

# Actualidad e interés de la aplicación de métodos geofísicos para el estudio de yacimientos de áridos

En esta comunicación se analiza el interés y la fiabilidad de algunos métodos geofísicos aplicables al estudio de los yacimientos de áridos con objetivos específicos como son determinar el volumen y la distribución de las reservas, y del recubrimiento estéril. La exposición se centra en los métodos basados en las medidas de la resistividad del terreno, como son la Tomografía Eléctrica y los Sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempos (SEDT). También se analiza la conveniencia de realizar registros geofísicos en sondeos para determinar los límites precisos entre las capas y la naturaleza litológica de éstas. Para ilustrar las ideas anteriores, se presentan diversos ejemplos de estudios y de registros en sondeos realizados tanto en formaciones aluviales como en yacimientos de materiales calizos.

In this communication it is analysed the interest and the reliability of some geophysical methods applicable to the study of the deposits of aggregates, with specific objectives like determining the volume and the distribution of the reserves and the sterile covering. The article is centred in the methods based on the measures of the resistivity of the land, as they are the Electrical Tomography and the Time Domain EM Soundings. Also it is analysed the convenience of making geophysical registries in boreholes to determine the precise limits between the layers and the lithological nature of these. In order to illustrate the previous ideas, they are presented diverse examples of studies and registries made in boreholes, as much in alluvial formations as in deposits of limestone materials.

Ángel Granda Sanz  
Teresa Granda París  
Ingenieros de Minas

*International Geophysical  
Technology, S.L.*

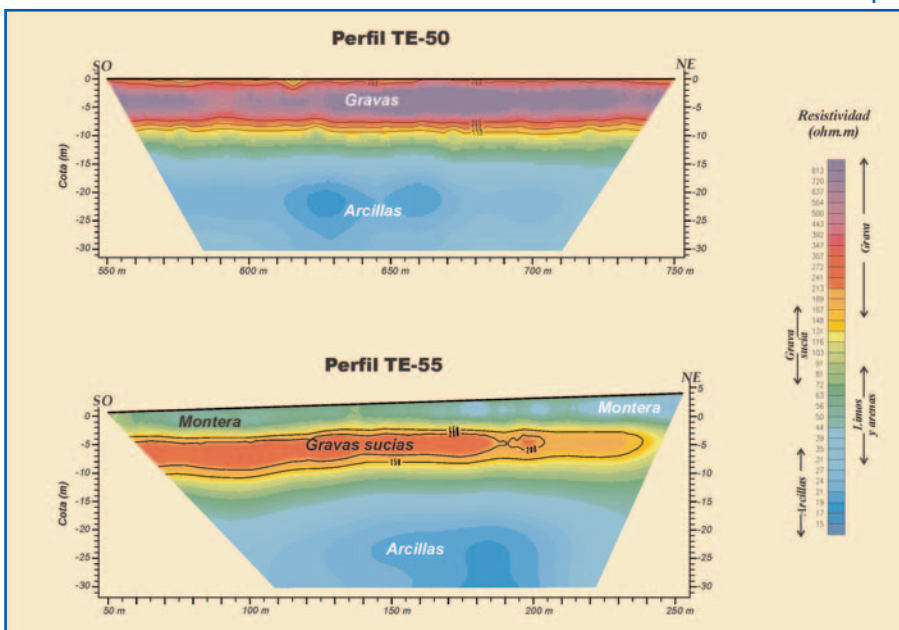
## Presentación y objetivos

Es un motivo de comentario relativamente frecuente la creciente dificultad para la puesta en explotación de nuevos yacimientos de áridos, lo que obliga a la inversión de un considerable esfuerzo y no menos dinero cuando se trata de analizar la viabilidad de este tipo de proyectos. Cada uno de los factores a tener en cuenta en este análisis tiene una importancia indiscutible pero, sin lugar a dudas, el primer aspecto a considerar es el relativo a las **reservas de material explotable**, en su sentido más amplio.

Aunque lógicamente caben discrepancias al respecto y no faltarán quienes opinen de otro modo, no parece descabellado considerar que la **determinación precisa y fiable de las reservas** constituye la piedra angular para la toma de decisiones respecto a la viabilidad de nuevas explotaciones, o respecto a la mejora o ampliación de las instalaciones en explotaciones ya existentes.

El estudio de las reservas al nivel de fiabilidad y detalle que los proyectos actuales de-

Figura 1. Ejemplos relativos a la variación del espesor de la montera.



Palabras clave: Métodos Geofísicos, Estudio de yacimientos, Áridos.  
Key words: Geophysical Methods, Study of Mineral Deposits, Aggregates.

mandan, exige la intervención integrada de técnicos especialistas en diversas disciplinas de las Ciencias para el estudio de la Tierra y entre ellas la Geofísica ocupa un lugar de indudable protagonismo.

El planteamiento correcto de un reconocimiento del terreno con estos fines incluye, a nivel general, las siguientes fases:

- Estudio geológico para definir la naturaleza y distribución de las principales unidades litológicas de interés, así como de los posibles accidentes tectónicos y estructurales que las afectan.
- Estudio geofísico, con el objetivo de resolver en términos cuantitativos las dudas y las hipótesis del estudio geológico determinando el espesor y localización de cada una de las unidades litológicas de interés, tales como el posible recubrimiento estéril y los niveles explotables.
- Ejecución de labores de reconocimiento por medios mecánicos, catas o sondeos para confirmar los resultados de las fases anteriores. La localización de estas labores se basará en los resultados del estudio geológico y/o del estudio geofísico

co para obtener el máximo de información al mínimo coste.

- Obtención de registros geofísicos en los sondeos para definir la naturaleza de las capas del terreno atravesadas por éstos y la posición exacta de los contactos entre ellas así como otros aspectos de interés como, por ejemplo, la posición del nivel freático, existencia de intercalaciones arcillosas o de niveles cementados ("hormigones"), etc.

