

## EXPERIENCIA EN LA UTILIZACIÓN DE EQUIPOS MÓVILES Y PEQUEÑAS INSTALACIONES

Moderador: Xavier Sánchez Vila

*Presidente de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español.*

### **P.- EL MUESTREO EN AMBIENTES HETEROGENEOS**

**José Bolzicco (Universidad Politécnica de Cataluña)**

Una pregunta referida a las campañas de muestreo en ambientes que son heterogéneos, en los que tenemos condiciones de aguas muy variables, desde Ph muy ácidos, e inmediatamente Ph muy alcalinos, unas grandes variaciones de conductividad y de condiciones fisico-químicas. ¿Qué experiencias tenéis en ese sentido de la fiabilidad de los aparatos? Porque, cuando se va a una mina o a un acuífero contaminado, igual tienes un sondeo con una calidad muy buena y al lado tienes un sondeo con una calidad malísima. Los aparatos generalmente fallan muchísimo en ese sentido, cuales son los rangos de calibración que vosotros utilizáis o que experiencia nos podéis aportar.

**R.- Marisol Manzano (Universidad Politécnica de Cartagena)**

Mi experiencia con aguas contaminadas es precisamente con aguas ácidas. Básicamente ha sido el seguimiento, desde la primera semana de mayo de 1998 hasta la actualidad, del entorno de Aznalcóllar. Mi experiencia con los aparatos portátiles de medición de parámetros químicos es que habría que tener dos equipos como mínimo, uno dedicado a los puntos contaminados y otro dedicado a los no contaminados. De esta manera se evita tener que estar calibrando entre una y otra medida si las

aguas tienen características muy distintas; se acortan los tiempos de demora en la respuesta; disminuyen, o se eliminan, los riesgos de contaminación cruzada, que no siempre son tan fáciles de evitar como en teoría parece; se disminuye la manipulación del sensor de pH durante el lavado con agua destilada y secado, pues con aparatos dedicados basta, en general, lavar suficientemente con la propia agua que se va a medir, etc. Todos los hidrogeólogos que hemos trabajado en estas situaciones sabemos la cantidad de tiempo que puede llevar calibrar sobre la marcha y la cantidad de veces que puede ser necesario hacerlo.

Por eso creo que lo más operativo es tener dos equipos, dedicado cada uno a los puntos donde a priori se sepa o se prevea que hay agua contaminada y agua no contaminada, respectivamente. De todas formas, insisto en lo que he dicho en mi exposición respecto a que lo fundamental es tener un buen conocimiento previo, a nivel conceptual, de qué características químicas generales va a tener esa agua que prevemos va a estar, por ejemplo, en condiciones muy ácidas. En función de ellas vamos a decidir la forma de recoger la muestra y de qué manera vamos a medir sus parámetros físico-químicos en campo. Lo ideal sería realizar todas las medidas necesarias en una célula de flujo continuo, especialmente en aguas con condiciones muy extremas e inestables como son las ácidas, pues tener la muestra expuesta al aire un par de minutos significa provocar uno mismo que las

condiciones originales de esa muestra estén cambiando continuamente. Esto se traduce en grandes demoras en la estabilización de la medida, o incluso en una ausencia total de estabilización, que no es en absoluto atribuible al propio aparato y que nos va a dejar bien sin un dato importante o bien, lo que a la larga es peor, con un dato poco confiable.

## COMENTARIO

### José Bolzicco (Universidad Politécnica de Cataluña)

Acotando un poco lo que comenta Marisol respecto a los trabajos de campo y el tema de la calibración del equipamiento de campo, creo que lo más importante es hacerlo todos los días o cuando hay cambios importantes en la calidad del agua. Este es uno de los problemas o uno más de los problemas que a veces se encuentran en el campo, donde hacer esta tarea de calibrado no siempre es lo más práctico, por el equipamiento adicional que uno tendría que llevar. A esto se suma el hecho de que si uno utiliza sondas multiparamétricas, el requerimiento de elementos para efectuar la calibración es mayor; y por medir mayor cantidad de parámetros con un solo dispositivo se encuentra con otras complicaciones adicionales

