

Caracterización de materiales volcánicos mediante técnicas geofísicas someras: 1. Tomografía eléctrica

Characterization of volcanic materials using shallow geophysical techniques: 1. Electrical resistivity imaging

D. Gómez Ortiz, T. Martín Crespo, S. Martín Velázquez, J. Lillo, I. López y F. Carreño

Área de Geología, Departamento de Matemáticas y Física Aplicadas y CC. de la Naturaleza, ESCET, Universidad Rey Juan Carlos, C/Tulipán s/n, 28933 Móstoles (Madrid)
david.gomez@urjc.es, tomas.martin@urjc.es, silvia.martin@urjc.es, javier.lillo@urjc.es, ivan.lopez@urjc.es, francisco.carreno@urjc.es

ABSTRACT

Volcanic deposits and structures are characterized by a high variability in both geometry and physical properties. These changes are common not only in a vertical direction but in the horizontal one too. As a result, the geophysical study of this kind of materials has to be performed using a technique that combines a good horizontal and vertical resolution. Electrical resistivity imaging has been applied to the study of three profiles in different places of Tenerife island. The examples shown in this work are the location of lava tubes, the determination of the depth to the boundary of different lava flows, and the geometry at depth of a basaltic dyke intruding in pyroclastic deposits. In all the cases, the technique has revealed as a useful tool to determine the geometry and depth of different volcanic materials and therefore, the geophysical characterization of volcanic areas.

Key words: resistivity imaging, lava tubes, dykes, lava flows, Tenerife

*Geogaceta, 38 (2005), 55-58
ISSN: 0213683X*

Introducción

La naturaleza inherente a los materiales volcánicos hace que estos presenten dificultades a la hora de ser estudiados por algunos métodos geofísicos, además de resultar complicada la determinación de su extensión lateral y vertical. En este trabajo, se ha utilizado el método de la tomografía eléctrica para localizar y caracterizar la geometría de algunos de los materiales y estructuras más típicos de una zona volcánica, como son tubos volcánicos, el contacto entre coladas de distintas características, o la presencia de diques intruyendo en unidades diferentes. El estudio se ha realizado en la isla de Tenerife, donde la variedad y buena calidad de los afloramientos volcánicos hacen que reúna las condiciones idóneas para la aplicación y experimentación de distintas técnicas geofísicas.

Prospección geoelectrónica

El método geoelectrónico utiliza la medida de las resistividades de los materiales geológicos subsuperficiales para determinar su espesor y profundidad (Telford *et al.*, 1990; Reynolds, 1997; entre otros). Este método precisa

de la utilización de un equipo de prospección geoelectrónica compuesto básicamente por un generador de corriente, un miliamperímetro y milivoltímetro, electrodos de acero y cobre, bobinas de cable y un ordenador portátil para registrar las medidas realizadas. La resistividad del terreno es un parámetro específicamente ligado a la naturaleza de los materiales geológicos, y puede medirse haciendo pasar la corriente por el mismo a través de 4 electrodos que se encuentran cada vez a una mayor distancia entre sí, obteniendo un Sondeo eléctrico Vertical (SEV). De esta forma, se obtiene una variación de la resistividad con la profundidad. Otra variante del método es la realización de tomografía eléctrica. Su diferencia con los SEV es que los electrodos se disponen a una distancia constante a lo largo de la zona que se desea investigar y su número es mayor (12, 24, 48...). Así, en vez de obtener un valor puntual de espesor de los materiales con la profundidad (SEV) se obtiene la variación del espesor de los materiales con la distancia siendo la profundidad de investigación mucho menor pero su resolución horizontal mucho mejor.

Diferentes configuraciones de electrodos son posibles en el uso de la tomografía eléctrica. Las configuracio-

nes tienen como elemento en común que los electrodos presentan un espaciado constante entre sí, pero todos ellos se disponen a lo largo de una línea de manera que cuando las medidas de resistividad se realizan entre electrodos próximos, la profundidad de investigación es pequeña, pero cuando se realiza entre electrodos muy separados, la profundidad de investigación es mayor. De esta forma se obtiene un perfil bidimensional en el que se dispone de valores de resistividad en una malla uniforme. En función del espaciado entre electrodos puede establecerse un compromiso entre profundidad de investigación y resolución. A mayor espaciado de electrodos, la profundidad alcanzada es mayor, pero la resolución disminuye. Los valores de resistividad se transforman entonces en un perfil geológico mediante un proceso consistente en obtener el modelo cuya resistividad teórica sea la que mejor se ajuste a la observada (es decir, minimice el error cuadrático medio entre ambas) mediante un proceso iterativo.

