

APLICACIÓN HIDROLÓGICA DE SONDEOS DE TESTIGO CONTINUO



Guillermo Galán Martínez
Geotecnia, Hidrogeología y Medioambiente Consultores, S.L.
Pº de la Castellana 210, 8º 2 Madrid 28046
☎ 91 359 17 24
📠 91 359 72 96
Junio 2010

ÍNDICE:

1 Introducción

1.1 Técnicas de investigación y exploración hidrogeológica

1.2 Tipos de sondeos

2 Metodología para la ejecución de sondeos a rotación con testigo continuo

3 Aplicaciones de los sondeos a rotación con testigo continuo en hidrogeología

3.1 Caracterización geológica-hidrogeológica de la zona de estudio

3.2 Evaluación del estado cuantitativo del recurso subterráneo

3.3 Evaluación del estado cualitativo del recurso subterráneo

3.4 Herramienta de control

3.5 Otras aplicaciones

4 Figuras.

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Técnicas de investigación y exploración hidrogeológica

La prospección hidrogeológica engloba el conjunto de técnicas y métodos de exploración cuyo objetivo es la recopilación y gestión de los parámetros hidrogeológicos para su posterior análisis e interpretación.

El principal objetivo de las técnicas de investigación hidrogeológica es el reconocimiento del subsuelo con el fin de determinar la naturaleza del terreno, las características hidrogeológicas de los materiales que lo constituyen, la definición de la posición y evolución del nivel piezométrico, y la caracterización hidroquímica del agua subterránea.

Dentro de las técnicas de exploración e investigación hidrogeológica se distinguen dos tipos:

- Técnicas directas mediante las cuales se puede detectar y evaluar el recurso subterráneo a partir del reconocimiento de la naturaleza del terreno con posibilidad de toma de muestras o testigos.

Dentro de este tipo de técnicas se incluyen las excavaciones y sondeos, así como las operaciones de muestreo y testificación de testigos recuperados.

- Técnicas indirectas son aquellas en las que no se realiza un reconocimiento directo de los materiales que constituyen el subsuelo, por lo que la detección y evaluación del recurso se realiza a partir de las características físicas, químicas o geológicas, a partir de las cuales se puede predecir su existencia y comportamiento.

En este tipo de técnicas se incluyen las técnicas geofísicas de superficie.

1.2 Tipos de sondeos

Dentro de las técnicas directas de exploración hidrogeológica, se incluyen los sondeos que consisten en la perforación del terreno mediante medios mecánicos, preferentemente vertical, de diámetro inferior a 1,5 metros, que permite reconocer las características de los materiales que constituyen el subsuelo.

Según el tipo de perforación se pueden diferenciar los siguientes tipos de sondeo más comunes:

- Sondeos a percusión: Se realizan mediante el empleo de un útil que avanza mediante golpes sucesivos producidos por la caída del útil en el fondo del taladro o bien por hincas de una tubería con una maza. El método está basado en la fragilidad de los materiales a perforar, por lo que el ámbito de empleo más ventajoso es el de formaciones incoherentes.
- Sondeos a rotación: La perforación se realiza mediante la acción conjunta de rotación de la corona que produce la abrasión del material, y la presión ejercida por el varillaje. El material perforado se introduce en el interior del tubo testigo y se extrae mediante maniobras sucesivas.
- Sondeos a rotopercusión: Es la combinación de las técnicas anteriores que se basa en la combinación del efecto de golpeo a la que se superpone una acción de giro del útil de perforación.
- Sondeos con circulación directa o inversa: Se ejecutan mediante el giro de la herramienta en el fondo de la perforación por medio de un tren de varillas, que transmite la energía sobre la herramienta de corte. En función de la manera de evacuar el material perforado o detritus se distinguen dos tipos de perforación con circulación:
 - *Circulación directa*: El medio de transporte del ripio (agua, lodo, polímero...) se introduce por el interior del varillaje y sale junto con el detritus por el espacio anular comprendido entre la pared de la perforación y el varillaje.
 - *Circulación inversa*: El medio de transporte del ripio (agua, lodo, polímero...) se introduce por el espacio anular comprendido entre la pared de la perforación y el varillaje, y sale junto con el detritus por el interior del varillaje.

