

EVALUACIÓN DE EXPLOTACIONES ACTIVAS DE YESO, MEDIANTE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Victoria del Carmen Cutipa Condori ^{*1}, Elisabet Playà Pous ¹, Lluís Rivero Marginedas ¹, Raúl Lovera Carrasco ¹, Esperanza Tauler Ferre ²

⁽¹⁾ Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica, ⁽²⁾ Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Depósitos Minerales, Universidad de Barcelona. Martí i Franqués s/n, 08028 Barcelona

INTRODUCCIÓN

El sulfato de calcio, y en particular su fase hidratada, el yeso, es uno de los minerales evaporíticos más frecuentes en la naturaleza y el más abundante en afloramiento, debido principalmente a su menor solubilidad relativa en comparación con el resto de minerales evaporíticos (cloruros, resto de sulfatos, etc.), aunque en profundidad la fase estable de sulfato de calcio es la anhidrita, en la mayor parte de las condiciones climáticas actuales de la superficie terrestre la fase anhidra no es estable, transformándose en yeso en superficie o cerca de ella. (Schreiber y El Tabakh, 2000). Los depósitos de yeso fundamentalmente se presentan en las formaciones sedimentarias de edades Mesozoicas y Terciarias, extendidos en la superficie terrestre.

El yeso es uno de los productos naturales más utilizados por el ser humano. En el año 2011 este mineral fue, por volumen, la séptima sustancia mineral más explotada en el mundo, con 148 millones de toneladas (Salazar y McNutt, 2012). En España, el yeso se concentra especialmente en terrenos del Triásico, Paleógeno y Mioceno, explotándose los depósitos del Mioceno en las tres grandes cuencas Terciarias de la Península Ibérica (Cuencas del Ebro, Duero y Tajo). La combinación de la abundancia y la alta calidad de los yesos, permite que España sea el principal productor Europeo.

Para una empresa de explotación yesífera es importante mantener la continuidad de los niveles estratigráficos y la pureza de las rocas. Para conocer la continuidad de los niveles de yeso se utiliza una reciente técnica geofísica no destructiva denominada Tomografía Eléctrica, que permite obtener una distribución de las resistividades reales del subsuelo, inyectando una corriente continua a través de electrodos, logrando delimitar los niveles de una manera práctica y facilitando su modelamiento.

Adicionalmente para un mejor aprovechamiento de los datos se incorpora resultados de ensayos de purzas de los diversos estratos, facilitando así a la empresa un modelo espacial completo de la distribución de los niveles de yeso con sus respectivas purzas.

METODOLOGÍA

Se ha realizado el estudio geofísico de una cantera activa de yeso, propiedad de la empresa Placo Saint Gobain en la localidad de Gelsa, Zaragoza, España. La metodología utilizada en las campañas de campo fue una inspección in situ para decidir la localización estratégica de los perfiles de tomografía eléctrica, abarcando el área de interés para la empresa. Luego se llevó a cabo los perfiles, distribuyéndolos en mallas para obtener el modelo 3D. El diseño de la malla 3D, consistió en colocar los perfiles de tomografía eléctrica, paralelos entre sí y separados 4 m (doble de la distancia entre electrodos). El equipo utilizado para obtener los perfiles de la tomografía eléctrica es el resistivímetro SYSCAL Pro de 48 canales de la empresa francesa Iris Instrument, repartidos en dos cables, con una distancia interelectrónica de 2m; con dispositivo Schlumberger. La longitud de los perfiles de tomografía eléctrica es de 94 m de longitud, alcanzado una profundidad máxima de investigación de 18 m. Todos los perfiles se marcaron para su mejor ubicación para futuros trabajos que la empresa realice. (FIG 1.)

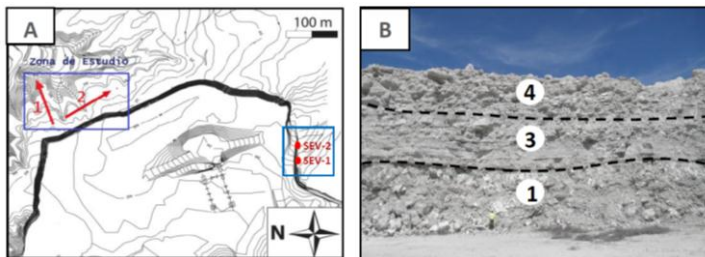


Fig. 1. A) Ubicación de los conjuntos de perfiles por zona de campaña (1 y 2 zona de campañas de Tomografía eléctrica, cada campaña incluye varios perfiles, también se observa la ubicación de los Sondajes eléctricos verticales, realizados en campo. **B)** Delimitación de las litofacies de los perfiles del 1er día de campaña en el frente de la cantera activa.

