

DETECCIÓN GEOFÍSICA DE MINADOS SUBTERRÁNEOS. LA INTERVENCIÓN EN LAS MINAS ROMANAS DE LAPIS SPECULARIS DE LA MUDARRA (HUETE – CUENCA)

© Manuel Arladi Rodríguez
© María José Bernárdez Gómez
© Juan Carlos Guisado di Monti
© Luis Jordá Bordehore
© Fernando Villaverde



Publicado en: **3º Simpósio sobre Mineração e Metalurgia Históricas No Sudoeste Europeu**

Porto 2006 / Páginas 231-245. [Edita: SEDPGYM-IPPAR-FCT]

ISBN. 972-8736-99-1

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la intervención geofísica realizada en el complejo minero romano de *lapis specularis* de “La Mudarra” en Huete (Castilla-La Mancha: Cuenca). La aplicación geofísica se utilizó para detectar minas y galerías mineras en zonas en las que no se tiene acceso al sistema subterráneo de minados, al encontrarse colmatadas o hundidas, con el fin de intentar completar en lo posible el panorama arqueológico y el entramado minero subterráneo del complejo.

El método aplicado es la Tomografía Eléctrica, que ha permitido detectar, en los perfiles eléctricos realizados, los contrastes eléctricos entre las zonas de cavidad y los yesos circundantes. Igualmente, se describen los fundamentos del método y el equipo empleado, así como los trabajos, resultados y las conclusiones obtenidas.

ABSTRACT

In this work we describe a geophysical analysis applied through the roman mining complex of *lapis specularis* at “La Mudarra” of Huete (Castilla-La Mancha: Cuenca). The geophysical works were directed to the detection of mines and galleries in spaces where personal exploration is not viable as a consequence of these having collapsed or being filled. The aim of this work is to try to complete the archaeological knowledge about the whole mining system.

The technique applied is the tomographical mode of the electrical geophysical prospection method. This, through geo-electric sections of the terrain, has allowed us to illustrate the contrasts between hollow spaces and surrounding gypsum. We also describe the principles of the method and applied instruments, as well as the proceedings, results and conclusions obtained.

1. INTRODUCCIÓN

El complejo minero de la Mudarra (H.I), se localiza a unos 6 kilómetros al norte de la actual localidad alcarreña de Huete (Cuenca). Las minas se sitúan al pie de un cerro yesífero de nombre “La Mudarra”, elevación común a Los términos de Huete y Puebla de Don Francisco.

Los minados son citados por primera vez en las Relaciones de Felipe II como campamento de un capitán llamado “Mudarra”, que alojó a sus huestes en su interior mientras sitiaba Huete y guerreaba contra López Vázquez de Acuña en tiempos de los Reyes Católicos. Desde entonces, las minas se mencionan en crónicas y artículos como “cuevas de la Mudarra” o “cueva del Mudarra”, sin aludir ni mencionar apenas su aprovechamiento pasado como minería romana del *lapis specularis*.

En el siglo XX las minas de la Mudarra fueron objeto de intervención arqueológica por D^a. Carmen Castellanos Herráiz, que en la década de los años 80 comenzó su estudio y realizó varias campañas de excavación en el interior de los minados. Los datos obtenidos han permanecido inéditos, salvo breves descripciones que aluden a la morfología de las labores, galerías y pozos, y a la utilización de caballerías como método de transporte del mineral incluso en el interior de los minados, tal como se documentó en la excavación de un derrumbe interno en una de las minas y en el que fueron hallados los restos de un minero romano junto a una acémila que transportaba piezas de espejuelo. Las conclusiones obtenidas en los trabajos de “La Mudarra”, sirvieron en su momento de base para el montaje en el Museo Provincial de Cuenca de una sala dedicada a la minería romana del *lapis specularis*.

Retomada la investigación de la minería del *lapis specularis* por el actual equipo de trabajo dentro del Proyecto “Cien mil pasos alrededor de Segóbriga”, se abordó el estudio del complejo minero de “La Mudarra” o (H.I), como uno de los más importantes de la Alcarria conquense dada su vinculación al cercano emplazamiento de la ciudad romana del cerro de Alvar Fáñez en Huete (posible *Opta* romana).

El complejo minero de “La Mudarra”, cuenta actualmente con la evidencia de cerca de una treintena de minados que se distribuyen al pie del cerro de forma grupal y continua, en una estrecha franja de unos cuatrocientos metros de largo por doscientos metros de ancho en sentido este-oeste.

Tras la prospección y exploración inicial del complejo, se procedió a realizar la topografía interna de los minados de forma individualizada con un tratamiento informático de los datos para su representación tridimensional, así como se generó una poligonal proyectada de las cavidades junto con un levantamiento planimétrico de superficie con la situación de las minas en su conjunto (**ver figura 1**).