2 METODOLOGÍA PARA LA EJECUCIÓN DE SONDEOS A ROTACIÓN CON TESTIGO CONTINUO

El principio general, consiste en la acción conjunta de la presión ejercida sobre el fondo del pozo y el movimiento de giro de una herramienta de corte (corona) transmitido desde la superficie a través del varillaje.

Las coronas pueden ser de *widia* constituidas por carburo de wolframio y usadas en terrenos fáciles de perforar, y de *diamante*, para terrenos duros y difíciles de perforar. Dado que la elección de la herramienta de perforación depende de las características de los terrenos atravesados, la perforación debe ser supervisada en todo momento por personal cualificado.

El material perforado se introduce en el “tubo testigo” a medida que avanza la perforación, por lo que se obtiene una barra cilíndrica, denominada testigo.



Figura X. Ejemplo de testigos recuperados durante la perforación de un sondeo a rotación con testigo continuo.

En función del “tubo testigo” se diferencian tres tipos de baterías de rotación:

- *Tubo testigo simple:* mediante la cual se obtiene una mala recuperación del testigo al ser reblandecido por el fluido de refrigeración y estar en contacto con el tubo en movimiento.
- *Tubo testigo doble:* en el que el agua de refrigeración circula entre dos tubos concéntricos y por tanto no afecta a la muestra. Este tipo de tubo testigo puede ser rígido, donde el testigo está en contacto con el tubo interior en rotación, por lo que se destruye parte del testigo, o giratorio, donde el tubo interior va montado sobre un rodamiento a bolas y por tanto el método

mediante el cual se obtiene un testigo de mayor calidad y una alta recuperación.

- *Tubo testigo triple*, que esta compuesto por un tubo interior que contiene un estuche de latón y en su base se encuentra una zapata cortante que sobresale bajo la corona con objeto de extraer el testigo por punzamiento. Este tubo testigo es utilizado en materiales tipo: limos, arcillas, arenas finas, margas y calizas blandas.
- *Tubo testigo con cable (wire line)*: Son utilizados a grandes profundidades para reducir el tiempo de extracción del testigo. mediante este método el testigo es extraído mediante un cable provisto de un gacho a través del varillaje.

La profundidad que se puede alcanzar por este tipo de perforación depende del diámetro de perforación, varillaje, sonda variando normalmente entre 100 y 1000 mm.

En cuanto al rendimiento depende principalmente del tipo de roca y el diámetro de la batería de perforación, siendo mayor conforme la roca es más blanda y menor el diámetro de la batería.

Una vez terminada la perforación, se realiza la entubación del sondeo mediante una tubería ranurada, generalmente de PVC, para evitar desplomes de las paredes del sondeo y permitir la medida del nivel piezométrico y la toma de muestras.

Es imprescindible realizar un control adecuado durante la perforación del sondeo para la correcta ejecución del mismo, una correcta toma de muestras y realización de ensayos, así como la obtención de una columna precisa de materiales atravesados.

3 APLICACIONES DE LOS SONDEOS A ROTACIÓN CON TESTIGO CONTINUO EN HIDROGEOLOGÍA

Los sondeos a rotación con testigo continuo presentan un amplio abanico de aplicaciones en el ámbito de la hidrogeología. A continuación se exponen las distintas aplicaciones en función de la información obtenida a partir de los sondeos.

3.1 Caracterización geológica-hidrogeológica de la zona de estudio

La obtención de un registro continuo de los materiales perforados, proporciona una valiosa información sobre la geología e hidrogeología de la zona de estudio.

A partir del reconocimiento de los testigos recuperados de los sondeos, se pueden definir las columnas litostratigráficas sobre las que se establecen correlaciones que, complementadas por el reconocimiento de los materiales en superficie, proporcionan información para el establecimiento de un modelo conceptual del terreno.