## COMENTARIO

### Marisol Manzano (Universidad Politécnica de Cartagena)

Aunque no me has hecho ninguna pregunta, yo quiero añadir algo a tu comentario respecto al uso de medidores de parámetros químicos, calibraciones en el campo, etc. En él has puesto de manifiesto, precisamente, los dos tipos de limitaciones de los cuales he hablado en mi presentación. El primero se debe al diseño de los propios aparatos: las sondas multiparamétricas

todavía hoy por hoy son farragosas de utilizar. No voy a entrar en detalles. Personalmente prefiero utilizar todavía sondas individuales específicas para cada parámetro. El segundo tipo de limitaciones está en manos, por no decir en la cabeza, del propio usuario: ¿que te lleva más tiempo tener que calibrar cada aparato cada día? Pues sí, o no. La cuestión es asimilar la idea de que dedicar quince (o treinta) minutos cada día a calibrar los aparatos antes de comenzar las mediciones puede suponer evitar la pérdida del trabajo de parte o de todo ese día.

No quiero añadir más sobre este tema, que hemos discutido en muchas otras ocasiones. Sí quiero recordar y volver a poner de manifiesto, para el resto del auditorio, y con esto concluyo, que conocer bien qué es lo que uno está midiendo, conocer las características del aparato que se está utilizando y también cómo tiene que utilizarse, qué calibración hay que hacerle y con qué frecuencia, y cómo hay que mantenerlo entre usos, etc., puede salvar los datos de las campañas de campo, puede hacer que esos datos sean útiles y válidos o que no sirvan para nada. Incluso en el caso de que sean válidos, puede significar que los resultados finales de nuestras elucubraciones mentales, numéricas, etc. con ellos tengan mayor o menor incertidumbre. Me refiero ya de las conclusiones de los estudios que se estén realizando. Sólo recordarte lo hemos hablado muchas veces: diferencias de media o una unidad en los valores de pH medidos entre aguas de una misma zona son muy frecuentemente atribuibles o debidas a no haber calibrado, o a no saber en qué estado de conservación y funcionamiento está el electrodo. Eso puede suponer luego incertidumbres del tipo de no poder establecer claramente si un agua está en equilibrio con un determinado mineral, o está sobresaturada o subsaturada. De ahí se

deriva, con frecuencia, que no se puede concluir nada acerca de la hidroquímica de ese acuífero con un cierto nivel de confianza, en otras palabras, que todo tu trabajo puede haber sido inútil.

## **P.- OBSTRUCCIÓN DE LAS CÁPSULAS**

Sobre toma de muestras de agua el Sr. Benavente habló de obstrucción de cápsulas. En la toma de la muestra de agua dentro de un sondeo o de un pozo, que ha cortado capas geológicas de distintas formaciones, las aguas cortadas se mezclan y hay un taladro lleno de agua. ¿Usáis un obturador para separar las partes en las cuales tomáis las muestras de agua? Obstrucción de cápsulas, ¿qué quiere decir? ¿es con obturador?.

### **R.- José Benavente (Universidad de Granada)**

Veo que su pregunta se refiere a la toma de muestras de agua en la zona saturada, es decir, por debajo del nivel freático, pero cuando comentaba que habíamos tenido problemas de obstrucción con cápsulas, me refería a las cápsulas de cerámica porosa que utilizamos con una bomba de vacío en la zona no saturada para muestrear el agua retenida. Entonces ese problema es un problema con las cápsulas de cerámica porosas, que hemos visto que al cabo de meses o de algún año se van obstruyendo. También hay otras cápsulas que son de teflón. Usted seguramente lo que pregunta se refiere al muestreo de agua en la zona saturada usando un piezómetro convencional. Aunque nosotros no lo utilizamos, seguramente es aplicable el sistema de "packers" u obturadores. No lo hemos utilizado quizás porque el tipo de investigación no lo requería, o bien porque no teníamos medios suficientes. Utilizábamos sencillamente toma-muestras del tipo de las botellas lastradas más elementales, cuyo grado de sofisticación es mínimo y que los a

problemas que plantean son de burbujeo y que algunas veces no permiten tomar la muestra a una profundidad conocida.

