

## TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

# ESTUDIO DE VIABILIDAD DE CANTERAS DE YESO MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

NÚRIA MARTÍNEZ<sup>1</sup>, ANDER GUINEA<sup>1,2</sup>, ELISABET PLAYÀ<sup>1</sup>, LLUÍS RIVERO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departament de Geoquímica, Petrologia i Prospecció Geològica, Universitat de Barcelona. Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona (España). E-mail: [nuriamartinez88@gmail.com](mailto:nuriamartinez88@gmail.com); [eplaya@ub.edu](mailto:eplaya@ub.edu); [lrivero@ub.edu](mailto:lrivero@ub.edu)

<sup>2</sup> Water Research Laboratory, University of New South Wales. 110 Kings ST, 2093 Manly Vale, NSW (Australia). E-mail: [a.guinea@unsw.wrl.edu.au](mailto:a.guinea@unsw.wrl.edu.au)

### RESUMEN

La producción de yeso en España ha ido disminuyendo durante los últimos años; sin embargo, España sigue teniendo una posición destacada como productor mundial de yeso. Además, nuestro país se mantiene líder en Europa tanto a nivel de producción como de exportación de yeso (Marchan et al., 2010).

Un factor importante a tener en cuenta durante la explotación de una cantera de yeso es la pureza y continuidad de los niveles estratigráficos que se explotan. En las campañas de prospección (previa o durante la explotación) es habitual el uso de sondeos (helicoidales o de testimonio continuo) para la valoración de los recursos. Esta técnica, sin embargo, es muy cara y aporta sólo información puntual.

En este artículo se presenta la novedad del uso de una técnica geofísica más barata y no invasiva a la hora de realizar un estudio de viabilidad de una cantera: la tomografía eléctrica. Para ello se muestra su aplicación al estudio en una cantera de yeso activa real. Además, también se demuestra la utilidad de esta técnica para identificar los materiales del subsuelo y poder así determinar si es factible abrir una nueva cantera. El estudio de viabili-

dad de una cantera de yeso mediante tomografía eléctrica permite reducir notablemente el número de sondeos necesarios; por tanto, permite reducir costes y tiempo, ya que es una técnica barata y no destructiva con la que se obtienen resultados casi inmediatos, además de permitir un estudio de un área más extensa.

### 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Las empresas de explotación tienen como principal preocupación la

pureza de las rocas. La continuidad, o no, de cuerpos de roca con la misma pureza implicará unos costes más bajos o más elevados en el posterior tratamiento del producto, por lo que interesa conocer la distribución de los diferentes cuerpos. El método común para realizar este tipo de estudio es mediante sondeos, que es un método caro y de estudio del terreno puntual. En el artículo se presenta la utilidad de la tomografía eléctrica (*o Electrical Resistivity Tomography, ERT*) en el estudio de

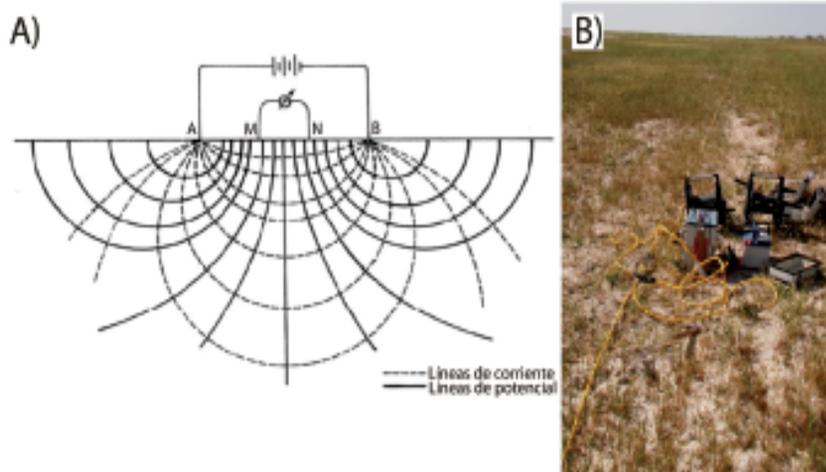


Figura 1: A) Base teórica de los métodos de resistividad convencionales. Entre los electrodos A y B se pueden observar las líneas de flujo de corriente. Las líneas continuas son equipotenciales (Cantos-Figuerola, 1974). B) Fotografía del dispositivo utilizado durante la realización de uno de los perfiles tomográficos. Se puede observar el despliegue de cables de 48 electrodos, que corresponde a la línea donde se realizará el perfil tomográfico; en el centro se encuentra la unidad central alimentada con una batería externa.



viabilidad de una cantera de yeso. Ésta es una técnica geofísica que presenta múltiples beneficios, ya que es un método nuevo, barato, rápido, no destructivo y que permite realizar estudios de áreas extensas.