Los datos obtenidos mediante la aplicación de los programas Prosys II, RES2DINV y RES3DINV. También se utilizó el programa VOXLER para un mejor modelamiento de los datos. La empresa realizó sondeos helicoidales en el centro de alguno de los perfiles tomográficos para extraer muestras y valorar su pureza en yeso (método de la termobalanza). La caracterización mineralógica se complementó mediante cuantificación de los resultados de Difracción de Rayos X (DRX), utilizando el software TOPAS de la empresa comercial Bruker. Los datos de DRX se han comparado con los obtenidos mediante disolución en agua de las muestras (cuantificación del % de yeso+anhidrita en la muestra por el método de la doble pesada antes y después de la disolución).

ÁREA DE ESTUDIO: SITUACIÓN GEOGRÁFICA Y GEOLOGICA

El presente trabajo se realizó en una cantera activa de yeso, ubicada a cercanías del pueblo de Gelsa, a 40 km hacia el SE de Zaragoza capital. Situándose en el margen izquierdo del río Ebro, en la parte meridional de los Monegros, a una altitud de 147 m.s.n.m, caracterizado por presentar una topografía plana con relieves suaves y una aridez extrema.

1. A mediados del terciario empieza a formarse la depresión del Ebro, como efecto de la orogenia alpina; posterior a esta depresión se rellenó con materiales, encontrándose en los márgenes, materiales detríticos (conglomerados) y en el centro de la cuenca, evaporitas y calizas.
2. A inicios del Mioceno se produce una gran subsidencia en el sector aragonés de la Cuenca del Ebro, la cual da lugar a su relleno con depósitos evaporíticos lacustres que se disponen en dirección NW-SE, con unos 80 km de largo y 40 km de ancho. (FIG.2) (Ortí y Salvany, 1997).

Las unidades de yeso que la empresa explota actualmente, están formadas por yesos secundarios que son producto de la hidratación de la anhidrita, pertenecientes a los depósitos del Mioceno, que se encuentran depositados en las tres grandes cuencas Terciarias de la Península Ibérica (Cuencas del Ebro, Duero y Tajo).

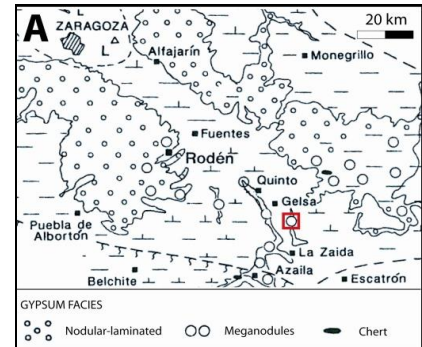


Fig. 2. Mapa geológico, donde se observa los sistemas evaporíticos centrales de la Cuenca del Ebro, el cuadro en rojo marca la zona de estudio. (Modificado de Ortí y Salvany, 1997).

RESULTADOS Y DISCUSIONES

PERFILES DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

Los perfiles de tomografía eléctrica muestran 3 niveles según los valores de resistividad existentes, que se correlacionan claramente con los niveles estratigráficos explotados, y que muestran cambios de las resistividades en función de su mayor o menor pureza en yeso (FIG. 3):

- Nivel Superior: Caracterizado por resistividades elevadas, que van de 700 a 1000 Ω m, representados por el nivel 4 de colores rojos y lilas. Con una potencia de 3m, correspondiente a yesos macronodulares de alta pureza.
- Nivel Intermedio: Presenta resistividades bajas que varían de 80 a 400 Ω m, representados por el nivel 3 y los colores verdes, amarillos, marrones, naranjas y rojo. Posee una potencia de aproximadamente 6 a 12m, ocupando la parte central de todos los perfiles, este nivel intermedio correspondería a yesos bandeados y es el nivel donde encontramos las más bajas resistividades. Solo en el nivel intermedio podemos encontrar la anomalía 5, que se caracteriza por una baja resistividad, inferior a 50 Ω m y es representada por los colores azules y cian. Esta anomalía correspondería a niveles de variada potencia de lutitas poco resistivas, la cual puede encontrarse en todos los perfiles y en alguno encontrar más de una anomalía de este tipo.
- Nivel Inferior: Se encuentra resistividades altas, diferenciándose notoriamente del nivel anterior y marcando su límite, este nivel guarda relación con el nivel superior por sus parecidas resistividades. Es representado por el nivel 1 y corresponde a yesos macronodulares de alta pureza. Entre el nivel inferior 1 e intermedio 3 se observa en afloramiento una capa de 50 cm de caliza; este nivel no se ha detectado en los perfiles debido a su escasa potencia.

