

Juan Herrera Herbert

Ejecución de Campañas y Asistencias Técnicas en Sondeos Geotécnicos

Madrid - 2022



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Técnica Superior
de Ingenieros de Minas y Energía

www.minasyenergia.upm.es





Ejecución de Campañas y Asistencias Técnicas en Sondeos Geotécnicos

Autor: Juan Herrera Herbert (juan.herrera@upm.es).

ADVERTENCIA

El presente documento ha sido preparado con una finalidad exclusivamente divulgativa y docente. Las referencias a productos, marcas, fabricantes y estándares que pueden aparecer en el texto, se enmarcan en esa finalidad y no tienen ningún propósito comercial.

Todas las ideas que aquí se desarrollan tienen un carácter general y formativo y el ámbito de utilización se circunscribe exclusivamente a la formación de los estudiantes de la UPM. La respuesta ante un caso particular requerirá siempre de un análisis específico para poder dictaminar la idoneidad de la solución y los riesgos afrontados en cada caso, además de las incidencias en los costes de explotación. Consulte siempre a su ingeniería, consultor, distribuidor y fabricante de confianza en cada caso.

Foto de portada: <https://www.newscientist.com/>

Identificador DC: <https://oa.upm.es/88237/>

Identificador OAI: [oai:oa.upm.es:88237](https://oa.upm.es/88237/)

Copyright © 2022. Todos los derechos reservados



Universidad Politécnica de Madrid
Departamento de Ingeniería Geológica y Minera
Laboratorio de Tecnologías Mineras

Calle Rios Rosas 21
28003 Madrid (España)



Este documento ha sido formateado para su visualización y uso en dispositivos electrónicos y permitir ahorrar en el consumo de papel y tóner.
Antes de imprimirlo, piense si es necesario hacerlo.

El estudio geotécnico

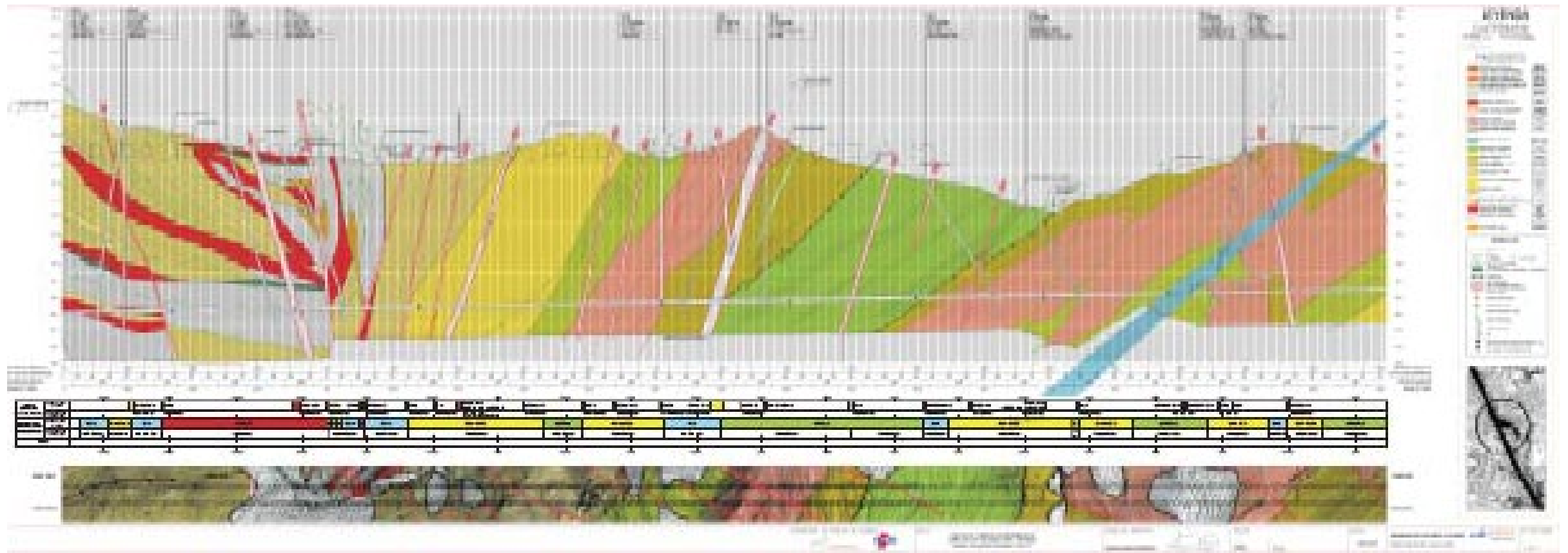
- Un Estudio o Informe Geotécnico es un conjunto de **reconocimientos del terreno y la interpretación de los datos obtenidos**, que permiten **caracterizar** los diversos suelos y rocas presentes en la zona de estudio.
- Entre sus múltiples objetivos puede encontrarse el determinar:
 - Tipo de cimentación
 - Nivel de apoyo
 - Presión de trabajo
 - Talud excavación / contención paredes
 - Posición del nivel freático
 - Modo excavación más adecuado
 - Agresividad de suelos y/o agua
 - Solución a problemas del terreno
- **La campaña de investigación geotécnica debe dimensionarse con la complejidad del proyecto o de la obra para la que se prevé el estudio.**



Objetivos de los estudios geológico-geotécnicos

Objetivos de los estudios geológico – geotécnicos en función de las fases de un proyecto

Fases del proyecto	Objetivos geológico - geotécnicos
Estudios previos de viabilidad	<ul style="list-style-type: none">• Viabilidad geológica.• Identificación de riesgos geológicos.• Condiciones geológico – geotécnicas generales
Anteproyecto	<ul style="list-style-type: none">• Selección de emplazamientos y trazados.• Clasificación geotécnica de materiales.• Soluciones geotécnicas aproximadas.
Proyecto	<ul style="list-style-type: none">• Caracterización geotécnica detallada.• Parámetros geotécnicos para el diseño de estructuras, excavaciones, cimentaciones, etc.
Construcción	<ul style="list-style-type: none">• Control geotécnico e instrumentación.• Verificación y adaptación del proyecto.
Explotación	<ul style="list-style-type: none">• Control de la respuesta terreno – estructura.• Auscultación



DIRECTOS

Sondeos mecánicos:

Rotación, extracción continua de testigo

Ensayos in situ:

S.P.T.

Toma de muestras inalteradas

Ensayos de permeabilidad:

Lefranc (suelos),

Lugeon (roca)

Piezómetro (PVC)

Calicatas:

Estabilidad paredes

Nivel de agua

Muestras alteradas e inalteradas

Ensayos in situ (Soil Test y Vane Test)

INDIRECTOS

Penetraciones dinámicas:

D.P.S.H

Borros

Geofísica:

