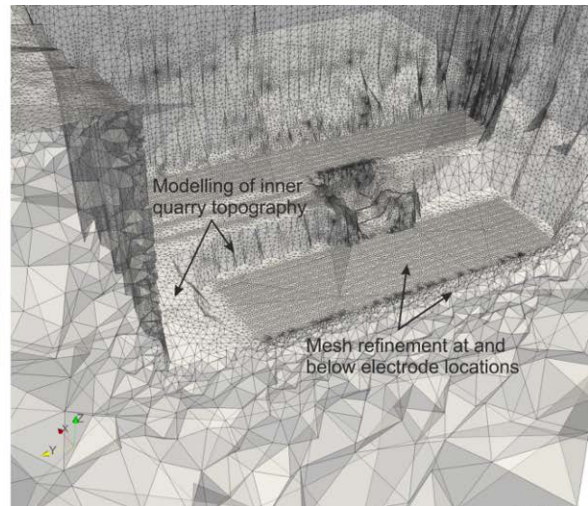
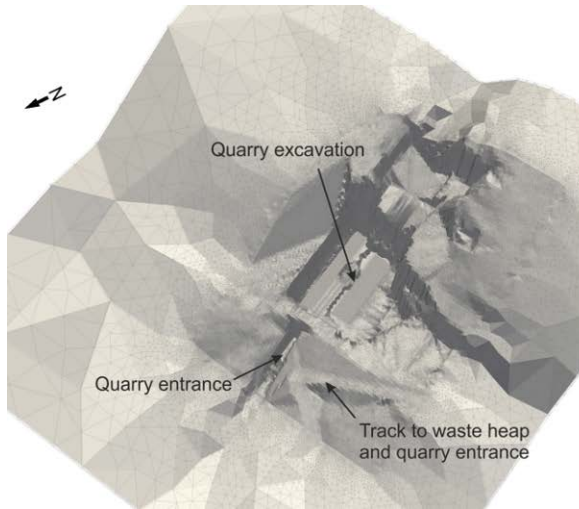
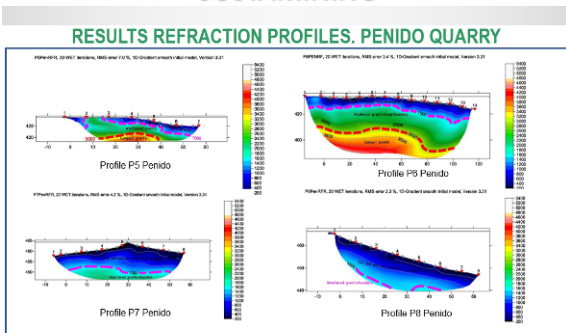




ASOCIACIÓN NOTIO TOMOGRFÍA ELÉCTRICA



SUSTAMINING



SELECTIVE AND SUSTAINABLE EXPLOITATION OF ORNAMENTAL STONES BASED ON DEMAND



Asociación NOTIO

Centro Tecnológico de la Arcilla
C/ Río Cabriel s/n – 45007 Toledo

Tel.: 925 24 11 62 – 630 96 87 86

info@notio.es

www.notio.es



ASOCIACIÓN NOTIO

CONTENIDO

1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA TÉCNICA GEOFÍSICA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA	3
1.1. Comportamiento eléctrico de las rocas	3
1.2. Aplicaciones	5
1.3. Metodología Operativa	6

1. FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA TÉCNICA GEOFÍSICA DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA

La tomografía eléctrica es un método de prospección eléctrica en corriente continua que permite modelizar la estructura del subsuelo mediante la medida de las resistividades de los materiales que lo constituyen.

1.1. COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO DE LAS ROCAS

El comportamiento eléctrico de las rocas depende de la naturaleza de los minerales que las constituyen, la porosidad y grado de alteración (fisuras, fracturas, etc.) y el contenido de fluidos en sus poros y/o fracturas, así como la naturaleza de los mismos.

