



UNIVERSIDAD DE BURGOS

Dpto. Construcciones Arquitectónicas e I.C.T.
ÁREA DE INGENIERÍA DEL TERRENO



Reconocimiento Geofísico mediante Tomografía Eléctrica en el municipio de Campino de Bricia para la localización de formaciones acuíferas en la implantación de una captación de agua

Julio 2006

Junta de Castilla y León



ÍNDICE

1.- Antecedentes y objetivos.....	3
2.- Breve explicación del método de la Tomografía Eléctrica.....	7
2.1.- Ámbitos de aplicación.....	8
2.2.- Consideraciones específicas.....	8
2.3.- Equipos disponibles.....	10
2.4.- El dispositivo Tetraelectrónico empleado.....	12
3.- Trabajo realizado.....	15
3.1.- Localización de los trabajos.....	15
3.2.- Resultados.....	17
4.- Conclusiones.....	32

1.- ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El estudio que se describe en este informe tiene por objeto la localización de posibles formaciones acuíferas en el subsuelo de las inmediaciones del término municipal de Campino de Bricia, Burgos, a petición de D. Julio Gamarra en representación de la Consejería de Medioambiente de la Junta de Castilla y León en Burgos.

Los trabajos han sido realizados por el Área de Ingeniería del Terreno de la Universidad de Burgos, en calidad de prestación de servicios especializados de Geofísica Aplicada.

La experiencia previa del equipo en estudios similares es extensa, tanto en prestación de servicios como en asesoramiento a empresas o investigación propia. En relación con la prospección del subsuelo mediante técnicas eléctrico-resistivas cabe destacar los siguientes trabajos:

- Localización de formaciones acuíferas en municipios de Burgos provincia (Salas de los Infantes, Castrobaroto, Cubillo del Campo), Segovia (Cuellar, Arévalo), Valladolid.
- Búsqueda de túneles y galerías mineras en Mina Gallarta, Vizcaya.
- Localización de posibles cavidades kársticas bajo el trazado de una carretera en Comillas, Cantabria.
- Localización de canalizaciones metálicas, Madrid.
- Campaña de prospección para la localización de galerías mineras a distintas profundidades en La Arboleda, Vizcaya.
- Investigación de la extensión del karst y restos arquitectónicos en el yacimiento arqueológico de Clunia, Peñalba de Castro –Burgos.
- Reconocimiento y búsqueda de cavidades en el karst de la Sierra de Atapuerca. Determinación de rellenos y sedimentos.
- Localización de cuñas de intrusión marina en acuíferos costeros. El Gorguell, Murcia.
- Valoración de acuíferos detríticos en Cuellar, Segovia.
- Tesis Doctoral de J.A. Porres: Caracterización de cavidades en el subsuelo mediante la interpretación de perfiles de Tomografía Eléctrica.
- Tesis Doctoral de A.B. Espinosa: Determinación de contactos en el subsuelo mediante interpretación de perfiles de Tomografía Eléctrica.

La investigación propia del Área de Ingeniería del Terreno en esta disciplina ha permitido desarrollar una metodología de investigación adaptada en cada estudio a criterios específicos en función del objetivo a cubrir.

El objetivo de este estudio es la búsqueda de posibles formaciones acuíferas en el entorno del municipio de Campino, constituido principalmente por materiales mesozoicos de naturaleza calcárea donde la posibilidad de encontrar agua

reside únicamente en la localización de fracturas y zonas karstificadas saturadas en agua, o bien en formaciones detríticas de escasa extensión intercaladas en los mismos. La dificultad para desarrollar captaciones con éxito en acuíferos kársticos es alta, debido a que una diferencia de pocos metros en la ubicación de la perforación puede ser la diferencia entre el logro o el fracaso.

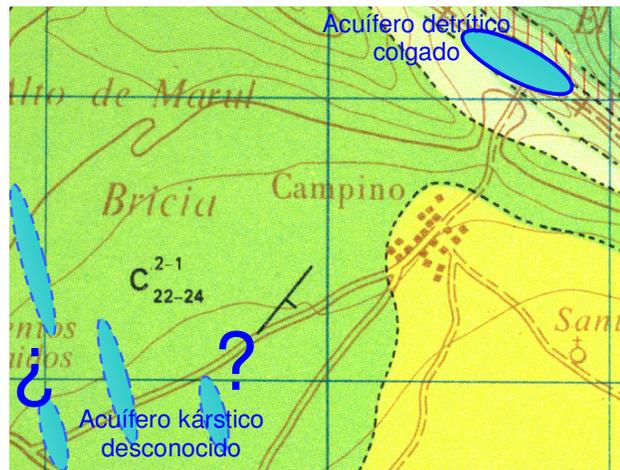


Figura 1. Zonas acuíferas señaladas sobre el mapa geológico de la zona

Actualmente la población capta el agua de un acuífero libre superficial de naturaleza detrítica porosa y permeable de los niveles arenosos y calcarenosos presentes en la zona alta del pueblo, colindante al desfiladero que da paso al Valle de Zamanzas, Figura 1.

En la zona de estudio es conocida una estratigrafía aproximada, estando formada por terrenos cretácicos calcáreos en la siguiente disposición de muro a techo:

Zona basal: Arcillas y areniscas calcáreas basales impermeables.

Zona intermedia: Arenas, arcillas carbonosas y calcarenitas.

Zona superior: Calizas arcillosas con intercalaciones de margas y calizas en bancos potentes a techo.

Se establecen dos objetivos a investigar:

Objetivo 1.- Localización del curso de agua subterránea del acuífero kárstico correspondiente a la infiltración de la Cueva del Aguanal, situada al noreste de Campino, y cuyo flujo se transmite y surge muy posiblemente a los manantiales de Orbaneja del Castillo.

Para cubrir este objetivo se realizaron cinco perfiles de tomografía a lo largo de la carretera que conecta Campino con la N-623 (Figura 2). Los perfiles se solaparon entre sí 90 metros para obtener un registro completo del subsuelo, ya que las imágenes que se obtienen tienen una forma de trapecio.

Para el objetivo 1, dado el nivel de base de margas impermeables de la zona superior que condiciona la karstificación del terreno, se deduce que el curso de

agua subterránea no superará los 40-50 metros de profundidad desde la actual carretera que da acceso a Campino, información contrastada con la proporcionada por el Grupo Espeleológico Edelweiss.

Para obtener información de las líneas de fracturación en profundidad se realizaron los perfiles 1 y 2 mediante el dispositivo Polo-dipolo, que profundiza hasta 125 m. El dispositivo tetraelectrónico conocido como Polo-dipolo que en investigaciones previas siempre se ha mostrado como el más eficiente y sensible en la detección de fracturas y cambios litológicos verticales y el de máxima profundidad de investigación.

Conforme a los resultados de la experimentación en Tomografía Eléctrica del Área de Ingeniería del Terreno de la UBU, se pueden estimar la localización de contactos litológicos horizontales y verticales para profundidades de hasta 120 m, así como la cantidad y calidad del agua presente en formaciones acuíferas por la valoración de los parámetros de conductividad-resistividad en combinación con el reconocimiento del contexto geológico de la zona.

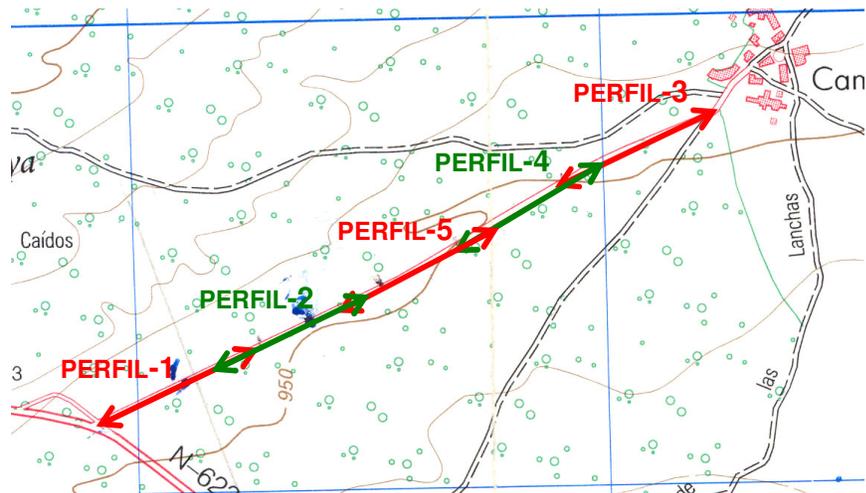


Figura 2. Plano de situación de los perfiles de tomografía para determinar la presencia de agua en el karst

Una vez realizados los perfiles 1 y 2, se comprobó que el contacto Caliza-Marga que determina el nivel de base de la karstificación se encuentra situado en torno a los 40-50 metros, por cuanto se diseñaron los perfiles 4, 5 y 6 para investigar a dicha profundidad, combinando dos dispositivos distintos, el Schlumberger-Wenner y el Dipolo-dipolo, obteniendo perfiles duplicados en los 3 y 5. El motivo de dicha elección es que mientras el dispositivo Schlumberger-Wenner detecta con precisión los contactos horizontales, el Dipolo-dipolo es más adecuado para localizar fracturas, cambios verticales y huecos. Un análisis de los dos sistemas permitirá un mejor conocimiento del subsuelo y optimizará la toma de decisiones.

Objetivo 2.- Determinación de los espesores y potencial del acuífero detrítico colgado situado en la parte alta de la población, zona del actual depósito de agua (Figura 3).