Dependiendo de las características geológicas de cada zona de estudio, puede variar notablemente el grado de protagonismo de cada una de las fases mencionadas. Por ejemplo, el reconocimiento geológico tiene un protagonismo menor en el estudio de reservas en formaciones aluviales, mientras que resulta fundamental en los estudios de formaciones carbonatadas cuando éstas se presentan en estructuras más o menos complejas y afectadas por accidentes tectónicos.

Hecha esta introducción general del escenario en que se inscribe el presente trabajo, nos situamos en el momento de focalizar nuestra exposición en lo relativo al papel de

los métodos geofísicos en el tema de la determinación de las reservas, aclarando que en este punto no entraremos en consideraciones respecto a los diversos adjetivos que cabe añadir al término en cuestión.

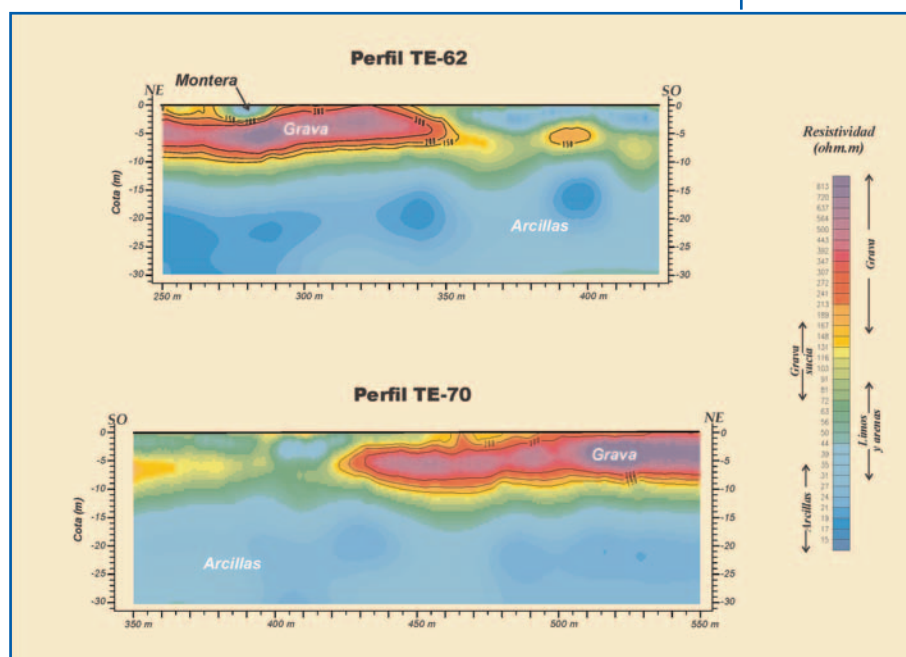
### Interés del empleo de los métodos geofísicos para los estudios de reservas de áridos

Para un posible usuario de estos métodos, la primera pregunta que se plantea es si ciertamente pueden contribuir a evaluar de forma fiable las reservas de áridos de una determinada zona. Como en muchas otras facetas de la actividad humana, las respuestas a esta cuestión seguramente serán muy dispares, de modo que al asunto en cuestión sería aplicable aquello de que "Cada cual cuenta de la feria según le va en ella". Sin embargo, es un hecho constatable que cada vez se utilizan más estos métodos y ello se debe principalmente a su eficacia demostrada.

Al hablar de métodos geofísicos estamos refiriéndonos a una serie de técnicas de carácter indirecto para el estudio del subsuelo, capaces de proporcionar resultados precisos dentro de ciertos rangos de profundidad, siempre que se apliquen de forma correcta, en base a un conocimiento serio, tanto de sus características, como de las particularidades geológicas de la zona de estudio.

Asumiendo que estos estudios se realicen correctamente, aplicando el método adecuado para cada caso, la experiencia pone de manifiesto una serie de aspectos que determinan el interés de la aplicación de los métodos geofísicos para los estudios de reservas de áridos o de materiales canterables. Entre otros, cabe citar como puntos de interés de los métodos geofísicos los siguientes:

Figura 2. Ejemplos que ponen de manifiesto cambios bruscos de espesor en los niveles de grava.



- a) Su carácter no destructivo, que hace despreciables o prácticamente nulos los daños producidos en las zonas de estudio durante la ejecución de las medidas, a la vez que la rapidez con que normalmente se pueden llevar a cabo es un factor favorable desde cualquier punto de vista.
- b) A diferencia de los sondeos o catas, que proporcionan información puntual, los resultados de los estudios geofísicos obtenidos con la metodología más avanzada actualmente disponible, se extienden normalmente en dos dimensiones, con medidas continuas a lo largo de perfiles.
- c) Privacidad de la información. Cuando se hace un reconocimiento mediante catas o sondeos resulta muy difícil que sus resultados no sean accesibles a otras partes interesadas, ya que pueden ser observados sobre el terreno, mientras que la información resultante de un estudio geofísico solamente la recibe quien lo encarga.

Pese al indudable interés de cada uno de los aspectos enumerados en los párrafos precedentes lo más importante es, en todo caso, que los métodos geofísicos son **capaces de proporcionar a un coste razonable información precisa respecto al volumen y la distribución de las reservas de áridos**, facilitando con ello la toma de decisiones para el desarrollo de proyectos de explotación.

