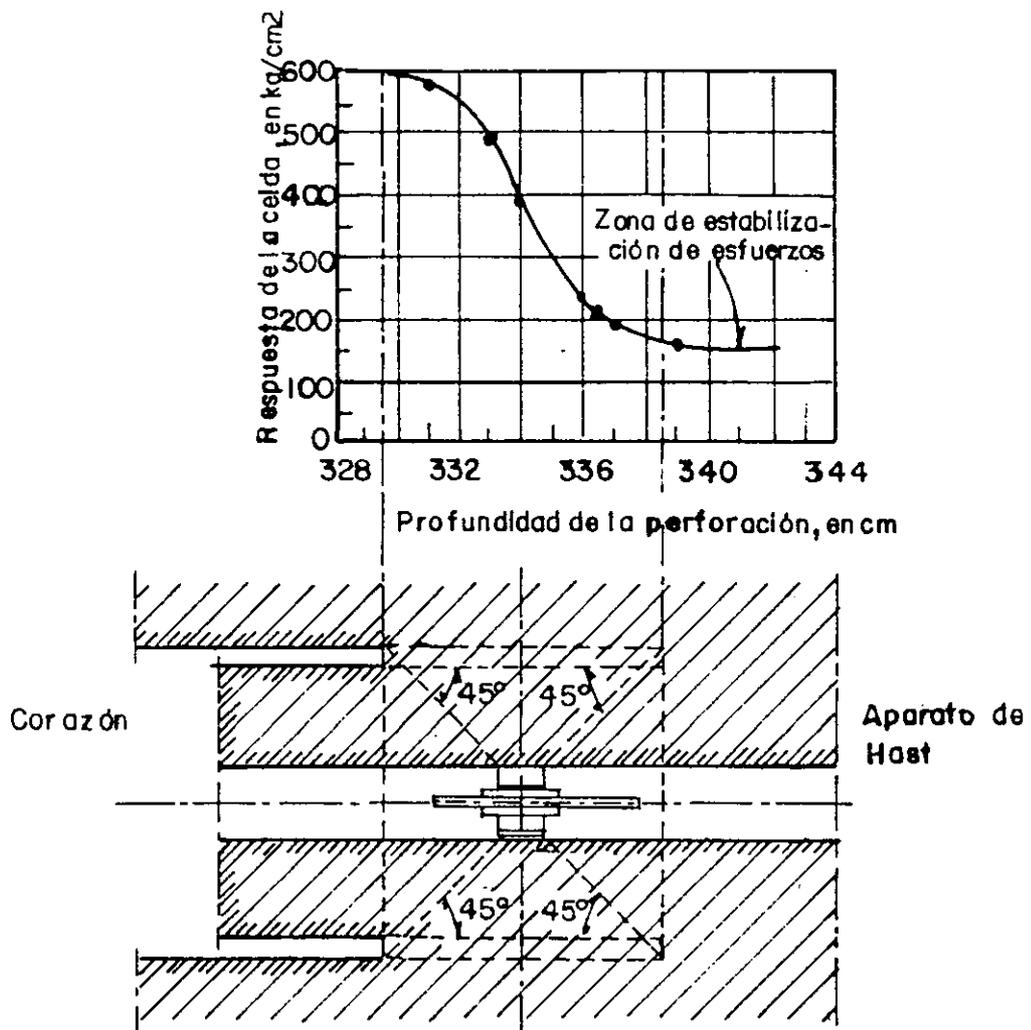
- 1) Se elige el sitio de prueba, la inclinación del barreno y las profundidades de los sitios de medición.
- 2) Se hace un barreno de 2.5 cm. de diámetro y hasta la profundidad de ensaye.
- 3) Se coloca el dispositivo en el barreno, verificando el ángulo de medición y se preesfuerza tomando la lectura correspondiente.
- 4) Se efectúa una perforación concéntrica de 10 cm. de diámetro, con broca de diamante.
- 5) Se considera que el esfuerzo que se relaje, registrado por la celda sensible es igual al esfuerzo normal en ese punto asociado a la dirección de medición.

APLICACIONES:

Obtención de la magnitud de esfuerzos normales in situ de un macizo rocoso.

Figura No. 5

APARATO DE HAST



Gráfica profundidad vs. lectura de celda durante el proceso de perforación concéntrica

GATO PLANO

Este dispositivo nos permite conocer la magnitud de los esfuerzos en superficies expuestas (túneles, paredes, etc.). Para su operación se requiere de un gato plano, un deformómetro tipo Whittemore, y bases metálicas para la fijación de puntos superficiales.

OPERACIÓN:

- 1) Se elige el sitio y orientación de los ejes para colocar la celda.
- 2) Se colocan las referencias superficiales metálicas en el lugar donde se efectuarán las mediciones y se efectúa una lectura inicial (i).
- 3) Se efectúa una ranura y a continuación se rellena por inyección.
- 4) Una vez rellena la perforación se coloca en su interior la celda la cual quedará ahogada en la lechada.
- 5) Se espera el fraguado.
- 6) Una vez que la lechada ha fraguado se aplica presión a la celda y entonces se dice que la presión necesaria para restablecer la lectura inicial (i) es el esfuerzo normal aplicado sobre la celda y, por lo tanto, el que la roca tiene in situ.

APLICACIONES:

Se aplica en la medición de esfuerzos en superficies expuestas como túneles, paredes, etc.

Figura No. 6

GATO PLANO

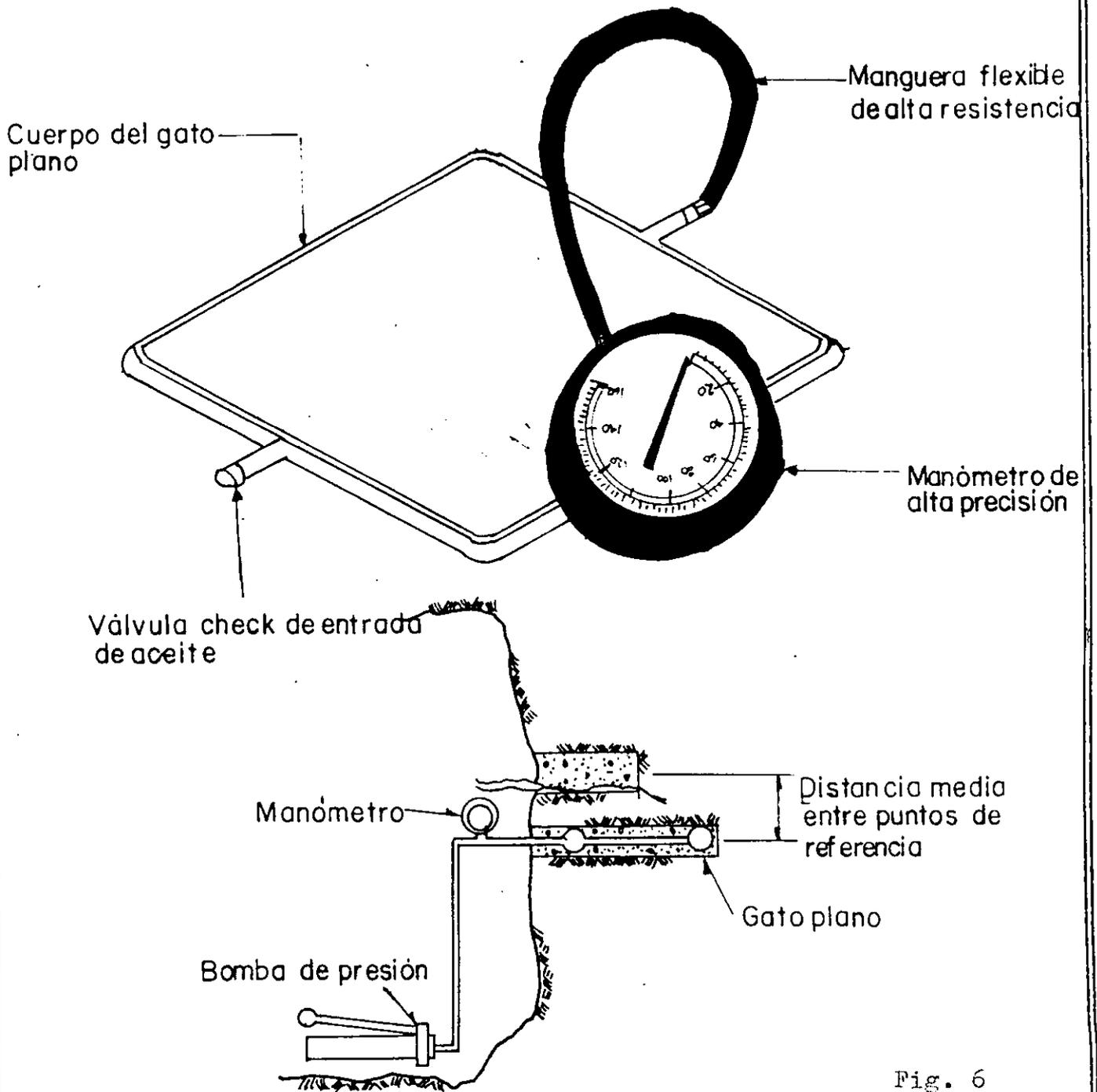


Fig. 6

CELDA CARLSON

Un dispositivo más sofisticado para la medición de presiones lo constituye la celda Carlson. Su constitución permite obtener un mayor grado de exactitud en las mediciones. La celda consta de una cámara de mercurio, un diafragma deformable, un vástago flexible, y unos medidores eléctricos de deformación (strain gages).

OPERACIÓN:

- 1) Al actuar la masa del suelo sobre la cámara, transmite una presión al mercurio en su interior.
- 2) La presión deforma el diafragma y esto a su vez ocasiona que el vástago flexible modifique su longitud.
- 3) Con la ayuda de los medidores eléctricos de deformación (strain gages), puede entonces detectarse un cambio de resistencia eléctrica que a su vez se transforma en una lectura de presión.

APLICACIONES:

Instrumentación de presas de tierra y enrocamiento y terraplenes.

Figura No. 7

CELDA CARLSON

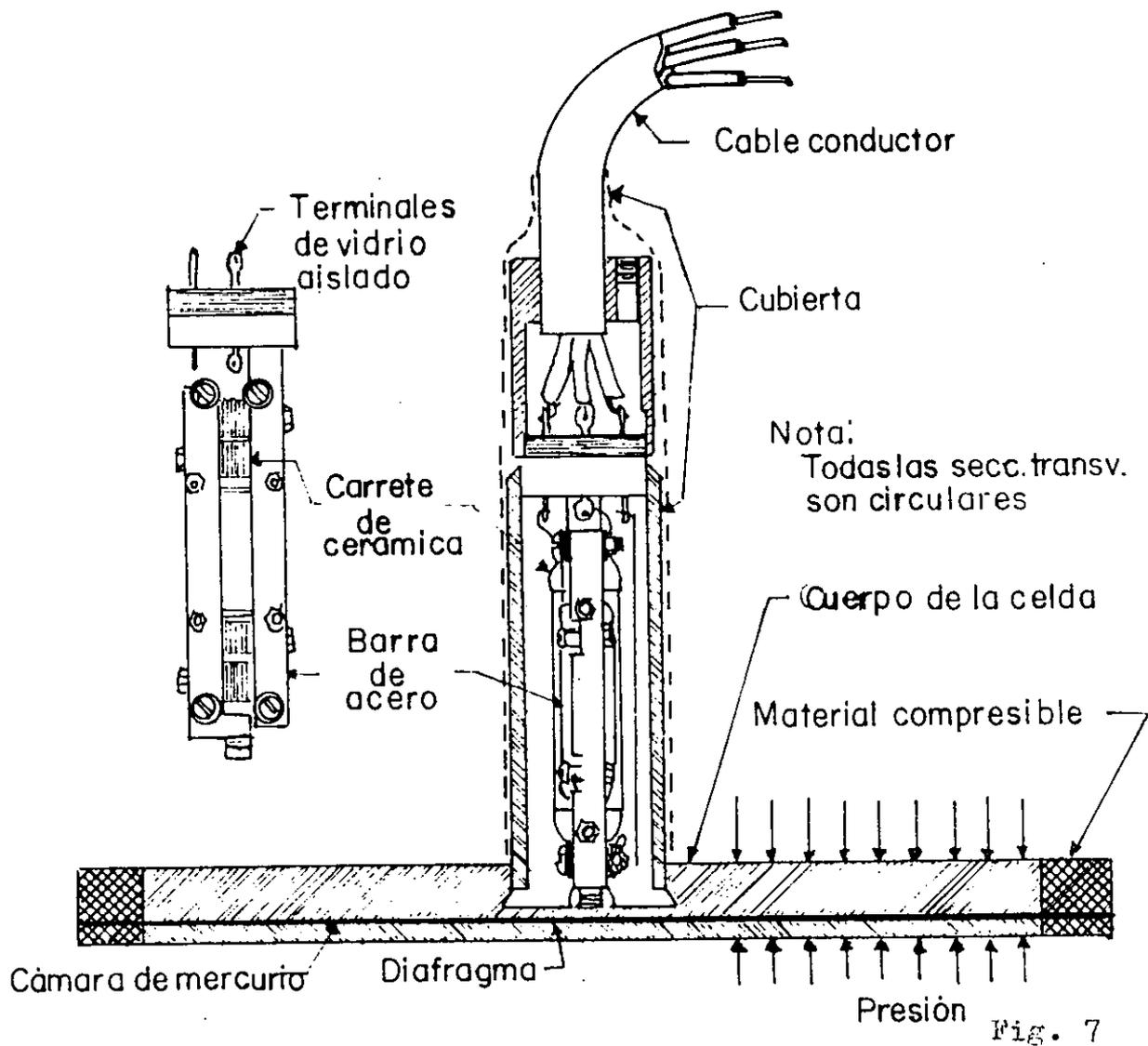


Fig. 7

CAPITULO III

**MEDIDORES DE
ASENTAMIENTOS Y
MOVIMIENTOS VERTICALES**

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se hace una revisión de los instrumentos diseñados para conocer la magnitud de los asentamientos y movimientos verticales. Es importante mencionar que muchos de los instrumentos utilizados para medir movimientos verticales también sirven para medir movimientos horizontales.

DISPOSITIVO PARA MEDIR ASENTAMIENTOS RELATIVOS EN UNA VERTICAL EN EL INTERIOR DE UN TERRAPLÉN

Un sistema para la detección de movimientos verticales en varios puntos en el interior de un terraplén es el que se muestra en la figura. El dispositivo consta de un bastidor metálico sólidamente anclado a la superficie del terreno, unas placas de anclaje que se colocan en el interior de la masa de suelo y resortes calibrados que se conectan a las placas por medio de alambres.

OPERACIÓN:

- 1) Al estarse construyendo el terraplén se colocan en su posición las placas a las diferentes profundidades en que deseen conocerse los asentamientos.
- 2) Una vez terminado el terraplén se coloca el bastidor metálico en su posición así como los resortes calibrados.
- 3) Tanto los alambres conectados a los resortes como el bastidor contienen marcas que permiten conocer cualquier movimiento sufrido por las placas de anclaje.
- 4) En estas condiciones se toma una primera lectura inicial y a la que denominaremos lectura cero.
- 5) Con el paso del tiempo las placas de anclaje sufrirán asentamientos que podrán ser detectados en las marcas del bastidor y el alambre.
- 6) Los asentamientos detectados pueden ser procesados y graficados, conociendo así el proceso de deformación.

APLICACIONES:

Instrumentación de terraplén

Figura No. 8

DISPOSITIVO PARA MEDIR ASENTAMIENTOS

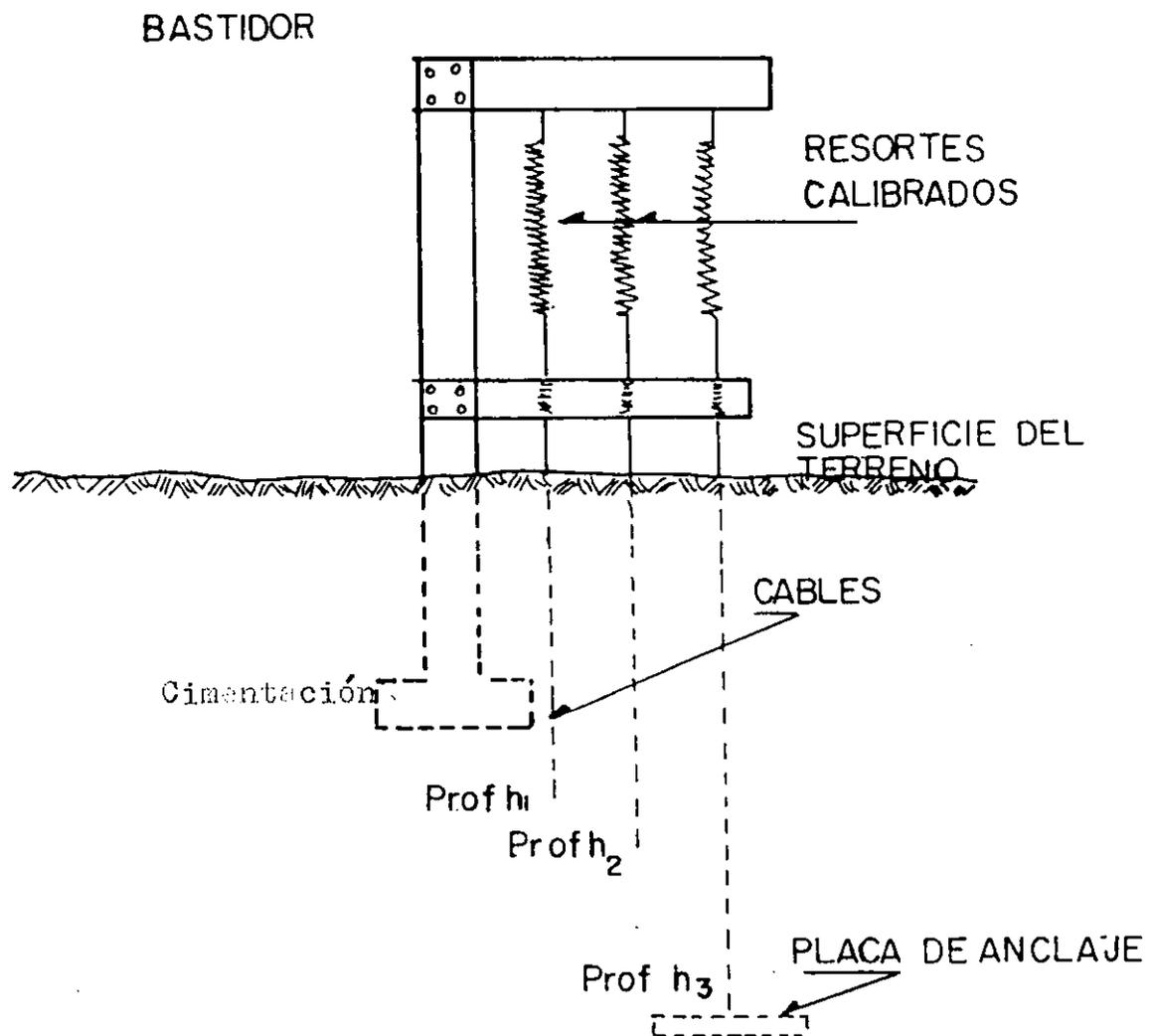


Fig. 8

MEDIDOR FRANCÉS DE ASENTAMIENTOS

Este dispositivo está conformado por una celda de plástico de 9.5 cm. de espesor y 17 cm. de diámetro, un tablero de medición que tiene un dispositivo para aplicar presión con gas carbónico, un manómetro de mercurio que controla la presión del líquido dentro de la celda y una escala vertical donde se puede medir las variaciones de altura del líquido.