Este modelo conceptual del terreno permite seleccionar la correcta ubicación de futuros sondeos de captación, así como definir el diseño constructivo de los mismos. El acceso a las zonas de investigación, que en ocasiones es complicado para maquinaria pesada, puede verse solucionado por la maquinaria para ejecutar sondeos con recuperación de testigo, debido al menor tamaño de la misma.

Adicionalmente la testificación de la columna de materiales perforados, permite contrastar y calibrar los resultados obtenidos mediante la utilización de técnicas de exploración indirectas, como por ejemplo, métodos geofísicos, proporcionando la herramienta necesaria para correlacionar la propiedad física medida mediante los métodos geofísicos con los distintos materiales que constituyen el subsuelo.

La complementariedad de las técnicas directas e indirectas, permite obtener un mayor número de datos rentabilizando los costes de investigación.

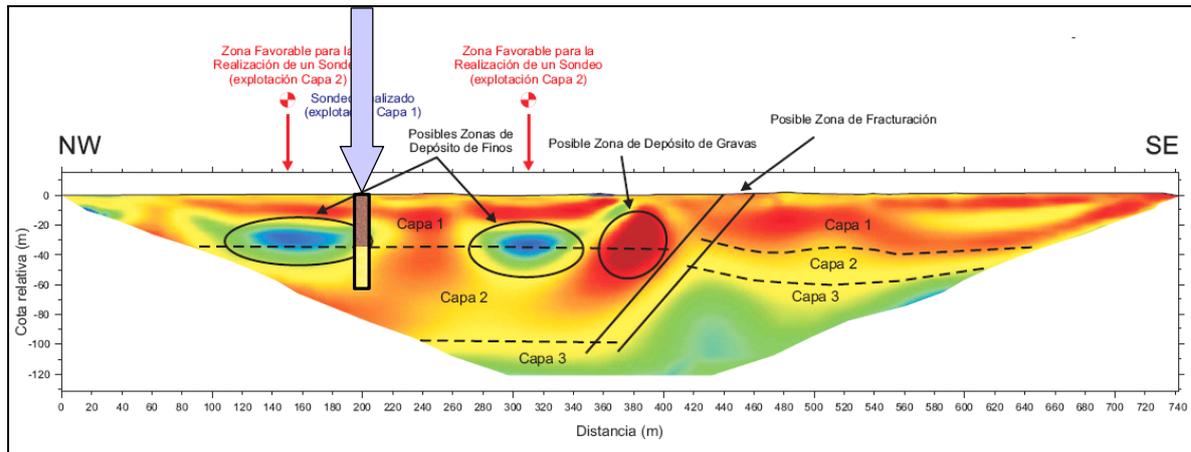


Figura 1. Ejemplo de un perfil de resistividades reinterpretado a partir de una columna de sondeo.

Los sondeos a rotación con testigo continuo permiten la toma de muestras de terreno perforado y la realización de ensayos puntuales, lo que constituye una herramienta de gran utilidad para estimar los parámetros hidrogeológicos de los materiales perforados.

Dentro de los ensayos que se pueden realizar en los sondeos de rotación con testigo continuo cabe destacar los siguientes:

Ensayos de permeabilidad puntual:

En el interior del sondeo se pueden realizar ensayos de permeabilidad puntual tanto en suelos (ensayos Lefranc) como en roca (ensayos Lugeon). Los ensayos Lefranc consisten en realizar una perforación y, mediante una tubería tapar la columna del sondeo menos el tramo seleccionado a ensayar que suele ser de entre 1-2 m. Posteriormente se procede a rellenar de agua el sondeo y medir el caudal que se necesita para mantener constante el nivel (ensayo a régimen permanente) o bien se mide la velocidad de descenso del nivel de agua (ensayo a régimen variable). Los ensayos Lugeon consisten en medir el volumen de agua que se puede inyectar en un tramo del sondeo de longitud conocida y aislado mediante obturadores, durante un tiempo determinado y a una presión que ha de mantenerse constante.

