



INSTRUMENTACION GEOTÉCNICA

CURSO DE GEOTECNIA III AREA GEOTECNIA

Marcelo Zeballos

Roberto Terzariol

Guillermo Gerbaudo

Pedro Covassi



Objeto: ¿Para qué medir?

- Una casa de 2 plantas necesita ser instrumentada ? **NO** (si “falla”, se repara). Ver Clase de **Patologías y Recalces**
- Un edificio de 4 plantas sin subsuelos necesita ser instrumentado ? **NO, en principio**
- Un edificio de gran altura con subsuelos u obras de arquitectura - ingeniería (puentes, viaductos, terraplenes,..) necesitan ser instrumentada ? **SI, es recomendable** (si “fallan”, tiempo y \$\$\$\$)



CRITERIOS GENERALES PORQUE...

... procura colaborar en la “longevidad” de la estructura. Debe ser capaz de estar en condiciones de operar en el tiempo.

... Permite detectar en forma adecuada manifestaciones de deterioro, o fallas... permitiendo las acciones correctivas con suficiente tiempo

... Permite la verificación de algunas hipótesis de cálculo durante el desarrollo de la construcción. En caso que se verifique una situación no contemplada, posibilita la adopción de modificaciones en el diseño

... Es de especial interés durante la etapa inicial de operación de la estructura



CRITERIOS GENERALES ADEMAS PORQUE ...

- **En la verificación de hipótesis permite:**
 - Los parámetros de diseño definidos en el proyecto
 - Las estimaciones de comportamiento durante la construcción
 - El comportamiento de la estructura en eventos extremos
 - El “buen comportamiento” de la estructura
- **Predecir el comportamiento futuro de la estructura**
- **Aspectos legales**
- **Información para diseño y recomendaciones futuras**



ASPECTOS PARTICULARES DE LA SELECCIÓN DE INSTRUMENTACION...

- **Calidad de la medición realizada (precisión, resolución, tiempo de respuesta, ...)**
- **Capacidad del instrumental de soportar condiciones de trabajo compleja, y permanencia en el tiempo.**
- **Posibilidad de automatización del equipamiento (?), permitiendo un rápida, múltiple y variada recolección de datos.**



CRITERIOS GENERALES. CONDICIONES DE DEFINICION

- **Características particulares de la estructura**
 - Dimensiones.
 - Potencial de daño o riesgos asociados con el deterioro de la estructura.
 - Importancia de la estructura.
- **Aspectos geológicos – geotécnicos del emplazamiento**
 - Sismicidad de la zona.
 - Características particulares del cimiento.



QUE MEDIR...

- **Desplazamientos / giros / velocidad / aceleración / presión / fuerza**
- **Frecuencia de la medición:**
 - ¿Cada cuánto vamos a registrar? ¿1 seg, 1 min?
 - ¿Cuánto tiempo vamos a medir? ¿1 hs, 1 día, 1 mes?
- **Tipos de monitoreo**
 - Manual - Pasivo (análisis posteriores)
 - Automático - Pasivo (análisis posteriores)
 - Automático –Activo (análisis en tiempo real)



QUE MEDIR...

- **COMPORTAMIENTO HIDRAULICO**

- Incrementos de presiones de poros debido a la construcción de una estructura.
- Eficiencia de sistemas de drenaje.
- Variación del Nivel Freático.

- **Aparatos**

- Freatímetros.
- Piezómetros
- Medidores de caudal (Presas).