OPERACIÓN:

- 1) La celda se coloca dentro de la masa de suelo en que se desea conocer los asentamientos.
- 2) En una zona fuera de los asentamientos se coloca una base fija.
- 3) Sobre esta base se instala un tablero de medición el cual tiene un dispositivo para aplicar presión con gas carbónico y un manómetro de mercurio que controla la presión del líquido dentro de la celda, tal como se comunica por medio del gas carbónico.
- 4) En el mismo tablero se recibe otra línea de tubo proveniente de la celda e instalada al lado de una escala vertical P, de manera que cualquier presión aplicada por el gas carbónico se comunica al líquido en la celda y lo hace pasar a la línea de comunicación entre la celda y el tubo vertical P, hasta una cierta altura en su escala.
- 5) En estas condiciones, si se aplica una presión p al líquido de la celda, con la cual este asciende en la escala P hasta la altura P1.
- 6) Después de cierto tiempo, al realizar una nueva medición se aplicará la misma presión p al líquido de la celda, pero como se habrá asentado una cantidad H el líquido ascenderá ahora hasta la altura P2, siendo la diferencia de alturas P1-P2 precisamente igual a lo que la celda se haya hundido.

APLICACIONES:

Este dispositivo puede utilizarse sin impedimentos para conocer los asentamientos a diferentes profundidades en terraplenes, sin embargo, es de uso limitado en el medio de la construcción.

Figura No. 9

MEDIDOR FRANCES DE ASENTAMIENTOS

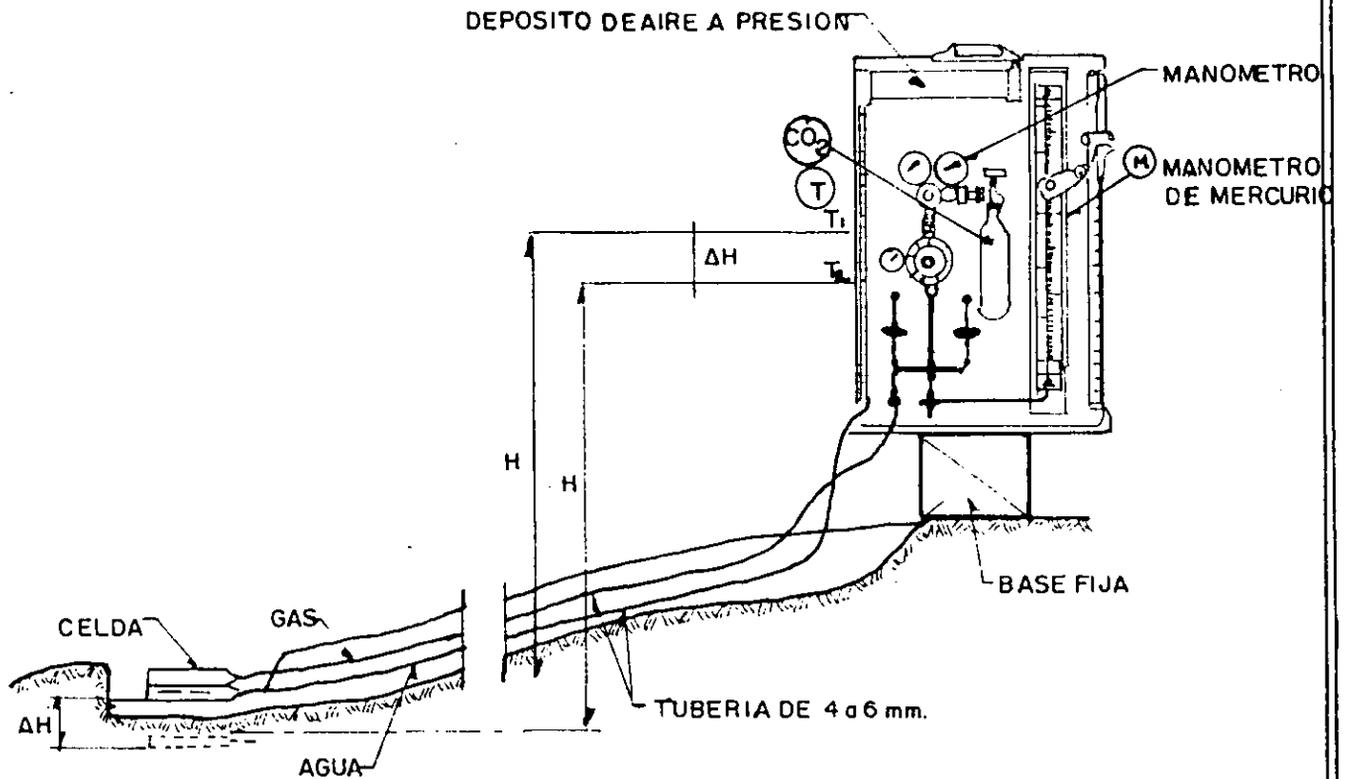


Fig. 9

NIVEL DE AGUA DE PRECISIÓN

El aparato consiste de dos tubos de vidrio de 2.5 cm. de diámetro, interconectados con una manguera de plástico. Cada tubo se monta sobre una base que tiene en uno de sus extremos, la perforación necesaria para colgarse en uno de los puntos de referencia y, en el otro, un tornillo de nivelación y nivel de burbuja. Empotrado a la base se coloca un sistema micrométrico de engrane-cremallera con carátula y graduaciones cada 0.01 cm. El extremo inferior de la cremallera tiene una punta cónica y entra en el extremo superior del tubo de vidrio.

OPERACIÓN:

- 1) Se colocan los instrumentos en los puntos de medición y se nivelan las bases.
- 2) Se abren las válvulas de interconexión y se espera a que se estabilicen los niveles de equilibrio.
- 3) Se acciona la punta cónica de la cremallera y se hace tocar la superficie del agua. Se toman la correspondiente lectura y temperatura,

La diferencia de nivel entre los puntos a y b podrá encontrarse con la expresión:

$$_h = (a - b)$$

donde:

$_h$ = diferencia de nivel entre los puntos a y b en cm.

a y b = lecturas obtenidas con las buretas.

APLICACIONES:

Medición de deformaciones diferenciales de túneles y cimentaciones de estructuras en roca.

Figura No. 10

NIVEL DE AGUA DE PRECISION

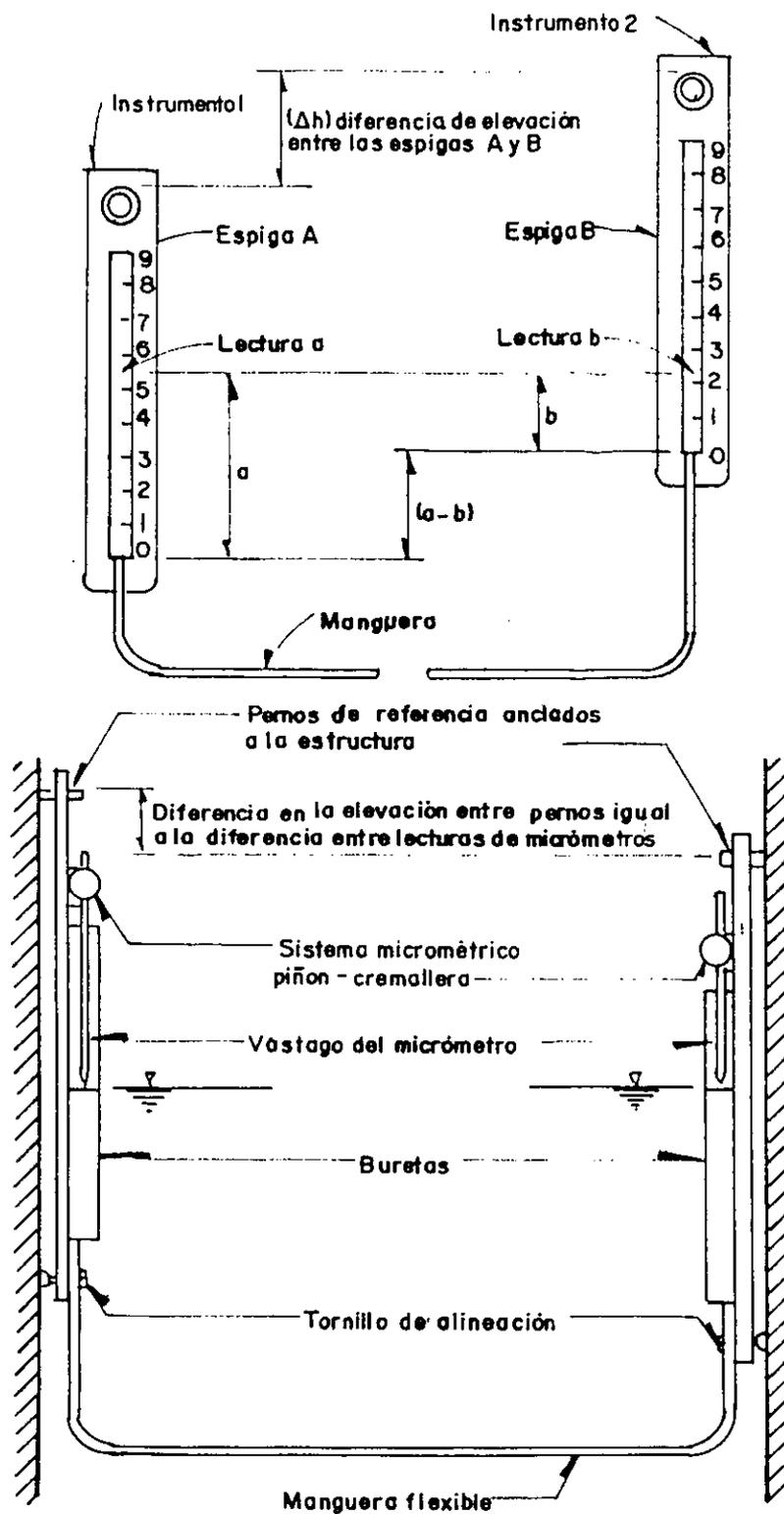


Fig. 10

APARATO PARA MEDIR ASENTAMIENTOS EN TERRAPLENES

Los resultados obtenidos con este aparato son similares a los que pueden obtenerse con un torpedo medidor de asentamientos. Una vez colocado en su posición, pueden conocerse los asentamientos habidos en el interior de un terraplén a diferentes profundidades.

OPERACIÓN:

- 1) Debe disponerse una perforación de 8 a 10 cm., no ademada o con un ademe muy débil cuando así se requiera.
- 2) En esta perforación se colocan varias anclas a diferentes profundidades. Estas anclas tienen la característica de que al introducirse en la perforación aumentan su diámetro entallándose de esta manera en la roca y rompiendo el ademe si lo hubiere.
- 3) Las anclas se encuentran unidas a un alambre a tensión constante previamente calibrado de manera que cualquier cambio en la tensión podrá ser interpretado mediante la consola de medición.

APLICACIONES:

Instrumentación de terraplenes y en cualquier aplicación que requiera conocer la magnitud de los asentamientos a diferentes profundidades. Sin embargo su uso es limitado.

Figura No. 11

APARATO PARA MEDIR ASENTAMIENTOS EN TERRAPLENES

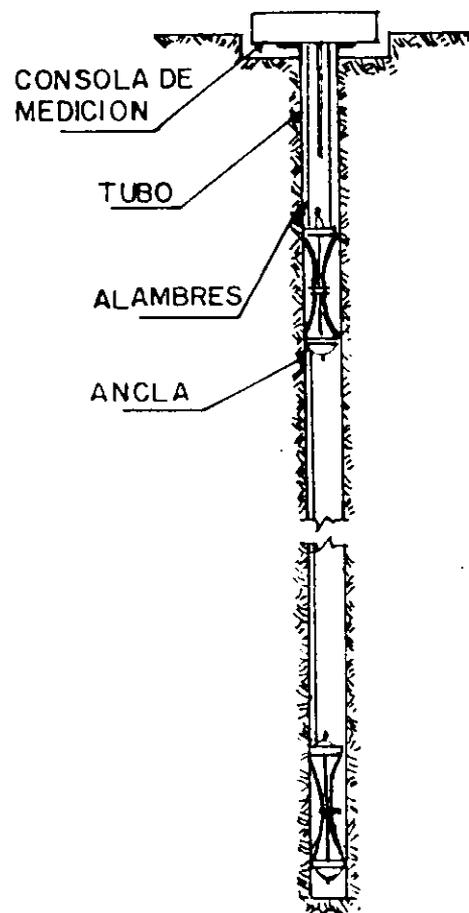


Fig. II

BANCO DE NIVELACIÓN PROFUNDO

Este instrumento consiste de una barra o tubo metálico anclado por cementación con lechadas expansivas al fondo de un barreno de 7.5 cm. de diámetro. En la parte superior el tubo o barra tiene una cabeza semiesférica para el apoyo del estadal. Para evitar la fricción lateral con las paredes del barreno se adema con un tubo de P.V.C. y se colocan rondanas de plástico para centrar las barras o tubos respecto a este.

OPERACIÓN:

- 1) Se realiza una perforación de 7.5 cm. de diámetro hasta una profundidad en donde se encuentre la roca firme.
- 2) Se coloca el ademe de PVC en el barreno.
- 3) Se coloca el tubo metálico y se cementa el fondo del barreno.
- 4) Se construye la caja de protección de concreto con tapa y candado.
- 5) Una vez instalado las mediciones se realizan colocando el estadal en la cabeza semiesférica que se encuentra en la parte superior del tubo.
- 6) Se toman las medidas correspondientes con el nivel topográfico.

APLICACIONES:

Terraplenes, presas y en general en lugares que se requiera un punto de referencia fijo confiable.

Figura No. 12

BANCO DE NIVELACION PROFUNDO

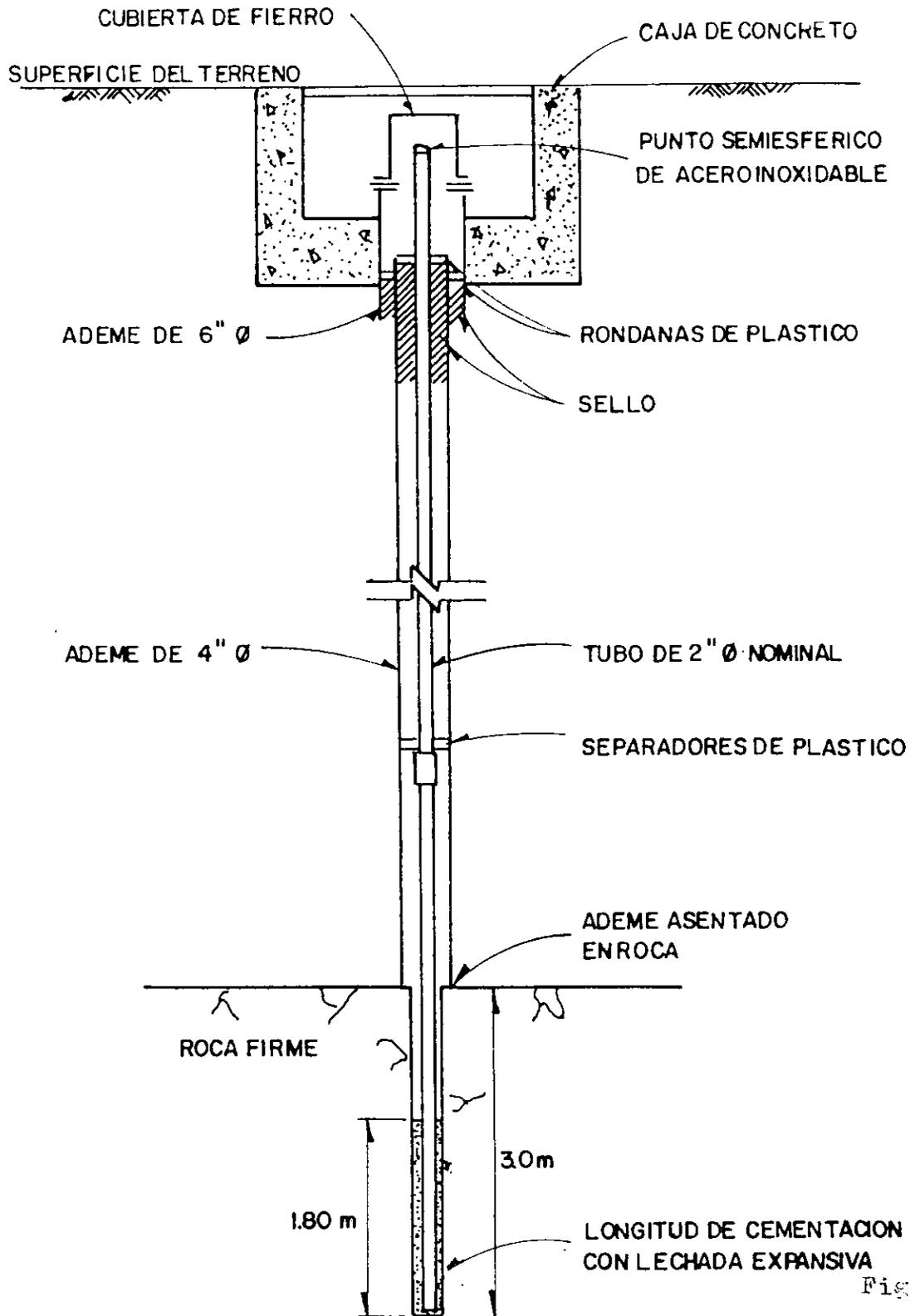


Fig. 12

TORPEDO MEDIDOR DE ASENTAMIENTOS

El sistema completo se compone de un tubo especial que se coloca en el interior de una perforación compuesta por tramos unidos con coples exteriores. De esta manera la longitud del tubo puede variar de acuerdo al comportamiento del terreno que lo arrastra consigo a medida que sufre asentamientos. Por consiguiente la distancia que existe entre los tramos consecutivos de tubo a todo lo largo de él variará y, por lo tanto, podremos conocer los asentamientos ocurridos en distintos perfiles de terreno.