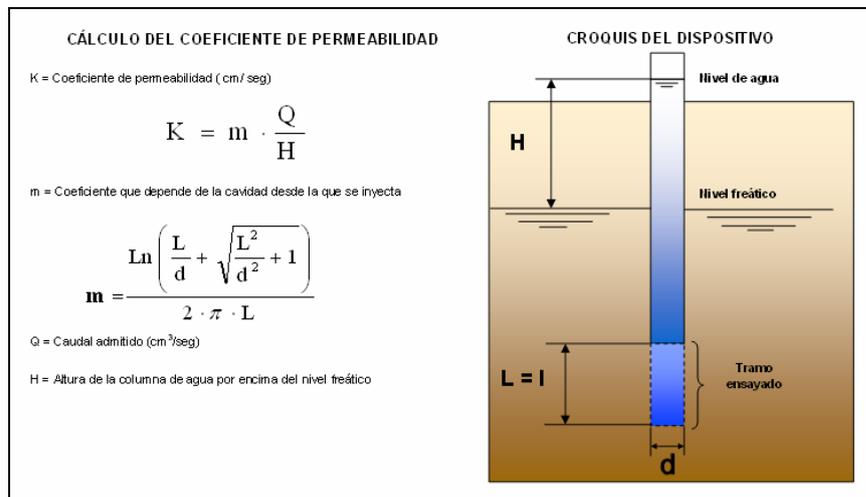


Figura 2. Representación del esquema de cálculo de ensayos Lefranc.

Ensayos de trazadores:

Los sondeos de rotación con testigo continuo constituyen una vía de acceso al agua subterránea por lo que pueden ser utilizados para la realización de ensayos de trazadores mediante los cuales se pueden determinar los parámetros hidráulicos y las conexiones hidrogeológicas en acuíferos. Esto es, permiten introducir al medio un elemento de contraste, o permiten recoger muestras de agua y suelo para determinar la presencia o no de un elemento determinado.

Ensayos del terreno:

La posibilidad de toma de muestras del terreno durante la perforación permite la realización de ensayos en laboratorio del material extraído, mediante los cuales se puede realizar una estimación de la permeabilidad de los materiales perforados.

Uno de los métodos más utilizados con este objetivo, es la superposición de la curva granulométrica de la muestra obtenida en laboratorio con las curvas de Breddin, o la realización de ensayos de permeabilidad bajo carga constante y la determinación de la porosidad en medios granulares. Asimismo permite la realización de ensayos químicos de los materiales del terreno.

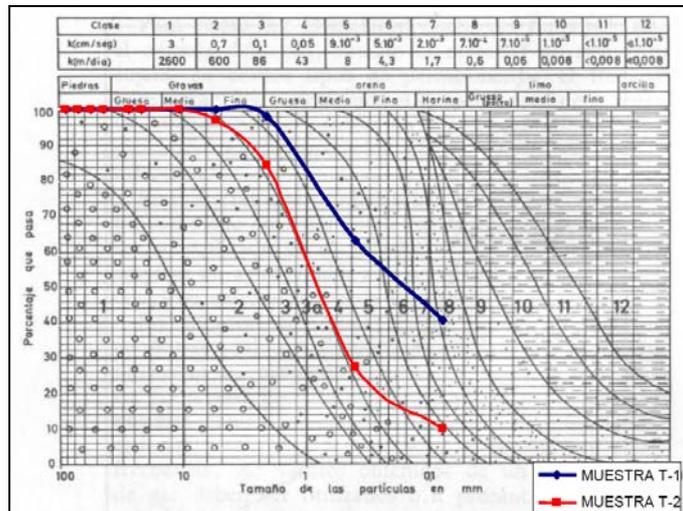


Figura 3. Ejemplo de superposición de las curvas granulométricas de dos muestras de suelo sobre las curvas de Breddin para la estimación de la permeabilidad de las muestras.