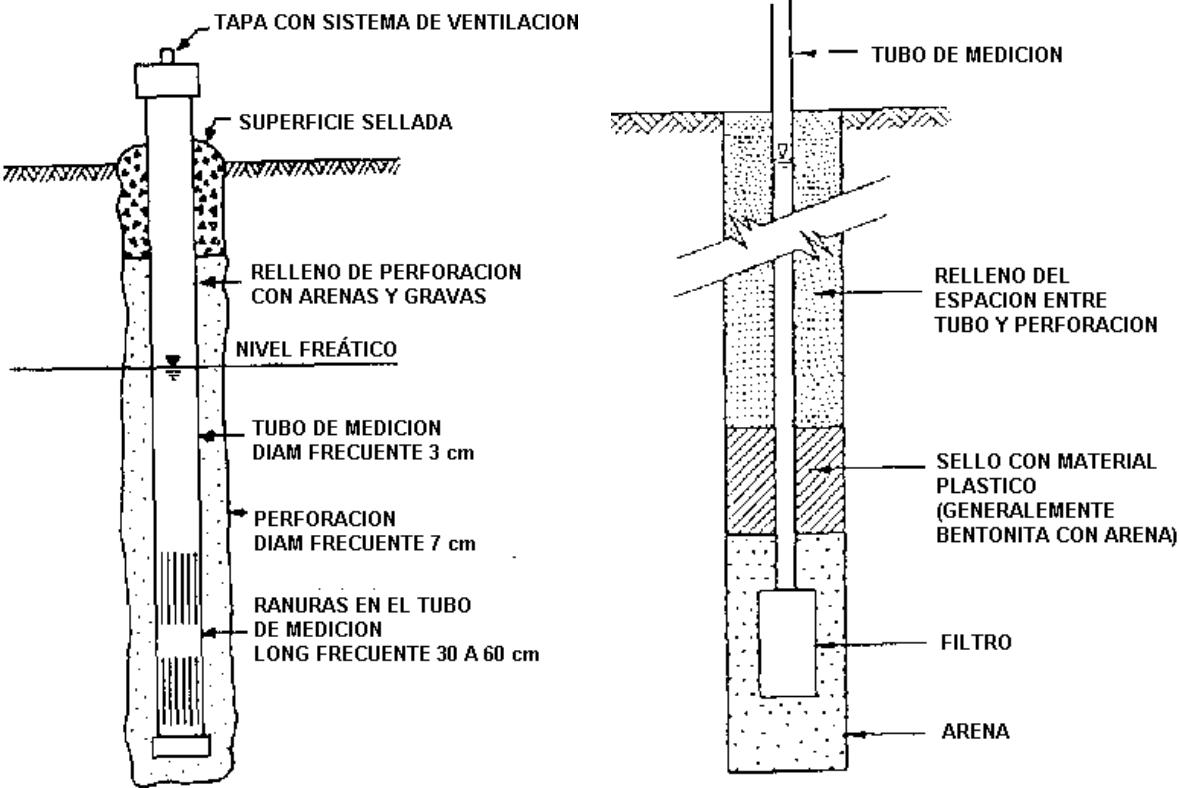


QUE MEDIR...

- **CONTROL DE LA PRESIÓN DE POROS**
- **Tipo de Equipo**
 - Piezómetros convencionales o de tubo abierto.
 - Piezómetros tipo Casagrande.
 - Piezómetros Hidráulicos.
 - Piezómetros Neumáticos.
 - Piezómetros Eléctricos.
 - Piezómetros de Cuerda Vibrante.
- **TIEMPO DE RESPUESTA DEL EQUIPO**
- **Depende de ...**
 - Permeabilidad del suelo.
 - Coeficiente volumétrico, es el volumen de agua que debe entrar en el equipo para indicar una variación unitaria.
 - Características geométricas del filtro.