Sísmica de refracción

Tomografía

Ensayos de campo en estudios geotécnicos

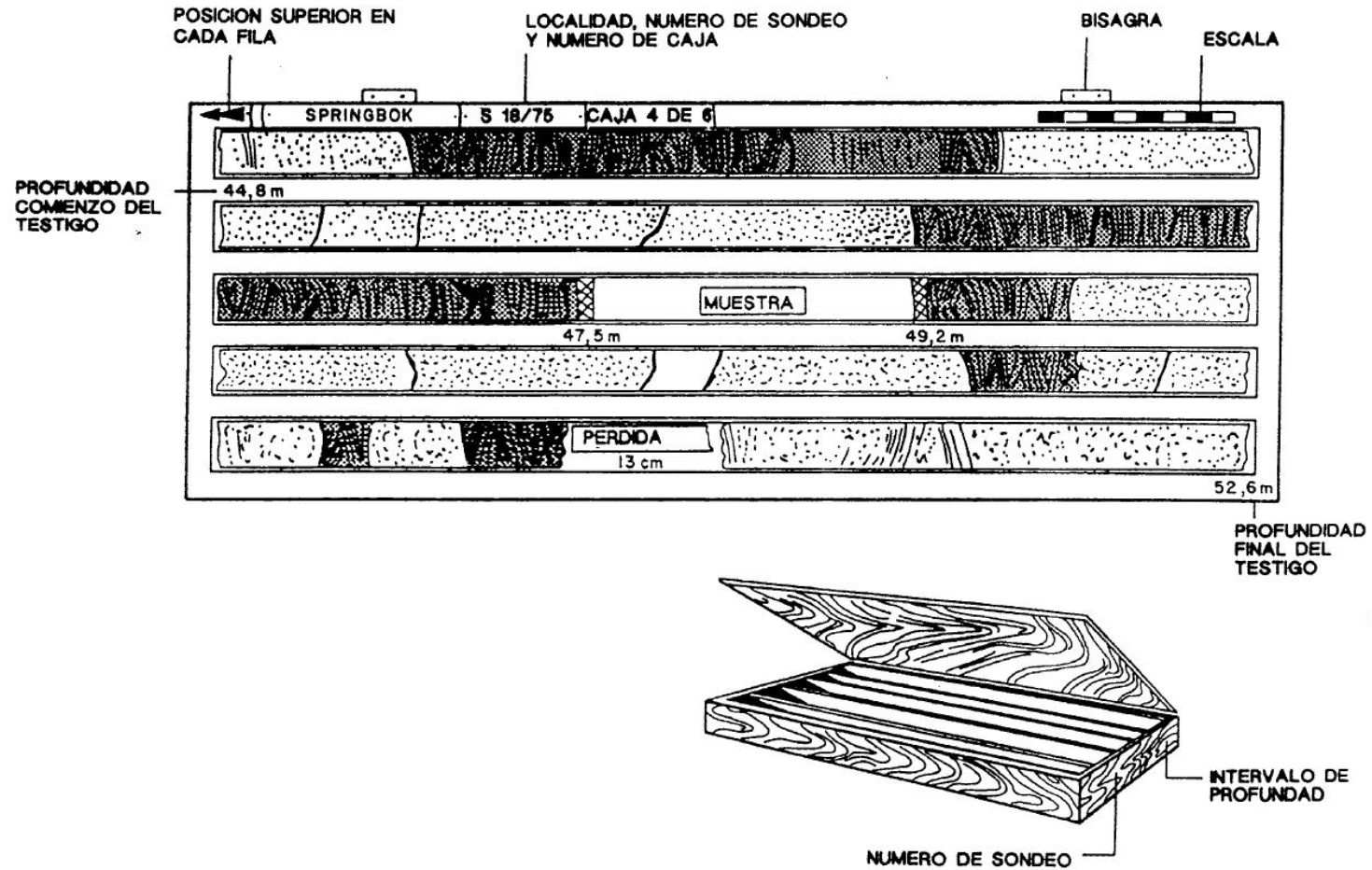


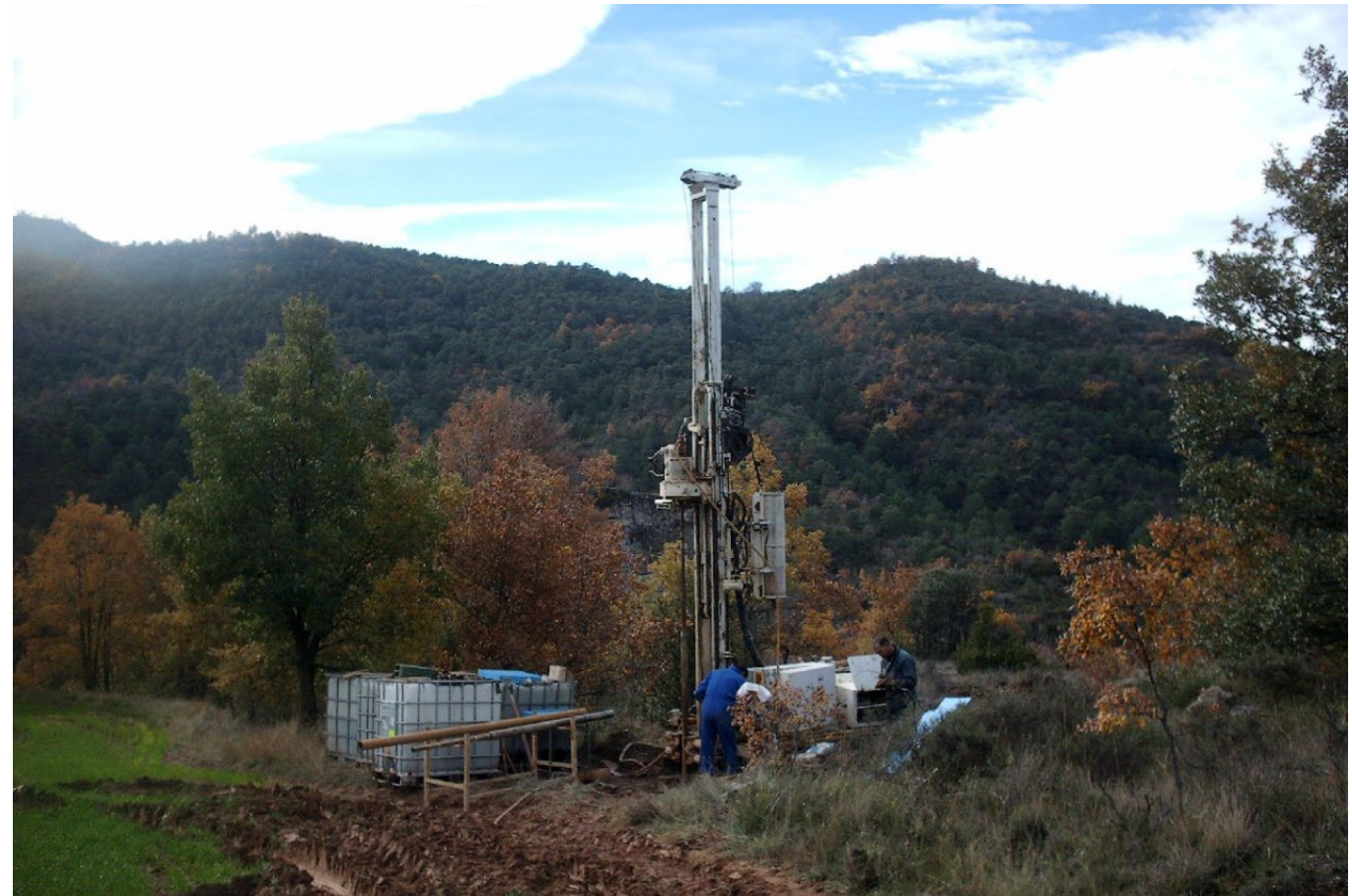
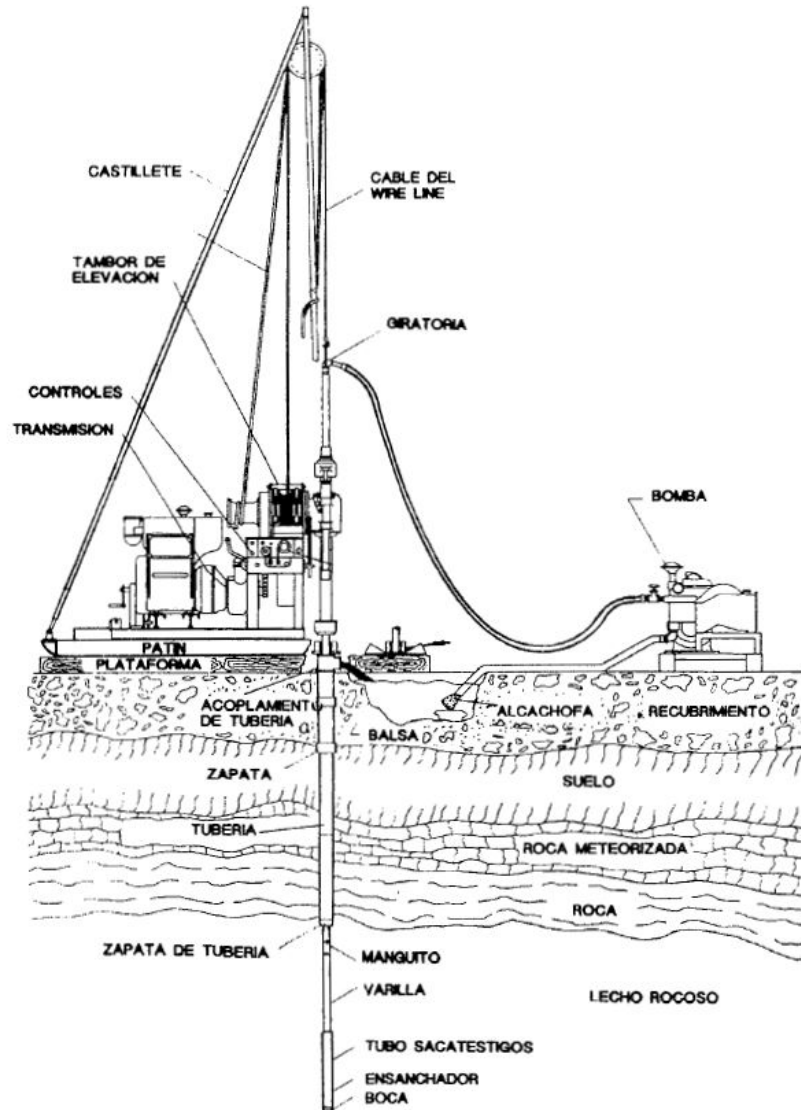
La investigación de campo debe ir precedida por una completa recopilación de antecedentes y estudios de cartografía geológica y fotointerpretación.

Sondeos geotécnicos

- Están encaminados a:
 - El reconocimiento de la naturaleza y localización de las diferentes capas del terreno.
 - La extracción de muestras:
 - Alteradas en toda la columna.
 - Inalteradas.
 - De agua
 - La realización de ensayos “in situ”.
 - La realización de ensayos de permeabilidad: *Lefranc* (suelos), *Lugeon* (roca)
 - La instalación de piezómetros
- Dependen de la finalidad concreta y de la rapidez y economía.
- Generalmente son de pequeño diámetro.

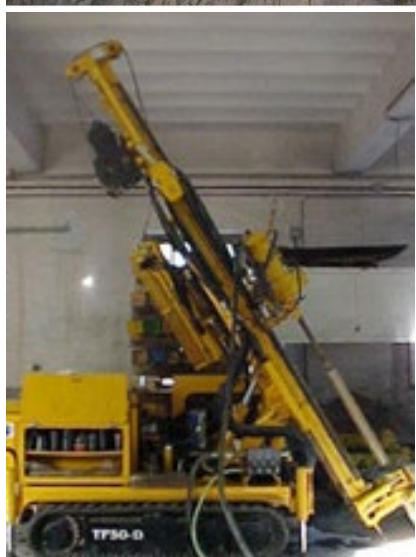
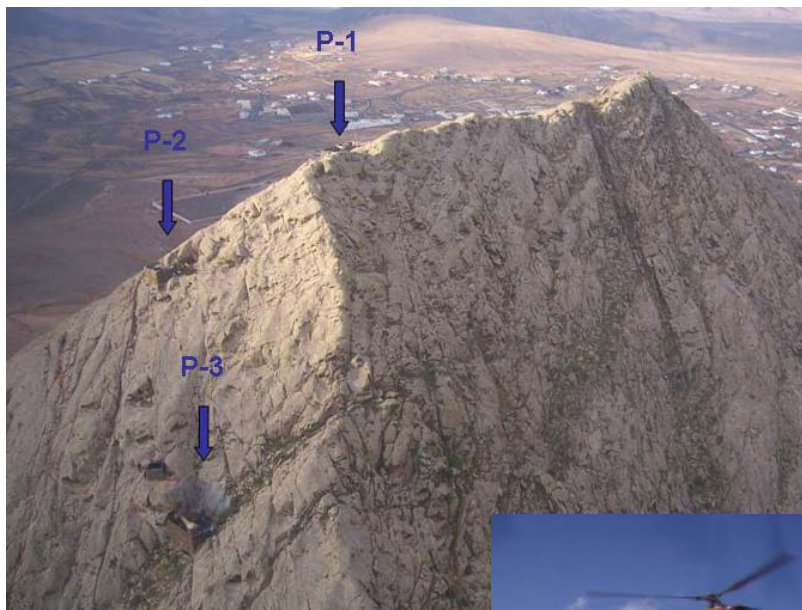






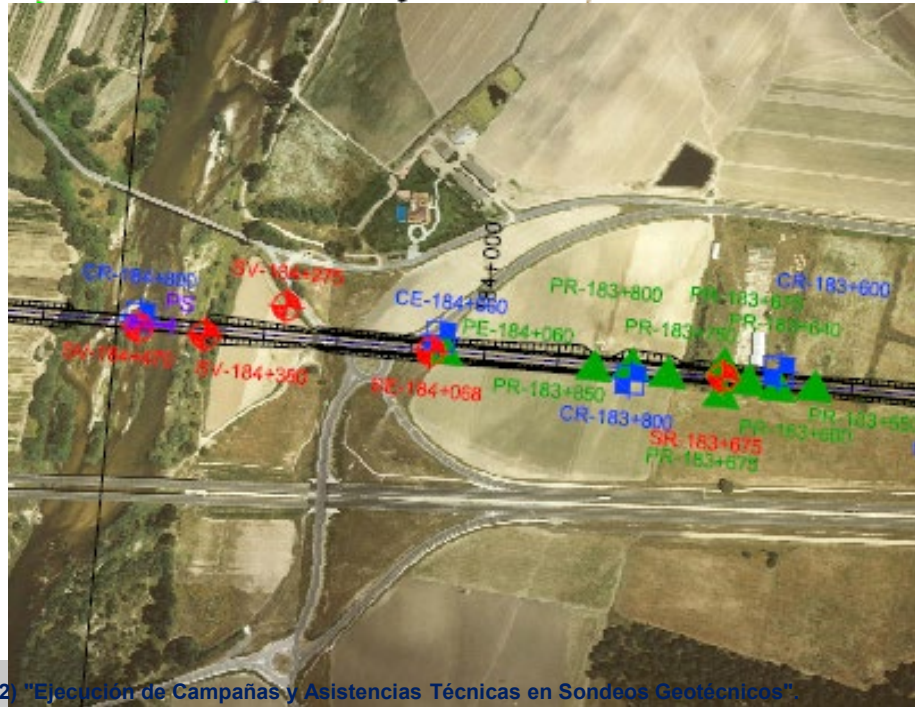
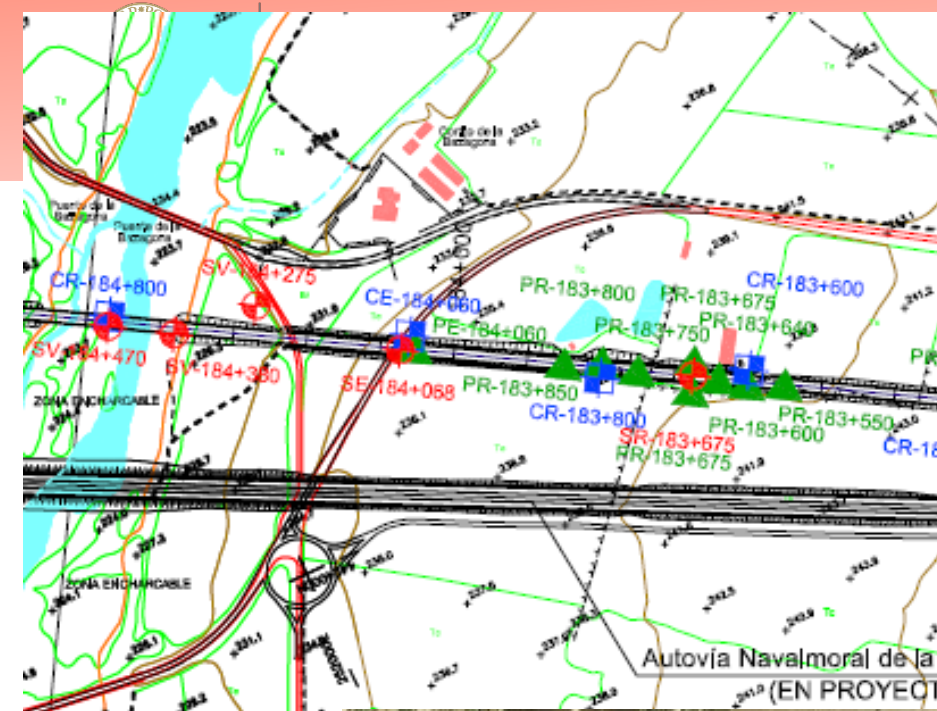
Situación de los sondeos

- Debe ser fijada en función de las características del estudio y sus objetivos.
- Debe tomar en consideración las dificultades de acceso al emplazamiento
- Será determinada en campo preferentemente por métodos de topografía clásica, debiendo quedar localizados por referencias a puntos fijos bien identificados.
- La cota será determinada por nivelación geométrica.
- En el caso de utilizarse sistemas de posicionamiento por satélite GPS, el error en coordenadas (x,y,z) deberá ser inferior a 5 m.
- Se suele exigir la elaboración de una nota técnica a entregar al Director del Estudio en la que se recoja la precisión del método.