### **Pregunta:**

No obstante las mediciones tienen que aplicarse sobre algo conocido, identificado y pienso cuando se hace el sondeo, si se infla el obturador doble y se mide la presión, se puede identificar si hay varios acuíferos o no, y a este punto aplicar las mediciones.

### **Respuesta:**

De acuerdo. Pero esa información que usted comenta es una información que se obtiene en el momento que se está haciendo el propio taladro, la propia perforación y que requiere un equipamiento que a veces existe y a veces no. Además, no sería ese el uso convencional de un aparato portátil, sino más bien una instrumentación asociada a la propia maquinaria de perforación, para emplear inmediatamente que se va perforando. Yo no puedo hacer aclaraciones sobre ese tema, pues no tengo experiencia en ese tipo de ensayos.

### **Pregunta:**

Yo entiendo, entonces, que se aplican estas mediciones sobre las primeras capas, en las que se encuentra en el subsuelo el nivel freático.

### **Respuesta:**

No. Uno toma la muestra hasta donde puede dar la longitud del cable o carrete del toma-muestras que lleva, es decir, que puede tomarlo a 30 m o a 50 m o a 100 m o a más metros de profundidad. Entonces uno lo único que sabe es que tiene, por ejemplo, una muestra tomada a 150 m de profundidad y que luego se lleva a analizar. ¿Es realmente esa muestra representativa del acuífero a 150 m de profundidad? Eso también es una cuestión del propio diseño del taladro y, más

concretamente, de la zona filtrante y de cómo esté aislada. Esto es ya otro asunto de representatividad de la muestra y de cómo interpretarla. Ahora bien, en estos sistemas es muy sencilla la toma de muestras a diferentes profundidades, en eso si hay experiencia.

## **P.- VERACIDAD DE LA RESONANCIA MAGNETICA NUCLEAR**

**Antonio Pulido (Universidad de Almería)**

Tengo un par de preguntas para Angel, en 1er lugar la RMN aplicada a aguas subterráneas ¿es verdad todo lo que dicen?

### **R.- Angel Granda (IGT)**

Yo soy especialmente critico con algunas cosas de la RMN. El método como tal está perfectamente fundamentado, tiene una base teórica muy seria, y ahí están todas las pruebas que se hacen en medicina basada en esa técnica, absolutamente precisa y fiables. El problema del método de resonancia magnética nuclear es de las condiciones ambientales. Es un método que opera con magnitudes de extraordinariamente baja de magnitud, valga la redundancia. Entonces el nivel de riesgo ambiental producido por líneas eléctricas, líneas de comunicaciones y ruido electromagnético en general, es en muchos casos varios ordenes de magnitud superior a la propia señal que se trata de medir, en esa situación la señal es dudosa. En las mejores condiciones, en condiciones ideales, su rango de profundidad parece que no sobrepasa los 100 m, siempre las condiciones ideales implican bajo nivel de ruido ambiental y además modelos hidrogeológicos sencillos de acuíferos granulares, bien clasificados, etc.

La experiencia particular es nula, pero por propio interés he leído mucha documentación, por ejemplo de ensayos muy serios

que ha hecho el servicio geológico de EE.UU. en distintos acuíferos cuaternarios y terciarios y especialmente los trabajos de Godman en Israel. Godman tiene muchas ventajas para darle credibilidad; una de ellas, es que su formación académica es de la escuela rusa donde originalmente se ha desarrollado el sistema, tiene una base teórica suficiente firme para saber lo que está midiendo y por las características de su país, de Israel, lo ha ensayado en multitud de emplazamientos. Sus conclusiones son: que solo aproximadamente en el 30% de los casos le dio resultados fiables; que a menos de 4 km de una línea eléctrica sus resultados no los creía; que la interpretación tiene un grado de ambigüedad muy alto en cuanto a número de capas, es decir, los mismos datos de campo se pueden interpretar según un número muy alto de modelos con diversos acuíferos, con su saturación, su contenido en agua, etc. Eso implica que necesita además el apoyo de otras técnicas convencionales o de sondeos para darle precisión a los datos.