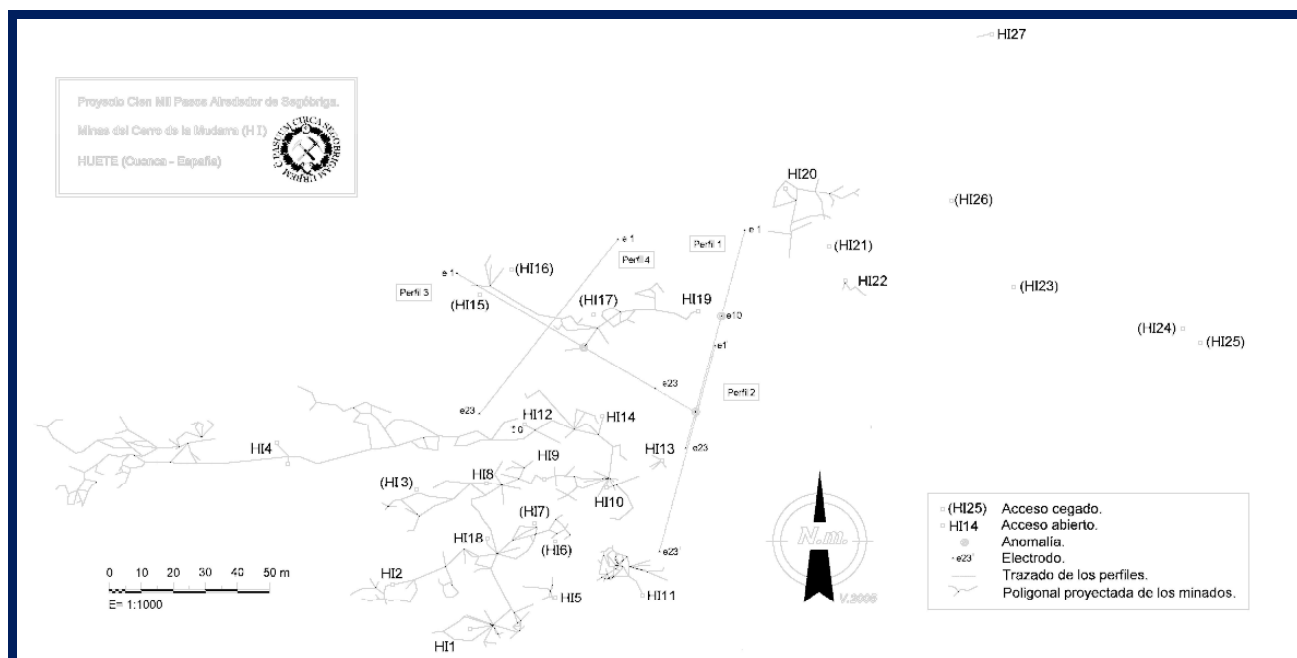


FIGURA 1

Los primeros trabajos realizados, dejaban de forma clara la falta de continuidad y la imposibilidad de acceso a algunas galerías y salas mineras, debido a colapsos, - 233- colmataciones y hundimientos en el interior, mientras que en el exterior, en superficie, era perceptible a simple vista la existencia de depresiones, escombreras e instalaciones mineras como pozos y otros accesos cegados o colmatados, en los que igualmente se carecía de la posibilidad de acceder o conocer la morfología subterránea de las labores.

Estos vacíos de información son sobre todo evidentes en la zona central del complejo minero, en una zona de contacto con un pequeño cortado natural donde afloran crestos de yesos y que fue intensamente beneficiada en época romana por su facilidad de explotación y acceso al filón de espejuelo.

Ante la imposibilidad de documentar y de contar con la información de una zona del complejo minero que por el sistema habitual de progresión interior era inaccesible, se recurrió a la geofísica como

método interpretativo para conocer la disposición de las labores mineras del subsuelo y del entramado de la red de minados mediante una técnica eficaz de prospección no destructiva, rápida y con grandes posibilidades de gestión para la arqueominería.

2. METODOLOGÍA GEOFÍSICA APLICADA

2.1 TÉCNICAS DE DETECCIÓN DE MINADOS SUBTERRÁNEOS

En la detección de minados subterráneos, las metodologías más adecuadas son las basadas en las técnicas geofísicas, que posibilitan la prospección de amplias zonas y volúmenes de roca. Los sondeos mecánicos, por el contrario, sólo permiten investigar un punto, por lo que su uso debe aplicarse tan sólo para verificar cavidades previamente detectadas mediante el uso de geofísica.

En función de la profundidad a la que se encuentren las cavidades, pueden emplearse distintos métodos geofísicos. Algunos métodos sólo son capaces detectar cavidades a poca profundidad (máximo 20 m), mientras que otros logran penetrar a grandes profundidades (hasta 250 m). En la tabla que se incluye a continuación se resumen las características de estos métodos.

DETECCIÓN GEOFÍSICA DE MINADOS ANTIGUOS		
MÉTODO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
GEORRADAR	Emisión de ondas de radar contra el terreno, mediante antenas. Detecta muy bien los huecos vacíos.	No penetra más de 15 m en el terreno. La resolución es muy alta a profundidades de hasta 5 m (antenas 500 MHz). A profundidades mayores de 5 m hay que aplicar antenas de 100 MHz, que proporcionan escasa resolución. Genera planos en planta o perfiles
TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	Inyección de corriente continua en el terreno mediante electrodos. Se mide la resistencia eléctrica del terreno, pudiendo detectar minados vacíos (alta resistencia) o llenas de agua (baja resistencia).	Funciona adecuadamente tanto a poca como a gran profundidad. Genera perfiles longitudinales y es capaz de distinguir si el minado presenta agua o se encuentra vacío.
MICROGRAVIMIETRÍA	Medición del campo gravitatorio local. En las zonas con minas la gravedad es menor.	Funciona bien tanto en zonas profundas como someras, pero la topografía de la zona debe ser suave. Sólo detecta minas vacías. Poca resolución en la detección de cavidades pequeñas.
POTENCIAL ESPONTÁNEO	Medición del potencial eléctrico del terreno. La circulación de agua subterránea genera potenciales eléctricos detectables.	Funciona tanto para grandes profundidades como someras, pero sólo detecta las minas que están captando agua.