Si la conductividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales que las forman, prácticamente todas las rocas deberían considerarse aislantes, ya que los minerales que componen la gran mayoría de rocas presentes en la naturaleza así lo son (cuarzo, silicatos, calcita, sales, etc.). Sólo las menas metalíferas, con una cantidad apreciable de minerales semiconductores en su composición, podrían considerarse semiconductoras. Sin embargo, prácticamente todas las masas pétreas tienen poros/fracturas/fisuras en mayor o menor proporción, que suelen estar ocupados total o parcialmente por fluidos, más o menos conductores, de lo cual resulta que las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable. Por tanto, la resistividad de la roca depende, generalmente, de cinco factores.

- De la porosidad, es decir, la relación de vacíos con respecto al volumen total de la roca. En principio, un mayor volumen de huecos en la masa rocosa (**mayor porosidad**) implica una **menor resistividad**, siempre y cuando estos huecos NO estén vacíos. Si los huecos están vacíos (caso de cuevas, galerías, etc.) la resistividad será anormalmente alta debido al carácter dieléctrico del aire.

	Margas	Arcilla	Gravas	Arena y Grava	Arena uniforme	Arena fina y media	Aluvión reciente	Calizas	Pizarras o esquisto
Porosidad (%)	47-50	44-50	25-40	20-35	35-40	30-40	5-15	0,5-17	1-10

Porosidad de algunas rocas (los valores dependen del grado de compactación)

- De la disposición geométrica de los poros (denominado factor de formación o F). La resistividad disminuye cuando los poros son más alargados y están orientados de forma que exista una mayor conexión entre ellos, ya que se facilita la movilidad de los fluidos entre ellos.
- De la proporción de huecos rellenos de agua frente a huecos secos. Una mayor proporción de huecos rellenos de agua implica una disminución de la



ASOCIACIÓN NOTIO

resistividad ya que el agua permite una mayor circulación de la corriente eléctrica que el aire.

- De la naturaleza del agua; el agua pura es muy poco conductora debido a su reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos $10^5 \Omega \cdot m$. por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, sin embargo, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal. Las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a $20 \Omega \cdot m$. y las aguas marinas de unos $0,2 \Omega \cdot m$. Por tanto, a mayor conductividad del agua, menor será la resistividad de la formación que la contiene.
- De la temperatura; este parámetro influye notablemente en la resistividad de los fluidos que hay en los poros. En concreto, un descenso de la temperatura provoca un aumento de la resistividad y en el punto de congelación el agua pasa de ser un dieléctrico a un mal conductor.

Las rocas ígneas y metamórficas generalmente tienen altos valores de resistividad (entre $10^3 - 10^5 \Omega \cdot m$). La resistividad de estas rocas depende mucho del grado de fracturación que presenten y del porcentaje de agua que rellene las fracturas.

Las rocas sedimentarias comúnmente son más porosas y tienen un alto contenido en agua lo que normalmente hace disminuir los valores de la resistividad.

Los suelos son una mezcla de rocas, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta composición provoca que la resistividad del suelo, aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores como la temperatura, humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente diferentes resistividades con el tiempo. La humedad es el factor más importante. Diferentes grados de humedad para un mismo suelo pueden dar lugar a resistividades diferentes que podrían conducir a interpretaciones erróneas en cuanto a la composición de los materiales constituyentes del mismo. Los suelos arcillosos normalmente tienen valores más bajos de resistividad que los suelos arenosos. Los suelos mojados tienen valores de resistividad entre 1 y $10^3 \Omega \cdot m$.

La resistividad del agua del terreno varía entre 10 y $100 \Omega \cdot m$ dependiendo de la concentración de sales disueltas. La baja resistividad del agua de mar ($0,2 \Omega \cdot m$) se debe al alto contenido en sal, lo que origina que el método de tomografía eléctrica sea una técnica ideal para la delimitación de la filtración en profundidad de viejas represas de tierra.

En cuanto a los contaminantes industriales, los metales, como el hierro, presentan valores de resistividad sumamente bajos ($10^{-8}-10^{-7} \Omega \cdot m$). Los químicos, tal como el sodio y cloruro de potasio, pueden reducir mucho el valor de la resistividad del agua



ASOCIACIÓN NOTIO

del terreno a menos de 1 Ω .m con moderadas concentraciones. El efecto de los electrolitos, tal como el ácido acético, es comparativamente menor. Los compuestos de hidrocarburos, como el xileno, típicamente tienen unos valores muy altos de resistividad ($>10^{14}$ Ω .m).

