

## **CONTROLES DE OBRA EN SONDEOS DE CAPTACIÓN DE AGUA A CIRCULACIÓN INVERSA**

**Andrés LEÓN FÁBREGAS\*, Rafael FERNÁNDEZ RUBIO\*\*,  
Juan Carlos BAQUERO ÚBEDA\*, David LORCA FERNÁNDEZ\***

(\*) FRASA Ingenieros Consultores, S.L.

(\*\*) Escuela de Minas. Universidad Politécnica de Madrid.

### **RESUMEN**

Un factor importante en toda captación de agua, frecuentemente relegado a un segundo término, es la aplicación de métodos de vigilancia y control de la calidad.

En este trabajo, se resumen los aspectos prácticos de mayor interés para implantar dicho control en la perforación de sondeos a circulación inversa, referidos a la selección del emplazamiento, personal adecuado, materiales a utilizar, prevención de la contaminación, balsas de lodos, emboquille, perforación, características y control del lodo de perforación, testificación, entubación, engravillado, desarrollo, ensayos de bombeo, registro de vídeo y fin de obra.

### **INTRODUCCIÓN**

En toda captación de agua, un factor importante, que sin embargo es frecuentemente relegado a un segundo término, es la aplicación de métodos de vigilancia y control de la calidad.

Las medidas de vigilancia y control deben ser contempladas desde la fase inicial de anteproyecto. Estas medidas, junto a la selección de métodos de perforación, profundidad, tipos de tubería, etc, deben detallarse en un pliego de condiciones que asegure suficientemente el control de calidad de la obra, en todas sus facetas, incluyendo la cualificación, dedicación y experiencia de las personas que llevarán a cabo estas funciones.

Debe tenerse en cuenta que un control de calidad bien planificado y ejecutado, lejos de suponer un sobrecosto innecesario, es la única garantía existente para mejorar la vida útil y eficiencia de un sondeo. No debe sorprender, por tanto, el considerable ahorro operativo que puede obtenerse en un sondeo bien construido y

desarrollado, amortizándose, en un periodo muy corto, el sobrecosto ocasionado por la aplicación estricta de criterios de calidad y control de obra.

No es objetivo de esta ponencia desarrollar los aspectos teóricos relacionados con la realización de sondeos que, en general, son suficientemente conocidos. Con esta premisa, resumiremos en los apartados siguientes, los aspectos prácticos que hemos considerado de mayor interés para el tema que nos ocupa.

## **PERSONAL DE CONTROL**

El factor clave, para llevar correctamente a cabo las actividades de control de obra, es contar con personal adecuado a tales tareas.

La simple aplicación del sentido común, indica que el control de obra no puede ser realizado por parte del contratista de la captación. La idea anterior no debe interpretarse como una afirmación de falta de confianza en el ejecutor directo de los trabajos, sino que está basada en los principios de la ética profesional, cuyo objetivo es garantizar la independencia entre las distintas partes que realizan, controlan o receptionan cualquier obra de ingeniería. Con esta premisa, se hace patente que las personas encargadas del control en sondeos deben constituirse en representantes directos del Contratante de la obra, a quien deben mantener puntualmente informado de la marcha y adecuación de los trabajos.

Todo lo anterior no pasaría de ser una mera exposición de ideas, si no se cuenta con personas convenientemente cualificadas que, además, deben estar dispuestas a asumir el compromiso de estar presentes en obra, en todas las fases que puedan requerir su asistencia.

Para cerrar este apartado, es obligado llamar la atención sobre que, siempre, es preciso exigir la suficiente preparación y experiencia al personal encargado del control. Debe, por tanto, evitarse la contratación de profesionales que, o no tengan la formación apropiada, o no hayan adquirido la necesaria experiencia práctica en trabajos de captación de aguas subterráneas. En caso contrario, el supervisor estará en manos del contratista o, lo que es peor, podrá llegar a adoptar decisiones inadecuadas. El sobrecosto de contar con estos profesionales, hoy aún escasos en número, se amortizará con creces en función de los mejores resultados obtenidos en la obra.