#### **Ámbitos de aplicación y métodos utilizados en los estudios de reservas de áridos**

A los efectos de este trabajo conviene diferenciar a nivel general dos tipos de modelos geológicos o ámbitos de estudio, con características muy distintas entre sí, lo que condiciona la metodología de trabajo aplicable para el estudio de sus re-

		1ª Fase	2ª Fase	3ª Fase
FORMACIONES ALUVIALES		Reconocimiento geológico	Estudio geofísico	Sondeos y registros geofísicos en ellos
		No siempre es necesario, aunque puede ser conveniente delimitar las posibles terrazas aluviales y caracterizarlas en términos cualitativos.	Caben dos alternativas: a) Estudios puntuales mediante el método de SEV o el de SEDT. b) Estudios mediante Tomografía eléctrica para obtener secciones semejantes a las secciones geológicas.	Tanto si los sondeos se hacen con o sin recuperación de muestra, es conveniente realizar en ellos registros de Radiación Gamma Natural y Resistividad para definir la naturaleza de los materiales y la localización precisa de los contactos entre las diversas capas atravesadas por los sondeos.
FORMACIONES ROCOSAS CONSOLIDADAS	Calizas estratificadas en disposición horizontal o subhorizontal	El estudio geológico tiene una importancia relativa debido a la ausencia de afloramientos representativos.	Caben dos alternativas: a) Estudios puntuales mediante el método de SEV o el de SEDT. b) Estudios mediante Tomografía eléctrica para obtener secciones semejantes a las secciones geológicas.	Es recomendable perforar algunos sondeos con recuperación de testigo en los puntos que se consideren de mayor interés en base a los resultados del estudio geofísico. También en este caso se puede reducir el coste de la investigación perforando los sondeos a destroza y realizando en ellos registros de Radiación Gamma Natural y Resistividad.
	Masas rocosas de morfología irregular o afectadas por plegamientos y fracturas	En este tipo de situaciones es fundamental e ineludible la ejecución de un reconocimiento geológico detallado en el que se determinará la conveniencia y los posibles objetivos del estudio geofísico.	Puede ser innecesario dependiendo de los resultados del estudio geológico. El método capaz de proporcionar los resultados más precisos con situaciones geológicas complejas es el de la Tomografía eléctrica.	Normalmente los resultados de la cartografía geológica y de la prospección geofísica determinarán no solo la conveniencia o no de perforar los sondeos, sino también dónde, con qué inclinación y la profundidad que deben alcanzar. La ejecución de registros geofísicos es recomendable.

Tabla 1.

servas. Estos modelos geológicos son básicamente:

- a) Depósitos de áridos naturales, es decir, formaciones detríticas de tipo aluvial, constituidas por niveles de gravas y/o arenas con posibles intercalaciones arcillosas y con un recubrimiento estéril (montera) de importancia muy variable y naturaleza predominantemente arcillosa.
- b) Formaciones rocosas que para la fabricación de áridos requieren su trituración, clasificación, etc., con independencia de la naturaleza litológica de los materiales explotados (calizas, granitos, basaltos, etc.).

El esquema de trabajo que proponemos para la determinación de las reservas en cada uno de estos modelos geológicos, con las particularidades que cada zona en concreto pueda imponer es, a grandes rasgos, el que detallamos en la **Tabla I**.

Para cualquiera de las variantes de los dos modelos de yacimientos mencionados, los métodos geofísicos más utilizados se basan en la medida de la **resistividad eléctrica** del terreno. Ello se debe al hecho de que entre los niveles detríticos explotables como áridos naturales y el sustrato arcilloso, o bien las intercalaciones y el recubrimiento también arcillosos

existen considerables diferencias en sus valores de resistividad eléctrica.

Lo mismo ocurre entre ciertos materiales canterables y las rocas encajantes o sus recubrimientos. En consecuencia, es factible obtener información fiable de la distribución de los diversos materiales del subsuelo en base a las medidas de su resistividad, convenientemente realizada desde la superficie del terreno.

Existen otros métodos geofísicos aplicables a casos particulares, como por ejemplo la **Magnetometría** para el estudio de yacimientos de ofitas, o bien el método **Sísmico de Refracción** para detectar la existencia de niveles cementados ("hormigones") en los yacimientos de gravas. No obstante, en este artículo nos limitaremos a los métodos basados en las medidas de la resistividad y, dentro de ellos además de mencionar a los métodos de los **SEV** y de los **SEDT**, haremos hincapié en el método de la **Tomografía Eléctrica**, por ser el que proporciona los resultados más detallados, dentro del rango de profundidad que interesa a los estudios de reservas de áridos.

Queremos dar a este trabajo un carácter marcadamente práctico y por ello no vamos a extendernos en comentar en detalle los aspectos teóricos y

operativos de cada uno de los métodos geofísicos mencionados a lo largo de esta publicación. Nos limitaremos pues a recordar al lector las particularidades esenciales de cada uno de ellos, para posteriormente ilustrar con algunos ejemplos representativos su capacidad para proporcionar información de indudable interés.

### Sondeos Eléctricos Verticales (SEV)

Este método se puede considerar equivalente a un sondeo convencional, porque permite determinar la distribución de la Resistividad eléctrica del terreno en la vertical de un punto, asignando sus resultados en forma 1D al punto central del dispositivo de medida, pese a que éste ha de expandirse lateralmente una distancia varias veces superior a la profundidad estudiada. Por ello, estos resultados promedian la influencia de posibles efectos laterales y pueden ser imprecisos cuando la zona de estudio no está constituida por capas planas de una extensión lateral muy superior a la apertura máxima del dispositivo de medida.

El método de los **SEV** se aplica normalmente al estudio de aluviales o de formaciones subhorizontales, como son por ejemplo, las formaciones terciarias, entre las que un ejemplo relevante son las Calizas del Páramo, en las proximidades de Madrid. Su profundidad de investigación más fiable es de algunas decenas de metros.

Correlacionando los resultados de varios SEV alineados en un perfil, se puede construir una sección que representa un modelo geoelectrico muy simplificado, en el que se pueden determinar cambios laterales en el espesor y en la resistividad de las capas del terreno, aunque sin gran pre-

cisión. Actualmente es un método en desuso, superado técnicamente por el método de los SEDT y más aún por la Tomografía Eléctrica.