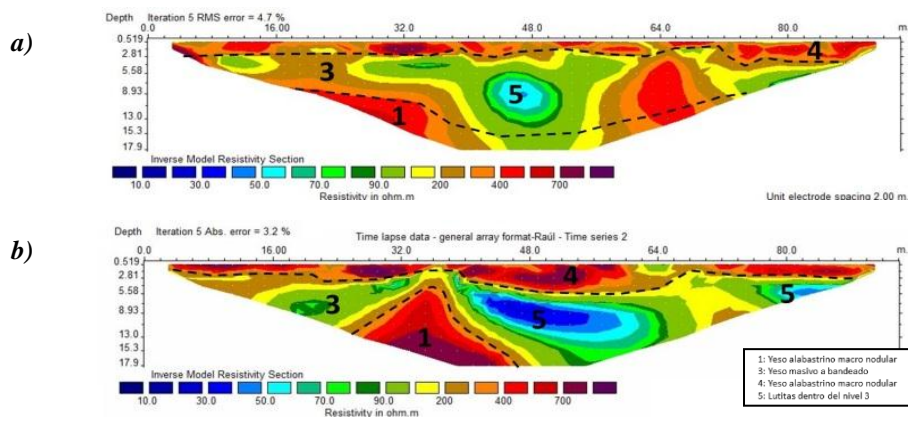


Fig 3. a) perfil N°06 perpendicular al frente de cantera, b) perfil N°10 paralelo al frente de cantera, donde se distingue: 1 o Nivel Inferior (Yeso alabastrino macro nodular), 3 o Nivel Intermedio (Yeso masivo a bandeado), 4 o Nivel Superior (Yeso alabastrino macro nodular) y 5 (Lutitas)

MODELIZACIÓN 3D

El modelo 3D, se realizó con ayuda de los programas RES3DINV y el VOXLER, proporcionando información de la ubicación de un cuerpo anómalo en el nivel 3 de menor resistividad, el cual aparece en todos los perfiles. (Fig. 4, cuerpo 5), no afectando la calidad de explotación de la empresa, por no ser uniforme y localizarse en ciertas zonas, que posteriormente es desechado por el mismo proceso de selección de material de la empresa; cuerpos similares han sido detectados en afloramiento en el perfil de la cantera.

Se puede observar una relación entre la variación de la pureza en yeso de las muestras extraídas de los sondeos por la empresa y sus resistividades en los perfiles, disminuyendo los valores de resistividad aproximadamente a los 8m de los perfiles tomográficos y correspondiendo con la anomalía 5 (FIG. 4) y con un descenso de la pureza de los materiales.

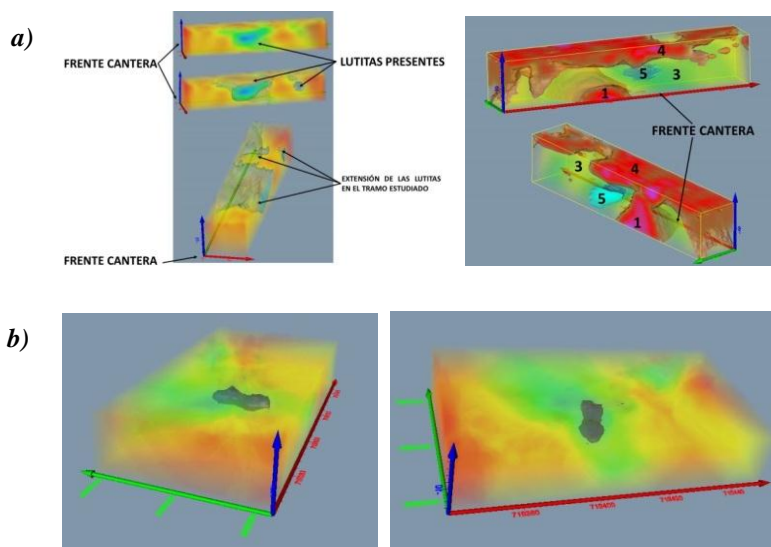


Fig 4. a) Modelos 3D de la zona de estudio, que muestra la existencia de cuerpo 5, de menor resistividad dentro del nivel 3, con RES3DINV. b) Con el VOXLER.

Los resultados obtenidos fueron comparados con trabajos anteriores, encontrando resistividades iguales aun en condiciones climáticas diferentes, por lo que se concluye que los resultados obtenidos son de gran confianza. En la Figura 5, se muestran los perfiles (perfil 10-2013 y el 6-2012), donde se observa una gran similitud, lo cual se refleja en el time lapse, el cual muestra la diferencia en % de resistividades, encontrando valores entre -20 y 20 %, los cuales no son diferencias significativas y son variaciones propias de las medidas del resistivímetro.