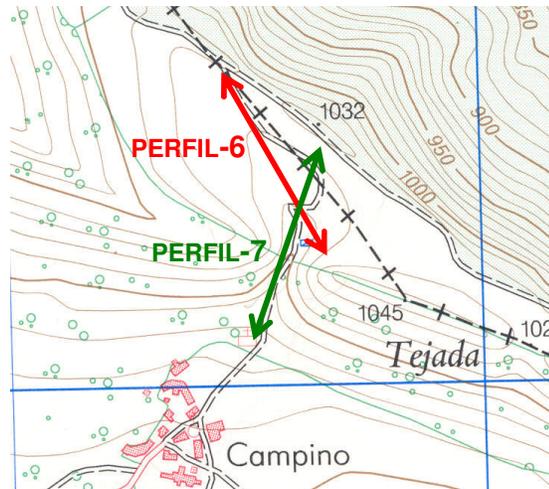


Figura 3. Plano de situación de los perfiles de tomografía para determinar la presencia de agua en el acuífero detrítico

Debido a que se trata de un acuífero colgado superficial y a la disposición estructural del terreno, se diseñaron para esta prospección perfiles Dipolo-dipolo, que identifican planos verticales del terreno con precisión. Del mismo modo que en el objetivo 1, se duplicó el perfil 6 midiendo con el dispositivo Schlumberger-Wenner para determinar el contacto en profundidad del material detrítico con la caliza. Esto permitirá conocer el volumen de materiales porosos permeables, su potencialidad para almacenar agua y la localización de las zonas con mayor humedad.

2.- BREVE EXPLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

En su sentido más amplio la Tomografía es una técnica geofísica para el estudio del subsuelo que consiste en determinar la distribución de un parámetro físico característico del mismo dentro de un ámbito espacial limitado, a partir de un número muy elevado de medidas realizadas desde la superficie del terreno o desde sondeos.

La Tomografía Eléctrica tiene por objetivo específico determinar el valor de la resistividad real del subsuelo en el ámbito comprendido entre dos sondeos o bien hasta un cierto rango de profundidad a lo largo de un perfil de medida, a partir de los valores de resistividad aparente obtenidos mediante medidas realizadas por métodos convencionales de corriente continua.

A continuación se presenta la utilidad de esta técnica sobre perfiles desde la superficie del terreno, por tratarse de la metodología adecuada para el desarrollo de la investigación aquí presentada.

Un factor clave de esta técnica es el número y distribución de las medidas de campo ya que de él depende tanto su resolución como la profundidad de investigación. Como regla general, un estudio mediante Tomografía eléctrica requiere la obtención de un número muy elevado de datos con un pequeño espaciado entre medidas para conseguir la necesaria resolución lateral y que también las medidas se realicen involucrando de forma progresiva varios rangos de profundidad.

El resultado final de este tipo de estudio es una sección distancia-profundidad con la distribución de la resistividad real del subsuelo, fácilmente comprensible en términos geológicos o geotécnicos (Figura 4).

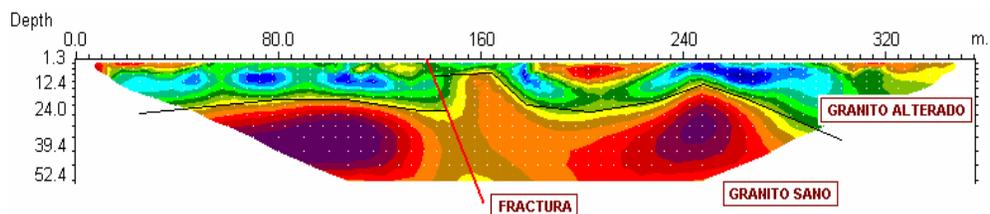


Figura 4. Identificación de rocas alteradas

En este sentido conviene aclarar que la Tomografía eléctrica no es en modo alguno comparable a las Calicatas Eléctricas convencionales ya que estas últimas únicamente proporcionan información de tipo cualitativo, aunque las medidas de campo se efectúen de forma similar en ciertos aspectos. Sin embargo la Tomografía eléctrica exige el empleo de una instrumentación específica capaz de realizar un gran número de medidas de forma rápida y fiable.

Las medidas de resistividad aparente del terreno para un estudio mediante Tomografía eléctrica se efectúan mediante técnicas de corriente continua con posibilidad de empleo de una gran variedad de dispositivos en lo que a la distribución de los electrodos se refiere.

Combinando adecuadamente resolución lateral y profundidad de investigación la Tomografía eléctrica es sin duda un de las herramientas de carácter no destructivo más eficaz para el estudio y caracterización del terreno en un amplio rango de profundidades.

2.1.- ÁMBITOS DE APLICACIÓN

Por su capacidad resolutive al investigar hasta profundidades que pueden llegar a centenares de metros, la Tomografía eléctrica es aplicable a cualquier estudio del subsuelo donde interese identificar todo tipo de accidentes o discontinuidades que representen un contraste suficiente en la distribución de resistividad del medio rocoso. Entre los objetivos más habituales a resolver mediante esta técnica cabe mencionar los siguientes:

- Detección y caracterización de fallas determinando su zona de influencia, rumbo, buzamiento y extensión en profundidad.
- Detección de contactos entre unidades litológicas de diferente naturaleza, determinando la morfología y localización precisa de tales discontinuidades.
- Detección y caracterización de cavidades y huecos, tales como accidentes kársticos, canalizaciones, depósitos, rellenos arcillosos, etc.
- Determinación de unidades acuíferas, niveles freáticos, intrusión marina, etc.

La capacidad resolutive de la Tomografía eléctrica ofrece enormes posibilidades de aplicación en el ámbito de la prospección geológica, la geotecnia y la hidrogeología.

2.2.- CONSIDERACIONES ESPECÍFICAS

Como ya se ha dicho, la tomografía eléctrica es un método prospectivo geoelectrico que analiza los materiales del subsuelo en función de su comportamiento eléctrico, es decir, que es un método de investigación no destructivo del subsuelo capaz de diferenciar los materiales en función de su valor de resistividad.

Teniendo en cuenta esta premisa de la diferencia de valor de resistividad de los materiales es conveniente saber por qué es diferente este comportamiento geoelectrico. La naturaleza y composición de las rocas, la textura más o menos alterada o más o menos porosa unida al contenido en fluidos son factores que van a condicionar la existencia de una mayor o menor concentración de iones. Una mayor movilidad de estos iones tiene como consecuencia una mayor conductividad. Por lo tanto, la conductividad de las rocas va a depender, generalmente, de cuatro factores:

- De la proporción de volumen de huecos frente a volumen total de la roca. A priori, a mayor volumen de huecos puede esperarse una mayor conductividad, siempre y cuando esos huecos no estén vacíos. Si fuera así, la resistividad debería ser anormalmente alta dado el carácter dieléctrico del aire.
- De la disposición geométrica de dichos poros (denominada Factor de formación). A mayor conexión de huecos, si están rellenos de agua, implica una mayor conductividad ya que la movilidad de fluidos y de iones es más fácil. Si están secos o no están conectados, la resistividad es, por el contrario, mayor.
- De la proporción de huecos rellenos de agua frente a huecos secos. A mayor proporción de huecos rellenos de agua, la conductividad va a ser mayor pues el agua permite una mayor circulación de la corriente eléctrica que el aire, que es un dieléctrico.
- De la calidad del agua. La conductividad del agua depende de la cantidad y de la clase de sales disueltas, así como de la temperatura y otros factores que no comentaremos.

Los principales factores que afectan a la resistividad de una roca se agrupan en la fórmula de Heiland:

$$\rho = \frac{F}{v} \times \rho_w$$

donde,

- ρ es la resistividad de la roca impregnada.
- ρ_w es la resistividad del agua contenida en la roca.
- v es el volumen relativo de huecos (factor de porosidad) que depende de la textura de la roca; Es cero en roca compacta y aumenta con la porosidad.
- F factor de formación, que depende de la forma y distribución de los poros.

A esta fórmula habría que añadir un factor de saturación (F_s) que depende de la proporción en que los poros de la roca están rellenos de agua. Esto transformaría la fórmula anterior en la siguiente:

$$\rho = \frac{F}{v} \times \rho_w \times \frac{1}{F_s}$$

En la zona de saturación, por debajo del nivel freático, el F_s es 1 ya que todos los poros están rellenos de agua. En este caso, ambas fórmulas son iguales. Por encima de este nivel, el F_s va a depender de la capacidad de la roca de almacenar agua. Por ejemplo, para las gravas y arenas gruesas es desde 0.01 hasta 0.40 y para rocas capaces de almacenar agua por capilaridad (arcillas), hasta 0.60. El caso extremo es el desierto en una época calurosa, donde F_s vale 0, lo que obliga, en el caso de la prospección eléctrica, a clavar mucho los electrodos en el terreno hasta encontrar un nivel con un grado mínimo de humedad capaz de garantizar el paso de la corriente. Esta actividad se puede complementar con otras actuaciones capaces de mejorar la unión eléctrica con el terreno, como, por ejemplo, el vertido de agua, a ser posible salada, junto a los electrodos, o la colocación de 2 ó 3 electrodos de corriente en cada ala, etc.

Estos aspectos teóricos son los que dan la pauta de comportamiento a los diferentes materiales. La ejecución de una campaña de prospección geoelectrica mediante tomografía permitirá la determinación de diferentes valores de resistividad que, por atribución, permitirá identificar unidades litológicas de distinta naturaleza (arcillas, areniscas, etc.), aspectos estructurales (discontinuidades, compactación, fracturación) y geomorfológicos (cuevas y rellenos), etc.

Este método se basa en la implantación de numerosos electrodos a lo largo de un perfil, con una separación determinada que viene marcada fundamentalmente por la profundidad de investigación. Todos los electrodos se conectan al equipo de medida y, mediante un programa secuencial específico para cada trabajo, el aparato "ordena" a cada electrodo si debe o no emitir o si debe o no recibir corriente en cada momento. Es decir, se programan cuáles deben ser los cuadripolos que funcionan en cada momento y con qué disposición.

2.3.- EQUIPOS DISPONIBLES

A continuación se describe el equipamiento del Área de Ingeniería del Terreno de la Universidad de Burgos en Tomografía eléctrica:

EQUIPOS:

Equipo de Tomografía eléctrica SYSCAL R1 PLUS Switch72

Potencia: 200 W

Intensidad de corriente: 2.5 A
Voltaje de salida: hasta 600 V (1200 V pico a pico).
Parámetros de medición: Resistividad aparente y la polarización inducida.
Numero de electrodos a conmutar: 72

Equipo de Tomografía eléctrica SYSCAL KID Switch24

Potencia: 25 W
Intensidad de corriente: 0,5 A.
Voltaje de salida: hasta 200 V (400 V pico a pico).
Parámetros de medición: Resistividad aparente y la polarización inducida.
Numero de electrodos a conmutar: 24

SOFTWARE PARA LA INVERSIÓN AUTOMÁTICA:

Software 2 dimensiones RES2DINV ver.3.2. Programa de Resistividad 2D en Inversión IP para secciones del sistema de Tomografía SYSCAL. Emplea la inversión por mínimos cuadrados en tres variantes diferentes: quasi-Newton, Gauss-Newton y el método híbrido quasi-Newton+Gauss-Newton.