### Sondeos Electromagnéticos de Dominio de Tiempos (SEDT)

Este método proporciona resultados 1D similares a los de los SEV y se aplica al estudio de modelos geológicos semejantes a aquéllos, pero tiene una ventaja sustancial respecto al método de los SEV: La mayor focalización de sus medidas minimiza los efectos laterales y con ello incrementa la precisión de sus resultados, que pueden llegar a investigar fácilmente hasta centenares de metros de profundidad.

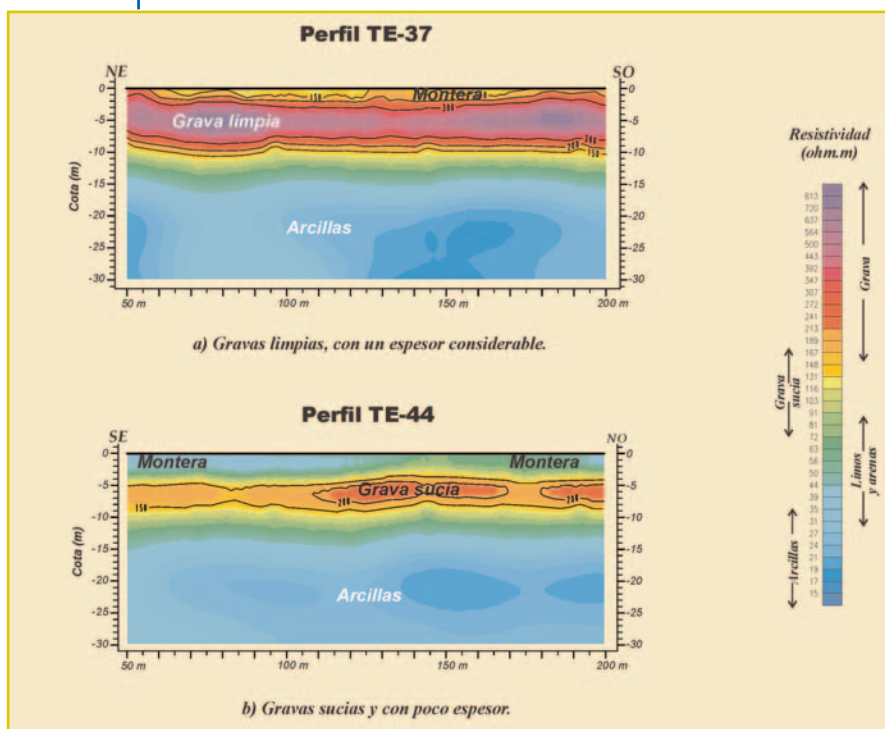
El método de los **SEDT** es una variante del Sondeo Eléctrico en la prospección geoelectrica, que se diferencia del SEV clásico en que opera por inducción, sin contacto eléctrico del dispositivo de medida con el terreno. De forma muy esquemática su funcionamiento es el siguiente: A través de un bucle de cable situado sobre el terreno se hace circular un pulso de co-

rriente de alta intensidad, que se interrumpe de forma brusca en el intervalo de algunos microsegundos. La interrupción de la corriente produce un campo magnético variable que, a su vez, induce una corriente en el subsuelo, con un comportamiento de tipo difusivo.

Esta corriente migra hacia abajo y se extingue en el período de algunos milisegundos. Las medidas de la f.e.m. del campo EM secundario asociado a estas corrientes de difusión realizadas en diversas ventanas de tiempo son, en consecuencia, representativas de las características eléctricas (resistividad) del subsuelo. Se emplea para ello como sensor una bobina con un área efectiva equivalente del orden de 100 m<sup>2</sup>, que se dispone respecto al bucle transmisor según diversas configuraciones.

A partir de los valores de f.e.m. del campo EM secundario medidos, se calculan los correspondientes valores de la resistividad aparente del terreno que, representados en función del tiempo de lectura, dan origen a las curvas de la resistividad aparente, similares a las de los SEV. Estas cur-

Figura 3. Ejemplos de variaciones en el grado de limpieza de los niveles de grava.



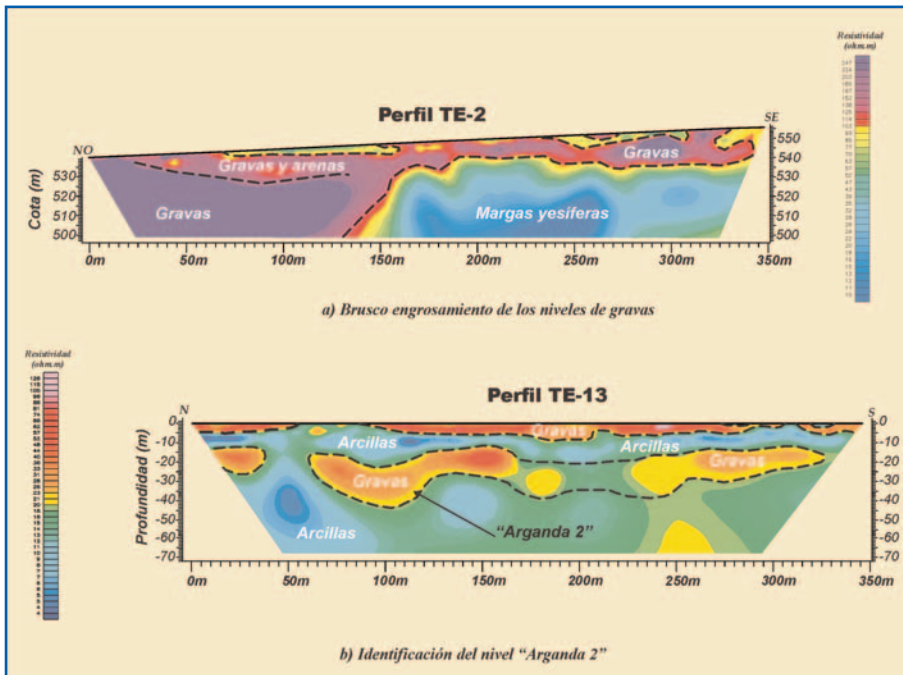


Figura 4. Secciones de resistividad características del aluvial del Río Jarama en la zona de Arganda del Rey.

vas representan la variación integrada de la resistividad del subsuelo en función de la profundidad y se interpretan por procedimientos automáticos para determinar el modelo geoelectrico del terreno en el punto de medida, caracterizándolo por un cierto número de capas, definidas por su espesor y su resistividad.