Puesto que, como se ha mencionado, la resistividad depende de la naturaleza de los materiales, mediante la información geológica y geofísica disponible es posible determinar el tipo de material (arenas, arcillas, sedimentos

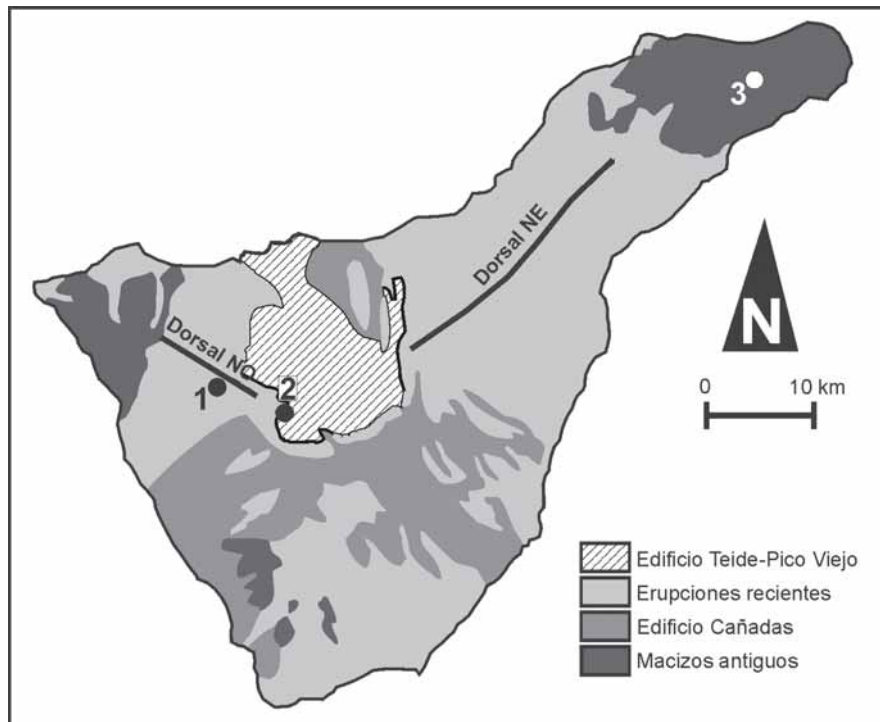


Fig. 1.- Esquema geológico de la isla de Tenerife con las principales unidades y la localización de los 3 perfiles descritos en el texto.

Fig. 1.- Geological sketch of Tenerife volcanic island where the main units and the location of the 3 profiles described in the text are shown.

carbonatados, basamento resistivo, etc) existente bajo la superficie topográfica a partir de dicha distribución de resistividades.

Este método de prospección es especialmente útil para la determinación de cavidades en el subsuelo, debido a que los huecos rellenos de aire presentan una resistividad mucho mayor que el material que lo rodea. Otras aplicaciones comunes son la determinación de agua en el subsuelo, debido al carácter poco resistivo de la misma cuando su contenido en iones es moderado o alto, así como la detección de plumas contaminantes, etc.

La prospección geoelectrica resulta bastante rápida de realizar y de bajo coste económico. Los datos obtenidos en la prospección eléctrica son interpretados mediante un software específico que permite determinar la geometría y los espesores de las unidades con diferentes resistividades mediante un proceso iterativo de inversión. Dicho proceso es rápido y permite obtener resultados con bastante fiabilidad si se dispone de información geológica previa acerca de la naturaleza de los materiales en la zona, o bien su comparación con los resultados de otra técnica geofísica, como es el caso del georadar.