CONTROL DE LA PRESIÓN DE POROS

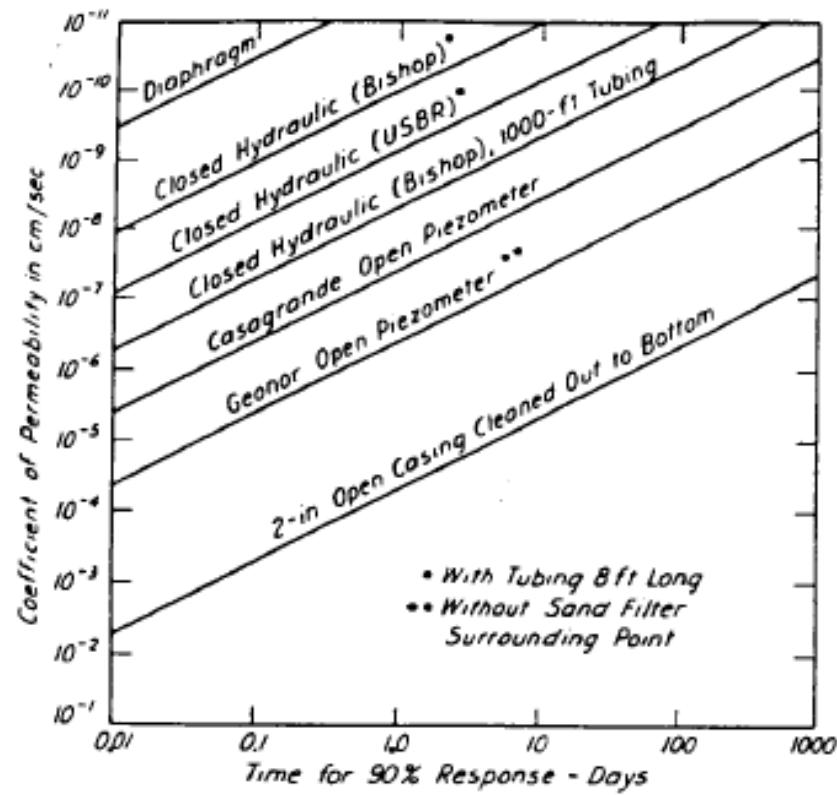
- Ejemplo de piezómetro convencional



TIEMPO DE RESPUESTA DEL EQUIPO

$$t = 3.3 \times 10^{-6} \frac{d^2 \ln [L/D + \sqrt{1 + (L/D)^2}]}{kL}$$

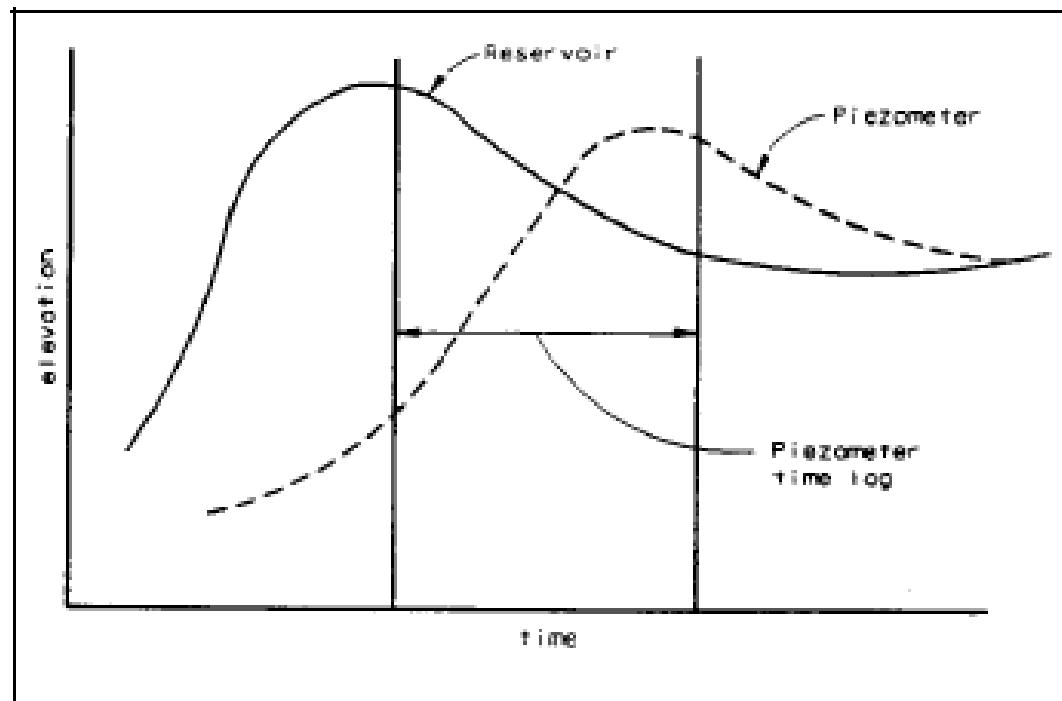
- t = tiempo requerido para el 90% de la respuesta en días
- d = diámetro interior del conducto de transmisión de presión (cm).
- L = longitud de la zona de filtro de medición (cm)
- D = diámetros de la zona de filtro de medición (cm)
- k = permeabilidad del suelo (cm/seg)



TIEMPO DE RESPUESTA DEL EQUIPO

$$t = 3.3 \times 10^{-6} \frac{d^2 \ln [L/D + \sqrt{1 + (L/D)^2}]}{kL}$$

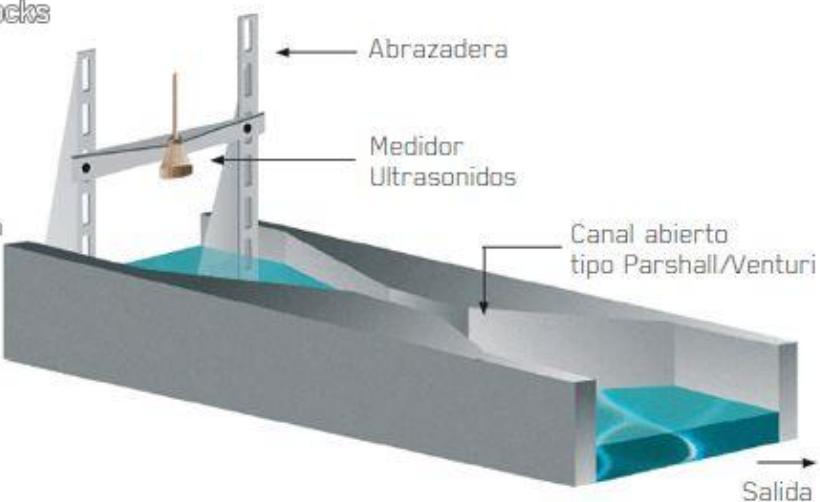
Relación entre respuesta del aparato y variación de embalse



MEDICIÓN DE FILTRACIONES

CAUDALÍMETROS

SoloStocks



MEDICIÓN DE FILTRACIONES

CAUDALÍMETROS





QUE MEDIR...

- **DESPLAZAMIENTOS**

- Control de desplazamientos.
- Asentamientos y deformaciones, identificación del funcionamiento de sectores con fisuras.

- **Aparatos**

- Control topográfico.
- Extensómetros.
- Inclinómetros.
- Clinómetros.
- Fibra óptica.



MEDICION DE DESPLAZAMIENTOS

- Puntos en superficie
- Probetas extensométricas
- Extensómetros de barra
- Inclinómetro
- Extensómetros de cuerda vibrante.
- Péndulos
- Sensores remotos
 - DinSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)
 - Drones para control topográfico.



QUE MEDIR...

- **PRESIONES O TENSIONES**
 - Magnitud de presiones totales.
- **Aparatos**
 - Celdas de Presión Eléctricas.
 - Celdas de Presión por Cuerda Vibrante.
 - Celdas de Presión Neumáticas/Hidráulicas.



PASOS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACION (Dunnicliff 1990)

- 1. Predicción de los fenómenos particulares a ser controlados.**
- 2. Definición del propósito de la instrumentación.**
- 3. Definición de aspectos geotécnicos de interés.**
- 4. Selección de los parámetros a ser monitoreados.**
- 5. Predicción de las magnitudes de los parámetros.**
- 6. Selección de la localización de los instrumentos.**
- 7. Selección del tipo de instrumento.**
- 8. Determinación de la necesidad de automatización.**
- 9. Planificación de los factores que pueden influir en las mediciones.**



PASOS PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACION (Dunncliff 1990)

- 10. Establecimiento de procedimientos para asegurar la medición.**
- 11. Determinación de costos.**
- 12. Planificación de la instalación.**
- 13. Planificación de la protección a largo plazo.**
- 14. Planificación de la tareas de calibración y mantenimiento.**
- 15. Planificación de la recolección de datos y administración.**
- 16. Coordinación de los recursos.**
- 17. Determinación de costos de operación del sistema.**



EJEMPLOS DE ASPECTOS GEOTÉCNICOS PRESAS DE MATERIALES SUELtos (DunnicliFF 1990)