DETECCIÓN GEOFÍSICA DE MINADOS ANTIGUOS		
MÉTODO	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
RESONANCIA ACÚSTICA	Se introducen altavoces dentro de la mina y se detecta en superficie el sonido con la ayuda de geófonos.	Funciona a profundidades someras. Requiere que la mina tenga acceso para introducir los altavoces. No detecta cavidades aisladas acústicamente de las que se sitúan los altavoces. Alta resolución. Se emplea para trazar planos en planta de complejos subterráneos ya reconocidos.
DIAGRAFÍA CROSS-HOLE	Se emiten ondas sísmicas en un sondeo, y son recogidas en otro cercano. Si aparece una mina se detecta una disminución de la velocidad sísmica medida.	Funciona muy bien a cualquier profundidad, pero requiere que los sondeos estén muy próximos el uno al otro. Alta resolución. Proporciona perfiles verticales. Alto coste.

- 235-

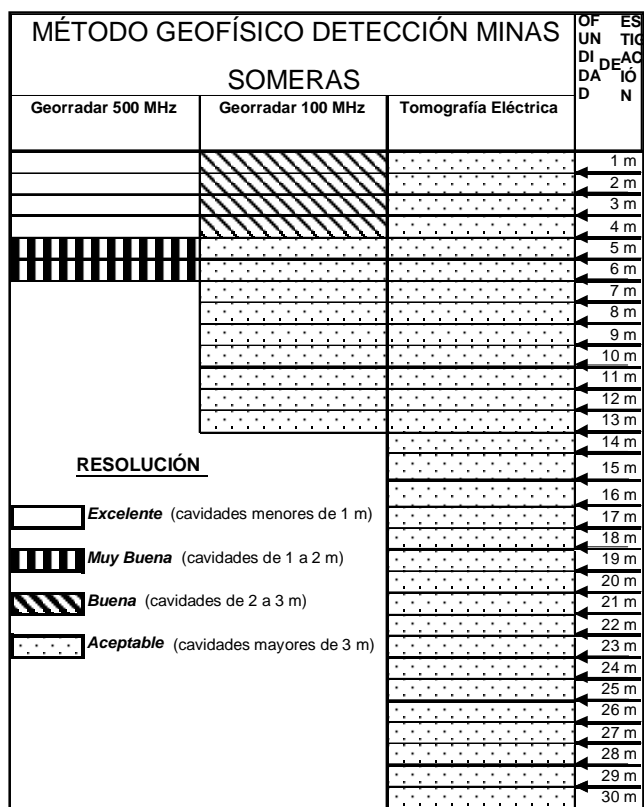
2.2 ELECCIÓN DEL MÉTODO

En el complejo minero de La Mudarra, las cavidades a las que se tiene acceso desde superficie se ubican a profundidades que oscilan entre los 3 y los 20 m, aunque no se descarta que pudieran existir minados cegados que alcanzasen profundidades mayores. Los diámetros de los minados oscilan entre 1 y 10 m de calle, en galría, siendo lo más habitual localizar galerías con oscilaciones de entre 1 y 3 m de ancho. Para la localización de minados aun no detectados, se consideró que lo más adecuado era la aplicación de técnicas adaptadas a proporcionar alta resolución a profundidades someras.

De entre las técnicas citadas, se descartó el empleo de la microgravimetría, ya que la resolución que permite obtener es inferior a la que se requería. Se descartó también el empleo de la diagrafía Cross-Hole, ya que aunque su resolución es muy buena, al ser necesaria la realización de varios sondeos previos, su coste es muy elevado. El potencial espontáneo igualmente no se estimó adecuado, pues sólo permite detectar cavidades que actúan como sumideros para el agua. También se descartó la resonancia acústica, pues requiere que exista un acceso libre a la zona a investigar y en concreto este no era el caso.

De este modo, se consideró que lo más adecuado sería la aplicación del Georradar (Frecuencia 100 – 500 MHz) o la Tomografía Eléctrica con espaciado de electrodos en el rango de los 3 m. En el gráfico

que se incluye a continuación, se detallan los rangos de profundidad y resolución para el que son adecuadas estas dos técnicas de detección. La profundidad que se pretende alcanzar, es al menos 30 m.