Los objetivos de este trabajo son:

- Determinar si la tomografía eléctrica es útil para aplicar en canteras de yeso activas y así delimitar los cuerpos de roca de distintas purezas. Para ello se aplicará en frentes de cantera activos con el objetivo de optimizar la explotación, ya que permitirá una mejor planificación de la explotación y así obtener un mayor beneficio.
- Aplicar la técnica en canteras en fase de exploración con el fin de identificar los materiales del subsuelo y ver si es viable la apertura de una nueva cantera.

La demostración de la utilidad de este método permite reducir el número de sondeos necesarios para realizar una buena interpretación del subsuelo y reducir costes de explotación.

## 2. LA TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA Y LAS ROCAS DE YESO

La tomografía eléctrica es una técnica geofísica no destructiva que tiene como objetivo determinar la distribución de resistividades reales del subsuelo. Este método consiste en la inyección de una corriente continua a través de los electrodos; de esta manera se puede medir la distribución de resistividades aparentes del subsuelo. Mediante el posterior procesado de los datos se obtiene la distribución de resistividades reales del subsuelo (Fig. 1). La resistividad (medida en ohm.m) es una propiedad física del material; así pues, los diferentes materiales ofrecen diferentes resistividades a la circulación de la corriente eléctrica. Trabajos previos han demostrado que existe una relación entre la pureza en las rocas de yeso y la resistividad medida (Guinea et al. 2010), por lo que la tomografía eléctrica se presenta como una técnica muy adecuada para el estudio de las distribuciones de los cuerpos de yeso de distinta pureza.

## 3. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGÍA DE LA CANTERA ESTUDIADA

Se ha realizado el estudio en una cantera de yeso activa situada en el

municipio de Gelsa, a 40 km hacia el SE de Zaragoza, propiedad de la empresa Placo-Saint Gobain. La zona, situada en la parte central de la cuenca del Ebro, se caracteriza por ser muy llana topográficamente y con una aridez extrema.

En la cuenca del Ebro se produjo una importante sedimentación evaporítica durante el Terciario, dándose la precipitación de rocas evaporíticas (sulfatos y cloruros) tanto continentales como marinas, algunas de ellas de considerable interés económico (Fig. 2). La zona estudiada se encuentra en el sector central aragonés, donde la sedimentación evaporítica fue casi permanente entre el Oligoceno superior y el Mioceno. Los yesos que se explotan principalmente son de edad Miocena.

A partir de observaciones realizadas en el propio frente de cantera, se

ha determinado los siguientes niveles estratigráficos (Guinea et al. 2012a, Martínez 2012; Fig. 3):

1. Nivel macronodular-nodular de yeso alabastrino, con nódulos milimétricos a decimétricos y con encajante lutítico entre ellos. La pureza en yeso de este nivel es superior al 98%, y presenta una potencia de 4-5 m.
2. Nivel bandeado de carbonato microcristalino y lutitas verdosas, con un grosor entre 50-75 cm.
3. Nivel de yeso masivo a bandeado de potencia entre 5-7 m (variable según la zona). Su pureza aproximada es de 90% en yeso.
4. Nivel masivo de yeso alabastrino macronodular, similar al nivel inferior, con una pureza superior al 98%. Este es un nivel muy discontinuo, de potencia 1-2 m, situado a techo del frente de cantera.

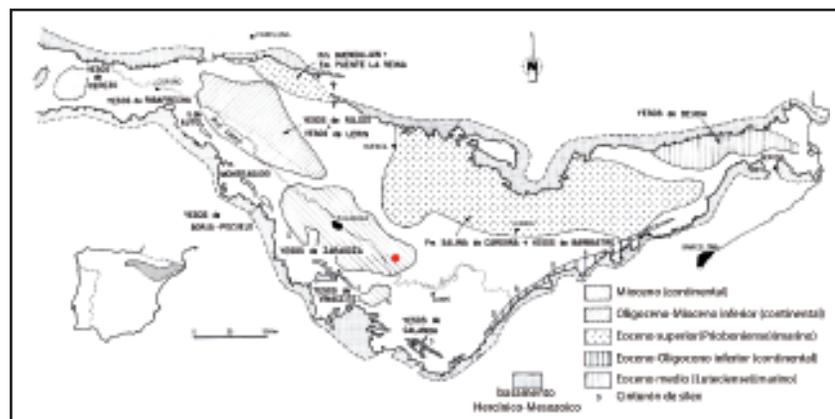


Figura 2: Mapa geológico de la cuenca del Ebro. Se puede observar la distribución geográfica de las formaciones evaporíticas terciarias (Ortí, 1990). El círculo rojo indica la zona de estudio.