Software 3 dimensiones RES3DINV ver. 2.0. Programa de Resistividad 3D en Inversión IP para secciones del sistema de Tomografía SYSCAL. Emplea la inversión por mínimos cuadrados en tres variantes diferentes: quasi-Newton, Gauss-Newton y el método híbrido quasi-Newton+Gauss-Newton.



SYSCAL R1 PLUS Switch72

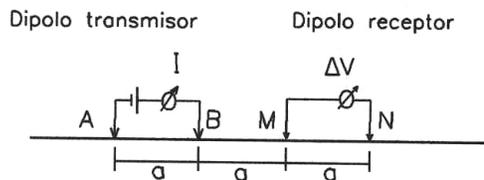


SYSCAL KID Switch24

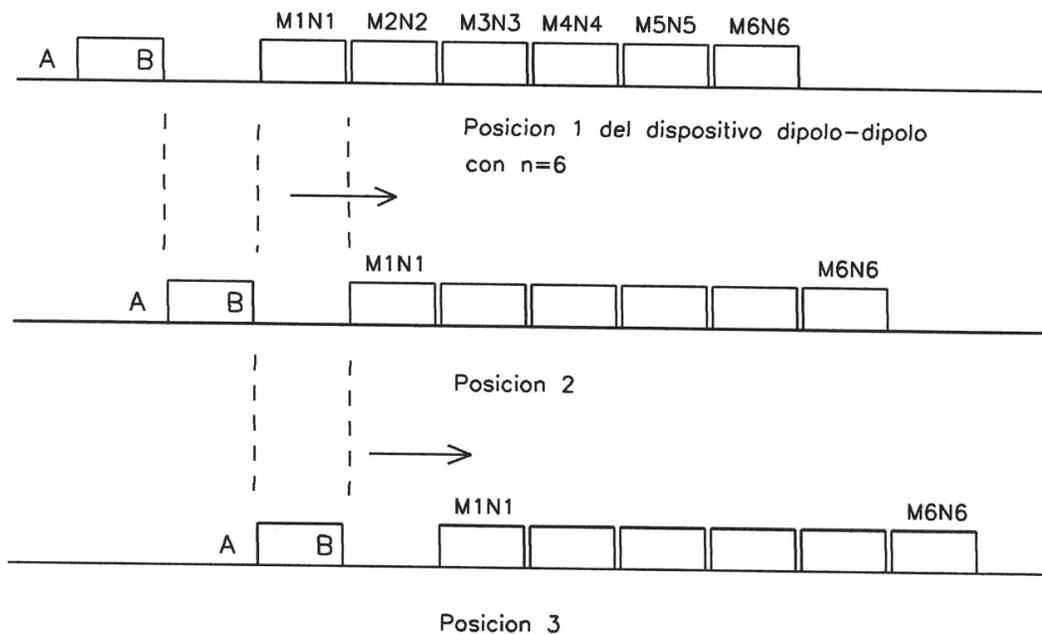
2.4.- DISPOSITIVO TETRAELECTRÓDICO EMPLEADO

A continuación se expone sistemáticamente la configuración del dispositivo empleado en este estudio debido a que muestra mayor sensibilidad a la presencia de contactos litológicos y que proporciona la máxima profundidad de investigación para el equipo SYSCAL R1 PLUS Switch 72 con separación entre electrodos de 5 m.

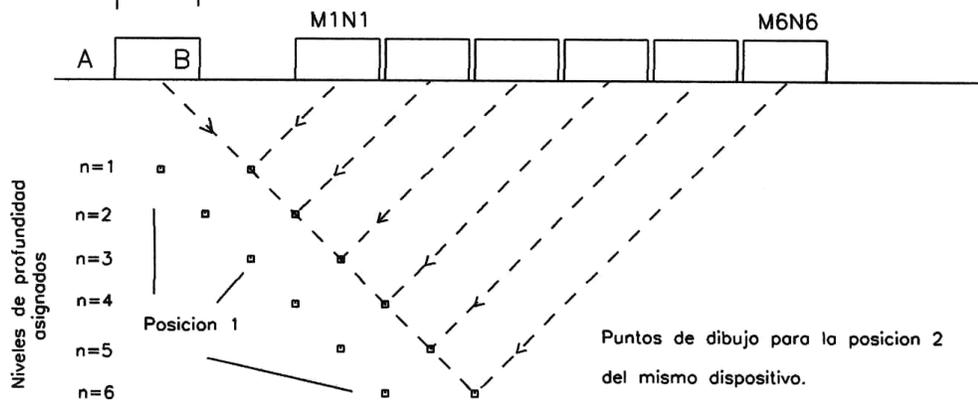
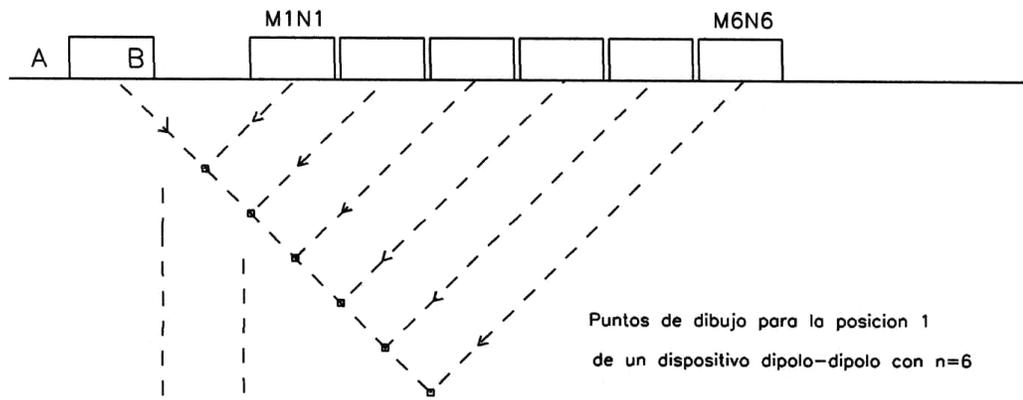
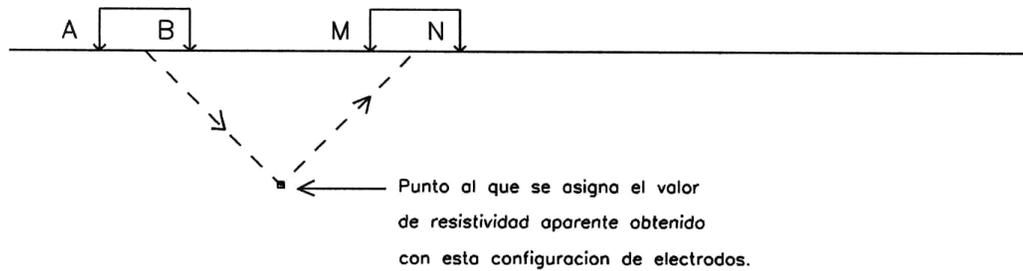
En una disposición clásica DIPOLO-DIPOLO equipo combina en cada medición cuatro electrodos, dos de transmisión de corriente llamados A y B, y dos de recepción de potencial llamados M y N. El equipo introduce corriente de A hacia B midiendo la intensidad I , y a continuación mide la diferencia de potencial entre M y N.



Esta medida se repite con otras combinaciones AB –MN hasta completar la secuencia diseñada para cada perfil para una combinación total de los 72 electrodos de que dispone el equipo SYSCAL R1 PLUS Switch de IRIS Instruments.

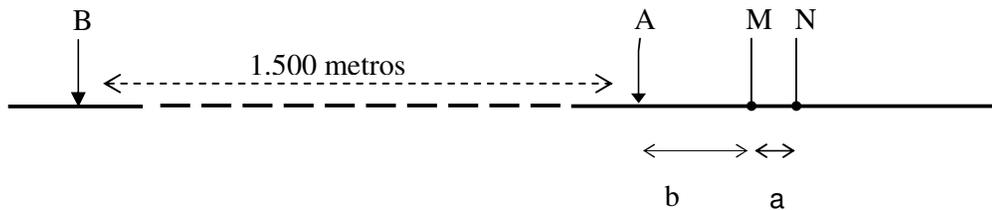


Al desplazar el dispositivo de medida a lo largo del perfil y asignar valores de la forma indicada se obtiene la distribución de valores de resistividad aparente. El análisis y procesado de estos datos dará como resultado final la presentación de resultados en forma de perfiles con distribución de la resistividad real.



EL DISPOSITIVO POLO-DIPOLO

El dispositivo empleado en este estudio se denomina Polo-Dipolo, teniendo la particularidad de que el electrodo B de medida se lleva a una distancia muy alejada de los otros tres (en teoría, el infinito).



El factor geométrico de este dispositivo es:

$$K = 2\pi \frac{b(b+a)}{a}$$

Si $a \ll b$ este dispositivo es equivalente al semi-Schlumberger. Una variación del dispositivo polo-dipolo se obtiene moviendo uno de los electrodos de medida de potencial a un punto lejano (teóricamente, el infinito). En este caso el factor geométrico es $K = 2\pi b$, que coincide con la expresión del dispositivo Wenner, por lo cual también se denomina half-Wenner.

PROSYS – Processing tool – Pole-Dipole Reverse profile

1. Pole-Dipole (forward) sequence (electrode "1" located at the left / electrode "72" at the right)
2. Let the cables in their position and swap on the Syscal the connectors of the cables

The position of the electrodes are now reversed (electrode "1" at the right / electrode "72" at the left)
3. Run the same sequence
4. From Prosys : **Processing|Modify Spacing** to correct the positions
 - Choose the "MULTIPLY" function and enter "-1" in "SPACING 1/2/3/4" then validate
 - **Processing|Modify Spacing** again and choose the "INCREMENT" function and enter the length of the profile in "SPACING 1/2/3/4" then validate: the electrodes are now correctly located
5. From Prosys : **File|Add** to add the PD reverse and the PD forward : "Mixed" array

Figura 5. Procedimiento para la obtención de perfiles Polo-Dipolo mediante Tomografía Eléctrica según el fabricante IRIS Instruments, Orléans (Francia).