Ensayos de bombeo:

Una de las principales aplicaciones de los sondeos a rotación con testigo continuo es su utilización como piezómetros de control durante la realización de ensayos de bombeo en sondeos de mayor diámetro.

La existencia de piezómetros de control durante la ejecución de este tipo de ensayos es de gran importancia para poder determinar las características hidrogeológicas de las formaciones estudiadas evitando las interferencias generadas al medir en el punto de bombeo, así como para el cálculo del radio de influencia de la captación y el coeficiente de almacenamiento en acuíferos confinados o semiconfinados.

3.2 Evaluación del estado cuantitativo del recurso subterráneo

A partir del modelo conceptual del terreno y la definición de la superficie piezométrica se puede estimar el volumen constituido por los materiales acuíferos, que multiplicado por la porosidad eficaz los mismos, proporciona una estimación del volumen de recursos subterráneos disponibles, necesario para la elección del régimen óptimo de explotación.

La realización de sondeos con recuperación de testigo, permite conocer y analizar las características del medio contenedor del agua subterránea, obteniendo los parámetros hidráulicos básicos necesarios para la interpretación del modelo conceptual del terreno.

3.3 Evaluación del estado cualitativo del recurso subterráneo

La posibilidad de la toma de muestras de aguas subterráneas y del terreno, en los sondeos a rotación con testigo continuo permite la caracterización desde el punto de vista hidroquímico del agua subterránea a partir del el análisis de las mismas.

La interpretación de los resultados analíticos de las muestras, proporciona información de gran utilidad para el conocimiento, protección y correcta utilización del recurso subterráneo, como por ejemplo el origen y fuentes de recarga, la detección de contaminación, o la determinación de la aptitud del recurso para el uso al que va a estar destinado (riego, consumo humano...).

3.4 Herramienta de control

Los sondeos a rotación con testigo continuo constituyen una herramienta de control del estado cuantitativo y cualitativo del recurso subterráneo.

La posibilidad de realizar un control de niveles freáticos en los sondeos permite valorar el efecto de la recarga, tanto natural como artificial, en el volumen del recurso subterráneo, así como valorar la sostenibilidad del régimen del explotación al que esta sometido la formación estudiada.

Por otro lado, la posibilidad de tomar muestras de agua subterránea en los sondeos para su posterior análisis en laboratorio o la medida de parámetros inestables, permite la

obtención de datos para valorar la evolución química natural de las aguas subterráneas, así como los efectos producidos por actividades antrópicas sobre la calidad de las aguas subterráneas como por ejemplo, los efectos derivados de la recarga artificial de acuíferos o la aplicación de fertilizantes.

3.5 Otras aplicaciones

En la actualidad los modelos de simulación de acuíferos están cobrando una gran importancia por sus posibilidades como:

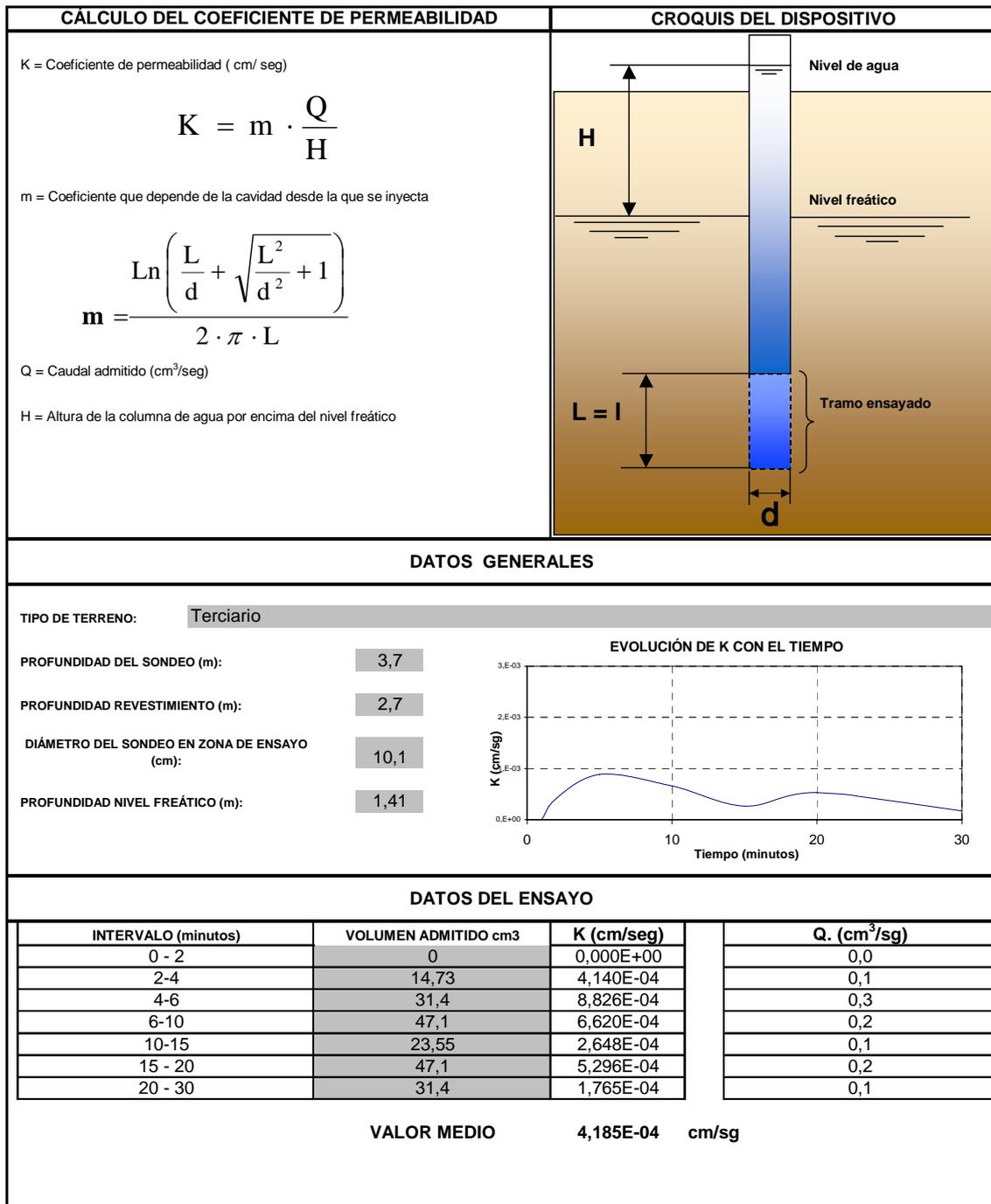
- herramienta integradora de datos que permite analizar su coherencia
- herramienta para definir en detalle las características de un acuífero
- herramienta de predicción de la evolución futura del comportamiento de un sistema con la incorporación de distintos elementos y modificaciones en el medio
- herramienta de gestión y planificación de recursos hídricos

Un modelo de simulación es una herramienta o mecanismo por el cual se puede representar de manera simplificada, el comportamiento de un sistema real y hacer predicciones sobre el fenómeno estudiado, y por tanto para que el modelo sea coherente con el sistema que representa se debe partir de un modelo conceptual sólido y los datos suficientes tanto cuantitativa como cualitativamente.

En este ámbito, los sondeos a rotación con testigo continuo constituyen una fuente de información (espesor de las diferentes formaciones atravesadas, profundidad del nivel freático, permeabilidad puntual en la perforación, características hidroquímicas...) de gran utilidad para la conceptualización, construcción y calibración de los modelos digitales hidrogeológicos de flujo y transporte.

4 FIGURAS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD A NIVEL CONSTANTE



Registro litológico de roca y suelo.





Emplazamiento de sondeos