De todos modos pienso que la persona más autorizada para hablar en España de este método es Juan Plata y Felix Manuel Rubio, porque ellos han hecho ensayos con un equipo de IRIS INSTRUMENTS, y han publicado un trabajo muy bueno en el Boletín del Instituto Geológico y Minero de España sobre los ensayos realizados en el acuífero de Sotillos y ahora tienen prevista otra campaña importante, creo que en la cuenca del Ebro.

## **P.- CUANTIFICACIÓN CON LA TOMOGRAFÍA**

**Antonio Pulido (Universidad de Almería)**

Gracias. La tomografía, decías que la interpretación es realmente cuantitativa si tiene una resistividad verdadera. ¿ La profundidad es verdadera o también aquí hay

algo de fantasía por la inversión que dices de geofísica?.

### **R.- Angel Granda (IGT)**

Es verdad en su concepción, el resultado final de un proceso de inversión, es siempre un parámetro real, es decir resistividad real, lo que pasa que en cualquier proceso matemático y sobre todo en procesos de la complejidad de inversión pues implica una cierta simplificación del terreno y el terreno admite fórmulas matemáticas hasta cierto punto. Entonces estás asumiendo un modelo bidimensional que no es rigurosamente cierto, sino que también hay una influencia lateral en la tercera dimensión. Esto puede llevar a errores en las profundidades y errores en los valores absolutos de las resistividades, pero errores dentro de un rango tolerable, un rango no mayor al que producen los propios errores instrumentales. De hecho el siguiente paso en tomografía eléctrica ya está dado, es la tomografía en tres dimensiones, que se está aplicando. El problema es quien paga eso, por la multiplicidad de datos que requiere y por el extraordinario tiempo. Actualmente se paga y hay trabajos publicados maravillosos, sobre todo en zonas pues que tienen un interés específico en torno de vertidos, en torno a zonas contaminadas. Trabajos de ese tipo se hacen en tres dimensiones, en ese caso la incertidumbre se reducen extraordinariamente en cuanto a espesores, posición espacial del accidente que tratas de buscar o valores absolutos de resistividad.

### **P. - RESULTADOS CON LA TOMOGRAFÍA**

**José Bolzicco (Universidad Politécnica de Cataluña)**

Nosotros hemos tenido alguna experiencia con la gente del IGME y en comparaciones que hemos hecho con la técnica

tradicional de SEV, nos hemos encontrado con resultados más o menos parecidos. En el caso nuestro, en Aznalcóllar donde hemos estado trabajando en el acuífero aluvial, los resultados han sido similares y no tan buenos en todo caso. La experiencia ¿qué indica? ¿hay algún medio en particular en donde se obtiene mejores resultados o no?

### **R.- Angel Granda (IGT)**

Como en cualquier método geofísico, una parte fundamental del éxito de la operación depende de que tengas contrastes efectivos en los parámetros físicos que vas a medir. Un medio como Aznalcóllar es de los peores para aplicar geoelectrónica porque los valores de resistividad son en conjunto muy bajos y los contrastes también lo son. Cuando la resistividad es muy baja la magnitud que tu mides, que es la diferencia de potencial que estableces al hacer circular la corriente en el terreno, también es extraordinariamente baja, entonces la relación señal-ruido en esas condiciones es comparativamente muy mala.

Respecto a otras situaciones del tipo de algunos de los ejemplos que ya os he mostrado. También hay una circunstancia, es que yo he dicho que los equipos de tomografía tienen una virtud y es la posibilidad de operar con bajos niveles de energía pero eso también es una limitación muy grande. Cuando tratas de tener la mayor fiabilidad o de ganar profundidad de investigación no hay otra alternativa más que aumentar la intensidad de los pulsos de corriente en el polo emisor, y en el caso de Aznalcóllar no era factible. Un equipo alimentado por baterías tiene esa limitación.