La posición inicial de cada tramo de tubo y cople se determina con métodos topográficos.

OPERACIÓN:

Para encontrar el asentamiento en los diferentes perfiles transversales se procede de la siguiente manera:

- 1) Se introduce en el tubo el torpedo medidor de asentamientos.
- 2) Debido a que el torpedo se encuentra provisto de un sistema de patas retráctiles al encontrar en su camino hacia el fondo del tubo al escalón existente entre el tubo y el cople las aletas se retraen y el torpedo queda imposibilitado para poder izarse a la superficie.
- 3) Se toma la lectura correspondiente de donde puede deducirse el asentamiento ocurrido al comparar esta lectura con la inicial.

APLICACIONES:

Instrumentación de terraplenes
Instrumentación de presas de tierra y enrocamiento.

Figura No. 13

TORPEDO MEDIDOR DE ASENTAMIENTOS

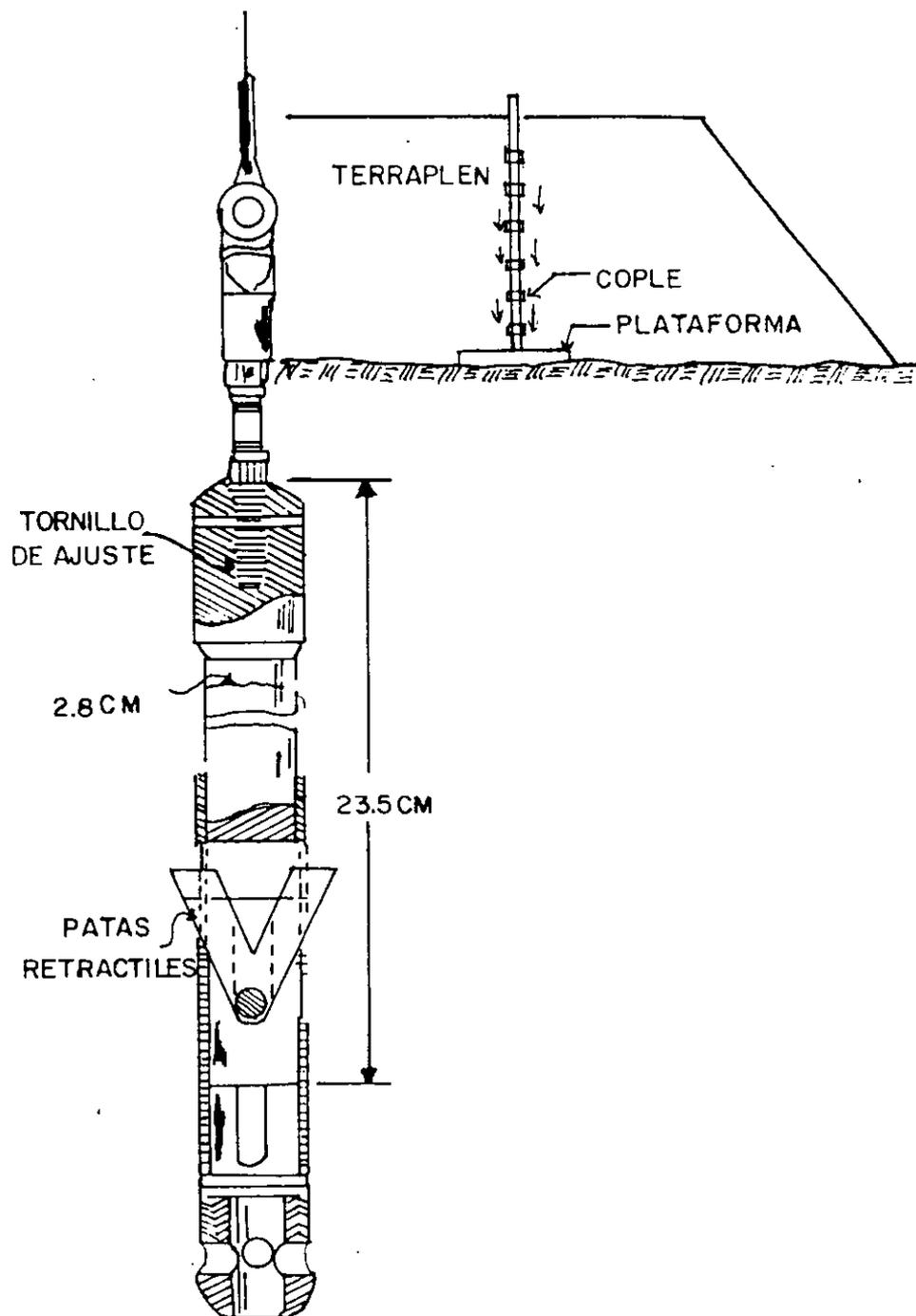


Fig. 13

BANCO DE NIVEL

En este caso se trata de un punto de referencia fijo que no se mueve a través del tiempo. El grado de sofisticación del banco de nivel estará en proporción directa de la precisión que se requiera pudiendo ser una columna de concreto reforzado, un tubo metálico anclado en estratos firmes o una barra metálica anclada con lechadas expansivas a suficiente profundidad en la roca sana.

OPERACIÓN:

- 1) Inicialmente al estarse construyendo el terraplén o relleno se coloca la plataforma de apoyo y un primer tramo de ademe.
- 2) Conforme se va avanzando en la construcción del terraplén se van añadiendo tramos de ademe.
- 3) De esta manera se sigue la misma secuencia avance de terraplén-colocación de ademe hasta llegar a la altura de proyecto.
- 4) La posición de la punta del ademe se determina mediante métodos topográficos.

APLICACIONES:

Instrumentación de terraplén
Amplio uso en los métodos topográficos
Instrumentación de presas y enrocamiento
Instrumentación de túneles
Medición de asentamientos urbanos

Figura No. 14

BANCO DE NIVEL

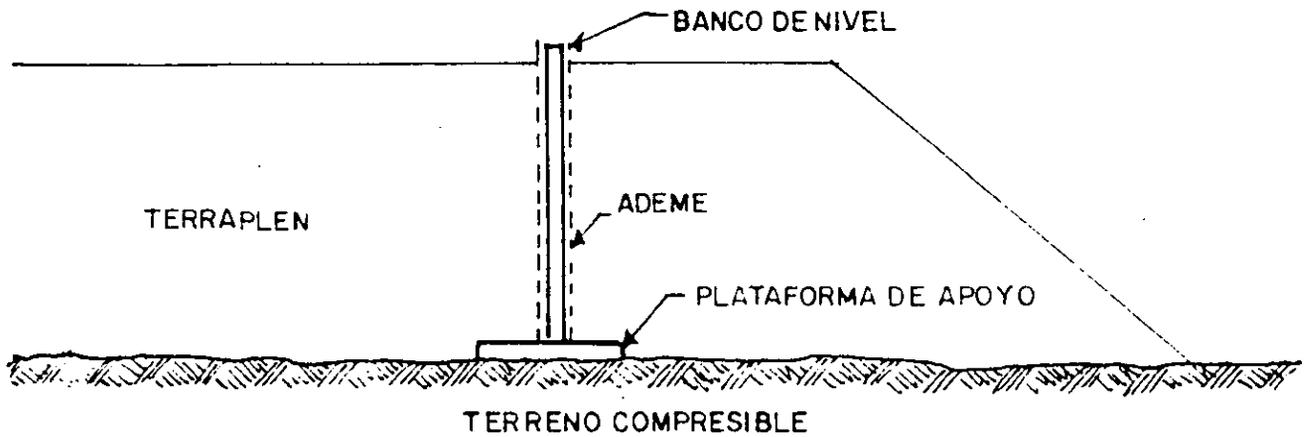


Fig. I4

MEDIDOR DE EXPANSIONES O BUFAMIENTOS

Se utiliza este dispositivo cuando se desea conocer el comportamiento del suelo como resultado de una operación de construcción. Cuando, por ejemplo, se esté construyendo una cimentación a base de muro milán ocurrirán bufamientos o cuando se haya abierto una cepa el comportamiento del dispositivo podrá indicar una falla de fondo que esté por ocurrir. Con el conocimiento de estos datos será posible tomar las medidas correctivas necesarias.

OPERACIÓN:

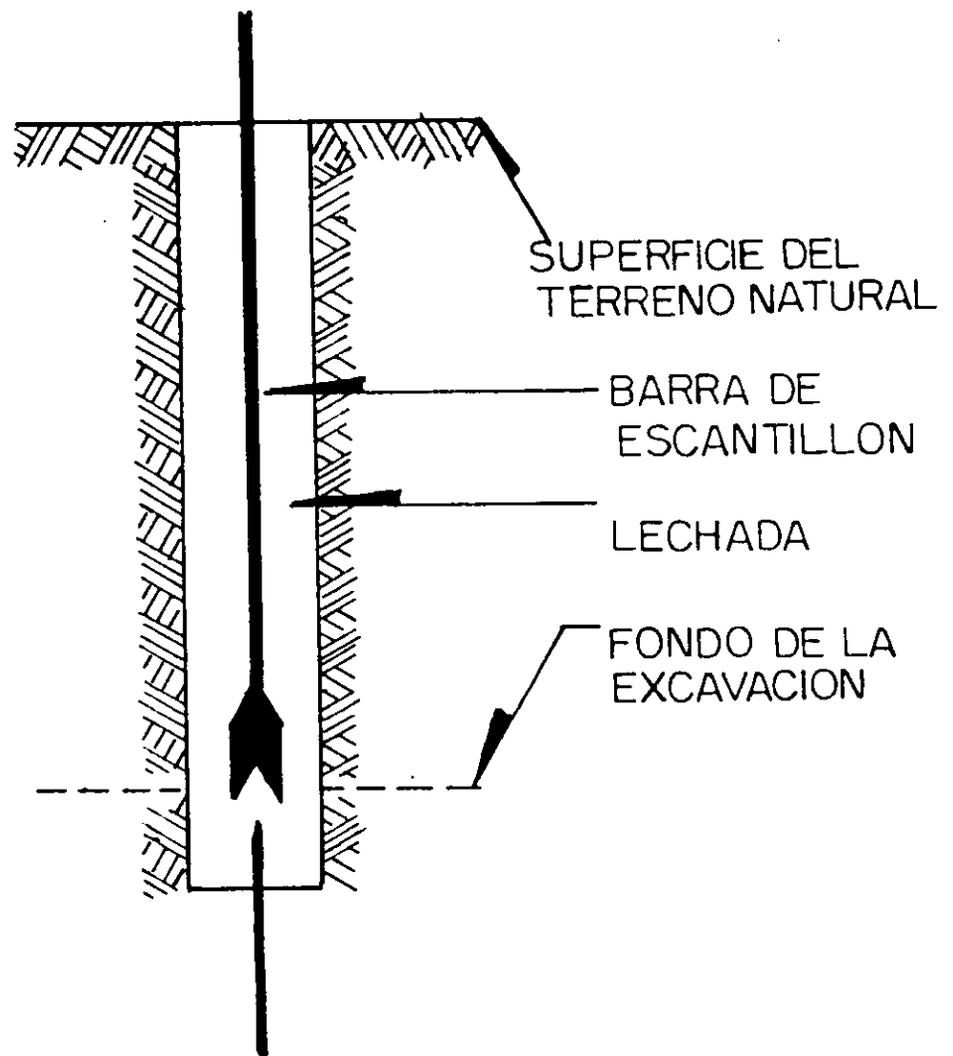
- 1) Se realiza una perforación hasta la profundidad que determine el ingeniero especialista en Mecánica de Suelos.
- 2) Una barra de punta cónica se coloca en el fondo del barreno.
- 3) Un escantillón de longitud conocida se coloca dentro del barreno hasta acoplarse con la punta cónica el cual permanecerá durante todo el proceso de construcción que se lleve a cabo.
- 4) De esta manera la elevación de la parte superior del escantillón puede determinarse en cualquier momento mediante nivelación topográfica, de donde se deduce la elevación de la punta cónica.

APLICACIONES:

Excavaciones profundas a cielo abierto.
Excavación de túneles.

Figura No. 15

MEDIDOR DE EXPANSIONES O BUFIAMIENTOS



BAJAR LA BARRA HASTA HACER CONTACTO CON EL CONO ENTERRADO. MEDIR LA ELEVACION DE LA PARTE SUPERIOR DE LA BARRA CON NIVELACION OPTICA.

Fig. I5

TÉCNICA CALIFORNIANA

Mediante esta técnica pueden conocerse los desplazamientos horizontales y verticales ocurridos en el interior de un terraplén en una cierta superficie a una determinada altura. Su utilidad se liga directamente a la instrumentación de terraplenes.

Como puede observarse en la figura el arreglo consta de unas anclas que se colocan en el interior del terraplén y que su movimiento detectará los movimientos horizontales del terraplén, tubería para control de nivel de agua que medirá los movimientos verticales, alambres a tensión que concurren a una caja de medición, la propia caja de medición y unas pesas para dar tensión al alambre.

OPERACION:

1) Cuando esté construyéndose el terraplén deberá definirse la altura a la cual se desee conocer la magnitud de las deformaciones pues el conjunto sólo es capaz de detectar movimientos en una cierta altura de medición.

2) Una vez definida la altura a la cual se desean conocer las deformaciones se colocarán las anclas como se muestra en la figura. Cada ancla está conectada a un solo cable a tensión y su movimiento podrá entonces ser detectado en la caja de medición. Al mismo tiempo deben colocarse los niveles de agua en su posición los cuales podrán detectar los movimientos verticales.

3) Cuando haya sido colocado el sistema en su posición podrá entonces construirse la caja de medición que, como puede verse en la figura, es una caja de lámina montada sobre una base de concreto.

La caja de medición recibe todo el alambrado que se tensa con unas pesas y lo distribuye hacia unos separadores que evitan que el alambrado se revuelva. Una escala de medición podrá entonces detectar cualquier movimiento de las marcas de referencia que se coloquen en el alambrado.

APLICACIONES:

Su uso se liga a la instrumentación de terraplenes.

Figura No. 16

TECNICA CALIFORNIANA

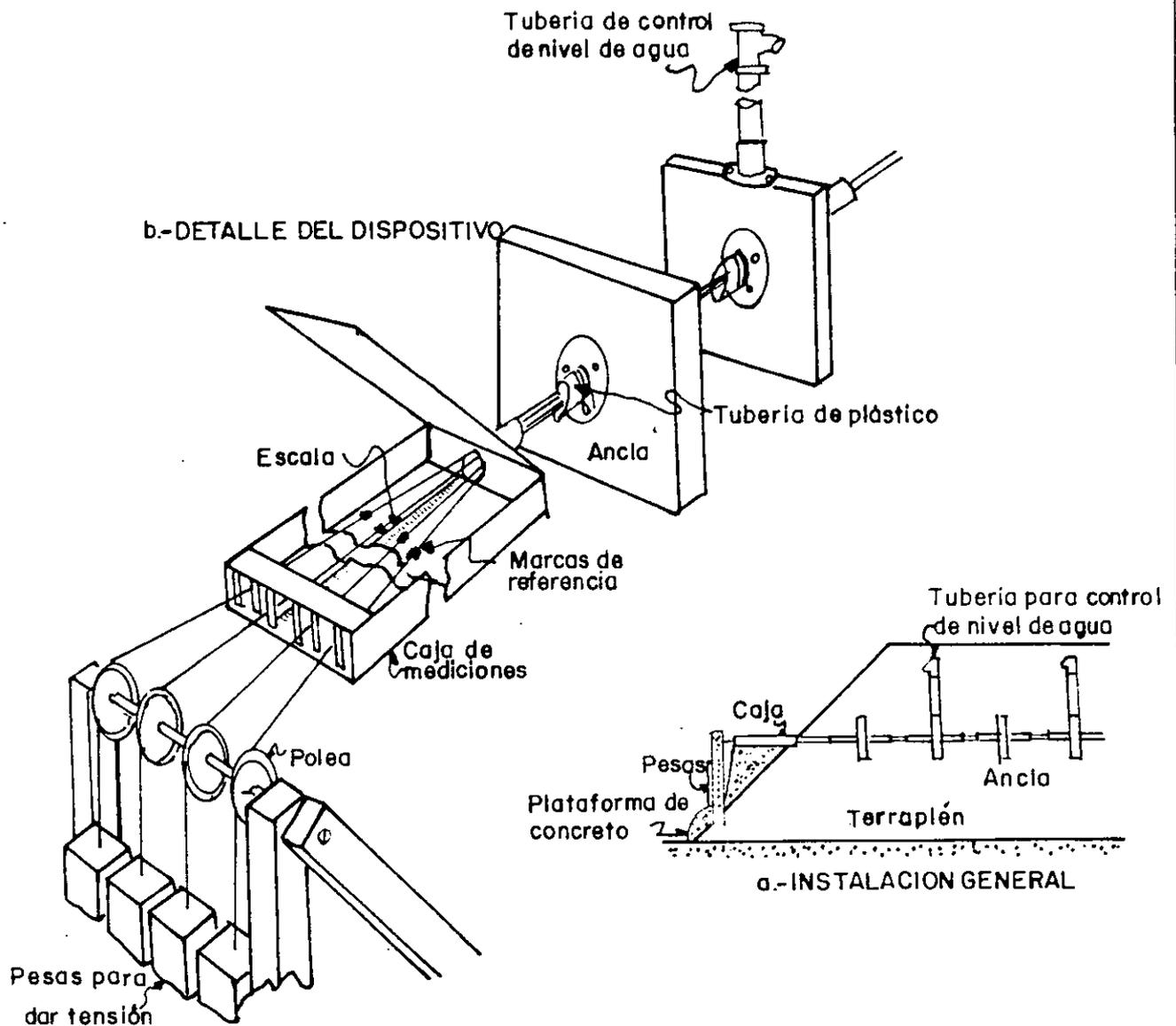


Fig. 16

PLACAS DE ASENTAMIENTOS

Existen diferentes alternativas para resolver un mismo problema. La decisión sobre cual es la más adecuada dependerá de criterios de disponibilidad técnicos y económicos. De esta manera tenemos a nuestra disposición las placas de asentamiento con las cuales podemos conocer los asentamientos ocurridos en un terraplén.