Sondeos en Tindaya

Localización de los sondeos



Preparación de accesos y acondicionamiento del emplazamiento





Acondicionamiento de accesos y del emplazamiento







Prescripciones generales

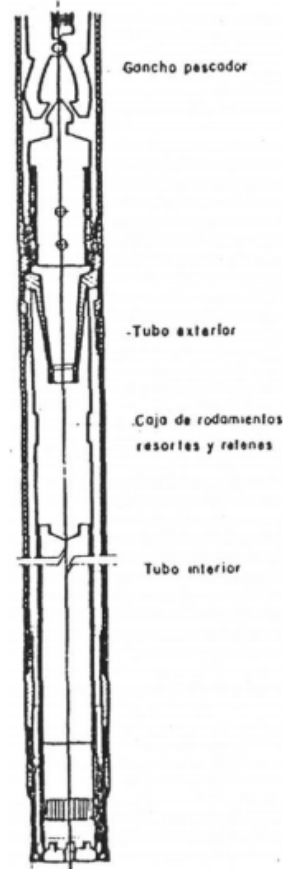
- **Los sondeos mecánicos serán a rotación, con recuperación continua de testigo.**
- Solo ocasionalmente se emplean otros sistemas de perforación: perforación a rotopercusión, con o sin recuperación del detritus y con la entubación que se precise para otras operaciones o ensayos posteriores.
- El diámetro de sondeos:
 - En suelos: debe ser siempre igual o superior a 101 mm (con un diámetro de testigo igual o superior a 84 mm).
 - En roca, perforados con sistema convencional: debe ser superior a 86 mm (con un diámetro del testigo igual o superior a 72 mm).
 - En cualquier caso, los diámetros deberán ser siempre los suficientes para garantizar que se alcanza el fondo del sondeo con dichos diámetros mínimos.



- En sondeos perforados con sistema wire-line, el diámetro mínimo será el correspondiente al tipo HQ.
- La máquina de perforación debe ser de las características apropiadas para garantizar que se alcanza correctamente la profundidad prevista.



Tubo testigo de cable (Wire line)



Diámetros de perforación en el tubo testigo con cable
Medidas métricas

Corona $\varnothing E = \varnothing$ agujero $\varnothing I = \varnothing$ testigo	\varnothing tren de perforación	\varnothing testigo sin cable
86 × 58	82	72
76 × 48	72	62
66 × 40	63	52
56 × 30	53	42
46 × 20	43	32

Medidas americanas

Tipo	Corona $\varnothing E = \varnothing$ agujero $\varnothing I = \varnothing$ testigo	Tubo exterior	Tubo interior	Varillas de perforación		
					Rosca cónica	Peso
AQ	48,0 × 27,0	46,0 × 36,5	32,5 × 28,6	44,5 × 34,9	4 h"	4,6 kg/m
BQ	60,0 × 36,4	57,2 × 46,0	42,9 × 38,1	55,6 × 46,0	3 h"	6,0 kg/m
NQ	75,8 × 47,6	73,0 × 60,3	55,6 × 50,0	69,9 × 60,3	3 h"	7,6 kg/m
HQ	96,0 × 64,3	92,1 × 77,8	73,0 × 66,7	88,9 × 77,8	3 h"	11,5 kg/m
PQ	122,6 × 85,0	117,5 × 103,2	95,2 × 88,9	114,3 × 103,2	3 h"	13,3 kg/m

FIGURA 2

TESTIGUERA WIRELINE Y CUADRO DE MEDIDAS



Perforación en suelos

- Salvo en condiciones especiales de dureza u otras circunstancias, se perforará en seco.
- En cualquier caso, en suelos cohesivos se deberá obtener no menos del 95 % de recuperación y, en suelos granulares, no menos del 90 %.
- El fondo de la perforación deberá limpiarse convenientemente antes de cualquier operación de toma de muestras o ensayos, no admitiéndose en el fondo del sondeo un espesor de sedimentos superior a 5 cm.
- La limpieza del fondo se realizará de forma que se asegure que el suelo a ensayar no resulte alterado en la operación.
- Cuando se detecten suelos blandos se procederá al muestro mediante el tomamuestras de pared delgada.







Perforación con agua en suelos

- Para estabilizar los sondeos, se utilizará entubación metálica de diámetro no inferior a 98 mm.
- La entubación NO penetrará en el terreno a mayor profundidad que la prevista para la ejecución de ensayos o toma de muestras.
- El nivel del agua en el sondeo se mantendrá en todo momento a la altura del nivel piezométrico o ligeramente por encima del mismo.
- Tanto la herramienta de perforación, como el tomamuestras, se retirarán lentamente, manteniendo una aportación continua de agua a fin de evitar el posible aflojamiento del suelo.
- En suelos metaestables, muy sensibles a la adición de agua, deberá limitarse la aportación de agua al sondeo, realizando en seco la maniobra anterior a la toma de muestras o ensayos de penetración.

Perforación con agua en suelos



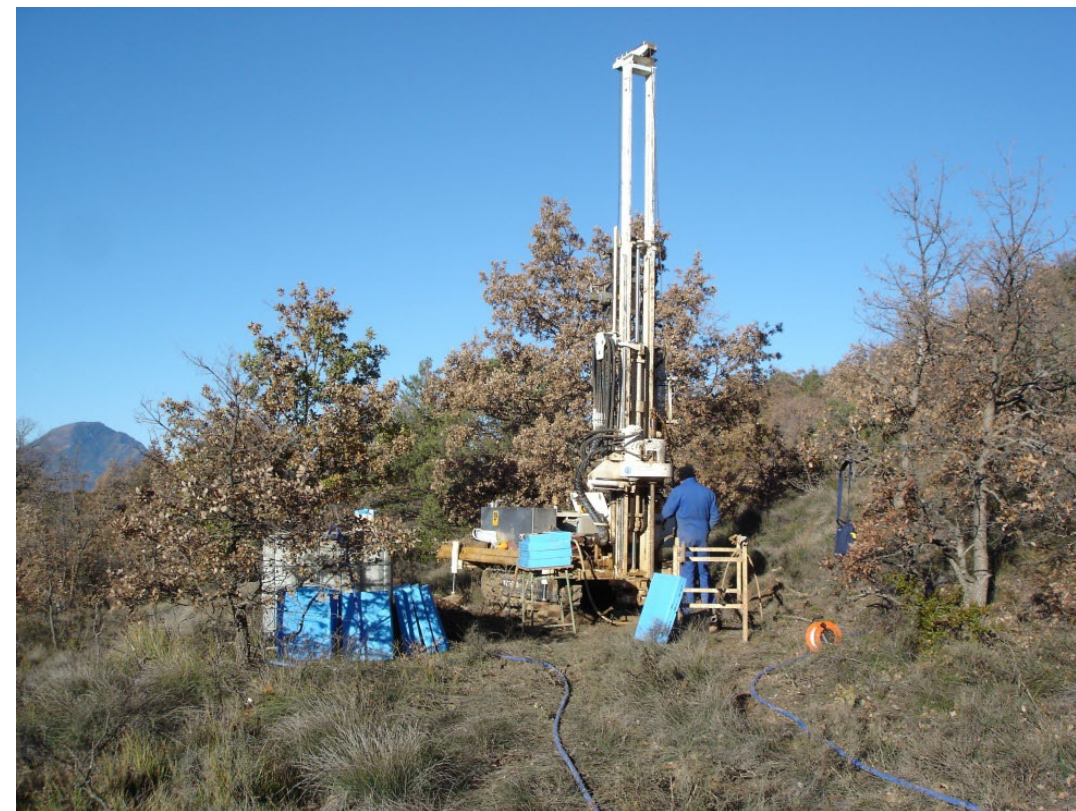


Perforación en roca

- Se perforará a rotación, utilizando batería doble y con extracción de testigo continuo.
- Las coronas de perforación serán las más adecuadas a las características del terreno.
- Solo si las recuperaciones obtenidas fueran suficientes y la calidad del testigo adecuada, suele autorizarse al contratista la utilización de batería sencilla.
- Si se encontraran formaciones blandas o muy fracturadas, se tomarán las precauciones necesarias para mantener el testigo tan inalterado como sea posible y conseguir su recuperación.
- En algunas condiciones de especial dificultad de recuperación de testigo, se puede acudir la utilización de baterías especiales, refrigeradas por aire, y/o la utilización de baterías triples, dotadas de camisa de fibra de vidrio, baterías bipartidas u otras.
- En roca, la longitud de carrera no será en ningún caso mayor de tres (3) metros.
- En formaciones blandas o fracturadas, esta longitud no deberá exceder de un metro y medio (1,5 m), reduciéndose incluso a medio (0,5) metro si fuera aconsejable.

Control permanente de la operación

- Con el fin de conseguir la máxima recuperación posible de testigo, se controlará permanentemente:
 - La velocidad y la presión de la perforación,
 - Caudal y presión de agua
 - Longitud de carrera,
- Se procederá al registro continuo de los principales parámetros de perforación, tanto analógica como digitalmente.
- Los parámetros a registrar serán principalmente los siguientes:
 - Velocidad de avance,
 - Revoluciones por minuto,
 - Par de rotación,
 - Carga sobre la corona,
 - Presión de inyección,
 - Caudal de inyección,
 - Otros.
- En sondeos inclinados con longitud superior a 70 metros deberá medirse y registrarse la desviación producida.



Extracción de testigos de perforación

- Una vez extraído el tubo portatestigos del sondeo, se sacará el testigo del mismo cuidadosamente, colocándolo en una canaleta, considerada como elemento imprescindible.
- Una vez dispuesto todo el testigo recuperado en la canaleta, se medirá la recuperación obtenida y se anotará si "falta" o "sobra" testigo y se anotará la causa.
- El testigo se clasificará, midiéndose la recuperación obtenida.
- A continuación se cortará y colocará correctamente en la caja portatestigos, de madera o de cartón parafinado, preparada al efecto.
- Para la correcta colocación del testigo en la caja portatestigos se seguirá la misma secuencia en que fue obtenido y empezando siempre por el final, disponiendo separadores entre las diferentes maniobras realizadas y delimitando las cotas de toma de muestras (S.P.T., muestras inalteradas, testigos parafinados, etc).
- En caso de pérdida de testigo se indicará en la caja correspondiente.
- Además del porcentaje de recuperación, se determinará para todos los testigos obtenidos el índice de calidad de roca (RQD).





UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities









Determinación del RQD

- Este índice, expresado como tanto por ciento, se obtendrá como **cociente entre la longitud total del testigo, considerando solamente aquellas partes del mismo de al menos diez (10) centímetros de longitud, y la longitud de perforación de cada maniobra.**
- Aquellas fracturas que evidencien haber sido producidas durante la perforación o manipulación de los, no serán consideradas como tales a los efectos de determinar el índice RQD.