### El método de la Tomografía Eléctrica

Este método constituye un avance sustancial e incuestionable en el ámbito de la prospección geoelectrica, por su capacidad para detectar y caracterizar cualquier discontinuidad significativa, tanto vertical como lateral, en la distribución de la resistividad eléctrica del terreno, con independencia de su morfología y de su disposición.

En esencia la Tomografía Eléctrica puede explicarse como un "scanner" muy detallado del terreno en función de sus valores de resistividad. La ejecución de un estudio por este método consiste en la obtención de un elevado número de medidas de la resistividad aparente del terreno a lo largo de un perfil, con muy pequeño espaciado entre pun-

tos de medida, correspondientes a un número elevado de niveles de diferente profundidad de investigación.

Estas medidas se realizan mediante un dispositivo lineal de electrodos en contacto eléctrico con el terreno. Existen diversos dispositivos de medida, tales como los denominados Wenner, Schlumberger, polo-dipolo, dipolo-dipolo, etc. Cada uno de ellos resulta más o menos adecuado para el estudio de cada modelo geológico, y su selección es tarea del especialista que debe juzgar su idoneidad para cada caso.

La seudosección de resistividad aparente conformada por los datos de campo se somete a un proceso de inversión, como resultado del cual se obtiene finalmente **una sección con la distribución real de la resistividad del terreno**. Esta sección es fácilmente comprensible en términos de interés geológico, como se verá en diversos de los ejemplos que presentamos en esta publicación.

Para la interpretación más correcta de las secciones de resistividad, es conveniente

tener presente cuáles son y cómo intervienen los diversos factores de los que dependen los valores de este parámetro característico del terreno. Básicamente son los siguientes:

- Naturaleza litológica, y especialmente contenido en componentes arcillosos del terreno según una relación inversa: cuanto mayor sea el contenido en arcillas (greda), menor será la resistividad eléctrica del subsuelo. La baja resistividad eléctrica de las arcillas se debe al elevado contenido de agua que forma parte de su composición.
- Porosidad y saturación en agua. También esta relación es de tipo inverso: a mayor contenido de agua más bajos son los valores de la resistividad eléctrica del terreno. En consecuencia, los niveles de áridos situados por encima del nivel freático tienen valores de resistividad notablemente más altos que los correspondientes a los niveles situados por debajo del referido nivel.
- Salinidad y temperatura del agua. Especialmente, el efecto de la salinidad del agua es muy acusado en la resistividad y ello hace que en algunas ocasiones los niveles de áridos saturados con agua relativamente salobre presenten una resistividad muy baja, próxima incluso a la de los niveles arcillosos. Salvo en el caso anterior, se puede decir que el factor determinante de la resistividad del terreno debe ser su composición litológica y específicamente el contenido arcilloso.

### Registros geofísicos en sondeos

Se trata de medidas continuas que se realizan por el interior de sondeos y que per-

miten determinar la posición exacta de los contactos entre las diversas capas del terreno y la naturaleza litológica de cada una de ellas. El programa más habitual de registros en sondeos perforados para el estudio de yacimientos aluviales y de calizas incluye la medida de la radiación gamma natural y la resistividad del terreno.

El registro de la **Radiación Gamma Natural (RGN)** es un indicador específico del contenido de arcilla de los materiales del subsuelo. En ausencia de mineralizaciones de carácter radiactivo, la radiación gamma natural del terreno depende exclusivamente del contenido en el isótopo K40, que forma parte de los materiales arcillosos. Este registro se emplea, en consecuencia, como una herramienta para la obtención de información de tipo litológico, y concretamente para la diferenciación entre niveles detríticos (gravas y arenas) y niveles arcillosos, clasificando los primeros en función de su mayor o menor grado de limpieza, es decir de su contenido arcilloso.

La radiación gamma natural puede medirse tanto en sondeos desnudos como en sondeos entubados, y habitualmente se mide junto con otros registros como los de la **Resistividad Eléctrica**, en cualquiera de sus diversas modalidades, siendo el esquema de respuesta del terreno para un modelo geológico de tipo aluvial y para esta combinación de registros el que indicamos en la **Tabla II**.

Lo fundamental para los fines de esta publicación es que el registro de radiación gamma natural presenta valores muy diferentes frente a los niveles de gravas y arenas que frente a los niveles arcillosos. Por su parte, los valores de la resistividad también son muy diferentes para ambos tipos de materiales: valores altos frente a los niveles de gravas y bajos frente a los niveles arcillosos. Ello permite identificar y diferenciar a unos y otros en los registros de los sondeos.

Por la precisión de la información que proporcionan, **es habitual la realización de este tipo de medidas geofísicas en los sondeos que se perforan para el reconocimiento de yacimientos de áridos en formaciones aluviales**. La fiabilidad de los resultados que se pueden deducir de la interpretación de los registros geofísicos es fundamental para el estudio de estos yacimientos, en los que las muestras obtenidas de los sondeos no siempre son plenamente representativas, porque pueden estar mezcladas con material caído de los niveles superiores atravesados por el sondeo.

Pese a su indudable utilidad y representatividad, hay que aclarar que los registros geofísicos no **aportan información respecto a la granulometría** de los yacimientos de áridos. Para resolver este aspecto no existe otro procedimiento que la perforación con obtención de muestra sin mezcla y su análisis granulométrico a pie de sondeo.