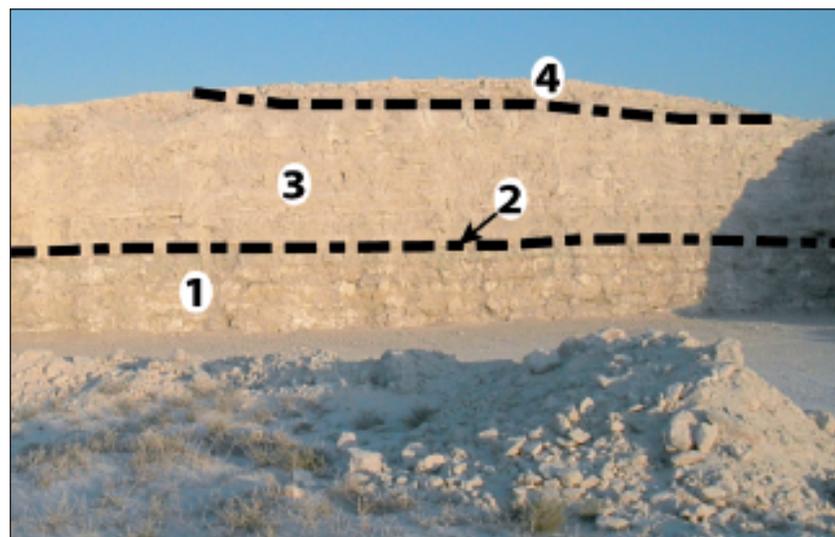


Figura 3: Fotografía del frente de cantera en explotación. Las líneas discontinuas delimitan los diferentes niveles estratigráficos. 1. Nivel de yeso alabastrino inferior; 2. Nivel de carbonato y lutitas; 3. Nivel de yeso masivo-bandeado; 4. Nivel de yeso alabastrino superior.





# TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

## 4. MÉTODO DE TRABAJO

Se ha trabajado la zona de explotación y de concesión, donde se ha realizado el estudio en tres áreas diferentes:

- a) Área 1 (delimitada por recuadros verdes en la Fig. 4), que corresponde al frente de cantera. Se han realizado 7 perfiles tomográficos paralelos al frente de cantera y 1 perfil perpendicular al frente (Fig. 5).
- b) Área 2 (delimitada por recuadros azules en la Fig. 4), que corresponde a una posible explotación a medio plazo. Se ha realizado una serie de 3 perfiles paralelos y separados entre sí 15 m. También se ha creado una malla a base de realizar 11 perfiles paralelos entre sí y separados 4 m.
- c) Área 3 (delimitada por un recuadro rojo en la Fig. 4), donde aún no se ha abierto ninguna cantera, con el objetivo de realizar una prospección previa y ver si es viable abrir una nueva explotación. Para ello se han realizado dos perfiles y un modelo 3D donde parecía más probable la existencia de yeso. Para obtener el modelo 3D se ha realizado una serie de 10 perfiles tomográficos paralelos entre sí y separados 4 m.

El dispositivo utilizado para realizar el estudio es el Syscal Pro con 48 electrodos, con distancia interelectródica de 2 m y con una batería externa (Fig. 1B). Todos los perfiles se han realizado con la configuración electródica Wenner-Schlumberger debido a la proximidad del talud. La inversión de los datos para obtener el perfil de resistividades reales del subsuelo se ha realizado con el programa RES2DINV. Por último, se ha utilizado el programa Voxler con el que se ha podido, a partir de interpolación de datos, representar el modelo 3D.

## 5. RESULTADOS

Los perfiles tomográficos obtenidos en el Área 1 (Fig. 6) muestran que se ha podido establecer una buena correlación de los diferentes niveles estratigráficos (con diferentes purezas de yeso) que se han podido observar en el frente de cantera. La única excepción la constituye el



Figura 4: Ortografía de la zona de estudio. Los recuadros señalan las diferentes áreas donde se ha realizado el estudio (verde: área 1; azul: área 2; rojo: área 3).