Testificación

- La testificación geológico-geotécnica deberá realizarse "in situ" de forma simultánea a la perforación o inmediatamente después de la misma, no debiendo retrasarse.
- La zona de trabajo para realizarla estará fuera de peligro, de caídas accidentales de materiales, donde no se entorpezcan las labores del sondista, donde no se acumule o circule agua y con espacio suficiente para poder extender las cajas del sondeo.
- La clasificación y descripción de los suelos y rocas se efectuará de acuerdo con los criterios de las Sociedades Españolas de Mecánica de Suelos y Rocas.



Parte de campo del sondista

- Se llevará un registro o parte de campo continuo de la ejecución de cada sondeo.
- En éste parte, el sondista hará constar como mínimo los siguientes datos:
 - Maquinaria y equipos utilizados.
 - Fechas de ejecución.
 - Coordenadas y cota de boca.
 - Diámetro/s del sondeo.
 - Operaciones realizadas.
 - Columna estratigráfica y descripción de los terrenos encontrados indicando en qué tramos se ha perforado en seco y cuáles con adición de agua u otros fluidos autorizados.
 - Resultados de los ensayos de penetración realizados.
 - Situación y características de las muestras obtenidas.
 - Ganancias y/o pérdidas del líquido de perforación.
 - Cotas del nivel freático y de otros niveles acuíferos.
 - Recuperaciones obtenidas.
 - Incidencias producidas durante la perforación.
- Este registro o parte de campo, es un comprobante de la marcha de la marcha del sondeo y de su ejecución en tiempo real.
- Una vez terminado el sondeo, se entrega al menos una copia del parte de campo a la Supervisión y Dirección de Obra.

Partido del Raj
Pol. 15 - Parcela 117
Tel: y Fax: 988 652 125
30840 ALHAMA DE MURCIA

PERSONAL: Juan / suba
 OBRA: Sabiñanigo - Vert. Babilin
 CLIENTE: Eptisa
 PARTE DIARIO DE TRABAJO N.º: 07/30 HOJA N.º:
 MAQUINA N.º: 3 VEHICULO: 4/4 KM. RECORR.:
 CLAVE: Sumos/moles PARAJE:
 FECHA: 20/01 DEL 11 DE 2006 SONDEO N.º: R-8 B's
 OBJETO DEL SONDEO: R INCLINACIÓN:

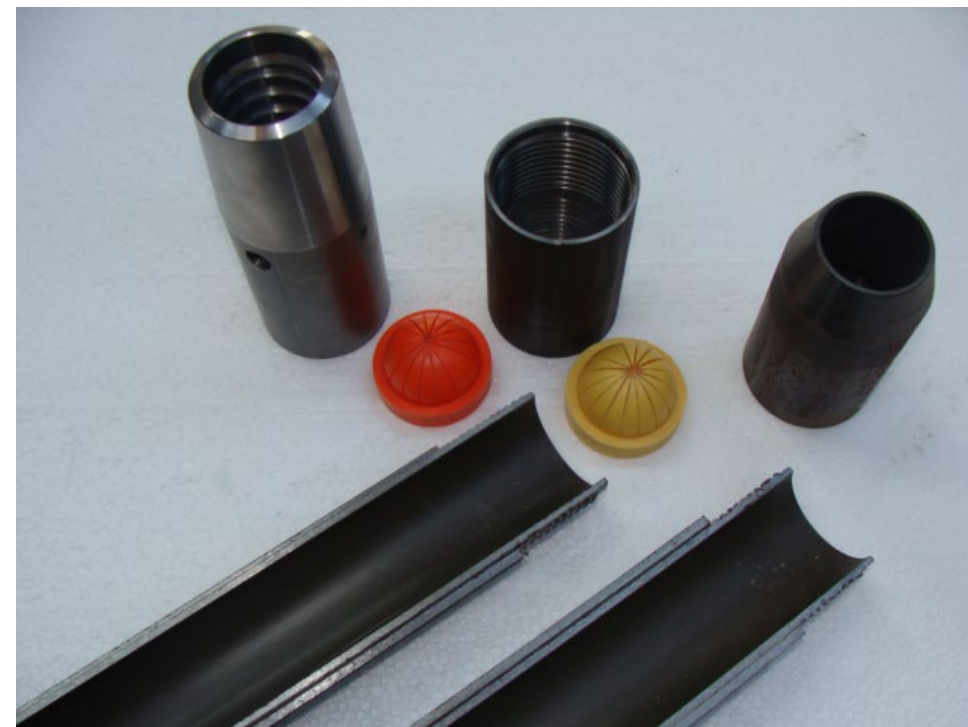
CONCEPTO DE LOS TRABAJOS	TIEMPOS		PERFORACION		TESTIGO		HERRAMIENTAS				NATURALEZA DEL TERRENO	COLOR	
	HORAS DE	HORAS A	METROS DE	METROS A	LONGITUD	%	N	R	SW	BT			D
R 018.0 15m	0915	1110											
+86 x 180	1115	1200											
4 ^{ta} Tr. a por agua	1145	1200	1890	2000									
Ensayo N.º 50	1300	1340											
+86 x 180	1440	1510	2000	2410									
n	1530	2110	2200										
+86 x 300 ? No sabe cota boca superior ida.	1635	2200	2300										
Muestras: N.º 50													

N.F.	Observaciones: <u>Alarías por la noche Domingo, suba +86 Recogen Seco.</u>
M.I.	
SPT.	
TP.	
Cajas	
Varios	

CONFORME
CLIENTE
INGENIERO GEÓLOGO
ENCARGADO

Ensayos de Penetración Estandar (SPT)

- Se realiza durante la ejecución de un sondeo, en el interior del mismo. Se saca la batería de perforación y se hinca un tomamuestras golpeando con fuerza fija en tramos de 15 cm.
- El número de golpes necesarios permite calcular el valor N que se correlaciona con la densidad y resistencia a la penetración del suelo.
- Se puede correlacionar con densidades, ángulos de rozamiento, y asientos.
- También permite obtener muestra alterada para ensayo de laboratorio.
- La puntaza ciega se usa en terrenos con bolos, la otra en otros suelos más granulares. Se ha de elegir la adecuada.
- La penetración se puede ver alterada por varios factores: profundidad del ensayo, estabilidad del sondeo, etc.
- Tanto el equipo utilizado como el procedimiento operativo del ensayo se ajustará a lo establecido en la Norma UNE-EN ISO22476-3.



Ensayos de Penetración Estandar (SPT)

- No obstante lo anterior, si el tomamuestras penetra los 450 mm indicados en la misma, siguiendo una norma de buena práctica, se hincará el tomamuestras otros 150 mm más anotando el golpeo correspondiente.
- La longitud del tomamuestras se ajustará a la longitud ensayada.
- Se dispondrá de un certificado de calibración del valor de E , bajo la cabeza de impacto o yunque, para cada uno de los equipos utilizados.



Ensayos de Penetración Estándar (SPT)



Toma de muestras inalteradas y parafinadas



- En los suelos cohesivos se tomarán muestras inalteradas a intervalos no mayores de 4,0 m mediante tomamuestras de pared delgada o gruesa, intercaladas con ensayos de penetración estándar y/o testigos parafinados, de modo que se obtenga una muestra o se realice un ensayo como mucho cada 4,0 m.
- El tomamuestras de pared delgada para reconocimiento de suelos blandos, tendrá de 1 a 2 mm de espesor, longitud mínima de 45 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm.
- Antes de proceder a la toma de una muestra, se retirarán todos los materiales sueltos o alterados del fondo del sondeo.
- La toma de la muestra se efectuará a velocidad constante, hincando lentamente el tomamuestras en el terreno mediante presión.

Toma de muestras inalteradas y parafinadas (II)

- Para el resto de suelos, se utilizará el tomamuestras seccionado de pared gruesa de 4 mm de espesor, longitud mínima 60 cm y diámetro mínimo interior de 70 mm.
- La secuencia y demás condiciones de hincado de estos tomamuestras serán las mismas que para la realización del ensayo SPT con idea de facilitar la correlación del golpeo con dicho ensayo SPT.
- Una vez hincado el tomamuestras, la muestra se cortará del terreno por rotación, sacándose seguidamente el tomamuestras con las debidas precauciones.
- Extraído el tomamuestras y separado el varillaje, se eliminarán cuidadosamente al menos 3,0 cm de la muestra por ambos extremos y se rellenarán inmediatamente los huecos con parafina líquida.
- Los extremos del tubo que aloja a la muestra deberán protegerse con tapas cuidadosamente ajustadas.
- Los tubos que contengan las muestras se etiquetarán para su identificación, almacenándose cuidadosamente para su envío al laboratorio.
- Con anterioridad al sellado de la muestra se procederá a hincar el penetrómetro de bolsillo y el aparato Vane-test de bolsillo, en los extremos de la misma, anotando las medidas obtenidas.



Toma de muestras parafinadas

- Cuando la resistencia del terreno sea elevada impidiendo la toma de muestras inalteradas o la realización de ensayos SPT de longitud suficiente para su posterior ensayo en el laboratorio y el terreno sea cohesivo, se sustituirá la toma de muestra inalterada por el parafinado de un trozo del testigo obtenido de la mayor longitud posible (> 35 cm).
- Estas porciones, previa limpieza superficial, se recubrirán con material no absorbente, y el conjunto se protegerá con un baño de parafina, de espesor suficiente para asegurar la invariabilidad de sus condiciones de humedad.
- El diámetro mínimo de las muestras parafinadas será de 70 mm.
- Cada porción de testigo seleccionado se etiquetará para su correcta identificación.
- Las Normas de aplicación para la toma de muestras inalteradas en sondeos serán la ASTM D-3550/84 y ASTM D-1587/94.