Cuestiones	Componentes	Parámetros de interés
Cual es el lugar en el cual se inicia el fenómeno ?	Cimiento Estríbos Sistemas drenaje	Presión de poros Hidrológicos Meteorológicos
Cómo se comportará el cuerpo de presa durante la construcción	Cimiento Cuerpo de presa Estríbos	Presión de poros Desplazamientos verticales y horizontales
Cómo se comportará el cuerpo de presa durante el primer llenado ?	Todos los componentes y zona próximas	Presión de poros Desplazamientos verticales y horizontales Filtraciones Disolución de sólidos
Cómo se comportará el cuerpo de presa durante un descenso rápido?	Talud de aguas arriba Taludes naturales próximos	Presión de poros Estabilidad del talud
Cómo se comportará el cuerpo de presa en operación normal?	Todos los componentes	Todos los parámetros

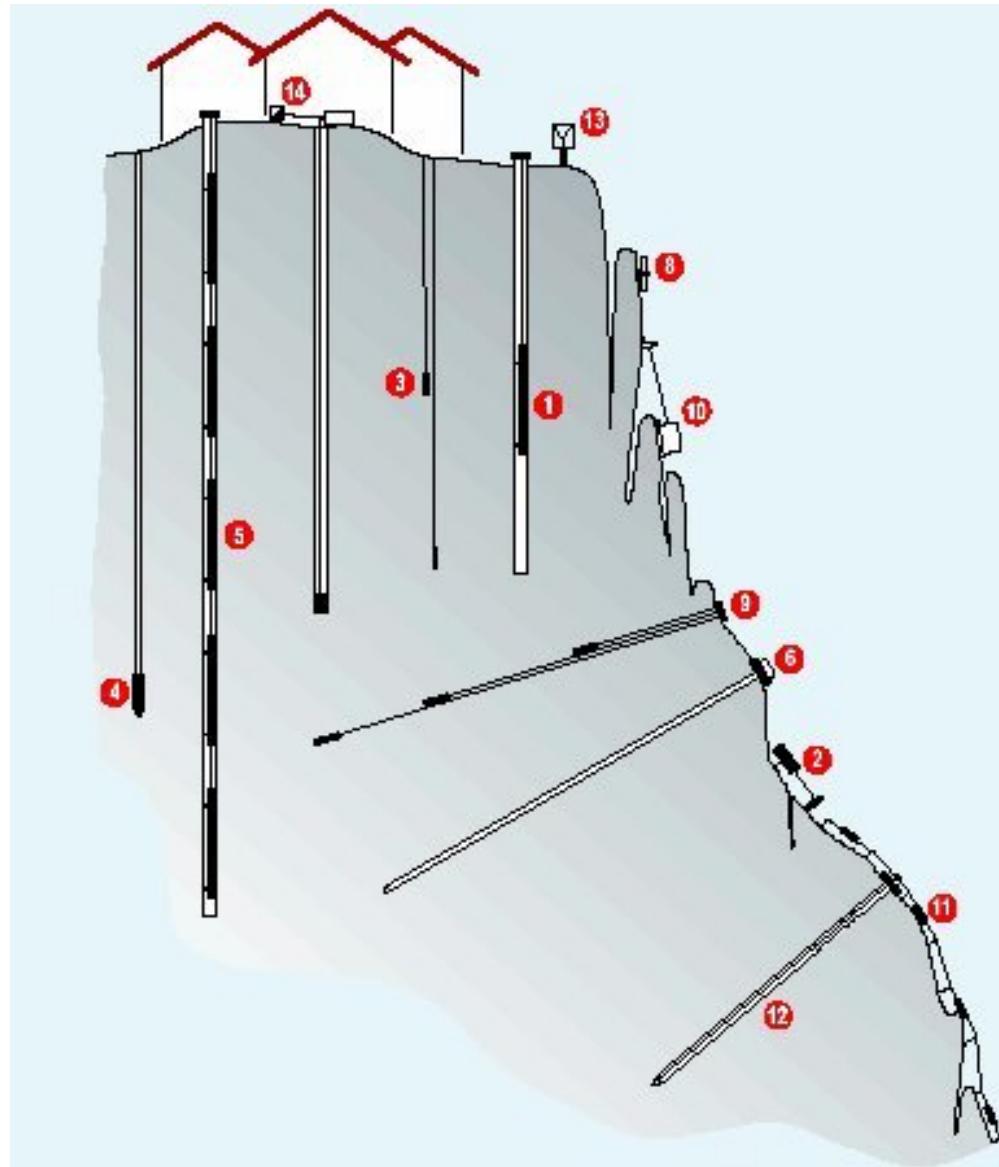


LOCALIZACION DE INSTRUMENTOS (Dunnicliff 1990)