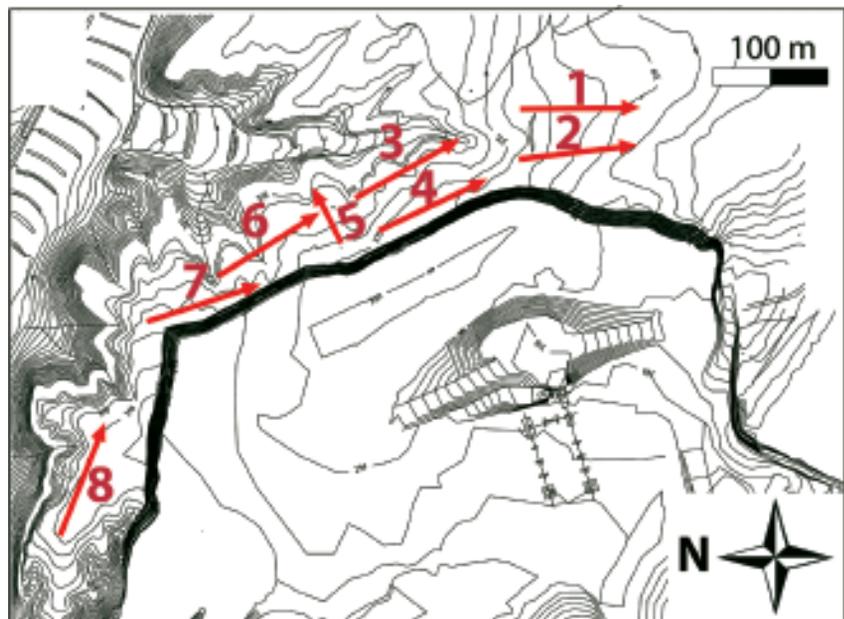


Figura 5: Localización de los perfiles (1 a 8) realizados en el Área 1 del frente de cantera. Localización en la figura 4.

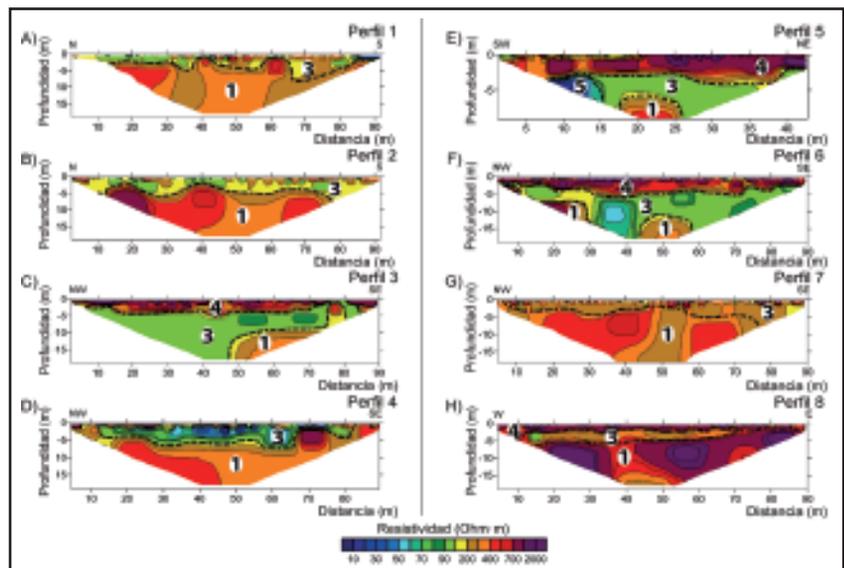


Figura 6: Perfiles tomográficos obtenidos en el Área 1 de la zona del frente de cantera. Localización del Área 1 en la figura 4 y de los perfiles en la figura 5. Niveles 1 a 4: definidos en la figura 3; Nivel 5: lutitas.





nivel de carbonato y lutitas (nivel 2 de la Fig. 3), que no se detecta con tomografía eléctrica; ello es debido a su relativamente elevada profundidad (el método pierde resolución con la profundidad), a su poca potencia (<1 m, por debajo del límite de detección de la técnica) y a que queda enmascarado por las altas resistividades de los niveles que lo envuelven. Los cambios de resistividades laterales dentro de cada nivel se pueden traducir como cambios de pureza en el nivel de yeso. También se ha podido distinguir en el perfil 5 (Fig. 6E) un cuerpo de baja resistividad que seguramente sean lutitas (indicado como el nivel 5 en la Fig. 6E); la presencia de este nivel implica un descenso de la pureza (respecto al yeso) en esa zona (nótese que este perfil tiene escala diferente que los demás debido a que se ha realizado con un espaciado interelectródico de 1 m). A partir de los perfiles se ha podido cartografiar de modo orientativo la superficie del techo de los diferentes niveles estratigráficos definidos en el frente de cantera (Fig. 7). Estos niveles cartografiados son variables en profundidad; por consiguiente, para tener una visión más amplia de la evolución de estos cuerpos se deben consultar los perfiles tomográficos de la Fig. 6.

La Fig. 8 muestra los 3 perfiles realizados en el Área 2. Se han identificado los niveles 1 (yeso alabastrino) y 3 (yeso masivo bandeado), además de la aparición de una nueva unidad estratigráfica (nivel 0) que seguramente corresponda a yeso impuro (con más cantidad de lutitas). Los niveles de yeso se tornan más superficiales hacia el este. También en este Área 2 se ha realizado un modelo 3D cuyas secciones en profundidad (Fig. 9) muestran un cuerpo bastante uniforme hasta los 11 m de yeso alabastro (nivel 1), por debajo se detecta el nivel de yeso más impuro (nivel 0). A partir de estos resultados se ha podido cartografiar aproximadamente las áreas que ocupan cada uno de los niveles de yeso (Fig. 10).