En el caso de los materiales volcánicos, estos se caracterizan por su rápida variación, tanto de espesores como de propiedades físicas, no solo en la dirección horizontal sino también en la vertical. Además, en función de su composición, presencia de huecos, grado de alteración, etc. presentan valores de resistividades muy variados, pudiendo diferenciarse en varios órdenes de magnitud (p.ej., Reynolds, 1997).

Resultados

De las diferentes configuraciones posibles que ofrece la tomografía eléctrica, se ha elegido la configuración Wenner debido a que es la que presenta una buena relación entre resolución, tanto horizontal como vertical, y profundidad (p.ej. Sasaki, 1992) y, por tanto, adecuada al estudio planteado teniendo en cuenta las variaciones laterales y verticales de los materiales y estructuras a estudiar. En todos los casos, la longitud de los perfiles ha sido de 24 m, siendo el espaciado entre electrodos de 1 m. El equipo utilizado ha sido un Syscal Kid switch 24. La profundidad máxima de penetración obtenida ha sido en general de 4 m. El software utilizado para la obtención de los modelos de resistividades ha sido RES2DINV.

Se exponen a continuación los resultados de tres de los perfiles obtenidos:

Perfil 1. Tubo volcánico

Realizado sobre las coladas basálticas y traquibasálticas procedentes de la erupción de Montaña Samara, uno de los conos pertenecientes a la dorsal de Santiago del Teide (dorsal NO, Fig. 1), y con una edad aproximada de más de 18.000 años. Estas coladas presentan numerosos tubos volcánicos de distinta longitud y tamaño. Se realizó un perfil de tomografía eléctrica perpendicularmente a uno de ellos, de dirección NE-SO (Fig. 2a). Dicho tubo, abierto en sus dos extremos, presentaba una longitud de más de 20 metros, una altura de entre 2 y 5 m y una anchura máxima de 5 m.

El perfil de resistividades tiene una orientación NO-SE (Fig. 2a) y el modelo obtenido muestra un error medio cuadrático del 8.2% tras 7 iteraciones. Se observa la existencia de dos zonas de alta resistividad, una entre los metros 4 y 7 del perfil (A) y otra entre los metros 9 y 12. La primera de ellas (A) tiene una geometría ovalada, algo irregular, y su techo se encuentra muy próximo a la superficie del terreno. Su posición y anchura coincide con la localización del tubo volcánico visible en el campo. Únicamente su altura es menor que la medida directamente en el interior del tubo, lo que puede ser debido a que la base del mismo se encuentra muy próxima a la parte inferior del perfil y no queda bien definida. El segundo máximo de resistividades (B) presenta valores semejantes al anterior por lo que ha sido interpretado también como otro tubo volcánico, paralelo al aflorante, no visible en superficie. Su geometría es ovalada y sus dimensiones son algo menores que el anterior, además de encontrarse su techo a mayor profundidad (alrededor de 1 m). Al encontrarse en la parte central del perfil, se encuentra también mejor definido.

Perfil 2. Contacto entre coladas aa y pahoehoe

Este perfil ha sido adquirido junto a la carretera que cruza las coladas de lava de la erupción histórica de Chaorra (1798), el último episodio eruptivo del complejo volcánico de Pico Viejo (Fig. 1). Las coladas de lava generadas en esta erupción no solo rellenan este sector de la caldera de Las Cañadas, sino que rebasaron la misma hacia el oeste.