OPERACIÓN:

- 1) Se coloca una placa metálica sobre la superficie en la que se desee conocer el asentamiento o sobre la superficie del terreno natural antes de construir el terraplén o relleno y en el centro de la placa se fija un tubo o barra metálica en posición vertical.
- 2) Conforme va avanzando la construcción del terraplén se van agregando tramos verticales de tubo mediante coples.
- 3) Una vez concluido el terraplén los asentamientos pueden determinarse mediante una nivelación topográfica de la parte superior del tubo vertical.

APLICACIONES:

Instrumentación de terraplenes o rellenos de poca altura.

Figura No. 17

PLACA DE ASENTAMIENTOS

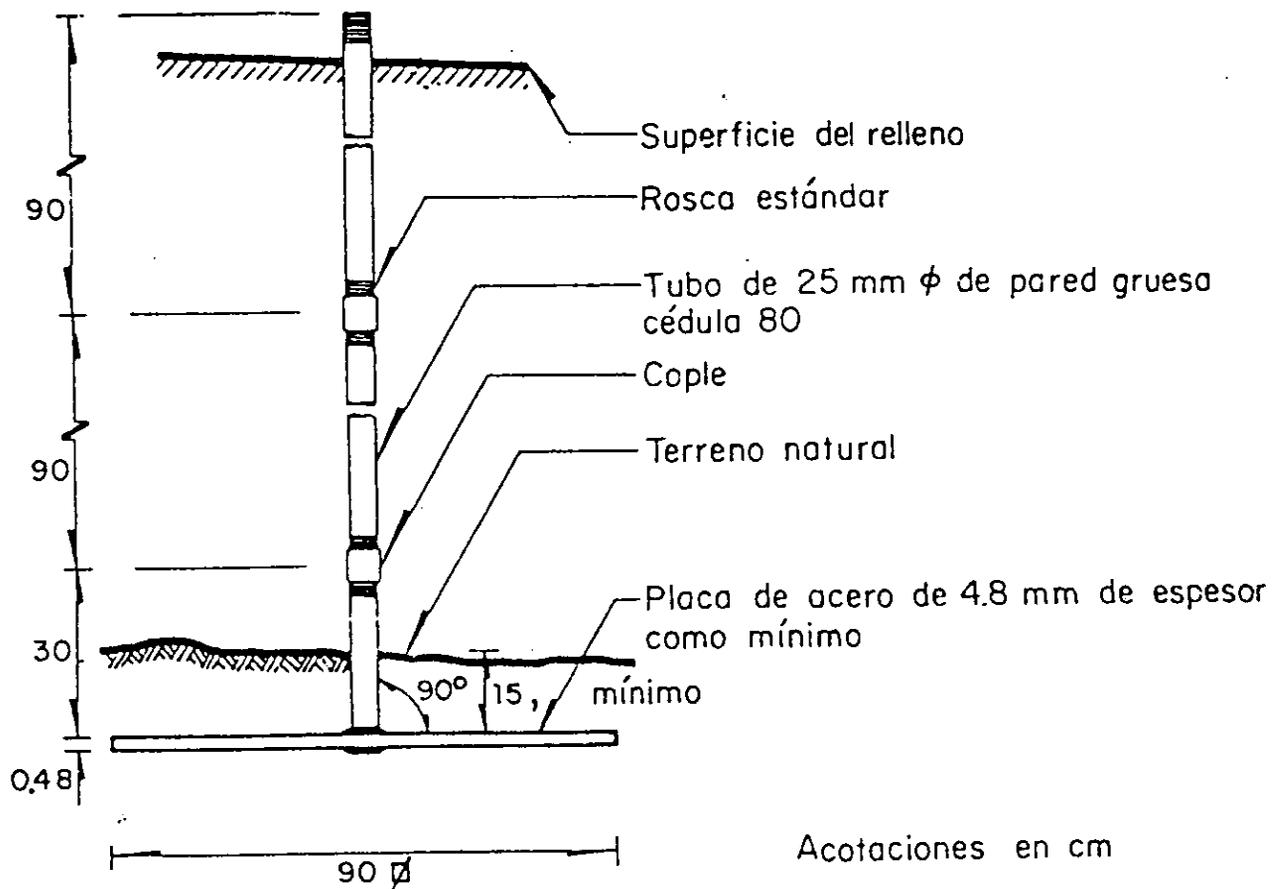


Fig. 17

CAPITULO IV

**MEDIDORES DE MOVIMIENTOS
HORIZONTALES**

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan los dispositivos que permiten conocer la magnitud de los movimientos horizontales. Tal como se mencionó en el capítulo anterior, varios de los dispositivos utilizados para medir movimientos verticales también están capacitados para medir movimientos horizontales.

INCLINOMETRO

Uno de los dispositivos más sofisticados para la detección de movimientos horizontales lo constituye el inclinómetro. Con él podemos no solamente detectar movimientos en la superficie del terreno sino que también en el interior de la masa de suelo.

Variando únicamente ciertos principios de medición existen diversos tipos de inclinómetros (Geoconsult, Instituto Geotécnico de Suecia, Plantema, etc.) pero el que tiene un uso más difundido en la actualidad lo constituye el inclinómetro Wilson.

El inclinómetro Wilson está básicamente conformado por: Una unidad sensible, una caja con los controles eléctricos, cable conector y una tubería ranurada en dos planos ortogonales entre sí que se coloca en el terreno. Todo el sistema se muestra en la figura.

OPERACIÓN:

- 1) Inicialmente la tubería ranurada se coloca en su lugar al estar construyéndose el terraplén o en una perforación realizada para tal efecto. La tubería debe quedar lo más vertical posible para a partir de este punto empezar a tomar mediciones.
- 2) La tubería originalmente vertical seguirá los movimientos del terreno conforme estos ocurran y ocupará su nueva posición deformada.
- 3) En estas condiciones se introduce la unidad sensible en la tubería que es capaz de detectar desviaciones de la vertical de un minuto de arco en forma confiable.
- 4) Las mediciones se realizan en dos planos perpendiculares entre sí de tal manera que podremos obtener la configuración de la deformación "en el espacio".
Un ejemplo de registro de campo así como su interpretación gráfica se muestran en la figura.

APLICACIONES:

Tiene gran aceptación como aparato de medición en presas de tierra, ataguías, excavaciones ademadas, muros, tablaestacas así como en aplicaciones especiales (medición de flexión en pilotes durante el hincado y de la verticalidad de muros colados in situ) y en diversos campos de la investigación.

INCLINOMETRO

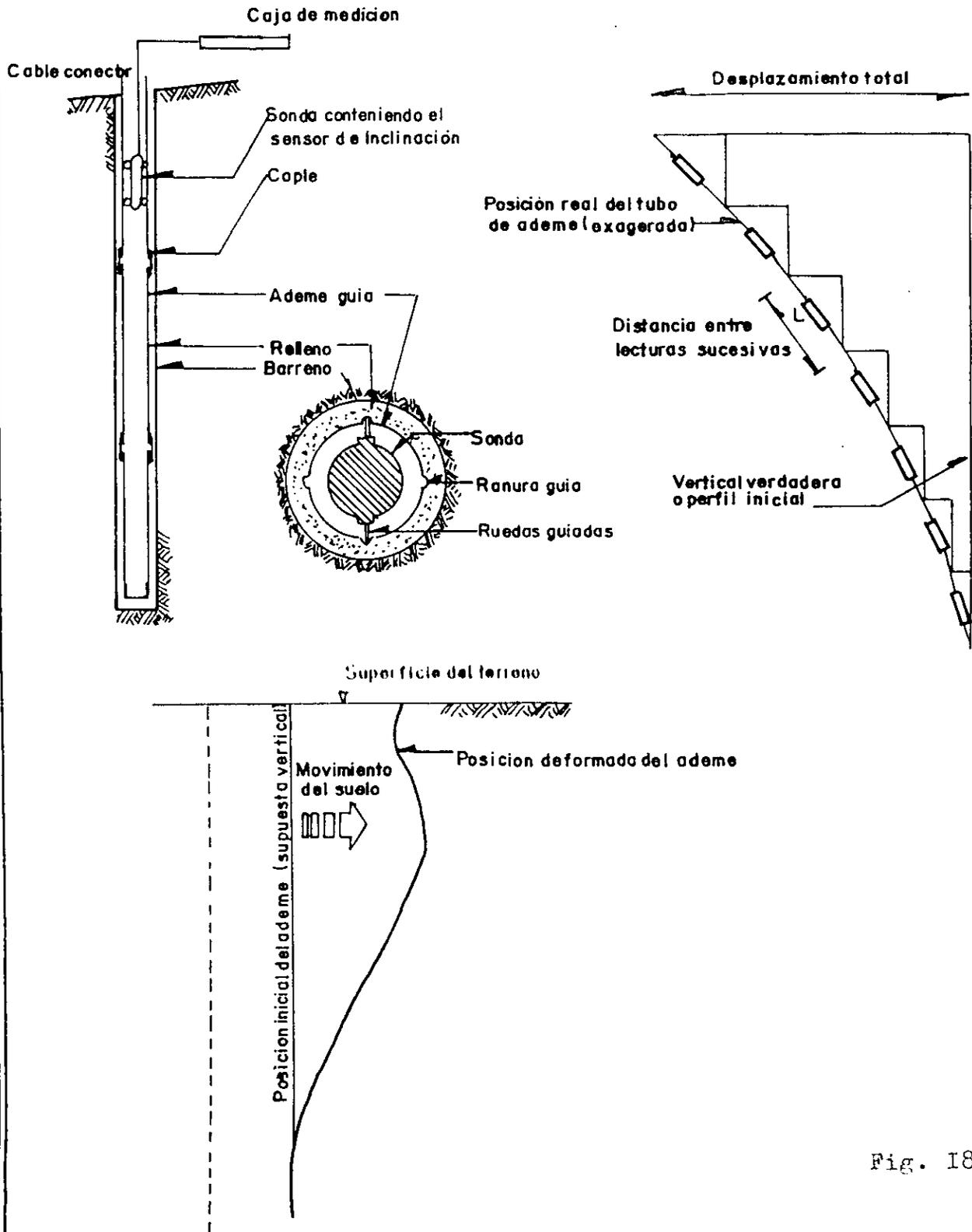


Fig. 18

DEFORMOMETRO TRANSVERSAL

El uso de este dispositivo se liga más a la instrumentación de túneles pues su uso en la instrumentación de terraplenes es limitado ya que las mediciones que interesa conocer en este caso son mucho mayores que las que el aparato es capaz de medir.

El instrumento consta de: tubería telescopiada de plástico, una consola de medición, alambre y unas piezas balanceadas de medición.

El sistema conformado así puede detectar movimientos de muy pequeña magnitud. De la misma manera, instalando las piezas balanceadas de medición en forma ortogonal podrá detectarse la configuración del movimiento "en el espacio".

OPERACIÓN:

1) Inicialmente se coloca la tubería telescopiada de manera que la boca del tubo en la superficie y el extremo más profundo queden perfectamente fijos.

2) Como parte del arreglo se coloca en el interior del tubo un alambre tensado, con un dispositivo que puede ser un resorte y cuya función es mantenerlo en su posición inicial.

3) En esta forma las horquillas colocadas espaciadamente dentro del tubo son capaces de detectar movimientos horizontales pequeños.

4) Por consiguiente si conocemos la magnitud del desplazamiento a diferentes profundidades podremos obtener entonces la configuración de la deformación en la línea vertical que forma el tubo.

5) Los desplazamientos verticales que el dispositivo puede además detectar, habrán de ser medidos con otro procedimiento (torpedo medidor de asentamientos, por ejemplo).

APLICACIONES:

Su uso se encuentra, en la instrumentación de túneles cuando se deseen conocer los desplazamientos por efecto de la propia excavación del túnel.

Figura No. 19

DEFORMOMETRO TRANSVERSAL

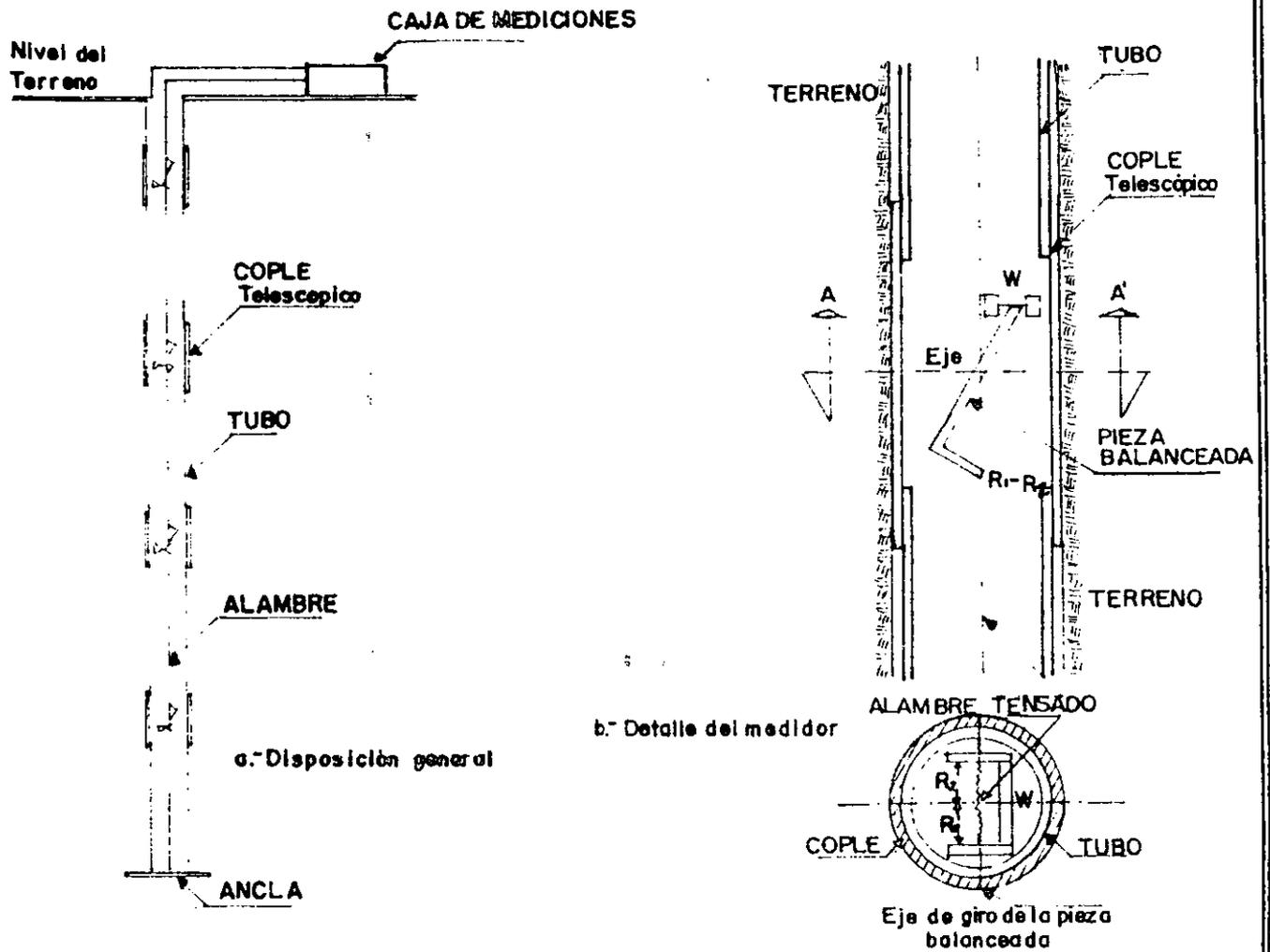


Fig. 19

EXTENSOMETRO

El dispositivo consta esencialmente de dos placas de anclaje que se colocan en los puntos entre los cuales se desea medir la deformación, una barra de acero protegida con tubo telescópico y un potenciómetro lineal sellado -que capta los cambios de distancia entre las placas de anclaje- y un registrador que se coloca en el exterior.

Con este aparato podemos conocer el cambio de distancia ocurrido entre dos puntos conocidos. Por ejemplo: (caras opuestas de un túnel o una excavación a cielo abierto, medición de deformaciones unitarias en el interior de presas de tierra, etc.