### **Pregunta:**

¿Eso es factible hacer hoy en día o no

**Respuesta:**

Si, hay equipos. Los equipos comerciales de tomografía se están aprovechando de una situación casi de monopolio, hay tres o cuatro fabricantes que hacen unos equipos a precios desorbitados y todos alimentados por baterías. Entonces los que nos dedicamos a esto, nos hemos tenido que buscar la vida por otra vía. Nosotros en nuestro caso particular, lo que hemos hecho ha sido modificar un equipo originalmente dedicado a estudios de polarización inducida alimentado por transmisores del orden de cuatro hasta siete cabeas, para operar con un transmisor de muy alta potencia en vez de con el de baja potencia, que es el de baterías que no va más haya de 0,7 o 0,8 cabeas. Pero vamos, es factible.

Por dar un orden de magnitud de lo que se cobra por un equipo de tomografía eléctrica hay básicamente tres, hay uno que es el STING fabricado en EE.UU., hay otro que fabrica IRIS INSTRUMENTS en Francia, otro que fabrica ABEN en Suecia, otro más de PASI y otro más alemán de EMT. Bueno pues todos tienen como característica común, que los electrodos son programables, el electrodo no es simplemente la estacilla de acero que se clavan en el terreno, tienen unos componentes electrónicos que permiten programar y el sistema identifica cual es la función de cada electrodo en cada instante.

Pues eso que es la caja negra, la parte oculta, misteriosa, en el caso del equipo ABEN por ejemplo, lo que es el resistímetro con su unidad de alimentación puede costar, por daros una cifra, dos millones y medio de ptas. Los cables con un espaciado fijo de 5 metros, 48 electrodos valen siete millones ptas. En el STING el resistímetro como tal no es más grande que un maletín pequeño, puede costar en torno a tres millones de ptas. Los cables del STING son

en grupo de catorce, normalmente se equipan con tres cables de catorce creo que son seis millones y medio de pesetas.

Eso es por lo que de algún modo no se debe pasar, nosotros ese problema lo hemos resuelto diseñando nuestros propios cables aplicando conceptos de sismica reflexión, porque todos estos sistemas tienen un grave inconveniente, y es que si un electrodo inteligente se avería, te has quedado sin cable, porque están todos montados de forma estanca en un mismo conductor, en un mismo cable multiconductor y eso es gravísimo, porque no puedes medir. Mientras que si tu desarrollas un sistema más pedestre y un electrodo se avería, te da igual, cortocircuitas ese y mides con el siguiente.

**P.- EQUIPOS DE BURBUJEO EN EL PERIODO SECO**

**Antonio Pulido (Universidad de Almería)**

Tengo otra pregunta, si es posible para Antonio Gallego.

Las mediciones en zonas secas, pongamos por caso un manantial que pueden tener puntas muy fuertes y puede tener periodos de cinco meses sin una gota de agua, ¿qué equipos se pueden instalar ahí?. Hace poco hemos entrado en contacto con OTT y nos decíais que posiblemente el burbujeo podría ser un sistema adecuado de control del agua y ¿que sucede en el periodo que aquello está seco?

**R.- Antonio Gallego (OTT Hidrometría, S.L.)**

Obviamente, cuando hay una comparación entre lo que es la presión barométrica más la presión de la columna de agua, si tu tienes en ese momento un manantial seco lo que te va a dar es cero. Si tu ajustas apropiadamente el equipo, cuando el trate

de bombear aire y realmente la presión en el tubo es igual que la presión barométrica, pues te va a dar cero en ese caso. Ahora bien es un caso donde podemos hablar de sondas por ejemplo de otro tipo, como por ejemplo sondas capacitivas que cuando no van a estar digamos bajo el agua, simplemente van a mantener una referencia, un delta con respecto a la presión barométrica de cero también.

El inconveniente que tienen todos estos sistemas o todos estos principios es que corres el riesgo de que se acumule barro que se seque por el hecho de que no hay

agua y por supuesto esto afecta sensiblemente a la membrana. Cuando realmente tienes agua en el manantial puede que haya una deriva o una desviación. Por lo tanto este tipo de aplicación hay que verla en el sitio, ver realmente cuales son los periodos que van a estar secos, como se va a instalar; si hay posibilidad dejar un mínimo de agua pues lo ideal es mantener siempre a la membrana trabajando en las condiciones que ha sido diseñada. Son casos poco comunes, pero si suceden que se puede quedar seco en ese caso habría que dar un mantenimiento más exhaustivo al elemento sensor, sobre todo limpieza.