3.- TRABAJO REALIZADO

Como se ha comentado en el epígrafe 1, la campaña de prospección tiene por objeto la localización de posibles formaciones acuíferas para situar el emplazamiento más adecuado para la perforación de un sondeo de captación de agua.

La prospección ha consistido en la realización de **10 perfiles de Tomografía Eléctrica** distribuidos de la siguiente manera:

- Objetivo 1 (7 perfiles): Perfiles 1 y 2, mediante dispositivo Polo-dipolo.
Perfiles 3, 4 y 5, mediante dispositivo Dipolo-dipolo.
Perfiles 3 y 5, mediante dispositivo Schlumberger-Wenner.
- Objetivo 2 (3 perfiles): Perfil 6, mediante dispositivo Schlumberger-Wenner
Perfiles 6 y 7, mediante dispositivo Dipolo-dipolo.

3.1.- LOCALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Objetivo 1: Los trabajos realizados se localizan al sureste de la población conforme se ha señalado en las ortofotos de las figuras 6 y 7.

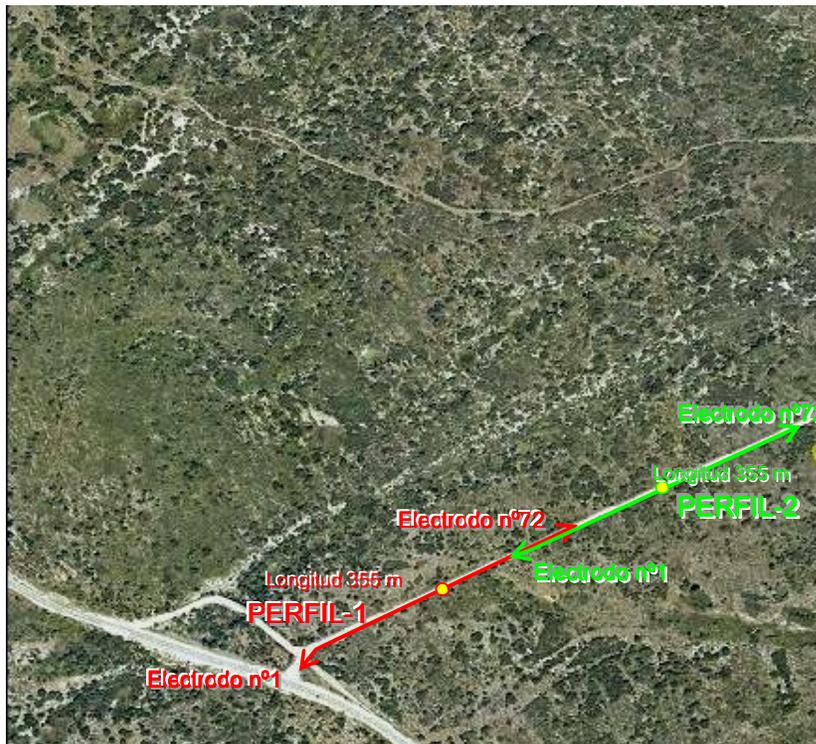
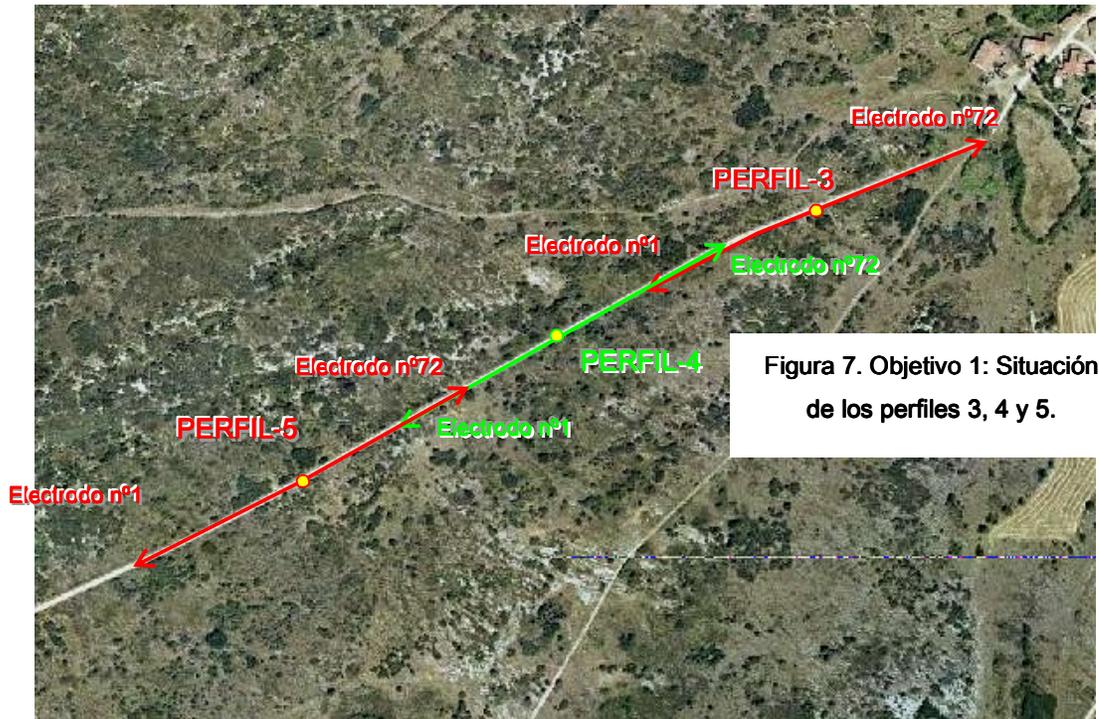


Figura 6. Objetivo 1: Situación de los perfiles 1 y 2.



Objetivo 2: Los trabajos realizados se localizan al norte de la población, en el entorno de la actual captación y depósito de agua (figura 8).

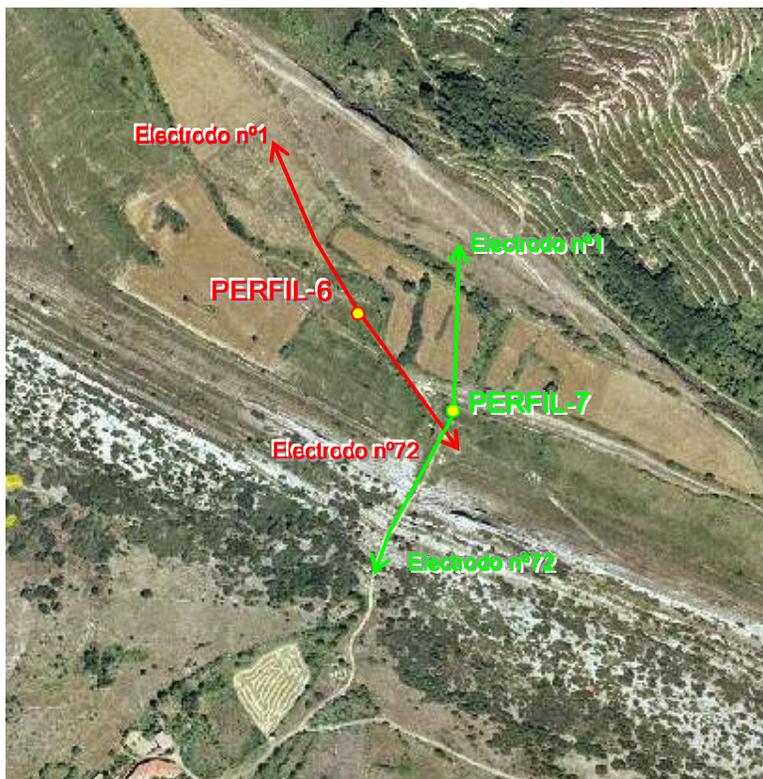
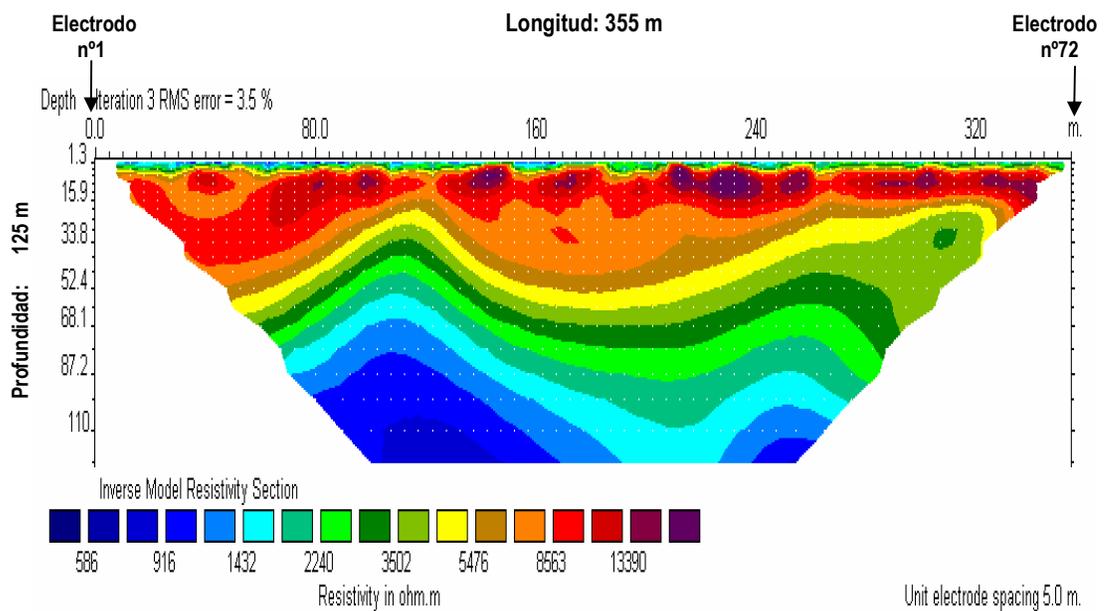
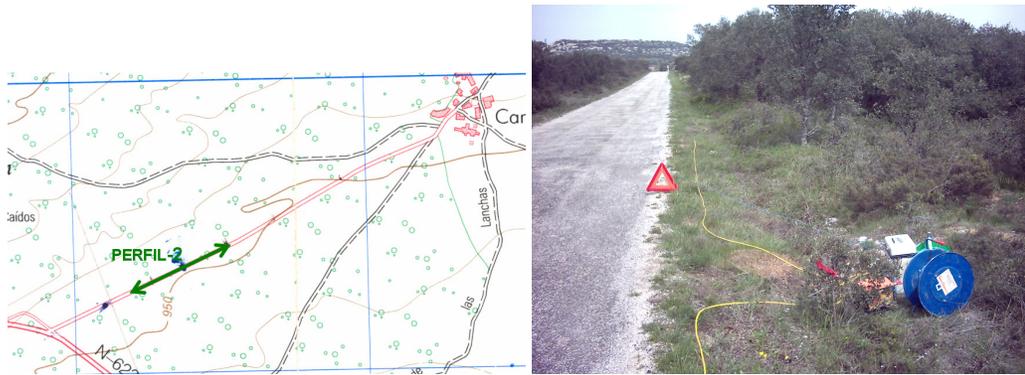


Figura 8. Situación de los perfiles 6 y 7.