Finalmente, del estudio realizado en el Área 3 (donde aun no hay ninguna cantera abierta) se obtuvieron

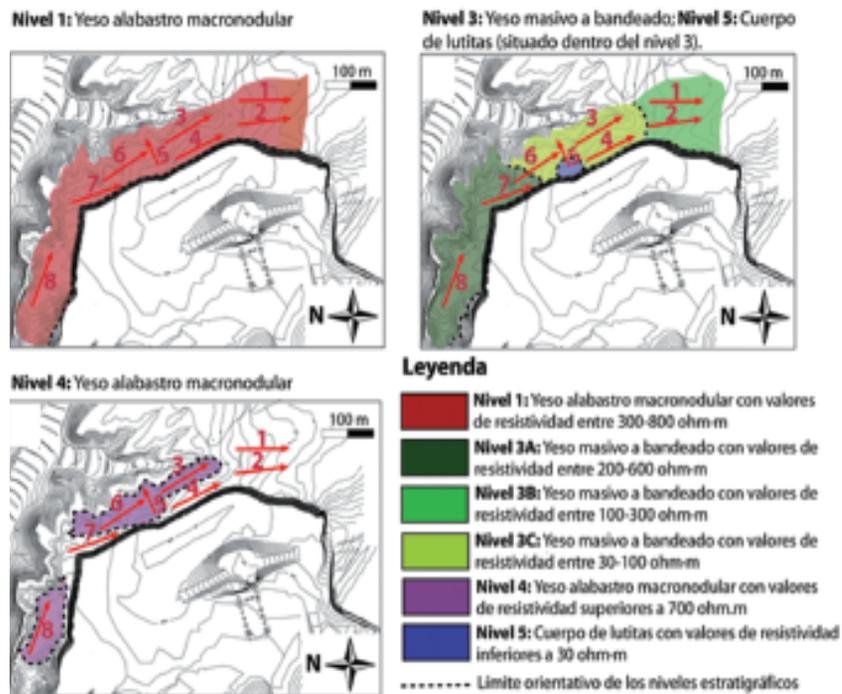


Figura 7: Cartografía de la superficie del techo de los diferentes niveles estratigráficos definidos en el frente de cantera (Área 1, Fig.4). 1 a 8: perfiles tomográficos. Niveles 3A, 3B, 3C: el nivel 3 masivo-bandeado se ha dividido en función de sus resistividades; estos valores se pueden correlacionar con la pureza en yeso de los cuerpos, siendo los más resistivos los más ricos en yeso.