## **Algunos ejemplos representativos de estudios de yacimientos de áridos**

### **Aluvial del Río Jarama**

En las secciones de resistividad obtenidas en un estudio realizado en la zona de Titulcia en 2004, se pone de manifiesto la capacidad del método de la Tomografía Eléctrica para proporcionar información detallada del yacimiento de áridos, resolviendo los siguientes aspectos de interés:

- Espesor y distribución de la montera arcillo-limosa. Véase la **Figura 1**, que consideramos fácilmente comprensible al respecto.
- Espesor y distribución del conjunto de los niveles detríticos definidos globalmente como "zahorra", identificando en varios perfiles cambios bruscos de espesor característicos de este tipo de yacimientos y que sería imposible o muy costoso precisar con otros métodos de reconocimiento, como por ejemplo catas. Las secciones de la **Figura 2** son perfectamente representativas al respecto.
- Diferenciación cualitativa de los niveles de gravas en función de su contenido arcilloso. Esta característica se manifiesta por el orden de magnitud de los valores de resistividad de las secciones, que es tanto más bajo cuanto mayor sea el contenido arcilloso de los niveles de grava. Véanse los ejemplos que presentamos en la **Figura 3**.

Los resultados de este tipo de estudios, recogidos en el número necesario de secciones de resistividad, permiten llegar a un conocimiento detallado del yacimiento dentro de la zona reconocida, determinando los siguientes datos de interés: volumen de reservas geológicas y su distribución, volumen y distribución

	Resistividad			RGN		
	Alta	Media	Baja	Alta	Media	Baja
Arcillas			#	#		
Gravas y arenas sucias		#			#	
Gravas y arenas	#					#

*Tabla II. Modelo de respuesta de los registros geofísicos RGN y Resistividad en formaciones aluviales.*

de la montera, zonación del yacimiento en función del grado de limpieza de las gravas y arenas.

El modelo geológico del aluvial del Jarama en la zona de Arganda del Rey es sensiblemente más complejo que el descrito en los párrafos precedentes, siendo dos las características que le confieren una notable singularidad: Además de los niveles detríticos del actual aluvial, que son los que tradicionalmente se han venido explotando, existe un segundo nivel de gravas denominado **"Arganda 2"**, situado por debajo y separado de aquéllos por un potente nivel de arcillas (gredas).

El sustrato margo-yesífero sobre el que se depositaron los áridos de la unidad **"Arganda 2"** ha sufrido importantes colapsos asociados a la karstificación de los yesos subyacentes y, en consecuencia, los depósitos de gravas presentan muy importantes variaciones laterales de espesor. En un estudio mediante Tomografía Eléctrica se han llegado a identificar depósitos en los que **el espesor de gravas llega a superar los 40 metros**. Es-

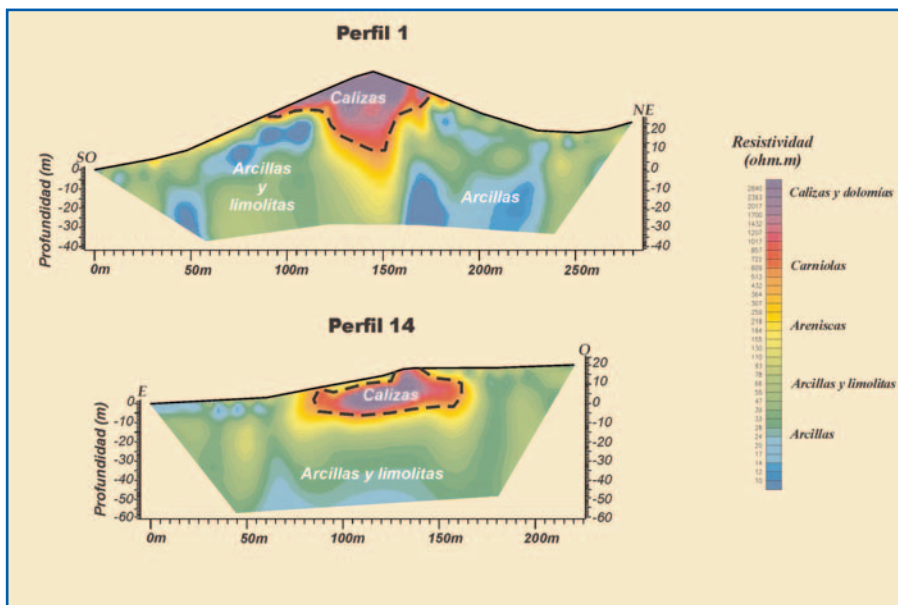


Figura 5. Secciones de resistividad características de los olistolitos calizos en la zona de Morón de la Frontera (Sevilla).

tas cifras han sido comprobadas posteriormente mediante sondeos.

En este modelo geológico la Tomografía Eléctrica ha demostrado ser una herramienta extraordinariamente útil para detectar el nivel de gravas de la unidad **"Arganda 2"**, determinando las zonas donde localmente se engrosa, a veces de forma espectacular, tal como puede apreciarse en el primero de los ejemplos que incluimos en la **Figura 4**. La detección del segundo nivel de gravas profundo no siempre es fácil, porque