OPERACIÓN:

- 1) Inicialmente deberán definirse los puntos de medición entre los cuales habrán de conocerse las deformaciones.
- 2) Una vez definidos se colocarán las placas de anclaje en tales puntos con la correspondiente barra de acero y el medidor de deformaciones en su lugar.
- 3) Conforme transcurra el tiempo podrá entonces conocerse las deformaciones que el terreno sufra como consecuencia de la obra que se esté ejecutando y poder así tomar las medidas preventivas necesarias.
- 4) Como resultado de un programa de instrumentación con extensómetros pueden obtenerse los cambios de distancia ocurridos entre dos puntos.

APLICACIONES:

Útil en la instrumentación de túneles pues permite conocer posibles cambios en la sección del túnel y, por lo tanto, la posibilidad de colapso del mismo en cuyo caso podrán tomarse las medidas preventivas necesarias.

Figura No. 20

EXTENSOMETRO

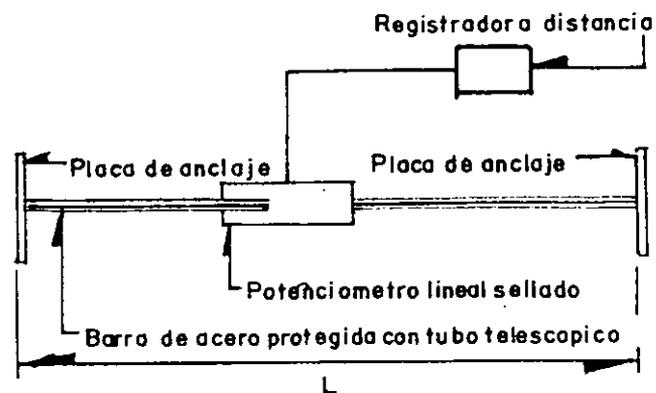


Fig. 20

DETECTORES DE FALLA DE CINTA

El dispositivo consta de una cinta de material plástico que tiene en toda su longitud dos bandas conductoras intercomunicadas de trecho en trecho por resistencias eléctricas conocidas; todo el conjunto semeja una escalera pegada sobre la tira de plástico. Por la parte superior e inferior, la cinta se comunica por cables a una caja registradora exterior, en la que pueden hacerse lecturas de la resistencia total del circuito. Cuatro de estas cintas se colocan pegadas a la superficie de un tubo de plástico.

OPERACIÓN:

- 1) El dispositivo inicialmente se encuentra en posición vertical con su correspondiente lectura de resistencia.
- 2) Al deformarse la tubería por efecto de los desplazamientos de la masa de suelo la cinta se rompe ocurriendo al mismo tiempo una drástica variación de la resistencia.
- 3) Los fabricantes garantizan que con esta información (resistencia inicial y resistencia final) puede (n) definirse la(s) superficie(s) potenciales de falla.

APLICACIONES:

Los fabricantes los recomiendan para detectar desplazamientos laterales a cualquier estado de falla por deslizamiento de tierras.
Excavaciones a cielo abierto, estabilidad de taludes.

Figura No. 21

DETECTORES DE FALLA DE CINTA

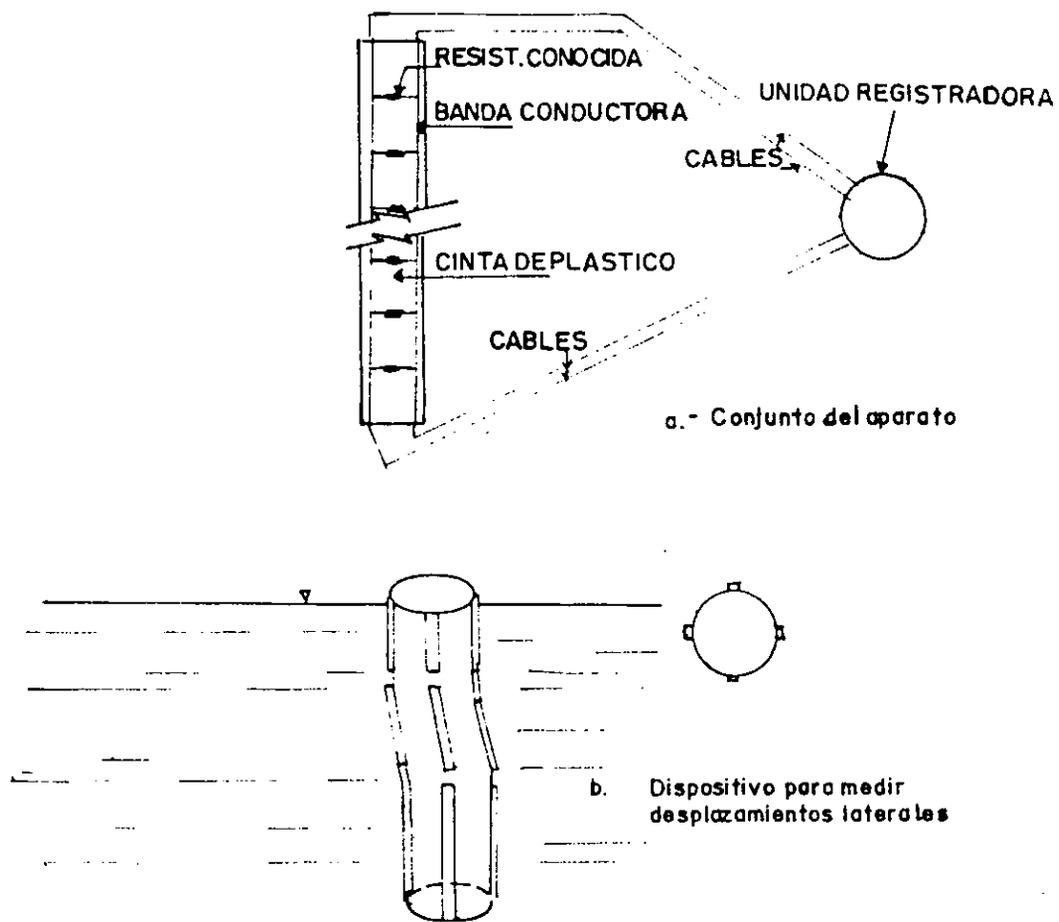


Fig. 2I

DISPOSITIVO PARA MEDICIÓN DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES EN UN TERRAPLÉN

El aparato consiste de una tubería, provista de extensores en cruz que sirven para anclarla en el material del terraplén. De esta forma se pueden seguir los movimientos del mismo gracias a un conjunto de juntas con coples telescópicos. Todo el sistema de tuberías debe colocarse durante la construcción del terraplén.

OPERACIÓN

1) Todo el sistema de tuberías telescopiable debe colocarse durante la construcción del terraplén en la posición respectiva como muestra la figura.

2) Una vez que la tubería ha sido colocada en su lugar, la posición relativa de cada uno de los coples podrá determinarse por alguno de los siguientes métodos:

i) Mediante un sistema de cuerda vibrante.

ii) Con el auxilio de un dispositivo similar al inclinómetro Wilson que puede detectar la posición de los coples y por consiguiente la traza de la tubería deformada.

3) Los resultados pueden, después de ser procesados, proporcionar la magnitud de los desplazamientos horizontales, desplazamientos verticales así como la traza de la tubería deformada.

APLICACIONES:

Su aplicación principal está en la instrumentación de terraplenes.

Figura No. 22

DISPOSITIVO PARA MEDICION DE MOVIMIENTOS HORIZONTALES EN UN TERRAPLEN

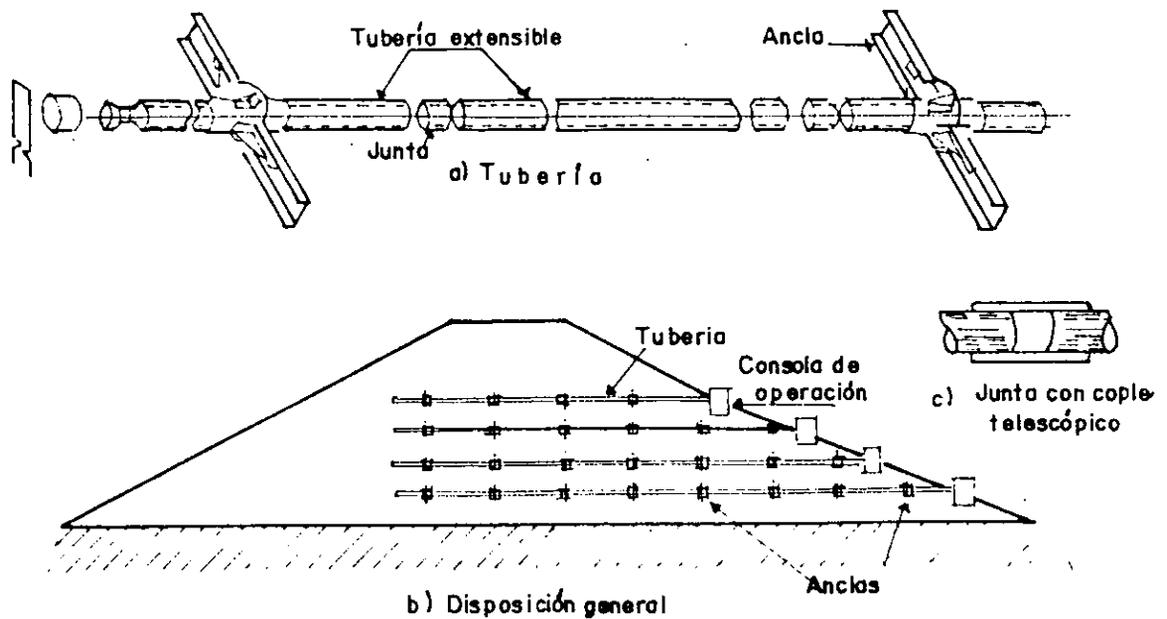


Fig. 22

TÉCNICA CALIFORNIANA

Mediante esta técnica pueden conocerse los desplazamientos horizontales y verticales ocurridos en el interior de un terraplén en una cierta superficie a una determinada altura. Su utilidad se liga directamente a la instrumentación de terraplenes.

Como puede observarse en la figura el arreglo consta de unas anclas que se colocan en el interior del terraplén y que su movimiento detectará los movimientos horizontales del terraplén, tubería para control de nivel de agua que medirá los movimientos verticales, alambres a tensión que concurren a una caja de medición, la propia caja de medición y unas pesas para dar tensión al alambre.

OPERACIÓN:

1) Cuando esté construyéndose el terraplén deberá definirse la altura a la cual se desee conocer la magnitud de las deformaciones pues el conjunto sólo es capaz de detectar movimientos en una cierta altura de medición.

2) Una vez definida la altura a la cual se desean conocer las deformaciones se colocarán las anclas como se muestra en la figura. Cada ancla está conectada a un solo cable a tensión y su movimiento podrá entonces ser detectado en la caja de medición. Al mismo tiempo deben colocarse los niveles de agua en su posición los cuales podrán detectar los movimientos verticales.

3) Cuando haya sido colocado el sistema en su posición podrá entonces construirse la caja de medición que, como puede verse en la figura, es una caja de lámina montada sobre una base de concreto.

La caja de medición recibe todo el alambrado que se tensa con unas pesas y lo distribuye hacia unos separadores que evitan que el alambrado se revuelva. Una escala de medición podrá entonces detectar cualquier movimiento de las marcas de referencia que se coloquen en el alambrado.

APLICACIONES:

Su uso se liga a la instrumentación de terraplenes.

Figura No. 23

TECNICA CALIFORNIANA

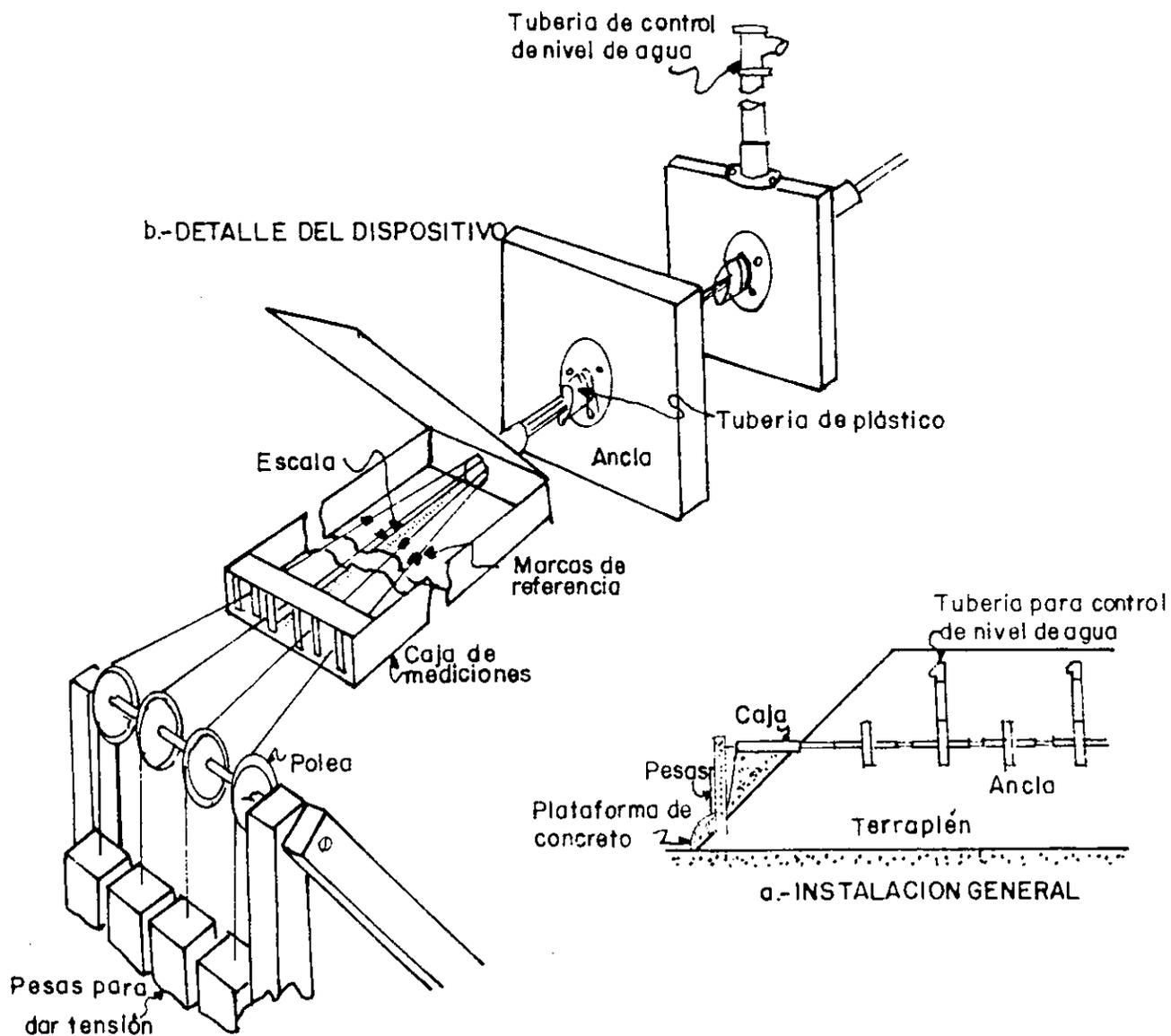


Fig. 23

CAPITULO V

MEDIDORES DEL ESTADO DE PRESIONES EN EL AGUA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza una revisión de los instrumentos que permiten conocer la magnitud de las presiones del agua en la masa de suelo. Comúnmente son conocidos como piezómetros y se instalan durante la construcción de la obra que se vaya a instrumentar.

PIEZOMETRO ABIERTO TIPO CASAGRANDE

Este tipo de piezómetro consta de una celda porosa, y la unidad sensible (piezómetro). El arreglo se encuentra en el fondo de un barreno, el espacio entre la celda y las paredes del barreno está lleno de arena y la parte superior del arreglo se tapa con un sello de bentonita. El fondo de la perforación se encuentra relleno con una mezcla de arena y gravilla. Todo el arreglo se conecta hasta la superficie con un tubo de PVC.

OPERACIÓN:

- 1) Inicialmente se realiza una perforación hasta los niveles de proyecto. El método de perforación no debe hacer uso de lodos para la estabilización de paredes ya que este tapanía por completo las cavidades a través de las cuales circula el agua.
- 2) Se coloca en el fondo del barreno un colchón de arena y gravilla sobre el cual descansará la celda porosa así como el arreglo que llega hasta la superficie.
- 3) En estas condiciones el agua del interior de la masa de suelo se filtrará a través de la celda porosa y ascenderá hasta una altura tal que equilibre la presión que se ejerce en el nivel de proyecto.
- 4) El nivel del agua podrá entonces medirse desde el exterior por medio de una sonda con alambre eléctrico que se introduce en el tubo y que al hacer contacto con la superficie del agua indica la posición del agua correspondiente.

APLICACIONES:

Se utiliza en programas de instrumentación en suelos con permeabilidad alta, presas y terraplenes.

Instrumentación para conocer la magnitud de la explotación de recursos acuíferos.