Tomamuestras tipo SHELBY





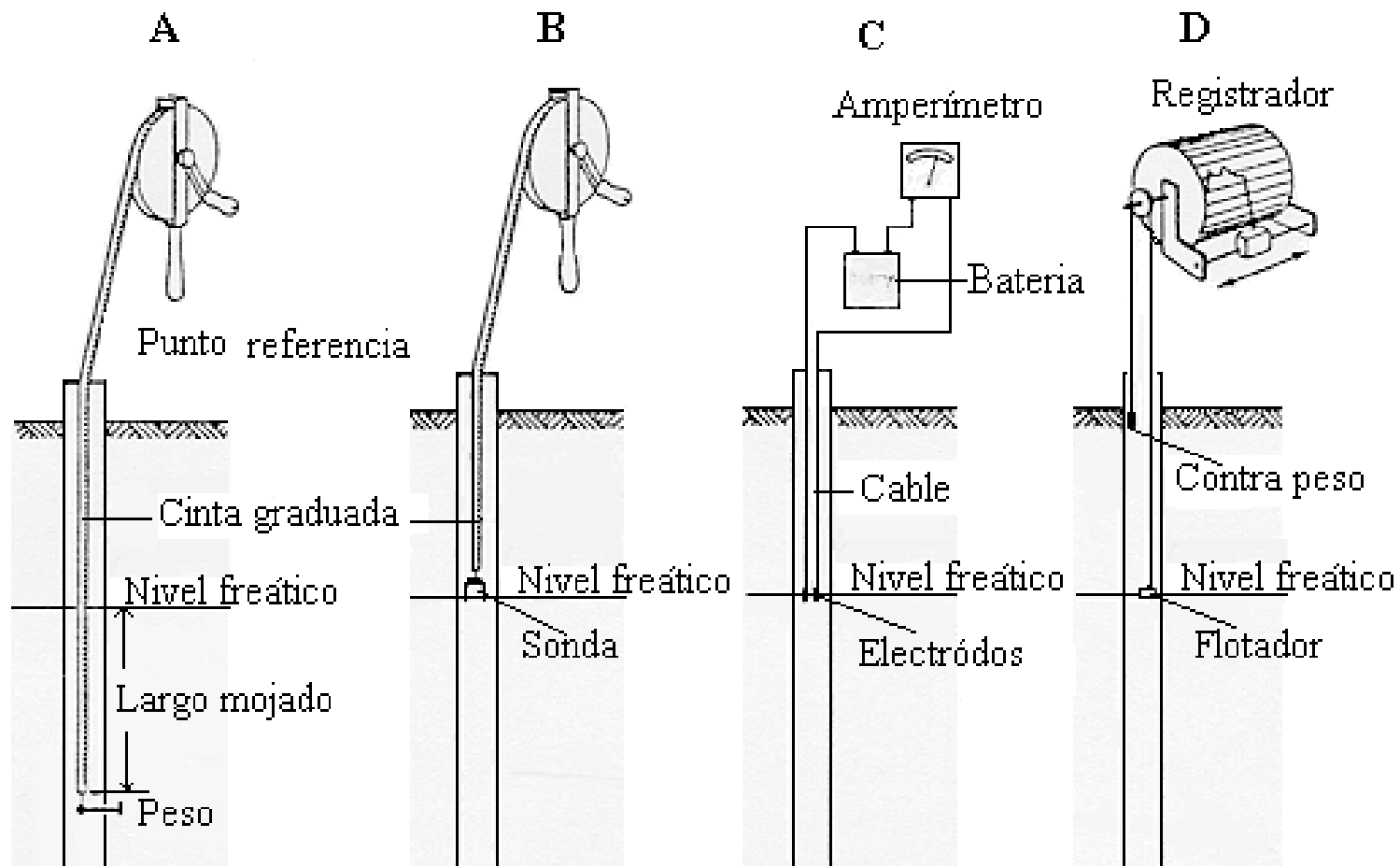
Toma de muestras de agua

- Se realizan para el estudio de las características hidroquímicas del agua encontrada en los puntos de reconocimiento (sondeos, calicatas, etc.).
- Si se hubiese perforado con adición de agua, además de la muestra de agua del propio terreno, se adjuntará una muestra del agua utilizada para perforar.
- Las muestras de agua se envasarán en recipientes limpios de plástico o de vidrio, dotados de cierre hermético, procediéndose al llenado de los mismos después de enjuagarlos con el agua a muestrear.
- Cada una de las muestras se etiquetará correctamente indicando su procedencia.
- La toma de muestras de agua para análisis químicos se ejecutará de acuerdo a lo establecido en la Norma UNE 41.122/95.

Observaciones y mediciones del nivel freático

- Es habitual llevar un registro del nivel freático en todos los sondeos, no solo durante la perforación, sino también tras su finalización, al menos hasta la terminación de la campaña.
- Si durante la ejecución del sondeo se utilizaran lodos bentoníticos o geles especiales de perforación, se limpiará el sondeo una vez finalizado mediante la circulación de agua limpia.
- La utilización de lodos bentoníticos o geles especiales debe hacerse con cuidado y, en especial si se pretende realizar posteriores ensayos de permeabilidad.
- Se procederá a la instalación de los piezómetros:
 - Piezómetros con tubería de PVC convencional.
 - Piezómetros con tubería Preussag.





Observaciones del nivel freático

■ Piezómetros con tubería de PVC convencional:

- Se construye con un tubo perforado o ranurado, de PVC o galvanizado, que se introduce en el sondeo después de perforarlo.
- Suelen tener un diámetro útil entre 60 y 100 mm, sus uniones van soldadas o roscadas y sus extremos se tapan y protegen adecuadamente.

■ Piezómetros con tubería Preussag:

- Necesitan perforaciones de diámetro mínimo de 116 mm.
- La tubería, con diámetro interior mínimo de 50 mm, se instala con centradores y un prefiltro granular en el espacio anular comprendido entre la tubería y el terreno.
- La granulometría del prefiltro y el paso de la rejilla será elegida en función de los resultados de los análisis granulométricos realizados previamente sobre las muestras tomadas durante la perforación de los sondeos.



Observaciones del nivel freático

- Los piezómetros se diseñan para **medir el potencial hidráulico de forma puntual en niveles acuíferos individualizados**. Por ello, hay que evitar comunicar con ellos los distintos niveles acuíferos atravesados.
- La situación de los tramos filtrantes de la tubería piezométrica se fijarán en función de la columna litológica investigada con el sondeo previo y se aislarán los tramos filtrantes del resto del sondeo, colocando tapones en el anular entre la tubería y el taladro.
- Tras finalizar las tareas de acondicionamiento del sondeo, los piezómetros serán limpiados mediante bombeo para asegurar una perfecta conexión con el acuífero.
- Práctica operativa:
 - En los sondeos en ejecución se controlará la posición del agua en los mismos, indicando la profundidad a que se encuentra el sondeo, así como la fecha y hora de las lecturas.
 - Durante la realización de la campaña de campo, se suelen efectuarán dos mediciones diarias del nivel freático hasta su estabilización en todos los sondeos terminados, debidamente espaciadas o con la secuencia que se establezca.

Observaciones del nivel freático

- Como criterio general se considerará que un nivel está estabilizado cuando no existen diferencias en las medidas efectuadas a lo largo de una semana.
- Cuando se perfore en seco, se anotará el nivel al que se detectó por primera vez el agua y la posterior evolución de los niveles de ésta.
- Si se perfora con agua, se realizarán al menos dos achiques de la misma, controlando los niveles de achique y las posibles recuperaciones de nivel, de modo que se garantice la comprobación y posición del nivel freático.
- En caso de que fuera preciso o conveniente, se instalarán piezómetros de modo que puedan aislarse los distintos acuíferos interceptados en cada sondeo.
- En el caso de sondeos surgentes, se procederá al control de los caudales de surgencia con un ritmo de medidas ajustado a la magnitud de los mismos y se instalarán manómetros en las bocas de los sondeos.





Ensayos de permeabilidad “in situ”

- Se pueden hacer tanto en suelo como en macizos rocosos.
- Se inyecta agua en el sondeo y se mide cuánto se “pierde” por las paredes.
- Los más comunes son los ensayos de Lefranc (suelo) y de Lugeon (roca)
- El tipo de ensayo se decide según la naturaleza y estado del terreno.
- En roca se realizarán ensayos Lugeon, reservándose los ensayos Lefranc para suelos granulares o cohesivos y rocas blandas o rocas duras muy fracturadas.
- Si al realizar ensayos Lefranc, la inestabilidad del terreno lo aconsejara, se procedería a rellenar con gravilla el tramo de ensayo

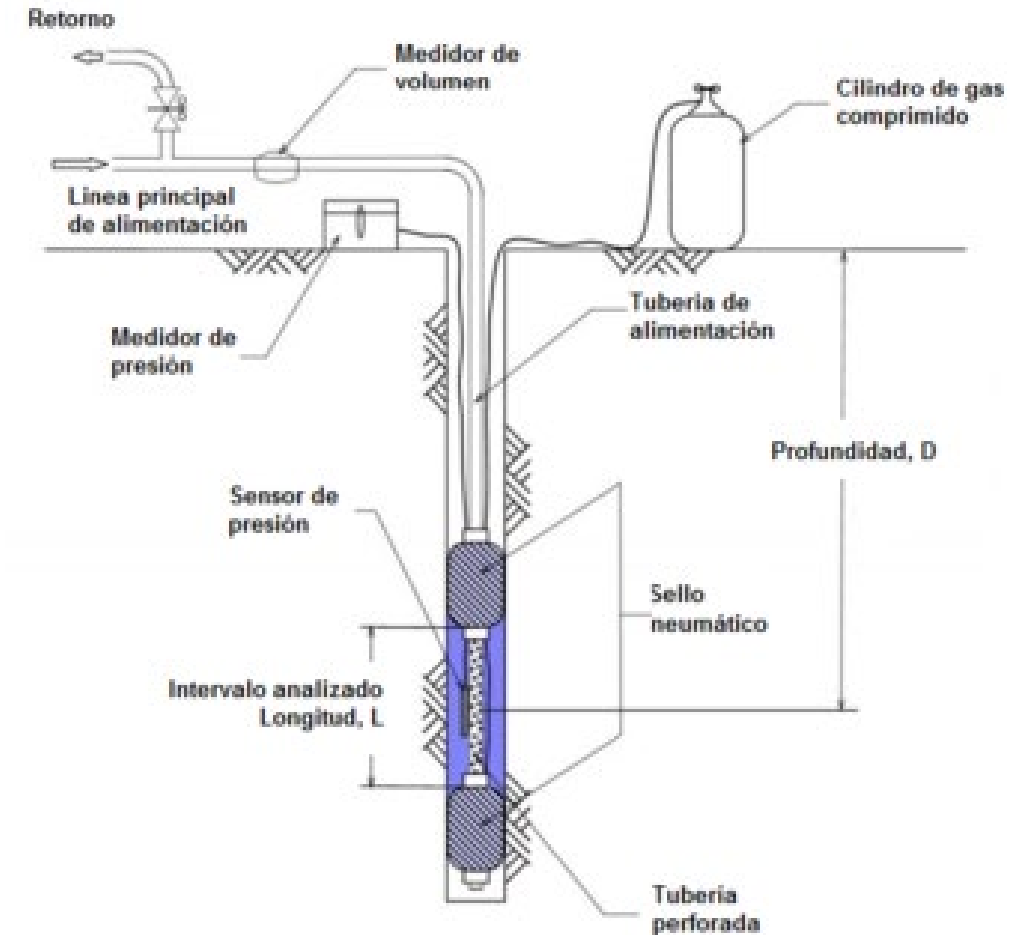
Ensayos de permeabilidad "in situ": Ensayo Lugeon



- El ensayo Lugeon se realizará:
 - Durante la ejecución del sondeo, comenzando por el fondo y de forma ascendente, o
 - Una vez finalizado éste.
- Para ello se inyectará agua a presión, en escalones sucesivos de carga y descarga de 0, 1, 2, 5 y 10 kp/cm^2 , manteniendo la presión constante en cada escalón durante un periodo de 10 minutos y midiendo las admisiones producidas.
- Se ensayarán tramos de sondeo de unos 5 m, aislando el tramo de ensayo del resto mediante dos obturadores, o uno sólo si el ensayo se realiza en el fondo del sondeo. Se utilizarán preferentemente obturadores hinchables.
- La inyección se realizará mediante bomba, midiendo la presión con manómetro y el volumen inyectado con un contador de agua o un recipiente tarado. Se utilizarán bombas de 150 l/min cuando se trabaje a una presión de 10 Kp/cm^2 .

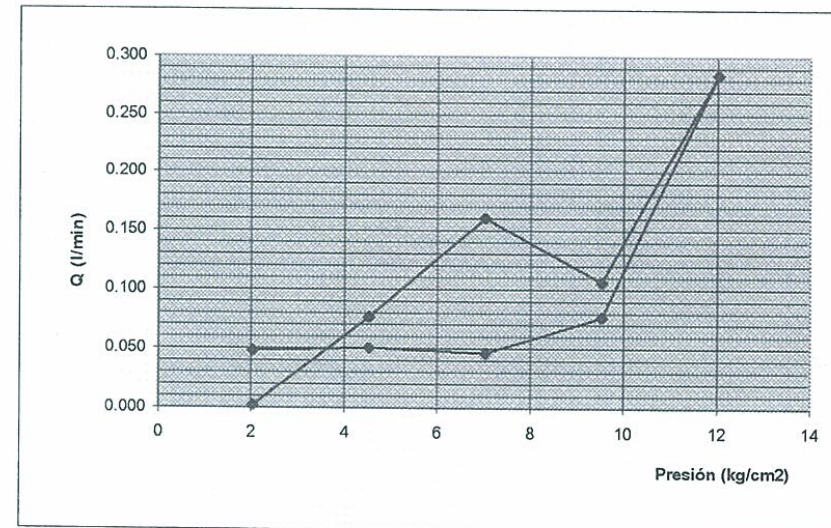
Ensayos de permeabilidad "in situ": Ensayo Lugeon

- Deberán siempre alcanzarse los 10 kp/cm², excepto en rocas blandas en las que se recomienda no superar los 5 kp/cm².
- Los resultados del ensayo Lugeon se representarán en función de la profundidad, de forma gráfica, en unidades Lugeon, o caudal de admisión en $l/min \times m$ en función de la presión ensayada, indicando también el coeficiente de permeabilidad equivalente.