Los valores de resistividad varían en un amplio rango comparado con otras magnitudes físicas obtenidas por otros métodos geofísicos. La resistividad de las rocas y el suelo en un área de estudio puede variar en varios órdenes de magnitud. En comparación, en investigaciones gravimétricas en las que se miden diferencias de densidades, usualmente los cambios se producen por debajo de un factor de 2. Las velocidades sísmicas normalmente no cambian por más de un factor de 10. Esto hace que el método tomografía eléctrica sea una técnica geofísica muy versátil.

1.2. APLICACIONES

- Identificación de rocas alteradas. Una de las aplicaciones más comunes es la localización y definición de la extensión de la banda de alteración en terrenos graníticos para conocer la posibilidad de ripar o la necesidad de someter a voladura determinados tramos de una obra lineal. Por lo que respecta a la banda de alteración de los granitos, es bastante normal que aparezca en la parte alta y, consecuentemente, pueda controlarse su presencia. Pero tampoco resulta infrecuente que se localice este material más disgregable a mayor profundidad, por debajo de un tramo superficial más compacto, cuya imposibilidad de observación obliga a una detección por prospección geofísica.
- Determinación del recubrimiento de alteración sobre rocas metamórficas como los esquistos
- Localización de fracturas en terrenos calcáreos cubiertos por una capa de material arcilloso. En las rocas compactas se presentan isolíneas de alta resistividad. Cuando se produce una discontinuidad en estas líneas, la zona de inflexión indica la presencia de fracturas. Se ha comprobado que la tomografía eléctrica resuelve con éxito las estructuras geológicas formadas por un zócalo fracturado en bloques de diferente tamaño (detecta las fracturas) y cubierto por una capa sedimentaria detrítica.
- Localización de galerías y karstificaciones. Las galerías de mina y karstificaciones presentan altos valores de resistividad si el fluido que las ocupa es aire, con lo cual son perfectamente identificables con el método de tomografía eléctrica.
- Localización de canalizaciones; el carácter conductor que provoca una canalización básicamente metálica por la que circula el agua provoca la

presencia de anomalías muy poco resistivas que pueden ser identificadas como canalizaciones, lo que permite identificar su posición y profundidad.

- Identificación y cartografiado de restos arqueológicos; los restos aislados, como el caso de las tumbas y, sobre todo, las edificaciones, presentan unas características geométricas que, tras se detectadas pueden ser cartografiadas y con ello mostrar su distribución y extensión.