Como se refleja en el gráfico anterior, la resolución del Georradar es mayor que la de la tomografía eléctrica hasta los 4 – 6 m de profundidad. Entre los 13 – 15 m, la resolución del Georradar es similar a la de la Tomografía Eléctrica, pero a mayores profundidades, sólo esta última técnica es capaz de investigar el subsuelo. Por tanto, se optó por emplear la Tomografía Eléctrica como técnica de investigación en el yacimiento minero romano de La Mudarra.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA Y EQUIPO EMPLEADO

El método “eléctrico” consiste en introducir una corriente eléctrica continua en el terreno a través de dos electrodos de corriente. El voltaje, se mide mediante otro par de electrodos, también situados en superficie. A partir del valor de la corriente inyectada y del voltaje medido se obtiene la resistividad aparente del subsuelo. Cada tipo de material presenta un rango de resistividad más o menos característico. Las cavidades vacías (llenas de aire), presentan una resistividad aparente que tiende al infinito, mientras que los terrenos saturados, son altamente conductores y por tanto presentan una baja resistividad.

Según la posición de los electrodos, la corriente penetra con más o menos fortuna en el terreno. En la práctica, se extiende una línea de más de 24 electrodos que son seleccionados de cuatro en cuatro por el equipo de campo (resistivímetro). De esta manera, se obtienen un gran número de puntos de resistividades aparentes para el computo, calibrado y obtención de datos.

La tomografía eléctrica es la técnica por la cual se miden la resistividad en numerosos puntos de un perfil y se interpolan e interpretan los datos para conseguir un perfil de resistividad que permite hacer un verdadero corte eléctrico del terreno. Si las condiciones son adecuadas, es una herramienta muy potente para llevar a cabo correlaciones entre resistividad y tipo de material en terrenos ocultos.

La metodología a seguir, consiste en situar al mismo tiempo un gran número de electrodos en el terreno siguiendo una alineación. Los electrodos, se conectan a un multicable el cual a su vez está unido a un resistivímetro y a un selector de electrodos. Es debido a la gran cantidad de datos y cálculos que se obtienen al combinar de cuatro en cuatro los puntos conectados, que se necesita del apoyo informático en campo (normalmente un ordenador portátil con su correspondiente programa informático).

El desarrollo de programas cada vez más potentes y complejos, permite tomar - 237- unos datos de mayor calidad y capacidad. Con el programa, se pueden comprobar los electrodos que están incorrectamente colocados, y el gran número de combinaciones y repeticiones que se pueden hacer dan una serie de valores muy fiables. Un corte eléctrico básico puede obtenerse directamente en campo, lo que permite un alto control de calidad de las medidas obtenidas y de sus resultados.

Una vez hechas las mediciones en el yacimiento es necesario realizar una inversión. Este procedimiento consiste en efectuar iteraciones que acerquen nuestro modelo del terreno al modelo real. El paso clave está en la construcción de sucesivas secciones geo-eléctricas, que se comparan con la información obtenida en el trabajo de campo. El fin del proceso iterativo, será en el momento en que simulemos una toma de datos (no sobre el campo, sino sobre la sección que hemos creado), y cuyo resultado sea lo más parecido posible a los datos obtenidos del trabajo de campo. Es el llamado error RMS de tomografía y es un punto crítico del trabajo de interpretación.

La profundidad de investigación que se obtiene varía mucho según la litología, pero puede estar en un rango de valores de la tercera a la cuarta parte de la mayor abertura de electrodos que empleamos. El equipo utilizado en los trabajos es el resistivímetro SYSCAL KID SWICH de 24 electrodos y de la casa IRIS INSTRUMENTS (Orleáns, Francia). Los datos obtenidos se han ordenado y filtrado por el programa PROSYS de la misma marca y se han interpretado e invertido mediante el sistema RES2Dinv.

3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

3.1 UNIDADES GEOLÓGICAS

La exploración geológica de la superficie de terreno y del interior de los minados accesibles, ha permitido establecer cuatro tipos generales de unidades geológicas en el subsuelo de La Mudarra:

1. La mineralización yesífera explotada se encaja en el seno de una masa de roca yesífera de grano fino y compacta. Esta roca presenta pequeños huecos dispersos, generados por actividad cárstica. A esta unidad la denominaremos “*Roca Yesífera*”.
2. En la superficie se desarrolla una capa terrosa, constituida fundamentalmente por limos arenosos yesíferos, formada por alteración de la roca yesífera. A esta unidad la denominaremos “*Capa de Alteración Superficial*”.
3. Como tercera unidad geológica, vamos a considerar los propios “*Minados Romanos*”.

4. Por último, se observan restos de escombreras, formadas por material extraído de las excavaciones mineras, y acumulado al pie de las bocas de mina durante su explotación histórica. Se trata de depósitos de cascotes de roca yesífera, de tamaños centimétrico-decimétrico, junto con una fracción limoarenosa. Esta unidad se la denominará “**Depósitos de Escombrera**”.

Para realizar la interpretación de los perfiles de tomografía, es necesario establecer los rangos de valores de resistividad que presentan las unidades geológicas anteriormente definidas. Para ello se recurrirá a diversas formulaciones y datos bibliográficos de referencia.

La estimación de la resistividad de la Roca Yesífera se realizará a partir de la Fórmula de Archie. Según este autor, la resistividad de una roca ρ puede estimarse como el producto de la resistividad de fluido que rellena sus poros ρ_w y una constante del terreno denominada “Factor de Formación” $F: \rho = F \rho_w$. A su vez, el Factor de Formación puede estimarse a partir de la Fórmula de Winsauer: $F = a \phi^{-m}$

donde: **a = Coeficiente de textura de la roca, cuyo valor suele oscilar entre 0,5 y 1,5.**

ϕ = Porosidad de la roca.

m = Parámetro de cementación, cuyo valor suele situarse entre 1,3 y 2,3.