Figura No. 24

PIEZOMETRO CASAGRANDE

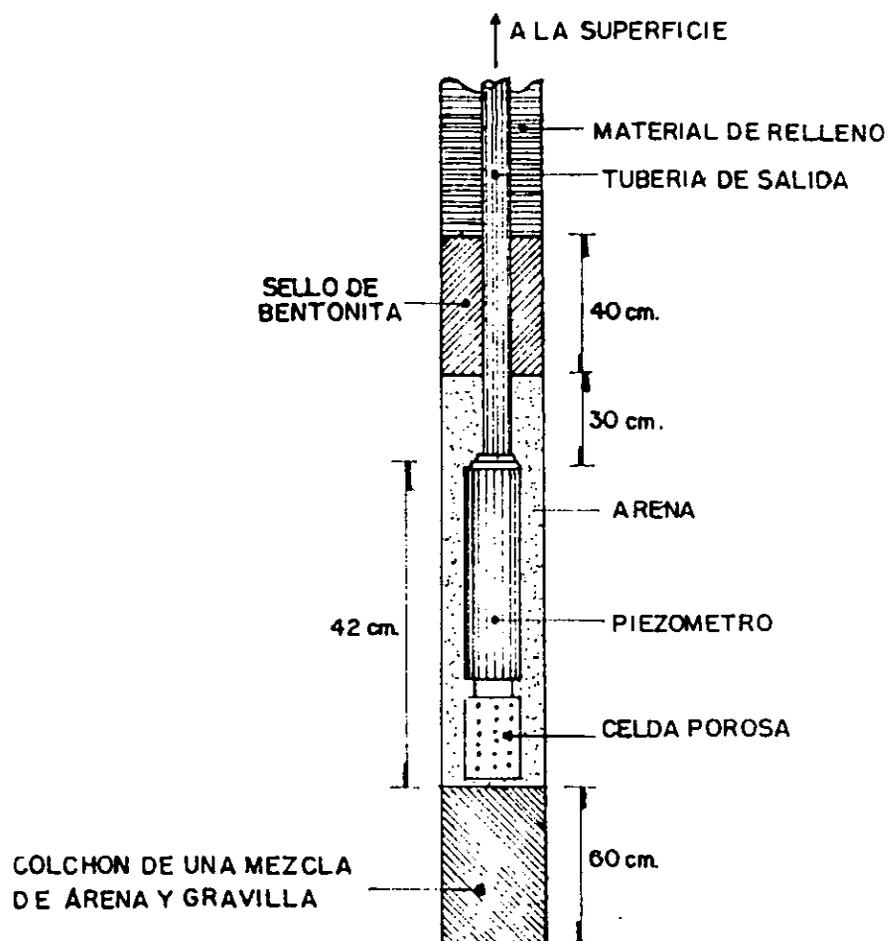


Fig. 24

PIEZOMETRO CERRADO TIPO NEUMÁTICO

Este dispositivo utiliza el mismo principio de funcionamiento que el piezómetro Casagrande. Una celda porosa recibe la presión del agua en el interior de la masa de suelo y se mide, en este caso, con un manómetro.

El arreglo consta de una celda porosa, una piedra porosa, una membrana plástica flexible, un tanque de aire a presión, un manómetro y las correspondientes tuberías, conexiones y accesorios generales.

OPERACIÓN:

- 1) Al colocar en su posición el piezómetro el agua entrará en la celda porosa y establecerá en ella su estado de presiones.
- 2) La presión existente en esta celda oprimirá hacia arriba la piedra porosa del elemento y como consecuencia la membrana plástica flexible se deformará.
- 3) En estas condiciones podremos ahora conocer la presión ejercida sobre la membrana flexible introduciendo aire a presión por las tuberías plásticas de entrada hasta la unidad sensible.
- 4) La presión necesaria para que la membrana recobre su posición original y, por consiguiente deje pasar el aire hacia la tubería de salida será muy parecida a la que el agua tiene en la celda porosa.
- 5) Realizando ciertas correcciones la presión será así detectada por el manómetro instalado en la consola de medición.

APLICACIONES:

Se usa en la instrumentación de suelos poco permeables.

Figura No. 25

PIEZOMETRO NEUMATICO

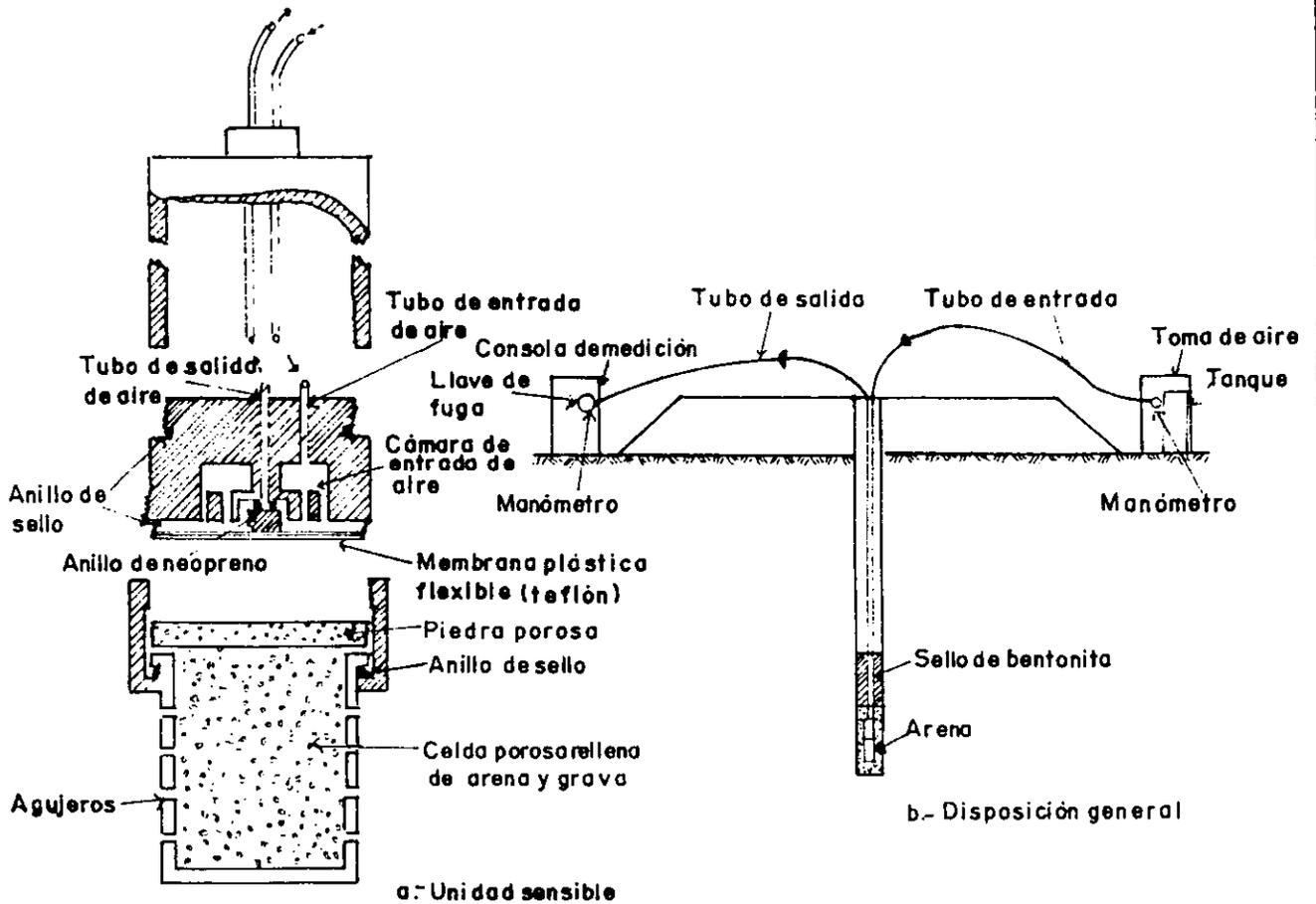


Fig. 25

PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE

En este caso tenemos la correspondiente celda porosa a través de la cual el agua presiona hacia arriba una membrana flexible. La magnitud de la deformación de la membrana como consecuencia de la presión ejercida puede ser detectada y consecuentemente conocer por calibración previa la magnitud de la presión ejercida a través de una cuerda vibrante que se hace oscilar mediante un electroimán.

OPERACIÓN:

- 1) Cuando la membrana se deforma por efecto de la presión ejercida por la celda porosa, la longitud de la cuerda vibrante se modifica así como su frecuencia natural de vibración.
- 2) En el exterior existe una consola de medición con una cuerda vibrante similar a la del piezómetro.
- 3) En estas condiciones el objetivo será igualar la frecuencia de vibración que tiene la cuerda vibrante en el interior del piezómetro con la que se encuentra en la consola de medición.
- 4) El valor obtenido de la frecuencia de vibración en la cuerda de la consola (mismo valor que tendrá en el piezómetro) puede entonces traducirse a una lectura de presión mediante una calibración previa de laboratorio.

APLICACIONES:

Su uso está ligado a instrumentación en suelos poco permeables como materiales arcillosos y de alta plasticidad.

Útil cuando se hagan mediciones dinámicas.

Figura No. 26

PIEZOMETRO DE CUERDA VIBRANTE

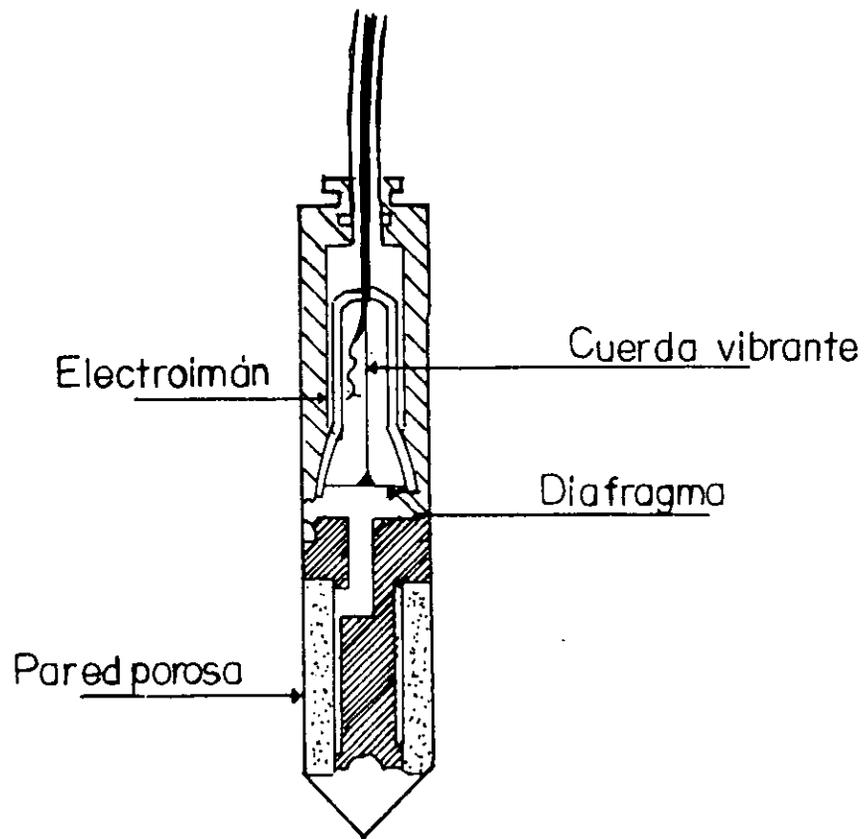


Fig. 26

PIEZOMETRO ELÉCTRICO

Variando únicamente el principio de medición de deformaciones de la unidad sensible se utilizan en este caso medidores eléctricos de deformación para captar las variaciones de presión.

OPERACIÓN:

- 1) La membrana flexible se deforma por efecto de la presión ejercida por la piedra porosa.
- 2) Los medidores eléctricos de deformación (que son pequeñas celdas con un filamento metálico cuya resistencia cambia con la longitud) se disponen sobre la membrana captadora de presión. De esta manera detectan entonces la magnitud de la deformación y, por consiguiente, de la presión ejercida.

APLICACIONES:

Instrumentación en suelos poco permeables como materiales arcillosos y de alta plasticidad.

Útil cuando se hagan mediciones dinámicas.

Figura No. 27

PIEZOMETRO ELECTRICO

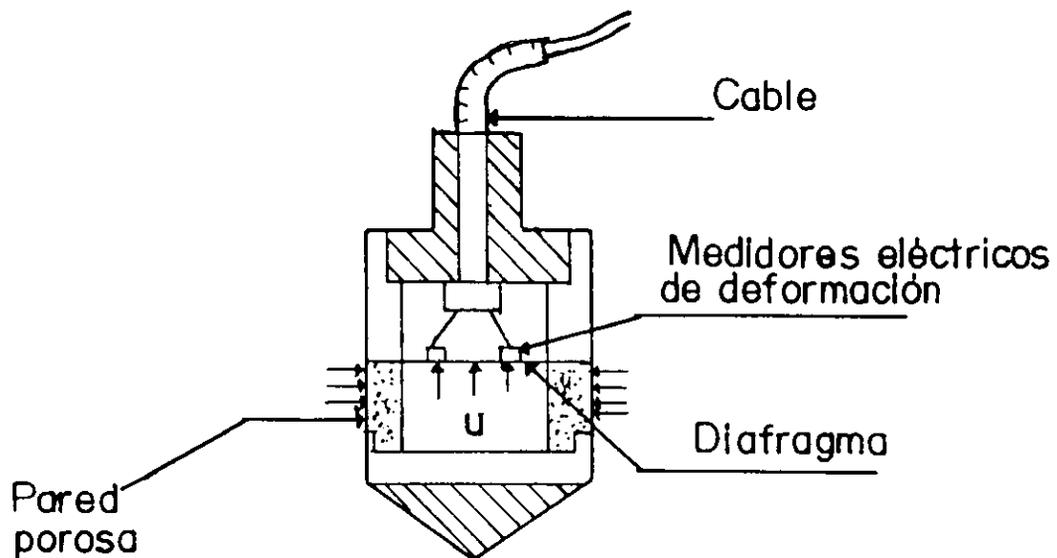


Fig. 27

PIEZOMETRO L.P.C.

En esencia la particularidad de este tipo de piezómetro es el hecho de que tiene la capacidad de funcionar en suelos poco permeables así como en aquellos en los cuales la permeabilidad sea alta. Esto representa una gran ventaja pues podemos tener dos dispositivos en uno.

OPERACIÓN:

1) Una vez colocado el piezómetro en el lugar de medición, el agua se filtrará a través de la pared porosa llenando el espacio interior y ascendiendo hasta una cierta altura en el tubo mostrado.

2) En estas condiciones podremos entonces conocer la altura hasta la cual asciende el agua mediante un ohmímetro o bien instalando en el extremo un manómetro. Este arreglo podrá utilizarse siempre y cuando el suelo sea lo suficientemente permeable dando lugar a tiempos de retardo relativamente cortos.

3) El segundo arreglo se usa para suelos de permeabilidad baja en los cuales los tiempos de retardo sean altos.

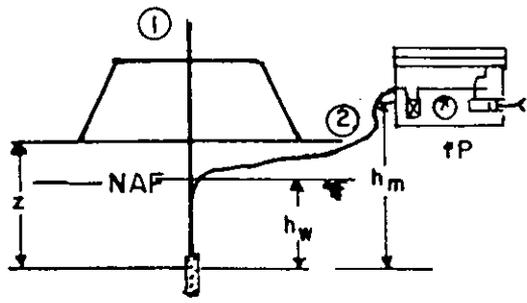
De la misma manera el agua penetra a través de la celda porosa y llena el tubo. En estas condiciones los cambios de presión podrán ser detectados mediante el arreglo mostrado cualquiera que sea la variación sufrida.

APLICACIONES:

Instrumentación de suelos poco permeables además de aquellos cuya permeabilidad sea alta.

Figura No. 28

PIEZOMETRO L.P.C.



DISPOSICION GENERAL

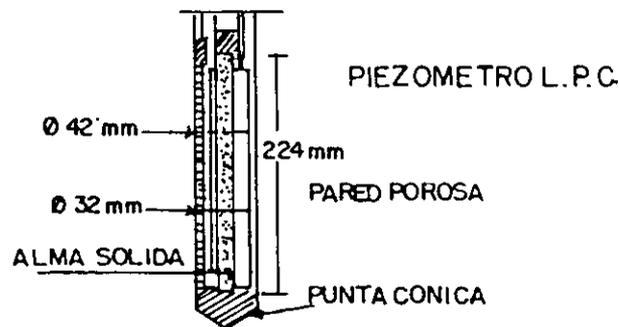
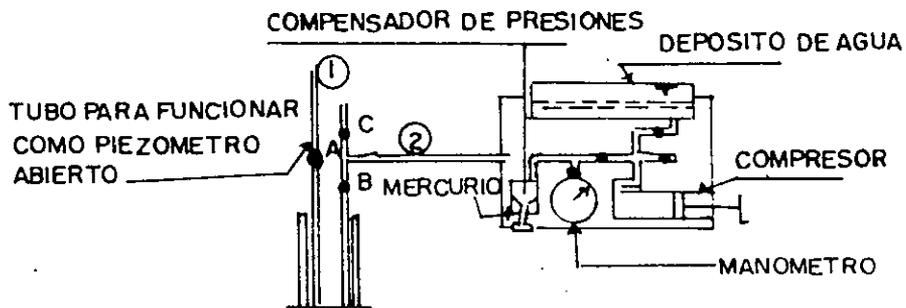


Fig. 28

CAPITULO VI

MEDIDORES DE TEMPERATURA

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se analizan los dispositivos que permiten conocer la magnitud de la temperatura. Su uso se da en obras muy especializadas como excavaciones de soporte mediante el congelamiento del suelo o al estudiar la respuesta del suelo a altas temperaturas durante estudios para disposición subterránea de desechos nucleares. Se da un uso más extendido en laboratorio.

TERMÓMETRO DE MERCURIO

Se trata del conocido termómetro de mercurio. Consta de un tubo de vidrio macizo en cuyo interior se encuentra un bulbo lleno de mercurio. El bulbo se encuentra conectado a un tubo capilar. Al modificarse la temperatura el mercurio asciende o desciende por el tubo capilar debido a su expansión volumétrica. Una escala graduada señala la magnitud de la temperatura.

OPERACIÓN:

- 1) Se coloca el termómetro en el lugar que se quiera conocer la temperatura.
- 2) Al modificarse la temperatura el mercurio del bulbo ascenderá o descenderá por el tubo capilar.
- 3) La temperatura puede leerse en una escala graduada.

APLICACIONES:

En los casos en que la temperatura del concreto deba controlarse, excavaciones por congelación del terreno, laboratorio.