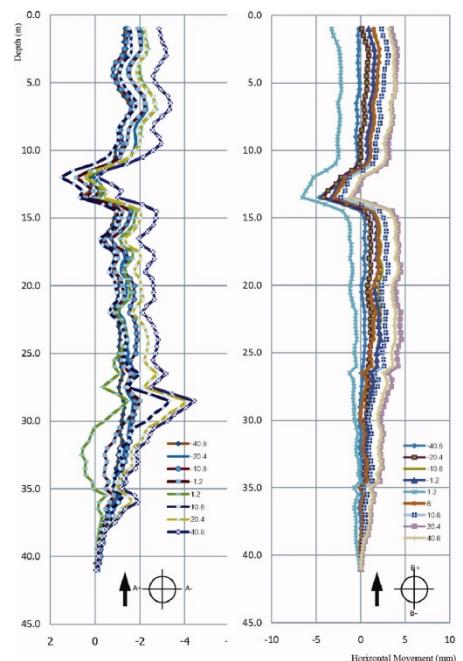
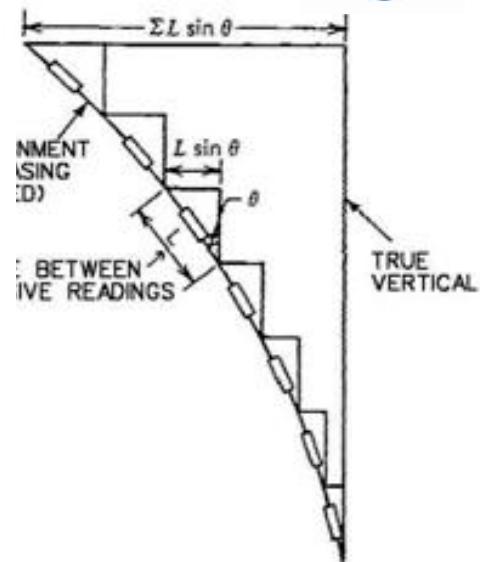
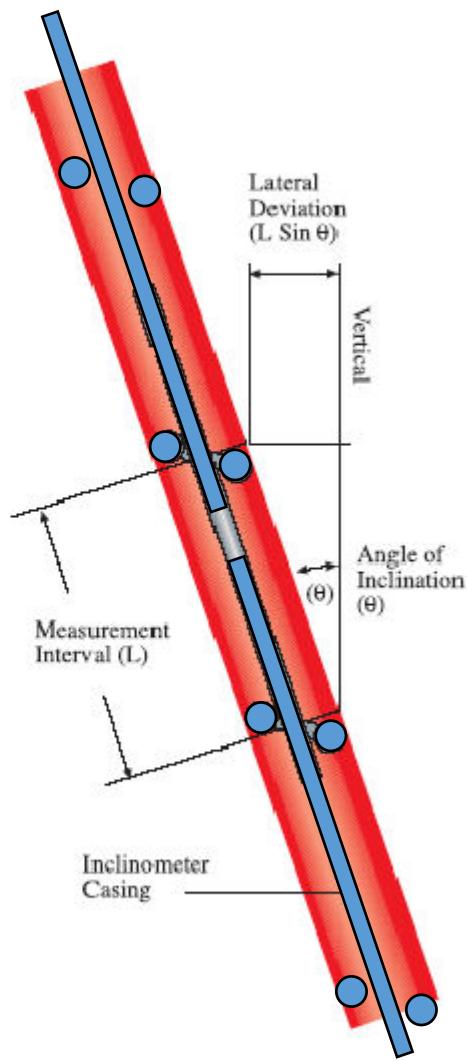
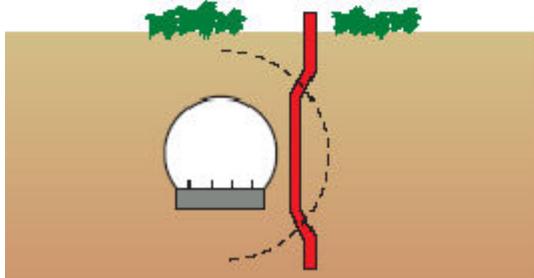
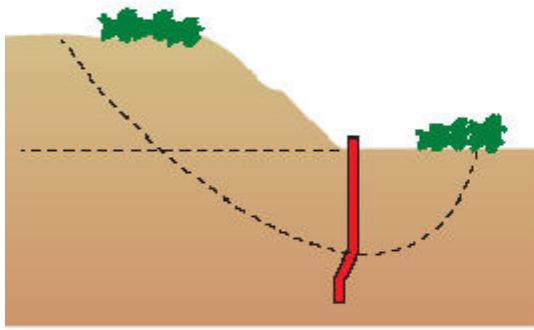
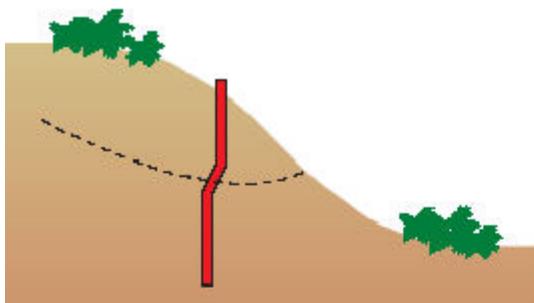
- **Identificar zonas con comportamientos particulares.**
Áreas estructuralmente débiles.
- **Seleccionar zonas que pueden ser representativas.**
Cantidad adecuada a la capacidad de medición.
- **Identificar zonas en las que haya discontinuidades.**
Entre estructura y cimiento.
En el propio cimiento.
- **Instalar algunos instrumentos adicionales en localizaciones potencialmente secundarias.**
- **Localizar los instrumentos en apropiada disposición.**
- **Valorar la disposición en planta y elevación.**