De acuerdo con Sharma (1997) para rocas sedimentarias modernas, tales como la Roca Yesífera Terciaria de La Mudarra, la expresión de Winsauer puede adoptar la forma $F = \phi^{-2}$.

La Roca Yesífera presenta una porosidad intergranular baja, que podría cifrarse, a partir de datos bibliográficos, aproximadamente en un 5 %. Sin embargo, el valor de la porosidad total se ve notablemente incrementado por la presencia de huecos cársticos y fracturas en la roca, de modo que puede considerarse que la porosidad total de la misma se ubicará en el entorno del $\phi = 20$ %. De este modo, el Factor de Formación de la Roca Yesífera será $F = (0,2)^{-2} = 25$.

Para obtener el valor de la resistividad de la roca a partir de la expresión de Archie, aún es necesario conocer la resistividad del agua que impregna sus poros. Para ello se emplearán los valores conseguidos en laboratorio sobre el contenido de - 239- sulfato cálcico (yeso), disuelto en el agua obtenida en

terrenos yesíferos cercanos a la zona de las minas, que tras su correspondiente análisis mostraron cantidades que oscilaban entre $C = 0,7$ y $1,4$ gr/litro.

A partir de este dato, puede obtenerse la resistividad del agua ρ_w , empleando la Fórmula de Dakhnov, cuya expresión es $\rho_w = (100 / C)$, obteniéndose una horquilla de valores igual a $\rho_w = 140 - 70$ $\Omega.m$. Aplicando la expresión de Archie, se obtendría para la Roca Yesífera una resistividad de:

$$\rho_{RY} = F \rho_w = 25 \rho_w = 3500 - 1750 \Omega.m = 3,5 \cdot 10^3 - 1,75 \cdot 10^3 \Omega.m$$

La formulación aplicada es de carácter empírico, por ello, los valores que muestra deben ser considerados tan sólo en orden de magnitud. Por tanto, se estima que la resistividad de la Roca Yesífera presentará valores que, en orden de magnitud se situarán en el entorno de varios miles de $\Omega.m$. El valor resultante coincide con lo indicado por Orellana (1982), que apunta que para el yeso compacto la resistividad supera el millar (10^3) de $\Omega.m$.

Los depósitos de escombrera y la capa de alteración superficial suelen tener porosidades muy altas, ya que estos materiales suelen presentarse sueltos y poco compactados. En general, su resistividad suele ser muy baja, que en orden de magnitud alcanza valores en el entorno de $10^1 - 10^2$ $\Omega.m$.

Los minados romanos de *lapis specularis* presentan tal como hemos podido comprobar una resistividad muy alta, superior a los 10^4 $\Omega.m$., ya que se encuentran rellenos de aire, que es una mezcla de gases dieléctricos muy resistivos.

Los valores de resistividad de cada una de las unidades geológicas del subsuelo se resumen a continuación en forma de tabla. Estos valores servirán de base para la interpretación de los perfiles obtenidos.

UNIDAD GEOLÓGICAS	RESISTIVIDAD
<i>Capa de Alteración Superficial</i>	$\rho \approx 10^1 - 10^2 \Omega.m$.
<i>Depósitos de Escombrera</i>	$\rho \approx 10^2 \Omega.m$.
<i>Roca Yesífera</i>	$\rho \approx 10^3 \Omega.m$.
<i>Minados Romanos</i>	$\rho > 10^4 \Omega.m$.