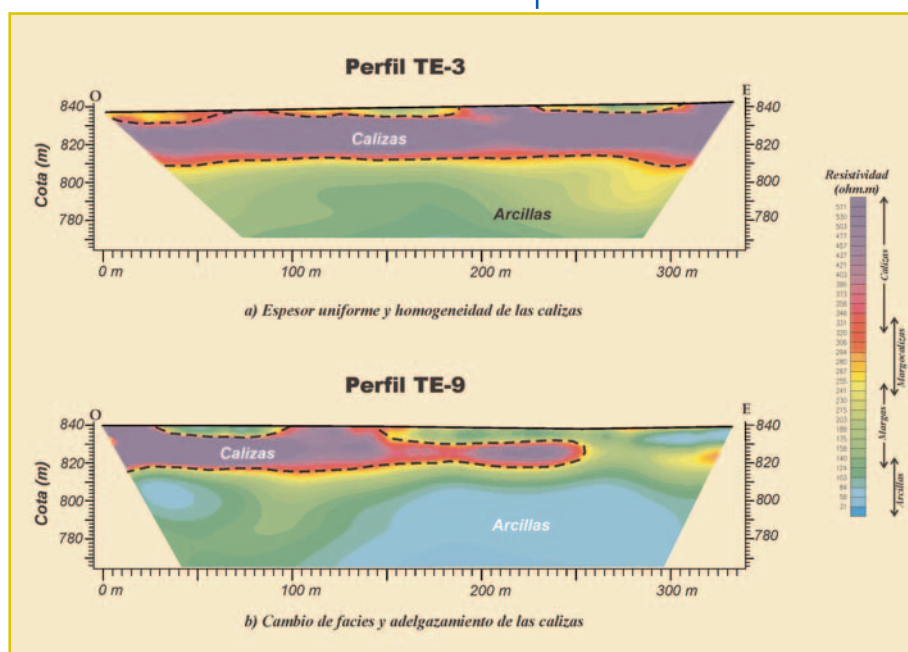
constituye un acuífero confinado que tiene un alto contenido en sulfatos. En consecuencia, su resistividad es anormalmente baja. Véase al respecto la sección inferior de la **Figura 4**.

#### **Yacimientos de calizas en la zona de Morón de la Frontera (Sevilla)**

El modelo geológico regional establece que las masas de calizas o dolomías objeto de explotación constituyen en realidad *olistolitos* u *olistones*, es decir, enormes bloques rocosos aislados, de diversa naturaleza, que "flotan" sin enraizamiento en una masa arcillosa de centenas de metros de espesor y centenas de kilómetros de extensión.

Se trata, en consecuencia, de materiales canterables con limitada continuidad, tanto lateral como en profundidad. Las dimensiones laterales de estas masas calizas se pueden estimar a veces con mayor o menor precisión a partir de las observaciones de superficie. El problema se plantea al determinar la continuidad de las masas de calizas en profundidad y para ello la Tomografía Eléctrica ha demostrado ser una herramienta capaz de propor-

Figura 6. Secciones de resistividad para estudio de las calizas del Páramo en la zona de Olmeda de las Fuentes.



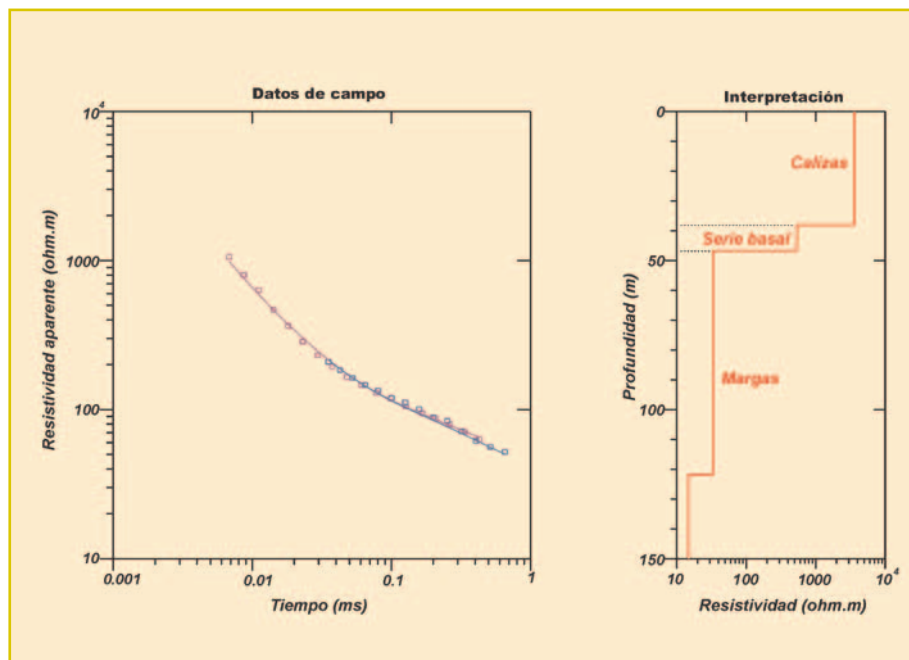


Figura 7.  
SEDT  
característico  
de las calizas  
del Páramo.

cionar los mejores resultados, al menor coste.

En las dos secciones de resistividad que presentamos en la **Figura 5** se puede observar como las masas de calizas y dolomías que se manifiestan como elementos de alta resistividad quedan perfectamente diferenciadas de los materiales arcillosos en los que se engloban. Éstos últimos se caracterizan por valores de resistividad muy bajos. La existencia de este fuerte contraste de resistividad es un factor favorable para la aplicación y la efectividad de la Tomografía eléctrica en el estudio de este tipo de situaciones.

### Calizas del Páramo en la zona de Valdilecha (Madrid)

El modelo geológico es aquí relativamente sencillo, pero más complejo a escala de detalle de lo que a priori se ha venido considerando y está constituido por dos unidades litológicas principales, si hacemos abstracción del pequeño recubrimiento, a veces inexistente:

- Calizas del Páramo en disposición subhorizontal y con un espesor que puede

superar puntualmente los 50-60 metros. Es de señalar que esta unidad presenta importantes variaciones locales de espesor. También es característica en ellas la existencia de cambios laterales de facies hacia términos margosos, sin ningún interés para la fabricación de áridos.