## **PRINCIPALES ASPECTOS DE CONTROL**

La tendencia actual, en la construcción de sondeos para captación de aguas, es realizar obras cada día más profundas, exigiendo grandes diámetros de perforación y entubado. Este hecho conlleva que la buena ejecución de todas las fases de obra sea crítica, a la hora de garantizar los resultados, por lo que se hace necesario insis-

| FASE                               | CONTROLES   |
|------------------------------------|---|
| Emplazamiento                      | Seguridad del emplazamiento para los operarios. Posibles perjuicios a terceros e infraestructuras. Posibilidades de desagüe y suministro de agua. Idoneidad para el almacenamiento de materiales. Emplazamiento |
| Selección de personal y materiales | Turnos de trabajo. Responsables de la obra. Medidas de seguridad e higiene. Estado de los materiales y maquinaria a emplear. Disponibilidad de tuberías, barras de carga, herramientas de corte, grava, etc.    |
| Prevención de la contaminación     | Pérdidas de aceite o combustible, apiles de materiales, residuos, etc.  |
| Preparación de balsas              | Dimensiones. Impermeabilización. Circuito de circulación de lodos.  |
| Emboquille                         | Diámetros. Tuberías. Cementación en cabeza.   |
| Perforación                        | Sarta y herramientas de corte. Empujes sobre la sarta. Control de lodos. Limpieza de balsas.  |
|                                    |   |
|                                    |   |
| Engravillado                       | Tipo, tonelaje y calidad de la grava. Introducción del empaque.   |
| Desarrollo                         | Métodos a emplear. Introducción de aditivos.  |
| Ensayos de bom-                    | Evolución de niveles y caudales. Parámetros físico-químicos. Toma de  |
| Registro de vídeo                  | Estado y disposición de la tubería. Calidad de soldaduras. Estado del empaque. Nivel y flujos del agua. Mezclas de aguas de distinta calidad.   |
| Fin de obras                       | Desinfección. Cementación y cierre del sondeo. Restauración del terreno. Informes.  |

Tabla 1. Principales fases y controles a realizar durante la ejecución de un sondeo.

tir en el control de calidad de las operaciones.

En apartados posteriores, pasaremos revista a los principales controles a realizar durante la ejecución de un sondeo a circulación inversa (tabla 1). No pretendemos, con ello, resolver todos los aspectos que pudieran plantearse en estos trabajos, sino realizar una exposición de procedimientos y técnicas adecuados, sin perder de vista aspectos prácticos relacionados con ellos.

## Emplazamiento

Esta fase es decisoria para el normal desarrollo de las operaciones, pues de ella

depende que el resto de los trabajos puedan realizarse con normalidad.

En la selección del emplazamiento, debe tenerse en cuenta que el terreno sea suficientemente resistente, para soportar el peso combinado de la maquinaria, herramientas o tuberías que puedan llegar a manejarse, y que sus accesos sean adecuados al tránsito de maquinaria pesada. La plataforma sobre la que se asentará la máquina, deberá ser lo más llana y horizontal posible, disponiéndose de suficiente espacio para el adecuado desarrollo de los trabajos y el almacenamiento de los materiales necesarios.

Debe prestarse atención a las posibilidades existentes para el abastecimiento de agua, evitando que las conducciones de agua atraviesen caminos o terrenos en los que se puedan producir problemas posteriores. Es también necesario planificar las medidas para drenar los lodos de perforación y el agua extraída en los ensayos de bombeo. Para ello, debe inspeccionarse el terreno minuciosamente, determinando el mejor camino para evacuar el agua, prestando atención a la existencia de infraestructuras, cultivos, etc. que pudieran verse afectados por las operaciones o suponer un riesgo para las mismas (caso de líneas eléctricas o canalizaciones de agua).

El responsable del control debe, también, cuidar de que el emplazamiento escogido se encuentre debidamente señalizado, supervisando que se cumplan las normas para impedir el acceso a personas no autorizadas.

### **Personal y materiales**

En esta fase, el Contratista deberá informar sobre las características del personal que compone cada turno de trabajo que se haya establecido en el Proyecto, indicando las personas responsables de la obra.

El Controlador deberá establecer las normas aplicables a las operaciones que vayan a realizarse, indicando al Contratista el tipo y periodicidad de la información que debe suministrar y los controles a los que va a ser sometido, así como los instrumentos de medición o control que serán necesarios. También debe fijar los medios de comunicación entre él y el Contratista, que deben ser suficientemente flexibles para reaccionar rápidamente ante cualquier imprevisto.