3.2 PERFILES OBTENIDOS Y SU INTERPRETACIÓN

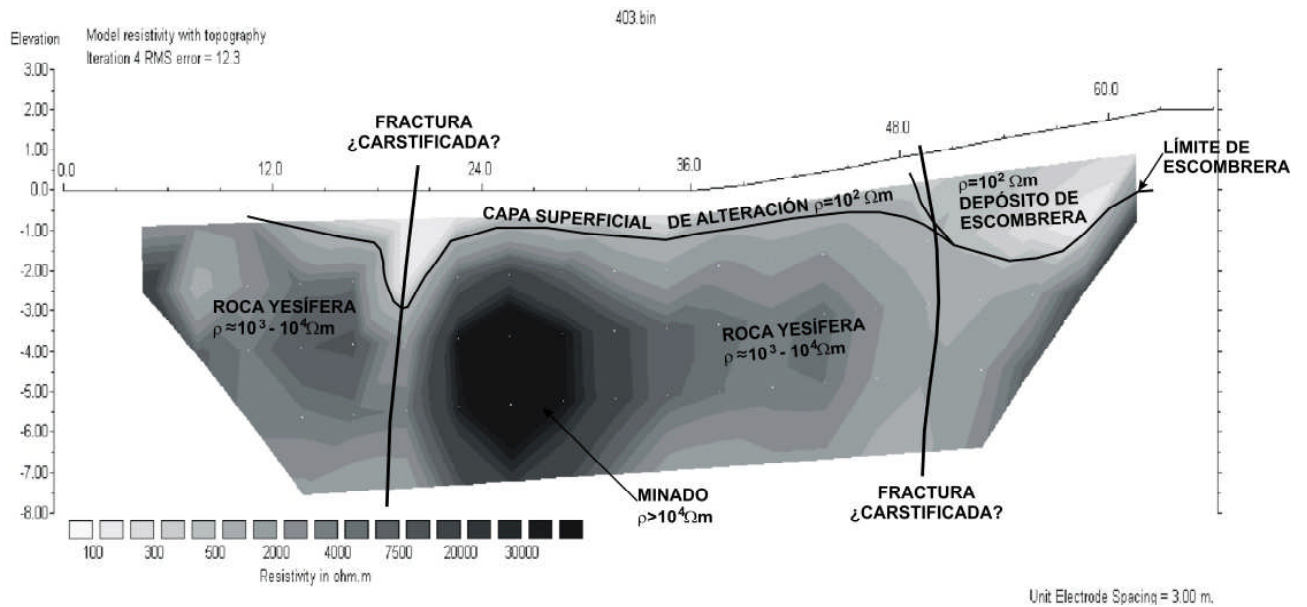
En la intervención se han obtenido un total de cuatro perfiles de tomografía eléctrica, denominados respectivamente Perfil 1, 2, 3 y 4 (**ver perfiles 1 al 4**), y de unos 50 m de longitud cada uno (**ver figura 1**). Los valores de la resistividad del subsuelo de los perfiles se han representado con tonos de color gris, de manera que los más claros corresponden a las resistividades más bajas, y los oscuros a las más altas. En base a los valores de resistividad de las unidades geológicas definidas en el apartado anterior, se ha realizado la interpretación de los perfiles, que se han representado de forma gráfica directamente sobre los mismos.

PERFIL N.º 1: El perfil muestra las siguientes características:

Destaca una fuerte anomalía de color oscuro, ubicada a unos 25 m del origen del perfil y a unos 5 m de profundidad. Su resistividad es altísima, superior a los $10^4 \Omega.m.$, que indica que se trata de un minado.

En la zona más superficial del perfil, se aprecian tonos claros, que corresponden a valores bajos de resistividad, del orden de $10^2 \Omega.m.$ Se trata de capas de alteración - 241- superficial de la roca yesífera. En la zona final del perfil, la topografía se eleva coincidiendo con una capa de un par de metros de terreno de baja resistividad, correspondiente a una escombrera de estériles visible directamente en superficie.

El resto del perfil muestra resistividades en el entorno de los $10^3 - 10^4 \Omega.m.$, que corresponden a la roca yesífera del yacimiento. En el seno de esta masa rocosa, se aprecian anomalías verticales de menor resistividad, que se interpretan como fracturas, posiblemente carstificadas. La menor resistividad de estas fracturas se debe a la humedad contenida en las mismas.



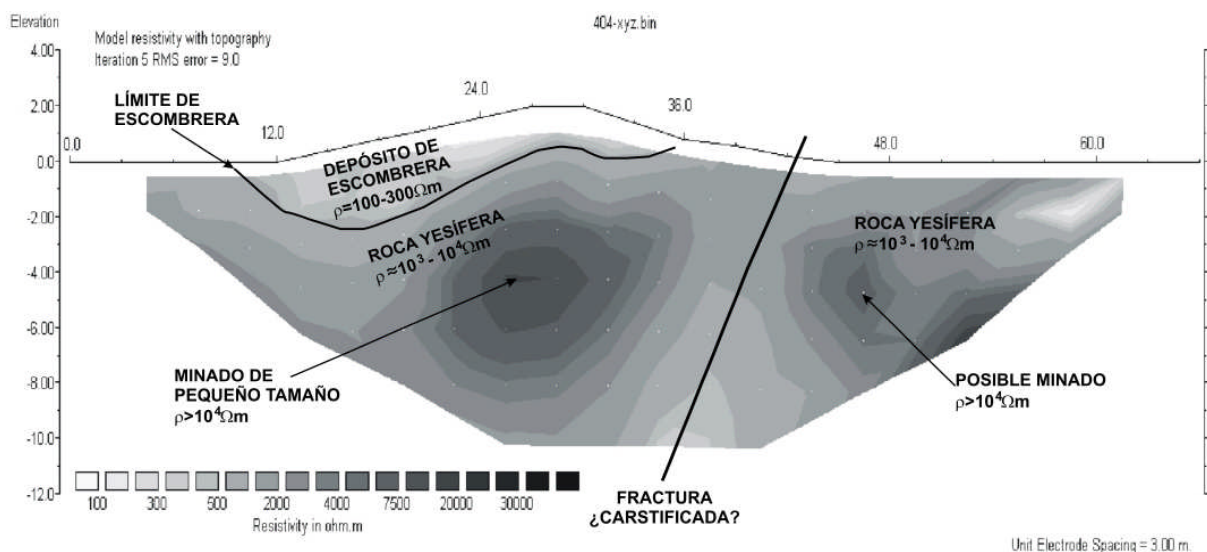
PERFIL N.º 2: Este perfil se realizó a continuación del anterior. Muestra las siguientes características:

La zona topográficamente más elevada corresponde a la escombrera detectada en el perfil anterior.