ENSAYO LUGEON

OBRA:	Embalse de Flix
FECHA REALIZACIÓN	24/05/2005
CÁLCULOS	
SONDEO	D-6
LITOLOGÍA	Areniscas, margas y argilitas
LONGITUD TRAMO DE ENSAYO (m)	5
Diámetro (mm)	101
DE	19.35
A	24.35
Profundidad techo tramo ensayado (m)	19.35
Altura manómetro respecto al terreno (m)	1



MANOMÉTRICA	PRESIÓN		ADMISIÓN Litros	TIEMPO Minutos	CAUDAL l/min/m	UNIDADES LUGEON U.L.	OBSERVACIONES	PERMEABILIDAD m/s
	ESTÁTICA	TOTAL						
0	2.035	2.035	2.4	10	0.048	0.236		
2.5	2.035	4.535	2.5	10	0.050	0.110		
5	2.035	7.035	2.3	10	0.046	0.065		
7.5	2.035	9.535	3.8	10	0.076	0.080		
10	2.035	12.035	14.2	10	0.284	0.236		
7.5	2.035	9.535	5.3	10	0.106	0.111		3.54E-08
5	2.035	7.035	8	10	0.160	0.227		
2.5	2.035	4.535	3.8	10	0.076	0.168		
0	2.035	2.035	0.1	10	0.002	0.010		

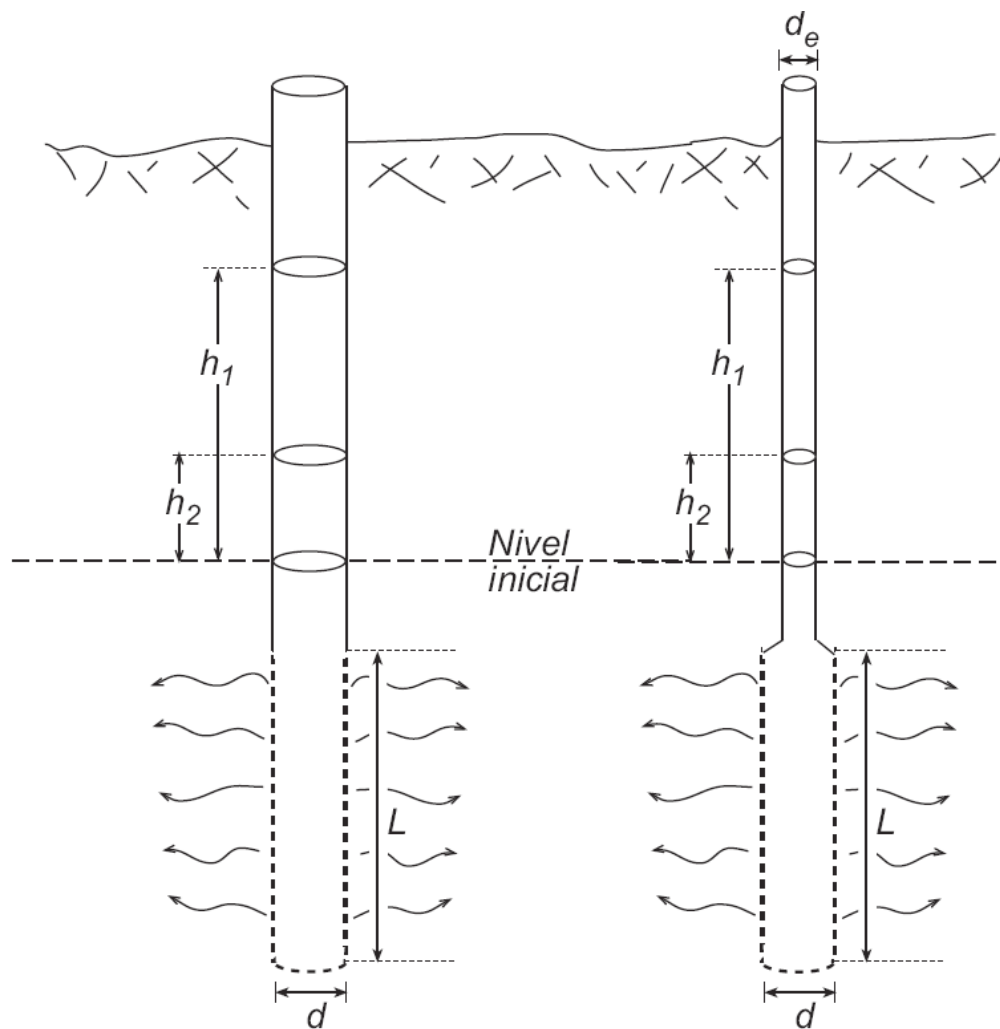
Ensayos de permeabilidad "in situ": Ensayo Lefranc



- El ensayo Lefranc se realizará también en el interior de un sondeo, durante su ejecución o una vez finalizado, para determinar el coeficiente de permeabilidad k en suelos permeables o semipermeables de tipo granular (aluviales, arena, limo) con velocidad de flujo lenta y situados bajo el nivel freático, o en rocas muy fracturadas.
- Se llena de agua el pozo y se mide el caudal necesario para mantener el nivel constante (ensayo a régimen permanente) o bien la velocidad de descenso (a régimen variable).
- Permite calcular el coeficiente de permeabilidad.
- Este ensayo se podrá realizar midiendo los caudales (a régimen permanente) o midiendo los niveles (a régimen variable).
- Si durante su ejecución la inestabilidad del terreno lo aconsejara, se procedería a rellenar con gravilla el tramo de ensayo.

Ensayos de permeabilidad "in situ": Ensayo Lefranc

- En el ensayo Lefranc a régimen permanente, como norma general, deberá medirse el caudal de admisión cada 5 minutos, manteniendo constante el nivel en la boca del sondeo durante 45 minutos. Si la admisión es muy alta, deberá medirse cada minuto durante los 20 primeros y después cada 5 minutos hasta llegar a los 45 minutos. El k del tramo será el promedio de todos los valores obtenidos. Se utilizará sonda eléctrica, cronómetro y medidor de volúmenes de agua.
- El ensayo a régimen variable se realizará preferentemente de forma descendente. La carga máxima de agua no excederá de 10 metros medidos desde el centro de la cámara filtrante y la longitud de ésta no excederá de 5 m se utilizará sonda eléctrica y cronómetro, realizándose al menos 5 observaciones tomando los tiempos de observación de acuerdo a la velocidad de descenso/ascenso del nivel de agua en el tubo.
- Para cada una se registrará la profundidad del tramo ensayado y demás datos geométricos, así como las sucesivas posiciones de la lámina de agua con el tiempo.
- Los puntos de observación se representarán en una gráfica descensos/tiempo.



ENSAYO DE INFILTRACIÓN EN SONDEO

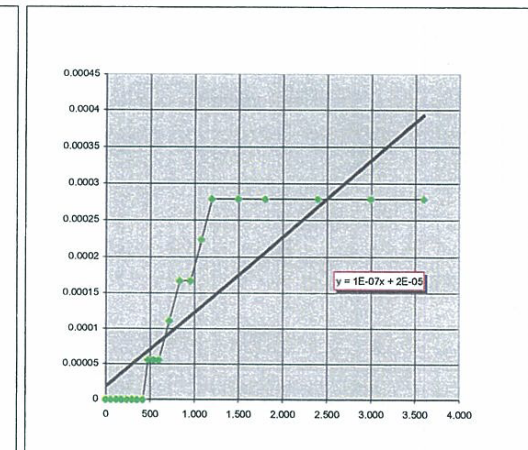
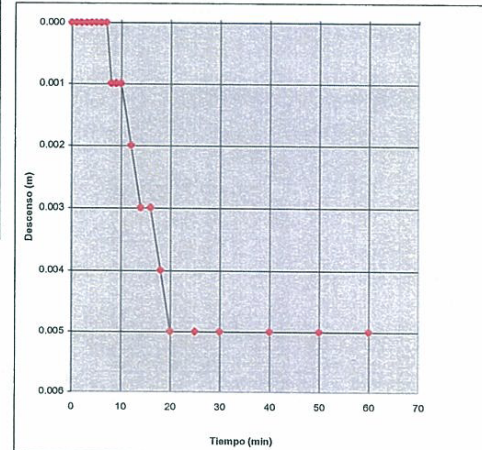
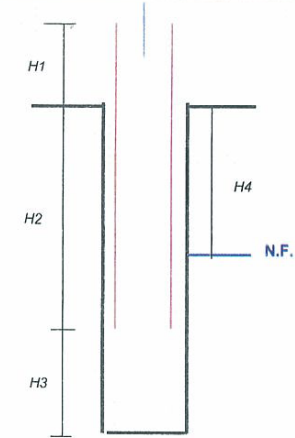
OBRA:	EMBALSE DE FLIX				
FECHA:	28/06/2005				
SONDEO:	D-1	DE	7.8	A	7.8 m
REALIZACIÓN:	GETINSA				
SUPERVISIÓN:	GETINSA				

CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO		Gravas muy densas		TIPO DE ENSAYO	
Unidades	Valor	Unidades	Valor		
LITOLÓGICA DE LA ZONA DE ENSAYO		m	1.4	ZONA SATURADA	X
DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS		m	0	ZONA NO SATURADA	
POSICIÓN DEL NIVEL FREÁTICO (H4)		mm	101	CARGA VARIABLE	X
LONGITUD DEL TRAMO FILTRANTE (H3)		m	7.8	CARGA CONSTANTE	
DIÁMETRO DEL TRAMO FILTRANTE		mm	101	FONDO DE SONDEO	X
LONGITUD DEL TRAMO CIEGO (H2)		m	0	TRAMO DE SONDEO	
DIÁMETRO DEL TRAMO CIEGO					
SOBRESALE EL REVESTIMIENTO (H1)					

DATOS DEL ENSAYO		Unidades	Valor
CARGA CONSTANTE	CAUDAL ADMINISTRADO PARA MANTENER EL NIVEL CONSTANTE	m ³ /s	
	TIEMPO DE LA PRUEBA		

	TIEMPO PARCIAL	TIEMPO PARCIAL	DESCENSO	ALTURA DE LA	LOG (Ho/Hi)	
	(min)	(seg)	ACUMULADO (m)	COLUMNA DE AGUA (Hi)		
CARGA VARIABLE	0	0	0.000	7.800	0	
	1	60	0.000	7.800	0	
	2	120	0.000	7.800	0	
	3	180	0.000	7.800	0	
	4	240	0.000	7.800	0	
	5	300	0.000	7.800	0	
	6	360	0.000	7.800	0	
	7	420	0.000	7.800	0	
	8	480	0.001	7.799	5.56823E-05	
	9	540	0.001	7.799	5.56823E-05	
	10	600	0.001	7.799	5.56823E-05	
	12	720	0.002	7.798	0.00011372	
	14	840	0.003	7.797	0.000167068	
	16	960	0.003	7.797	0.000167068	
	18	1.080	0.004	7.796	0.00022772	
	20	1.200	0.005	7.795	0.000278483	
	25	1.500	0.005	7.795	0.000278483	
	30	1.800	0.005	7.795	0.000278483	
	40	2.400	0.005	7.795	0.000278483	
	50	3.000	0.005	7.795	0.000278483	
	60	3.600	0.005	7.795	0.000278483	
	Datos finales					

Auxiliares de cálculo	Q equivalente carga cte. (m ³ /s)	1.11276E-08	Coeficiente de forma (n)	
	Carga media columna de agua (H)	7.7975	Filtración en tramo (L>2D)	#NUM!
	H3/H	0	Filtración en tramo	
	H3/r	0	Filtración en fondo	0.27775
	H/r	154.4059406		
	Cu no saturado		Filtración en fondo (techo impermeable)	0.202
m	0.0000001	A	1.5	
Cs saturado				



COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)		MÉTODO DE CÁLCULO								OBSERVACIONES
RESULTADOS	Unidades	Lefranc-Mandel	U.S. Navy Bureau	Shestakov	Gilg-Gavard	Zangar	Nasberg - Torftekata	Lama - Vutukuri	Buisson	
Kv no saturada	m/s							5.14E-09	2.25E-09	
Kh no saturada	m/s					#DIV/0!	#DIV/0!			
Kv saturada	m/s	5.14E-09	1.03E-08						2.25E-09	
Kh saturada	m/s	#NUM!	#DIV/0!	#DIV/0!	3.26E-09	#DIV/0!				