3.2.- RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN POR TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

El procesado y filtrado de ruido y datos erróneos se ha realizado con el programa Prosys V.07.01.00 de IRIS Instruments. El proceso de inversión de las mediciones de resistividad aparente para la obtención de la distribución de la resistividad real en imagen 2D se ha realizado con el programa RES2DINV Ver.3.49 de Geotomo Software. El programa calcula mediante modelado de elementos finitos y cálculos de mínimos cuadrados valores de resistividad real del subsuelo para distintas profundidades cuya distribución se representa en las imágenes que a continuación se presentan.

PERFIL 2



Dispositivo: Polo-dipolo
 Longitud: 355 metros
 Profundidad: 125 metros
 Localización UTM (centro):

x: 433314
 y: 4749332

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA. PERFILES 1 y 2

El perfil geoelectrico muestra un claro contacto litológico subhorizontal a 40-50 metros de profundidad.

El nivel superior presenta valores de resistividad superiores a 2000 ohm.m, y se interpreta como la formación de calizas masivas del Cretácico superior presentes en la zona.

El nivel inferior presenta menor resistividad, de 2000 a 200 ohm.m y se interpreta como la formación de margas cretácicas infrayacentes, que actúan como sustrato impermeable y que determinan el nivel de base de la karstificación que aflora en Cueva Aguanal.

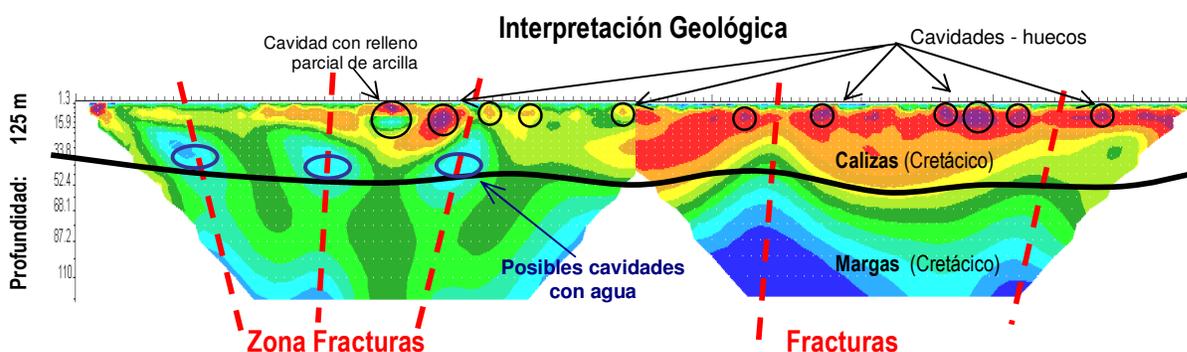


Figura 9. Interpretación geológica de los perfiles 1 y 2.

Desde el punto de vista estructural destaca la presencia de cinco fracturas principales subverticales. En zonas kársticas, se ha de buscar el agua asociado a dichas fracturas, donde progresa la karstificación a favor de la fisuración.

Se identifican numerosas cavidades superficiales correspondientes a simas o conductos huecos que se reflejan como anomalías positivas de alta resistividad (>10.000 ohm.m)

POSIBLES FORMACIONES ACUÍFERAS

Del análisis de la distribución de la resistividad y la valoración geológica se deduce que la formación más favorable para la localización de agua son las formaciones acuíferas kársticas desarrolladas a favor de la fracturación en el contacto caliza-marga que se señalan sobre el perfil geoelectrico anterior.

Las anomalías negativas presentes en el perfil 1 y que se manifiestan con colores azules reflejan una disminución brusca de la resistividad en el estrato calcáreo que puede ser debida a la presencia de agua. Las evidencias de karstificación en la zona y los indicios de que el curso de agua de Cueva Aguanal ha de circular por el subsuelo de estos terrenos indica que la disminución de la resistividad eléctrica en estos puntos puede ser debida a ese motivo.

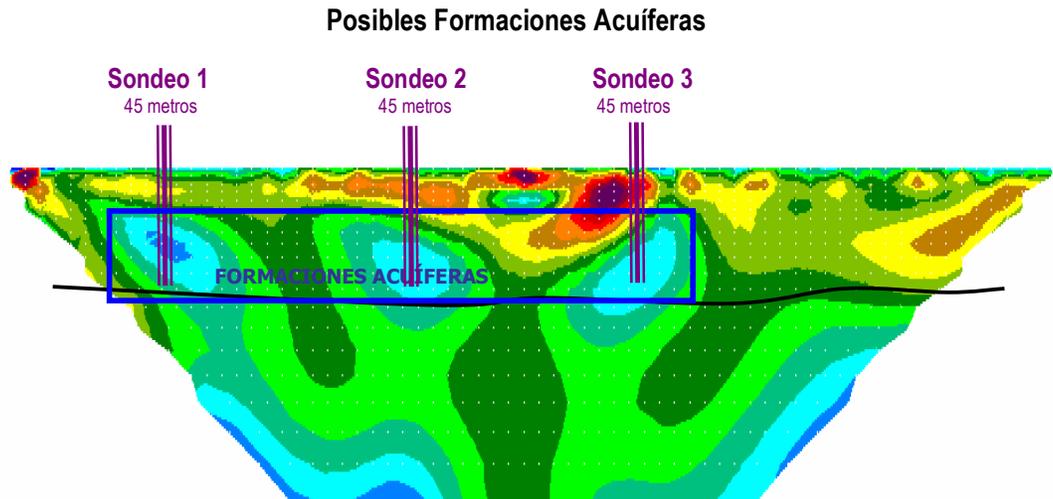
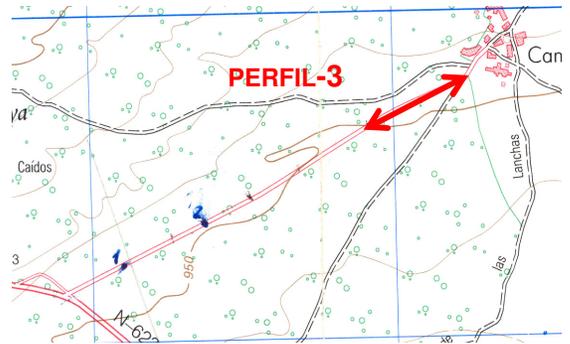


Figura 10. Ubicaciones propuestas para el emplazamiento de sondeos de captación de las aguas almacenadas en zonas acuíferas sobre el perfil 1.

PERFIL 3



Longitud: 355 metros

Localización UTM):

centro ----- x: 434066

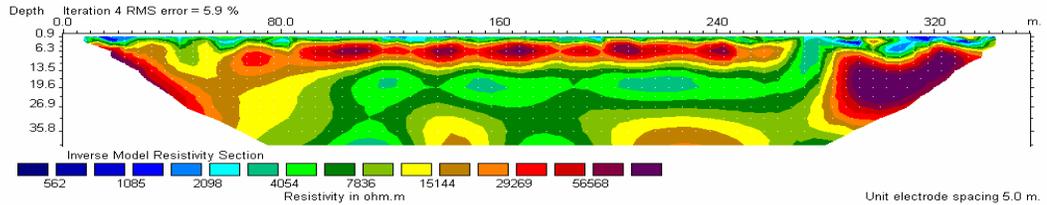
y: 4749719

electr.72---- x: 434224

y: 4749778

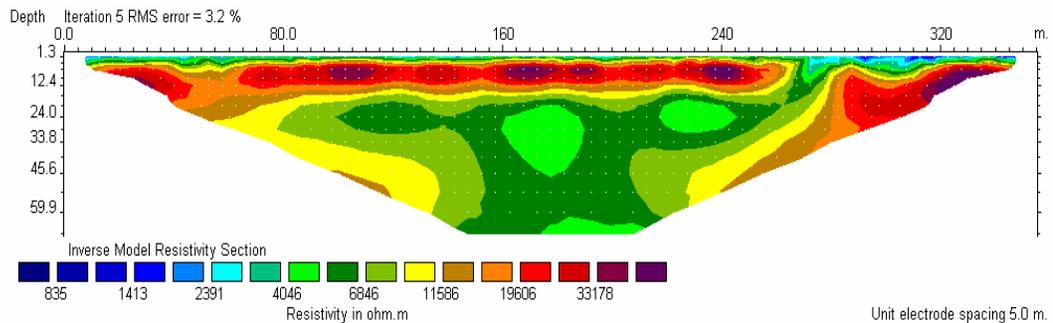
Dispositivo: Dipolo-dipolo

Profundidad: 45 metros



Dispositivo: Schlumberger-Wenner

Profundidad: 70 metros



INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA. PERFIL 3

El perfil geoelectrico muestra indicios de un contacto litológico subhorizontal profundo, a 60 metros de profundidad, correspondiente el nivel superior a la formación de caliza cretácica masiva de valores de resistividad superiores a 2000 ohm.m. El nivel inferior de margas cretácicas infrayacentes se encuentra a una profundidad de 60 metros..