Bajo la escombrera de estériles, se localiza una pequeña anomalía de alta resistividad, que se interpreta como una cavidad o minado de pequeño tamaño.

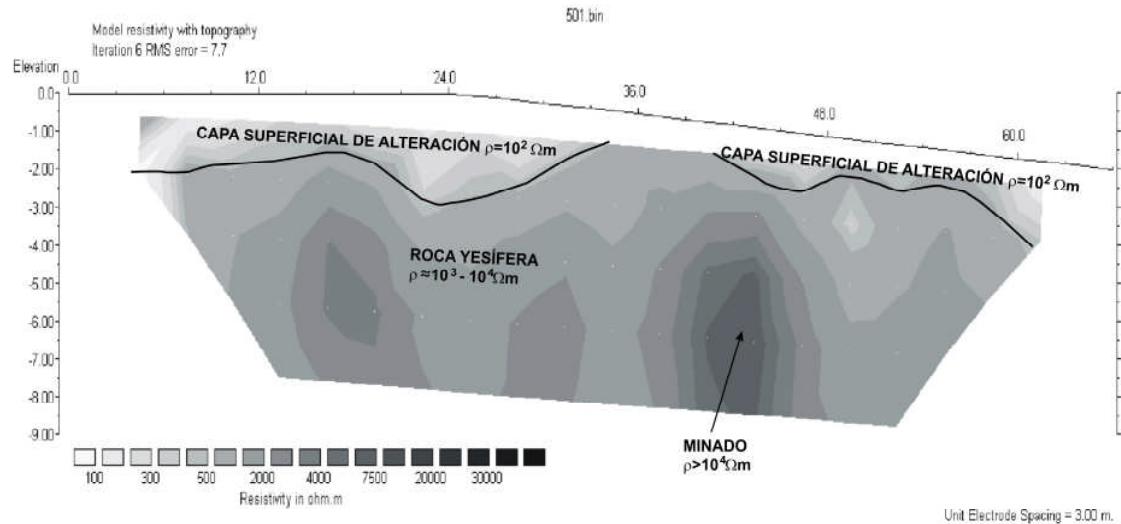
En la zona derecha del perfil, se detecta también una pequeña anomalía de alta resistividad, que quizás pudiera ser una cavidad o minado de tamaño reducido. El resto del perfil está ocupado por la roca yesífera, aunque también se aprecia una anomalía vertical de menor resistividad, que puede interpretarse como una fractura carstificada del terreno.

- 242 -



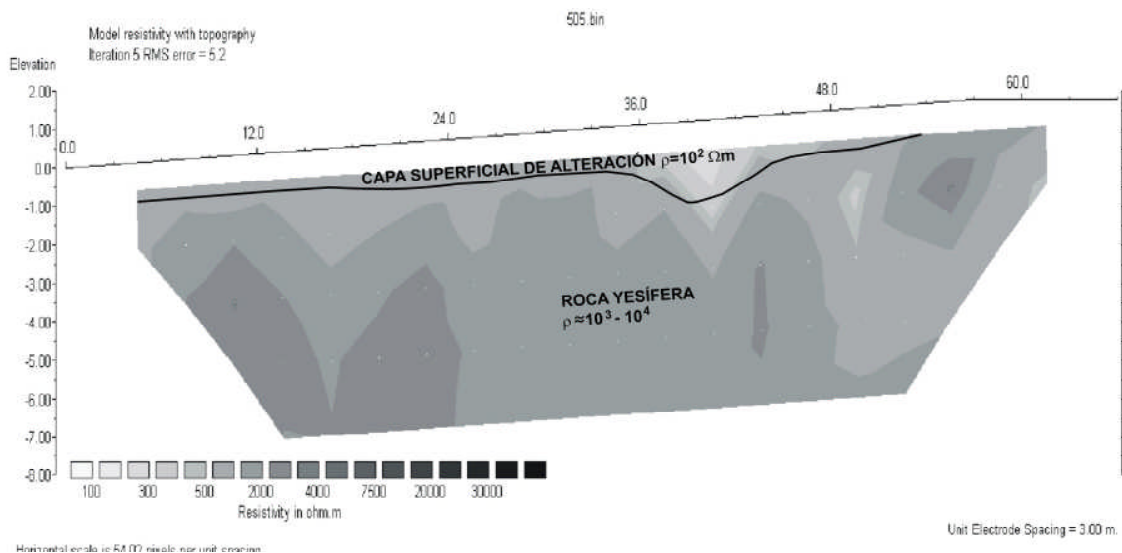
PERFIL N.º 3: Este perfil es perpendicular a los anteriores. Muestra las siguientes características:

En el perfil se aprecia la presencia de un minado conocido y explorado. El perfil muestra la presencia de una capa superficial de roca alterada, y en profundidad la presencia de la roca yesífera.



PERFIL N.º 4: Este perfil no muestra indicios de cavidades. Tan sólo se aprecia la presencia de una capa superficial de roca alterada, y en profundidad, roca yesífera.

- 243 -



4. CONCLUSIONES

En la intervención se ha aplicado la técnica geofísica de la Tomografía Eléctrica para detectar y localizar la probable presencia de minados subterráneos no accesibles desde superficie en el Complejo Minero de La Mudarra (Huete, Cuenca). Las mediciones realizadas, han permitido ubicar con precisión una serie de minados y zonas carstificadas de interés geológico dentro de la roca yesífera en la que encaja el yacimiento minero de *lapis specularis*.