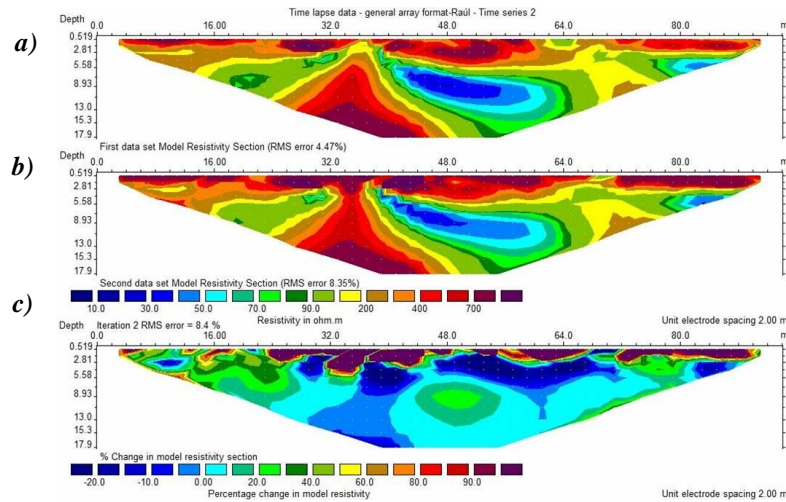


Fig 5. a) Perfil 10-2013, b) Perfil 6-2012, c) Time Lapse de los perfiles 10-2013 vs 6-2012.

DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Se observa que existe relación en los dos métodos de identificación de la pureza de los materiales explotados (DRX y doble pesada).

Las muestras 1, 2 y 4 el nivel basal nodular en las tomografías eléctricas (1; FIG. 3) mientras que la muestra 3 corresponde al nivel laminado (3). Se han procesado dos muestras del nivel calizo (muestras 5, 6). La comparación de los resultados presenta las mayores diferencias en las muestras calizas, mientras que son más semejantes en los yesos, con un promedio de error de 0.9%.

Las muestras más puras (nivel nodular 1) son las que también presentan mayores resistividades; sin embargo, la relación directa no puede establecerse puesto que las resistividades son valores promedio de las unidades mientras que los análisis mineralógicos corresponden a muestras puntuales.

| Muestra | Nivel | Litofacias | Y | A | Cc | C | Q | D | % SOLUBLES (Y+A) | Resistividades (Ω m) |
|---------|-------|------------|------|-----|------|-----|-----|-----|------------------|------------------------------|
| 1 | 1 | Nodular | 100 | - | - | - | - | - | 99.6 | 700-1000 |
| 2 | | | 98.8 | 0.6 | - | 0.6 | - | - | 99.5 | |
| 4 | | | 98.6 | 0.7 | - | 0.7 | - | - | 98.5 | |
| 3 | 3 | Laminada | 98.6 | 0.7 | - | 0.7 | - | - | 97.1 | 80-400 |
| 5 | - | Caliza | - | - | 96.4 | - | 3.6 | - | 8.2 | - |
| 6 | - | laminada | - | - | 95.5 | - | 3.4 | 1.1 | 3.5 | - |

Tab. 1. Cuantificación mineralógica de las muestras en % mediante DRX y comparación con el % de minerales solubles (doble pesada). Y. Yeso; A. Anhidrita; Cc. calcita; C. celestina; Q. Cuarzo; D. Dolomita.

AGRADECIMIENTOS

El proyecto se realizó como Trabajo de Fin de Master, en la Universidad de Barcelona, el cual se cursó gracias al su apoyo del Gobierno Peruano, mediante su programa de Becas “Presidente de la Republica”

A la empresa Placo Saint Gobain por la oportunidad de realizar el trabajo en sus instalaciones y por su apoyo en cada etapa del proyecto.

REFERENCIAS

- Guinea, A., Martínez, N., Playà, E., Rivero, Ll. (2012). Electrical resistivity tomography applied at different stages of gypsum exploitation. Near Surface Geoscience.
- Ortí, F. and Salvany, J.M. (1997). Continental Evaporitic Sedimentation in the Ebro Basin during the Miocene. In: Sedimentary deposition in rift and foreland basins in France and Spain (Paleogene and lower Neogene), G. Busson and B. Charlotte Schreiber (Eds.). Columbia University Press, New York, p. 420-429.
- Salazar, K, McNutt, M. (2012). Mineral Commodity Summaries 2012, In: Survey, USG (Ed), US Department of the Interior, Reston, p. 201.
- Schreiber, B.C., El Tabakh, M. (2000). Deposition and early alteration of evaporites. Sedimentology 47, p. 215-238.