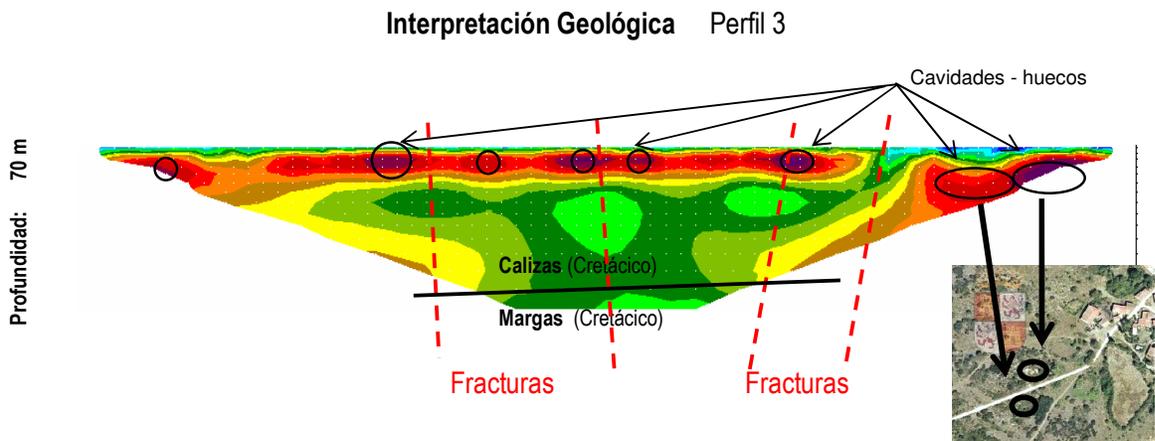


Figura 11. Interpretación geológica del perfil 3.

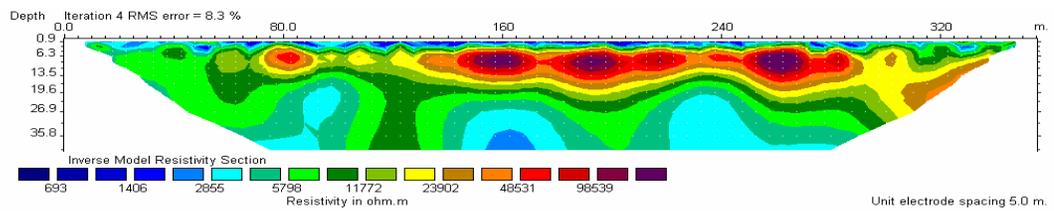
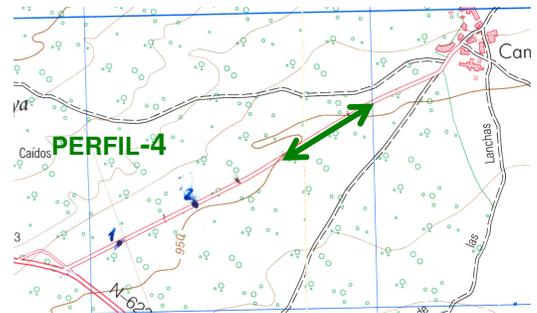
Su estructura presenta fracturas principales subverticales y numerosas cavidades superficiales correspondientes a simas o conductos huecos que se reflejan como anomalías positivas de alta resistividad (>10.000 ohm.m). En la zona más próxima a la población, a una distancia de 50-90 metros, se identifican dos grandes cavidades en el subsuelo que se corresponden muy bien con las observaciones de superficie, donde se aprecian dos grandes simas con rellenos de tipo arcilloso y antropogénico.

POSIBLES FORMACIONES ACUÍFERAS

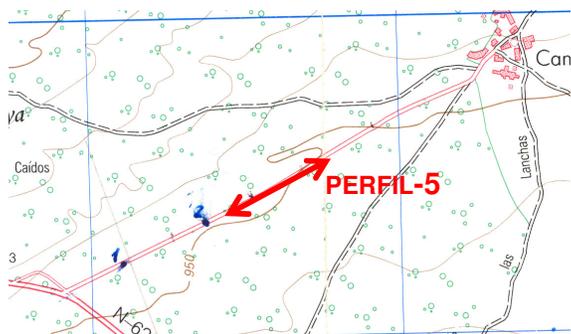
Del análisis de la distribución de la resistividad y la valoración geológica se deduce que existe una intensa karstificación en la zona pero que no existen indicios de que estas formaciones geológicas contengan agua para la implantación de una captación.

PERFIL 4

Dispositivo: Dipolo-dipolo
Longitud: 45 metros
Profundidad: 125 metros
Localización UTM (centro): x: 433833
y: 4749605



PERFIL 5



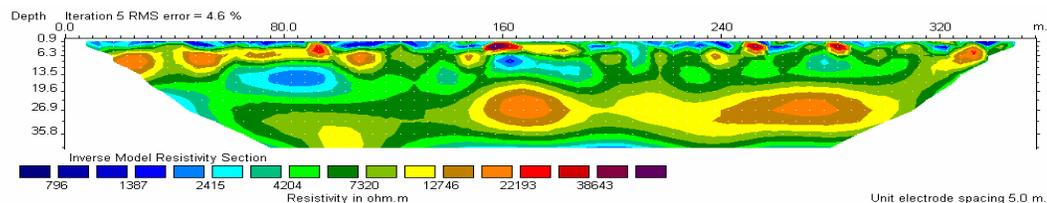
Longitud: 355 metros

Localización UTM:

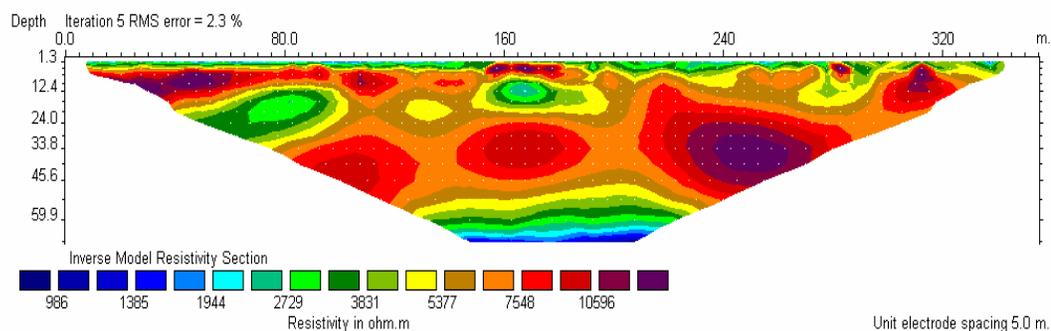
centro ----- x: 433598
y: 4749467

electr.1---- x: 433440
y: 4749391

Dispositivo: Dipolo-dipolo
Profundidad: 45 metros



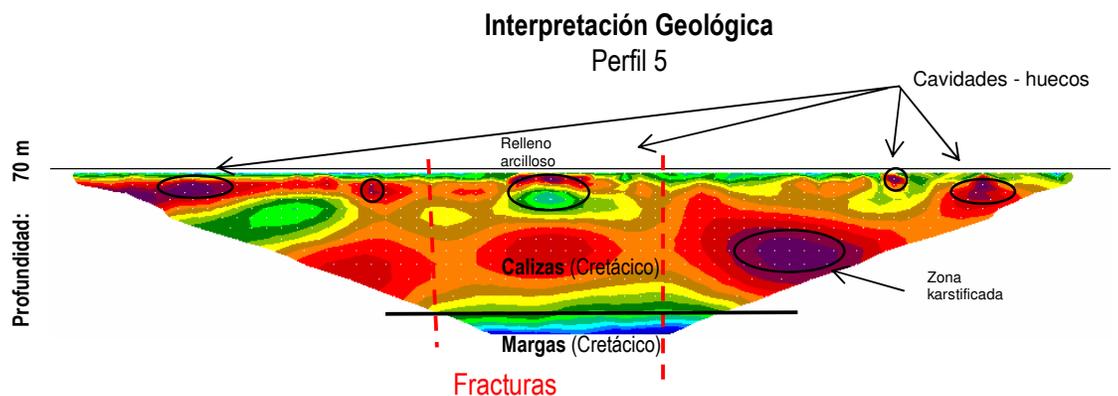
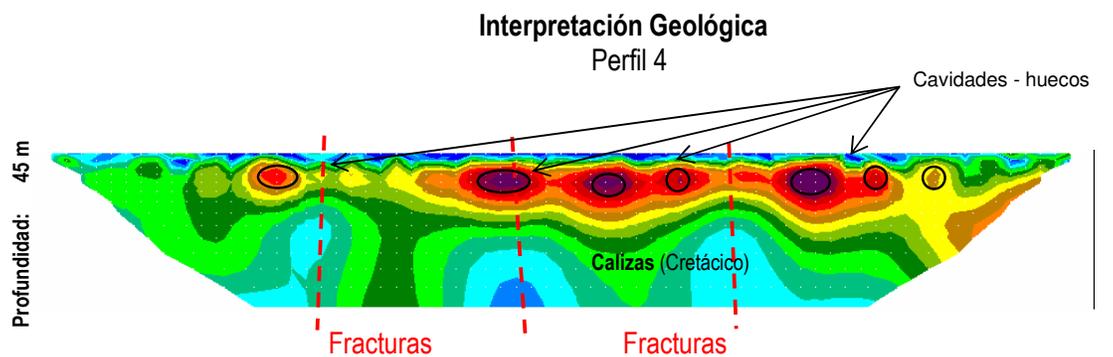
Dispositivo: Schlumberger-Wenner
Profundidad: 70 metros



INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA. PERFILES 4 y 5

El perfil 4, de profundidad 45 metros, muestra únicamente la formación de calizas cretácicas afectadas por una karstificación importante que se refleja con la presencia de cavidades y huecos de alta resistividad eléctrica.

El perfil 5, de profundidad 70 metros, llega a mostrar la formación inferior de margas con su contacto situado a 60 metros. El estrato principal de calizas cretácicas se muestra intensamente karstificado y algunas cavidades superficiales parecen contener rellenos arcillosos que se reflejan como anomalías negativas de baja resistividad.