Ejemplos de Aplicación

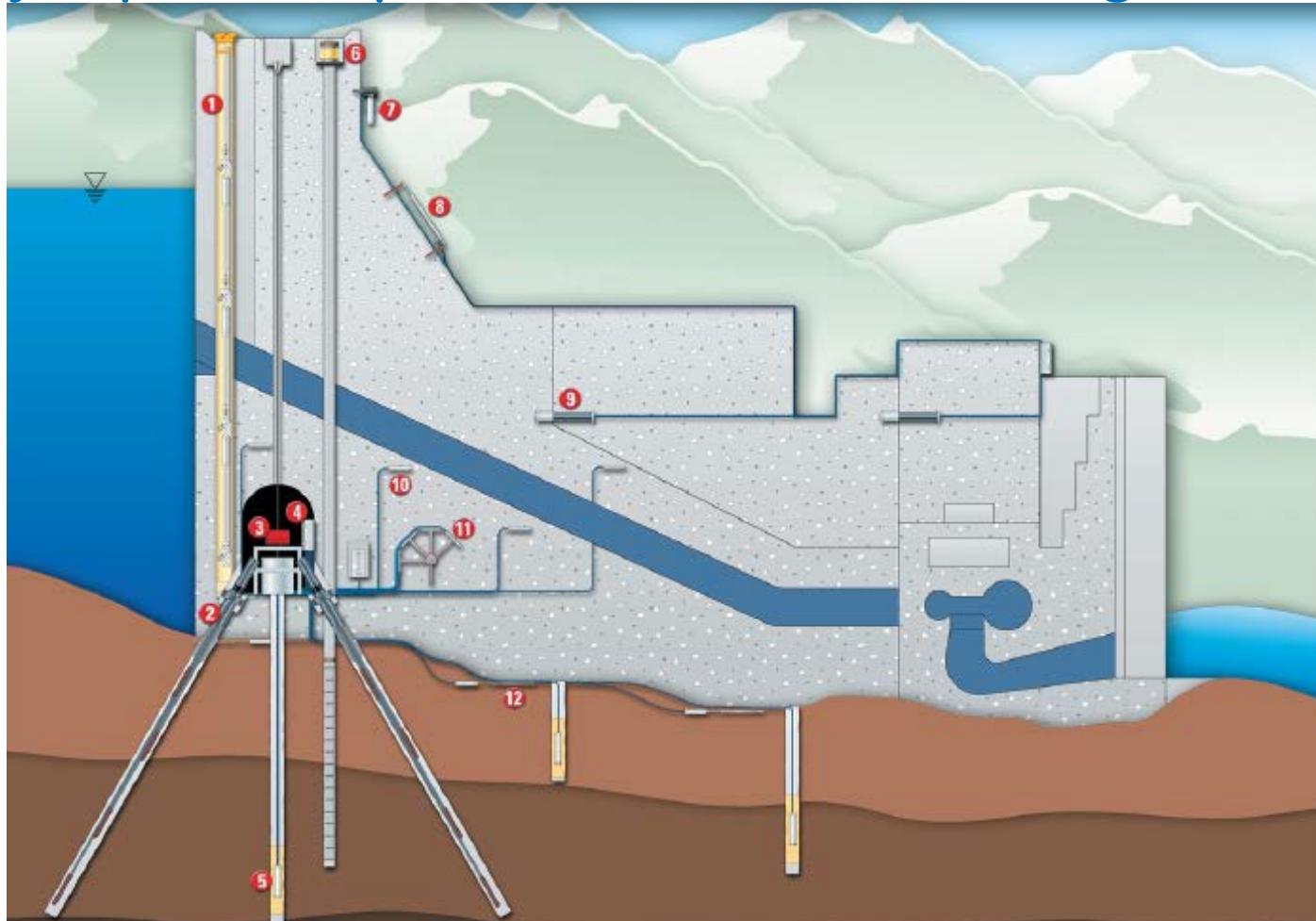
INCLINOMETER CASINGS	Monitoring of earth deep lateral movements in sliding areas
JOINTMETERS	Measurements of rock faults and soil tension fractures
ELECTRICAL PIEZOMETERS	Monitoring of soil pore pressure and control of over pressure
CASAGRANDE PIEZOMETERS	Measurement of water table level
IN-PLACE INCLINOMETERS	Monitoring of landslide areas and stability of natural slopes
ANCHOR LOAD CELLS	Measurement of anchor tensioning
SURFACE CLINOMETERS	Monitoring of rock mass inclination movements and block tilting
BOREHOLE EXTENSOMETERS	Monitoring of deep rock movements
WIRE CRACKMETERS	Monitoring cracks and movements in rock masses
RESTRAINING NET	Monitoring of rock-fall
MEASURING ANCHORS	Detection of anchor stress distribution
RAIN GAUGES	Monitoring of rain falls
GEOPHONES	Detection acoustic emission of ground motion (sliding bodies, bedrock and ground surface)