Disposición de electrodos en campo

1.3. METODOLOGÍA OPERATIVA

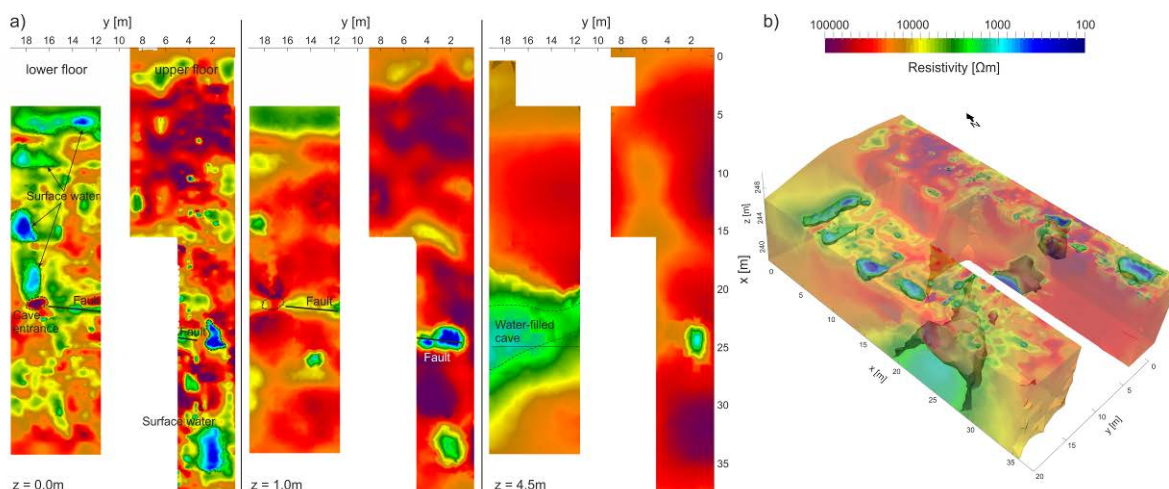
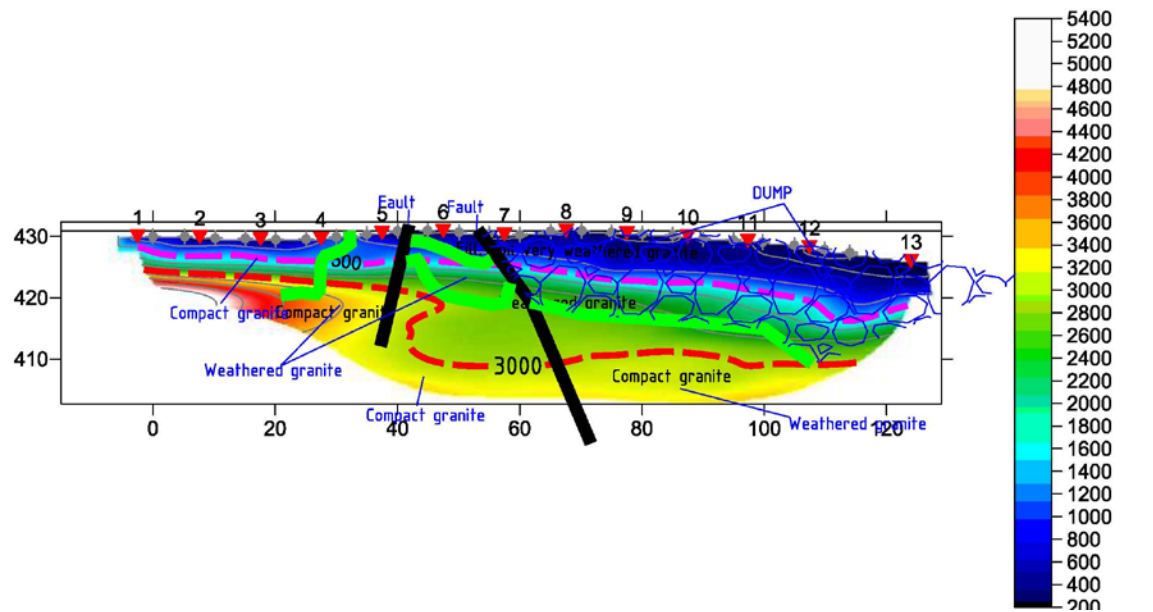
El método de tomografía eléctrica se basa en la implantación de numerosos electrodos, con una separación determinada, en un perfil longitudinal sobre el terreno. Todos los electrodos se conectan a un cable que a su vez va unido al equipo de medida, determinando, antes de realizar las mediciones, cuales serán los cuádrupolos de todo el perfil que realizarán las medidas y con qué disposición.

Cada uno de estos cuádrupolos realiza una medida de la resistividad que se atribuye a un determinado punto geométrico del subsuelo cuya posición y profundidad en el perfil dependen de la posición de dicho cuádrupolo y de la separación entre los electrodos que lo conforman.

El dispositivo consta de dos pares de electrodos, dos emisores y dos receptores. A través de los electrodos emisores se inyecta corriente continua y en el segundo par de electrodos se mide la diferencia de potencial.

Los perfiles que se obtienen en la realización de los estudios de tomografía eléctrica son secciones del terreno que reflejan la distribución de los valores de resistividad aparente a diferentes profundidades, correspondientes a las distintas capas de investigación. Esta información se trata posteriormente mediante algoritmos matemáticos de inversión para obtener las imágenes de resistividades reales del subsuelo.

La profundidad de investigación depende del espaciado entre electrodos y del dispositivo utilizado (polo-polo, polo-dipolo, dipolo-dipolo y Wenner-Schlumberger), si bien, a menor penetración de investigación se consigue una mayor resolución ya que a menor profundidad se tiene mayor densidad de medidas al ser posible utilizar una malla más cerrada (menor distancia entre electrodos). En principio, la resolución de la investigación disminuye logarítmicamente con la profundidad.



Perfiles de tomografía eléctrica y recreación en 3D para interpretación.