Envase protección y transporte de las muestras

- Todas las muestras y testigos se envasarán adecuadamente para evitar su alteración durante el transporte o almacenamiento y se enviarán a la mayor brevedad posible al laboratorio.
- Las cajas deberán estar siempre protegidas de la intemperie, retirándose cada día al almacén.
- Bajo ningún concepto se puede abandonar una caja a la intemperie durante la noche en el mismo emplazamiento del sondeo.
- Las cajas portatestigos podrán ser de madera, cartón parafinado o plástico. En terrenos húmedos o arenosos saturados no es aconsejable la utilización de cajas de cartón parafinado por su escasa durabilidad.
- Las muestras inalteradas deberán conservarse en el laboratorio en un ambiente de temperatura y humedad controlados. Únicamente se procederá a la apertura de los envases de las muestras que vayan a ensayarse, y solo en el momento de la realización de los ensayos correspondientes.
- Suele ser una condición contractual que el resto de las muestras se conserve en condiciones óptimas de humedad y temperatura, durante un plazo de entre seis y doce meses en el laboratorio desde la fecha de finalización contractual.



Ensayos de bombeo. Generalidades.

- Son ensayos continuos de 24 horas de duración.
- Están destinados a caracterizar el pozo:
 - Transmisividad
 - Permeabilidad
 - Según el tipo de ensayo, coeficiente de almacenamiento del pozo.
- Permite ver qué bueno es el pozo, qué rendimiento se le puede sacar, etc.
- Una vez pasadas las 24 horas, se para el bombeo y se empieza a realizar un **Ensayo de Recuperación**, en el que se deja que los niveles del pozo se vayan recuperando poco a poco hasta estabilizarse a las 8 horas.



Ensayos de bombeo (I)

- Para la ejecución de los ensayos de bombeo se efectuará una perforación de un diámetro tal que permita la colocación de tubería de al menos 200 - 250 mm de diámetro mínimo interior y un prefiltro de al menos 80 mm de espesor. El huso granulométrico de esta gravilla y la apertura del filtro se ajustarán a la naturaleza del terreno.
- Cada uno de estos pozos penetrará al menos 3 m por debajo de la base del acuífero a estudiar.
- Se procederá al sellado de la parte superior del pozo con mortero de cemento. Posteriormente se procederá al desarrollo del pozo mediante sobrebombeo.
- Cada uno de estos pozos de bombeo llevará asociado al menos tres (3) o cuatro (4) piezómetros según las circunstancias y objetivos del ensayo.





Ensayos de bombeo (II)

- Los ensayos constarán de dos fases:
 - Una primera fase de bombeo escalonado para determinar el caudal de ensayo.
 - Una segunda fase de bombeo a caudal constante hasta alcanzar el régimen permanente y, en cualquier caso, de al menos 24 horas de duración. Se controlará igualmente la recuperación del nivel durante al menos 24 horas. Los caudales se controlarán mediante tubo de Pitot.
- Se dispondrá de un sistema de evacuación del agua bombeada lo suficientemente alejado del punto de ensayo para evitar el retorno de caudales a la zona afectada por el ensayo de bombeo.
- Las medidas piezométricas en el pozo y piezómetros auxiliares se realizan con **frecuencias de 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120, 150 y 180 minutos y, posteriormente, cada hora,** siendo este plan también el plan de medidas seguidas en las recuperaciones.
- Los niveles se controlarán mediante sondas eléctricas graduadas en centímetros.
- Se empleará un procedimiento de interpretación adecuado a las características del ensayo, como por ejemplo, el **método de Theis y Jacob** para el régimen no permanente y el **método de descensos-distancias (o de Thiem)** para el régimen permanente.
- Para cada uno de ellos se incluirán las curvas que permitan el **cálculo de la permeabilidad, la transmisividad y el coeficiente de almacenamiento.**



ENSAYO DE BOMBEO ESCALONADO																														
TRABAJO:		EMBALSE DE FLIX												Técnico Responsable:		Firma:														
Fecha:		1-08-05		Modelo Bomba Utilizado				CAPRARI E-6564/12-A				Profundidad Bomba		35m																
CAUDAL ESCALÓN		2,5 l/s		POZO BOMBEO				PIEZÓMETROS DE CONTROL				CAUDAL ESCALÓN		4 l/s		POZO BOMBEO				PIEZÓMETROS DE CONTROL										
				PB-1		H-6		P2-1		P2-2						PB-1		H-6		P2-1		P2-2								
Tiempo		Hora Inicio		Hora Final		Profundidad N.F. (m)		Profundidad N.F. (m)		Profundidad N.F. (m)		Profundidad N.F. (m)		Observaciones		Tiempo		Hora Inicio		Hora Final		Profundidad N.F. (m)		Profundidad N.F. (m)		Profundidad N.F. (m)		Observaciones		
1º ESCALÓN		0			5,34	4,98	4,77	5,01						Brocal PB-1: 0:70m	0			6,19	5,02	4,83	5,04									
		1,5			5,55											1			6,45											
		2			5,55											2			6,55											
		3			5,55											3			6,65											
		4			5,57											4			6,74											
		5			5,59											5			6,80											
		6			5,60											6			6,87											
		7			5,64											7			6,96											
		8,5			5,73											8			7,00											
		9,5														9			7,08	5,06										
		10			5,68											10			7,15		4,88	5,05								
		12			5,71											12			7,30											
14			5,74											14			7,38													
16			5,79											16			7,49													
18			5,84											18			7,57													
20			5,89											20			7,62													
25			6,00											25			7,71													
30			6,07											30			7,78													
40			6,14											40			7,83													
50			6,18											50			7,89													
60			6,19	5,02	4,83	5,04								60			7,99													
61														61																
62														62																
63														63																
64														64																
65														65																
66														66																
67														67																
68														68																
69														69																
70														70																
72														72																
74														74																
76														76																
78														78																
80														80																
85														85																
90														90																
100														100																
110														110																
120														120																
2º ESCALÓN		0													0			6,19	5,02	4,83	5,04									
		1													1			6,45												
		2													2			6,55												
		3													3			6,65												
		4													4			6,74												
		5													5			6,80												
		6													6			6,87												
		7													7			6,96												
		8													8			7,00												
		9													9			7,08	5,06											
		10													10			7,15		4,88	5,05									
		12													12			7,30												
14													14			7,38														
16													16			7,49														
18													18			7,57														
20													20			7,62														
25													25			7,71														
30													30			7,78														
40													40			7,83														
50													50			7,89														
60													60			7,99														
61													61																	
62													62																	
63													63																	
64													64																	
65													65																	
66													66																	
67													67																	
68													68																	
69													69																	
70													70																	
72													72																	
74													74																	
76													76																	
78													78																	
80													80																	
85													85																	
90													90																	
100													100																	
110													110																	
120													120																	



ENSAYO DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE																
TRABAJO: EMBALSE DE FLUX										Técnico Responsable:						
Fecha: 2-08-07		Profundidad Bomba: 35m		Caudal de bombeo (l/s): 4		Modelo Bomba Utilizado: CAPRARI E-6564/12A				Firma:						
Tiempo teórico (Horas)	Tiempo (min)	Hora inicio	Hora final	Pozo Bombeo PB-1				Piezómetros de control						Observaciones		
				Prof. (m)	T (°C)	Ph	Conduct.	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)	Prof. (m)		Prof. (m)	
0	0	7:0						4,99	4,77	5,03						
	1			8'07												
	2			8'99												
	3			7'40												
	4			9'67												
	5			9'36												
	6			9'57												
	7			10,00												
	8			10,10												
	9			10,21												
	10			10,28												
	12			10,42				5,10	4,88	5,07						
	14			10,64												
	16			10,76												
	18			10,80				5,11	4,95	5,08						
	20			10,83												
	25			11,00												
0:30	30			11,10	18,5	7,20	2,68	5,20								
	35			11,12				5,01	5,09							
	40			11,13												
	50			11,17				5,23	5,04	5,09						
1	60			11,22				5,27	5,06	5,10						
	75			11,27				5,26	5,07	5,10						
1:30	90			11,26				5,27	5,08	5,10						
	105			11,26				5,28	5,05	5,10						
2	120			11,26	21,0	7,24	2,60	5,29	5,10	5,11						
2:30	150			11,27				5,30	5,11	5,12						
3	180			11,28	21,7	7,24	2,59	5,32	5,12	5,12						
3:30	210			11,37				5,34	5,14	5,13						
4	240			11,43	21,1	7,22	2,63	5,35	5,15	5,13						
5	300			11,58				5,37	5,17	5,14						
6	360			11,62	19,7	7,29	2,68	5,39	5,19	5,15						
7	420			12,03				5,40	5,21	5,15						
8	480			12,20				5,42	5,22	5,16						
10	600			12,57	20,3	7,16	2,74	5,47	5,26	5,19						
12	720			13,10	19,6	7,16	2,75	5,49	5,28	5,19						
14	840			13,54	19,1	7,19	2,74	5,50	5,31	5,21						
16	960			13,77	19,0	7,20	2,77	5,52	5,33	5,22						
18	1080			14,20	18,7	7,21	2,76	5,54	5,35	5,23						
20	1200			14,77	18,4	7,23	2,77	5,56	5,36	5,24						
22	1320			15,29	18,9	7,19	2,77	5,57	5,38	5,26						
24	1440			15,49	20,6	7,21	2,73	5,59	5,40	5,26						

RECUPERACIÓN ENSAYO DE BOMBEO ESCALONADO															
TRABAJO: EMBALSE DE FLUX										Fecha: 1-08-07		Firma:		Técnico Responsable:	
POZO BOMBEO		PB-1		Nivel teórico al inicio del bombeo: 5'34		Nivel teórico al final del bombeo: 35'00		Nivel teórico al final de la recuperación: 5'38		% Recuperado: 99'8					
Tiempo teórico	Horas	Hora inicio	Hora final	POZO BOMBEO		PIEZÓMETROS DE CONTROL						Observaciones			
				Prof. (m)	Recuperación (m)	% Recuperación	Prof.	Recup.	Prof.	Recup.	Prof.		Recup.		
0				35											
0.5				27'03											
1				20'75											
2				13'64											
3				8'35											
4.25				8'06											
5				7'83											
6				7'63											
8				7'10											
10				6'87											
12				6'77											
15				6'55											
20				6'33											
25				6'13											
30				6'00											
600				5'38											

Registro de los sondeos

- La supervisión de los trabajos y ensayos de campo consiste en la disposición permanente a pie de obra de titulados expertos en la materia, encargados de:
 - La supervisión y correcta ejecución de todos los trabajos de campo que se estén realizando,
 - La testificación "in situ" de los sondeos y calicatas,
 - La petición de permisos si fueran necesarios, etc.
- **Durante la realización de los trabajos, se deberá llevar un registro completo, numerado, exacto y legible de cada sondeo o tipo de prospección.**
- Contendrá toda la información sobre las condiciones y naturaleza del terreno, las características del sistema de reconocimiento empleado, las incidencias producidas y la interpretación de los resultados.
- Los puntos investigados serán fotografiados antes, durante la realización de los sondeos y después de finalizados.



Situación final de los sondeos



- Las bocas de los sondeos terminados quedarán protegidas con tapas metálicas y enrasadas con el vial.
- Los tapones dispondrán de sistemas de apertura con herramientas específicas, preferiblemente llave Allen, para permitir la medida regular del nivel freático.
- Se colocará una arqueta en cada boca de sondeo con posterioridad a su cajeo
- La arqueta se recibirá con mortero.
- Cuando en el proyecto esté previsto el sellado de los sondeos, esta operación se realizará siempre de abajo a arriba.



Calicatas y trincheras

- Excavaciones poco profundas (1 a 3 o 4m).
- Son realizadas para:
 - La observación directa y relativamente amplia del terreno.
 - Describir estratigrafía del suelo superficial
 - Conocer la profundidad de la roca y sus propiedades geotécnicas superficiales.
 - Detectar niveles freáticos superficiales
 - La toma de muestras para ensayos.
 - La realización de ensayos "in situ" del terreno.
 - Clasificar geotécnicamente el suelo
- Pueden ser manuales o realizadas mediante retroexcavadora.
- Son rápidas en su ejecución y de bajo coste.
- Solo alcanzan una profundidad de reconocimiento limitada.
- Materiales necesariamente "ripables" con retroexcavadora.
- Son objeto de problemas de desmoronamiento de las paredes que impiden la adecuada observación.
- Alteran las características resistentes del terreno afectado por la excavación.