En cuanto a la seguridad e higiene en el trabajo, el responsable del control debe informar al Contratista de las medidas que deberán ser adoptadas, las cuales se habrán previamente detallado en el correspondiente Proyecto de Seguridad e Higiene.

Respecto a los materiales, hay que señalar al Contratista los plazos en los que deben estar disponibles en obra, e indicar el terreno que puede ocuparse para su almacenamiento. Debe comprobarse que existan los medios suficientes, en canti-

dad y calidad, para acometer los trabajos, y que la disposición de la maquinaria y medios auxiliares sea la adecuada para no entorpecer los trabajos ni ocasionar incidencias posteriores.

### **Prevención de la contaminación**

Las medidas de prevención de la contaminación deben haberse especificado previamente en el Proyecto. En esta fase, el responsable del control debe supervisar que no se inicien los trabajos antes de disponer de los medios necesarios para evitar la contaminación de suelos, acuíferos o del lodo de perforación. En especial, debe prestar atención a que los combustibles y aceites se almacenen y trasvasen correctamente, y a que los fluidos que pudieran escapar de motores, compresores o sistemas hidráulicos puedan ser adecuadamente recogidos (mediante lonas o cubas) antes de que alcancen el terreno.

Si, pese a las medidas adoptadas, se produjera algún derrame de un fluido contaminante, deberán tomarse disposiciones para evitar que el terreno contaminado sea vertido en un lugar inapropiado. Tampoco deberá permitirse que prosigan las obras si se ha contaminado el lodo.

En esta fase deben establecerse, también, las normas generales sobre la correcta higiene y orden en la plaza de trabajo, indicando cómo deshacerse de los residuos generados.

### **Preparación de balsas**

En la preparación de las balsas de lodos, debe vigilarse que su ubicación sea correcta, de forma tal que no puedan producirse problemas de estabilidad para la maquinaria, ni se dañe a otras infraestructuras cercanas. También debe cuidarse que las balsas tengan el tamaño suficiente para el sondeo que se va a perforar, así como que el circuito de lodos sea adecuado para producir la decantación de arenas y facilitar la circulación durante la fase de perforación.

Una vez finalizada la excavación de las balsas, debe realizarse un croquis constructivo de las mismas y ubicarlas, así como tomar la decisión sobre si es necesario o no impermeabilizarlas para evitar la pérdida de lodos (especialmente si el terreno es permeable o inestable). También es preciso prever las necesidades de limpieza de balsas, para lo que será necesario contar con maquinaria adecuada y suficiente suministro de agua. En todo caso, es conveniente adoptar medidas de seguridad que impidan el libre acceso al sector de balsas, para lo que es siempre recomendable proceder al vallado de este recinto.

## **Emboquille**

La realización del emboquille condicionará el desarrollo de la posterior perforación del sondeo, por lo que es un aspecto al que es preciso prestar gran atención.

En esta fase, debe vigilarse el correcto posicionamiento y verticalidad de la máquina de perforación. Antes de iniciarse los trabajos, debe comprobarse que el diámetro de perforación se corresponde con el contemplado en el Proyecto, así como que las tuberías a emplear cumplan los requisitos exigibles.

Una vez realizada la perforación del emboquille, es necesario contrastar que se haya alcanzado la profundidad prevista, que la tubería se haya introducido correctamente y que se haya realizado adecuadamente la cementación en cabeza del sondeo. En ningún caso debe permitirse que se reinicien los trabajos de perforación antes del fraguado completo de la cementación realizada.

## **Perforación**

Durante la fase de perforación, es preciso controlar que se cumplan las prescripciones indicadas en el Proyecto. Desde este punto de vista, hay que prestar atención a que se respeten los turnos de trabajo, que no se produzcan paradas evitables, que los materiales sean adecuados, que los lodos tengan las características apropiadas, que se perfore al diámetro previsto, y que se alcancen las profundidades contratadas. Si se produjeran averías que impidieran continuar con la perforación, se vigilará que no se interrumpa la circulación de lodos. También hay que evitar que se introduzcan en el sondeo aditivos no autorizados para los lodos, por lo que, en lo sucesivo, asumiremos que hablamos de lodos naturales.