Figura No. 29

TERMOMETRO DE MERCURIO

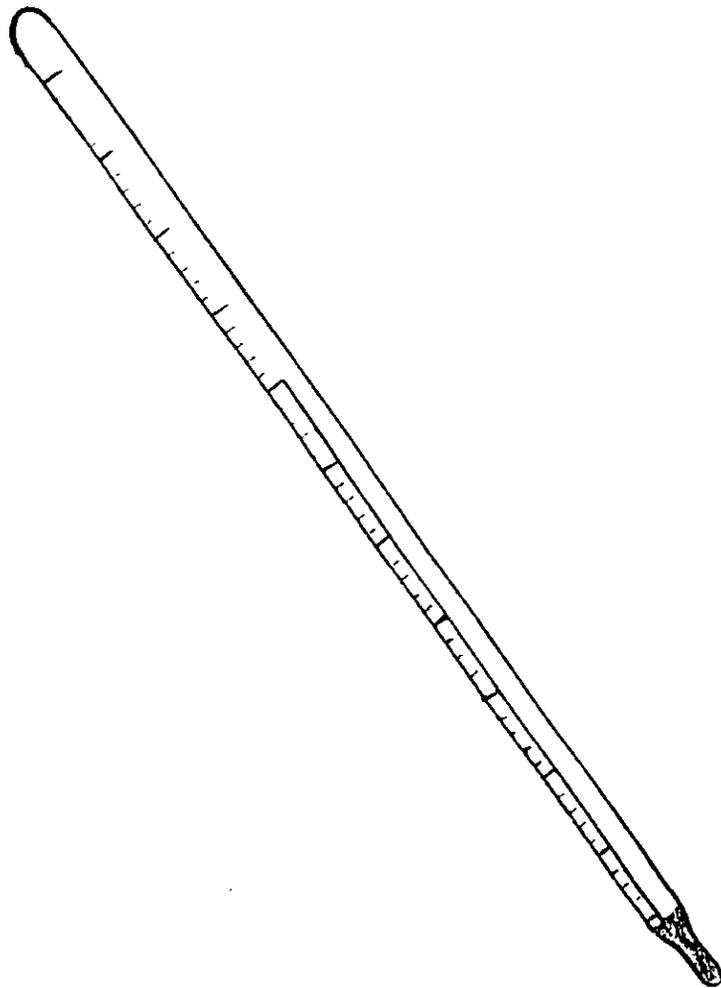


Fig. 29

TERMÓMETRO BIMETALICO

Consta esencialmente de dos tiras de diferentes metales que están conectadas espalda con espalda. Los diferentes coeficientes de expansión térmica causan que la tira se curve cuando se enfría o se calienta. La tira está normalmente enredada en espiral, de manera que los cambios de temperatura causan que la espiral se enrolle o desenrolle y mueva un apuntador sobre una escala circular.

OPERACIÓN:

- 1) Se coloca el dispositivo en el lugar que se quiera conocer la temperatura.
- 2) Al modificarse la temperatura la tira de que consta el dispositivo se deforma.
- 3) Las lecturas pueden tomarse en una escala graduada.

APLICACIONES:

Su aplicación se da principalmente en laboratorio.

Figura No. 30

TERMOMETRO BIMETALICO

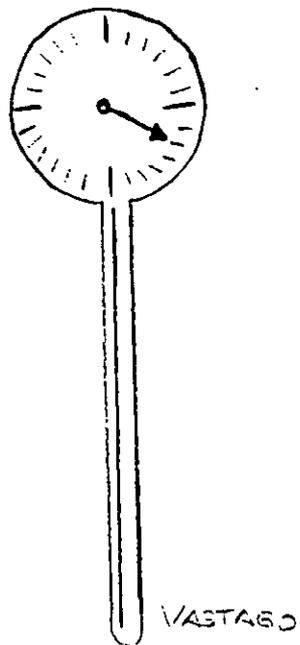


Fig. 30

CAPITULO VII

**OTROS TIPOS DE
DISPOSITIVOS**

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se realiza un breve estudio de otros dispositivos utilizados en el área de Ingeniería Civil. Cabe mencionar que la cantidad y variedad de dispositivos es bastante amplia, probablemente cientos de aparatos. Además debido a los desarrollos en la técnica electrónica cada vez aparecen nuevos diseños.

SISMOSCOPIO

Este dispositivo consiste en un péndulo capaz de moverse en cualquier dirección horizontal. En la parte inferior tiene un vidrio esférico ahumado. Sobre este el péndulo graba por medio de una aguja los movimientos que induce un sismo. Estos elementos están colocados en un marco rígido provisto de tornillos para nivelación. El conjunto está protegido con una campana con ventanas transparentes laterales para dar acceso visual al registro.

Cuando el instrumento registra un evento sísmico, el vidrio ahumado se retira y se recubre con una laca aplicada en forma de rocío, para hacerlo permanente.

OPERACIÓN:

- 1) Inicialmente el aparato se coloca en el lugar donde habrá de realizar las mediciones.
- 2) Al ocurrir un sismo la aguja del péndulo graba en el vidrio ahumado los movimientos ocasionados por éste.
- 3) Una vez registrado el movimiento sísmico, el vidrio ahumado se retira y se recubre con una laca aplicada en forma de rocío para hacerla permanente.

APLICACIONES:

Para registrar movimientos sísmicos.

Figura No. 31

SISMOSCOPIO

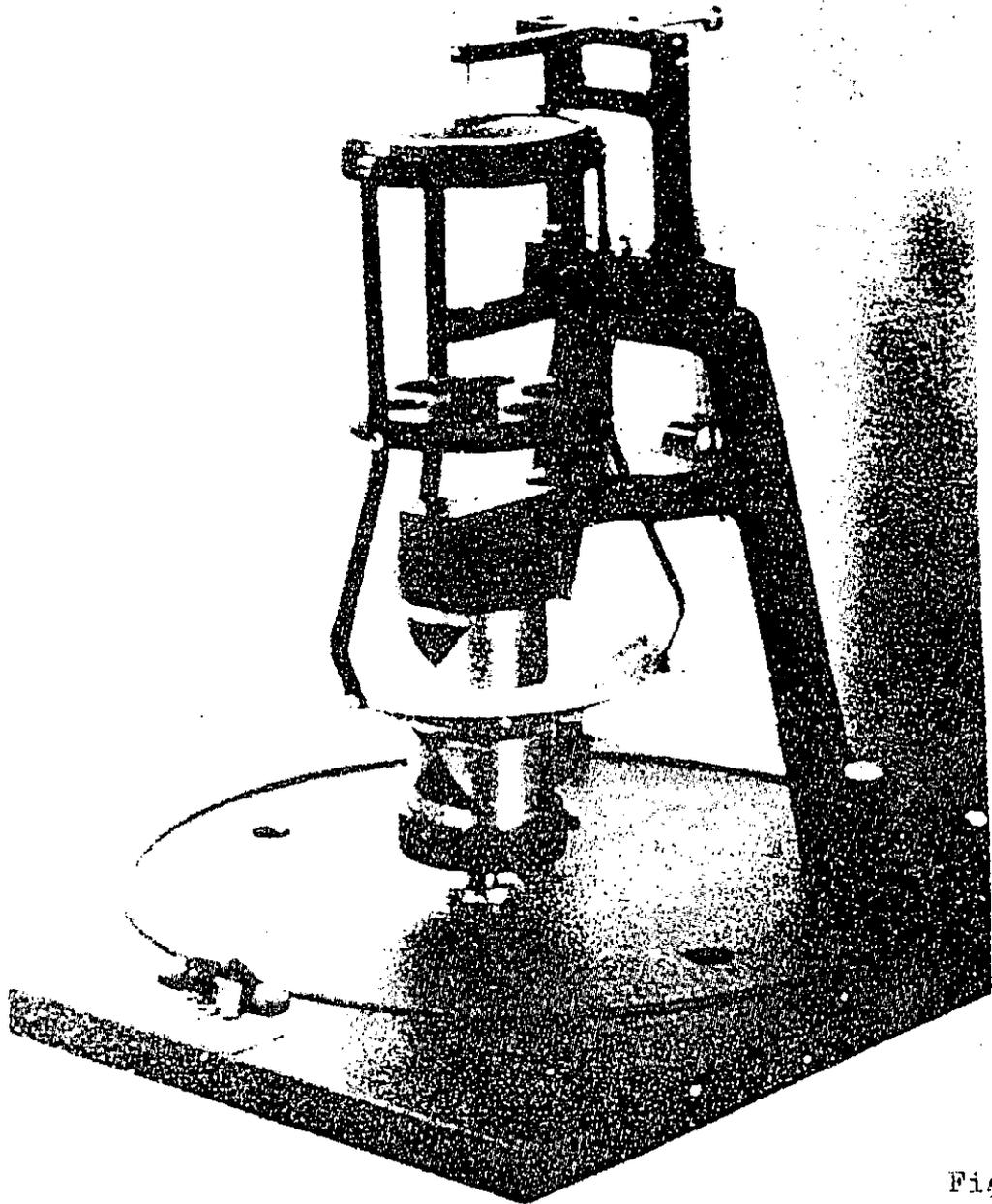


Fig. 3I

ESTRATOSCOPIO

Es un dispositivo diseñado especialmente para observar el interior de barrenos así como obtener fotografías de su interior. El aparato está formado por un sistema óptico de baja resolución con una retícula calibrada y una fuente de luz montados en un tubo telescópico de 5.0 cm. de diámetro y una longitud máxima de expansión de 7 m.. El interior se ilumina por medio de una fuente de luz reflejada por dos prismas. La información que se obtiene se puede registrar en una cámara fotográfica colocada en el ocular, la fotografía obtenida es de baja resolución.

OPERACIÓN:

- 1) Se determina el barreno cuyo interior se desea conocer.
- 2) Se introduce el estratoscopio hasta la profundidad que se desea conocer.
- 3) Se toma la fotografía correspondiente.
- 4) Se realiza la interpretación de resultados.

APLICACIONES:

Su uso se da principalmente en estudios geológicos.

Figura No. 32

ESTRATOSCOPIO

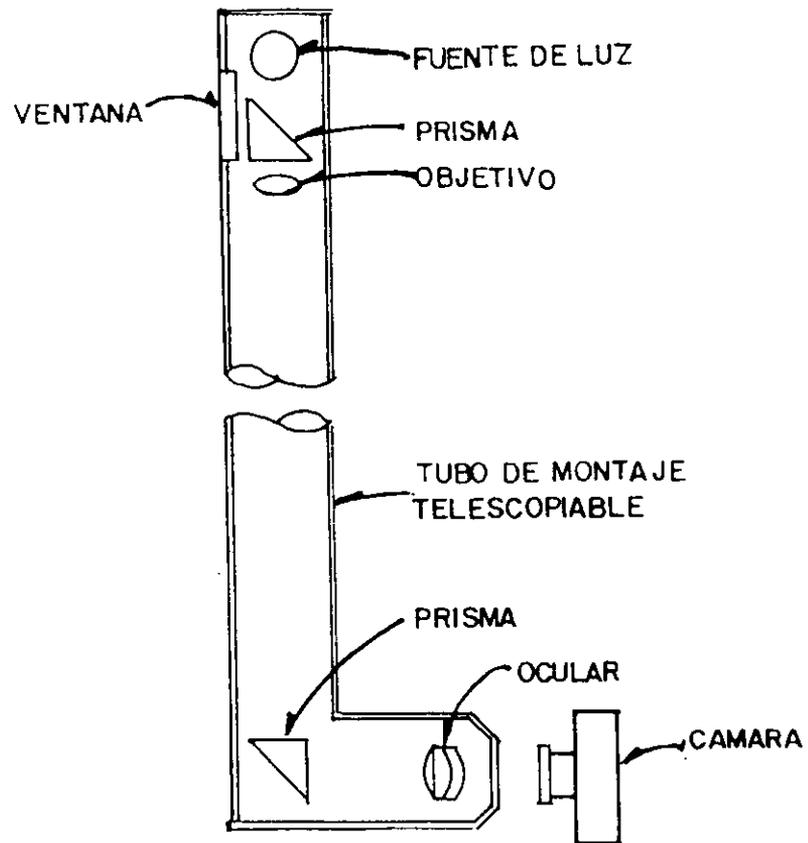


Fig. 32

CÁMARA FOTOGRÁFICA

En una sonda cilíndrica de 5 cm. de diámetro exterior están montados, una cámara de distancia focal fija para tomar hasta 200 fotografías, tiene una fuente de luz que ilumina la pared del barreno a través de una ventana cilíndrica; hay también un espejo cónico con eje vertical en el que se refleja la imagen que fotografía la cámara. Tiene también incorporados una brújula y un nivel que simultáneamente fotografía la cámara.

La sonda se controla desde el exterior con un dispositivo de sincronización que permite obtener fotografías a cada 3 cm. de profundidad.

OPERACIÓN:

- 1) Se determina el barreno cuyo interior se desea conocer.
- 2) Se introduce el estratoscopio hasta la profundidad que se desea conocer.
- 3) Se toma la fotografía correspondiente.
- 4) Se realiza la interpretación de resultados.

APLICACIONES:

Su uso se da principalmente en estudios geológicos.

Figura No. 33

CAMARA FOTOGRAFICA



Fig. 33

MEDIDORES DE FILTRACIONES

Los sistemas disponibles para la medición de filtraciones pueden clasificarse fundamentalmente en dos tipos:

- Medidores de volumen.
- Medidores de gasto

MEDIDORES DE VOLUMEN

En este caso se trata esencialmente de un recipiente o tanque. El tanque abierto se llena hasta una profundidad fija y se vacía, repitiendo este ciclo varias veces. Aunque este dispositivo no es tan preciso debido a que se ve afectado por efectos de temperatura pueden obtenerse precisiones del orden de $\pm 1\%$.

MEDIDORES DE GASTO

El dispositivo que más se utiliza para medir el gasto es el cimacio que es construido a través del conducto del flujo. Los cimacios se pueden clasificar como de cresta ancha y de cresta angosta, siendo estos últimos los que se utilizan en la determinación del caudal de filtraciones.

Para la medición precisa de gastos pequeños se utiliza el vertedor de cresta ancha que es un vertedor triangular.

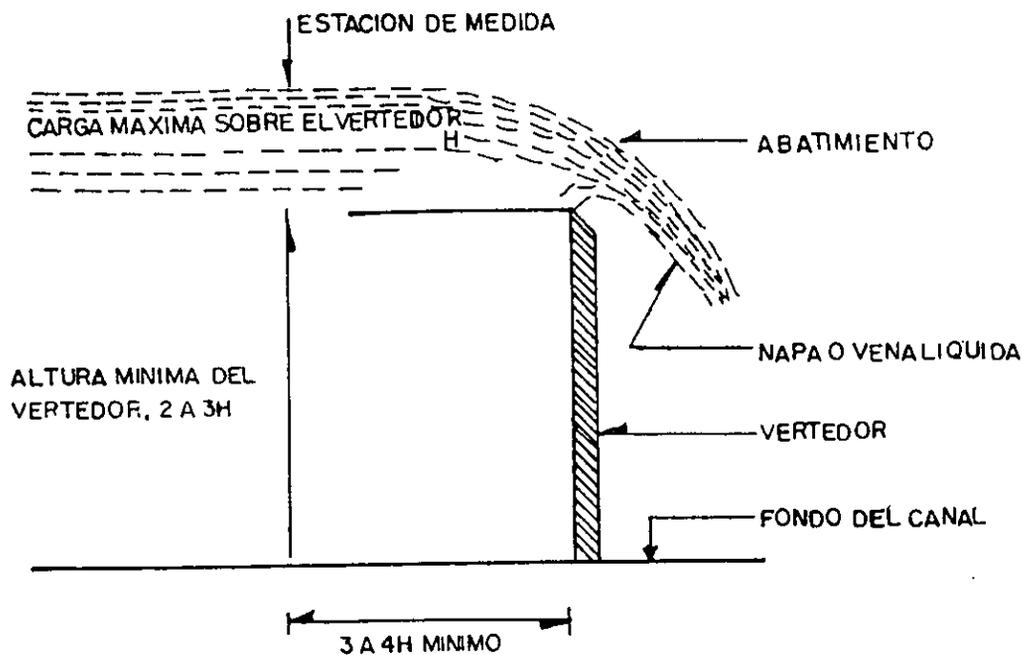
APLICACIONES:

Medidores de volumen

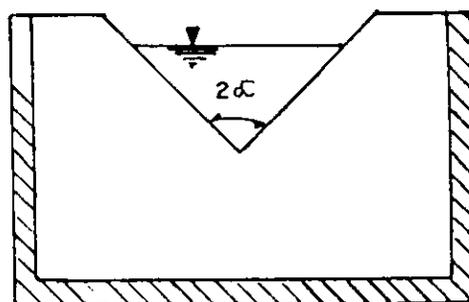
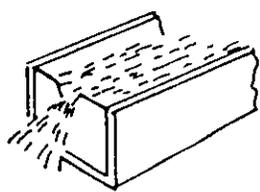
Medidores de gasto

Conocer la magnitud de filtraciones en presas.

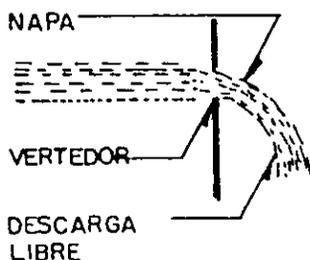
Figura No. 34



MEDIDORES DE FILTRACIONES



VISTA FRONTAL



VERTEDOR TRIANGULAR

Fig. 34

CÁMARA DE TELEVISIÓN

Este dispositivo nos permite observar el interior de las paredes de un barreno con todas las ventajas que ello representa.

La sonda de observación es un tubo de 5 cm. de diámetro que tiene una cámara de televisión que gira en el eje de la sonda con un motor síncrono, puede observar las paredes del barreno con lentes cuyo ángulo de visión es hasta 80°; tiene también una brújula y un servoacelerómetro para registrar la orientación y la inclinación de la observación. El operador de esta manera puede observar las paredes del barreno y elegir los puntos de mayor interés. Con este instrumento se pueden identificar las rocas y sus discontinuidades.