Ejemplos de Aplicación. Inclinómetros



Ejemplos de Aplicación. Presas de Hormigón



① In-Place Inclinometers

④ Multi-Channel Dataloggers

⑦ Tiltmeters

⑩ Temperature Gages

② Extensometers

⑤ Piezometers

⑧ Crackmeters

⑪ Embedment Strain Gages

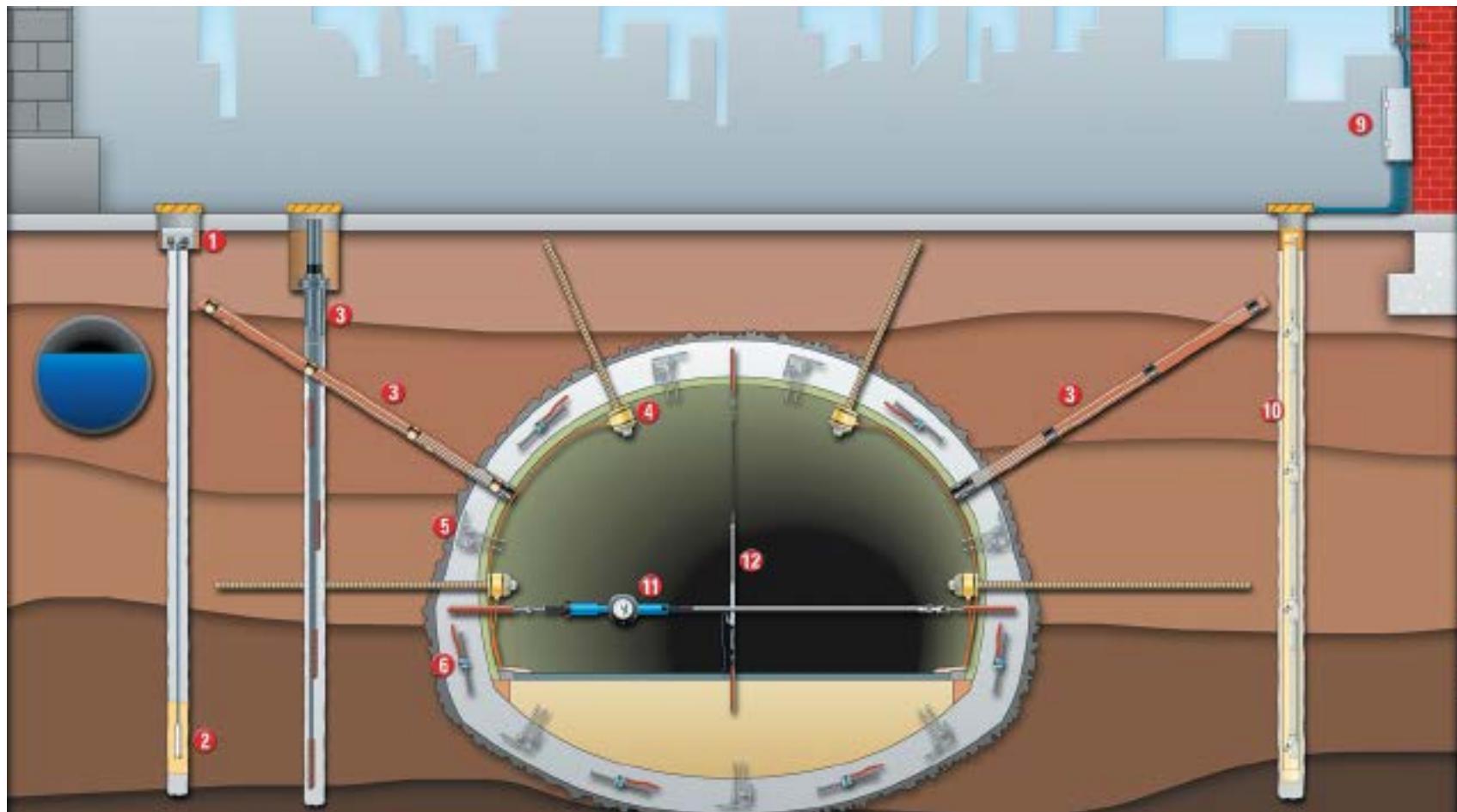
③ Pendulum

⑥ Load Cells

⑨ Embedment Jointmeters

⑫ Earth Pressure Cells

Ejemplos de Aplicación. Túneles



① Single-Channel Dataloggers

④ Load Cells

⑦ Tiltmeters

⑩ In-Place Inclinometers

② Piezometers

⑤ NATM Pressure Cells

⑧ Crackmeters