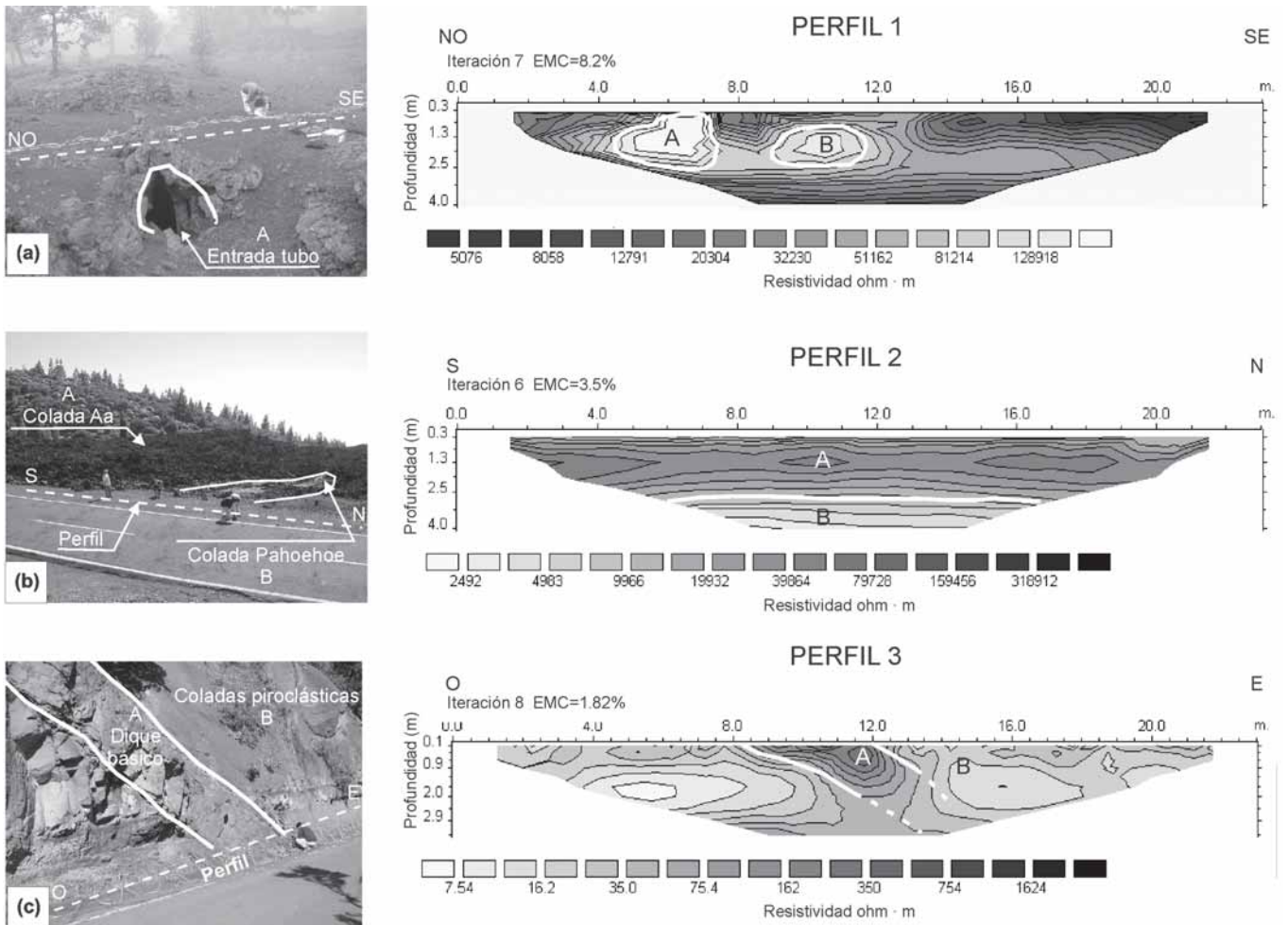


Fig. 2.- Resultados de los 3 perfiles de tomografía eléctrica realizados. En cada caso se muestra la fotografía del afloramiento y los resultados de la modelización e interpretación. (a) Tubos volcánicos, (b) contacto entre coladas de lava de distinto tipo, (c) dique basáltico intruyendo en depósitos piroclásticos.

Fig. 2.- Results from the 3 resistivity imaging profiles carried out in this study. For each case, a photograph of the outcrop as well as the final model and interpretation are presented. (a) Volcanic lava tubes, (b) boundary between two different lava flows, (c) basaltic dike intruding in pyroclastic deposits.