OPERACIÓN:

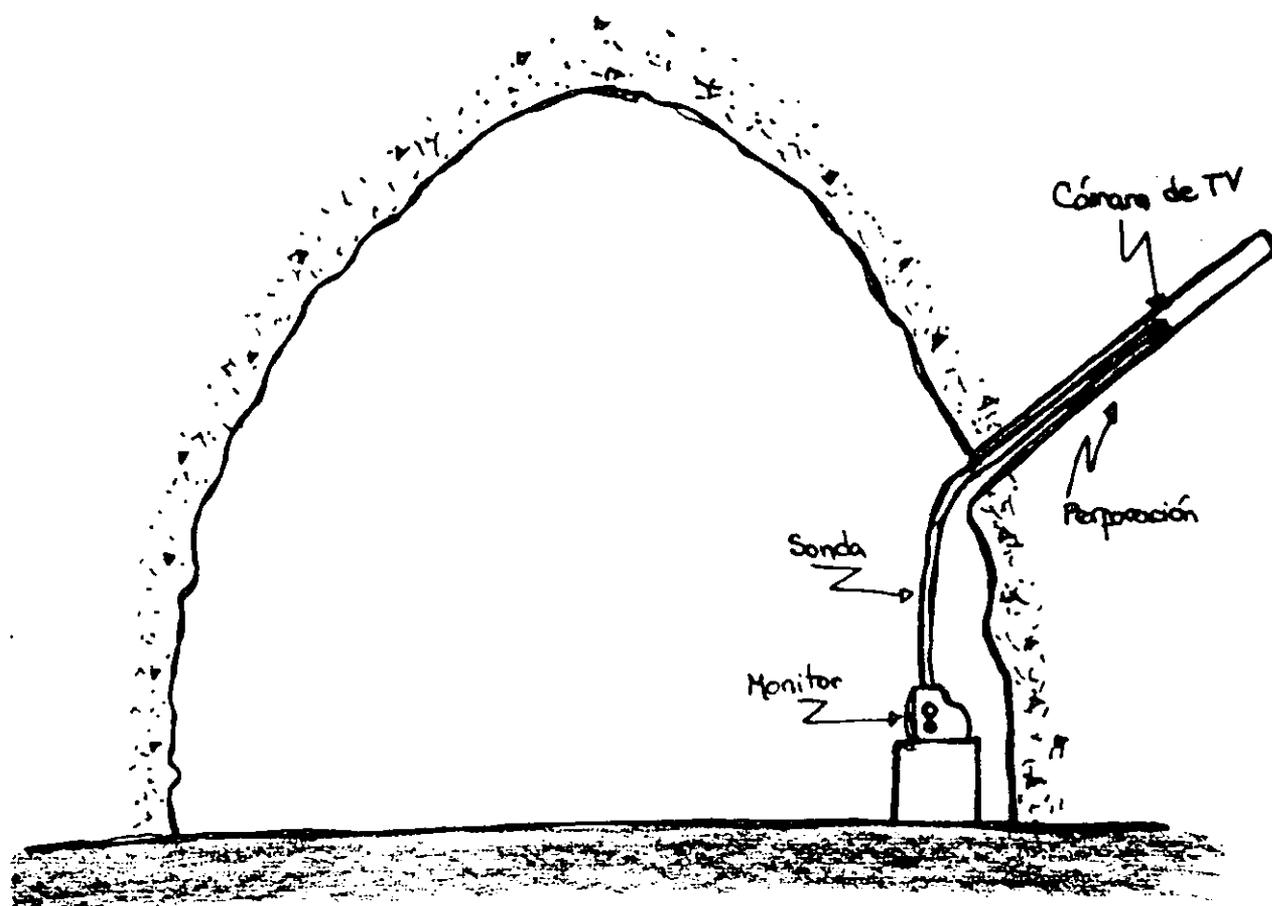
- 1) Se determina el barreno cuyo interior se desea conocer.
- 2) Se introduce la cámara de televisión hasta la profundidad que se desea conocer.
- 3) Se toma la observación correspondiente.
- 4) Se realiza la interpretación de resultados.

APLICACIONES:

Su uso se da principalmente en estudios geológicos.

Figura No. 35

CAMARA DE TELEVISION



ACELEROGRAFO

El acelerógrafo es un instrumento electrónico cuya función es registrar la magnitud de la aceleración del suelo cuando se presenta un sismo. No es un aparato que funcione de forma continua sino que al presentarse un movimiento telúrico este arranca y empieza a realizar sus registros. Una vez terminado el movimiento deja de registrar y como resultado de su operación pueden obtenerse unas gráficas como las que se muestran en la figura. La magnitud de la aceleración se expresa en función del parámetro g (aceleración de la gravedad) pudiendo ser 0.05g, 0.35g, 0.70g, etc. Los datos obtenidos pueden utilizarse en investigaciones de sismicidad, elaboración y perfeccionamiento de normas o regionalización sísmica.

OPERACIÓN:

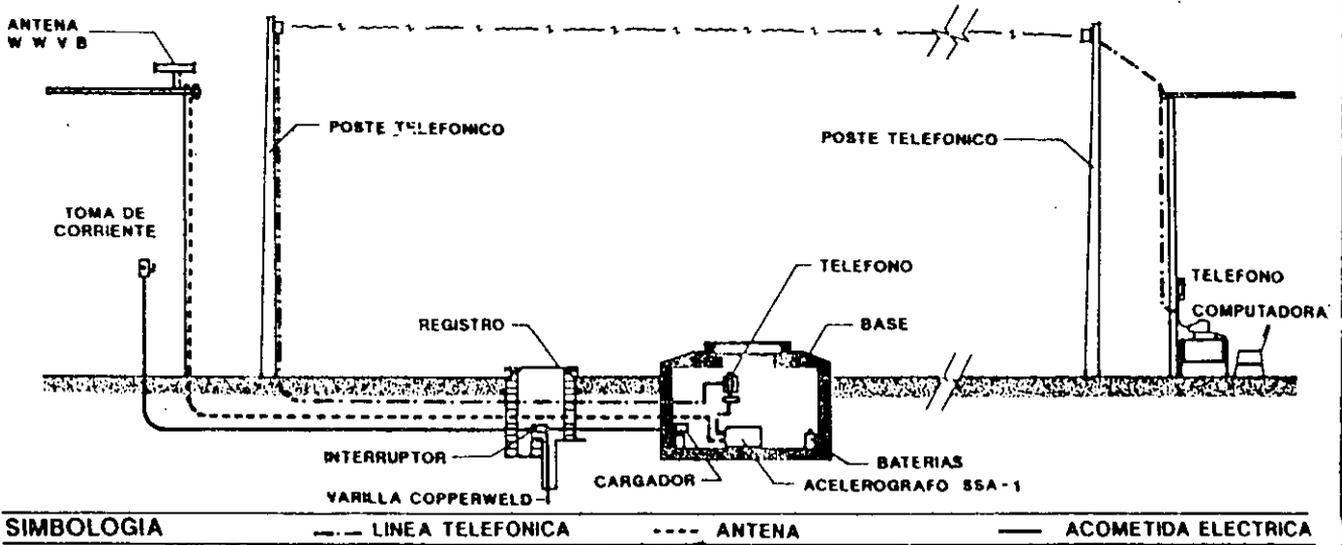
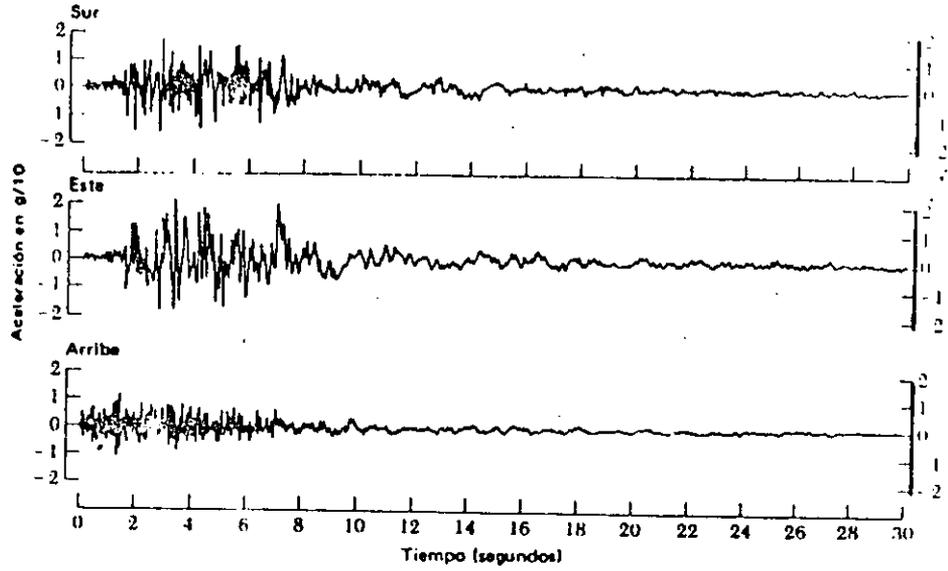
- 1) Inicialmente el aparato es instalado en una caseta por personal especializado. El instrumento queda listo y programado para realizar registros cuando se presente un movimiento telúrico.
- 2) Cuando se presenta un sismo el aparato arranca automáticamente y empieza a realizar sus registros.
- 3) Una vez terminado el sismo el aparato se para y deja de registrar.
- 4) Como resultado de la operación de este instrumento pueden obtenerse las gráficas que se muestran en la figura. En el eje X se registra el tiempo transcurrido desde el inicio del sismo y en el eje Y la magnitud de la aceleración en función del parámetro g (aceleración de la gravedad). Además se registra fecha, hora y algunos datos de la estación instalada.

APLICACIONES:

Instrumentación de presas.

Figura No. 36

ACELEROGRAFO



ANEXOS

INSTRUMENTACION PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO

OBRA DE INGENIERIA	TEORIA O PROBLEMA A MEJORAR	PARAMETRO A MEDIR	INSTRUMENTO O TECNICA A UTILIZAR
MICROPILOTES	Capacidad de carga	Capacidad de carga	Prueba de carga
PILOTES	Capacidad de carga Valores de Thomson	Capacidad de carga	Prueba de carga
PILAS	Capacidad de carga	Capacidad de carga	Prueba de carga
EXCAVACIONES PROFUNDAS	Máxima profundidad de excavación sin ademe	Máxima profundidad de excavación sin ademe	Observación visual
AGUA POTABLE	Reservas de agua potable	Nivel del NAF	Piezómetros Pozos de observación
TALUDES	Procedimiento de estabilización Resistencia a la tensión de anclajes	Procedimiento de estabilización Resistencia a la tensión	Observación visual Prueba de carga en anclajes
TERRAPLENES	Cálculo de asentamientos Resistencia del terreno de cimentación Consolidación Cálculo de esfuerzos	Movimientos verticales Movimientos horizontales Estado de presiones en el agua del subsuelo Magnitud de esfuerzos	Torpedo medidor de asentamientos Inclinómetro Técnica Californiana Bancos de nivel Dispositivo para medir asentamientos Métodos topográficos Dispositivo para medir movimientos horz. Aparato para medir asentamientos Piezómetro Piezómetro Celda de presión
PRESAS	Cálculo de asentamientos Resistencia del terreno de cimentación Consolidación Cálculo de esfuerzos	Movimientos verticales Movimientos horizontales Estado de presiones en el agua del subsuelo Magnitud de esfuerzos	Torpedo medidor de asentamientos Inclinómetro Técnica Californiana Extensómetro Métodos topográficos Piezómetro Piezómetro Celda de presión
TUNELES	Procedimiento constructivo Diseño de la obra Diseño de la obra Diseño de la obra Diseño de la obra Dimensionamiento de marcos Espesor de revestimiento Diseño de la obra	Presión de poro Deformaciones horizontales Desplazamientos entre dos o más puntos Asentamientos Carga actuante en marcos de acero Presión revestimiento-masa de suelo Esfuerzos actuantes en la pared del túnel	Piezómetro Inclinómetro Extensómetro Métodos topográficos Celda de carga Celda de presión Gato plano

INSTRUMENTACION PARA CONTROL DE CALIDAD

OBRA DE INGENIERIA	TEORIA O PROBLEMA A MEJORAR	PARAMETRO A MEDIR	INSTRUMENTO O TECNICA A UTILIZAR
PILOTES	Capacidad de carga	Capacidad de carga	Prueba de carga
PILAS	Capacidad de carga	Capacidad de carga	Prueba de carga
EXCAVACIONES PROFUNDAS	Daño a construcciones vecinas	Deformaciones en construcciones vecinas	Observación visual Métodos topográficos
AGUA POTABLE	No se aplica		
TALUDES	Resistencia a la tensión de anclajes	Resistencia a la tensión	Prueba de carga en anclajes
TERRAPLENES	Magnitud de asentamientos No se encontraron otras posibles áreas a controlar	Movimientos verticales	Torpedo medidor de asentamientos Inclinómetro
PRESAS	Magnitud de asentamientos No se encontraron otras posibles áreas a controlar	Movimientos verticales	Torpedo medidor de asentamientos Inclinómetro
TUNELES	Verificación de subdrenaje Desviación de trayectoria	Presión de poro Orientación del túnel	Piezómetro Métodos topográficos

INSTRUMENTACION PARA PREVENCION DE ACCIDENTES

OBRA DE INGENIERIA	TEORIA O PROBLEMA A MEJORAR	PARAMETRO A MEDIR	INSTRUMENTO O TECNICA A UTILIZAR
PILOTES	No se aplica		
PILAS	No se aplica		
EXCAVACIONES PROFUNDAS	Falta de fondo Daño a construcciones vecinas	Bufamientos Deformaciones en construcciones vecinas	Medidor de expansiones o bufamientos Métodos topográficos
AGUA POTABLE	Reservas de agua potable	Nivel del NAF	Piezómetros Pozos de observación
TALUDES	Falla por deslizamiento	Movimientos horizontales y verticales	Métodos topográficos Técnica Californiana Bancos de nivel Inclinómetro Torpedo medidor de asentamientos Dispositivo para medir movimientos horizontales Aparato para medir asentamientos Dispositivo para medir asentamientos
PRESAS	Falla por deslizamiento	Movimientos horizontales y verticales	Métodos topográficos Técnica Californiana Bancos de nivel Inclinómetro Torpedo medidor de asentamientos
	Tubificación	Flujo de agua	Vertedor
TUNELES	Procedimiento constructivo Diseño de la obra Diseño de la obra Diseño de la obra Diseño de la obra Dimensionamiento de marcos Espesor de revestimiento Diseño de la obra	Presión de poro Deformaciones horizontales Desplazamientos entre dos o más puntos Asentamientos Carga actuante en marcos de acero Presión revestimiento-masa de suelo Esfuerzos actuantes en la pared del túnel	Piezómetro Inclinómetro Extensómetro Métodos topográficos Celda de carga Celda de presión Gato plano

CONCLUSIONES

CONCLUSION

Como hemos podido ver existen una gran cantidad de dispositivos para instrumentar obras de Ingeniería Civil; sin embargo, los que han sido tratados en este trabajo son los de uso más común y los podemos clasificar en cinco áreas principales:

- Medidores de esfuerzos
- Medidores de movimientos verticales
- Medidores de movimientos horizontales
- Medidores del estado de presiones en el agua
- Medidores de temperatura

Estos dispositivos son los encargados de indicarnos el estado que guardan los parámetros:

- Presión
- Desplazamientos horizontales
- Desplazamientos verticales
- Estado de presiones en el agua
- Temperatura

Una lista más detallada y precisa de parámetros puede localizarse en el interior de éste trabajo.

Todos estos dispositivos y parámetros se encuentran coordinados por un proyecto de instrumentación el cual, sin importar el tipo de obra que se trate, tiene siempre como metas principales:

- Cumplir con las especificaciones de construcción mediante un adecuado control de calidad.
- Prevenir accidentes
- Ampliar y mejorar nuestra base de conocimientos y experiencias de Ingeniería Geotécnica.

El cumplimiento de las especificaciones podrá llevarse a cabo mediante la definición de aquellas áreas que se desee controlar y seleccionando aquellos instrumentos o técnicas adecuados para lograr tal propósito.

La prevención de accidentes podrá lograrse mediante el conocimiento previo de aquellas fallas potenciales que pueden presentarse durante la construcción de la obra respectiva y una vez conocidas se selecciona aquel instrumento o técnica que permita lograr nuestros objetivos.

La información producto de un programa de instrumentación puede ser aprovechada para mejorar nuestra base de

conocimientos de Geotécnia. Una obra de Ingeniería puede convertirse en un laboratorio natural para verificar todos aquellos factores, teorías y supuestos en los que se basan nuestros cálculos.

Para la construcción de esta base de conocimientos pueden usarse los siguientes apartados:

- Túneles
- Taludes
- Presas
- Instrumentación
- Pilotes
- Pilas
- Micropilotes
- Excavaciones profundas
- Terraplenes
- Estudios básicos

En cada uno de éstos apartados se asentarán aquellas experiencias, observaciones, fotografías, reportes, gráficas, rendimientos observados, programas de instrumentación, etc. producto de la construcción de obras.

Las tablas que aparecen en la sección `anexos` presentan una visión global, aunque limitada, de los diversos tipos de dispositivos y técnicas disponibles para instrumentar las obras más comunes de Ingeniería Geotécnica. Una vez logrado un buen grado de refinamiento de estas tablas pueden convertirse en un buen auxiliar para la planeación de un programa de instrumentación.

Por otra parte, a pesar del grado de sofisticación que pueda tener un dispositivo debe tenerse siempre presente que su instalación obedece a un solo propósito: recopilar información para ser utilizada en alguna de las metas de la instrumentación.

Es deseable contemplar desde el proyecto de toda obra importante la posibilidad de instrumentarla con el propósito de obtener los máximos beneficios que nos pueda arrojar la instrumentación para emplearlos en uno o varios de los objetivos de ésta.

Por último es importante señalar que el trabajo de instrumentación no termina al finalizar una obra. Con los datos recabados se realiza la evaluación de las metas programadas y su cumplimiento. Además, todas aquellas experiencias y datos relevantes deberán transcribirse a nuestra base de conocimientos como única forma de aprovechar los datos de la obra actual en la siguiente.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

CFE

1983 Manual de diseño de obras civiles. Mecánica de suelos. B.2.5. Instrumentación.

CFE

1983 Manual de diseño de obras civiles. Mecánica de rocas B.3.6. Instrumentación en Mecánica de Rocas.

J.M. Raphael y R. W. Carlson

1965 Measurement of structural action in dams.
Terrametrics.

HANNA Head

1985 Field Instrumentation in Geotechnical Engineering

RICO, Rodriguez

1985 La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres.
México: LIMUSA.