En particular y en el perfil n.º 1, se ha detectado un nuevo minado a unos 25 metros del inicio del perfil, la cavidad ha sido descubierta al sur del minado H.I-19, en una zona en que se carecía de atisbos de su posible existencia y a la que se presume un desarrollo relacionado con los minados situados más al sur.

En el perfil n.º 2, igualmente se ha localizado la presencia de una cavidad debajo de una escombrera de estériles que hasta entonces se interpretaba como restos de la cercana mina H.I-13, su descubrimiento permite identificarla como un posible pozo autónomo, quizá relacionado con el presunto nuevo minado también detectado cerca de la mencionada mina H.I-13.

El perfil n.º 3 confirma lo adecuado de la técnica empleada al detectar y testar con exactitud una galería perteneciente a la mina H.I-19, tanto en su correcta ubicación, como en la cota de profundidad a la que se encuentra. Por último, el perfil n.º 4 se reveló estéril en cuanto a resultados, no detectándose ninguna anomalía digna de mención.

Como conclusión, se desprende lo acertado del método elegido, así como los positivos resultados obtenidos, que han confirmado la existencia de nuevas minas que ocupan la zona sur del complejo minero y que de no ser por la tomografía eléctrica, no hubieran podido ser localizadas. La utilización de la prospección geofísica ha permitido detectar, ubicar e incluso reinterpretar los indicios mineros, completando el panorama de la investigación arqueológica-minera del yacimiento y la comprensión de la distribución y explotación del conjunto de minas que configuran el complejo minero de la Mudarra.

5. BIBLIOGRAFÍA

ARLANDI RODRIGUEZ, M. (2005): Geofísica aplicada a la Obra Civil. Método Geoeléctrico y sísmica de Refracción. Casos Prácticos.

ARLANDI RODRIGUEZ, M., BERNÁRDEZ GÓMEZ, M.J. & GUIADO DI MONTI, J.C. (2002): “El análisis prospectivo del subsuelo: aplicaciones del método geofísico”. El Castiellu de Llagú: Un castro astur en los orígenes de Oviedo. Serie Biblioteca Archaeologica Hispana, nº 13. Publicaciones de la Real Academia de la Historia. Madrid. - 244 -

HESSE, A. (1966): Prospections geophysiques a faible profondeur. Applications a l'archeologie. Editorial Dunod. Paris.

LOKE, M.H. (2004): Bidimensional and Tridimensional Electrical Imaging Surveys.

ORELLANA, E. (1982): *Prospección Geoeléctrica en Corriente Continua*. Editorial Paraninfo. Madrid.

SHARMA, P. V. (1997): *Environmental and Engineering Geophysics*. E. Cambridge University Press.

FOTOS

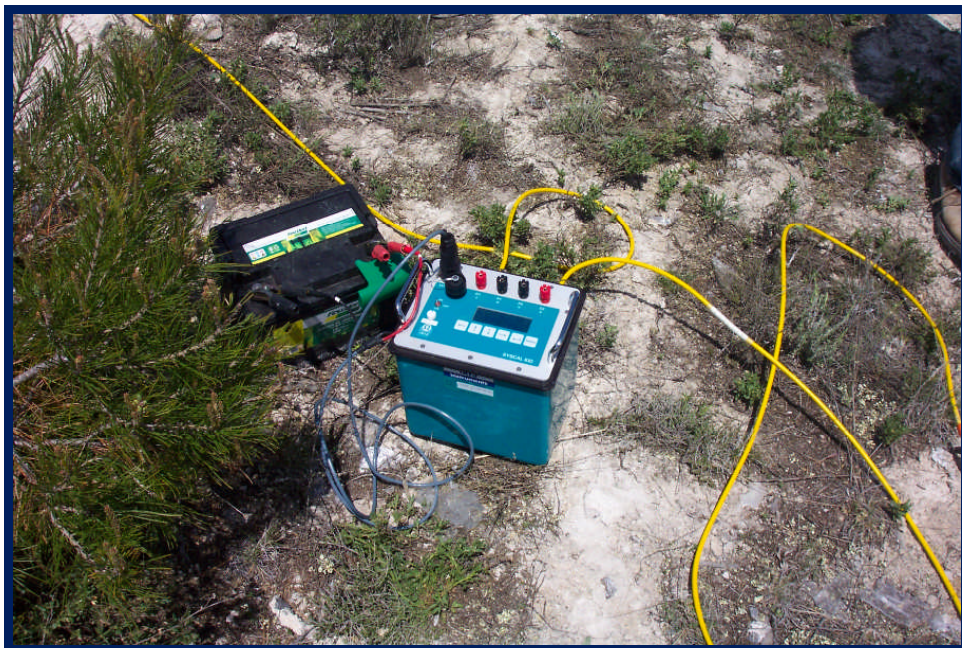


FOTO NÚMERO 1: Resistivímetro SYSCAL KID.



FOTO NÚMERO 2: Colocación de una línea de electrodos.



FOTO NÚMERO 3: Complejo minero de *lapis specularis* de “La Mudarra” (Huete-Cuenca).