El perfil de resistividades tiene una orientación S-N (Fig. 2b) y el modelo obtenido muestra un error medio cuadrático del 3.5% tras 6 iteraciones. Se observa una geometría muy sencilla constituida por dos unidades subhorizontales: una unidad superior (A) con resistividades altas y con la presencia de 3 máximos relativos (mayores de 20000 ohmios \cdot m) y otra inferior (B) con resistividades bajas (entre 2500 y 5000 ohmios \cdot m). Teniendo en cuenta los materiales que afloran en las proximidades del perfil y sus espesores observados, puede establecerse una buena correlación entre la unidad superior A de alta resistividad con la colada aa, así como entre la unidad inferior B y la colada tipo pahoehoe. El contacto entre ambas se encontraría a una profundidad aproximada de unos 2.5 m bajo la superficie del suelo, lo que se ajusta bien al espesor estimado en cam-

po para la colada aa y mediante otros datos geofísicos (Gómez Ortiz *et al.*, este mismo volumen). Los máximos de resistividad que aparecen en el interior de la unidad A se interpretan como pequeñas zonas de huecos, algo que es frecuente en la naturaleza más heterogénea de las coladas tipo aa.

Perfil 3. Dique básico

El macizo de Anaga, situado al NE de Tenerife, es uno de los 3 macizos antiguos de la isla (Fig. 1). Su edad es terciaria (entre 3,3 y 6,5 Ma, Ancochea *et al.*, 1990; Marinoni y Gudmundsson, 2000) y se caracteriza por estar constituido por una sucesión de más de 1000 m de coladas de lava y depósitos piroclásticos. Estos materiales fueron intruidos por un enjambre de diques, fundamentalmente basálticos, de edad entre 3,6 y 5,8 Ma. El perfil se ha realizado en la carretera que corta estos ma-

teriales y que discurre por la parte alta del extremo NE de la isla.

El perfil de resistividades tiene una orientación O-E (Fig. 2c) y el modelo obtenido muestra un error medio cuadrático del 1.8 % tras 8 iteraciones. Se observa una zona de alta resistividad (A), entre unos 90 y 300 ohmios \cdot m, localizada en la zona central del perfil y con una geometría tabular inclinada unos 30° hacia el extremo E. Esta zona de alta resistividad se encuentra rodeada por una unidad más extensa (B) con resistividades de entre 7 y 30 ohmios \cdot m aproximadamente, que muestra una disposición general subhorizontal, en la que se distinguen algunos máximos relativos de resistividad. Tanto la posición en la parte superior del perfil de la unidad de alta resistividad (entre 8 y 12 m) como su buzamiento (30° S) coinciden con la posición y el buzamiento de un dique básico observado en el campo

(Fig. 2c), por lo que puede fácilmente correlacionarse con el mismo. El perfil indica que dicho dique continúa con el mismo buzamiento y espesor al menos 2 metros bajo la superficie del terreno, profundidad a partir de la cual empieza a estar peor definido, probablemente debido a la disminución de la resolución de la tomografía eléctrica con la profundidad. La unidad B puede, por tanto, correlacionarse con la sucesión de pómeceos soldados y coladas piroclásticas, subhorizontales en el corte observado en campo (Fig. 2c), en los cuales ha intruido el dique básico.

Conclusiones

El método de tomografía eléctrica se ha mostrado muy útil a la hora de caracterizar materiales volcánicos. Dicha técnica se adapta bien a las características propias de estos materia-

les, fundamentalmente a su alta variabilidad tanto lateral como vertical en sus propiedades físicas. Además, las variaciones en resistividad suelen ser amplias, lo que influye en una buena calidad de los resultados obtenidos en la modelización. En concreto, la tomografía eléctrica ha mostrado buenos resultados en tres casos concretos: la localización y determinación de la geometría de tubos volcánicos, la localización de la profundidad a la que se encuentra el contacto entre coladas de lava de diferentes propiedades físicas, y la localización y continuación en profundidad de diques intruyendo en materiales piroclásticos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado con los proyectos de investigación

REN2002-11953-E del Ministerio de Ciencia y Tecnología y PPR-2003-44 de la Universidad Rey Juan Carlos.

Referencias

- Ancochea, E., Fúster, J.M., Ibarrola, E., Cendrero, A., Coello, J., Hernán, F., Cantagrel, J.M. y Jamond, C. (1990). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 44, 231-249.
- Marinoni, L.B. y Gudmundsson, A. (2000). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 103, 83-103.
- Reynolds, J.M. (1997). *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. John Wiley and Sons, 796 p.
- Sasaki, Y. (1992). *Geophysical Prospecting*, 40, 453-464.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. y Sheriff, R.E. (1990). *Applied Geophysics*. Cambridge University Press, 770 p.