Con objeto de prevenir desvíos y retrasos en la perforación, es necesario supervisar que el empuje sobre la sarta sea correcto, impidiendo que el reparto de pesos sobre ella sea inadecuado. También es preciso controlar que se utilizan barras de carga con diámetro y peso apropiado, que los útiles de corte estén en buen estado y existan repuestos suficientes, y que la sarta de perforación no tenga tuberías deformadas, presente las roscas en buenas condiciones y no existan fugas del aire inyectado para la extracción de lodos.

Durante la perforación, deben registrarse los avances realizados, indicando el terreno atravesado y los diámetros empleados, así como el tiempo consumido en maniobras y paradas accidentales, señalando el tipo y causa de las incidencias, así como el consumo de agua.

Respecto a las balsas, hay que planificar su limpieza, en función de las características a las que vayan evolucionando los lodos, cuyo control debe contemplar, al

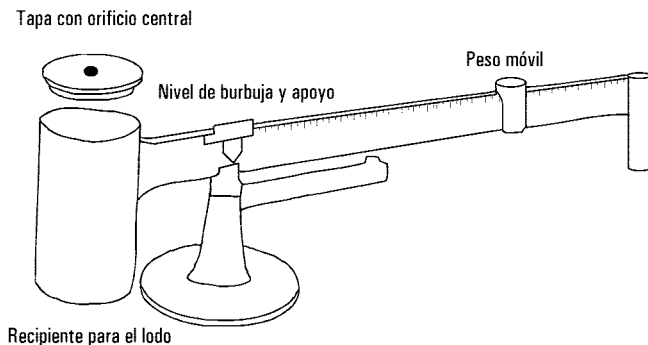
menos, la determinación periódica de densidad, viscosidad, filtrado y espesor del "cake", contenido en arenas, pH y conductividad. Los instrumentos necesarios para realizar estos controles, deben formar parte del equipo de accesorios de toda máquina de perforación. La frecuencia de estos controles dependerá de las características del terreno atravesado, en general, puede considerarse suficiente realizarlos tres veces al día o cada 25 metros perforados (lo primero que se cumpla).

### Densidad del lodo

La densidad del lodo debe mantenerse dentro de valores apropiados. Si la densidad es alta, se evitan desprendimientos de las paredes del sondeo y se favorece la elevación de detritus, pero también el lodo penetra más en las formaciones, por lo que el desarrollo de limpieza posterior se complica, y puede llegar a reducirse el ritmo de perforación, al dificultarse la elevación del lodo.

Como norma general, los lodos empleados en sondeos de captación de agua deben tener densidades inferiores a 1,1 kg/l, pudiéndose alcanzar, caso de ser necesario, valores de 1,2 kg/l.

Hay que tener en cuenta que, caso de no tomarse medidas adecuadas, la densidad del lodo suele aumentar a medida que progresa la perforación, como consecuencia de la incorporación al fluido de perforación del suelo atravesado. Para evitarlo, la mejor medida consiste en eliminar parte del lodo preexistente y diluir el resto con agua.



*Figura 1. Balanza Baroid.*

El control de la densidad del lodo se realiza mediante la balanza Baroid (*figura 1*), que consiste en un brazo basculante que apoya sobre un pivote, y que está equipado con un recipiente con tapa, un contrapeso, y un cursor móvil. Debe prestarse atención a la escala de medida de este instrumento, ya que si bien es habitual que se cuente con graduaciones en lb/galón y kg/l, existen todavía algunos aparatos que sólo disponen de la primera de las dos escalas mencionadas.

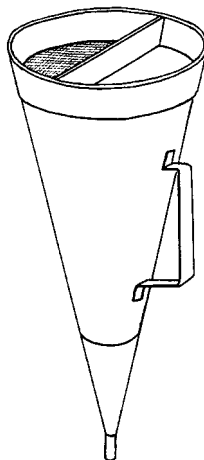
El procedimiento a seguir en la medida es el siguiente:

- a) quitar la tapa y llenar el recipiente completamente, eliminando las burbujas de aire,
- b) poner la tapa, cerciorándose que parte del lodo rebosa por su orificio central,
- c) limpiar cuidadosamente el exterior de la balanza,
- d) colocar la balanza sobre su soporte de forma que pueda oscilar libremente,
- e) mover el contrapeso hasta que se equilibre el instrumento, lo que se comprueba con el nivel incluido en el brazo basculante, y
- f) leer la densidad sobre la escala graduada.