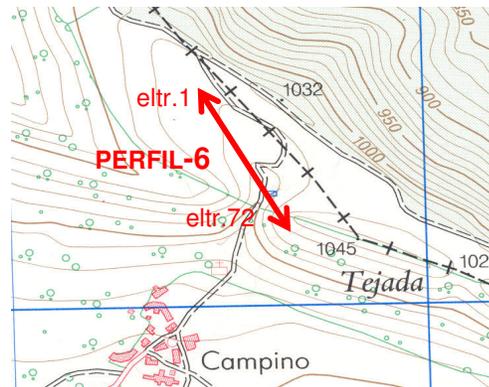


POSIBLES FORMACIONES ACUÍFERAS

Del análisis de la distribución de la resistividad y la valoración geológica se deduce que existe una intensa karstificación en la zona pero que no existen indicios de que estas formaciones geológicas contengan agua para la implantación de una captación.

OBJETIVO 2

PERFIL 6



Longitud: 355 metros

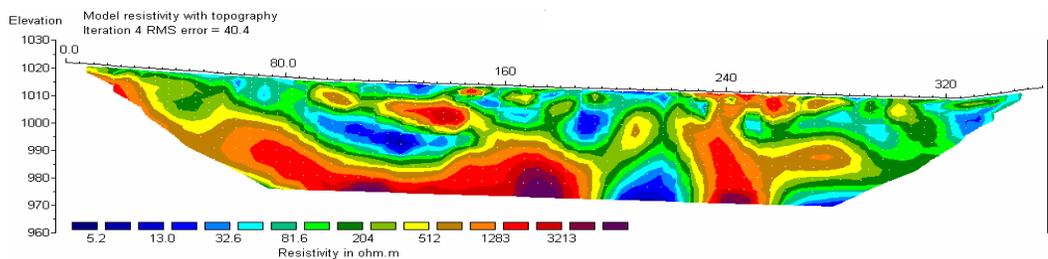
Localización UTM:

centro ----- x: 434534
y: 4750441

electr.1---- x: 434454
y: 4750597

electr.72---- x: 4346631
y: 4750301

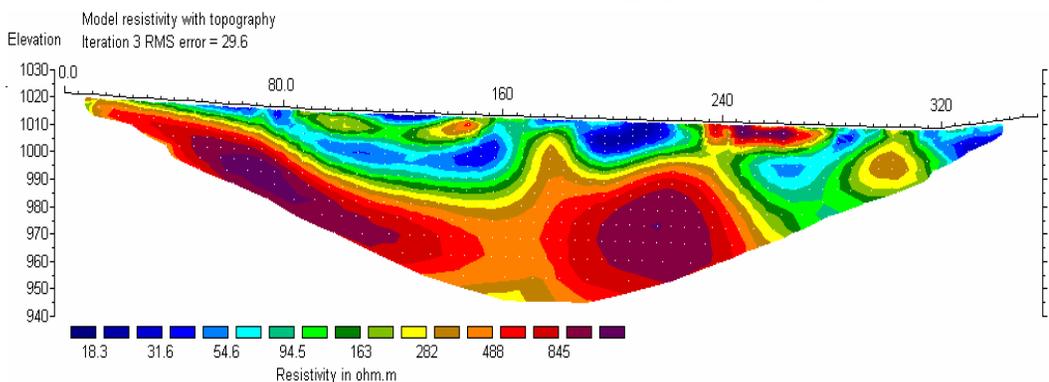
Dispositivo: Dipolo-dipolo
Profundidad: 45 metros



Horizontal scale is 13.26 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.28
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 355.0 m.

Unit Electrode Spacing = 5.0 m.

Dispositivo: Schlumberger-Wenner
Profundidad: 70 metros



Horizontal scale is 13.26 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.81
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 355.0 m.

Unit Electrode Spacing = 5.0 m.

**Perfil 6.
Carrete de cable y caja de
conexión de los electrodos 54-55.**



**Perfil 6. Centro del perfil.
Ubicación del equipo de geofísica.
Electrodos 36-37.**

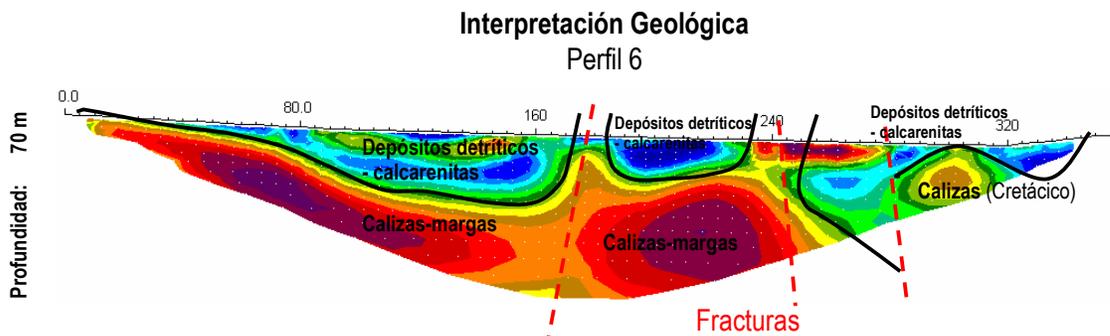
Localización UTM: x: 434534
y: 4750441

INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA. PERFIL 6

El perfil 6 muestra una configuración geológica compleja, con superficies que ponen en contacto materiales detríticos con materiales calcáreos en una disposición estructural afectada por fallas y plegamientos.

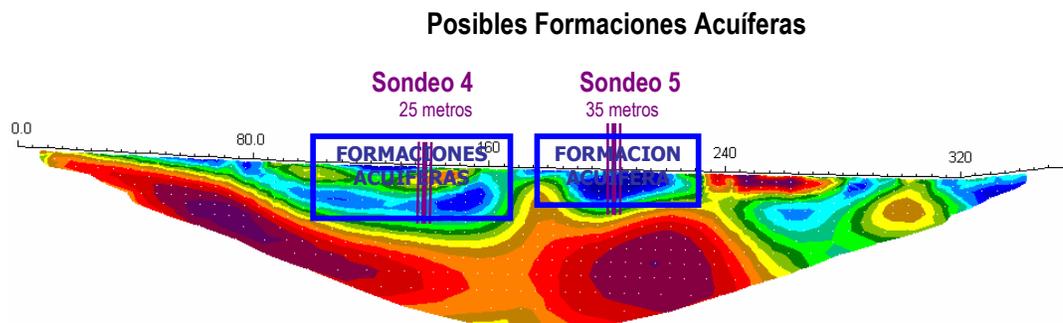
Conforme a las observaciones de superficie y la distribución de la resistividad en el perfil, se ha deducido la disposición de los contactos en el subsuelo, resultando una aproximación coherente.

La estratificación al norte, en el electrodo nº1 (distancia 0.0 en el perfil) los estratos de caliza buzcan 10° hacia el Sur, quedando recubiertos por depósitos detríticos de tipo calcarenítico. Dicha caliza aflora nuevamente a 175 metros hacia el sur con sentido de buzamiento opuesto, 80° Norte; dando paso nuevamente a depósitos detríticos subverticales en una franja que ocupa prácticamente el resto del perfil hasta el electrodo 72.

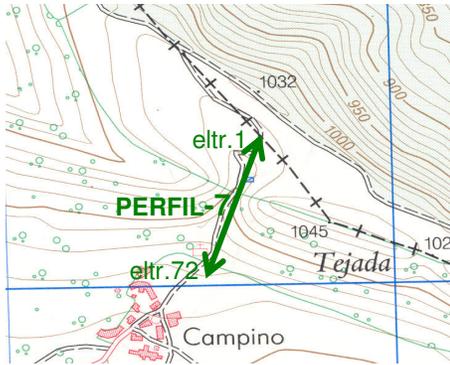


POSIBLES FORMACIONES ACUÍFERAS

Del análisis de la distribución de la resistividad y su valoración geológica se deduce que la formación detrítica es favorable a la circulación y almacenamiento de agua, si bien su volumen es escaso y de limitada aportación hídrica al tener una cuenca de recepción-infiltración limitada a una franja de 100x1000 metros aprox.



PERFIL 7



Dispositivo: Dipolo-dipolo

Profundidad: 45 metros

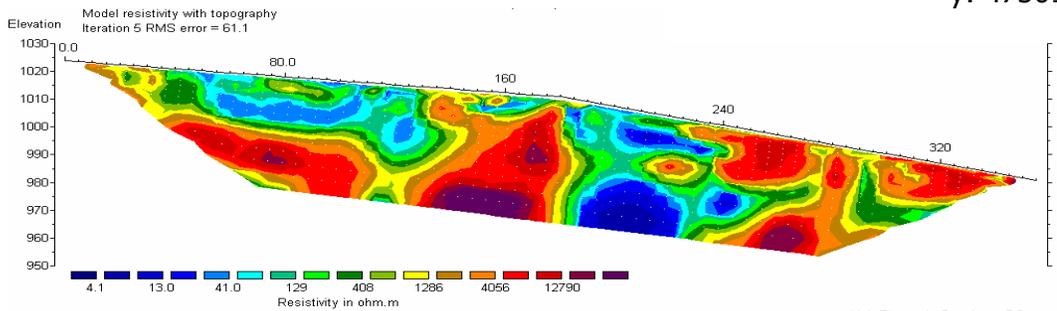
Longitud: 355 metros

Localización UTM:

centro ----- x: 434624
y: 4750340

electr.1---- x: 434634
y: 4750502

electr.72---- x: 434539
y: 4750186



Horizontal scale is 13.20 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.28
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 355.0 m.