⑪ Tape Extensometers

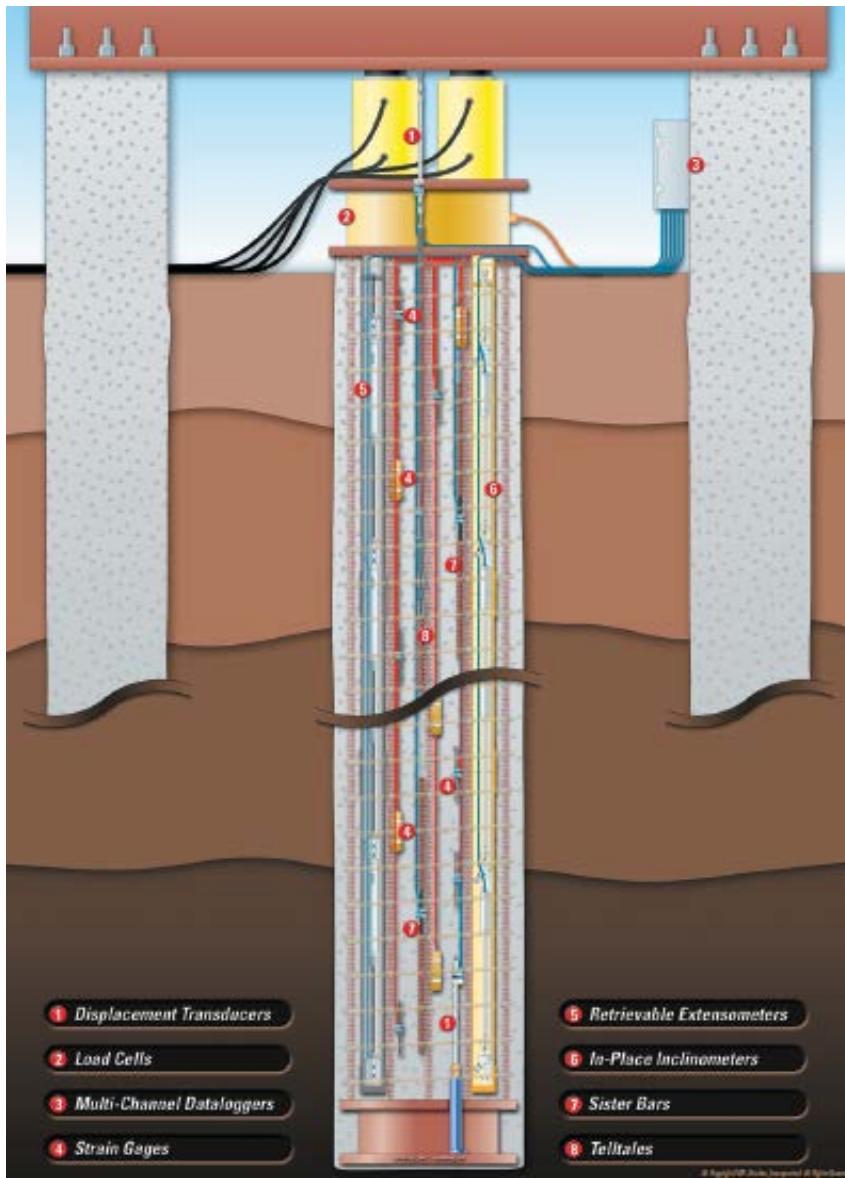
③ Extensometers

⑥ Strain Gages

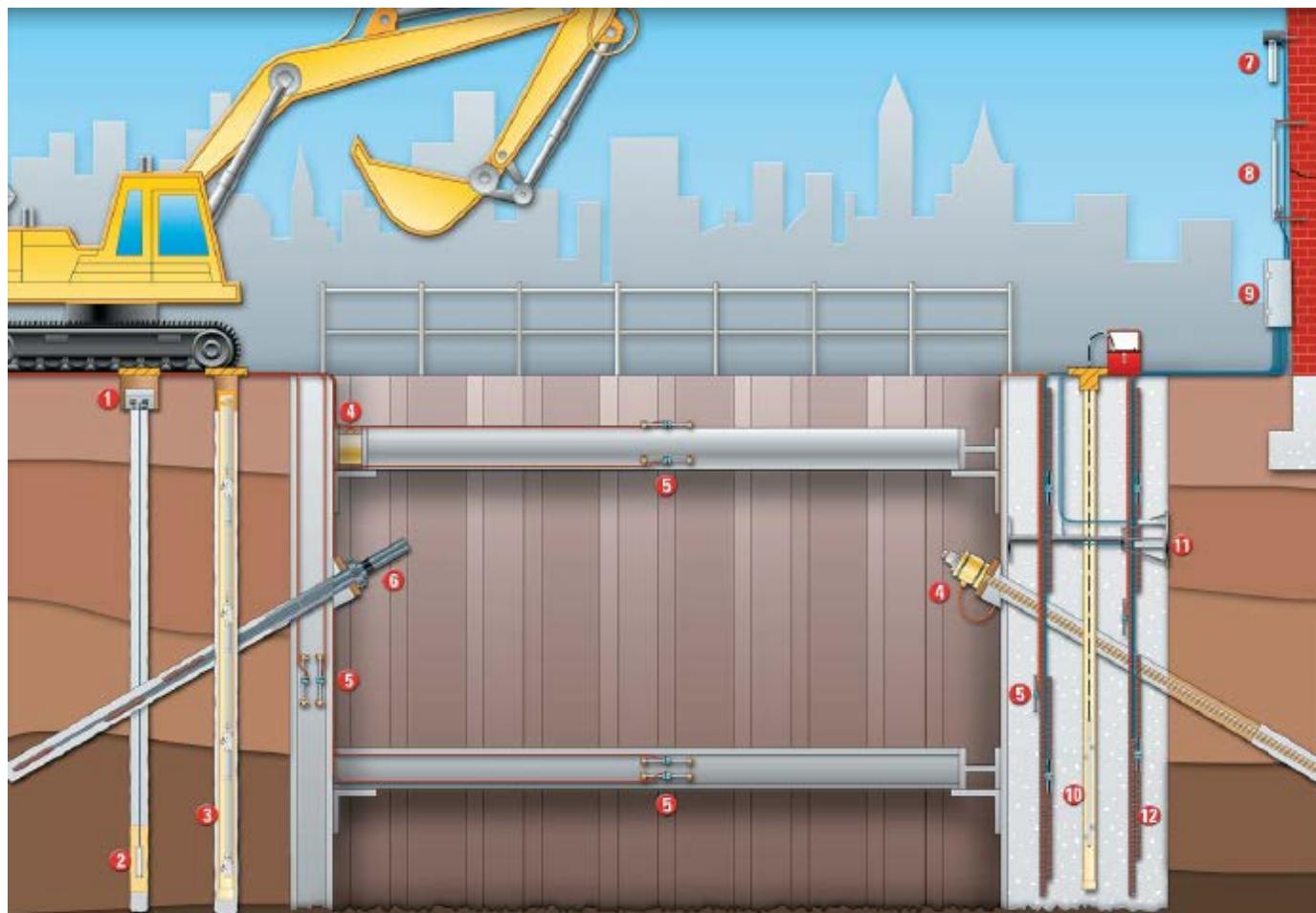
⑨ Multi-Channel Dataloggers

⑫ Convergence Meters

Ejemplos de Aplicación. Ensayos de Pilotes



Ejemplos de Aplicación. Monitoreo de Excavaciones



① Single-Channel Dataloggers

④ Load Cells

⑦ Tiltmeters

⑩ Portable Inclinometers

② Piezometers

⑤ Strain Gages

⑧ Crackmeters

⑪ Jack-Out Pressure Cells

③ In-Place Inclinometers

⑥ Extensometers

⑨ Multi-Channel Dataloggers

⑫ Sister Bars