#### Viscosidad del lodo

Si la viscosidad del lodo es pequeña, aumentarán las pérdidas de lodo y se dificultará la extracción de los detritus. Por el contrario, si se trabaja con un lodo excesivamente viscoso, las arenas pueden no depositarse en las balsas y se complica la extracción de lodos del sondeo.

Como norma general, en sondeos de captación de aguas, la viscosidad debe mantenerse en torno a 30 segundos API, pudiéndose aclarar el lodo con agua, caso



*Figura 2. Viscosímetro Marsh.*



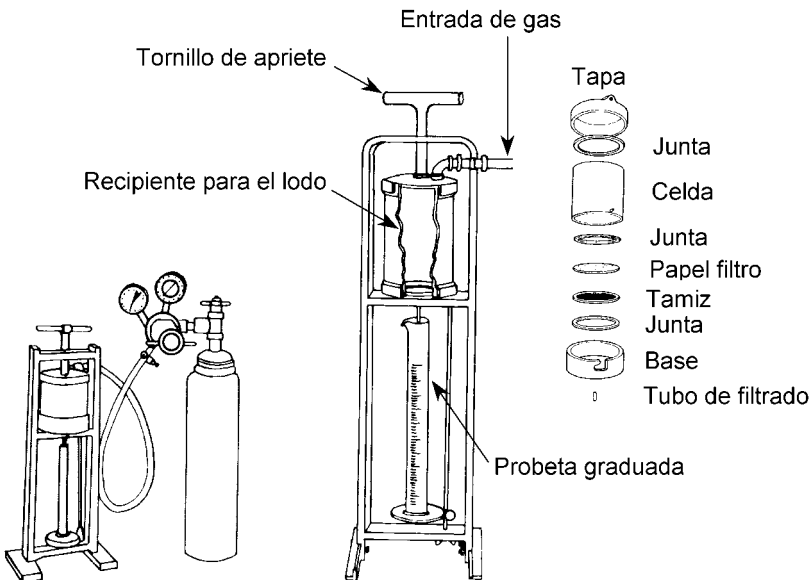
de ser necesario, y, en último extremo, adicionar fluidizantes (fosfatos, carbonato sódico, etc.). La presencia de terrenos de facies evaporítica puede hacer que la viscosidad del lodo aumente sin razón aparente.

El control de la viscosidad se realiza (de forma arbitraria y convencional) con el viscosímetro Marsh (*figura 2*). Este instrumento es un embudo de dimensiones normalizadas, en cuya boca existe un tamiz, cuyo objeto es retener las sustancias ajenas al lodo, y que se complementa con un vaso graduado en un cuarto de galón USA (0,946 l) en el que se vierte el lodo.

La metodología a seguir es la siguiente:

- a) mantener el embudo en posición vertical, taponando el orificio de salida,
- b) verter el lodo a través de la rejilla, hasta que el nivel alcance la parte inferior de dicha rejilla, y
- c) abrir el orificio de salida, cronometrando los segundos que tarda en salir 0,946 l de lodo.

Filtrado y espesor del “cake” del lodo



*Figura 3. Filtro-prensa Baroid.*

Con estos parámetros, se pretende cuantificar el comportamiento del cake que se forma en las paredes del sondeo, dando idea de su espesor y la facilidad que presenta al paso del agua a su través. De esta forma, un *cake* muy delgado puede no aguantar suficientemente las paredes del sondeo, y uno muy grueso puede impermeabilizar la perforación. Un filtrado elevado conllevará la posible pérdida del fluido de perforación.

En sondeos para captación de agua, y en un ensayo normalizado de 30 minutos de duración, el filtrado no debería exceder de  $10 \text{ cm}^3$ , y el espesor del *cake* de 2 mm. Hay que destacar que, habitualmente, es difícil contar con medios para modificar estos parámetros. La presencia de limos y sales en el lodo puede hacer que aumente el filtrado, y un contenido elevado en arenas puede falsear las medidas obtenidas de espesor del *cake*.