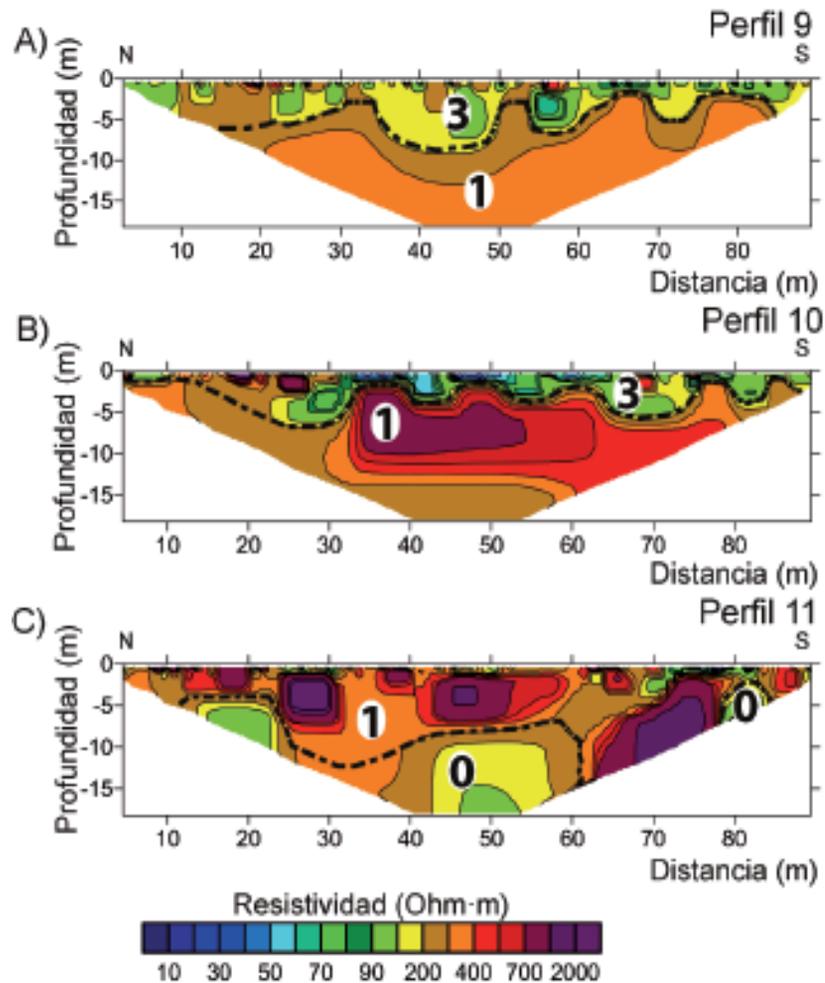


Figura 8: Perfiles tomográficos obtenidos en el Área 2 de la zona del frente de cantera (localización en la figura 4). Nivel 0: Yeso muy impuro; Niveles 1 y 3: definidos en la figura 3.





# TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

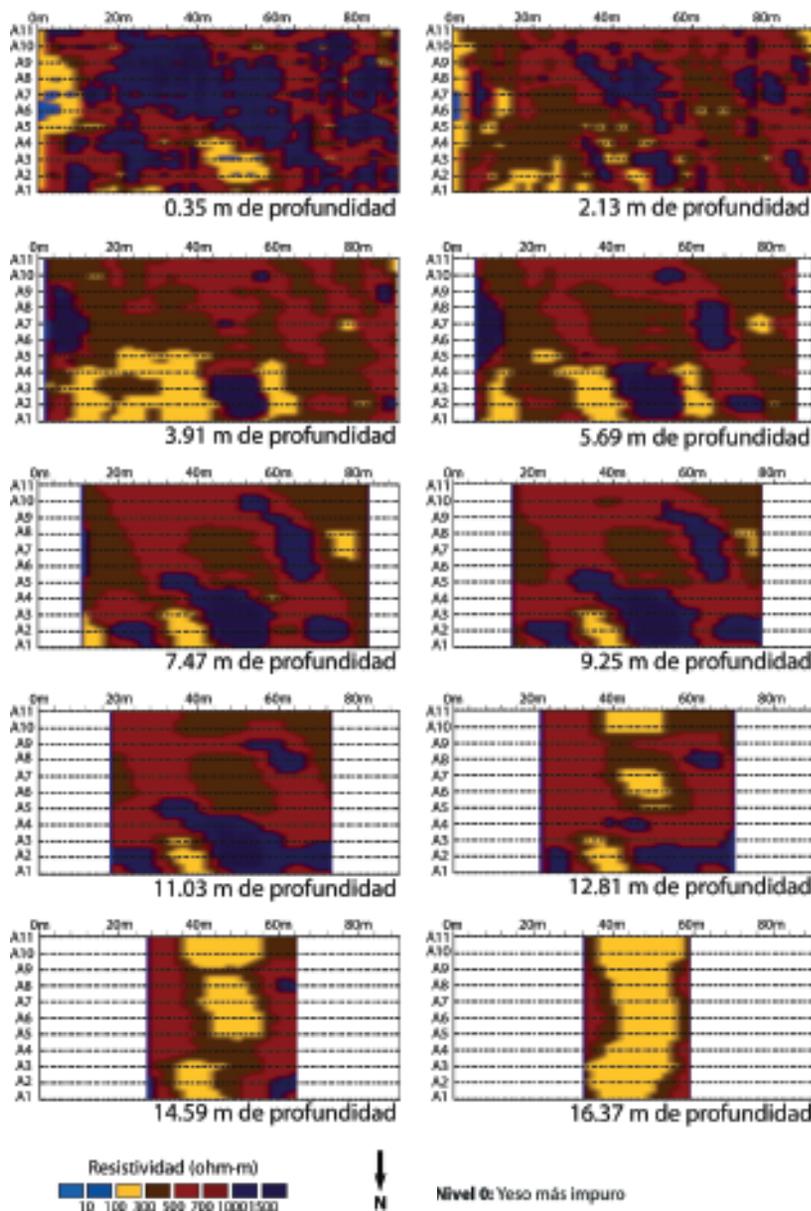


Figura 9: Secciones horizontales del modelo 3D a distintas profundidades (Área 2, localización en la figura 4).

dos perfiles (Fig. 11) con valores de resistividad muy bajos que indica que seguramente sean lutitas muy arcillosas (nivel b). En el perfil 13 se han podido diferenciar dos cuerpos con resistividades un poco mayores que seguramente correspondan a calizas (nivel a); en superficie se diferencia un recubrimiento superficial de suelo (nivel c). El modelo 3D (Fig. 12A) sí que muestra resistividades de entre 700-2000 ohm.m, en