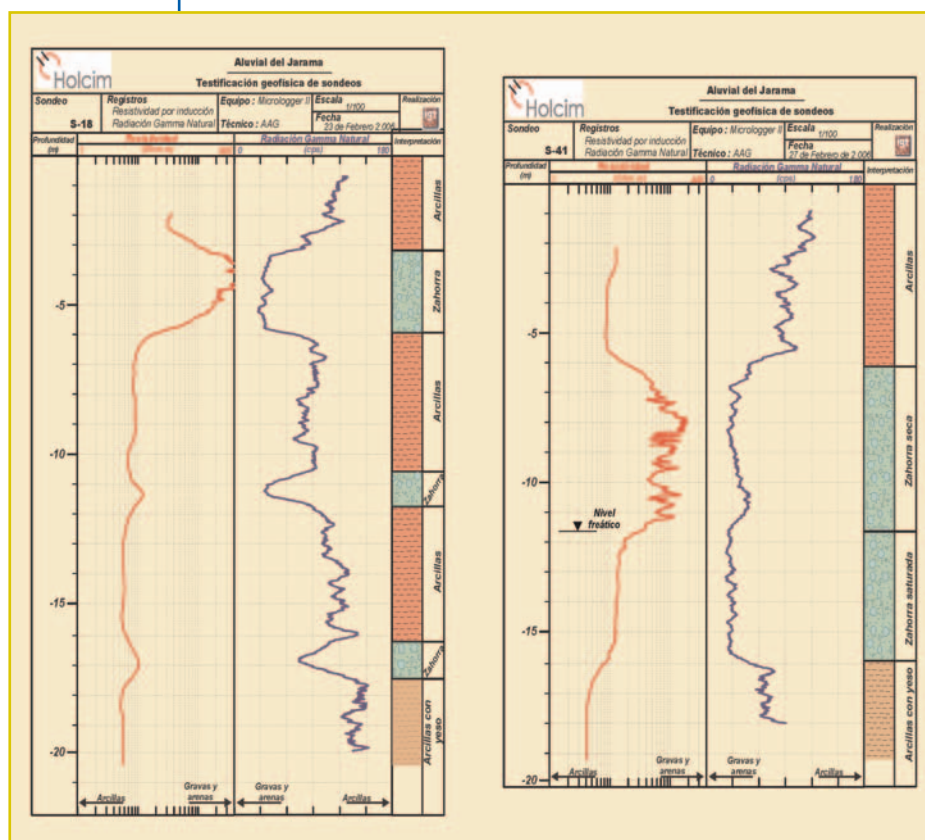
- Serie basal, constituida predominantemente por mate-

riales arcillosos, con niveles de arenas y conglomerados, que representa el límite del yacimiento de las Calizas del Páramo.

En esta situación, la experiencia de un considerable número de estudios demuestra que el método de la Tomografía Eléctrica constituye la mejor opción para el estudio detallado de las reservas de calizas, por su capacidad para determinar no sólo su espesor, sino también sus posibles cambios de facies hacia términos margosos. Con el fin de ilustrar el tipo de información que puede aportar la Tomografía eléctrica en este caso, presentamos en la **Figura 6** dos secciones de resistividad característica y convenientemente interpretadas.

No obstante, en la evaluación preliminar de grandes áreas para la selección de las zonas de mayor interés, el método de los SEDT ha demostrado ser perfectamente aplicable, porque puede proporcionar resultados muy precisos, aunque

Figura 8. Registros geofísicos característicos de sondeos perforados.



tengan únicamente carácter puntual. Véase en la **Figura 7** un ejemplo de las medidas de resistividad de un SEDT y su correspondiente interpretación.

### **Registros geofísicos en sondeos perforados en depósitos de tipo aluvial**

Para demostrar el tipo de información que puede obtenerse de los registros de radiación gamma natural y de resistividad realizados en sondeos perforados para el reconocimiento de depósitos de gravas en medios aluviales, presentamos algunos ejemplos representativos en la **Figura 8**. Estos ejemplos corresponden a los registros de dos sondeos perforados en el aluvial del Río Jarama, en el T.M. de Seseña (Toledo), y en ellos se identifican y definen cada uno de los siguientes detalles de indudable interés para el mejor conocimiento del yacimiento:

- Espesor de la montera arcillosa
- Espesor del nivel de gravas, diferenciando la parte del conjunto situada por encima y localizada por debajo del **nivel freático**
- Presencia de posibles **intercalaciones arcillosas** en los niveles de gravas, determinando su espesor y su localización
- Diferenciación cualitativa dentro del nivel de gravas, en función de su contenido arcilloso.

### **Agradecimientos**

Entendemos que este es el lugar adecuado para dejar constancia de nuestro agradecimiento a las diversas empresas del Sector de los Áridos y de las Obras Públicas que relacionamos a continuación. Todas ellas han confiado durante los últimos años en estos métodos y los emplean de forma sistemática: HOLCIM, HANSON,

READYMIX, GRAVERAS LOS ÁNGELES, ETCA, GRAVERAS DEL JARAMA, EXPLOTACIONES SAN DIONISIO, CALCEN, ÁRIDOS SALITRAL, ÁRIDOS TRUSAN, CALCINOR, FCC, etc.

### **Referencias**

**Granda, A. et al** 2000. Introducción al método de la Tomografía eléctrica. Campos de aplicación y ejemplos. INGEOPRÉS. Apartado "Publicaciones"

[www.igt-geofisica.com](http://www.igt-geofisica.com)

**Santamarina, J. C. and Rix, G. J.** 1998. Near surface Geophysical inversion Surface Waves and Geotomography. Georgia Institute of Technology. Atlanta GA.

**Stewart, R. R.** 1996. Exploration Geophysics Tomography: Fundamentals Course Note Series. Volume 3. Society of Exploration Geophysics. Tulsa. OK.



international  
geophysical  
technology



# expertos

# en geofísica

Fuerteventura 4, Oficina 1.4  
28700 San Sebastián de los Reyes  
tel.: 91 519 99 15  
fax: 91 519 51 50

[www.igt-geofisica.com](http://www.igt-geofisica.com)