Calicatas







Ensayos y pruebas in situ

- Tienen como objetivo completar la información de los trabajos de campo.
- **Ejemplos:**
 - S.P.T. (en sondeos)
 - Ensayo presiométrico (en sondeos)
 - Ensayo de corte con molinete - VANE TEST (calicatas, muestras inalteradas)
 - Ensayo con penetrómetro de bolsillo (calicatas, muestras inalteradas)
 - Ensayo de carga con placa (calicatas, limitaciones...)



Ensayos de laboratorio

- **Materiales granulares (arenas/gravas):**
 - Análisis granulométrico por tamizado
 - Humedad
 - Límites Atterberg
 - Contenido en sulfatos, carbonatos y materia orgánica
 - Proctor Normal / Modificado y CBR

- **Materiales cohesivos (limos/ arcillas):**
 - Análisis granulométrico por tamizado
 - Límites de Atterberg
 - Compresión simple
 - Edometría
 - Hinchamiento / colapso
 - Corte directo
 - Triaxial



Muestras inalteradas

- IDENTIFICACIÓN:
 - Humedad,
 - Densidad,
 - Granulometría,
 - Límites de Atterberg

- CLASIFICACIÓN DE CASAGRANDE

- QUÍMICA:
 - sulfatos, materia orgánica, sales solubles, yeso, carbonatos, etc.

- MECÁNICA DEL SUELO:
 - Compresión simple, colapso, presión máxima de hinchamiento, hinchamiento libre, triaxial, edometría, corte directo, permeabilidad, alterabilidad, dispersabilidad, ...



Muestras alteradas

- IDENTIFICACIÓN: Humedad, densidad aparente
- Granulometría, Límites de Atterberg
- CLASIFICACIÓN DE CASAGRANDE
- Proctor (normal o modificado) según proyecto, C.B.R.,
- QUÍMICA: sulfatos, materia orgánica, sales solubles, yeso, carbonatos, etc.
- CLASIFICACIÓN PG- 3/ 75

Penetraciones Dinámicas



- Son ensayos rápidos, económicos y aportan una información muy valiosa de los metros de terreno más superficiales.
- Consiste en hincar un utensilio metálico de dimensiones normalizadas (puntaza) en el suelo por golpeo o empuje
- Tienen por objetivo dar una idea de la resistencia del terreno, correlacionado con la fuerza o golpeo necesaria para hincar la puntaza.
- No obstante, tienen una aplicación limitada ya que no suelen alcanzar una profundidad elevada y a cierta profundidad la información que proporcionan puede ser dudosa (normalmente inferior a 20 m).
- Tipo de penetraciones D.P.S.H. vs BORROS:
 - **Estática:** se realiza por empuje
 - **Dinámica:** se realiza mediante golpeo



Penetraciones Dinámicas

■ Ventajas:

- Son técnicas rápidas y económicas
- Existe una amplia experiencia y correlaciones con muchos otros ensayos

■ Inconvenientes:

- No se obtiene muestra de terreno (método indirecto)
- La energía suministrada en el penetrómetro está normalizada. Problemas en materiales muy compactos o muy blandos
- Un reconocimiento basado únicamente en penetraciones puede originar un estudio geotécnico nefasto

■ **DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)**

- El ensayo de penetración dinámica DPSH es, seguramente, el más utilizado junto al penetrómetro Borros que veremos a continuación, quizás porque la energía que proporcionan es más elevada y permite reconocer terrenos más resistentes y a mayor profundidad.
- La maza pesa $63,5 \text{ Kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ y se deja caer desde una altura de 76 cm, no pudiendo el conjunto del dispositivo de golpeo exceder de 115 kg.
- La punta o cono de penetración presenta un ángulo de ataque de 90° y está unida solidariamente al varillaje. La puntaza del penetro puede ser recuperable o perdida.
- Se cuenta el número de golpes necesarios para hincar la puntaza en el suelo 20 cm y se le denomina N_{20} . El ensayo se da por finalizado cuando tres valores sucesivos sean iguales o superiores a 75 golpes, un valor alcanza 100 golpes o más o el rozamiento de las varillas sea superior a 200 N.m.
- Cabe notar que presenta la misma altura de caída y el mismo peso de la maza que el ensayo de penetración SPT pero en este caso la conteo de los golpes se realiza cada 15 cm.



- Ensayo de penetración dinámica Borros:
- Es similar al ensayo DPSH pero se diferencia de éste en que la maza presenta un peso de 65 Kg, en lugar de 63,5 kg y la altura de caída es ligeramente inferior, 50 cm. Por otro lado, la puntaza es cuadrada con 16 cm² de área y peso 1,5 kg y la punta, es cónica con 60° de ángulo de ataque.
- De forma similar al DPSH, se cuenta el número de golpes necesarios para penetrar en el terreno 20 cm y se denomina N_B y el rechazo se alcanza cuando se llega a más de 100 golpes en 20 cm.

Métodos Geofísicos



- Tienen por objetivo:
 - Determinar propiedades físicas del terreno
 - Realizar determinaciones geológicas como estratigrafía de los materiales, disposición de heterogeneidades, fallas, nivel freático, etc.
 - Determinar propiedades de los suelos y rocas para deducir su comportamiento mecánico
- Tipos:
 - Métodos desde la superficie
 - Métodos en o entre sondeos
 - Métodos mixtos (superficie- sondeo)

Métodos geofísicos desde superficie

■ Gravimétricos:

- Miden las variaciones o anomalías en la vertical del campo gravitatorio terrestre.
- Detecta cavidades, delimita zonas de relleno o yacimientos arqueológicos

■ Magnéticos:

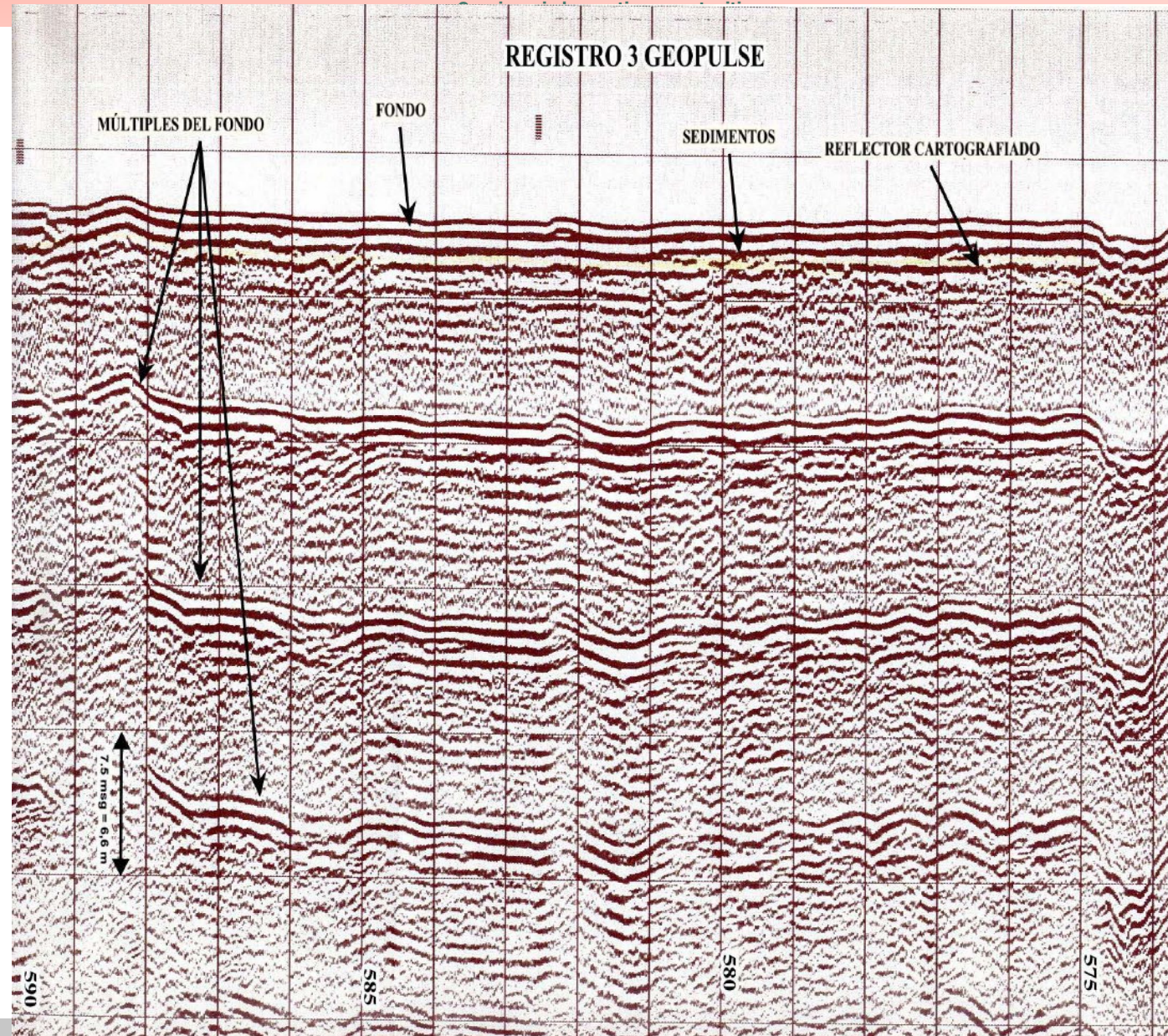
- Miden anomalías del campo magnético
- Se emplea en investigación minera

■ Sísmicos:

- Mide las variaciones de la velocidad de propagación de ondas de choque a través del terreno
- Sísmica de refracción / Sísmica de reflexión
- Se utiliza para medir espesores de recubrimiento, profundidad de niveles freáticos, etc.

■ Eléctricos:

- Miden los campos de potencial eléctrico, tanto los naturales existentes en la corteza terrestre como los artificialmente provocados
- Miden las propiedades eléctricas de las rocas y del agua que rellena sus poros como: resistividad, conductividad, actividad electroquímica o constante dieléctrica
- Métodos eléctricos (S.E.):
 - Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V.)
 - Calicatas eléctricas
 - Tomografía eléctrica
- Métodos de campo variable (electromagnéticos):
 - Sondeos electromagnéticos
 - Georadar



Métodos geofísicos en o entre sondeos



■ **Métodos en o entre sondeos**

- **Diagrafías o registros** en un sondeo y los ensayos sísmicos entre sondeos o desde superficie a un sondeo
- Se registra de una manera continua alguna característica física a lo largo de una columna de sondeo.
- Los métodos o parámetros más utilizados son la temperatura, salinidad, métodos eléctricos, electromagnéticos, sísmicos, etc.
- Ejemplos: "Cros-Hole" y tomografía sísmica

■ **Métodos superficie – sondeos**

- Métodos sísmicos que complementan los datos obtenidos en superficie del tipo "Down-Hole" y "Up-Hole"
- Otros ejemplos: Ensayo CPT y CPTU (con punta sísmica)

■ **Inconvenientes:**

- Son métodos complementarios de investigación, acompañando a sondeos y/o calicatas
- Distintas características en los materiales y sus posibles combinaciones pueden dar una misma respuesta física y por lo tanto llevar a error a la hora de la interpretación
- **Para una correcta interpretación es importante disponer de datos procedentes de reconocimientos directos**



Dudas y preguntas





POLITÉCNICA

UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGÍA

Mining Technology Innovative Lab

Opening minds, creating opportunities



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS Y ENERGIA
LABORATORIO DE TECNOLOGÍAS MINERAS

TECHNICAL UNIVERSITY OF MADRID
HIGHER TECHNICAL SCHOOL OF MINING AND ENERGY ENGINEERING
MINING TECHNOLOGIES LABORATORY