La medida de estos parámetros se realiza con el filtro-prensa Baroid (figura 3). Este instrumento está constituido por un cilindro desmontable, compuesto por: tapa (a la que llega gas a presión), diversas juntas de goma, celda cilíndrica, papel de filtro, tamiz de rejilla metálica, y base inferior por la que sale el filtrado, que se recoge en una probeta graduada.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- a) se montan los componentes en el siguiente orden: tapa inferior, junta de goma, tamiz, filtro, junta de goma y celda cilíndrica,
- b) se llena el cilindro con lodo hasta  $\frac{1}{4}$ " de su borde, colocando el conjunto en el soporte,
- c) se coloca la junta de goma y la tapa superior, que se ajusta a la celda apretando un tornillo situado en el soporte,
- d) se coloca la probeta graduada bajo la celda,
- e) se abre el paso del gas (aire o nitrógeno), con una presión de 100 psi ( $7 \text{ kg/cm}^2$ ), y se empieza a cronometrar el ensayo,
- f) pasados 30 minutos, se cierra el paso de gas, abriendo la válvula de seguridad para descargar el circuito, y
- g) se anota el volumen del filtrado, se desmonta el aparato, se extrae el filtro y se mide el espesor de *cake*.

El filtrado puede determinarse también con un ensayo de 7,5 minutos de duración, en cuyo caso la lectura debe multiplicarse por dos, para obtener el equivalente al ensayo de 30 minutos.

### Contenido de arena en el lodo

Un elevado contenido de arena, en el lodo, conlleva el desgaste prematuro de las herramientas de corte (con la consiguiente disminución de rendimiento en la perforación).



Figura 4. Tubo Baroid.

ración, e incremento del tiempo perdido en maniobras necesarias para su reposición).

Por ello, debe procurarse trabajar casi sin presencia de arena en el lodo, sin sobrepasarse el 3% en volumen de contenido de arenas. Para cumplir este objetivo, deben haberse realizado, previamente, unas balsas de decantación eficaces, por las que transcurra el lodo antes de volver al sondeo. Si las medidas anteriores no fueran suficientes, puede acudir a reducir la viscosidad del lodo (pero siempre manteniendo este parámetro en límites razonables), lo que facilitará la decantación de arenas.

La medida del contenido de arena, se realiza mediante un tubo Baroid (figura 4), graduado del 0% al 20 % para medir el porcentaje de arena en volumen del lodo, y equipado con un embudo y un tamiz de 200 mallas.

La metodología a seguir es la siguiente:

- se llena de lodo el tubo, hasta la marca que dice *lodo hasta aquí*. Se añade agua hasta la marca que dice *agua hasta aquí*, y se agita vigorosamente,
- se vierte la mezcla a través del tamiz, lavando el tubo hasta que no queden restos en él, y se hace pasar agua a través del tamiz para eliminar el lodo y las partículas arcillosas, y
- se coloca el embudo en el tamiz, introduciendo el embudo en el tubo medidor. Se lava la arena, haciéndola pasar al tubo, y se mide el % en volumen de arena.

pH y conductividad del lodo

La medida del pH y la conductividad, tienen como objeto intentar detectar indicios de contaminación del lodo, que puede presentarse al atravesar sectores cementados, terrenos evaporíticos o acuíferos con agua de mala calidad. Para su