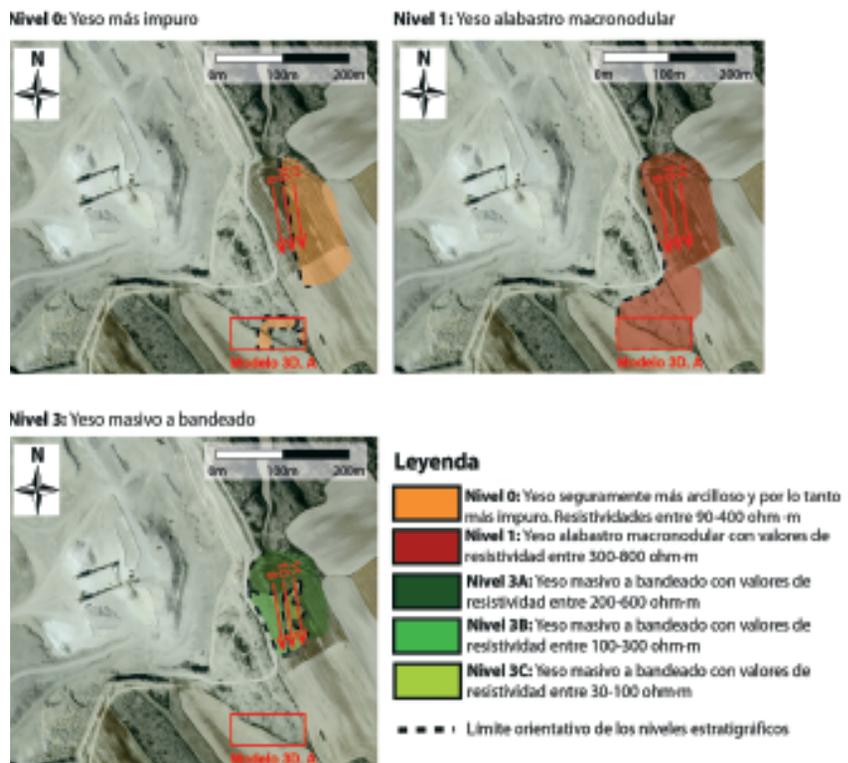
Figura 10: Cartografía aproximada de la superficie del techo de los diferentes niveles estratigráficos definidos en el frente de cantera (Área 2, localización en la figura 4). 9, 10, 11: perfiles tomográficos. Modelo 3D.A: modelo 3D presentado en la figura 9.

superficie, que indican la existencia del nivel de yeso alabastrino (nivel 1; Fig. 12B) pero este es muy discontinuo y con poca potencia.

## 6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se ha aplicado la técnica geofísica de la tomografía eléctrica en el estudio de una cantera de yeso activa, con el fin de valorar la utilidad de este método en los análisis de viabilidad de explotaciones de yeso. El presente estudio corrobora la correlación entre los niveles estratigráficos identificados en el frente de cantera y los niveles con diferentes resistividades registrados en los perfiles tomográficos. Los diferentes niveles definidos presentan purezas, texturas y asociaciones minerales diferentes, y ello se traduce en registrar resistividades diferentes. Se ha denominado Área 1 a la zona del frente de cantera.

Además se ha podido realizar un mapa de evolución lateral de cada unidad en la zona cercana al frente de explotación (Área 2). El modelo 3D realizado en la zona más próxima al frente (Área 2) identifica esa área como idónea para proseguir la explotación siguiendo los criterios requeridos de pureza. Por lo tanto, la tomografía eléctrica ha permitido presentar recomendaciones sobre la