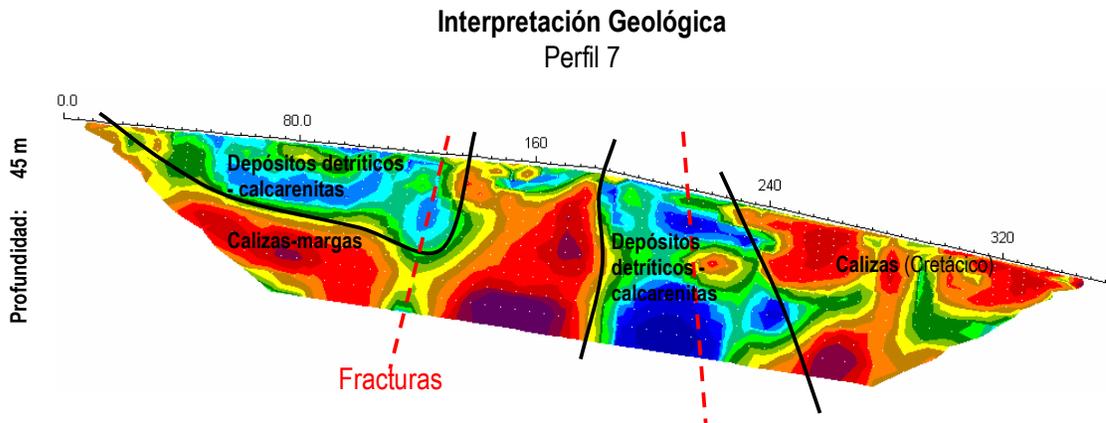


INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA. PERFIL 7

El perfil 7 muestra una configuración geológica compleja, con superficies que ponen en contacto materiales detríticos con materiales calcáreos en una disposición estructural afectada por fallas y plegamientos.

Conforme a las observaciones de superficie y la distribución de la resistividad en el perfil, se ha deducido la disposición de los contactos en el subsuelo, resultando una aproximación coherente.

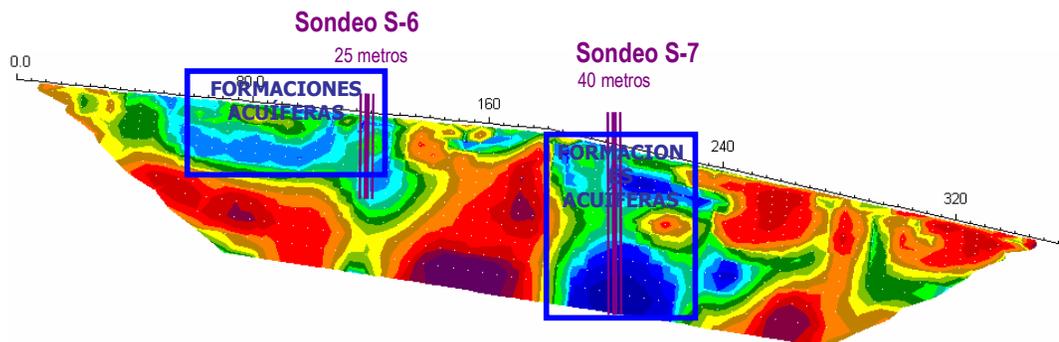
La estratificación al norte, en el electrodo nº1 (distancia 0.0 en el perfil) los estratos de caliza buzcan 10° hacia el Sur, quedando recubiertos por depósitos detríticos de tipo calcarenítico. Dicha caliza aflora nuevamente a 140 metros hacia el sur con sentido de buzamiento opuesto, 80° Norte; dando paso nuevamente a depósitos detríticos subverticales en una franja que ocupa 30 metros en superficie que contacta al sur con calizas bien estratificadas de buzamiento 60° Sur.



POSIBLES FORMACIONES ACUÍFERAS

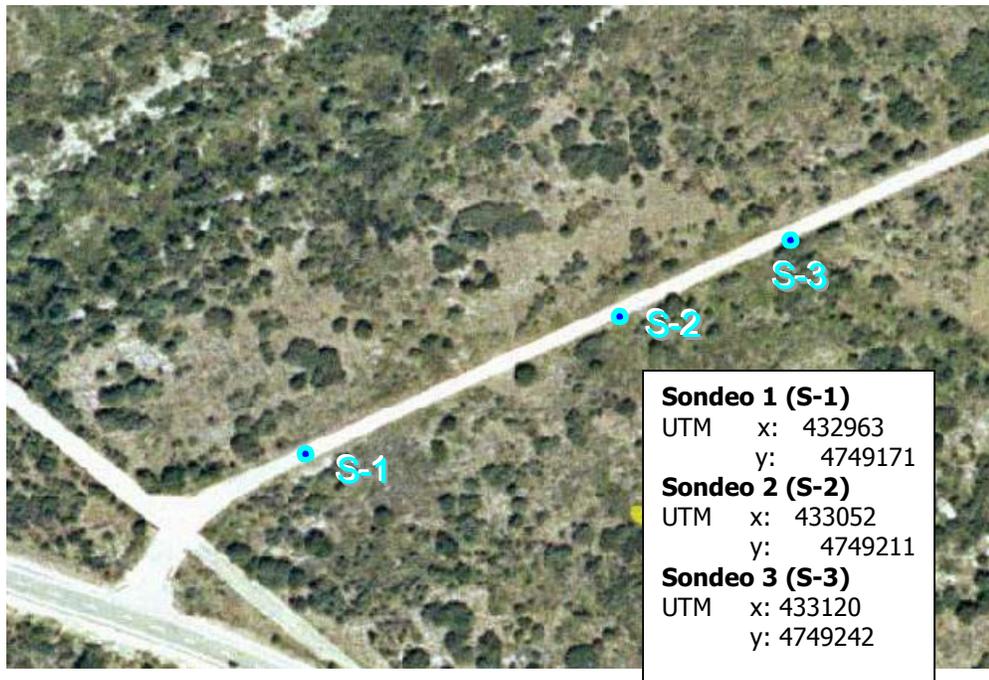
Del análisis de la distribución de la resistividad y su valoración geológica se deduce que la formación detrítica es favorable a la circulación y almacenamiento de agua, si bien su volumen es escaso y de limitada aportación hídrica al tener una cuenca de recepción-infiltración limitada a una franja de 100x1000 metros aprox.

Posibles Formaciones Acuíferas

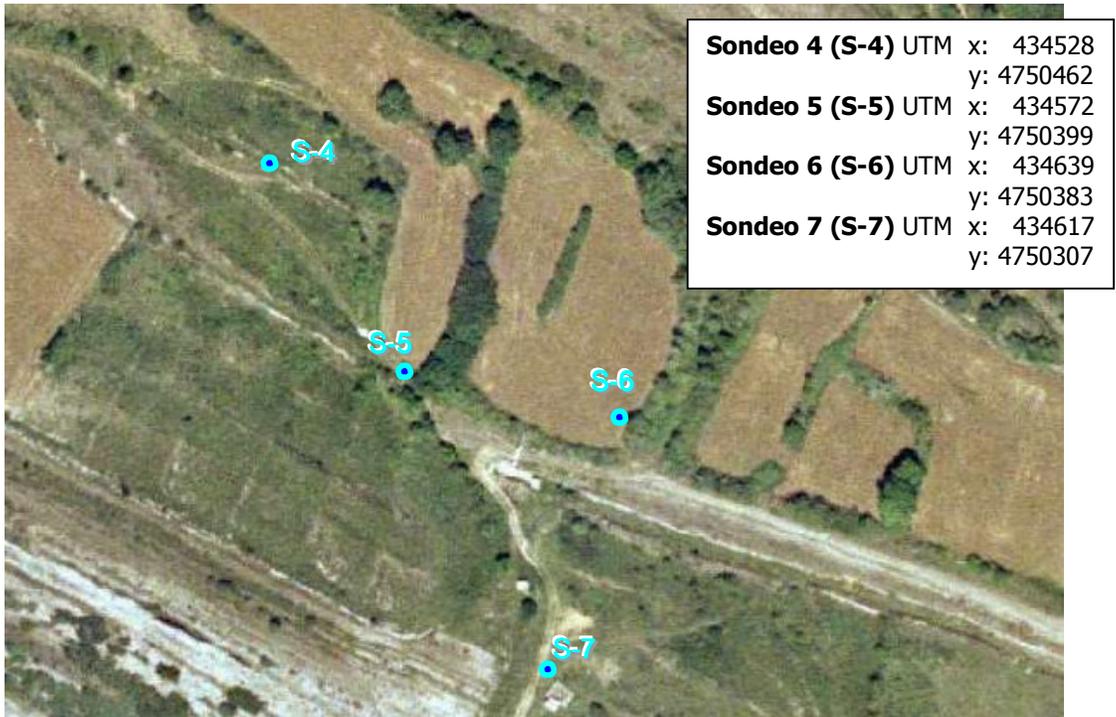


4.- CONCLUSIONES

Objetivo 1: Se proponen tres posibles emplazamientos para la perforación de sondeos de captación, considerando el más favorable el señalado como S-1. Ha de tenerse en cuenta la dificultad intrínseca a la naturaleza kárstica del terreno, ya que intersectar con un sondeo una galería desde la superficie resulta complejo, y la diferencia entre el fracaso o el éxito puede radicar en apenas os centímetros en el momento de la localización o desviación de la maquinaria.



Objetivo 2: Se proponen cuatro emplazamientos para la perforación de sondeos, considerando como más favorable el señalado como S-5. Estas perforaciones captarían aguas de un acuífero detrítico libre, por cuanto no son tan exigentes con la precisión de la ubicación y perforación como en el objetivo 1.



El modelo de respuesta geofísica que cabe esperar por la presencia de agua son anomalías negativas (valores de resistividad bajos). En las secciones obtenidas en este estudio se han identificado contactos entre diferentes materiales o anomalías dentro de un material que manifiestan comportamiento geoelectrico distinto. En el objetivo 1 la disposición de las capas es subhorizontal, con calizas intensamente karstificadas y zonas afectadas por fracturas., mientras que en el objetivo 2 la geología estructural se muestra compleja, con plegamientos y fallas que afectan a un conjunto estratificado de calcarenitas-depósitos detríticos y calizas en bancos potentes.

Se han expuesto los emplazamientos objetivo de este estudio, que es la búsqueda de formaciones acuíferas para la captación de aguas subterráneas. Se propone iniciar la prospección con una o varias perforaciones en los sondeos propuestos S-5 y S-6 el objetivo 2, puesto que la probabilidad de éxito en acuíferos detríticos es mucho mayor que en la zona 1, de naturaleza kárstica.

En todo caso, éstas conclusiones se basan en la interpretación de imágenes de la distribución de la resistividad en el subsuelo, cuya respuesta eléctrica puede deberse a otros condicionantes geológicos que presenten el mismo carácter georesistivo, no siendo definitivas o concluyentes pero sí claramente orientativas.

15 de agosto de 2006

Fdo.: José Ángel Porres Benito
Área de Ingeniería del Terreno – UBU
Dr. C.C. Geológicas - colegiado.nº3042