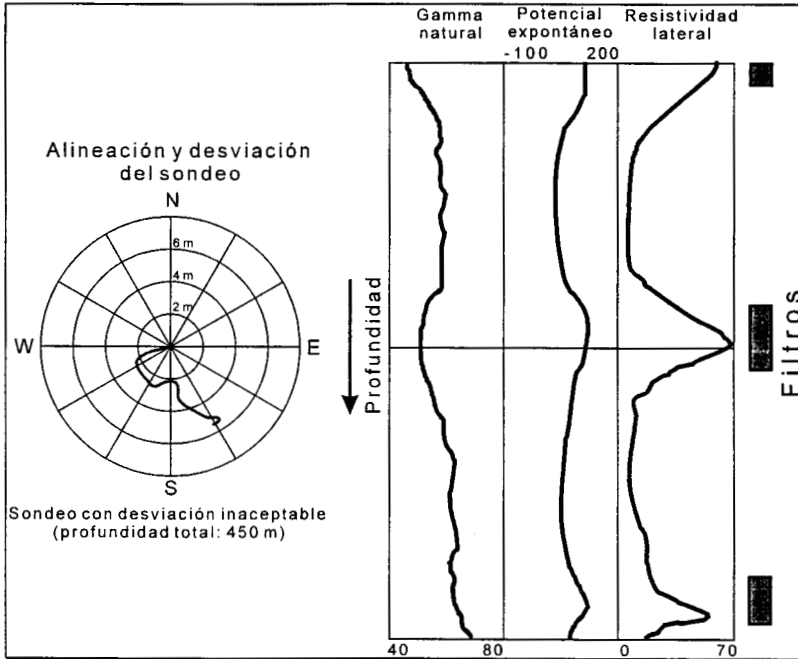


Figura 5. Testificación geofísica.

control, debe acudir al empleo de conductivímetros y pH-metros que, siempre, deben estar adecuadamente calibrados.

El control de estos parámetros debe realizarse, también, en el filtrado procedente de la prensa Baroid. Los registros obtenidos pueden ser útiles a la hora de tomar decisiones, respecto a los tramos a aislar o equipar con tubería filtro.

### Testificación

Agruparemos en este apartado la testificación litológica y geofísica.

La testificación litológica debe realizarse a medida que progresa la perforación, puesto que de otra forma se corre el peligro de sobreperforar, atravesando terrenos indeseables para la calidad del agua. Con este criterio, la columna litológica debe establecerse, al menos, diariamente. Para ello, es preciso que se tomen muestras

de los ripios extraídos cada metro perforado, alineándose las muestras obtenidas en hileras, e introduciendo parte del material en bolsas de plástico, convenientemente numeradas. Las muestras deben inspeccionarse minuciosamente, indicando su litología, aspecto, contenido en arenas y características subjetivas de permeabilidad. Debe prestarse atención a la presencia de micas, yesos, margas y carbonatos, para lo que es siempre aconsejable acudir al empleo de lupas y ácido clorhídrico.

En la columna litológica obtenida, deben destacarse los tramos que pudieran aportar aguas de mala calidad. Siempre que sea posible, deberá efectuarse un análisis granulométrico y litológico de los ripios, que será de utilidad a la hora de seleccionar las características del empaque y los filtros.

La testificación geofísica debería contemplar la realización de registros de gamma natural, potencial espontáneo, resistividad normal corta y larga, conductividad, temperatura, verticalidad y alineación (*figura 5*). Su interpretación debe ser realizada inmediatamente tras la obtención de estos datos.

Los resultados de las testificaciones geofísicas y litológicas deben ser interpretados conjuntamente. Si bien las conclusiones obtenidas por ambas técnicas deben ser coherentes, hay que tener presente que puede existir algún desfase en la profundidad asignada a los distintos tramos del terreno, y que, en ocasiones, la testificación geofísica indicará tramos permeables que no fueron detectados mediante la testificación litológica.

## **Entubación**

En primer lugar, debe comprobarse que las características de las tuberías disponibles (material, diámetros, espesor de chapa y tipo), sean las contempladas en el proyecto.

Una vez definida la columna de entubación, los tramos que la componen deben ser numerados por su interior y exterior, y no deberán ser introducidos en el terreno, sin comprobar previamente que se ajustan a lo establecido en longitud, espesor de chapa y distribución de los tramos ciegos y filtro. Deben comprobarse minuciosamente las soldaduras realizadas, e inspeccionar las tuberías, para cerciorarse de la ausencia de rebabas y perforaciones, del buen estado de limpieza y de la adecuada alineación de los tramos soldados.

En la introducción de la tubería hay que prestar atención a: la correcta realización de las soldaduras, a que no se aplasten los tubos al ser manipulados, que no se hayan realizado perforaciones en la chapa, que los filtros estén limpios, y que los distintos tramos estén perfectamente alineados y enfrentados entre sí. En el tramo más superficial, de los que se vaya a introducir en el sondeo, se habrá marcado, previamente, la cota cero de medidas, la cual, una vez entubado el sondeo, deberá coincidir exactamente con la fijada por la testificación.