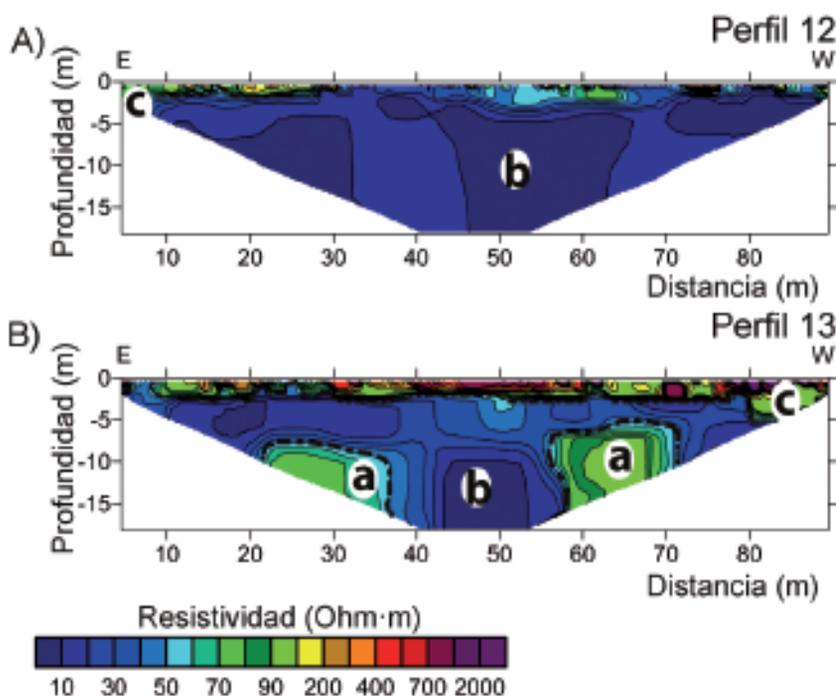


Figura 11: Perfiles obtenidos en la zona de investigación para una nueva cantera (Área 3, localización en la figura 4). Nivel a: Caliza; Nivel b: Lutitas; Nivel c: recubrimiento superficial.

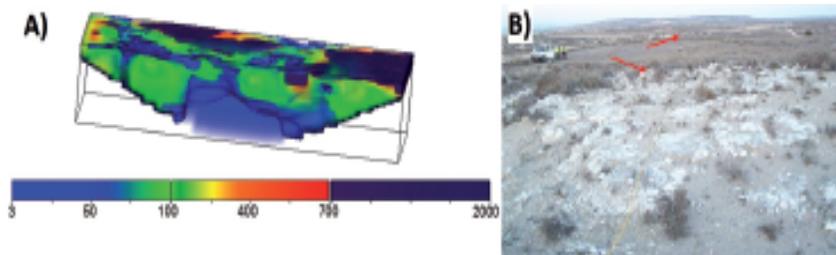


Figura 12: A) Modelo 3D realizado en la zona de investigación para una nueva cantera (Área 3, localización en la figura 4). B) Fotografía de la zona donde se ha realizado el perfil tridimensional (Área 3, localización en la figura 4), tomada en el momento de realizar uno de los 10 perfiles. Se pueden ver los 2 cuerpos de yeso alabastrino en los extremos del perfil (señalado con dos flechas).

evolución de la explotación en un futuro inmediato.

Por el contrario, en la zona de futura explotación (fase de prospección inicial, Área 3) se identifican niveles no indicados para la explotación, ya que muestran resistividades muy bajas, interpretadas como cuerpos muy lutíticos (de muy baja pureza en yeso).

Esta técnica, además de ser útil para identificar los niveles de yeso en función de su pureza, es también idónea para la identificación de tramos de anhídrita (Guinea et al. 2012b).

En definitiva, el uso de la tomografía eléctrica para delimitar niveles de yeso de diferente pureza ha dado muy buenos resultados. Se ha

podido demostrar que es una técnica útil para planificar y gestionar explotaciones de yeso, tanto activas como en fase de prospección preliminar, y también es idónea por razones ambientales, ya que es una técnica no invasiva, barata y de resultados prácticamente inmediatos. Aunque se recomienda combinar esta técnica con algún sondeo, su uso permite reducir el número de sondeos necesarios; este hecho es beneficioso para la empresa económicamente hablando.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a la empresa Placo-Saint Gobain por permitir realizar el estudio en su cantera de yeso. Agra-

decer también al “Grup Consolidat de Recerca Sedimentària” 2009-GR451 y al Proyecto CGL2009-11096 por financiar este estudio.

#### REFERENCIAS

Martínez, N. (2012): *Aplicació de la Tomografia Elèctrica a l'estudi de viabilitat de pedreres de guix*. Tesis de Màster, Universitat de Barcelona, p.65, inédita.

Guinea, A., Playà, E., Rivero, L., Bosch, R. (2010): *Geoelectrical classification of gypsum rocks*. *Surveys in Geophysics*, 31: p.557-580.

Guinea, A., Playà, E., Rivero, L., Martínez, N., González, M. (2012a): *Electrical resistivity tomography supporting gypsum quarrying*. *Geo-Temas*, 13: p.130.

Guinea, A., Playà, E., Rivero, L., Ledo, J., Queralt, P. (2012b): *The electrical properties of calcium sulfate rocks from decametric to micrometric scale*. *Journal of Applied Geophysics*. 85, p.80-91.

Cantos-Figuerola, J. (1974). *Tratado de geofísica aplicada*. IGME, 2ª Ed., Madrid, 392 pp.

Marchan, C., Regueiro, M., Barros, G. (2010). *Estadística minera de España: Yeso*. IGME, Madrid.

Ortí, F. (1990). *Introducción a las evaporitas de la Cuenca Terciaria del Ebro*. En: Ortí, F., Salvany, J.M. (eds). *Formaciones evaporíticas de la Cuenca del Ebro y cadenas periféricas, y de la zona de Levante. Nuevas aportaciones y guía de superficie*. Enresa-Universitat de Barcelona, p.62-66.