## **Engravillado**

En primer lugar, deberá comprobarse que la grava cumple las prescripciones del proyecto, cerciorándose de que su granulometría y composición es correcta, que se dispone de las cantidades necesarias, y que su estado de limpieza es adecuado.

Durante la operación de engravillado, se prestará atención a que no se produzcan paradas, a que la grava se introduzca lenta y regularmente, con o sin adición de dispersantes de arcillas, y a que no entren en el sondeo cuerpos extraños. Finalizada la operación, se comprobará que se haya alcanzado el nivel previsto.

## **Desarrollo**

El rendimiento del sondeo depende, en parte importante, de que las operaciones de desarrollo sean realizadas de forma efectiva.

En el caso de desarrollo por pistoneo, debe comprobarse el diámetro y peso del pistón. Una vez iniciada la operación, el responsable del control se cerciorará de que se actúa sobre las profundidades previstas, en el tiempo necesario, que el número de golpes por minuto sea adecuado a los fines perseguidos, y que se cuchareen todos los finos extraídos.

En el desarrollo a pozo cerrado, debe respetarse el margen de presiones establecido, así como la cadencia y duración de los golpes de presión.

En el caso de introducir polifosfatos, se prestará atención al tipo empleado (hexa o trifosfato), a que el producto se disuelva completamente, sin producirse grumos, a que se introduzcan las cantidades fijadas, en las distintas fases que señale el proyecto, y a que se distribuya el dispersante homogéneamente en toda la columna del sondeo.

No citamos otros métodos de desarrollo, puesto que son menos habituales en sondeos a circulación inversa.

## **Ensayos de bombeo**

Durante los ensayos de bombeo, debe comprobarse que las medidas de caudal y nivel son realizadas correctamente y con la cadencia adecuada, y supervisar las variaciones del nivel de grava del empaque. También hay que vigilar que no se produzcan abatimientos excesivamente rápidos, acomodando los caudales a extraer a la respuesta de cada sondeo.

En esta operación hay que controlar, periódicamente, la evolución de parámetros físico-químicos del agua (pH, temperatura y conductividad), así como tomar muestras para análisis posterior en laboratorio. También es siempre recomendable supervisar que el agua extraída circula por el camino previsto, evitando que pueda causar daños a infraestructuras.

### **Registro de vídeo**

La realización de registros de vídeo, es necesaria para comprobar que el sondeo ha sido construido correctamente, y se ha limpiado eficientemente. Debe comprobarse la ausencia de daños en la tubería de forro, la ubicación de los filtros y su grado de apertura, la calidad de las soldaduras, el nivel estático y los flujos existentes, la turbidez del agua, la presencia de partículas en suspensión, la ausencia de materiales abandonados en el interior del sondeo y de restos de aceites o grasas, la profundidad entubada, y el espesor de sedimentos en el fondo. En ocasiones, puede observarse si el sondeo está correctamente engravillado o si, por el contrario, presenta sectores con desarrollo natural.

### **Fin de obra**

Una vez realizadas las operaciones anteriores, puede cementarse el espacio anular comprendido entre las tuberías de forro y emboquille. En esta operación, hay que comprobar que se alcanza la profundidad fijada, que no se supera la cota máxima indicada por el proyecto, y que se deja suficiente tiempo de fraguado.

Posteriormente, debe supervisarse que el sondeo se desinfeste con hipoclorito sódico, y se instale una tapa en su boca, con objeto de evitar accidentes e impedir que caigan cuerpos extraños a su interior.

El control no debe darse por finalizado antes de comprobar que se haya restaurado el terreno afectado por las operaciones, cerrado las balsas y cunetas, retirado los materiales sobrantes y limpiado del entorno todos los restos que pudieran haber quedado como consecuencia de la obra.

Como colofón a todo lo anterior, debe realizarse un informe detallado, en el que se especifiquen todos los aspectos relevantes de las operaciones realizadas, y las incidencias acaecidas en el transcurso de la obra.

### **BIBLIOGRAFÍA**

ANDERSON, K. 1966. Water Well Handbook. Missouri Water Wells Drillers Association.